

林野庁補助事業

令和6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

事業成果報告書

令和7年3月

一般社団法人 林業機械化協会

目 次

【第1部 令和6年度事業成果報告書】

1 事業の目的と仕組み	4
2 有識者委員の活動	4
3 実証主体の公募・採択	8
4 普及活動	10
5 実証主体の取組状況	21
・ 北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営 ― 北海道 大坂林業、渡邊組、サンエイ緑化、森林総研、道総研、フォテク	24
・ ICT を活用した CTL システムによる、垂直統合型経営モデルの構築 ― 岩手県 柴田産業、住友林業、岩手大学	26
・ 新たな技術を融合させた経営モデル（古殿モデル）の実証 ― 福島県 サンライフ、福島県林業研究センター、古殿町	28
・ 川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業 ― 長野県 北信州森林組合、信州大学、精密林業計測	30
・ 京阪奈＋三重 需要地と供給地の事業連携による新しい地方創成型 SDGs 林業への挑戦 ― 奈良県 バイオマスパワーテクノロジーズ、玉木材、古家園、森のエネルギー 研究所	32
・ 森林管理組織「リフォレながと」を核とした長門型林業経営モデル 構築事業 ― 山口県 リフォレながと、山口県農林総合技術センター、住友林業	34

【第2部 各実証主体の事業成果報告書】

【第3部 「新しい林業」経営モデル実証事業 3ヶ年の成果】

【第 1 部】

令和 6 年度事業成果報告書

1 事業の目的と仕組み

(1) 事業の目的

伐採から再生林・保育に至る収支のプラス転換を可能とする「新しい林業」を実現するためには、低い生産性や高い労働災害率といった林業特有の課題を解決する必要がある。

本事業では、新たな技術の導入による伐採・造林の省力化や、ICT を活用した需要に応じた木材生産、流通・販売など、林業収益性等の向上につながる経営モデルの実証により、「新しい林業」経営モデルの構築・普及の取組を支援することを目的とする。

(2) 事業の仕組み

本事業は、令和6年度に林野庁の委託を受けて、一般社団法人林業機械化協会（以下、「協会」という。）が実施した。

本事業では、上記の目的および下記①～③の考え方を念頭に、地域の森林資源や自然的な特徴を踏まえて、伐採から販売、再生林・保育までの全部または一部に「新しい技術（本事業を実施する地域で導入例が少ない先進的な技術や取組）」を導入することによって、林業経営体の総収支が従来のものよりもプラスになることを目標として実証に取り組む者（以下、「実証主体」という。）を、5年度当該事業を実施した者に限って公募し、有識者委員会による審査を経て選定することとした。

- ① 主伐にあつては、遠隔操作の高性能林業機械、ICT 等を活用し、生産性・安全性を向上させること。
- ② 流通・販売にあつては、適正な山元還元により伐採後の再生林が可能となるような取組であること。
- ③ 再生林・保育にあつては、低コスト化及び作業の省力化・軽労化の技術や成林を確実にする取組であること。

また、実証主体は、実際に林内において「新しい林業」の実証を行う林業経営体と、実証の進行管理・調整を行う大学・研究機関等の支援機関が共同して実施することを要件とした。

2 有識者委員の活動

(1) 委員名簿

本事業について、専門的な立場からの審査や助言等を行う有識者からなる委員会を設置した。

有識者委員会委員名簿

(五十音順)

委員名	所 属 ・ 役 職	備 考
宇都木 玄	森林総合研究所 研究コーディネーター	林業生産技術
鹿又 秀聡	森林総合研究所 主任研究員	林業経営
酒井 秀夫	東京大学名誉教授	森林利用学
佐川 賢司	有限会社佐川運送 代表取締役	素材生産
坪野 克彦	株式会社フォレストミッション 代表取締役	林業経営コンサルタント
松下 幸司	京都大学学術情報メディアセンター 研究員	森林計画

(2) 会議の開催状況

以下の会議において、応募のあった課題提案書等の審査・実証主体の選定、事業の実施状況に対する検討・評価等を行った。なお、最初の会議において、酒井秀夫氏が座長に選出されている。

会議の概要

日 程	会議の名称
令和6年5月9日	課題提案書書類審査
12月4日	事業成果検討会議
令和7年1月28日	事業成果報告会
1月29日	第1回有識者委員会
3月12日	第2回有識者委員会



12月4日事業成果検討会議



1月28日事業成果報告会



1月29日有識者委員会

(3) 現地検討会・協議会への出席

実証主体が実施する現地検討会・協議会に参加し、助言、指導等を行った。

委員が参加した現地検討会・協議会

日 程	会 合	出席した委員
令和6年7月17日	【長野】北信州信組・信州大G	宇都木・鹿又・松下
8月20日	【山口】リフォレながと・山口県G	酒井・宇都木・坪野・松下
9月27日	【北海道】大坂林業・森総研G	松下
11月19日	【岩手】柴田産業・住友林業G	佐川・坪野・松下
12月11日	【福島】サンライフ・福島県G	宇都木・佐川・松下
令和7年1月16日	【北海道】大坂林業・森総研G	(酒井)

※ 「出席した委員」の（ ）書きはWEB参加を示す。



【長野】北信州信組・信州大 G 現地
検討会・協議会



【山口】リフォレながと・山口県 G
現地検討会・協議会



【北海道】大坂林業・森総研 G 現地
検討会・協議会



【岩手】柴田産業・住友林業 G 現地
検討会・協議会



【福島】サンライフ・福島県 G 現地
検討会・協議会

3 実証主体の公募・採択

(1) 公募

当事業の公募要領に、応募できる者の要件の一つとして「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の実証主体として選定された林業経営対等であること」を定め、募集することとした。

公募開始 4月24日 応募件数6件
応募締切 5月1日 採択件数6件

採択実証主体

#	実証地	代表林業経営体	代表支援機関
1	北海道	(有)大坂林業	(国研)森林研究・整備機構
2	岩手県	(株)柴田産業	住友林業(株)
3	福島県	(株)サンライフ	福島県林業研究センター
4	長野県	北信州森林組合	(大)信州大学
5	奈良県	バイオマスパワーテクノロジーズ(株)	(株)森のエネルギー研究所
6	山口県	(一社)リフォレながと	山口県農林総合技術センター

(2) 実証主体

採択された6件の実証主体の概要は次のとおり。

実証主体および取組の概要

#	実証地	構成団体	事業名称	実証内容
1	北海道	大坂林業、渡邊組、サンエイ緑化、森林総研、道総研、フォテク	北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営	ICT ハーベスタ等による完全機械化作業、自動植付機及び乗用下刈り機の省力化・効率性等を実証
2	岩手県	柴田産業、住友林業、岩手大学	ICT を活用した CTL システムによる垂直統合型経営モデルの構築	CTL（短幹集材）による生産性向上、トラクタと破砕機による地拵え、地形情報による植栽等を実証
3	福島県	サンライフ、福島県林業研究センター、古殿町	新たな技術を融合させた経営モデル（古殿モデル）の実証	マルチャーによる林地残材処理、クローラ型電動一輪車による苗木運搬、疎植による下刈り省力化等を実証
4	長野県	北信州森林組合、信州大学、精密林業計測	川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業	ICT ハーベスタを活用した乱尺造材、ドローンとホロレンズによる効率的な植栽・下刈り等を実証
5	奈良県	バイオマスパワーテクノロジーズ、玉木材、古家園、森のエネルギー研究所	需要地と供給地の事業連携による新しい地方創生型 SDGs 林業への挑戦	地上レーザ測量による森林資源・地表データの把握、自走式架線集材、新たな植付機等を実証
6	山口県	リフォレながと、山口県農林総合技術センター、住友林業	森林管理組織「リフォレながと」を核とした長門型林業経営モデル構築事業	ICT ハーベスタを活用した採材、需要情報システムを利用した流通、UAV による造林資材の運搬等を実証

4 普及活動

(1) 「2024 森林・林業・環境機械展示実演会」における普及活動

令和6年10月20～21日に福井県勝山市で開催された「2024 森林・林業・環境機械展示実演会」においてパネル展示を行った。



林機展のポスター

パネル展示の様子



(2)「林業イノベーション現場実装シンポジウム」における普及活動

令和7年2月5日に東京都江東区において開催された「令和6年度林業イノベーション現場実装シンポジウム」において、「新しい林業」経営の事例として柴田産業・住友林業Gによる「ICTを活用したCTLシステムによる垂直統合型経営モデル」の事業報告、林業機械化協会による「「新しい林業」経営モデル事業での12事例の成果と課題」の報告、パネルディスカッション「技術は林業の未来を変えるか」に有識者4名が登壇、また会場でのパネル展示を行い、事業の普及・PRに努めた。



令和6年度
林業イノベーション
現場実装シンポジウム
—新技術が拓く林業の未来—

林業の生産性向上と持続可能な経営の実現に向けて、林業の持続性向上と新技術の導入・実用化を目的に、地域への導入を促進する「林業イノベーション」が重要です。本シンポジウムは、最新の技術・経営の動向、各地域における実践を紹介するとともに、関係者間の交流の場を提供します。

日程	2025.2.5 (水)	2025.2.6 (木)
時間	10:30～17:15	13:00～17:30
会場	木材会館 7F 大ホール (東京都江東区新木場1-18-8)	主婦会館プラザエフ 7F カトレア (東京都平塚区六番町15)
プログラム	第1部 木質系新素材の開発・実証 第2部 林業機械の開発・実証 第3部 新しい林業経営の事例 第4部 パネルディスカッション	第1部 森ハブ事業報告 デジタル林業戦略推進事業報告 パネルディスカッション 第2部 情報交流会 (森ハブ会員限定)
定員	200人 (先着順) 定員に達し次第受付終了	第1部 200人 第2部 80人 (先着順) 定員に達し次第受付終了
申込方法	参加費無料 記載のURLまたはEメールにて事前申し込みください https://forms.gle/so723MMHh9V981517	第1部 参加費無料 第2部 参加費1,500円 記載のURLまたはEメールにて事前申し込みください https://forms.office.com/r/dvRaePsb6H
主催	一般社団法人 林業機械化協会	林野庁
お問い合わせ先	一般社団法人 林業機械化協会 E-mail: admin@rinakyokai.jp	事務局 一般社団法人 日本森林技術協会 E-mail: contact@morihub-info.com

シンポジウムのリーフレット



シンポジウムの会場



シンポジウムでの事例報告



パネルディスカッション



パネル展示の様子

(3) 動画の制作・公開

協会では「新しい林業」の取組・成果をより広く広報するとともに、新技術等の普及を図るため、プロモーションビデオを作成している。5年度に作成した6グループに引きつづき今年度事業を継続している6グループについて作成し、YouTube上で公開している。

また、(2)のシンポジウムを収録・編集した動画も公開している。

①PV 動画ー公開元ウェブサイト

- ・林業機械化協会 YouTube チャンネル

<https://www.youtube.com/channel/UC-jN5UMiFQer537-vPdr6tw>



「新しい林業」PV 動画

#	動画タイトル	再生時間
1	「新しい林業」PV 動画：北海道	19:03
2	「新しい林業」PV 動画：岩手	18:45
3	「新しい林業」PV 動画：福島	19:50
4	「新しい林業」PV 動画：長野	18:45
5	「新しい林業」PV 動画：三重奈良	17:58
6	「新しい林業」PV 動画：山口	20:40

1 北海道 【北海道】 北欧をモデルにした北海道 ・十勝型機械化林業経営 有限会社大畑林業 株式会社道通 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 株式会社フォアラ	2 岩手 【岩手県】 ICTを活用したCTLシステムによる垂直統合型 経営モデルの構築 株式会社東田産業 住友林業株式会社 岩手大学
3 福島 【福島県】 新たな技術を融合させた 経営モデル(古殿モデル) の実証 株式会社サンライフ 古殿町 福島県林業研究センター	4 長野 【長野県】 川上と川下のデータ連携を 柱とするコスト削減と山元 還元の実証事業 北信州森林組合 信州大学 野田林業計画株式会社 ウッドステーション株式会社(連結) 株式会社森林環境経営(連結)
5 三重奈良 【三重県・奈良県】 京阪奈+三重 需要地と供給地 の事業連携による新しい地方 創生型SDGs林業への挑戦 バイオマスパワーテクノロジー株式会社 株式会社玉手村 株式会社吉野園 株式会社森のエネルギー研究所	6 山口 【山口県】 森林管理組織「リフォレながと」 を核とした長門型林業経営モデル 構築事業 一般社団法人リフォレながと 山口県森林総合技術センター 住友林業株式会社

②シンポジウム動画ー公開元ウェブサイト

- ・林業機械化協会 YouTube チャンネル（前ページ参照）
- ・林業機械化協会 ウェブサイト お知らせ

<https://www.rinkikyo.or.jp/>



林業イノベーション現場実装シンポジウム 収録動画

#	動画タイトル	再生時間
1	新しい林業経営の事例_第3部_R6 林業イノベーション現場実装シンポジウム	37:38
2	パネルディスカッション_第4部_R6 林業イノベーション現場実装シンポジウム	1:06:53
#1		
#2		

※ 複数事業で併催したシンポジウムをプログラム順に番号付けしたため、動画タイトルが第3部、第4部となっている

(4) 月刊「機械化林業」における実証主体取組の紹介

「新しい林業」経営モデル実証事業についてより詳しく知ってもらうため、4・5年度に引き続き、協会の月刊機関誌「機械化林業」に各実証主体の取組内容を連載した。

①機械化林業 第845号（2024年4月）

「新しい林業」経営モデル実証事業

「新しい林業」に挑む！（8）

：【鹿児島県】岡本産業・鹿児島大学農学部 G



「新しい林業」に挑む！（8）

■事業テーマ：大隅で持続可能な林業を実現する先進林業モデル事業
「持続可能な林業を実現する OSUMI モデルの構築及び再造林が保証された
国産立木マーケットへの供給方式の実証」—OSUMI (Osumi Sustainable
forest Management Initiative) モデル

■実証団体：(株)岡本産業、上野物産株、鶴河木材店、山生産業株、大隅森林組合、山佐木材株
■支援機関：鹿児島大学農学部
(株)岡本産業や上野物産株など7者と鹿児島大学農学部は、林業生産活動が活発な鹿児島県
の大隅地域において、ドローンレーザ計画やロングリーチハーベスタなどの先進的な技術や
機械・機器等を活用して、安全で生産性の高い持続的な「新しい林業」のモデルとして、
OSUMI モデルを構築することに取り組んでいます。OSUMI モデルが構築されることによっ
て、森林所有者が再造林の意欲を持てるような立木価格が形成されるとともに、林業労働災
害の主要な原因であるチェーンソー使用による安全で効率的な作業システムが実現でき
るとみられています。その現状と課題、今後に向けた展望などを紹介します。

実証事業のテーマと実施体制

本実証事業のフィールドとしている大隅地
域は、曾於市、志布志市、鹿屋市、垂木市、
大崎町、串良町、錦江町、南大隅町、肝付
町の4市5町からなります。

地域内の森林面積は13万2000haで、内
訳は、民有林面積が8万4000ha、国有林面
積が4万9000haであり、人工林率は60%
と県平均の45%を上回っています。

このような資源基盤から生み出される年間
の素材生産量は50万m³に達しており、県
内の素材生産量(117万7000m³)の約4割
を占めています。地域内では大型製材工場が
本格稼働しているほか、志布志港から中国な
ど海外への国産材輸出も進んでおり、需要が
拡大してきています。

大隅地域は、2017年度から2021年度まで
国(林野庁)によって「林業成長産業化地域」
に指定されました。5年間に及んだ事業期間

中に、参加事業体の取り組みなどによって、
地域材の利用量が17万8000m³から23万
4000m³に増加したことをはじめ、次のよう
な実績が上がりました。

素材生産コスト：5700円/m³→5200円/
m³

再造林率：約40%→67%

再造林面積：190ha→452ha

このような実績を踏まえて、本実証事業で
は、次のような6つのテーマに取り組んでい
ます(図1)。

①森林資源調査

②素材生産

③木材流通1—画像検収と情報の共有画像
検収など

④木材流通2—StanFordによる需給情報
の共有など

⑤再造林技術

⑥保育省力化

「新しい林業」に挑む！（8）の誌面（抜粋）

②機械化林業 第847号（2024年6月）

「新しい林業」経営モデル実証事業

「新しい林業」に挑む！（9）

：【和歌山県】前田商行・日本森林技術協会 G



機械化林業 No. 847 2024. 6

「新しい林業」に挑む！（9）

■事業テーマ：先進的林業経営体によるタワヤーダフル活用モデルの構築

■実証団体：

代表林業経営体：前田商行様

代表支援機関：一般社団法人日本森林技術協会

前田商行様と（一社）日本森林技術協会は共同事業体を組織して、地形が急峻で機械な作業地でも安全で効率的な木材生産を実施していくために、築線系作業システムによって「新しい林業」の経営モデルを構築することに取り組んでいます。

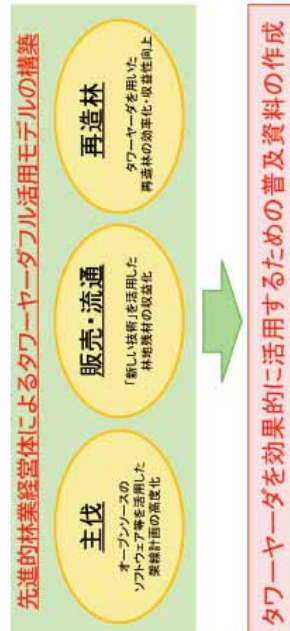
先進的なトラクタ搭載型タワヤーダを導入・活用している前田商行の事業実績を活かし、オーブンソーのソフトウェア等を活用した築線計画の高度化や林地残材の収益化、再造林の効率化及び収益性の向上などを目標としています。

本実証事業の成果は、急峻斜面地で木材生産に取り組みようとする林業経営体の参考となるように普及資料にまとめ、タワヤーダを使った効率的・効果的な木材生産モデルを各地に広げていくことにしています。

実証事業の事業地とテーマ

本実証事業では、和歌山県新宮市の後線林（面積 0.86 ha）を実証フィールドに設定し、次の3つのテーマに取り組みんでいます（図一参照）。

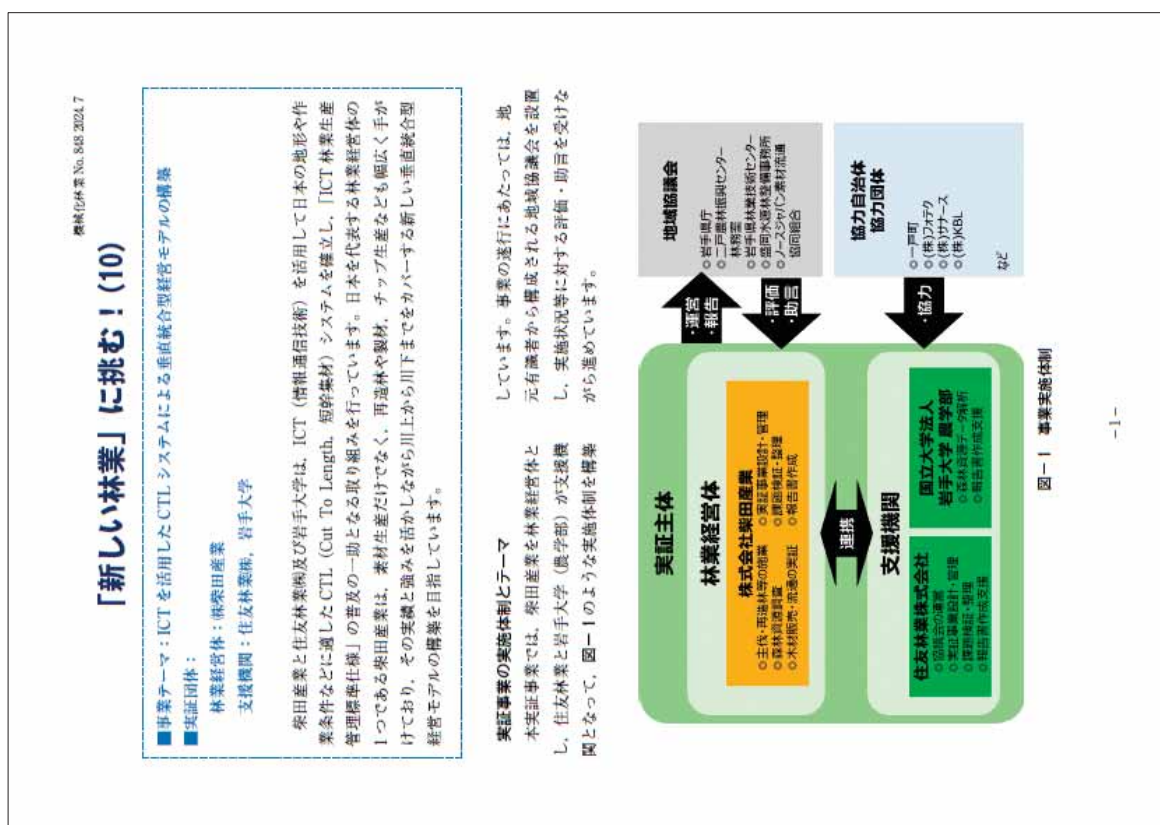
主伐（専用地）沿いにある主伐事業地（面積 8.04 ha）と、三重県熊野市にある再造林地



図一 本事業の実証テーマ

「新しい林業」に挑む！（9）の誌面（抜粋）

- ③機械化林業 第848号（2024年7月）
「新しい林業」経営モデル実証事業
「新しい林業」に挑む！（10）
：【岩手県】柴田産業・住友林業G



「新しい林業」に挑む！（10）の誌面（抜粋）

④機械化林業 第851号 (2024年10月)

「新しい林業」経営モデル実証事業

「新しい林業」に挑む！ (11)

:【長野県】北信州森林組合・信州大学 G



機械化林業 No. 851 2024. 10

「新しい林業」に挑む！ (11)

■事業テーマ：川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業

■実証団体：

代表林業経営体：北信州森林組合

代表支援機関：国立大学法人信州大学

支援機関：精密林業計画株式会社

長野県の北信州地域では人工林の多くが80年生を越えて主伐期に入ってきていますが、伐採量は大きくは増加していません。その主な要因として、主伐で得られた収入がほぼ再造林・育林費用でなくなってしまうという現状があります。

そこで、北信州森林組合などは、最新のテクノロジーを駆使した林業の効率化と、山元から住宅地帯までの一貫した木材供給システムを構築して山元還元を増やすことを目指しています。

実証事業の実施体制とテーマ

本実証事業では、全国でも有数の事業実行能力を持つ北信州森林組合が代表林業経営体となり、信州大学及び精密林業計画株式が支援機関となってサポートする体制をとっています。

北信州森林組合は、管轄区域内の民有林約3万7,000haのうち約6,000haの森林境界明確化を行い、施業集約化をして木材生産量をほぼゼロから1万1,000m³へ増やすとともに、航空レーザー計測技術やスマートフォンのような木材採取システムの活用、クラウド木材在庫情報共有システムによる共同出荷体制の構築などにも先駆的に取り組んでおり、長野県が進めている「スマート林業システムフォーラム NAGANO」でも中心的な役割を担っています。

このような実績を踏まえて、本実証事業では次のようなテーマに取り組んでいます。

1. ホロレンズを活用した造林下刈り作業

Microsoft 社が開発した混合現実デバイス「ホロレンズ」を使用して造林下刈り作業の効率化を図っています。

作業員がホロレンズを装着することで、計画した位置への苗木の植栽ができるうえ、植栽した苗木の位置の確認がしやすくなり、造林下刈り作業の正確性と効率性の向上が期待できます。

2. ドローンとレーザー計測による森林資源調査

ドローンをはじめとする各種レーザー計測機器を使用して森林の3D データを取得し、個々の木の樹高（高さ、直径、直径、曲がり具合など）を抽出する技術を使用しています。

この技術により、伐採前に木材の品質や量をより正確に把握することが可能になります。

「新しい林業」に挑む！ (11) の誌面 (抜粋)

⑤機械化林業 第852号（2024年11月）

「新しい林業」経営モデル実証事業

「新しい林業」に挑む！（12）

：【山口】リフォレながと・

山口県農林総合技術センターG



「新しい林業」に挑む！（12）

■事業テーマ：森林管理組織「リフォレながと」を核とした長門県林業経営モデル構築事業

■実施団体：

代表林業経営体：一般社団法人リフォレながと
代表支援機関：山口県農林総合技術センター
支援機関：住友林業株式会社

山口県の長門市は、「地域林業の司令塔」である「リフォレながと」が中心となって、新しい林業経営モデルの構築に取り組んでいます。ICTを活用した効率的な施業システムと地元産材を活用した「ながと型住宅」などを有償的に連携させて、川上から川下まで一貫した木材流通の仕組みづくりを目指しています。

実証事業の概要と実施体制

長門市の森林面積は26,839haで、そのほとんどが国有林です。人工林率は約46%で、スギが約34%、ヒノキが約12%を占めています。人工林は10齢級以上が54%以上を占め、伐採適期を迎えています。

長門市は、2017年度から林野庁の「林業成長産業化地域創出モデル事業」を活用して林業・木材産業の振興に取り組んでまいりました。その一環として策定した「長門市林業成長産業化地域構想」を実現するため、2020年7月に地域の関係者が出席して「一般社団法人リフォレながと」を設立しました（図-1）

林業成長産業化に向けた地域の司令塔

長門市・山口県西部森林組合・長門建設家協同組合・長門林産物需要拡大協議会
令和2年7月「一般社団法人リフォレながと」設立

施業の効率化・低コスト化

- ・施業の効率化
- ・森林所有権者、森林経営者、新法人による長門国庫林野事務所

新たな流通販売体系の確立

- ・木材流通販売体系に面するデジタル化・流通
- ・公共施設や個人住宅等の木造・木質化、木質製品の利用促進
- ・木質建材等のブランド化・付加価値化

担い手の確保・育成

《川上》 ← → 《川下》

「リフォレながと」が実現に努める組織

- ・林業が盛んではなかった地域において、先進的なICT技術等を用いて、森林生産量の増大が可能なことを実現
- ・森林所有権者や林業経営体の利益を優先する組織の形成により、森林生産量の増大が可能なことを実現
- ・地元産材であるながと型住宅のマネージメントを調整しており、需要拡大に期待

図-1 「リフォレながと」の概要

-1-

「新しい林業」に挑む！（12）の誌面（抜粋）

(5) 月刊「機械化林業」に酒井東大名誉教授による講義記事を掲載
有識者委員会の座長を務めていただいた酒井東大名誉教授による林業大学校学生に向けた
「新しい林業」特別講義」及び林業大学校との意見交換の模様を 2025 年 1 月号、2 月号
に掲載した。また、この特別講義の動画を YouTube 上で公開している。

①機械化林業 第 854 号 (2025 年 1 月)

【新年特別企画】

「新しい林業」特別講義 (前編) - 林業機械化の歴史 -



【新年特別企画】

機械化林業 No. 854 2025.1

「新しい林業」特別講義 (前編)
～林業機械化の歴史～

一般社団法人 日本木質バイオマスエネルギー協会 会長 酒井 秀夫

「参加した林業大学校」写真の上から
北海道立北の森づくり専門学院
岐阜県立森林文化アカデミー
高知県立林業大学校

【特別講義の動画】
https://youtube.com/akck_rub7w



(酒井秀夫は略歴)
東京大学農学部卒業
宇都宮大学・東京大学農学部助教授
東京大学大学院農学生命科学研究科教授
東京大学名誉教授



「新しい林業」では、新しい技術や機械の導入によって林業経営の収支の改善を図り、持続的な林業経営を実現することを目指し、実証事業を通じた経営モデルの構築が進められています(事業名:「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)。

同事業の有識者委員会座長の酒井秀夫氏から、林業機械化の歴史をたどり、現場への実証状況や同事業での取り組みなどを基に、林業機械化の役割・期待を語っていただき、これからの林業の中核を担うことが期待される林業大学校の皆さんとの自由な意見交換を通じて、今後の林業現場や林業経営の明るい未来を考える特別講義を実施しました。

本号では、まず特別講義の前半を掲載し、次号では後半の講義と意見交換の様子をお届けします。

1. 機械化以前と、機械化の黎明期-明治から大正期、昭和前半まで
機械が入る前の明治の初めごろまでの製材は、修羅や伐手(サデ)で木材を滑らせて、水場に溜めて川から流していました。

人間が運ぶ場合は、木馬と言う橋に乗せていて、1980年代まで各地で見られました。崩れないように橋で縛りながら車に解ける技術や、急勾配をワイヤーロープで制動する技術が必要でした。

「新しい林業」特別講義 (前編) の誌面 (抜粋)

①機械化林業 第855号 (2025年2月)

【新年特別企画】

「新しい林業」特別講義 (後編) -林業機械化の歴史-



【新年特別企画】

機械化林業 No. 855 2025. 2

「新しい林業」特別講義 (後編)
～林業機械化の歴史～

一般社団法人 日本木質バイオマスエネルギー協会 会長 酒井 秀夫

【参加した林業大学校】 写真の上から
北海道立北の森づくり専門学院
岐阜県立森林文化アカデミー
高知県立林業大学校

【特別講義の動画】
<https://youtube/akck-rub7w>



(酒井秀夫氏略歴)
東京大学農学部卒業
宇都宮大学・東京大学農学部助教授
東京大学大学院農学生命科学研究科教授
東京大学名誉教授

【意見交換会の動画】
<https://youtube/I0iA4brM2Sk>

前号に続き、「新しい林業」事業の有識者委員会座長の酒井秀夫氏の特別講義 (後編) と、林業大学校3校との意見交換会の模様をお届けします。

本特集は動画としても公開していますので、上記URLからぜひご覧ください。

前号のふりかえり

前号では、急速な円高や海外林業の国際競争力の高まりつつあった1985年から、日本林業にとって長い試練が始まったこと、1990年代以降、日本にもさまざまな林業機械が開発・普及していったこと、2012年のFIT制度から木質バイオマスの需要が生まれたということところまでお話をいただきました。

引き続き、林業の機械化の歴史について時代を遡っていきます。

7. 新たな林業機械

(1) クラムバンクでの全木集材

2014年に国産フォワーダーでの全木集材の試みが北海道の下川町でなされました。

荷台部分にクラムバンクを装着して、フォワーダーとも入れ替えができるようになっていまし

「新しい林業」特別講義 (後編) の誌面 (抜粋)

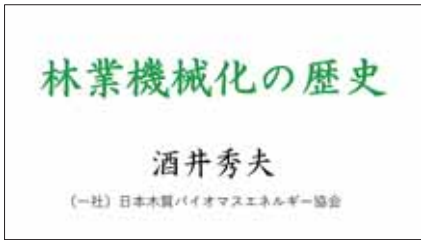
②特別講義動画－公開元ウェブサイト

- ・林業機械化協会 YouTube チャンネル

<https://www.youtube.com/channel/UC-jN5UMiFQer537-vPdr6tw>



特別講義動画

#	動画タイトル	再生時間
1	林業機械化の歴史：機械化林業_2025 新年特別企画	38:11
2	酒井秀夫氏と林業大学校の意見交換：機械化林業_2025 新年特別企画	41:37
1 林業機械化の歴史 		2 酒井秀夫氏と林業大学校の意見交換 

5 実証主体の取組状況

(1) 令和6年度事業に対する有識者委員会の評価

全体として、各実証主体は本事業の目的に沿った協議会や現地検討会を実施し、社会実装に向けた課題提起を行った。

新しい林業は、安全で、低コスト作業により、労働に見合った対価、報酬を捻出し、魅力ある林業でなければならない。

精密な森林調査、在庫管理ができるようになったので、森林の在庫状況を需要側と共有していくためには、双方のマッチングが必要になる。立木市場という新しい概念もでてきた。

本事業で最初から取り組んでいるICTハーベスタの課題や解決策も明らかになってきたが、需要側との相互理解が依然として必要である。今後はICTを活用したトレーサビリティなど、流通へのさらなる取り組みが望まれる。

立木に対する歩留まりを上げ、森林資源を有効利用する取り組みも重要である。北信州森組・信州大Gの乱尺造材の余った製品の利用、大坂林業・森総研Gのシミなど欠点のあるものを活用する仕組みも必要である。林地残材が大量に発生すると除地になってしまうので、林地残材が発生しない仕組みも必要である。

全国で主伐再造林の地拵えにコストがかかっているのが、サンライフ・福島県Gでのロングリーチを使った地拵え作業、それに合わせた路網の整備など、効率的な地拵えについて引き続き検討されたい。

木材の適正価格についても、シカ柵や再造林など、原価を消費者に説明する働きかけも大事である。グローバル化の中で安いものを買うのではなく、適正価格で適切な取引を心がけなければならない。そのためには品質管理や品質評価も重要になってくる。

造林費用 191 万円/ha という話も出たが、立木価格 5 千円/㎥で 400 ㎥/ha 出すとしたら 200 万円/ha の収入になるが、造林に消えてしまう。そうすると林業とは何なのかという疑問も生まれてくる。垂直統合によって山の価値を上げていきながら、地域での働く場の提供、公益的機能の発揮という観点からの評価も大事になってくる。

今回の事業成果から次の林業に向けた大所高所からの提言を抽出し、普及につなげていかなければならない。上記の他に、個別に着目されることを列記する。

大坂林業・森総研 G：前年度に引き続き、機械検知による合理化に取り組み、共通基準の確立を図った。欠点材対策、オペレータの育成など、さらなるノウハウの確立に取り組みたい。高精度位置誘導技術を活用した再造林・保育管理に取り組みましたが、農業でも AR（拡張現実）アプリが開発・普及してきているので、さらに最新技術を取り入れていただきたい。

柴田産業・住友林業 G：ICT と作業計画における PDCA の組み合わせに取り組みられたことにより、無駄を排除した高い労働生産性が期待される。こうした山側の情報をベースに、需要側との垂直統合型サプライチェーン構築を実現していただきたい。機械のメンテナンスや稼働率向上に StanForD の有用性を実証していただきたい。

サンライフ・福島県 G：粉碎ヘッドの取り付けの工夫に取り組みましたが、ロングリーチによる地拵えや下刈りに関してさらなる有効活用に向けた取り組みを発信していただきたい。アプリを使った植栽について、大坂林業・森総研 G の取り組みも参考になる。

北信州森組・信州大 G：ホロレンズを装着した下刈り作業の課題が明らかになったが、大坂林業・森総研 G で指摘した農業用 AR（拡張現実）アプリとの比較も行ってほしい。乱尺造材のノウハウの蓄積とともに、森林直販モデルが重要になると考えられる。

バイオマステクノロジーズ・森エネ研 G：架線集材の安全作業、定着化を引き続き図ってほしい。需要側とのマッチングについて多角的に検討し、再造林に関してはコスト低減とともに適地適木を明らかにして次世代につなげていただきたい。

リフォレながと・山口県 G：アクションカメラを使用した境界同意による団地化は波及効果が大きいので、ほかの地域にも広めたい。地上レーザ計測は、C 材部分の精度や等級判定が今後も検討が必要であることが明らかになった。ICT 作業のオペレータの育成が課題となった。

(2) 各実証主体の概要

各実証主体の取組の概要を、2ページの要約としてまとめた。

取組の詳細は、本報告書第2部に掲載するそれぞれの事業成果報告書を参照のこと。

要約では、次の5つの見出しで統一させた。

【実証のテーマ】

【実証の目標】

【4・5年度の実証結果】

【6年度の実証結果】

各実証団体が実証に用いた主な機械・機器・技術等

#	実証地	森林調査・測量			素材生産					再造林・保育				
		ドローン レーザ 計測	地上 レーザ 計測	植栽 位置 情報	ICTハー バスタ	架線 集材	カラー マーキン グ	写真 検知	木材破 砕機	機械活用による			獣害 対策	早生樹 広葉樹 植栽
										地拵え 下刈り	植付	苗木・ 資機材 運搬		
1	北海道	○		○	○		○	○		○	○	○		
2	岩手県	○			○		○			○				
3	福島県	○						○		○	○	○		○
4	長野県	○		○	○					○	○			
5	奈良県		○			○			○		○	○	○	○
6	山口県		○		○		○	○				○	○	

※ 各実証主体の取り組みを網羅したものではない点に留意

1	実証地	北海道
	事業名称	北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営
	林業経営体	(有) 大坂林業、(株) 渡邊組、(有) サンエイ緑化
	支援機関	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) フォテク

【実証のテーマ】

機械技術と ICT を活用した北欧林業をモデルにした、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。

【実証の目標】

①生産計画

- ・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、作業道計画経費を 1 割削減。
- ・LiDAR 搭載 UAV によって、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

- ・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。
- ・山側のデータをフル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

- ・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。

※ 実証結果は、【第 2 部】事業成果報告書 p26～29 の「3 実証事業の総括」を参照。

【4・5 年度の実証結果】

①生産計画

- ・LiDAR 搭載 UAV により、4 年度に 3.5ha、5 年度に 8ha の点群データを取得した。そのデータを解析ソフト ScanX に取り込み、地表面の抽出、等高線の出力、樹木分類、樹頂点抽出、樹高、樹冠面積等の把握を行った。
- ・出材量の予測値および伐採後の実績の比較では予測精度の高さが実証され、地域特性に応じたデータ蓄積の重要性が示された。

②素材生産・流通

- ・完全機械化 CTL（短幹集材）作業システムの実証に ICT ハーベスタを活用して、伐採した丸太の情報を StanForD 準拠の hpr ファイルで出力し、Excel 等で管理可能とした。

- ・普及機のハーベスタ（位置情報の付加や外部との通信ができない）複数機種も含めて、生産性の比較検証を行った。
- ・アプリケーション Timber base Cloud で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開発し、後工程となるフォワーダ集材と連携した。
- ・ハーベスタ計上材積と自動選木機との間の誤差がごく小さいこと（5年度は0.1%）が確認され、データ活用による流通の効率化の可能性が実証された。

③再造林・保育

- ・再造林作業の機械化システム構築のため、自動植付機（Bracke 社 P12.a）、乗用刈払機（筑水キャニコム社 山もつとモット）、クラッシャー（Seppi 社 MINI-BMS125）を活用し、地拵え、植栽、下刈り作業の効率化を目指した。
- ・植栽位置誘導装置を自動植付機に実装することで植栽列の整列性の向上、下刈りでの誤伐防止に寄与した（誤伐率0.8%）。乗用刈払機による列間下刈りでは、作業工期 0.7 人/ha と省力化の効果が確認された。

【6年度の実証結果】

①生産計画

- ・LiDAR 搭載 UAV により取得した 3D 点群モデルデータは森林資源把握、路網計画において高い有用性が確認された。樹木解析による本数や平均樹高、出材量予測では高い精度が実証されたとともに、データから得られる地表面モデル DEM を活用することで、作業道作設の効率化と安全性の向上を実現した。
- ・オルソ画像と樹高データを活用した AI 資源解析をトドマツ人工林において試みたところ、従来の全木毎木調査 4 人・日に対して UAV 調査 1 人・日と、大幅な省力化・人的コスト削減が確認された。また、資源量評価のさらなる精度向上には、撮影技術・解析スキルの改善という課題も明らかとなった。

②素材生産・流通

- ・機械検知材の径級区分を、人力検知、ICT ハーベスタ、製材工場の自動選木機の 3 種類で検証した。ICT ハーベスタのキャリブレーションや取引慣行の変革等の課題は残るものの、人力検知と比較して、機械類で大幅な検収作業の効率化・経費削減が確認された。

③再造林・保育

- ・電動クローラ型一輪車「斜楽」を活用した小型植栽ユニットを開発し、30° の登坂・下降状態を模した試験でも、平地と同様の作業時間で植栽が可能であることが示された（等高線方向の移動では、ユニットが地面に干渉したため、今後の改良が必要）。
- ・植栽試験では、自動植付機と人力用植栽器具（スプレーマーカ、電動オーガ、エンジンオーガ）を用いて、それぞれの作業効率と精度を検証した。
- ・植栽位置誘導装置は、高い誘導精度により自動植付機、人力植栽、乗用刈払機下刈りにおいていずれも効果を発揮し、コスト削減を上回る価値を提供することが確認された。
- ・位置誘導装置を取り外して下刈り作業を試験した結果、植栽列を見失う「ルートロス」が作業時間の約 13%を占め、位置誘導装置の有無が作業効率に与える影響が明確となった。

2	実証地	岩手県
	事業名称	ICT を活用した CTL システムによる垂直統合型経営モデルの構築
	林業経営体	(株) 柴田産業
	支援機関	住友林業 (株)、岩手大学

【実証のテーマ】

- ・素材生産から再造林、製材を含めた垂直統合モデルの構築。
- ・日本版 CTL (短幹集材) システムの確立。
- ・「ICT 林業生産管理標準仕様」の普及。

【実証の目標】

① 森林調査

- ・CTL システムを使用する現場でのドローンレーザ計測実施率 100% →全 4 ヶ所実施

② 素材生産

- ・CTL システムの現場における、素材生産コスト 1,000 円/m³ダウン →▲2,000 円/m³

③ 販売・流通

- ・需要情報を採材に活かした CTL システム現場から出材した自社製材工場向け原木の売上 5%向上 →+1.7%

④ 再造林

- ・林業用アタッチメント付きトラクタでの地拵面積 10ha/年 →11ha で機械地拵を実施

※ 3 か年の実証期間を通じた達成状況を『→』で記した。

【4・5 年度の実証結果】

① システム構築

- ・素材生産管理システムのうち、生産計画機能 (日別の収穫・搬出材積、複数現場への対応、土場に保管する材の情報表示、機体の走行軌跡表示、現場特記事項のメモ機能等) および作業進捗管理機能 (進捗把握・管理、生産性等の分析) を構築した。
- ・造林計画システムでは、地拵・植栽・下刈等造林作業の進捗把握や、地形データから最適な植栽列の設計、植栽列を考慮した地拵用トラクタの走行軌跡の設計を行った。

② 森林調査

- ・相対高度 80m で飛行し、地上点密度約 400 点/m²のデータを取得した。点群加工および樹頂点抽出を行い、DEM 作成や資源量の推定を行った。
- ・ドローンレーザ計測の実施前に写真による対象地の DSM を計測して、相対高で地形に追従した飛行 (コンターフライト) が可能となった。
- ・ドローンレーザ解析で得た詳細な森林情報から資源量把握に加え、単木位置、幹材積、地形傾斜等データを基に生産性予測モデルを検討し、伐木造材時間を約 50%精度で予測可能となった。

③ 素材生産

- ・ハーベスタの走行軌跡と玉切りした原木の位置情報等を記録し、フォワーダへ情報

(StanForD 準拠データ) を共有する機械連携の機能を高めた。

- ・カラーマーキング機能が、現場での材の径級判別に有効であることを確認した。フォワーダによる集材時、径級による種別分けが簡素化され、所要時間が短縮された。
- ・素材生産コストは、燃料や資材にかかる費用の高騰により目標は未達となった。前提条件の変動と生産性の向上効果を切り分ける要因分析が必要である。

④流通・販売

- ・カラーマーキング機能によって、改良により着色精度を向上させるとともに、自社工場向けの検知作業の効率化・省略により出材量が増加した。

⑤ 再造林

- ・トラクタに地拵用アタッチメントを付けた機械を導入し、緩傾斜地で伐根を含めて問題なく破碎できることが確認できた（急傾斜地では刈払機による作業）。

【6年度の実証結果】

①システム構築

- ・前年度までに構築した素材生産管理システムの生産管理機能・作業進捗管理機能の実証、有用性を高める機能の追加、現場への導入を行った。
- ・造林計画システムは、今年度に造林計画・現場設計機能を構築した。
- ・垂直統合モデルの構築という実証テーマに関して、作業班内・管理者と作業班・素材生産部門と製材工場部門での情報共有が可能となった。
- ・日本版 CTL システムの確立というテーマでは、精緻な地形・森林資源情報により CTL システムの導入可否の判断と、精度の高い生産計画の立案ができた。

②森林調査

- ・市販のドローン機体・センサー等の汎用品を用いて、LiDAR 計測を行った。他の林業事業体でも導入・運用が容易なシステムのため、普及展開を図ることが可能である。
- ・今年度、柴田産業における全4ヶ所の作業現場でドローンレーザを活用した計測・解析、材積推定を実施し、目標を達成した。

③素材生産

- ・ハーベスタとフォワーダの機械間連携を高める生産管理機能では、ハーベスタの走行軌跡と玉切りされた丸太位置をフォワーダに共有され、経験の浅いオペレータも生産性を下げずに作業を行い、集材漏れの防止につながった。
- ・システムへのデータの反映はオペレータが手動で行う必要があること、大曲り材や広葉樹等は、造材データを取得できない等の課題が残った。
- ・作業進捗管理機能の活用により、途中段階でも進捗率の確認が可能となり、目標とする月間素材生産量との差異（原因の一例：機械の故障）などが見える化された。

④流通・販売

- ・カラーマーキングの改良により、着色の精度をさらに向上させた。
- ・自社工場において仕分け作業や在庫管理に要する時間が短縮された。

⑤再造林・保育

- ・クラッシャーによる地拵えにおいて、伐根破碎物の散布によるマルチング効果を検証したものの、対象地において期待された競争植生の抑制効果は確認されなかった。

3	実証地	福島県
	事業名称	新たな技術を融合させた経営モデル（古殿モデル）の実証
	林業経営体	（株）サンライフ
	支援機関	福島県林業研究センター、古殿町

【実証のテーマ】

レーザ航測データを活用した路網設計支援ソフト FRD や、クローラ型の電動一輪車等の新技術の実証を行うとともに、林業者からエンドユーザーへの働きかけとして「持続性確認可能木材」を流通させる古殿モデルの実証。

【実証の目標】

- ・ ICT を活用した効率的で将来的に成長できる林業事業体の体制づくり
- ・ 新技術を活用した伐採、造林、保育作業の軽労化、低コスト化
- ・ 投資回収までの期間短縮、内部収益率（IRR）の向上
- ・ 持続性確認可能木材の定着 → 販路拡大、立木価格の向上（将来）

【4・5年度の実証結果】

①ICT 活用

- ・ 主伐再造林地 3ha での森林作業道の路網設計において路網設計支援ソフト FRD を活用し、人力と FRD で比較したところ、緩傾斜では路線案が複数生じて絞り込みが難しい反面、30° 以上の傾斜地では踏査作業等において FRD の効率が優れることを確認。
- ・ 路網設計の測量作業に GNSS を試行し、既存測量と比較して省人化できることを確認した（2人作業→1人作業、所要時間は変わらず）。
- ・ ドローンを撮影したオルソ画像に目視で樹木をマーキングして森林資源量の把握を試行した。目視では DBH30cm 以下の立木のカウント精度が低いことが確認された。
- ・ スマートフォン用丸太検知アプリを検証して、製材用丸太の工場直送には有効であること、現行のライセンス料と取扱数量の費用対効果が見合わないことがわかった。

②現場作業の機械化

- ・ ベースマシン（0.45 クラス）のヘッドにマルチャーを装着して地拵え作業を行った。切削歯の変更等改良を経て、枝葉や根株の粉碎にかかる作業効率の向上を図った。
- ・ 植栽時の苗木運搬作業に電動一輪車を活用し、最大傾斜 19 度（枝条あり）の斜面やトラバース方向でも、積載状態で問題なく走破可能なことを確認した。人力での植栽作業効率 200 本/日から 250 本/日への向上および労働負荷の軽減が示唆された。

③新たな経営手法

- ・ 初期投資の最小化を目指して、早生樹（キリ、コウヨウザン、スギ大苗）を植栽して育成調査を行った。コウヨウザンの 4 割でウサギの食害が発生した。

④トレーサビリティの確保

- ・ 再造林費に見合った立木価格形成のため、ハウスメーカー感謝祭での一般施主へのアンケート聴取等、エンドユーザーへの働きかけを行った。

【6年度の実証結果】

①ー1 ICT活用ー路網設計支援ソフト FRD

- ・FRDの実践的な導入を行うため、急斜面での活用を実証した。FRDの提案路線と、実際に人力踏査・開設した路線の線形は異なるものとなったが、現地に入る前段階での机上の地形分析や、線形の方角感を得るのに活用できることがわかった。
- ・踏査・設計時に調査者が考慮する重要な要素である、原木の収穫量を加味した提案機能がソフトにはない。
- ・現地踏査において見渡せないような大きな面積、尾根をまたぐような作業現場では、人力踏査に限界があるため、FRDが有効である。

①ー2 ICT活用ーノーコードアプリ

- ・スマートフォンアプリを自社で開発する「ノーコードアプリ」を導入して、林業機械管理アプリと現場進捗管理アプリを社員自らが開発した。
- ・社内の運用には、基本操作と高度操作の説明会・研修を計2回（各3時間）行った。
- ・常時7現場において約40台の林業機械が稼働しており、機械の所在地や状態（故障の有無）、日々の給油量（免税経由の申請に必要な情報）を把握・集計するのが困難であったが、アプリの運用により、事務作業が軽減され、費用対効果が大きいたことが確認された。今後も、新たに把握・管理すべき情報のニーズが発生した場合には、アプリを自作することで対応するという方策ができた。

②現場作業の機械化

- ・マルチャーヘッドを0.25クラスに小型化、ロングリーチの機体（0.45クラス）に装着して、下刈り作業を実証した。
- ・マルチャーヘッド回転軸をアームに対して直角に取付け（横置き）、植栽列に沿うブーム・アームの引寄せ動作で下刈りができる構造とした（地拵えは縦置き・旋回動作）。
- ・以下の工夫により、誤伐防止の効果が確認された：
 - マルチャーヘッドに装着したライブカメラの映像を、オペレータがキャビン内のモニターで確認できること
 - ヘッドの金属ガードにより苗木が回転刃に接触しづらいこと
 - ヘッドの動作が植栽列と並行すること
- ・機械下刈りは、植栽列の整列性（まっすぐに植え付け）が前提となる。
- ・すべて人力作業とのコスト比較（年間下刈り面積100ha）においては、マルチャーのコストメリットは約40万円に留まったが、夏場の過酷な作業の省人化という効果の大きさが感じられた。

③新たな経営手法

- ・バイオマス利用を目的として早生樹（ユーカリ、ユリノキ、センダン、チャンチンモドキ）を6月に試験植栽した。
- ・5年度に植栽したキリは、適切な施肥により1年生で4m弱、DBH6cmと良好な成長が確認されたが、カミキリムシ虫害対策の管理コスト省略が困難な結果となった。

④トレーサビリティの確保

- ・施主候補を対象に電動アシスト自転車による林業ツアーを開催し、8名が参加した。
- ・適切な森林管理の関心度合いをアンケートで調査した。

4	実証地	長野県
	事業名称	川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業
	林業経営体	北信州森林組合
	支援機関	信州大学、精密林業計測（株）

【実証のテーマ】

スマート林業と製材・建築のデジタル連携を柱とする流通コスト削減と受注生産による山元還元

【実証の目標】

乱尺材（丸太需要者の求める、過不足のない様々な長さの丸太）の造材指示を入力した ICT ハーベスタを用いた素材生産で材を納入した場合、主伐費用の抑制、材の歩留まり、別に販売する剰余部を含めた利益の上昇も検証する。

丸太販売価格の向上とドローン・ホロレンズといった新技術の導入により、再造林・保育コストの削減、所有者還元の増加、主伐へのインセンティブ向上の効果を実証する。

【4・5年度の実証結果】

①森林資源調査

- ・カラマツ人工林約 1.3ha のドローンレーザ等により計測された 3D 点群データから、主伐地の単木の精密森林資源情報を算定した（オルソ画像、単木位置、樹高、胸高直径）。
- ・単木の幹点群から 10cm の高さごとに円盤状の点群を自動抽出し、そこから円形フィッティングのアルゴリズムを使用して、高さごとの直径・矢高（曲がり）を計算する造材シミュレーションプログラムを開発、220 本の立木に適用した。

②素材生産・主伐

- ・住宅の木拾い情報から「どの住宅部材を森林内のどの木のどの位置から取る」という 1 対 1 の引き当てを行い、丸太 30 本の造材指示を用いて ICT ハーベスタによる乱尺造材を実証した。スリップ等送材エラーによる長さ不足を避けるため、鋸断前にオペレータが下車して巻尺で実寸を測定・確認する作業を付加した上で造材した。
- ・本実証ではハーベスタ生成造材データ（長さ・末口径）に高い寸法精度が求められ、StanForD2010 が持つキャリブレーションデータの蓄積による精度向上の仕組みを日本で運用することで、末口径の精度向上が期待される。
- ・1 対 1 の引き当てに基づいて造材した丸太の内部品質が製材工程で使用不可とならないよう、造材時に品質チェックスクリーニングによるロス回避が重要だが、立木の状態での内部品質の確認は困難である。1 対 1 の引き当てではなく、資源調査から得た「A という部材が今回伐採の林分から〇〇本取れそう」という情報を素材生産の現場で活用するのが、現在の技術レベルで現実的な方法と言える。

③流通・販売

- ・地元製材所に丸太納品、製材、乾燥、養生を行うとともに、地元工務店と連携して製材の検品、プレカット加工、大型パネル製造、貸家 2 棟を上棟した。

- ・A材丸太30本を地元製材所で一本ずつ検品したところ、曲がり・直径不足・木口品質による欠落から、使用可能な丸太は7本という結果となった。

④再造林・保育

- ・植栽支援ツールとしてホロレンズによる植栽支援を検証した。主伐後にドローン計測で地形情報と枝条集積箇所、植栽本数を元に作成した植栽計画マップをホロレンズに情報転送し、ホロレンズを装着した植栽担当者が植栽地にサイン表示された場所にナビゲートして植栽を行い、ホロレンズ装着有無による植栽作業を比較した。

【6年度の実証結果】

①森林資源調査

- ・スギ林約0.2haを対象にドローンレーザとモバイルレーザでの計測を行い、スギ造材シミュレーションプログラムを開発した。令和4年度に開発したカラマツとは異なる樹種でも、シミュレーションを行うことができた。

②主伐・流通

令和6年度実施なし

③流通・販売

令和6年度実施なし

④再造林・保育

- ・前年度の植栽に続き、対象地約1.3haでホロレンズを用いて下刈り作業を検証した。ホロレンズを通して苗木の植栽位置を投影して、下草に隠れた植栽位置を複合現実で把握することで下刈り作業の効率化を図る実証を行った。
- ・対象地の北側半分をホロレンズありの下刈り、南側半分はホロレンズなしでの下刈りとして、作業日単位での下刈り完了面積を比較した。全般的にホロレンズありが、なしを上回る結果となった。下刈り作業のナビゲーションも重要であるものの、対象地の状態（植栽位置の規則性や地拵の仕上がり）の影響が大きいと考察された。
- ・屋内用のホロレンズの野外で使用したため、定期的な位置の校正が必要なこと、装着しながらの作業に不具合が生じるといった課題から、実用化にはソフト・ハードの両面で改良が必要ながことが明らかとなった。

⑤経営モデル構築

- ・経営モデルとは、先端技術を武器として、山側が自ら建築の世界に足を踏み入れ、木材を建築部品として高付加価値を付けて販売することで、山に再造林と経営維持が可能な利益を還元する構想である。
- ・具体的には、リモートセンシングによる森林資源情報と、概算見積もりAI（工務店支援システム）、木造大型パネル技術を結び付けることで、地域の森林と社会を守る最適モデルの仕組みである。
- ・経営モデルの実現可能性に関して、自治体や森林組合、素材生産・造林事業者、木材業者、建築関連事業者に対して聞き取り調査を行った。各々の組織・団体が従来の事業領域に留まらず、デジタル化された情報（山の資源から、建築の部材まで）が連携することで、新しい木材・木製品の流通が展開する可能性がある。

5	実証地	京都府、大阪府、奈良県(主)、三重県
	事業名称	京阪奈+三重 需要地と供給地の事業連携による新しい地方創生型 SDGs 林業への挑戦
	林業経営体	バイオマスパワーテクノロジーズ (株)、(株) 玉木材、(株) 古家園
	支援機関	(株) 森のエネルギー研究所

【実証のテーマ】

京阪奈+三重 需要地と供給地の事業連携による新しい地方創生型 SDGs 林業への挑戦

【実証の目標】

①森林調査

- ・林地でのレーザ測量技術及び取得データ解析技術の習得。
- ・レーザ測量データ及び 360 度カメラでの計測データを用いた近隣山林所有者への説明。
- ・RTK-GNSS 活用による隣地境界確定。

②素材生産

- ・コスト低減額 9,700 円/m³ (ヘリ集材 16,600 円－架線系+車両系集材 6,900 円)。

③流通

- ・新たな流通システムの具体的仕組みと構成メンバーの確立。
- ・実証事業によるターゲットとする製品、コスト、品質基準を策定。
- ・多様な広葉樹材のマーケティング・ニーズを把握。

④再造林・保育

- ・多様な樹種を活用した確実な成林、獣害対策を確立。

【4・5年度の実証結果】

①森林調査

- ・地上レーザと森林資源管理システムを用い、約 7 ha で単木の森林資源情報を取得した。
- ・解析で得られた微細な地表データから、獣害対策・災害発生予測等を考慮したゾーニングによる適地適木の造林計画を立案した。
- ・需要側向けのデジタルデータ活用として、地上レーザで計測した単木のデジタルデータベースと現地確認の照合した結果、推計と出材の材積はほぼ一致して資源量の推計には有効であった一方、製材工場向け良材候補の絞り込みのための品質データ (太さ・曲がり・傷等) としては精度が十分ではないという考察結果となった。

②素材生産

- ・約 2 ha の皆伐・架線搬出作業の素材生産コストは 13,048 円/m³ (市場手数料含む) となり、直近のヘリ集材コスト 27,800 円/m³ の半額ものコスト低減効果が確認された。
- ・皆伐・架線搬出 (ウッドライナー・グラップルを使用、トラック輸送まで) による素材生産コスト (1.5ha の主伐) は、作業員の架線作業習熟もあって 11,924 円/m³ と、4 年度より 1,124 円/m³ 減少したが、目標の 10,000 円/m³ には至らなかった。
- ・急峻な作業現場において、自走式搬器の操作習熟や、インカムの採用に伴うコミュニケーションの円滑化によって、労働強度の軽減及び安全性の向上が確認された。

③流通・販売

- ・川中、川下の企業も含めた流通分科会や各社ヒアリングを通じて、高品質・高価格製品の流通の仕組みづくりを検討した。
- ・約 120 年生のスギ 10 m³、ヒノキ 10 m³について、立木段階での造材想定と製材工程での造材取れ高を比較調査し、利益率の高い原木の傾向・外観を確認した。
- ・製品規格に対応した径級・形状・玉順の判断基準といった木材評価基準の見直し、高値で売れる原木情報を川上と川下で共有する仕組みづくりが必要である。

④再造林・保育

- ・②の皆伐地で、設置済の架線を獣害対策機材や苗木の運搬にも活用し、再造林を行った。獣害や気候条件を考慮してウバメガシ・コナラ・クヌギ・ミズナラ・センダンを植栽し、同時期に植えたスギ・ヒノキ・アカマツと遜色のない生育が確認された。
- ・実証地は、甚大な獣害に見舞われているエリアであり、ゾーンディフェンスによるシカの通り道の設置、ヘキサチューブ設置（地形変化の多い場所）による獣害防止効果を確認した。
- ・苗木、獣害対策資材の荷上げにウッドライナーを活用することで、人力と比較して作業の省力化、労働強度の低減が確認された。
- ・シカの食害により下層植生がない試験地でセンダンの直接播種を行った。シカの食害を受けても成長が続くことから、痩せ地での植生回復が期待される。

【6 年度の実証結果】

①森林調査

- ・ドローン撮影により、防獣ネットの落石等による被害の確認や植林木の生育状況を上空から視認することで、人力見回りの 3 倍程度の効率という大幅な省力化が確認できた。

②素材生産

- ・4～5 年度の実証地の林地残材を、移動式チップパーでチップ化する実証を行った。
- ・山土場でのチップの製造コストは 9,100 円/生 t という結果となり、片道 30 分以内・1 日 3 往復 t という条件であれば、輸送費込みでも収支の合う試算が得られた。チップパーの稼働日数 150 日/年、チップ生産 1,725 生 t/年という事業量の確保が課題となる。

③流通・販売

- ・植栽した広葉樹の将来的なニーズ・販売用途に関する情報収集を行った中で、RP 加工（多様な樹脂を木材と一体化させる技術）について検討した。広葉樹を RP 加工した実績もすでにあり、多様な樹種・形状等の原木を原材料とすることができれば、新たな需要を創出や高付加価値化を通じて山元の収益向上が期待できる。

④再造林・保育

- ・5 年度に獣害対策・植林を行った勢井実証地では、食害を受ける頻度が減り、90%程度の高い残存率となった。
- ・センダンの直接播種試験では、播種後 19 か月の生存率が 4 %～10%という結果が得られ、成林が困難な林地や林道から離れた林地での適用に期待が持てる結果となった。
- ・苗木運搬・植付作業に電動クローラー輪運搬車「斜楽」を試行し、人力植栽と比較した。電動オーガドリルでの植栽は、実証地の土壌では能率が高く有効だった。

6	実証地	山口県
	事業名称	森林管理組織「リフォレながと」を核とした長門型林業経営モデル構築事業
	林業経営体	(一社) リフォレながと
	支援機関	山口県農林総合技術センター、住友林業(株)

【実証のテーマ】

長門市内の関係者が出資・設立したリフォレながとが地域林業の司令塔となり、地上レーザやICT ハーベスタなどの先進的技術を駆使し、素材生産効率や労働安全性を高めるとともに、製材工場等との詳細な需要情報の共有を図ることによって、原木の付加価値を高め、林業収益性の向上につながる経営モデルの構築を実証する。

【実証の目標】

①集約化（施業地確保）

- ・皆伐に加え、間伐など私有林との長期施業委託契約面積：150ha/年 →190ha/年

②素材生産

- ・ICT ハーベスタ導入によるコストダウン（素材生産効率化）：500 円/m³ →約 200 円/m³
- ・ICT ハーベスタの導入により、確保する新規参入事業体：1 社 →1 社

③流通・販売

- ・需要者との情報共有によるバリューアップ、山から直送することによる運送効率化のコストダウンによるプライスアップ：合わせて 500 円/m³ →1,300 円/m³
- ・安定的な供給体制構築による、「ながと型住宅」建設：5 棟/年 →5 棟

④再造林・獣害対策

- ・皆伐実施後の再造林率：100% →100%
- ・ICT を利用した罠によるシカの捕獲：100 頭/年 →100 頭/年

※ 3か年の実証期間を通じた達成状況を『→』で記した。

【4・5年度の実証結果】

①集約化（施業地確保）

- ・ICT を用いた森林所有境界の明確化のため、アクションカメラ等（4年度はスマートグラス）により山林現場と公民館をWEB 会議システムでつないで現地映像を説明した。出席した森林所有者のアンケートでは、信頼性・納得感などで高い評価が得られた。
- ・立木評価を4事業地で実施し、3種類の地上型レーザ計測と航空レーザについて、毎木調査との精度を比較した。調査の省力化が確認できた機種もあったが、蓄積（m³/ha）の誤差が見られ、算出式の見直しを検討する必要という結果となった。

②素材生産

- ・0.45 m³サイズの ICT ハーベスタのバリューバック機能（細り予測）を用いて、販売単価や生産性の比較を行い、建設業等の造材初心者と経験者の双方で同機能が有効であった。
- ・Google フォームや表計算ソフトをオペレータの作業日報を電子データ化して、入力やグラフ化を簡素化し、進捗率の把握や生産性・コスト分析に活かした。

③流通・販売

- ・ながと型住宅が5年度に5棟完工し目標を達成した。

④再造林・獣害対策

- ・最大 55kg の運搬が可能な大型ドローンを用いた苗木、獣害ネット等資材の運搬を行い、人工数・経費を人力運搬と比較した。ドローン運搬を外部委託したことで人力よりも費用は掛かり増しになったが、労働強度の軽減効果が聞き取りにより確認された。一定の事業量を確保できれば、機体の購入・運用の可能性もある。
- ・猟友会と連携した効率の良い捕獲システムの確立を目指し、センサー付き通信機器と小型囲い罠や、長門では事例が少ないくくり罠を組合せて、3ヶ月で30頭を捕獲した。
- ・長門市内全域4地区の再造林地 15.19ha でのシカ捕獲の実証を行い、くくり罠とセンサー付き通信機器の組合せにより、3ヶ月で25頭を捕獲した。カメラによる巡視の軽減と、猟友会による捕獲を通じて、見回り作業で7万円/年のコストダウンが見込めた。

【6年度の実証結果】

①集約化（施業地確保）

- ・地籍調査が完了していない森林で、境界候補図の策定と森林所有者から境界同意を行った。林地台帳等から所有者が特定できた林地は全体の3割以下であり、地元の森林に詳しい者を境界明確化推進委員として協力を仰ぎ、昨年度と同様の方法で同意を得た。
- ・2種類の地上レーザ LA03 と OWL で皆伐予定地の森林資源調査を行い、毎木調査と比較したところ、丸太販売価格予測に活用するには、径級・等級（曲がり）とも精度は低い結果となった。
- ・航空レーザと LA03、県の細り式を組み合わせたラインプロット調査（計測面積 0.41ha）では、出材材積見込 3,426 m³（5.66ha）に対して 3,339 m³と、2.5%の差に収まった。

②素材生産

- ・長門型住宅に必要な材を含め、県内外の製材工場への直送を行い、製材用・合板用ともに原木市場よりも高い販売価格となった。
- ・直送に際して土場での在庫・トラック手配のための検知アプリとして、iPhone 版 Mapry を活用した。検知時間が手検知と比較して大幅に短縮された上、本数は正確であったが、径級・材積に10%程度の誤差が生じた。
- ・異業種の長門建設業協同組合が皆伐作業を実施するにあたり、計測により得られたレーザデータと森林 GIS を用いて 3D 化するなど、作業手順や作業道の開設線形を説明したことで、作業開始前の理解が進んだという感想を得た。作業中には、オペレータの作業日報を Google フォームや表計算ソフトによりグラフ表示したことで、計画と進捗の差異等が見える化された。

④再造林・獣害対策

- ・苗木の運搬に電動一輪車を活用し、再造林に係る労働負荷の省力化と労働強度の軽減を図った。機械代を含めた運搬費用は、人力よりも安価な結果が得られた。
- ・特定苗木コンテナ苗の植栽を山口県の第一期として配布を受け、漁業の閑散期である冬季に「山口県漁業協同組合長門支部」が植栽した。
- ・猟友会と連携して捕獲したシカを、ジビエ加工場でジビエとして活用し、市内の道の駅などでシカ肉を販売する体制を構築した。

【第2部】

各実証主体の事業成果報告書

林野庁補助事業

令和6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7年2月

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	1
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年度及び5年度の実施結果及び課題	5
2 令和6年度の実行結果	7
3 実証事業の総括	26

III 今後の事業の展開方向	29
----------------	----

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(株)、機械検知材の受入れ検討を行った(株)サトウ、(株)関木材工業、(有)大坂林業と連携し、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 I-1）。



図 I-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 I-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。

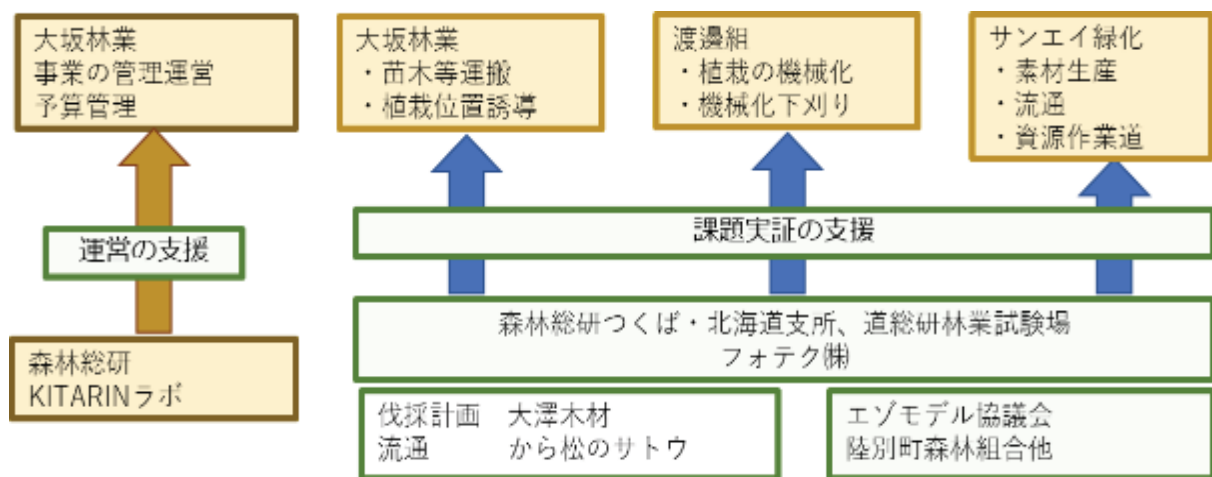


図 I-2 実証事業関係団体

6 実証事業の内容

1) 実施場所

図 I-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、新得町の5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、美唄市、旭川市、下川町）および茨城県つくば市等に所在する各機関から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 I-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つ。
- (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年度及び5年度の実施結果及び課題

1) 生産計画（資源把握・路網作設）

(1) 令和4年度の実施結果

令和4年度には、LiDAR搭載 UAV を活用した森林資源管理と路網作設の効率化を目指した実証が行われた。調査対象地（約3.5ha）において、UAVによるフライト時間は10分と短時間でありながら、従来的人力による1日分の作業を代替できる効率性が確認された。取得した点群データを解析し、地形モデルや樹木情報（樹高、樹冠面積等）を抽出した結果、樹木本数の誤差0.08%、樹高の誤差5.2%と高精度であった。これにより、現場踏査作業の大幅な削減と安全性向上が実現した。

また、地形解析を基にした路網計画では、等高線や地形分類を活用し、既設路網や障害物を考慮した効率的な路線選定が可能となった。一方で、解析精度の向上や、解析ソフトウェアのパラメーター設定の標準化といった技術的課題が明らかになった。これらの課題を克服することで、適用範囲の拡大が期待された。

(2) 令和5年度の実施結果

令和5年度には、調査範囲を約8haに拡大し、大規模なデータ取得が行われた。取得した点群データを基に、資源量や樹高、体積の精度の高い把握が可能となり、出材量予測の精度も向上した。伐採後の実績との比較において、精度の高さが実証され、地域特性に応じたデータ蓄積の重要性が示された。

路網計画では、地形モデルを用いた計画立案の効率化がさらに進展し、新設路網の提案において既設路網との連携やコスト削減の可能性が明確となった。ただし、現場条件に適したデータ解析方法や、路網作設における法規制対応の必要性が引き続き課題として残された。

(3) 令和6年度への継続の必要性

令和6年度の取組は、これらの技術をさらに実務に適用するために必要不可欠であった。特に、地域ごとのデータ蓄積と標準化、路網計画の精度向上に向けた実証が進展することで、持続可能な森林経営モデルの確立に寄与することが期待された。

2) 素材生産・流通

(1)令和4年度の実施結果

令和4年度には、ハーベスタとフォワーダによる完全機械化CTL (Cut to Length) 作業システムの実証を大樹町 60-51 小班のカラマツ人工林(約 3.4ha、皆伐地)で行った。StanForD (Standard for Forest machine Data communication) を山側と製材工場間での情報共有の核として活用し、生産データの標準化を図った。ICT ハーベスタには、作業指示ファイルを用いてリミテーション機能やカラーマーキングを活用し、材の仕分け効率化を実現した。作業終了後にはhpr (Harvester Production Report) ファイルを出力し、生産量や伐採木ごとの情報をExcel等で管理可能とした。

ただし、普及型ハーベスタではStanForD 準拠のデータ処理に制限があり、位置情報の付加やリアルタイム通信が難しかった。この課題を克服するため、GNSS を搭載して移動経路を示し、Stem の時間情報と絶対座標を付与するアプリケーション「Timber base Cloud」を開発。Google Map 上で丸太情報を可視化し、効率的な生産管理を可能とした。作業結果として、11 日間で704.8m³の生産量を記録し、生産性は64.1m³/人・日を達成した。

さらに、ハーベスタによるカラーマーキングを活用し、製材工場への無検知材輸送の可能性を検証した。生産データと工場での自動選木機データを比較した結果、本数や材積において高い一致率が確認され、データ取引の可能性が示唆された。一方で、運材トラックにおける写真検知の精度向上や、現場での材の取り残し防止が課題として挙げられた。

(2)令和5年度の実施結果

令和5年度には、作業範囲を拡大し、カラマツ人工林でのCTL 作業を継続実施した。ICT ハーベスタに加え、PONSSSE 社製やKETO 社製のハーベスタヘッドを導入し、複数機種による生産性の比較検証を実施した。Timber base Cloud は、地形データの重ね合わせ機能や材のソート機能を追加し、現場での活用性が向上した。

また、フォワーダ集材においては、積載比重の計測に基づき、生産量の重量検収が可能であることを示した。伐採木の質量や材積のデータを蓄積し、林地残材の割合や特性も明らかになった。さらに、自動選木機との比較において、ハーベスタ計上材積との誤差が小さいことが確認され、データ活用による流通の効率化の可能性が実証された。

(3)令和6年度への継続の必要性

令和6年度においては、これらの技術をさらに現場で活用し、業務の効率化と標準化を進めることが不可欠であった。特に、ICT ハーベスタと自動選木機を活用したデータ取引の拡大や、Timber base Cloud を活用したデータの統合管理が、地域の林業モデルとして確立されるための重要な要素となる。

3) 再造林・保育

(1)令和4年度の実施結果

令和4年度には、再造林作業の機械化システムを構築し、陸別町のカラマツ伐採跡地に試験地を設定して実証試験を実施した。スウェーデン製自動植付機 (Bracke 社 P12. a) 、

乗用刈払機（筑水キャニコム社 山もつとモット）、クラッシャ（Seppi 社 MINI-BMS125）を活用し、地拵え、植栽、下刈り作業の効率化を目指した。

地拵えでは、クラッシャが伐根全数を破碎し、乗用刈払機は列間伐根を破碎。植栽では、自動植付機による作業工程は平均 22.7 秒/本（2.1 人/ha）で、北海道のコンテナ苗植栽標準単価 91,900 円/ha を下回るコストが試算された。一方で、深植え傾向や樹高の低さが課題として挙げられた。

人力植栽試験では、従来型植栽と GNSS 誘導装置を活用した植栽の比較を行い、誘導装置を用いることで精度と効率が向上し、人工数を削減可能であることが確認された。誘導装置により直線性の高い植栽が実現し、下刈り時の植栽木識別にも有効性を示した。

(2)令和 5 年度の実施結果

令和 5 年度には、同様の機械化システムを用いて試験地を拡大し、大樹町と陸別町で実証を実施。クラッシャによる伐根全数処理を伴う地拵えでは、作業工程が 5.6 人/ha と試算され、既存データと一致。破碎物のマルチ効果により、初年度下刈りの省略・軽減が期待された。

自動植付機では、植栽位置誘導装置を実装し、マーキングを不要とすることで人工数を削減。苗木補給工程の改善により作業効率が向上し、植栽コストは昨年度の 88,900 円/ha から 69,400 円/ha へ低減した。また、位置誘導装置は誤伐防止にも寄与し、植栽列の整列性向上が確認された。

乗用刈払機による列間下刈りは、作業工程 0.7 人/ha と省力化効果を示した。誘導装置を活用することで列間刈りの精度を高めつつ、下刈り時の誤伐率を 0.8%に抑える成果が得られた。

(3)令和 6 年度への継続の必要性

これらの取組は、造林労働力不足への対応やコスト削減に有効であり、引き続き実務での技術適用性を検証することが不可欠であった。特に、誘導装置や自動植付機を活用した省力化技術の普及は、持続可能な森林管理に向けた重要な基盤となる。

2 令和 6 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 2 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、地域の林業者を対象とした現地見学会を大樹町と陸別町でそれぞれ 2 日に渡り開催して、両地区で 50 人以上の参加者を得たほか、参加者 150 人規模の現地検討会を地元の道庁出先機関である普及組織と共催で 1 回開催した。さらに、森ハブや北海道など地域の他の事業が開催するシンポジウム・セミナー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第1回協議会

日時：2024年5月21日 13:30～15:30

場所：Web会議（ホストは大坂林業@忠類）

参加：対面6名、Web35名（アドバイザー2名、林野庁経営課、評価委員など16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。

③現地見学会（1）

日時：2024年5月23, 24日 9:00～15:00（来場者は時間内に自由に来場）

場所：大樹町萌和の一般民有林

内容：造林機械の試験風景の見学と質疑応答

- ・下刈り機（神刈）
- ・植栽位置誘導装置

④現地見学会（2）

日時：2024年5月29, 30日 9:00～15:00（来場者は時間内に自由に来場）

場所：陸別町止若内の一般民有林

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）
- ・植栽位置誘導装置

⑤現地検討会（図Ⅱ-1）

日時：2024年9月27日 9:30～15:30

：大樹町民有林(71林班14小班)

参加：150名

○室内セッション 9:30～12:00

(1)場所：大樹町福祉センター

(2) 内容：「十勝モデル」の説明と質疑応答

- ・「十勝モデル」で実証した新しい林業技術について
- ・UAVによる林分把握技術
- ・ICTハーベスタの活用と伐採流通
- ・造林作業と誘導技術
- ・スマート林業の諸制度（十勝総合振興局森林室大樹事務所・峰岸氏）

○ 現場見学会 13:30～15:30

- ・LiDAR搭載UAVによる林地把握
- ・ICTハーベスタ、クラムバンクスキッドの実演
- ・CLAS植付ナビと各種下刈り・地寄せ機械

－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 現地検討会2024**

本検討会では、昨年度の内容をさらにアップグレードした北海道十勝型機械化林業経営モデルを現地で紹介します。
最新技術を活用した持続可能な林業経営の一連の流れを体験できる貴重な機会です。ドローンでの林分把握、ICT搭載ハーベスタによる伐採・流通、位置誘導装置を用いた再造林など、スマート化された工程をご覧ください。
持続可能な林業の未来を拓く重要なステップとして、ぜひご参加ください。

事前申込
9月17(火)
締め切り

令和6年9月27日(金) 9:30～15:30

- 9:30～12:00 室内セッション：大樹町福祉センター
- 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】 9:30～12:00 (福祉センター 北海道広域部大樹町東通29)

- ・十勝モデルで実証した新しい林業技術について
- ・ドローンによる林分把握技術
- ・ICTハーベスタと伐採流通 (2～3 報)
- ・造林作業と誘導技術の報告 (2 報)
- ・スマート林業関係の諸制度

【現地見学会】 13:30～15:30 (裏面地図)

- ・LiDAR付ドローン等による林地把握
- ・ICTハーベスタ等、伐採流通関係の実演
- ・CLAS植付ナビと各種下刈り・地寄せ機械

主催 〔北欧をモデルにした北海道十勝型機械化林業経営〕実証グループ
協力 十勝総合振興局森林室

図Ⅱ-1 現地検討会の案内チラシ

⑥第2回協議会

日時：2025年1月16日 13:15～16:30

場所：とかちプラザ (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事業3全体の総括

⑦研究発表会等への参加

- 北海道スマート林業推進事業ミニセミナー（北森カレッジ、24年8月7日）に参加し、
「ICT ハーベスタを活用する林業の未来」と題する発表：邊見秀明
- 「産総研北海道センターシンポジウム in 釧路 2024（2024年10月25日、ANA クラウン
プラザホテル釧路）」に参加し、以下のポスター発表を実施
 - ・野上一平:「林業における LiDAR 搭載 UAV の有用性」
 - ・佐々木尚三:「スマート林業と未来の森づくり:デジタル技術の挑戦」
- 林業 DX タスクフォース 2024 ワークショップ（北森カレッジ、24年11月14日）に参加し、「北海道のスマート林業」と題する発表：佐々木尚三

⑧雑誌・新聞記事等

○雑誌掲載

- ・渡辺一郎、造林作業の機械化に挑む～山もっとモットの開発と今後の展開～、機械化林業 849
- ・近藤佳秀、コンテナ苗植栽機械の開発、林産試だより 2024 年 8 月号
- ・中澤昌彦、林業における新技術とデジタルデータの活用、森林技術 990
- ・佐々木尚三「スマート林業の実践と展望 ―技術革新による持続可能な未来への貢献―」山林 1681
- ・佐々木尚三、北海道における新しい林業経営モデル事業「十勝モデル」の取組、杣経 74

⑥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）
- ・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
- ・山田健、佐々木達也、中村隆史、小玉哲大、佐々木尚三、丸谷聖一、野上一平：植栽位置誘導装置の人力植栽器具への実装、森林利用学会学術研究発表会講演要旨集、31：17（2024.12）
- ・「十勝モデル」実証グループ：十勝モデルの3年間の実証事業の報告（仮）、森林利用学会シンポジウムで報告予定（2025.3）

⑥学校や現場教育等

- ・帯広農業高校におけるスマート林業（造林）の授業（24/9/30、大坂、中村ほか）
- ・林業技士スクーリングにおけるスマート林業の講習（24/10/22、佐々木）
- ・帯広農業高校におけるスマート林業（伐採）の授業（24/11/18、邊見ほか）
- ・北海道大学工学院におけるスマート林業の講義（24/12/3、佐々木）
- ・北海道大学農学部におけるスマート林業の講義（25/1/10、24、佐々木）

2) 令和6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・路網計画

(1-1) LiDAR 搭載 UAV を活用する森林資源把握

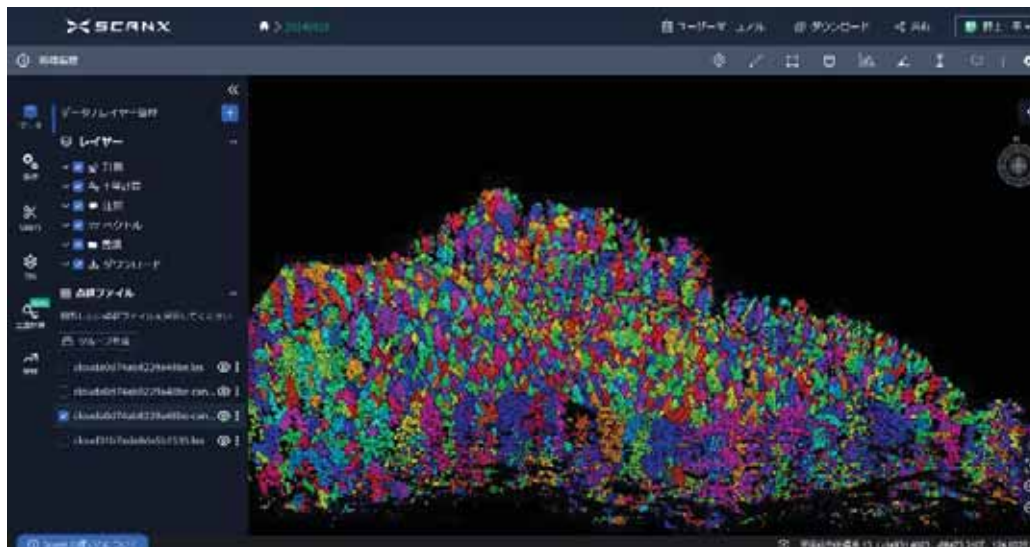
LiDAR 搭載 UAV を活用した森林資源把握技術について、持続可能な森林管理の基盤構築に向けた重要な手法として、9ha のトドマツ人工林や 3ha のカラマツ人工林など、複数の調査箇所において実証調査を実施した。LiDAR センサーを搭載した UAV を使用することで、地表面や樹木構造の詳細なデータを短時間で取得することが可能となった。また、取得されたデータを元に、樹木の密度や樹高、体積を高精度で推定し、従来の人力踏査作業を大幅に省力化することが可能であることが示された。さらに、SCANX 等の解析ツールを用いることで、現地調査との比較で誤差が極めて少なく、樹木本数や平均樹高の高い精度が実証された。

具体的には、林齢 72 年のトドマツ人工林で計測された結果、解析値は 2,530 本、現地調査値は 2,579 本とわずかな差であり、樹高や森林簿データとも高い一致を示した。また、カラマツ人工林では林齢 44 年の調査を行い、計測値 787 本に対し、現地調査値 801 本と高い精度を確認した。さらに、UAV データを用いた出材予測では 144m^3 の予測に対し、実際の伐採結果は 142m^3 であり、出材精度の向上にも貢献している。

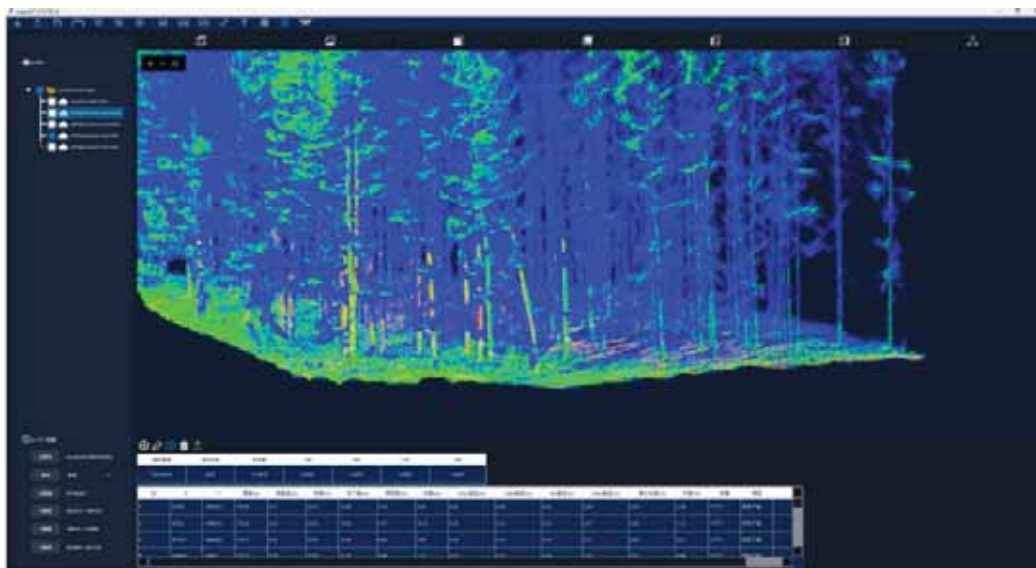
データはタブレット端末に取り込まれ、現場作業者がリアルタイムで確認できる仕組みも整備された。これにより、現場での意思決定が迅速かつ正確に行えるだけでなく、作業効率が大幅に向上した。地図や樹木解析結果を共有することで、現場作業と管理部門の情報連携が強化され、誤作業の防止や計画修正の柔軟性が確保された。



図Ⅱ-2 LiDAR 搭載 UAV では、着色された林分の詳細な 3D 点群モデルデータをフライト中リアルタイムに取得できる



図Ⅱ-3 条件が整えば、3D 点群モデルデータをツールで分析して、
単木毎の解析も可能になってきている



図Ⅱ-4 点群モデルには樹幹だけでなく、地表面も表現されている。
樹頂点と地表面の差によって樹高を求めることが可能となる

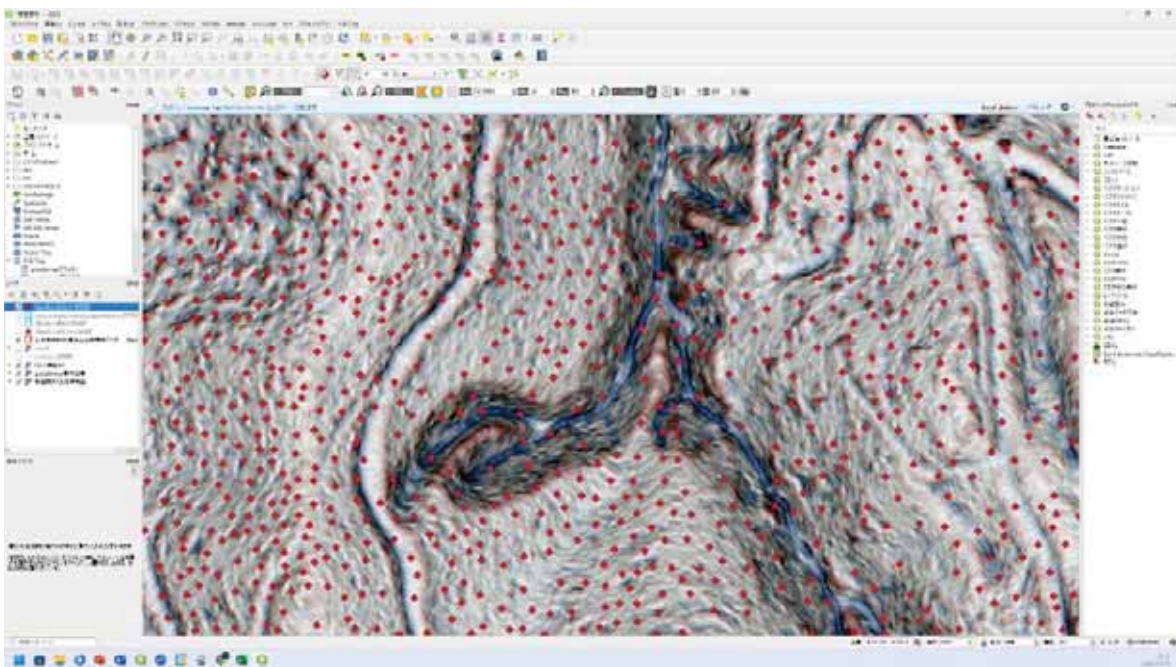
(1-2) LiDAR 搭載 UAV を活用する路網計画

LiDAR 搭載 UAV は、路網計画においてもその高い有用性が確認された。UAV を活用して取得した地形データをもとに、地表面モデル（DEM）や等高線を生成し、GIS ソフトウェアと連携させることで、新設路網の設計や既存路網の把握を効率的に進めることが可能となった。この手法により、現場での踏査作業を大幅に削減しつつ、作業道作設の効率化と安全性の向上を実現した。

解析データはGISに取り込まれ、樹木位置や既存の路網を視覚的に把握することが可能であり（図Ⅱ-5）、机上での設計段階から複数の選択枝を検討することができた。また、作成した地図や解析データをタブレット端末で現場に共有する仕組みを導入し、現場作業者はリアルタイムで最新の情報を確認しながら作業を進めることが可能となった。これにより、計画と実地作業の整合性が向上し、路網作設時の不確実性を低減した。

特に地表面データから作成された3Dモデルを活用した路網計画では、地形の傾斜や障害を正確に考慮した設計が可能となり、作業道の合理的な配置を実現した。タブレットを用いて現場で道の位置を確認しながら作業を進める（図Ⅱ-6）ことで、計画と施工の間で生じがちな不一致を回避することができた。また、現場状況に応じて設計を即時に修正することで、迅速かつ正確な施工を支援した。

これらの取り組みにより、法律や規則に基づく「丈夫で簡易な道」の設計が高い精度で実現された。さらに、GISとの高い互換性を活かし、新設路網の計画に加え、既存路網の再評価や適切な維持管理にも貢献した。



図Ⅱ-5 フィルタ処理後の地表面の状況：皆伐後のような林床が明らかになり、地形図に表現されない微地形や既設路網も可視化され、森林作業道などの計画立案を効率化



図Ⅱ-6 地図や解析データは
タブレットで現場に共有

(1-3) オルソ画像と樹高データを活用した AI 資源解析

オルソ画像と樹高データを活用した AI 資源解析は、森林資源管理の効率化と精度向上において画期的な技術である。令和 6 年度には、トドマツ人工林を対象とし、数値標高モデル (DEM) や地表面モデル (DSM)、およびオルソ画像を組み合わせた解析を通じて、道総研が開発した AI 技術を用いた資源把握が試みられた。

調査は、LiDAR 搭載 UAV (Matrice 300 RTK+Zenmuse L1) による地表面データの取得と、RTK 対応 UAV (Phantom 4 RTK) を使用した高精細なオルソ画像の生成を組み合わせで行われた。解析では、DEM および DSM の差分計算により作成された数値樹冠高モデル (DCHM) を基に、道総研 AI のトドマツ推論モデルを活用した。これにより、施業対象区画内の単木判別、樹冠面積の計測、径級分布の推定が実現し、林分全体の資源量評価が効率的かつ高精度で行われた。

結果として、立木本数の推定精度は 93.4%、林分材積の精度は 94.4%に達し、毎木調査との比較では全木 DBH 平均値が 99.2%の一致率を示した (図Ⅱ-8、図Ⅱ-9)。また、AI による単木 DBH 推定と実測値の比較では、RMSE (Root Mean Square Error、予測値と実測値の誤差の大きさを評価する指標) が 3.86 cmであった。これにより、従来の人力による全木毎木調査と比較して、大幅な省力化と人的コスト削減が確認された。例えば、従来の全木毎木調査に 4 人・日を要していたのに対し、UAV 調査は 1 人・日で完了した。

ただし、誤差の要因として、オルソ画像上で目視判別が困難なトウヒの混入や隣接樹冠の影響により隠れた立木が挙げられた。また、DBH 推定モデルがトドマツに特化しているため、トウヒに対する精度が低下する点も確認された。これらの課題は、撮影技術のさらなる向上や事後的な調整作業によって解決可能と考えられる。UAV データの精度を向上させるためには、高品質な撮影と適切な解析スキルが必要であり、現場技術者の技術向上が引き続き求められる。

本調査により、AI を活用した資源解析の有効性が実証されるとともに、今後の技術展開に向けた具体的な課題も明らかとなった。



図 II-7 道総研 AI のトドマツ推論モデルによる樹冠抽出：画像全体での単木判別を行い、その後、施業対象区画内の推定樹冠を GIS 上で抽出、それらの単木 DBH を推定

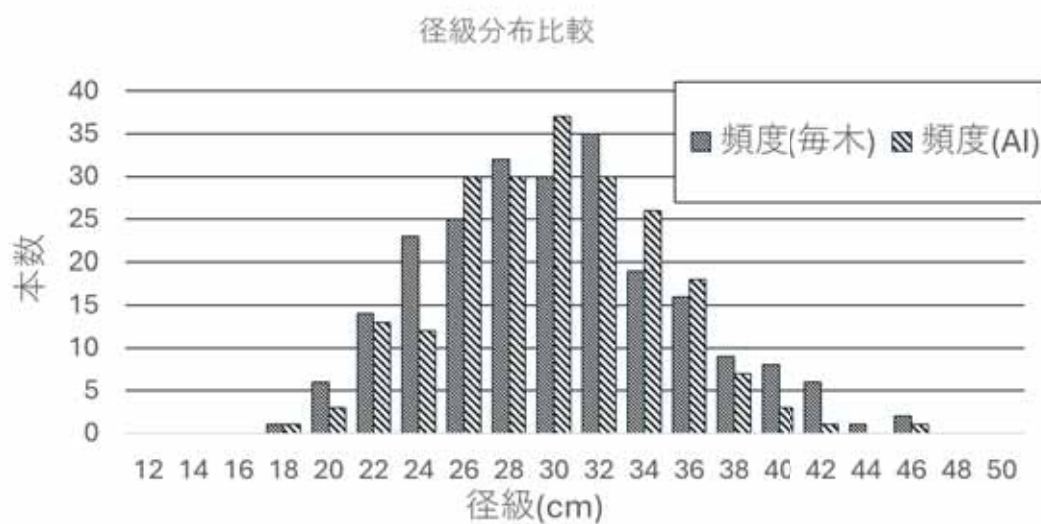
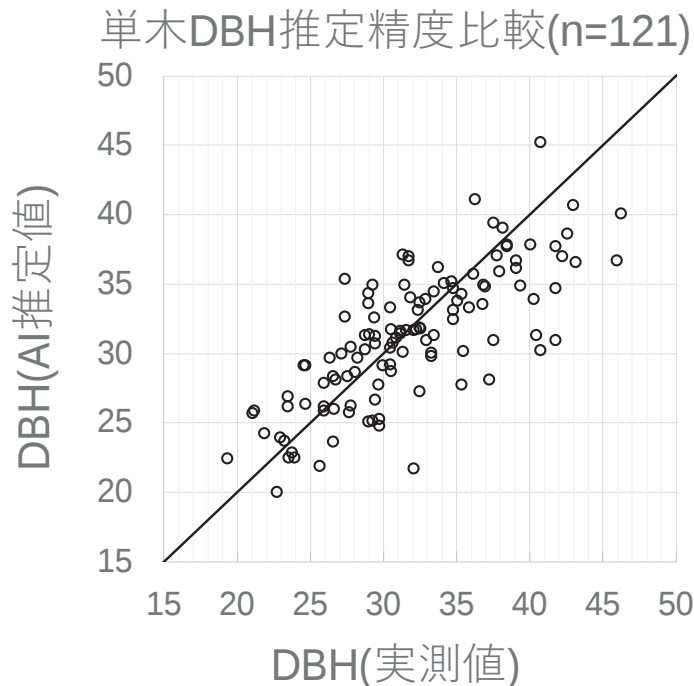


図 II-8 道総研 AI 解析と毎木調査結果の径級分布比較：分布の形状は概ね一致しており、道総研 AI の全木 DBH 平均値は 29.9 cm、毎木調査では 30.2 cm であり、林分平均値の精度は 99.2% であった



図Ⅱ-9 道総研 AI による推定単木 DBH と毎木調査による DBH 計測値の比較:
実線より上は過大推定、下は過少推定

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

本事業においては、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、pin と呼ばれる造材指示ファイルをハーベスタの制御 PC に入力することができる。直径と材長をどう取り扱えば良いかという指示情報が含まれており、バリュースタッキング、カラーマーキング、リミテーションといった機能を使用して、価値が最大化されるよう材の仕分けや生産量の調整が可能である。また、hpr と呼ばれる生産報告ファイルを出力することができ、ある単位時間ごとに原木の生産状況を把握することが可能である。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。

昨年度までに、カラマツ人工林において、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行った。pin による適切な造材指示や、hpr を解読することによる一日ごとの生産量と作業時間等の生産管理、開発した丸太を Google map 上にマッピングするアプリケーション Timber base Cloud による集材管理などを通して、日本における StanForD の有効性を明らかにした。また、フォワーダによる集材状況の把握を容易にするために、丸太の重量検収の可能性を検討し、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、丸太生産量の重量検収に可能性があることを明らかにした。他に、カラマツの重心位置が根元からの高さ割合で 0.28 であり、スギの 0.38 に比べ低く伐倒し難い樹種であること、立木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、立木全質量の約 1/4 が林地残材となっていることも明らかにした。

本年度は、さらなる StanForD の有効性を示すために、幕別町元忠類トドマツの平地林において、WT (Whole Tree: 全木集材) 作業システムの検証とトドマツの比重計測を行った。伐木に Ponsse 社の H6 ヘッドを搭載したハーベスタ、木寄せにグラップル、造材に同ハーベスタ、巻き立てに同グラップルを用いた短距離全木集材システムである (図 II-10)。

この試験では、伐木や木寄せの工程は把握していないが、土場における造材工程の把握することで CTL よりも施業地全体の進捗状況を容易に生産管理することができ、WT 作業システムにおいても StanForD の活用可能性が高いことを明らかにし、さらなる hpr データ (トドマツ、平地林) を蓄積することができた。

また、トドマツの重心位置が、高さ割合 0.40 とスギ (0.38) と同程度でカラマツ (0.28) より高いこと、トドマツの幹比重 0.72 (0.64~0.77) t/m³ とカラマツ (0.76 (0.71~0.80) t/m³) より軽いことが、数値としては変動が少なく安定しており、トドマツの重量検収の可能性が高いことを明らかにした (図 II-11)。さらに、トドマツは質量ベースで 4 割が林地残材とカラマツ (1/4) より多く、WT 作業システムではその多くが土場に集積されることも含めて、トドマツのバイオマス収穫の可能性が高いことを明らかにした。

作業システム

1. 伐木：ハーベスタ
2. 木寄せ：グラップル
3. 造材：ハーベスタ
4. 巻立：グラップル

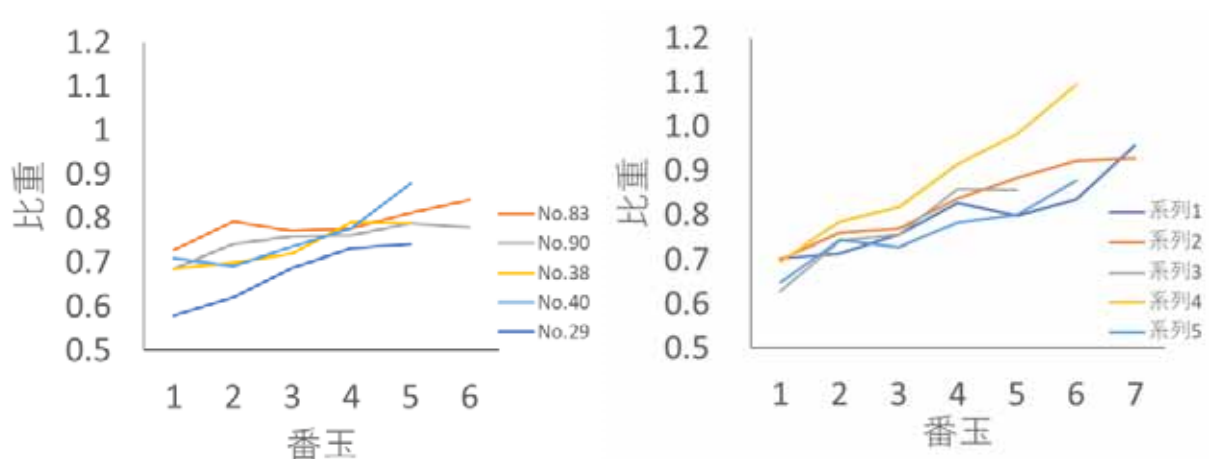


全木の質量計測



ハーベスタによる造材

図 II-10 実証試験に用いた機械 (Ponsse 社 H6 ヘッド搭載の ICT ハーベスタとグラップル) : 全木の質量計測には電子式ロードセルをグラップルで吊るして実施、全木材の重心位置を吊るすのは試行錯誤が必要であった



図Ⅱ-11 立木1本ごとの丸太比重(左:トドマツ、右:カラマツ):トドマツの幹比重0.72 (0.64~0.77) t/m³ とカラマツ (0.76 (0.71~0.80) t/m³) より軽い、数値としては変動が少なく安定しており、トドマツの重量検収の可能性が高い



図Ⅱ-12 クラムバンクスキッドを使ったWT作業システム:施業地が大きく木寄せ・集材距離が長くなる場合は、WT作業システムにおいて本機械で代替できる可能性が示された

本年度の施業地が小さかったことから使用しなかったが、現地検討会において別の事業で諸岡と森林総合研究所が開発した世界で唯一のゴムクローラーベースのクラムバンクスキッドを紹介し(図Ⅱ-12)、施業地が大きく木寄せ・集材距離が長くなる場合は、WT作業システムにおいて本機械で代替できる可能性が示された。

以上より、本課題では北欧で開発された StanForD を核として、専用機だけでなく一般普及機を活用した CTL (短幹) および WT (全木) の十勝型完全機械化作業システムを構築し、それぞれの場合でも木材の生産から流通までの生産性が高いだけでなく、バイオマス燃料生産の可能性が高いことを実証した。

(2-2) 機械検知材の生産と工場受け入れ

令和6年度において、トドマツ林を対象に ICT ハーベスタを活用した原木生産および製材工場での受け入れに関する実証試験を実施した。従来の手検知方法との比較や、ICT を活用した効率的な運用可能性を検証するため、トドマツ林分を対象に設定し、以下の手順で調査を行った。

作業準備と採材：調査対象は、胸高直径 20cm 以上のトドマツを中心とした林分で、胸高部に赤スプレーを用いたマーキングを施したうえで伐採対象を選定した。作業指示には APT ファイルを活用し、直径階や用途別に 25m³単位で採材が停止する数量制限機能を使用。ハーベスタには Ponsse H6 ヘッドを採用し、ダイレクトキーによる材種選択機能のほか、オペレーターの要望に応じたカスタマイズも実施した。

作業後、得られた小丸太（直径 120-180mm）および中丸太（直径 200-280mm）は、それぞれ用途別に区分けされ、製材工場に搬送された。現場データと工場受け入れデータの精度比較が行われた（図 II-13）。

製材工場での受け入れ：製材工場では、自動選木機を使用し、ICT ハーベスタで得られたデータ（直径階別本数および材積）との比較が行われた。自動選木機の測定では、末口径を赤外線センサ（ILC-600 型）で、材長をレーザー距離計で測定。ICT ハーベスタによる測定値と比較したところ、データ間には若干のばらつきが確認された。特に、ICT ハーベスタは直径がやや大きめに算出される傾向があり、一方で製材工場の測定値は厳密な基準に基づいて算出されていることが示唆された。

考察と課題：ICT ハーベスタを活用することで、伐採現場での採材データが即時に記録され、材種別や直径階ごとに適切に管理できる可能性が確認された。これにより、従来の手検知による計測方法に比べて、作業効率が飛躍的に向上することが期待される。一方で、以下のような課題も明らかになった。

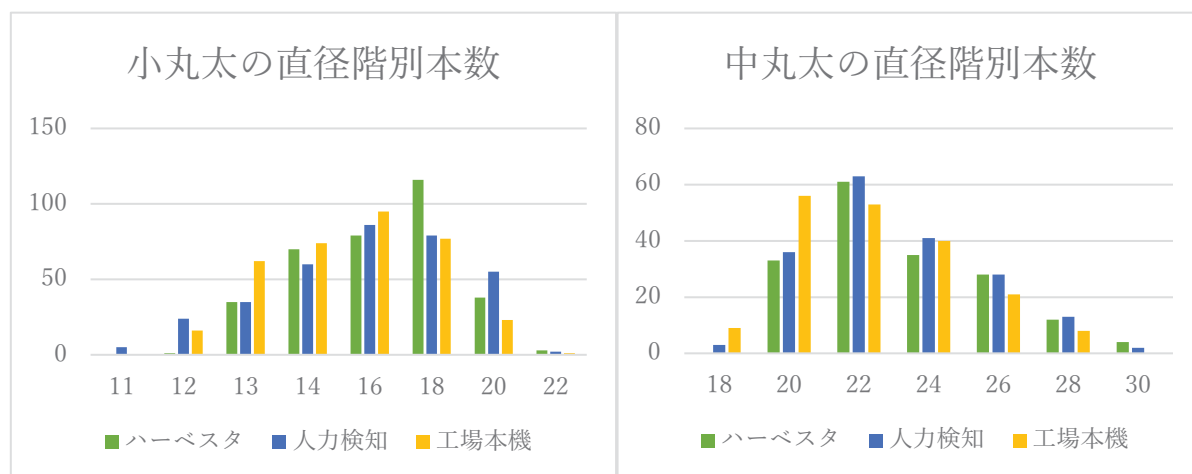


図 II-13 直径階別本数分布：小丸太については最頻値がハーベスタで 18cm に対し、人力と工場では 16cm とハーベスタがやや大きな数値を返しがち。中丸太についてはハーベスタと人力の最頻値が 22cm に対し工場が 20cm で工場がやや厳しめの設定か。人力検知では欠点を除いた最短径をしっかりと測定の印象

データ精度の向上：ICT ハーベスタの測定値は、手検知や製材工場の測定値と比較して誤差が生じることが分かった。特に、直径階の算出に関しては、現場条件やキャリブレーション方法の見直しが必要である。さらに、誤差要因を特定し、現場ごとの特性に応じた補正アルゴリズムの導入が求められる。

製材工場側の懸念：寸面省略の導入に際して、製材工場では即時確認が困難になる点や、受け入れデータの信頼性確保に課題があると指摘された。特に、小規模工場では専用の受け入れ設備を持たないため、ICT データに基づいた受け入れが円滑に進むには、教育体制の整備や必要機器の普及支援が求められる。

取引慣行の変革への対応：現状では、手検知を基にした伝票作成や管理が行われており、ICT データの活用は一部に限られている。従来の慣行を維持しつつ新技術を導入するためには、現場オペレーターや製材工場の作業員に対する教育と意識改革が必要である。

まとめ：ICT ハーベスタの活用による作業効率向上と精度向上の可能性は大いに示唆されたが、製材工場での受け入れ方法やデータの信頼性向上、現場での運用体制の整備など、課題も多く残されている。これらの課題に対応することで、ICT 技術を活用した新たな原木流通システムの構築が進むと考えられる。

② 再造林・保育

初期育林作業(地拵え、植栽、下刈り)の省力化と効率化を目指し、全工程に車両系機械を導入し、伐出作業と連携した一貫作業を実現する「機械化造林作業システム」を構築した。このシステムでは、植栽作業の効率低下要因である苗間測尺を省略しつつ、計画された位置に正確に植栽できるようにするため、GNSS 測位を活用した「植栽位置誘導装置」を開発した。この装置により、植栽位置情報を活用して下刈り作業の効率化や誤伐防止を図っている。

十勝地方の再造林に適用するため、以下のシステムを導入した：

- 地拵え：クラッシャ(Seppi 社 MINI-BMS125)を使用して、林地の末木や枝、草本を破碎し、省力的に地拵え作業を行う。破碎物によるマルチ効果で雑草木の再生を抑制する効果も期待される。また、必要に応じて伐根を切削し、後の保育作業の障害となる要因を事前に除去する(図Ⅱ-14)。
- 植栽：自動植付機(Bracke 社 P12.a)を使用し、コンテナ苗を効率的に植栽する。この機械により、高速かつ正確な植栽が可能となる(図Ⅱ-15)。
- 下刈り：乗用刈払機(筑水キャニコム社 山もっとモット)を活用し、危険で負担の大きい下刈り作業を安全かつ効率的に実施する(図Ⅱ-16)。

これにより、再造林作業全体の効率化と省力化、安全性向上が図られるシステムとなっている。



図Ⅱ-14 クラッシャ



図Ⅱ-15 自動植付機



図Ⅱ-16 乗用刈払機

植栽位置誘導装置の概要

植栽作業における効率低下の大きな要因である植栽位置の事前マーキングや測尺作業を省略しながら、計画位置に正確に植栽するため、また植栽位置情報を取得して下刈り作業の効率向上や誤伐防止に活用するため、「植栽位置誘導装置」（以下「誘導装置」）を開発した。

以前開発された装置は、作業者のヘルメットまたは背負子に取り付けた2つのGNSS受信機を使用して現在位置と方角を算出し、その情報をタブレット端末に表示することで、計画植栽位置への誘導を行うものであった。作業者は計画位置に誘導されながら、位置が一致した地点に植栽を行う仕組みである。

この装置を自動植付機用に改良し、車体上と作業機にGNSS受信機を取り付け、計画位置と現在位置を運転席に設置されたディスプレイ上に重ねて表示することで、オペレーターの操作を誘導できるようにした。この際、GNSS測位には補正用基準局や外部補正情報を必要としないQZSS衛星のCLAS方式を採用し、スタンドアローンで精密誘導が可能となっている。

さらに、この装置を再び人力植栽用に改良し、コンテナ苗植栽器具に実装したことで、機械植栽と人力植栽のどちらにも対応可能となった（図Ⅱ-17）。植栽計画は専用ソフトウェアを使って自動生成され、空撮データを反映させることや、現場で地形状況に応じた簡易な作成も可能である。

なお、伐根や岩などの障害物により、必ずしも計画通りの位置に植栽できない場合があるため、実際の植栽位置を記録しておく仕組みを採用している。この位置情報は、後の下刈り作業での誤伐防止に役立てられる。これにより、植栽作業の効率化と正確性が向上するとともに、下刈り作業の高能率化と安全性向上が期待されるシステムとなっている。



スプレーマーカ

電動オーガ

エンジンオーガ

図Ⅱ-17 植栽位置誘導装置を取付けた人力植栽器具

電動クローラ型一輪車「斜楽」搭載用植栽ユニットの開発

植栽作業の効率向上と急傾斜地での作業負担軽減を目的として、電動クローラ型一輪車「斜楽」を活用した小型植栽ユニットの開発を行った。「斜楽」は、林地内の運搬機として実績があり、高い走破性と簡便な操作性を有することから、これを植栽機として利用することで、狭所や急斜面での植栽作業の機械化が可能になると考えられた。

開発した植栽ユニットは、既存の植栽機の機構（図Ⅱ-18）を踏襲しつつ、軽量化と操作性の向上を図った。ユニットの重量は1.7kgとし、取付アームを含めても3.5kg以下に抑えた。動力を用いず、人力操作のみで植栽が可能な構造とし、操作桿を押し込むことで植栽爪が開放される仕組みを採用したことで、従来のように腰をかがめることなく作業が可能となった。また、リンク機構を取り入れ、植栽ユニットの姿勢が常に地表面に対して垂直となるよう設計し、植栽の安定性を確保した。

植栽ユニットの動作検証として、平地での模擬植栽試験を行った結果、植栽穴への苗の投入がスムーズに行え、30秒～1分以内に作業が完了することを確認した。さらに、30°の登坂・下降状態を模した試験においても、平地と同様の作業時間で植栽が可能であることが示された（図Ⅱ-19）。一方、等高線方向に移動しながらの植栽では、ユニットが地面に引っかかる課題が発生し、今後の改良が必要であることが明らかになった（図Ⅱ-20）。

動作試験の結果を踏まえ、今後は植栽爪の開放機構やリンクアームの固定方法の改良を行い、より実用性の高い植栽ユニットの開発を進める。特に、急傾斜地や狭小地における運用を考慮し、さらなる軽量化と操作性の向上を目指す。今回の開発により、小型運搬機を活用した植栽作業の機械化の可能性が示され、より効果的な省力化技術としての発展が期待される。



図Ⅱ-18 昨年度までに開発した植栽機の全景
(林産試だより 24 年 8 月で報告)



図Ⅱ-19 登坂状態を模した試験：
平地と同様の植栽作業可能



図Ⅱ-20 等高線方向の植栽：
ユニットが地面と干渉

令和 6 年度の実証試験

令和 6 年度の実証試験では、陸別町と大樹町の造林試験地を対象に、植栽方法や機器の改良を検証する改植試験を実施した。高温少雨の影響を考慮し、植栽方法の見直しや新たな技術の適用を行った。

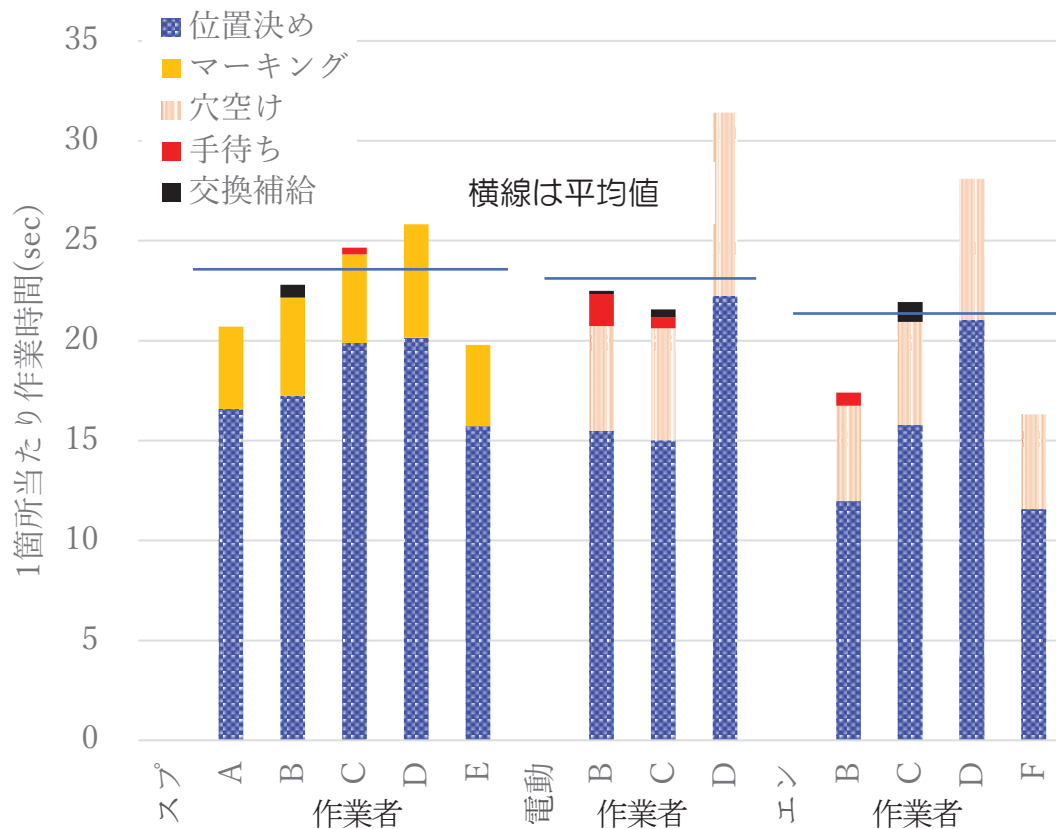
植栽試験では、自動植付機と人力用植栽器具の両方を用い、それぞれの作業効率と精度を検証した。自動植付機については、気候変動に対応する深植えやてん圧、灌水方法を試験し、植栽器具には改良した植栽位置誘導装置を実装して作業効率を評価した。植栽作業はビデオ撮影による時間分析を行い、計画植栽位置との精度比較や、活着状況の調査を実施した。

また、植栽後の下刈り作業についても検証を行い、乗用刈払機を活用した機械下刈りと人力刈払機による補正刈りを組み合わせた効率性の評価を行った。これにより、植栽から保育までの作業工程全体にわたる改善可能性を検討した。

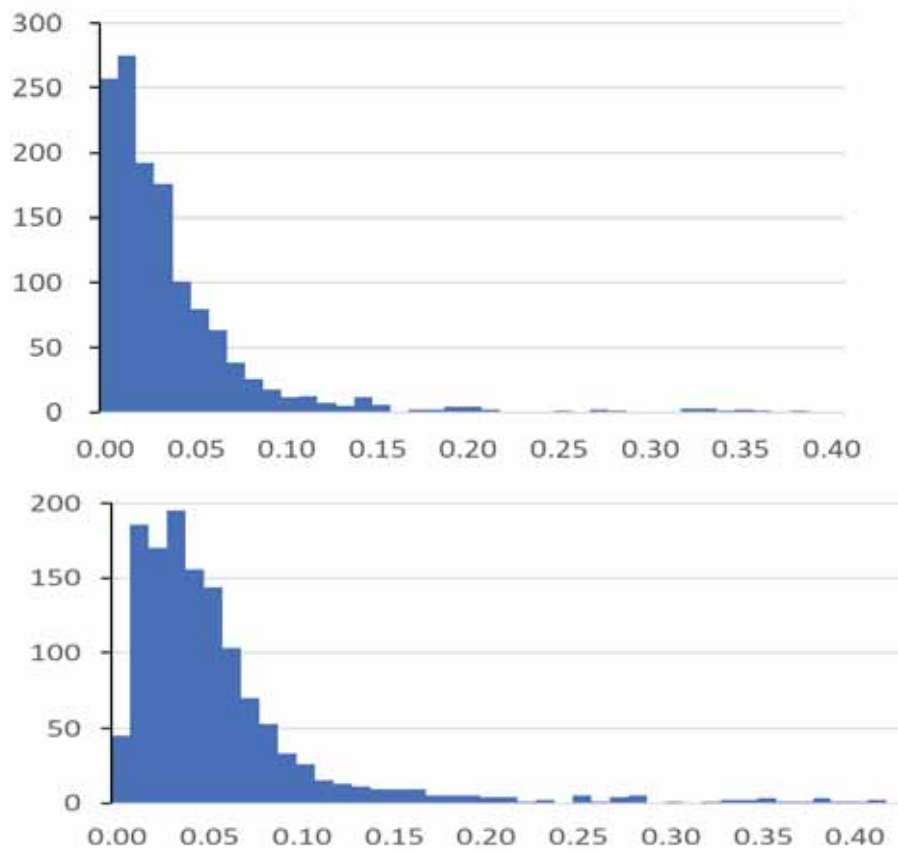
植栽および下刈り作業試験の結果

1) 人力植栽における作業効率：植栽器具の作業効率については、スプレーマーカの作業工程が 23.3 秒/本、電動オーガが 23.2 秒/本、エンジンオーガが 21.7 秒/本であった。また、対応する植栽作業の工程はそれぞれ 24.7 秒/本、23.2 秒/本、22.5 秒/本となった。作業時間の多くが位置決めに費やされており、植栽位置の精度をやや低下させることで作業時間短縮が可能と考えられる。一方、電動およびエンジンオーガ対応の植栽作業は植え穴掘り工程がないためスプレーマーカ対応より短時間であったが、植栽器具操作者の作業速度に合わせる必要があり、手待ち時間が発生した（図Ⅱ-21）。

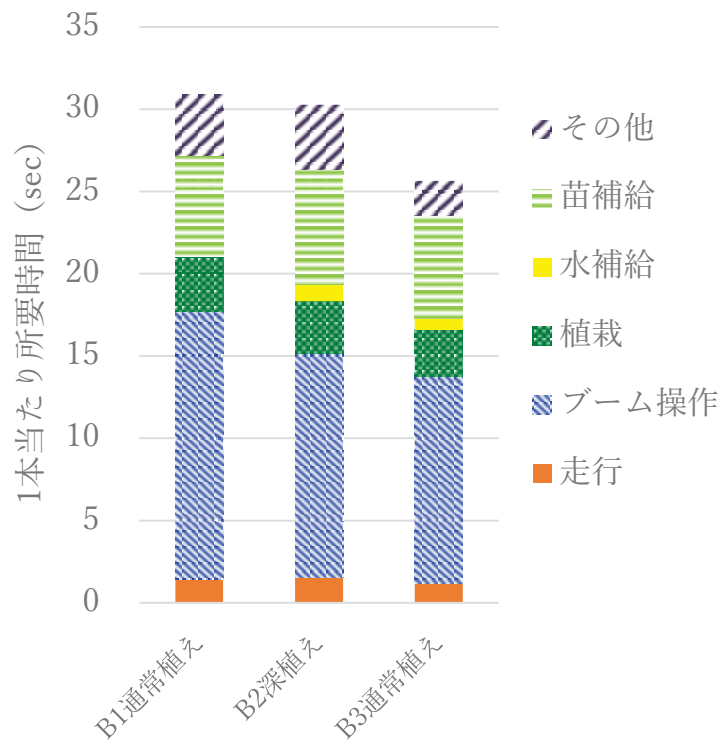
- 2) 植栽位置の精度と下刈り作業への影響：植栽位置誘導装置を使用した場合、計画植栽位置と実際の植栽位置の誤差は平均 0.06m、列からの逸脱量は平均 0.04m であった。この高い精度により、下刈り作業時の誤伐率は 0.7%程度と推定された。乗用刈払機を用いることで植栽列間を効率的に下刈りすることが可能であり、安全性と作業効率の向上に寄与した（図Ⅱ-22）。
- 3) 自動植付機の作業効率と活着率：自動植付機による作業工程は通常植えて 30.9 秒/本、深植えて 30.3 秒/本、機械植栽＋人力てん圧で 25.7 秒/本であった。これまでの試験より作業時間が増大した要因として、苗木のサイズ増加や苗木補給工程の最適化不足が挙げられる（図Ⅱ-23）。活着率の比較では、深植え区と人力植栽区が高く、乾燥に強い特性を示した。一方、植栽初年度には樹高成長よりも直径成長が優先される傾向が確認され、乾燥の影響による枝枯れや先枯れが見られた。
- 4) 位置誘導なしの下刈り作業：2024 年 6 月に位置誘導装置を取り外して下刈り作業を試験した結果、植栽列を見失う「ルートロスト」が発生し、作業時間の約 13%を占めた。この課題は植栽列の分断箇所や作業開始時に顕著であり、位置誘導装置の有無が作業効率に与える影響が明確となった。



図Ⅱ-21 要素作業別所要時間



図Ⅱ-22 植栽計画と実際の植栽位置の差分（上）
と植栽列からの逸脱量（下）のヒストグラム



図Ⅱ-23 要素作業別所要時間

コスト面での検証と作業システムの評価

クラッシャを用いた地拵えでは、伐根無処理で 122,100 円/ha、伐根全数処理で 209,100 円/ha と試算され、標準単価の 265,500 円/ha を下回った。さらに、破碎物のマルチ効果による下刈りの省略や軽減、伐根処理による下刈り作業能率の向上が期待される。

自動植付機による植栽は 69,400 円/ha と、標準単価の 97,100 円/ha を下回り、植栽位置誘導装置を含めても増加は 900 円/ha 程度であった。

電動一輪車を用いた苗木運搬では 8,200 円/ha と試算され、標準単価 16,000 円/ha より低コストであることが確認された。

乗用刈払機による列間刈りの作業単価は 70,700 円/ha、仕上げ刈りを含めても 100,700 円/ha と、標準単価の 131,800 円/ha を下回った。本事業の地拵え方法ではクラッシャによる全面地拵え＋伐根全数処理が、下刈り省力化や植栽後の車両走行性向上といった点で最も有効とされた。

植栽位置誘導装置は、高い誘導精度により自動植付機、人力植栽、乗用刈払機下刈りにおいていずれも効果を発揮し、コスト削減を上回る価値を提供することが確認された。

今後の課題

北欧製自動植付機を国産コンテナ苗に適用するための改良が求められるほか、仕上げ刈り時の誤伐防止に向けて、植栽時の位置情報を活用する技術開発が必要とされる。これらの改良により、さらなる効率化とコスト削減が期待される。

3 実証事業の総括

ここでは、収支改善の内容を中心に本実証事業全体を総括する。本事業では、1ha あたりの総収支が事業前の 1,793,000 円から事業後には 1,912,000 円へと試算結果が示された。この収支改善は、生産経費全体で 177,000 円/ha (6.3%) の削減を実現したことによるものであり、各経費項目での効率化の成果が反映されている(表 II-1、図 II-24)。

主伐や運材経費では、hpr を活用した生産管理の導入により、検知・検収作業の省略が可能となり、コスト削減と安全性向上の両立が図られた。また、再造林経費においては、位置誘導技術や自動植付機を活用し、植栽作業の精度向上や効率化を達成するとともに、労働負荷の軽減を実現している。調査経費では、LiDAR 搭載 UAV 技術の導入を通じて、データ取得や管理の効率化が進み、広範囲にわたる作業の精度向上とコスト削減に寄与した。これにより、林業施業計画の高度化や林業現場の安全性向上に向けた新たな基盤が構築されつつある。

本事業の成果は収支改善のみならず、安全性や作業効率向上への一歩であり、持続可能な林業経営の基盤構築に向けた基礎を示すものといえる。

1) 主伐・運材経費の削減と安全性向上

実証データでは、hpr を活用した生産管理の導入により、主伐および運材経費において 86,000 円/ha の削減が実現した。この削減は、土場作設や検収に要する人工の削減、寸検作

業や極積み作業の簡略化によるものである。これにより、人力作業の負担が軽減され、労働強度の低減に寄与した。また、グラップルと作業員が同一エリアで作業する際の危険性も軽減された。

さらに、運材検収にかかる人件費は、提案時の 25,000 円/ha から実証後には 2,500 円/ha へと大幅に削減された。具体的には、トラック 1 台 (25m³) の検知作業および伝票書きに要する時間が、提案時の 50 分 (検知 20 分×2 人+伝票書き 10 分) から、実証後には伝票書き 5 分のみとなり、1 台あたりのコストが 24,960 円から 2,496 円に減少した。この結果、検収作業全体の効率化が進むとともに、冬季の厳しい屋外作業時間が短縮されるなど、安全性の向上につながる可能性が示された。

また、StanForD や hpr を活用した木材流通の合理化は、単なる検知・検収作業の省略にとどまらず、作業システム全体の効率化にも貢献している。たとえば、作業機械の台数削減やトラック運材時の待機時間短縮といった成果が挙げられる。これらの取り組みにより、現場作業と生産管理の一体化が進み、林業全体の生産性向上が期待されるとともに、持続可能な木材生産の基盤強化にもつながると考えられる。

2) 機械伐倒による災害リスク軽減のためのコスト試算

本事業で導入された機械伐倒は、チェーンソー伐倒に伴う災害リスクを大幅に低減するものであり、その効果を定量的に示す試算を行った。本試算は、事業のアドバイザーである東京農業大学の今富氏のアドバイスを受けて実施しており、以下の前提条件に基づき、安全コスト軽減の可能性を評価した。

① 現在の伐木作業で発生する死亡災害はすべてチェーンソー伐倒によるものであり、ハーベスタ伐倒では発生しないとする。

② 現在の伐木作業におけるハーベスタの作業量は木材供給量全体の 10%に相当する。

林業災害による年間死亡者数は平均 31.2 人であり、その 59.6%が伐木作業中に発生していることから、年間約 18.6 人が伐木災害で命を落としていると推定される。死亡災害による労働損失日数は法令に基づき 7,500 日/人とされ、伐木災害全体での年間損失日数は 139,500 日と算出される。この損失を基に、林業従事者の年間収入 360 万円および年間就労日数 210 日から、日給 17,143 円を算出し、年間損失額は 139,500 日×17,143 円=約 23 億 9,000 万円と評価。さらに、国内の年間木材供給量を 32,939,000m³、1ha あたりの伐出量を 310m³と仮定すると、チェーンソーによる伐木作業が全体の 90%を占める場合、年間伐出面積は約 95,629ha と推定される。この条件下で、伐木災害による 1ha あたりの損失額は 239,000 万円÷95,629ha=約 24,992 円と算出された。

チェーンソー伐木をハーベスタ伐木に移行した場合、災害リスクが低下し、1ha あたり約 25,000 円の災害損失コストが軽減される。この試算は、安全性という金銭で評価しにくい要素を数値化したものであり、機械伐倒の導入がもたらす災害リスク低減効果を具体的に示している。また、これにより安全性の向上だけでなく、労働強度の軽減や作業効率の向上といった多面的な効果が期待され、林業作業の安全性向上とスマート化を進める上で重要な知見を提供すると考える。

3) 再造林経費の削減と効率化

再造林経費では、位置誘導技術や機械化の導入により作業の効率化が進み、提案時に比べて 84,000 円/ha の削減が実現した。この削減は、植付作業や下刈作業における技術革新に起因しており、苗木植栽の精度向上や下刈作業時の誤伐防止などの効果をもたらしている。また、こうした技術革新は、再造林作業全体の効率を底上げするとともに、労働負荷の軽減や慢性的な労働力不足への対応策としても有効である。

提案時の植付経費は、132,000 円/ha であったが、植栽ナビを活用した人力植栽では 78,700 円/ha、自動植付機を活用した場合には 77,600 円/ha に削減された。植栽ナビを用いた場合、従来のけん縄を用いた作業（4 名、6.6 人/ha）から、2 名での作業（3.5 人/ha）への移行により、生産性が 88%向上した。また、自動植付機の活用により、作業生産性は約 4 倍向上（6.6→1.64 人/ha）し、1 名での植栽作業が可能となるなど、労働強度が大幅に低下している。

下刈経費については、提案時の 131,800 円/ha から実証後には 100,700 円/ha に削減された。これは、従来の肩掛け式刈払機による 1 回刈りに代わり、乗用型機械刈り（70,700 円/ha）と仕上げ刈り（30,000 円/ha）を組み合わせることによるものである。この結果、生産性が 1.2 倍向上し、少人数で施業面積を拡大することが可能となった。さらに、切削刃による傷害や蜂刺されのリスクが大幅に低減し、安全性の向上が確認された。

これらの成果は、再造林作業のスマート化と効率化を進める重要な事例であり、今後の労働力不足や安全性の課題に対する有効な解決策となり得るものである。

4) 調査経費の削減と効率化

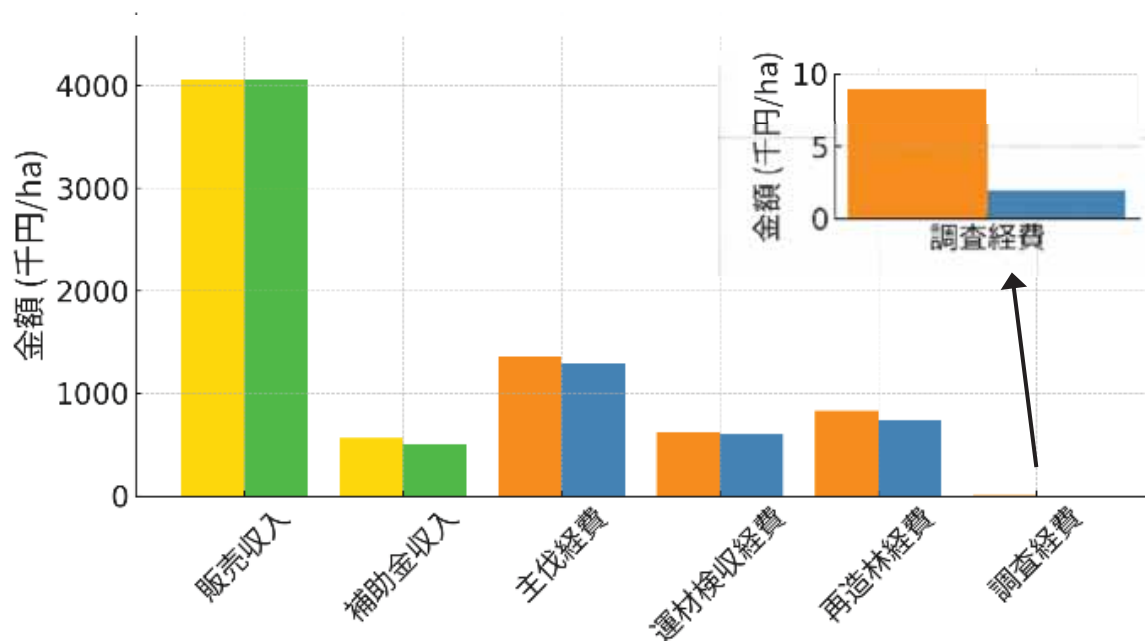
調査経費については、UAV 技術の活用により 1ha あたり 7,000 円の削減が確認された。現時点では全体のコスト削減に占める割合は小さいものの、地理空間情報の収集と活用を通じた効率化や精度向上を支える基盤技術として、その重要性は高い。特に、UAV を用いた地形や林分データの取得は、伐採から再造林・保育までの森林管理を包括的かつ効率的に行うための基本的なデータとなるとともに、林業施業計画や資源管理の高度化に寄与することが期待される。

提案時には収穫調査・路網計画踏査にかかるコストが 1ha あたり 9,000 円であったが、LiDAR 搭載 UAV の導入により実証後には 1,900 円に削減された。この削減は、毎木調査や踏査に要する人件費を効率化した成果である。LiDAR 搭載 UAV は撮影とデータ処理に要する時間を最適化し、375 円/ha のコストで広範囲のデータ取得が可能である。特に、データ取得面積が 25ha を超える場合にコスト削減効果が顕著になる。また、LiDAR データを GIS で管理・共有することにより、事務作業が効率化され、事務人工が 75%削減された。さらに、施業時には作業者が自身の位置や方向を確認しながら判断できるため、判断スピードが向上した。加えて、林内立ち入りが 99%削減され、危険なスズメバチやヒグマとの遭遇や傾斜地での事故リスクが大幅に低減するなど、安全性の向上にも寄与している。

一方で、光学 UAV は、広く普及しており、導入が容易であるため、技術実装の初期段階で有用である。写真撮影や人力カウントを組み合わせる手法は、LiDAR 搭載 UAV に比べ初期コストや運用コストが低く抑えられる場合もあり、必要に応じた柔軟な対応が可能である。この方法では、提案時と同じく 1ha あたり 9,000 円のコストが、実証後には 5,300 円

に削減された。写真撮影やカウント作業の効率化により一定のコスト削減を達成するとともに、広範囲のデータ取得が可能で、林業現場での活用事例も多い。

LiDAR 搭載 UAV は高精度なデータ取得と GIS 活用による管理の容易さに強みがある一方で、光学 UAV は普及性の高さや導入のしやすさという点で優れている。両者の特性を活かした技術選択を行うことで、現場の状況や課題に応じた柔軟な対応が可能となり、林業全体の効率化や安全性向上に寄与するものである。



図Ⅱ-24 経営モデル実証事業収支計算

総収支 177,000 円/ha (6.3%) の削減が達成された。主伐・運材では、hpr の活用により 86,000 円/ha を削減。再造林では、位置誘導技術と機械化により 84,000 円/ha を削減。調査では、UAV の活用で 7,000 円/ha を削減した。

Ⅲ 今後の事業の展開方向

本事業は令和 6 年度をもって終了を迎えるが、これまでの成果を基盤に、持続可能な林業モデルの構築と普及を目指した取り組みを進めていくことが期待される。しかし、事業を継続的に展開するためには、新たな資金確保や連携体制の強化が不可欠であり、地域や行政、企業との協力の枠組み構築が求められる。

1 生産計画

LiDAR 搭載 UAV を活用した伐採計画立案技術は、現場の計画業務を効率化する上で極めて有用である。本技術の利便性をさらに向上させるためには、データ解析の自動化や簡便な操作が可能なツールやインターフェースの開発を進めることが必要である。また、広葉樹林分を含む多様な条件下での資源量把握の実現に向け、AI 技術を活用したデータ解析の精度向上や、標準化した手法の開発への取り組みも重要である。これにより、現場作業員が直感的に利用できるシステムを構築し、地域の林業経営における計画策定の効率化と精度向上が期待される。

2 素材生産・流通

伐採から流通までの全工程をデータ主導で最適化するため、ハブスタで取得した生産データ（hpr データ）の活用を推進する取り組みが望まれる。hpr データは、伐採現場での生産情報を記録し、フォワーダや製材工場との連携を支える基盤であり、運搬計画の効率化や流通過程の透明性向上に寄与する。また、木材の位置情報や生産履歴を管理し、素材生産におけるトレーサビリティを確保するツールとして Timber Base Cloud（TBC）が活用される。これらの取り組みにより、効率的な木材流通モデルの確立とコスト削減が期待されるとともに、他地域への展開や木材産業全体の競争力向上にもつながる。

3 再造林・保育

再造林および保育作業における効率化を目指し、自動植栽機や位置誘導装置を活用した技術の普及を進める。植付ナビゲーションシステムの製品化を推進し、植栽精度の向上や作業の合理化を目指すとともに、補植や下刈り作業の省力化に向けた取組も必要である。また、伐採作業と連携する地拵え作業など、作業技術の改善にも取り組み、林業経営全体の作業効率を底上げすることで、持続可能な林業の実現に寄与する技術基盤を整備する。

4 情報共有と普及

これまでに構築された十勝モデルの連携体制を基に、道内木材産業全体における情報共有ネットワークの形成を目指す。このネットワークは、伐採から再造林に至る技術や知見を共有し、持続可能な林業経営の基盤を整えるために重要な役割を果たすことが期待される。また、現地検討会や技術セミナーを通じて、成果の普及と他地域への展開を促進する。これにより、スマート林業技術の全国的な普及に向けた基礎が形成される。

5 事業の持続可能性

事業の継続的な展開を実現するためには、外部資金の確保や関係機関・企業との連携強化が必要である。これまでに得られた成果を基に、関係者への説明や提案を通じて、事業の価値を広く周知していくことが求められる。また、事業成果を広く利用可能にするため、マニュアルや技術資料を整備し、他地域での応用可能性を高める取り組みを進める。

表Ⅱ-1 経営モデル実証事業収支計算

					1haあたり試算（千円/ha）
			提案時	実証後	備考
収入			4613.5	4556.1	
		販売収入	4050.0	4050.0	平均販売価格13.5千円
		補助金収入	563.5	506.1	造林経費の68%
支出			2820.8	2644.3	
	主伐経費		1358.1	1295.6	
		主伐経費	1208.1	1208.1	作業者3人、機械（Hv1台、Gp11.5台、Fwd1台）
		土場桟積み（人件費）	150.0	112.5	土場作業の簡略化
		機械伐倒による災害損失の減少	0.0	-25.0	災害損失コスト算出
	運材検収経費		625.0	602.5	
		トラック運材経費	600.0	600.0	2千円/m3
		運材検収（人件費）	25.0	2.5	トラック積込時の検収作業の簡略化
	再造林経費		828.7	744.3	
		地拵え	176.5	176.5	標準単価（耕耘、手刈り補正なし、10°以上）
		苗木代、苗木運搬費	388.4	388.4	カラマツコンテナ1号苗2000本：374千円、苗木運搬費14.4千円
		① 植付経費（人力植栽）	132.0	78.7	人件費は調査値で比較、総収支は①を選択
		② 植付経費（自動植付機）	132.0	77.6	自動植付機69.4＋一輪車8.2千円、総支出には②は加算しない
		下刈経費	131.8	100.7	機械刈り70.7千円＋仕上げ刈り30.0千円
	調査経費		9.0	1.9	
		① 収穫調査・路網計画踏査	9.0	1.9	LiDARドローンを利用、総収支は①を選択
		② 収穫調査・路網計画踏査	9.0	5.3	光学ドローン利用、路網計画は人力踏査、総支出に②は加算しない
総収支			1792.7	1911.8	

林野庁補助事業

令和6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

ICT を活用した CTL システムによる
垂直統合型経営モデルの構築
事業成果報告書

令和7年2月

株式会社柴田産業
住友林業株式会社
国立大学法人岩手大学 農学部

目次

1	実証事業の概要	3
1.1	事業の名称	3
1.2	事業実施体制	3
1.3	実証のテーマ	4
1.4	事業実施の背景（現状と課題）	5
1.5	実証事業の内容	8
1.6	実証事業の目標	11
2	令和4・5年度の実施結果	12
2.1	これまでの実証で判明した可能性と課題	12
3	令和6年度事業実績報告	13
3.1	事業実施成果（令和6年度）	13
3.1.1	実証地の概要	13
3.1.2	ドローンレーザ計測	14
3.1.2.1	LiDARの諸元	14
3.1.2.2	LiDAR計測方法およびデータ検証方法	15
3.1.3	素材生産管理システム	15
3.1.3.1	事前計画の検討	16
3.1.3.2	作業進捗管理機能（生産計画の作成）	17
3.1.3.3	生産管理機能	19
3.1.3.4	作業進捗管理機能（実績管理・PDCAサイクル運用の支援）	21
3.1.4	カラーマーキング	24
3.2	今後の技術的な発展性について	25
3.2.1	空間情報と生産データの活用	25
3.2.2	トラクターによる機械地拵の植林木への影響	26
3.3	協議会・現地検討会の開催	29
3.3.1	第一回岩手地域協議会	29
3.3.2	現地検討会	30
4	実証事業の総括	33
4.1	実証テーマごとの達成状況	33
4.2	目標に対する達成状況	34
4.3	事業成果の普及に向けた課題	37

1 実証事業の概要

1.1 事業の名称

ICT を活用した CTL システムによる垂直統合型経営モデルの構築

1.2 事業実施体制

本事業は、株式会社柴田産業を林業経営体とし、住友林業株式会社と国立大学法人岩手大学農学部が支援機関となっており、実証主体を形成し事業を遂行した（図1）。事業の遂行に際しては、地元有識者から構成される地域協議会を設置し、事業に対する評価・助言を頂いた（表1）。

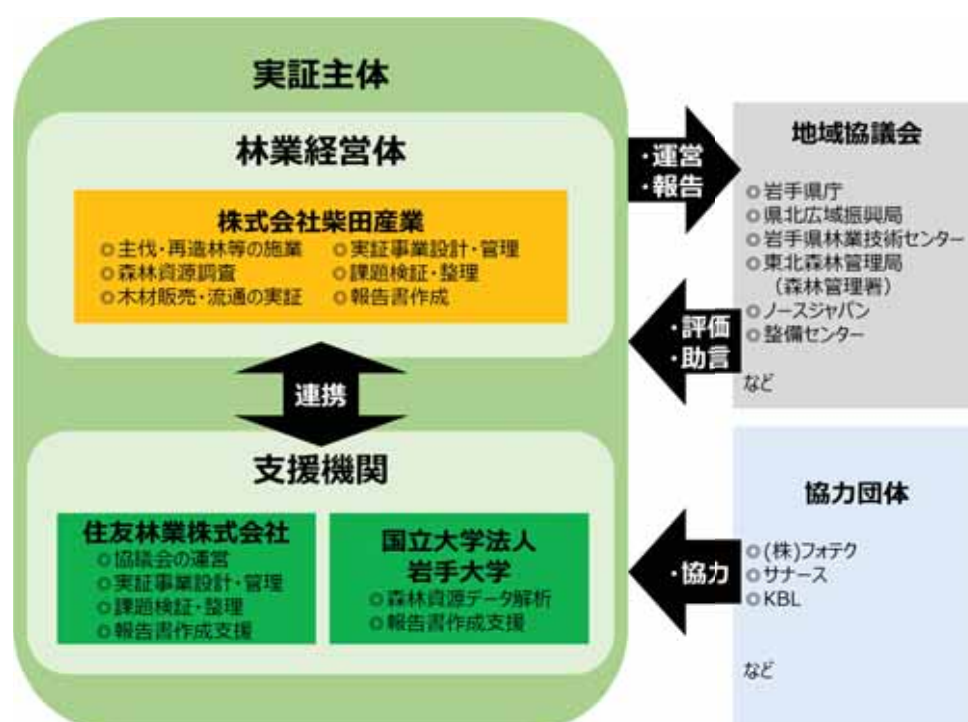


図1 事業実施体制

表1 地域協議会委員

区分	氏 名	所 属
委 員	泉 憲裕	岩手県農林水産部森林整備課 計画担当課長
	佐々木 康彦	岩手県県北広域振興局 農政部 二戸農林振興センター林務室 林務室長
	高橋 淳	岩手県林業技術センター 普及班 首席林業普及指導員
	佐藤 孝治	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林整備センター盛岡水源林整備事務所 所長
	一条 克也	ノースジャパン素材流通協同組合 参与 兼 経営企画管理部部長

1.3 実証のテーマ

本事業においては、以下の3点をテーマに、実証を行った。

① 素材生産から再造林、製材を含めた垂直統合モデルの構築

林業経営体である柴田産業が、素材生産だけでなく、再造林・製材等も一貫して手掛ける強みを活かし、森林資源・地形・木材需要等の情報をフル活用した、新しい垂直統合型経営モデルの有効性を実証した。

また素材生産や再造林における、年間計画・個別計画・現場設計と生産管理の連動を可能とするシステムの構築・運用実証を行い、一定規模以上の林業経営体が事業全体の最適化を実現した際のトータルコストダウン効果を確認した。

② 日本版 CTL システムの確立

CTL（短幹集材）システムは、北欧で主流の伐出システムであり、高い生産性と林地保全への配慮を両立可能とする優れた作業手法である。日本でも北海道・東北における緩傾斜地において適用可能とされているが、専用の機械やオペレーターの習熟が必要であることから、本格的な普及には至っていない。

林業経営体である柴田産業は、既に CTL を行う作業班を有しており、同社により本事業で導入するソフトウェアによる生産性向上の検証を行い、日本版 CTL システムの可能性と有効性を確認した。

③ 「ICT 林業生産管理標準仕様」の普及

支援機関である住友林業は、令和2年度からの2ヶ年で、素材生産における ICT 導入の普及を目指した林野庁補助事業「ICT 生産管理標準化事業」の事業実施主体として「ICT 林業生産管理システム標準仕様」を作成した。

本事業では、この「ICT 林業生産管理システム標準仕様」に準拠したソフトウェアを開発し、StanForD2010 に準拠したハーベスタやフォワーダとの連携を実証することで、標準化されたデータ形式やシステムを適用することの有用性を確認し、今後の「ICT 林業生産管理システム標準仕様」の普及の一助とすることを目指した。

1.4 事業実施の背景（現状と課題）

◎システム構築

支援機関である住友林業は、林野庁補助事業「ICT 生産管理標準化事業」の実施主体として「ICT 林業生産管理システム標準仕様」（以下、標準仕様という）を作成した。この標準仕様は、ICT ハーベスタ・フォワーダを管理するソフトウェアや、日報管理、材積検知等のアプリについて、そのデータ形式やシステム要件の標準化を行った成果であり、機械管理に関しては、世界的な標準仕様「StanForD2010」をベースとした「日本版 StanForD2010」として位置づけられている。

この標準仕様は令和 3 年度に完成したが、事業開始時点では、標準仕様を正式に採用した機械やシステム・アプリが未だ存在しなかったため、その普及に貢献する実証が求められていた。



図 2 「ICT 林業生産管理システム」のパンフレットと仕様書

◎森林調査（データ取得）

柴田産業では、森林所有者に施業提案を行った上で立木を購入し、主伐を行っている。施業提案および立木購入の際の基礎資料となる資源情報は、自社で調査を行い取得している。実効性の高い素材生産の計画・設計や、造林の設計を行うにあたって、詳細な資源情報および地形情報が必要となる。

事業開始当時、資源情報の把握は、人力での調査によるため、大きな手間が掛かっていた。また、限られた労働力の中で、調査に掛けられる労務量は多くないため、調査の効率化を図る必要があった。

◎素材生産

岩手県は、北海道に次ぐ全国 2 位の森林面積を有しており、豊富な森林資源が存在する。

近隣に大型の需要先が複数存在することから、素材生産も盛んで、素材生産量は全国第 3 位となっている。地形としては、県北地域を中心に比較的緩傾斜の地域も見られる。

国内における素材生産現場では、建機や不整地運搬車をベースとしたクローラ式の林業機械を用いて高密度な路網を作設・利用し、素材生産を行うことが多いが、柴田産業では、ホイール式高性能林業機械である KONRAD 社（オーストリア）製ハーベスタおよび GREMO 社（スウェーデン）製フォワーダを用いて、作業道から林内へ直接進入して素材生産を行っており、生産性が高いことで知られる北欧の CTL(Cut To Length)システムを、国内で実践している数少ない先進的な事業体である。

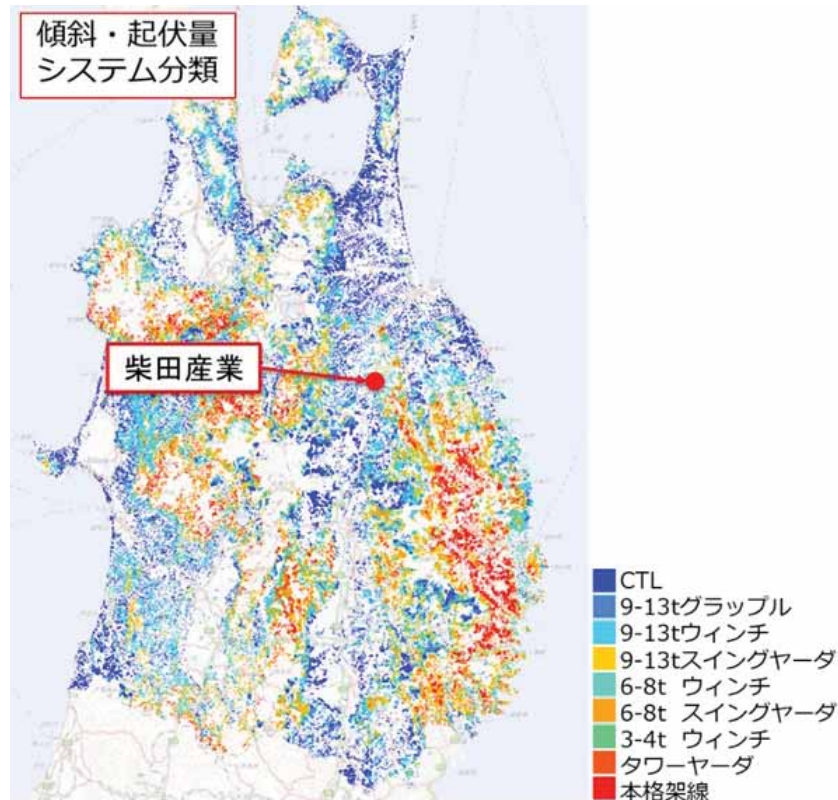


図 3 傾斜・起伏量による作業システム適地分類
(岩手大学 齋藤教授作成資料より)

また柴田産業は、計画的な素材生産を行い、木材の安定供給を図るため、年間事業計画を策定した上で、月別・現場別の生産目標を立てているほか、週次のミーティングにおいては現場班長から各現場の情報共有を行っている。事業開始時点では、このように年間事業計画作成や週次の情報共有が行われている一方で、各個別現場の生産計画・現場設計作成は未だ不十分な状況にあった。

各現場では、ハーベスタによる伐倒・玉切、フォワーダによる集材、路網作設、運材といった工程が生じるが、こうした計画・設計は現場班長の頭の中にはあるものの、他者に情報共有されておらず、管理者・現場班長・オペレーターが、統一した目標を共有できていなかった。また現場進捗に関わる情報は、各オペレーターの経験・勘に基づく曖昧なものになる場合が多く、管理者が生産計画の進捗管理を行うために十分な精度を有していなかった。

さらに、高性能林業機械導入により、素材生産における個別作業の生産性は高まっているものの、機械間での情報共有ができておらず、ハーベスタ・フォワーダの連携によるさらなる生産性の向上が求められる状態にあった。

◎販売・流通

柴田産業では、素材生産以外にも自社で製材工場・チップ工場を営んでいる。自社で素材生産した原木のうち、製材グレード・チップグレードは自社工場へ持ち込んで、加工している。自社の製材工場が必要とされる原木の規格は、生産する木材製品の製造計画によって刻々と変化する。また、特殊な材長の注文が入ることもある。

事業開始時点では、製材工場から素材生産現場に対して、採材する原木の規格について、製材工場の従業員が必要に応じて素材生産現場へ連絡しているものの、十分に需要情報を伝達できている状況ではなかった。素材生産現場からすると個別連絡は煩雑な面があり、需要情報の集約化・共有化が必要な状況にあった。



図 4 (株)柴田産業 製材工場

◎再造林

柴田産業は主伐だけでなく再造林も自ら行っている。森林所有者に対する主伐の施業提案の際には、再造林もセットで提案を行う場合もある。また、森林経営計画策定による集約化も積極的に行っており、地域の資源循環型林業の推進に貢献している。

事業開始時点では、年間事業計画作成や週次の情報共有が行われている一方で、各個別現場の造林計画・現場設計の作成は不十分な状況にあった。また施業においては、地拵を刈払機による人力作業に依存しており、今後生産性の大幅な向上は見込めないほか、安全面でも課題があった。

1.5 実証事業の内容

● システム構築

本実証で使用する「素材生産管理システム」、「造林計画システム」を構築した。それぞれの主要な機能は、以下の通りであるが、特に「素材生産管理システム」における生産管理機能や作業進捗管理機能については、「ICT 林業生産管理システム標準仕様(StanforD2010形式)」に準拠し構築した。

➤ 素材生産管理システム（下図 5 参照）

✓ 作業進捗管理機能（事業計画、生産計画・現場設計の作成）（令和 5 年度構築・令和 5・6 年度実証）

作業班ごとの年間事業計画や、現場ごとの詳細な生産計画・現場設計を作成・表示する機能：GIS 上で確認した地形情報・資源情報を参照しながら、路網・運材等を含めた計画を入力可能とする。

✓ 生産管理機能（令和 4 年度構築・令和 4・5・6 年度実証）

素材生産の進捗状況の把握や、作業現場におけるハーベスタ・フォワーダの連携、情報共有を図るために、ICT ハーベスタ・GNSS 等から情報を取得し、地形情報やオルソ画像を背景図として、表示する機能：GIS 上でハーベスタ・フォワーダの走行軌跡や造材した 1 本 1 本の原木の位置・材長・径級・材積等の情報を表示可能とする。

✓ 作業進捗管理機能（実績管理・PDCA サイクル運用の支援）（同上）

生産管理機能から得られた情報や、本機能において入力したデータを基に、各現場の進捗や採材の状況を表示し、リアルタイムでの生産性把握を行えるデータ出力等を行う機能：作業日報・実績数量のデータ入力、生産管理機能との連携、生産性等の分析用 CSV データの出力を可能とする。

✓ カラーマーキング機能

ハーベスタが造材する際に、生産した素材（原木）の木口にカラーマーキングを行う機能：チェーンソーバーに塗料を塗布し、造材時に原木の木口に塗布する。赤・青・両方の 3 種類の分類（無塗布を加味すると 4 種類）を可能とする。

素材生産管理システム

資源情報・現場情報

- ドローンレーザー計測
- 地形情報・樹高・本数
- オルソ画像
- データ解析ソフト

- 資源量・現場状況把握
- ドローンレーザー計測を行い、解析データから資源量を把握
- 現場状況をオルソ画像から把握

解析データ

解析データ

作業進捗管理機能（生産管理機能含む）

事業計画

○随時見直し

期名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A期			国産林 1,200株				国産林 5,200株				国産林 2,200株	
B期	国産林 200株	国産林 1,100株			国産林 400株			国産林 1,100株			市産林 1,600株	
C期	国産林 100株	国産林 2,700株	国産林 500株			国産林 7,200株						

年間事業計画（月次）

運動

連携

生産計画・現場設計

需要情報に基づき、各作業班の現場設計を行う

- 伐倒計画（ハーベスタ）
- 集材計画（フォワーダ）
- 路網計画
- 運材計画

■生産計画のICT化

- 年間事業計画から割り当てられる各現場の生産計画を、ICT化する



現場名：民有林159林班
期 別：A期
面 積：5.12ha
出材量：1,500m³
工 期：7/1～6/10

生産管理機能

管理者

現場からの定量情報・地理的情報を基に、進捗状況を把握

- 伐倒（ハーベスタ）
- 集材（フォワーダ）
- 路網
- 運材

■現場進捗状況把握

- 現場での作業進捗を把握し、計画との差異認識や、必要な指示を行う



現場：民有林159林班
期 別：A期
工期：7/1～6/10
出材：1,200m³ 林内：400m³
集材：800m³ 土場：500m³
運材：300m³

共有

現場

集材指示イメージ

カラーマーキング



○日本版StanForD2010に準拠したハーベスタから、データを出力

■集材作業支援

- ハーベスタの走行軌跡と、玉切した丸太位置を記録し、フォワーダへ共有

- カラーマーキング機能付きハーベスタにより、最大4つの材種に仕分け

■手検知作業省略

- カラーマーキングにより、自社分の丸太は検知作業を省略

需要情報

四半期・月次
需要予測

合板工場 製材工場（自社） チップ工場（自社）

週次・日次
採材指示

■需要情報の集約化

- 自社および合板工場の需要情報を集約し、採材をリアルタイムで伝達
- 製材時の歩留まり向上

図 5 素材生産管理システム概要

今回は、予算上の都合で、造林計画・現場設計機能のみ構築した。

機械による地拵可能範囲のゾーニングや現場設計を支援する機能：ドローンレーザ計測で得られた詳細な地形データから、傾斜等のパラメータを基に、機械地拵可能な範囲のゾーニングや現場設計を支援する仕様とする。



ドローンによるレーザ計測を利用することによって、地形情報や単木の樹高・本数といった定量的情報を高い精度で把握することができるようになるため、森林調査の大幅な省力化が期待できる。さらに細かいメッシュサイズで、精緻な地形情報（数値標高モデル）を作ることができるため、微地形も詳細かつ精緻に表現することができる。

まずドローンレーザ計測より得られた詳細な地形情報や資源情報を基に、作業進捗管理機能を用いて現場の事業計画（月次）を作成した。さらに実証個所の詳細な生産計画作成と現場設計を実施した。

10

の有用性を確認した。加えて、林業機械間の情報共有を容易にし、特にフォワーダの集材作業支援に使用する定量情報・地理的情報をソフトウェア等により提供し、CTL システムをより円滑に進める環境を構築した。

さらに生産管理機能から得られたデータや、別途入力した日報データ・生産数量データを基に、作業進捗管理機能を用いて、計画と実績の再分析やリアルタイムの生産性分析を行い、事業実施途中での有用性について検証を行った。

● 販売・流通

システムにおける需要先（柴田産業の場合は自社工場）からの需要情報の入力や共有等については、本事業におけるシステム構築範囲外であったが、作業進捗管理機能や生産管理機能の運用における参考情報として、随時、収集・共有を行った。

特に必要な採材情報については、ハーベスタオペレータに、適時に伝達し、製材工場における原木在庫のリードタイム削減や素材歩留まりの向上を目指した。

● 再造林

トラクターに枝条破砕用のクラッシャーアタッチメントを装備し、地拵作業の機械化を行った。機械化により、軽労化・省力化だけでなく、生産性や安全性の向上も目指した。さらに、ドローンレーザ計測データから取得した地形情報を用いて、機械地拵えの可能な範囲の確認を行った。

1.6 実証事業の目標

本事業における目標を、下表 2 に示す。

表 2 本事業における目標

項目	指標	目標値
森林調査	CTLシステムを使用する現場でのドローンレーザ計測実施率	100%
素材生産	CTLシステムの現場における素材生産コストダウン（現状比）	▲1,000 円/m ³
販売・流通	需要情報を採材に活かしたCTLシステム現場から出材した自社製材工場向け原木の売上増加率（現状比）	+5%
再造林	林業用アタッチメント付きトラクターでの年間地拵面積	10ha /年

2 令和4・5年度の実施結果

2.1 これまでの実証で判明した可能性と課題

これまでの実証で、1.3で述べた3つの実証テーマにおいて、それぞれ明らかになった可能性と課題を表3に示す。

表3 昨年度までの実証で明らかとなった可能性と課題

1. 素材生産から再造林、製材を含めた垂直統合モデルの構築
➤ 原木取引において取引先との利害対立が発生する条件交渉の部分が、<u>特別な合意形成の必要無く経営者の判断</u>で進めることができる。 ➤ 【課題】逆に、<u>社内での合意形成・情報共有が重要</u>となる。特定の人材ではなく、一定以上の立場の社員・関係者にICTリテラシーが求められる。
2. 日本版CTLシステムの確立
➤ 素材生産において、少人数で<u>高い生産性</u>を発揮。経験年数が浅い人でも、<u>安全かつ快適な作業環境</u>で活躍することができる。 ➤ 【課題】CTLシステムがあらゆる現場に対応出来る訳ではない。<u>適用可否の判断</u>が重要。 また投資額が大きいので、<u>稼働率向上・事業地確保</u>が重要。
3. 「ICT林業生産管理標準仕様（StanforD日本版）」の普及
➤ <u>StanforD形式</u>のデータに対応することで、作業班内やサプライチェーンにおける<u>データ連携・共有</u>が容易になる。 ➤ 【課題】StanforD形式でのデータ出力に対応した<u>国内のハーベスタが少ない</u>。またStanforDに準拠したデータを、わかりやすい形で<u>閲覧できる汎用ソフトウェア</u>も少ない。

これらの課題を念頭に置き、令和6年度の事業を実施した。

3 令和6年度事業実績報告

3.1 事業実施成果（令和6年度）

3.1.1 実証地の概要

令和6年度の実証地の概要を以下に示す。

● 実証地（素材生産）の概要

- 場所：一戸町有林
- 森林の状況：（面積）約 16.8ha・（樹種）カラマツ、アカマツ、スギ、広葉樹
- 出材数量：6,180m³
- 作業内容：（令和4・5年と同じく）柴田産業のCTL作業班（2名）による作業を実施
- 使用機械：ハーベスタ：ハイランダーHL20-1（コンラッド社製）
フォワーダ：グレモ F1050（グレモ社製）
- 実証期間：2024年（令和6年）8月～2025年（令和7年）2月

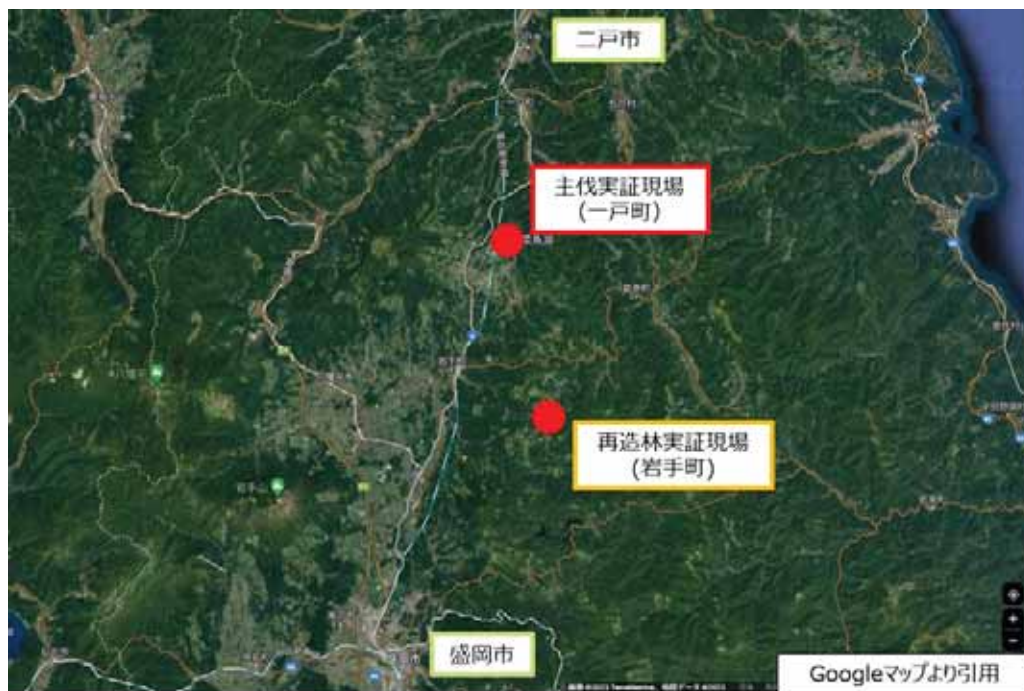


図7 令和6年度実証地の位置図

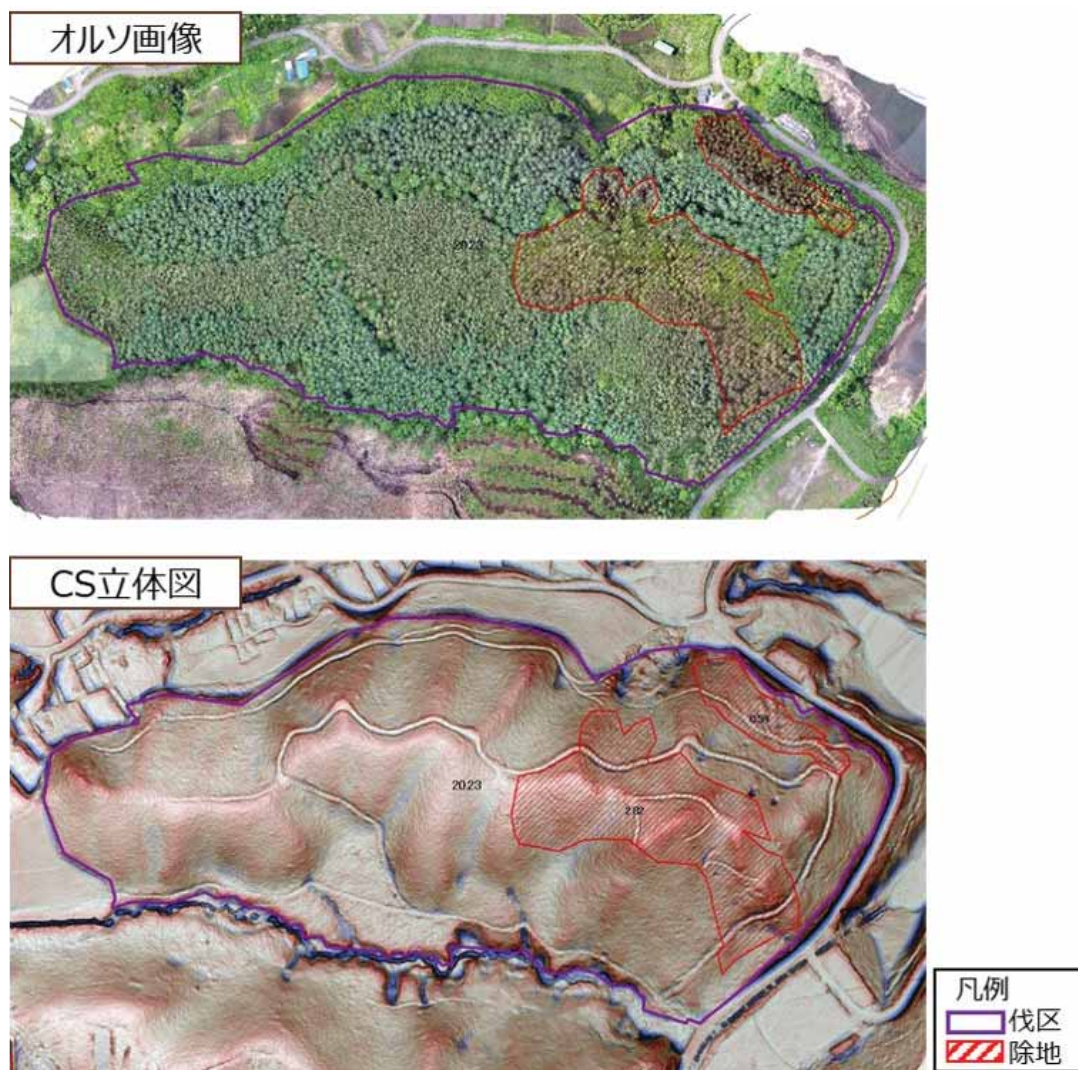


図 8 令和 6 年度実証地の図面

3.1.2 ドローンレーザ計測

3.1.2.1 LiDAR の諸元

実証は、柴田産業が導入した以下の機材を用いて行った。いずれも市販品であり、汎用ドローンを使用した、他の林業事業体でも導入・運用が容易なシステムのため、普及展開を図ることが可能である。

- ※ 機 種：DJI Matrice 300 RTK
- ※ センサー：Zenmuse L1 レーザセンサー
- ※ 基準局：D-RTK アンテナ
- ※ 飛行ソフト：DJI Terra



図 9 ドローン飛行状況（左）・アンテナ設置状況（右）

3.1.2.2 LiDAR 計測方法およびデータ検証方法

対象地のドローンレーザ計測は、対象範囲、計測高度、オーバーラップ率・サイドラップ率を設定し飛行計画を作成すれば、自動飛行で行うことができる。本実証では、実証地とその周囲を対象範囲とした。

本機種に限らず、ドローンレーザ計測の一般的な留意点として、計測高度の調整が重要となる。計測高度が低いと立木等への接触や、プロポ（手元の操作機器）とドローンの通信障害が発生するリスクが高くなる。一方で、計測高度が高いとデータの点密度が低下する。これらの要素を念頭に置いた上で、適切な計測高度を設定する必要がある。

本実証事業では、事前に写真による対象地の DSM 計測を行った。この DSM を使用することで、相対高で地形に追従した飛行（コンターフライト）を行うことが可能となる。



図 10 ドローンレーザ計測実施状況

3.1.3 素材生産管理システム

素材生産管理システムは、昨年度実証した生産管理機能については有用性を高める機能を追加すると共に、作業進捗管理機能を新たに構築し、現場への導入を行った。



図 11 素材生産管理システム 各年度の実証範囲

3.1.3.1 事前計画の検討

ドローンレーザ計測によって得られた詳細な地形情報や資源情報を基に、事前の作業計画を作成した（下図 12 参照）データの参照や分析は GIS を使用して行ったが、この工程を綿密に実施することにより、精度の高い作業計画を作成することが可能となる。

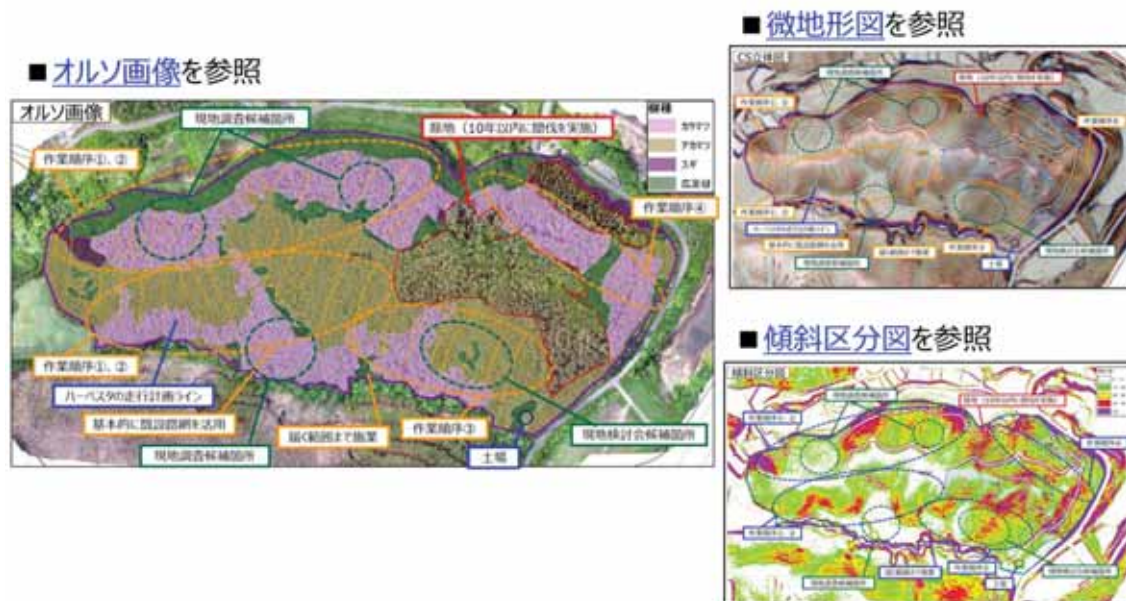


図 12 事前計画の検討

3.1.3.2 作業進捗管理機能（生産計画の作成）

柴田産業では、現場の作業進捗管理について、作業班別の年間計画を月単位で、作業者別の週間計画を日単位で、ホワイトボードを用いて管理している。（下図 13 参照）今年度は、本事業で導入した作業進捗管理機能を活用し、実証現場の作業進捗を管理することとした。



図 13 ホワイトボードによる作業進捗管理

素材生産管理システムにおいて構築した作業進捗管理機能の概要を図 14 に示す。

まず作業開始前に、ドローン計測・解析により地形情報や森林現況情報を取得し、それらの現場情報を基に作業進捗管理機能における作業計画を作成・登録する。また別途、得られた地形情報を生産管理機能に取り込むとともに、運用の基となる現場情報を手動で作成・登録する。

続いて作業開始後は、生産管理機能によって得られた作業実績数量を手動で、在庫数量を自動で、作業進捗管理システムにおける実績データとして入力する（される）。これらの収集された作業実績情報や在庫情報から、作業進捗・採材・生産性などの現状把握・分析をリアルタイムで行い、適宜、現場作業の改善や作業計画の見直し、環境配慮の確認等を行う。

このようにそれぞれの機能を活用・連携して作業進捗を管理することで、日本の素材生産分野において未だ十分ではない PDCA サイクルの実現が可能となり、結果、生産性が高く、かつ環境に配慮された作業を行うことにつながる。

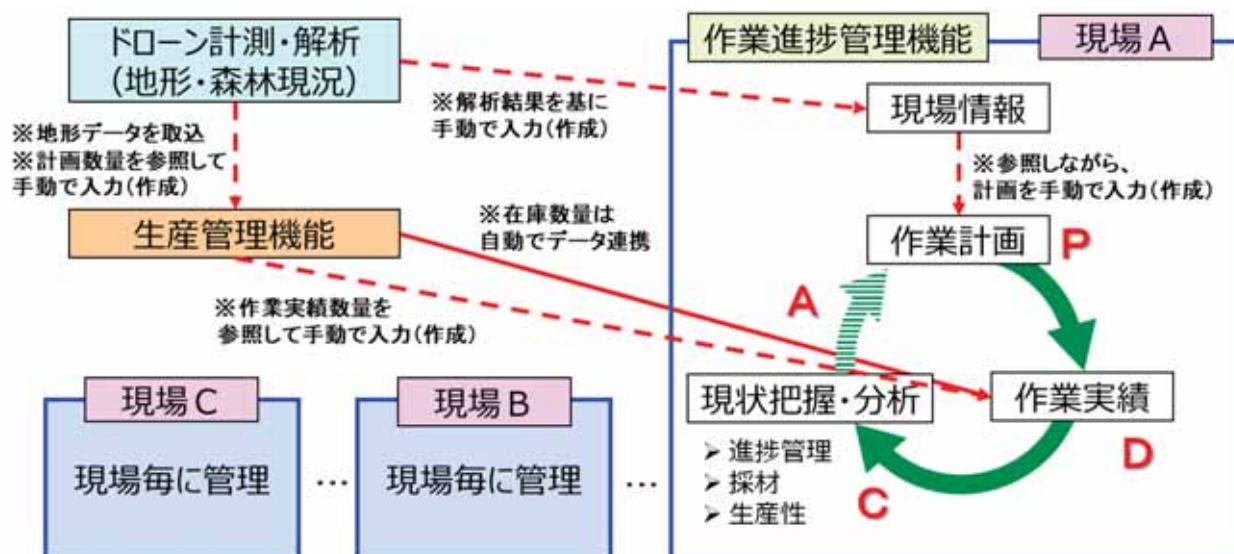
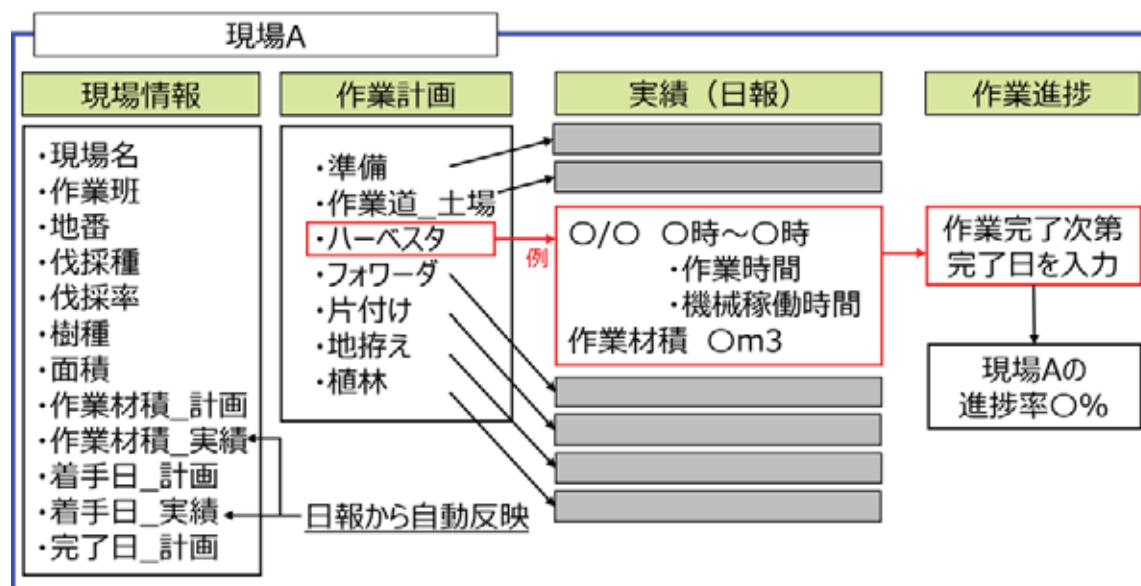


図 14 作業進捗管理システムの概要

作業進捗管理機能に登録するデータ項目を図 15 に、パソコンによる操作画面を図 16 に示す。計画時において、現場情報・作業計画に登録し、日々の作業では作業計画の該当する項目に実績を記録する。記録された実績から、作業の生産性や現場の進捗率を把握することができ、また分析に必要なデータを CSV 形式で出力することも可能である。



る。

図 15 作業進捗管理システムのデータ項目

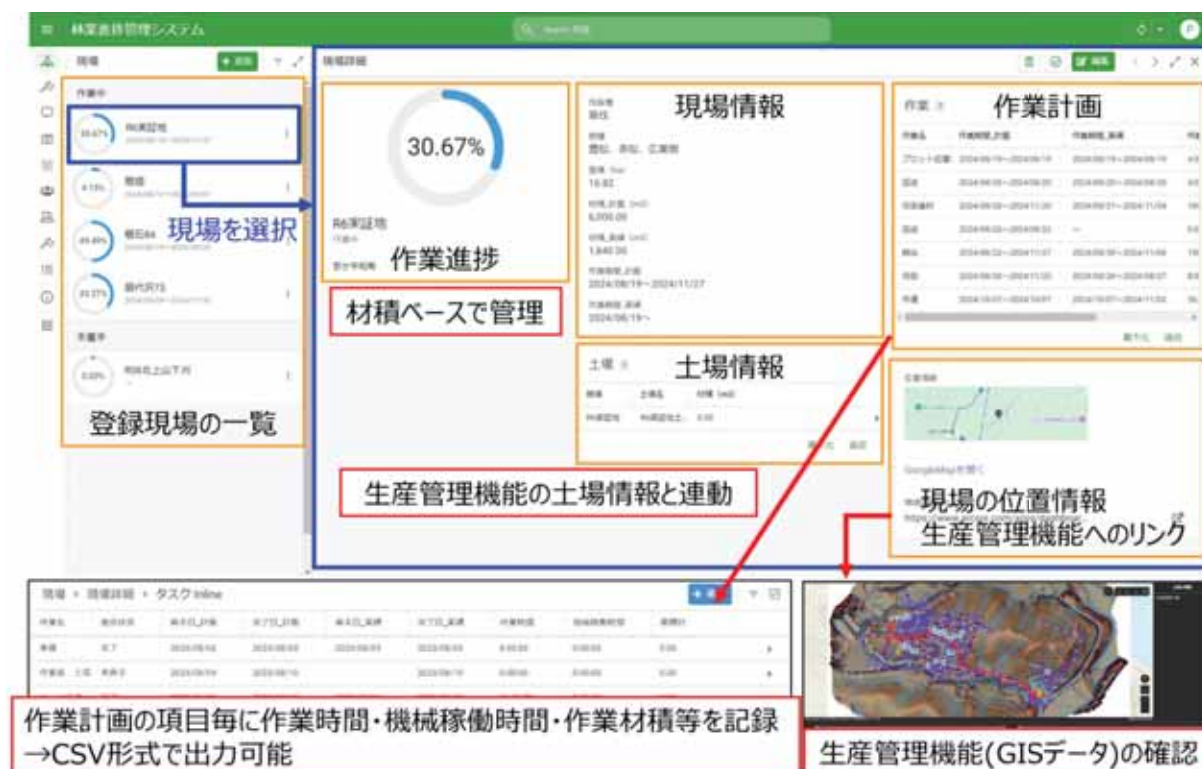


図 16 作業進捗管理の操作画面

3.1.3.3 生産管理機能

生産管理機能は、システムによるデータの記録・共有によって、ハーベスタとフォワーダの機械間連携を高めるとともに、作業班内および管理者（経営者）との情報共有によるPDCA サイクルの推進を目的としている。

図 17 に機械間の連携イメージを示す。ハーベスタの走行軌跡と、玉切した原木の位置情報等を記録し、フォワーダへ情報を共有する。

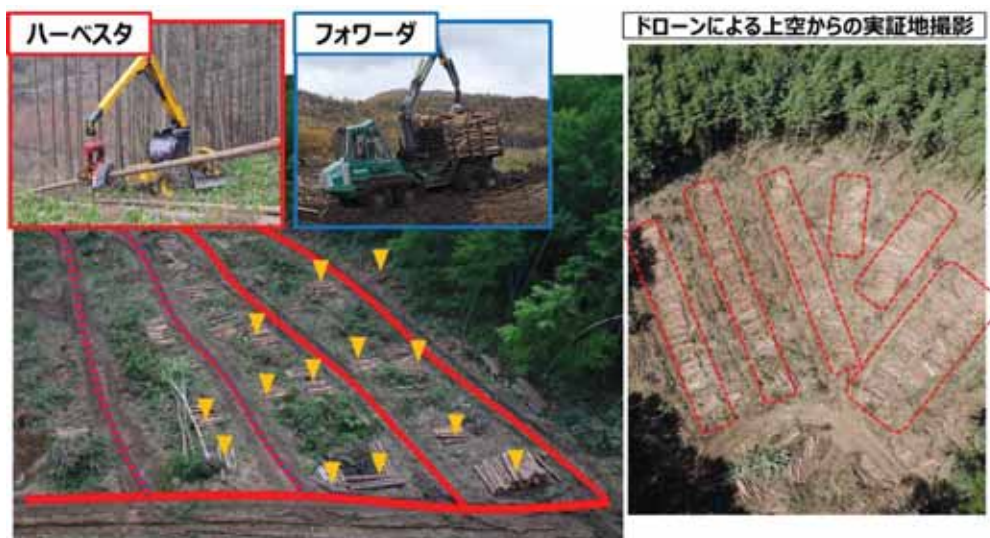


図 17 機械間の連携イメージ

実際にハーベスタにおいてデータを生成する流れを、図 18 に示す。ハーベスタで造材すると、StanForD に準拠したデータが、ハーベスタ操作用タブレット PC の中に、自動的に蓄積されていく。蓄積されたデータは、ハーベスタシステムの「StanForD」の画面から、hpr ファイルという形式で、出力することができる。出力した hpr ファイルには、取得されたデータが、XML 形式で記述され、格納される。

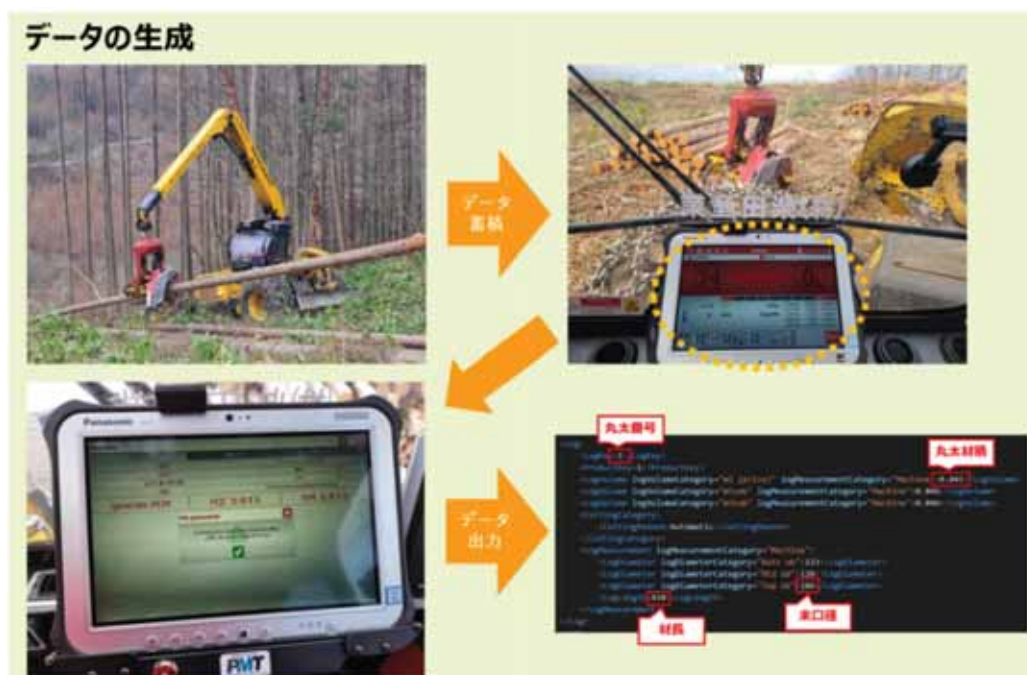


図 18 生産管理機能におけるデータ生成の流れ

生産管理機能はこれまでに、複数の現場情報を保存して切り替える機能、作業統計データ（日別収穫材積・日別搬出材積）の表示機能、土場データ（材種・材長別の材積）の表示機能、軌跡の表示期間を指定する機能、フォワードデータの入力機能・メモ機能を搭載した。（図 19）



図 19 生産管理機能（素材生産管理システム）の画面

今年度も昨年度から継続して、生産管理機能の運用実証を行った。当該機能を活用することで、経験の浅いオペレーターでも生産性を下げずに作業を行い、また、原木の正確な位置を把握できることで、集材漏れを防ぐことができた。

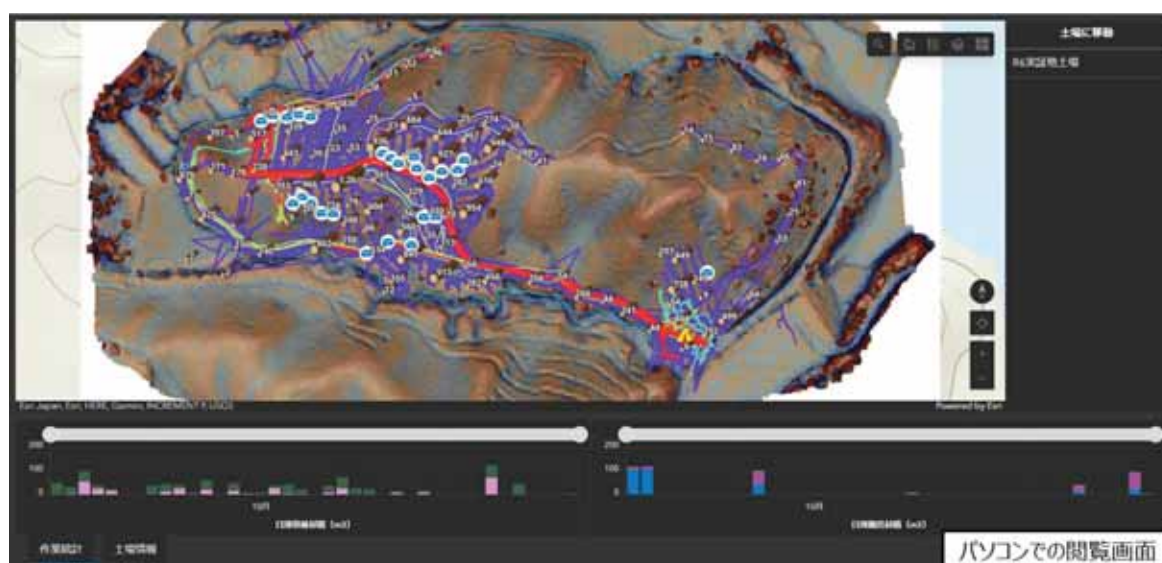


図 20 今年度の実証地における生産管理機能の活用



図 21 今年度の実証地における生産管理機能の活用

一方で、システムへのデータの反映は自動ではなく、オペレーターが手動で行う必要があること、また造材データの記録が不十分な樹種（大曲材や広葉樹等）は、直接造材した原木のデータを取得できない等の課題があった。特に後者の課題については、データ活用や分析の質を高めるためには、システム管理者（または作業管理者）による的確なデータ調整が必要な状況であるが、システムの運用効率を高めるために、なるべく調整の機会を減じること重要である。

3.1.3.4 作業進捗管理機能（実績管理・PDCA サイクル運用の支援）

今年度の実証において、実証現場の作業途中に作業進捗管理機能、ならびに出力されたデータの分析結果を用いて、複数回のミーティングを実施した。

その中では、

※計画と実行の差異についての確認

※生産性の分析

※進捗確認と終了時期の予測

※当該現場の作業内容や採材の改善

等について、参加メンバーで確認を実施した。

従来の素材生産においては、施業が完了してから結果を把握するのが通常であるが、本事業で導入した素材生産管理システムを用いることにより、作業途中での上記項目の確認や分析を行うことが出来、当該現場の改善を行うことが可能となる。

		11																											
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
		日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三			
作業	作業時間	0															6												
	使用機械	32															32												
	合計	1															1												
	機械台数(台)	0															1												
	人数	0															1												
注記事項	作業																												
	作業時間	7	7	5	5	6		4	6	5	7	6	4		5	6	6	4		5	6	6	4						
	使用機械	32	32	32	32	32		32	32	32	32	32	32		32	32	32	32		32	32	32	32						
	合計	3	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3		3	3	3	3		3	3	3	3						
	機械台数(台)	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
Logislog	作業	36	44	42	43	40		47	7	72	38	41	71		36	72	24	22		13									
	作業時間																												
	合計																												
	機械台数(台)																												
	人数																												
作業	作業時間																												
	使用機械																												
	合計																												
	機械台数(台)																												
	人数																												
荷出	作業																												
	作業時間	2	8	6	8	8		6	8	1	6	8		2	8	1	8		6	8		4							
	使用機械	36	30	36	30	36		36	30	30	36	30		36	30	30	36		36	30		36							
	合計	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2		2	2	2	2		2	2		2							
	機械台数(台)	28	20	28	20	28		28	28	28	28	28		28	28	28	28		28	28		28							
荷入	作業	2	8	6	8	8		6	8	1	6	8		2	8	1	8		6	8		4							
	使用機械	36	30	36	30	36		36	30	30	36	30		36	30	30	36		36	30		36							
	合計	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2		2	2	2	2		2	2		2							
	機械台数(台)	28	20	28	20	28		28	28	28	28	28		28	28	28	28		28	28		28							
	人数	3	1	1	1	1		3	1	1	1	1		1	1	1	1		1	1		1							
Logislog	作業	28	100	88	88	86		30	90	20	100	88		0	88	0	78		48	88		98							
	作業時間																												
	合計																												
	機械台数(台)																												
	人数																												



現場進捗確認

日報の振り返り

図 22 作業期間内における改善ミーティングの実施

今年度は、作業進捗管理機能で記録した日報データを基に生産性を算出し、柴田産業が目標とする月間の素材生産量を基とした生産性との差異を分析した。なお、生産性の算出に用いた材積は、フォワーダのオペレーターが記録した土場まで搬出した 1 日の概算数量である。

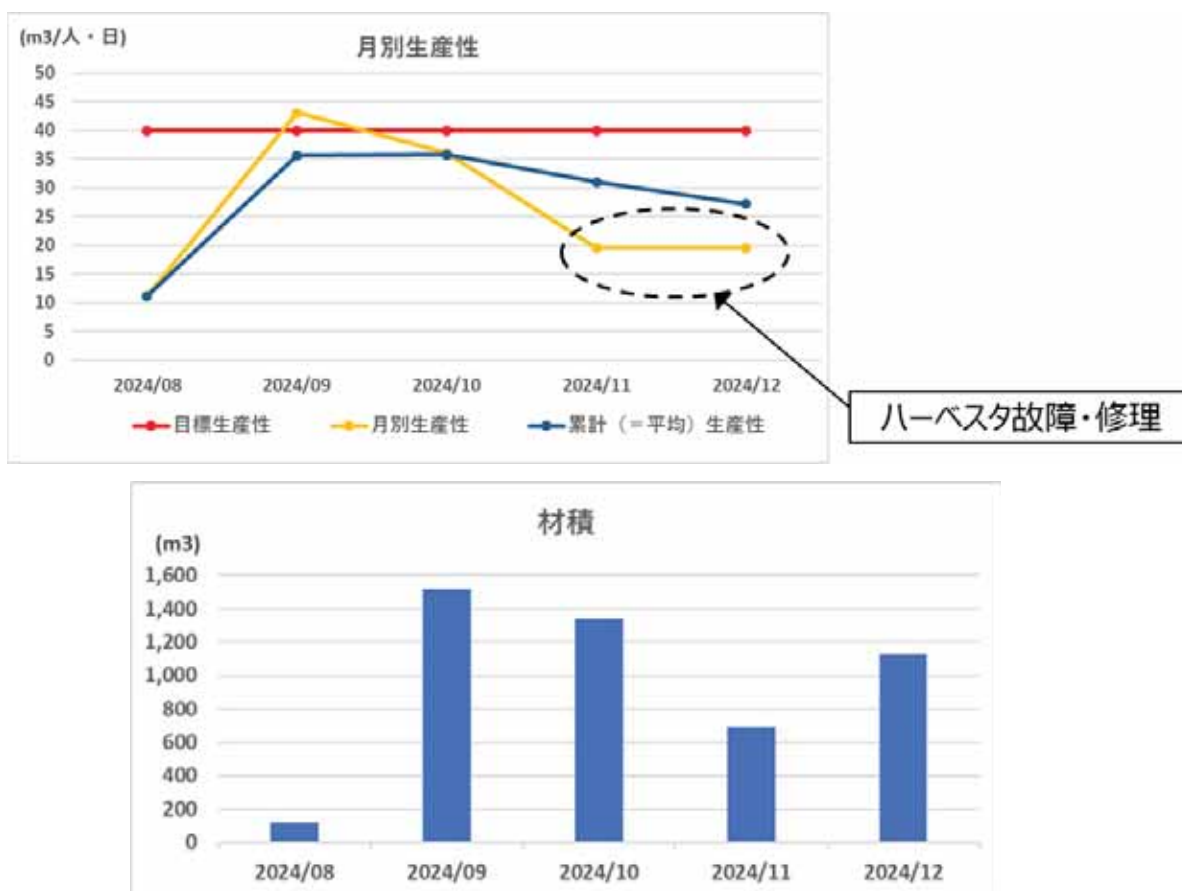


図 23 今年度実証における生産性の分析

まず柴田産業の目標とする CTL システム 1 班 (2 人) あたりの月間素材生産量は約 1,800~2,000m³/班・月であり、人日あたりの生産性に換算すると約 40m³/人・日となる。これに対し、作業進捗管理システムより出力されたデータより分析すると、2024 年 (令和 6 年) 12 月時点で、約 28m³/人・日と目標を下回る結果となっている。

これを月別に分析すると、10 月までは出材は順調であったが、11 月にハーベスタが故障し代替機による作業を強いられたため、以降は生産性が下落したことが確認できる。

先述の通り、今回導入した作業進捗管理システムを活用することで、作業途中におけるデータ分析が可能となるため、当該現場実行中において状況を把握・分析し、迅速に対策を講じることが可能となる。

3.1.4 カラーマーキング

今年度の実証においても、カラーマーキング機能付きハーベスタを用いて、カラーマーキングの有用性を確認した。図 25 に示す通り、特に原木種別の境界となる径級付近において、一目でどちらの種別か判断することは難しい。カラーマーキングにより、フォワーダによる集材時に、オペレーターが径級による材種区分で悩む時間が短縮された。



図 24 カラーマーキング実施状況

種別	径級(例)	着色
バイオマス	～16cm	無し
小	18cm～22cm	赤
中	24cm～30cm	青
大	30cm～	赤・青(2色)

仕分の境界付近の径級は、
目視では区別がつかない

図 25 原木の材種区分とカラーマーキング

また、柴田産業の自社製材工場（図 26）においては、原木の太さによって、歩留まりを考慮し製材品の挽き方を変えている。ただし、径級まで特定する必要はなく、図 25 で示した小・中・大程度の種別分けで、運用上は必要十分と判断している。従って、柴田産業の様な素材生産から製材まで行う垂直統合モデルにおいては、原木の売買が行われるわけではないため、カラーマーキング機能を用いることで、検知作業の省略が可能となることが確認された。



図 26 (株)柴田産業 製材工場の状況

今年度の実証においては、カラーマーキングの改良により、着色の精度をさらに向上させた。また自社工場において仕分け作業や在庫管理に要する時間が短縮されたことが、現場担当者へのヒアリングで確認できた。

3.2 今後の技術的な発展性について

3.2.1 空間情報と生産データの活用

本事業では、ドローンレーザ計測によって得られた詳細な地形情報と森林資源情報（森林現況情報）、素材生産管理システムにおける ICT ハーベスタから得られた造材内容や走行軌跡の情報、日報データを基とした作業進捗や生産性の情報等を、経営改善や需要側との連携に活用することを目指してきたが、同時にこれら蓄積されたデジタルデータは様々な用途・目的において利用することが可能である。

本事業では、岩手大学により、空間情報と素材生産データの活用について、別途検討を行った。

● 生産性の予測

ドローンレーザ計測によって得られた地形や森林資源に関する詳細なデータと、素材生産管理システムによって得られた生産性等のデータを基に予測モデルを構築し、新規の素材生産現場における生産性の予測が可能であることが明らかとなった。

具体的には、単木幹材積・立木密度・傾斜等の各情報から生産性に影響を与える因子を検証し、作業ラインごとに高精度の生産時間予測モデルが構築可能であり、結果、林分ごとの生産期間の予測や立木購入時の森林所有者に対する見積精度の向上につながる事が期待される。



図 27 空間情報と生産データの活用による生産性の予測（岩手大学作成）

● 走行影響の低減

生産管理機能において取得するハーベスタやフォワーダの走行記録データを用いて、作業対象地における林内土壌への影響を把握することができる。走行回数や土壌の深さ、枝条の有無等により、林内土壌への影響は異なるが、事前計画時にどの程度走行するかを想定し、実際の走行軌跡を確認することで、必要な箇所に対策が可能になるため、土壌への

影響を最小限に留めることが期待される。

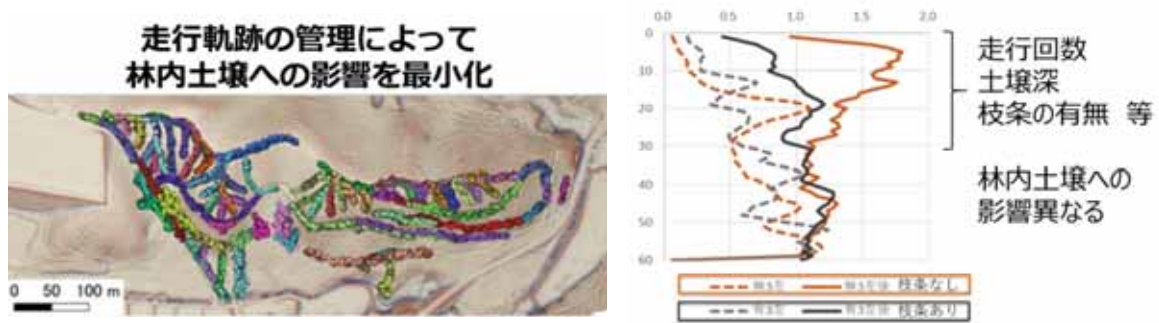


図 28 走行軌跡の管理による林内土壌への影響の低減（岩手大学作成）

● 伐区ごとの相対幹曲線式構築

今後、ハーベスタの造材結果データを蓄積することにより、対象地域における相対幹曲線式（または細り表）を調製することが可能となる。

相対幹曲線式は、立木蓄積から素材蓄積への歩留まり算定や出材種の予測において有用であるが、最も狭域でも都道府県域や流域単位での作成にとどまっており（作成されていない地域もある）、実際の現場へあてはめた場合、精度が十分でないことがある。

林業経営体がハーベスタから得られる造材データを蓄積することで、それぞれが活動する範囲における独自の相対幹曲線式の調製が可能となり、各素材生産現場における出材量・出材種の予測や地位推定についての精度向上が期待される。

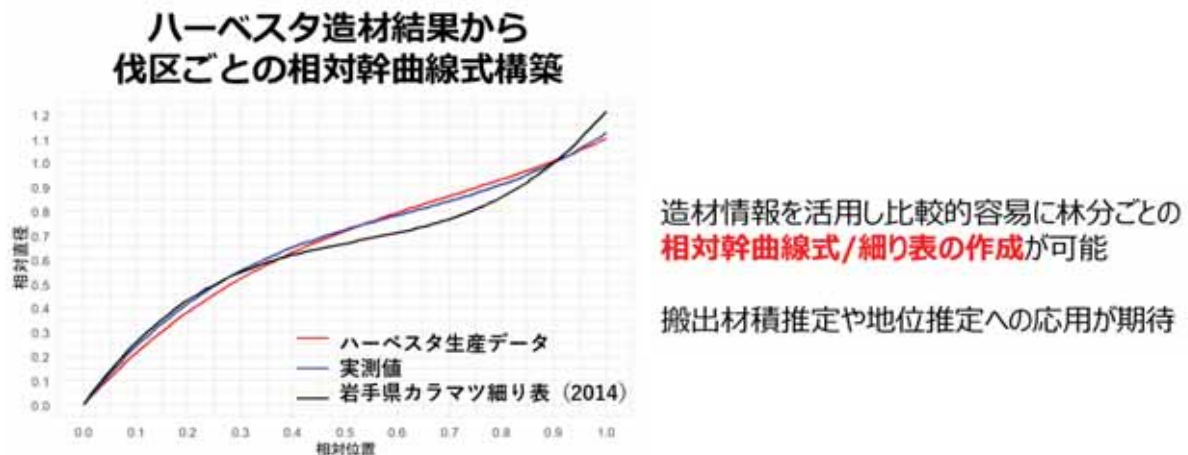


図 29 ハーベスタ造材データを用いた相対幹曲線式の調製（岩手大学作成）

3.2.2 トラクターによる機械地拵の植林木への影響

昨年度、素材生産の実証を行った岩手町の現場において、R4 年度に導入した地拵用アタッチメントを付けたトラクターによる機械地拵えを実施した。緩傾斜地においてトラクターによる伐根破碎を含めた作業を行い、急傾斜地では下刈り機による手動での刈払い作業を行った。

今年度は、当該現場において、クラッシャー地拵えを用いた造林作業が与える林地への影響について検証を行った。

具体的にはクラッシャー地拵えによって発生する伐根破碎物が林内に自然に撒かれることによって生じるマルチング効果による下草の発生予防、下刈回数の低減について、岩手大学が検証を行った。

結果、残念ながら、対象地において、期待された競争植生の抑制効果や植生木の生存率向上の効果は確認できなかった。

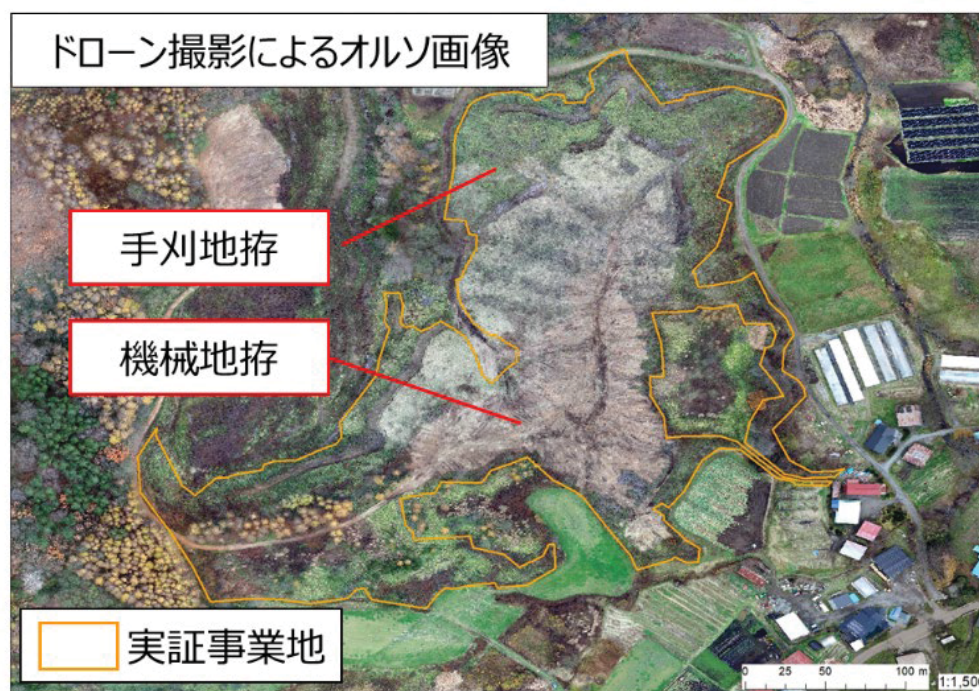


図 30 トラクターによる機械地拵実施状況



図 31 トラクター地拵作業状況

クラッシャー地拵えを用いた造林作業

一貫作業の実施で省力化・コストダウン

伐根破碎物のマルチング効果で防草に期待できる？

下草刈りの回数減に効果的！
…実際、どの程度効果があるのか？

■ 破碎物（伐根や下草の破片）には…

◎ 地面を覆うことで雑草を防ぐ効果がある

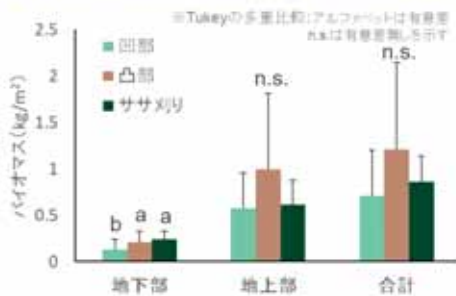
▼ 破碎物から雑草が繁茂する場合もある

競争植生の再生量の把握
植栽木の生残率の把握が必要



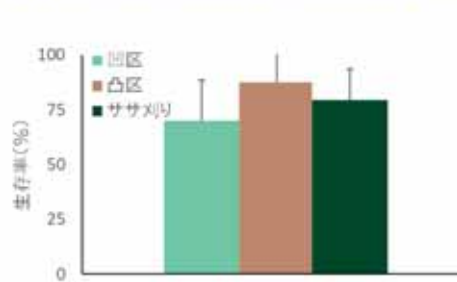
■ 施工年（左）と施工後1年（右）

■ 各施工地における競争植生量



・ 十分な抑止力は示されなかった
むしろ場合によっては増える

■ 各施工地における植栽木の生存率



・ 凸区（破碎物多）で高い傾向
しかし全体で有意な差はない

競争植生の抑制効果 × 植栽木の生存率への影響 ×
→ 造林省力化以外の効果は明確ではないが、
負の影響も無かった

図 32 トラクターによる機械地拵の植林木への影響（岩手大学作成）

3.3 協議会・現地検討会の開催

3.3.1 第一回岩手地域協議会

- 日時：令和7（2025）年1月22日
- 場所：オンライン会議（Zoom）
- 議事次第
 - 2024年度実証事業の成果報告
 - 普及展開に向けた意見交換



図 33 第一回岩手地域協議会実施状況

- 普及に向けた意見交換の内容

地域協議会において、事業終了後の普及展開に向けて、本事業で構築した「素材生産管理システム」の普及と素材生産におけるDX推進をテーマに意見交換を行った。委員から出た意見の概要を表3に示す。

表 4 地域協議会における普及に向けた意見交換で出された主な意見

「素材生産管理システム」の普及について
社有林を持っていない事業体が多く、事業地確保に時間がかかっている。 事業地確保に特化した職員の育成が必要。
経営者と現場作業員とが情報の捉え方や意識を共有し、一緒の方向に向かうことが重要。
ドローンにおいて、単に操縦だけではなく、解析までできる人材が必要。
機械コストがかかるため、年間何 m3 出せば何年後にペイできるかを事業体に説明することが重要。
中小の事業体に普及するためには、機械をレンタルできる体制があると良い。

素材生産におけるDX推進について
本システムでは進行管理を綿密にできるため、重機を施業地から引き上げる前に地拵え等造林作業に使用でき、素材生産と再生林の一体化に有効。
ドローンで計測した詳細なデータを基に、崖や建物等危険な箇所を把握し、そこに作業員が近づくとアラートが鳴るような仕組みがあると良い。
ドローンで計測したデータを基に、成長の悪いエリアや尾根沿いを部分的に残す等を調査段階で判断できると良い。
今後、広域で施業することになると、地元でないため、水を取っているところ等環境的に配慮すべき箇所がわかりにくい。これをデータ化できれば、どんな人でも環境に配慮した施業ができる。

3.3.2 現地検討会

- 日時
令和6（2025）年11月19日 10：00～14:30
- 場所
奥中山地区公民館および実証現場（岩手県二戸郡一戸町地内）
- 参加者
75名
- 内容
一戸町にある奥中山地区公民館に集合し、その後、車で約10分の距離にある実証現場へ移動し、カラーマーキング機能付きハーベスタとフォワーダによる連携や素材生産管理システムの生産管理機能を実演した後、柴田産業のオペレーターの意見等を発表した。また素材生産管理システムに接続するQRコードを掲示し、参加者のスマートフォン等で、素材生産管理機能のうち生産管理機能をデモンストレーション版で体験させた。
その後、奥中山地区公民館へ移動し、事業概要説明・素材生産管理システム・ドローンレーザ計測による森林資源把握・クラッシャー地拵えを用いた造林作業について、説明を行った。
参加者からは、素材生産管理システムへの期待やドローンレーザ計測による資源量把握の精度など、様々な質問や意見が出され、活発な意見交換の場となった。



図 34 現地検討会の実施状況
(左：実証状況、右：室内における事業説明及び討議)

● アンケート

現地検討会終了後、参加者にアンケート記入を依頼し、参加者 75 名中 40 名より回答を得た（回答率 53%）。アンケート結果を図 26 に示す。

回答者の半数以上が、林業事業体・民間企業・団体に所属していた（問 1）。また、現地検討会参加に際して期待していた技術、および当日最も関心を持った技術は、作業進捗管理機能（素材生産管理システム）が最多となった（問 2）。また、素材生産管理システムについて、生産性向上・労働環境の改善・導入のしやすさ・林業の魅力向上に対する期待度を問う設問では、生産管理機能・作業進捗管理機能は全体的に期待度が高く、特に生産性向上・労働環境の改善・導入のしやすさについての期待度は高かった（問 3）。

また ICT 林業生産管理による効果に関する自由記述においては、データによる管理に伴う生産性の向上・効率化を期待する意見や、導入コストや現状とシステム導入後の比較による評価を求める意見が見られた。

問1.所属先		人数	割合
1	林業事業体(森林組合含む)	12	30%
2	国	2	5%
3	都道府県・市町村	9	23%
4	民間企業・団体	15	38%
5	研究機関	2	5%
6	その他	0	0%
合計(アンケート回答者数)		40	100%

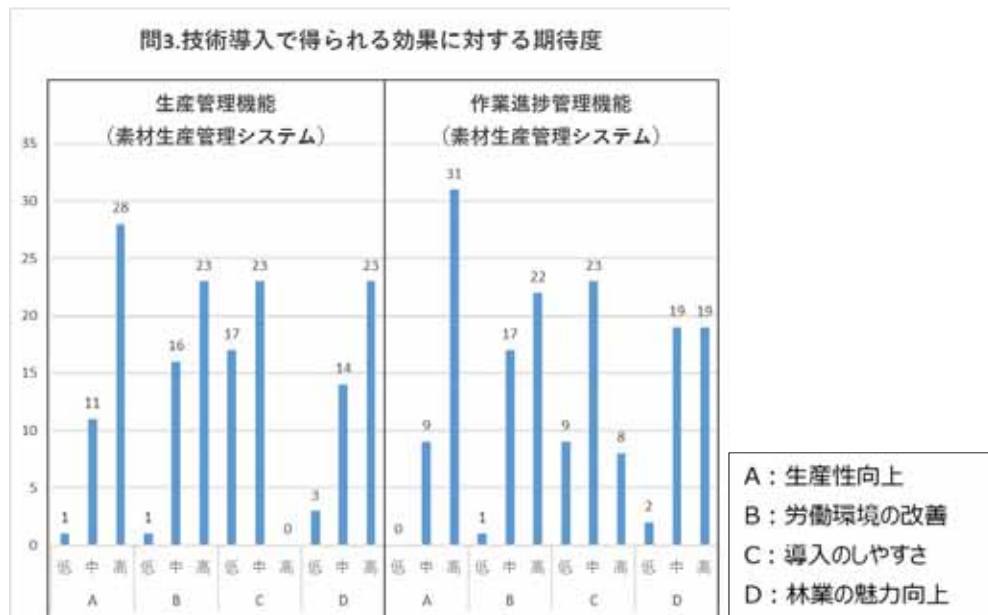
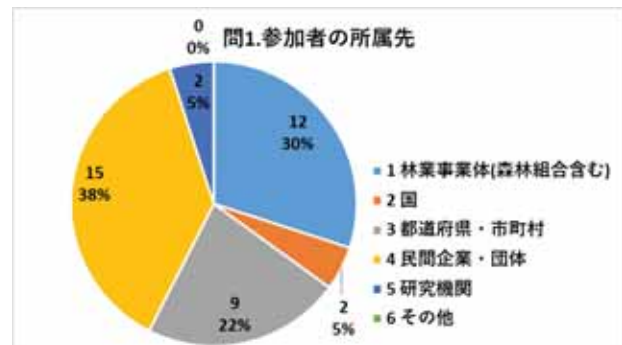


図 35 現地検討会におけるアンケート結果

4 実証事業の総括

4.1 実証テーマごとの達成状況

本事業で定めた3つの実証テーマごとの達成状況を、表5に示す。

表5 実証テーマごとの達成状況

1. 素材生産から再造林、製材を含めた垂直統合モデルの構築
➤ 原木取引において取引先との利害対立が発生する条件交渉の部分が、<u>特別な合意形成の必要無く経営者の判断</u>で進めることができる。 ➤ 【課題】逆に、<u>社内での合意形成・情報共有が重要</u>となる。特定の人材ではなく、一定以上の立場の社員・関係者にICTリテラシーが求められる。 ➤ 【達成状況】操作が容易な「素材生産管理システム」により、<u>作業班内・管理者と作業班間・素材生産部門と製材工場部門の情報共有</u>が可能となった。
2. 日本版CTLシステムの確立
➤ 素材生産において、少人数で<u>高い生産性</u>を発揮。経験年数が浅い人でも、<u>安全かつ快適な作業環境</u>で活躍することができる。 ➤ 【課題】CTLシステムがあらゆる現場に対応出来る訳ではない。<u>適用可否の判断</u>が重要。また投資額が大きいので、<u>稼働率向上・事業地確保</u>が重要。 ➤ 【達成状況】ドローンレーザ計測によって得られた精緻な地形・森林資源情報により、<u>CTLシステムの導入可否を判断</u>し、精度の高い生産計画を立案出来た。結果、<u>CTLシステムの稼働率向上・事業地確保</u>につながる事が期待される。
3. 「ICT林業生産管理標準仕様（StanforD日本版）」の普及
➤ <u>StanforD形式</u>のデータに対応することで、作業班内やサプライチェーンにおける<u>データ連携・共有</u>が容易になる。 ➤ 【課題】StanforD形式でのデータ出力に対応した<u>国内のハーベスタが少ない</u>。またStanforDに準拠したデータを、わかりやすい形で<u>閲覧できる汎用ソフトウェア</u>も少ない。 ➤ 【達成状況】StanforDに準拠したデータを簡単に利用可能な「素材生産管理システム」を構築した。今後は、<u>StanforDではないデータ形式（CSV等）へ対応を拡大</u>することが課題。

まず、「①素材生産から再造林、製材を含めた垂直統合モデルの構築」については、今回ITリテラシーがそれほど高くないユーザーでも操作が容易な「素材生産管理システム」を構築・導入したことにより、垂直統合型の林業経営体内における組織内の情報共有、具体的には作業班内・管理者と作業班・素材生産部門と製材工場部門の情報共有が可能となった。

「②日本版CTLシステムの確立」については、ドローンレーザ計測によって得られた精緻な地形・森林資源情報により、CTLシステムの導入可否を判断し、精度の高い生産計画を立案することが可能となった。また作業進捗管理システムにより、素材生産現場の進捗が容易に社内共有でき、次の現場の立木購入や段取りを円滑に行うことがかとうとなった。これらの成果により、CTLシステムのさらなる稼働率向上・事業地確保につながる事が期待される。

「③ICT 林業生産管理標準仕様（StanforD 日本版）の普及」については、StanforD に準拠したデータを簡単に利用可能な「素材生産管理システム」を構築・導入することが出来た。今後は、StanforD ではないデータ形式（CSV 等）へ対応を拡大することが課題である。

4.2 目標に対する達成状況

事業における目標に対する、3 ヶ年を通じた達成状況を下表 6 に示す。

表 6 目標に対する達成状況

項目	指標	目標値	R6年度進捗
森林調査	CTLシステムを使用する現場での <u>ドローンレーザ計測</u> 実施率	100%	全4箇所の現場で計測を実施。
素材生産	CTLシステムの現場における <u>素材生産コストダウン</u> （現状比）	▲1,000 円/m ³	約▲ <u>2,000円/m³</u> （23%削減） 注）昨年度と今年度は現場条件が異なる 今年度実証は未了
販売・流通	需要情報を採材に活かしたCTLシステム現場から出材した <u>自社製材工場向け原木の売上増加率</u> （現状比）	+5%	約+ <u>1.7%</u> 注）今回の実証では、検知・仕分け・荷下ろし作業の効率化によるコストダウン額を工場側の原木仕入価格で除した
再造林	<u>林業用アタッチメント付きトラクター</u> での年間地拵面積	10ha /年	約11haで機械地拵を実施し、 <u>目標達成</u>

● 森林調査

森林調査に関しては、今年度、柴田産業における全 4 箇所の作業現場でドローンレーザを活用した計測・解析、材積推定を実施し、目標達成となった。

● 素材生産

素材生産に関しては、「素材生産管理システム」全体の実運用を開始した R06 年度の実証現場と「現場管理機能」のみのテスト運用レベルにとどまった R05 年の実証現場を比較すると、29%の生産性向上と 2,038 円/m³ のコストダウンの結果となり、目標を達成した。（下表 7 参照）

なお R06 は作業が完全に終了していない R07 年 1 月末までの結果である。算定の範囲には、事前調査・作業道開設・仕分け作業・工場までの運賃は含んでいない。また作業進捗管理システム上における数量把握では、ハーベスタから出力される生産数量は一部の太曲材や広葉樹材等のデータを含んでいない可能性があるため、フォワーダオペレータの申告ベースの生産数量を用いているが、上記比較については、（作業進捗管理システムが未導入であった）R05 との比較を行うために、双方ともハーベスタから出力される数量を用いている。

この結果より、以下の考察を行った。

- R06 は前年比で大幅なコストダウンとなったが、R05 と R06 は実証現場が異なり、林内傾斜は同様であったが、林況（対象立木の樹高・胸高直径）は R06 の方が良好

であったことも影響したと思われる。

- 一般的に林業における生産性を把握する際には、作業員 1 人当たりの労働生産性を算定することが多いが、CTL システムの場合は、人件費コストより機械コストの占める割合が多い（R06 15%：85%）ため、班当たりの生産性で把握の方がコスト分析として適当である。
- 一方、柴田産業の従来作業システム（チェーンソー伐倒・ウインチ集材・山土場造材）による作業班の労働生産性は約 10m³/人日であり、労働生産性の観点からも、CTL システムの優位性は明らかである。（R06：21.1/人日）
- 柴田産業の CTL システム班は、使用する機械が高額（現行ではハーベスタとフォワーダで 185 百万円）ということもあり、最終的な目標生産性を 80m³/班・日としている。そのため R06 の結果 42.2m³/班・日でも、未だ改善の必要があると判断している。
- 一方、柴田産業が運営する製材工場は、ほぼ自社が素材生産した原木を使用しているが、仮に外部から原木を仕入れた場合、カラマツの平均購入単価で約 10,000 円/m³（R06 現在）とのことであり、算定に含まれていないコストを加味したとしても、R06 の水準で概ね採算に乗っていると思われる。

表 7 実証（素材生産）における生産性・生産コストの比較

＜R05実証＞ ※作業班(2名/班)当たりの生産性・生産コスト					
大項目	小項目	種別	単価・数量	単位	備考
コスト	人件費		40,000	/日	2名/班・20,000円/人日
	機械損料	ハーベスタ	83,300	/日	機械代100百万円・耐用年数5年・月20日稼働
		ハーベスタヘッド	16,700	/日	機械代 20百万円・耐用年数5年・月20日稼働 ・カラーマーキング無
		フォワーダ	50,000	/日	機械代 60百万円・耐用年数5年・月20日稼働
	修繕費	全機械	40,000	/日	80万円/月・月20日稼働
	燃料費		37,500	/日	250L/日・150円/L
	合計		267,500	/日	
生産性	R05		32.6	m3/日	2名/班 ハーベスタ数量・作業日報より
m3当生産コスト	R05		8,206	円/m3	

＜R06実証＞ ※作業班(2名/班)当たりの生産性・生産コスト					
大項目	小項目	種別	単価・数量	単位	備考
コスト	人件費		40,000	/日	2名/班・20,000円/人日
	機械損料	ハーベスタ	83,300	/日	機械代100百万円・耐用年数5年・月20日稼働
		ハーベスタヘッド	20,800	/日	機械代 25百万円・耐用年数5年・月20日稼働 ・カラーマーキング有
		フォワーダ	50,000	/日	機械代 60百万円・耐用年数5年・月20日稼働
	修繕費	全機械	40,000	/日	80万円/月・月20日稼働
	燃料費		37,500	/日	250L/日・150円/L
	合計		271,600	/日	
生産性	R06		42.2	m3/日	2名/班 ハーベスタ数量・作業進捗管理システムより R05より29%生産性向上
m3当生産コスト	R06		6,436	円/m3	R05より@2,038円(23%) コストダウン

表 8 R05 実証現場と R06 実証現場の林況の差異

	R05		R06	
	樹高(m)	胸高直径(cm)	樹高(m)	胸高直径(cm)
カラマツ	24	26	28	30
アカマツ	18	22	22	26
林内傾斜(°)	14.7		18.0	

● 販売・流通

販売・流通に関しては、実証において売り上げ増加率の測定が困難であったため、カラーマーキングの利用による検知作業の省略や積込及び荷下ろしの効率化によるコストダウン効果で判断した。

結果、従来の手検知方式と比較して、167 円/m³ のコストダウン結果となり、工場側の原木仕入れ価格を@10,000 円/m³ とすると、約 1.7%の利益（売上－費用）の向上となった。

目標の 5%には到達しなかったが、先述の通り、工場側での仕分け作業や在庫管理、採材の最適化による必要な材種調達のリードタイム短縮等についての効果も別途確認されており、今後、垂直統合型モデルの利点を活かした、工場側での「素材生産管理システム」導入効果のさらなる発揮が期待される。

表 9 カラーマーキングの利用による検知・積込・荷下ろしのコストダウン効果

場所	作業	単位	従来の手検知		カラーマーキング利用		備考
			所要時間	金額	所要時間	金額	
山土場	検知	円	30分	1,250	不要	0	トラック1台20m ³ 当たり 人件費20,000/日
	積込	円	1時間10分	2,917	40分	1,667	
製材所	荷下ろし	円	40分	1,667	20分	833	
合計		円		5,833		2,500	
m ³ 当たり単価		円/m ³		292		125	m³当たり167円削減

● 再造林

再造林については、前年度の皆伐実証地において機械地拵えを約 11ha 実施し、目標達成となった。

4.3 事業成果の普及に向けた課題

最後に、本事業の成果を普及展開する際の課題について、以下に記す。

- CTL システムを採用する事業体への普及

特に北東北や北海道においては、緩傾斜地における作業も多く、既に CTL システムを導入している林業事業体も一定数存在する。それらの林業事業体に対しては、本事業の成果、特に「素材生産管理システム」の普及は十分可能である。

一方、これらの地域においても、CTL システムを導入していない林業事業体も多数存在する。これらに対しては、CTL システム自体を普及する必要があるが、高額な機械の導入が必要となるため、まず事業地の確保が重要となる。

- 他の作業システムへの普及

日本の他の地域において主流である、作業道上でハーベスタ（またはプロセッサ）が造材し、山土場まで作業道をフォワーダが運材するシステムも、広義の CTL システムと定義づけることもできるため、「素材生産管理システム」を導入することは可能である。

- StanforD 形式に未対応のハーベスタを使用した作業システムへの普及

先述の通り、日本の林業機械メーカーが開発したハーベスタ（ヘッド）の多くは、StanforD 形式に未対応である。一方、造材結果のみではあるが、CSV 形式でのデータ出力に対応している場合も多いため、普及にあたっては、「素材生産管理システム」へのデータ入力を CSV 形式にて可能な仕様に拡張する必要がある。

- 造林・育林の機械化の普及

本事業で実証した地拵作業を始めとして、造林・育林の機械化は、労働力不足もあり、日本林業の喫緊の課題となっている。ただし素材生産用の機械と同様、造林・育林用の機械も高額であり、かつ地形条件により作業可能な機種が限定されるため、対象地域の平均的な地形条件を把握した上で、稼働率向上のための事業地確保に努める必要がある。

令和6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

ICTを活用したCTLシステムによる
垂直統合型経営モデルの構築
事業成果報告書

令和7（2025）年2月

実証主体
株式会社柴田産業
住友林業株式会社
国立大学法人岩手大学 農学部

林野庁補助事業

令和6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

新たな技術を融合させた経営モデル（古殿モデル）の実証
事業成果報告書

令和7年2月

株式会社サンライフ 古殿町 福島県林業研究センター

目次

I. 実証事業の概要.....	1
1. 事業の名称.....	1
2. 取り組みの背景.....	1
3. 実証のテーマ	1
4. 実証団体の構成.....	1
5. 林業経営体、支援機関、実証事業関係者相関図.....	2
6. 実証事業の内容.....	2
(1) 実施場所（位置図、写真等）	2
(2) 事業区分毎の計画内容	2
(3) 工程表.....	3
(4) 実証事業の目標	3
II. 実証事業の実行結果及び課題	4
1. 令和4年度及び5年度の実行結果及び課題	4
(1) ICT活用.....	4
(2) 現場作業の機械化.....	10
(3) 新たな経営手法	12
(4) トレーサビリティの確保.....	13
2. 令和6年度の実行結果.....	14
(1) ICT活用：FRD（路網設計ソフト）の有効活用の可能性検討.....	14
(2) ICT活用：ノーコードアプリ活用による自作スマホアプリの活用	15
(3) 現場作業の機械化：マルチャーを使用した検討.....	17
(4) トレーサビリティの確保：適切な森林管理を知ってもらうためのツアー実施	25
(5) 現地検討会の実施.....	27
3. 実証事業の総括.....	28
(1) ICT活用1：GNSSを使った測量.....	30
(2) ICT活用2：路網設計ソフトを活用した路網設計.....	30
(3) 現場作業の機械化.....	33
(4) 新たな経営手法	33
(5) トレーサビリティの確保.....	34
III. 今後の事業の展開の方向	35

Ⅰ. 実証事業の概要

1. 事業の名称

「新たな技術を融合させた経営モデル（古殿モデル）の実証」

2. 取り組みの背景

令和 4～6 年度の活動の狙いと目標は以下の通り。適切な主伐再造林を行いつつ、林業事業体の林業の機械化・ICT 化を進める。また、早生樹植栽と適切な森林管理を一般社会に理解してもらう取り組みを行う。



3. 実証のテーマ

レーザ航測データを活用した路網設計支援ソフトFRD やクローラ型の電動一輪車等の新技術の実証を行うとともに、林業者からエンドユーザーへの働きかけとして伐採位置情報の表示による「持続性確認可能木材」を流通させる古殿モデルの実証を行った。

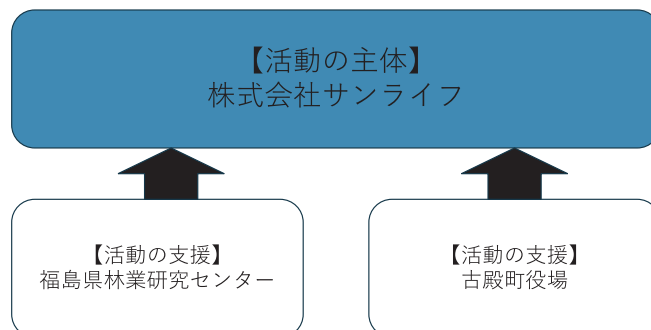
4. 実証団体の構成

以下の 3 事業体により実施した。

名称	【林業事業体】 株式会社 サンライフ	代表者	水野 喜文
名称	【行政】 福島県林業研究センター	代表者	伊藤 正一
名称	【行政】 古殿町役場	代表者	岡部 光徳

5. 林業経営体、支援機関、実証事業関係者相関図

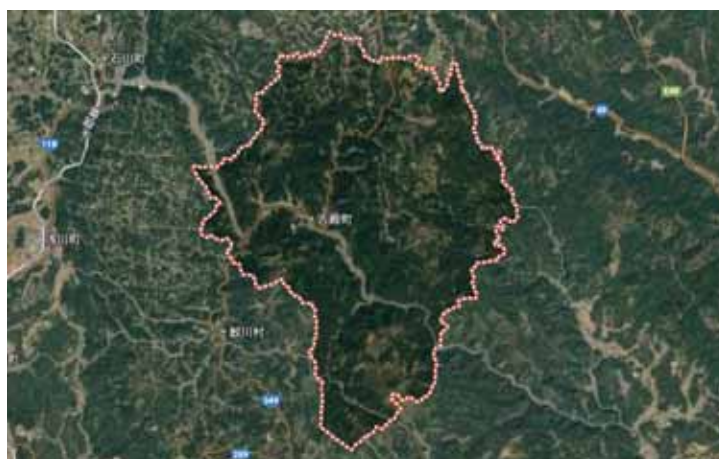
事業実施は、株式会社サンライフが行い、福島県林業研修センターと古殿町役場が支援した。



6. 実証事業の内容

(1) 実施場所（位置図、写真等）

全ての実証事業は、福島県石川郡古殿町内の株式会社サンライフの所有地または同社が事業を行なっている森林において実施した。



(2) 事業区分毎の計画内容

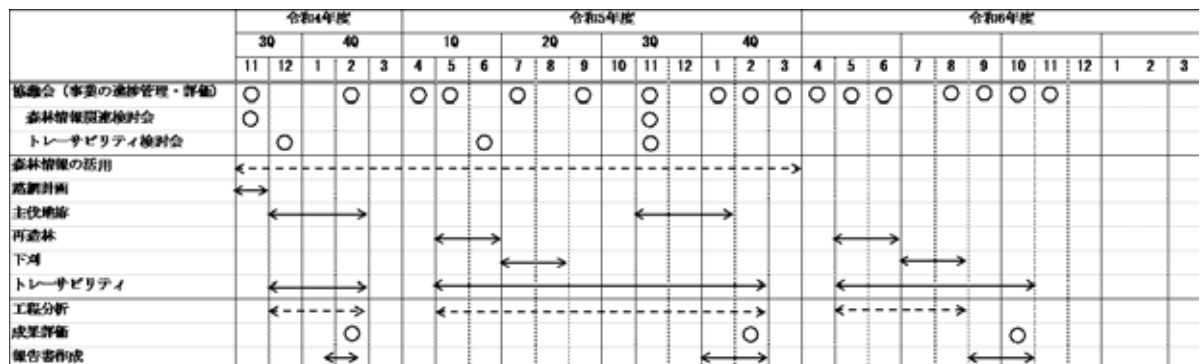
事業区分と実施年度は以下の通り。

事業区分	実施年度	内容
ICT 活用	令和 5 年度、令和 6 年度	作業路網設計支援ソフトの活用
	令和 5 年度	GNSS を使った測量
	令和 5 年度	ドローンを活用した森林資源の把握
	令和 5 年度	検知アプリによる丸太検知

事業区分	実施年度	内容
	令和6年度	スマートフォン活用のシステム構築
現場作業の機械化	令和4年度、令和5年度	マルチャー活用による地拵え
	令和6年度	マルチャー活用による下刈り
	令和5年度	電動一輪車による運搬作業
新たな経営手法	令和5年度、令和6年度	早生樹の植栽・育成
トレーサビリティの確保	令和4年度	主伐再造林地をHPで公開する仕組みの実証
	令和5年度	適切な林業作業をPRするためのマーケティング調査
	令和6年度	適切な林業作業をPRするためのツアーの実施

(3) 工程表

以下の通り。



(4) 実証事業の目標

本事業では、以下の事項の実証を行い、林業の活性化につなげることを目指す。

- ・ ICTを活用した効率的で将来的に成長できる林業事業体の体制づくり
- ・ 新技術を活用した伐採、造林、保育作業の軽労化、低コスト化
- ・ 投資回収までの期間短縮、内部収益率（IRR）の向上
- ・ 持続性確認可能木材の定着 → 販路拡大、立木価格の向上（将来）

II. 実証事業の実行結果及び課題

1. 令和4年度及び5年度の実施結果及び課題

令和4年度及び5年度の実施結果及び課題（令和6年度の実施結果も加えて表記）は以下の通り。

(1) ICT 活用

① 作業路網設計支援ソフトの活用

(a) 目的

- ・レーザ航測データを活用した作業路網設計支援ソフトFRDの実証を行い、ソフトウェアに適した事業地の抽出、日常的な活用に向けた社内仕組みづくりを行う。

(b) 活動実績と結果

年度	活動内容	成果
令和4年度	－	－
令和5年度	・FRDを導入し、操作研修を受けた ・3ヘクタールの主伐再造林地の伐採前の現場を対象にFRDにより路網設計を行なった ・同じ現場を対象に人力設計による路網線形を作り、人力設計に基づいて実際に路網開設を行なった ・最終的にFRD設計路網と開設された路網を比較した	・人力路網踏査作業を比較するとFRDでの設計は8倍の効率があることが分かった ・傾斜が30°程度の現場でFRDと人力設計の路線比較をしたところ、路線系に大きな差があった ・傾斜が緩いとFRDはさまざまな路線選択を提示するため、役に立つようで役に立たないことがわかった ・FRDの真価は30度以上の傾斜地での活用に適していることが予想される結果となった
令和6年度	・傾斜が急なエリアで、人力設計でも選択肢が少なく、ソフトにとっても選択肢が少ない場合にどの程度、人力設計との差がなくなるかを検証	・FRDがアウトプットする路線は人力設計ほど伐採計画を反映できていないことが確認され、人力設計を代替するまでの性能ではないという判断である ・ただし、新規路網開設の際に大ま

		かな路線イメージの参考としては十分に活用できる
--	--	-------------------------

■人力設計（青線）と開設路網測量（赤線）の路線形の比較 ■FRD（黄線）と開設路網測量（赤線）の路線形の比較



- 人力設計担当と路網開設をした人物は同一である
- 開設作業の時点で路線が変更されたり、設計時点ではなかった路線が追加されている。



- 人力設計における始点はFRD共有したが、路網開設者とFRDでの設計者が異なったため線形のちがいは大きい。
- FRDでは選択されないルートを人力設計では選んでいる場合がある。
- 実際の開設作業では事前設計されていない路線が追加で開設されている。

<設計の実績と設計コスト>

	作業時間		作業者数	延べ人日	人件費
人力設計	3時間	0.4日	2人	0.80人日	8,000円
FRD設計	1時間	0.07日	1人	0.07人日	667円

※人件費単価は 10000 円／日、7.5 時間／日とした。

② ICT 活用 1：GNSS を使った測量

(a) 目的

- ・ 路網設計においてGNSSを活用して効率化を測れるかどうかの検証
- ・ 人力設計（デジタルコンパス測量）と比較した場合の精度の検証

(b) 活動実績と結果

以下のように、デジタルコンパス測量（外注）と GNSS 測量を実施した。

年度	活動内容	成果
令和 4 年度	－	－
令和 5 年度	・ GNSS のレシーバーとスマホ用の測量ソフトを導入した ・ 既存の測量方法（外注業者）と GNSS 測量作業を比較した	・ 既存測量と GNSS 測量作業では所要時間は変わらなかったが、GNSS 測量は 1 名作業であるため、その分、コスト削減につながる事がわかった ・ 日常業務で GNSS を使っている状況
令和 6 年度	－	－

＜デジタルコンパス測量の様子＞



＜コスト分析結果＞

	測量面積	作業者数	現地測量作業時間	費用	機材費用	機材備考	今回の測量費用	測量単価
デジタルコンパス測量	0.3ha	2人	0:00	330,000円	0円/回	費用に含まれる	330,000円	330,000～1,100,000円/ha
GNSS測量	0.3ha	1人	0:30	778円	10,600円/回	GNSS10万円＋ソフト96万円、5年間使用、年間20回使用とした	11,378円	37,926円/ha

③ ICT 活用 3：ドローンを活用した森林資源把握

(a) 目的

- ・ドローンの写真撮影機能を用いて、伐採前の森林資源量をどの程度正確に且つ、効率的に把握できるのかを検証した。

(b) 活動実績と結果

以下の流れで検証した。

年度	活動内容	成果
令和4年度	－	－
令和5年度	・毎木調査によるカウントとドローン空撮から作成したオルソフォトを作成して目視カウントで立木本数を比較した	・今回、ドローン撮影で作成したオルソフォトを使った目視カウントでは、DBH30cm以下の立木のカウント精度が低いことが確認された ・ドローンの飛行高度を下げ、写真解像度を上げる等の工夫が必要である
令和6年度	－	－

<ドローン撮影により撮影したオルソフォトに目視で単木にマーキング>



樹頂点に樹種ごとに点をうち、単木をカウントした。

④ ICT 活用 4：検知アプリによる丸太検知

(a) 目的

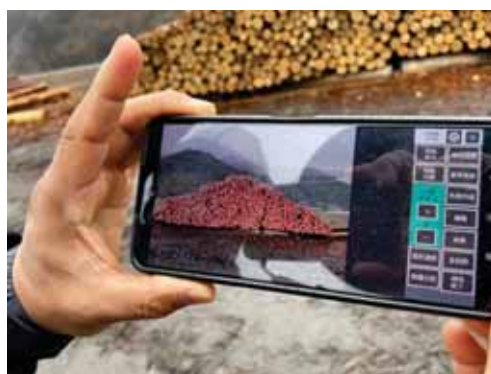
現場から工場に直送される原木のトラックドライバーによる丸太検知作業と納品伝票の作成の効率化を図る。

(b) 活動実績と結果

以下のように、実施した。

年度	活動内容	成果
令和 4 年度	－	－
令和 5 年度	・ スマホ用の丸太検知アプリを活用して原木運搬のトラックドライバーに活用してもらい、作業の効率化につながるかを検証した	・ 製材用丸太の工場直送の場合には、このアプリが有効に使えることが分かった ・ ただし、作業効率の効果は約 25 万円/年であり、(株) サンライフでは少なくとも 7 ライセンス (10 万円/ライセンス) が必要となり、費用対効果が見合わないことが確認された ・ 小径木の写真計測においては、アプリを使うよりも人力カウントの方がスピードが早く、本数精度も高いことが確認された。 ・ このようなことから、現時点では採用はできないと判断された

< 検知アプリを使った検知の様子 >



左：赤白ポールに取り付けたスマートフォン（検知アプリ）を操作 右：小径木の写真カウント

⑤ スマートフォン活用のシステム構築：ノーコードアプリの導入

(a) 目的

- ・ 林業事業体の経営の合理化を図り、経営データのスムーズなやりとりと経営データの集約化を図るために、ソフトやスマホ活用によるシステムを構築する。
- ・ 株式会社サンライフの日常業務の課題をICTによって解決することを目的とした。

(b) 活動実績と結果

年度	活動内容	成果
令和4年度	－	－
令和5年度	－	－
令和6年度	・ (株) サンライフの日常業務で恒常的に発生している問題を分析 ・ 問題を解決できるICTツールの検討 ・ ICTツールの導入を図った	・ サブスクリプション契約のノーコードアプリ（自分でアプリを作るためのアプリ）を導入 ・ (株) サンライフでノーコードアプリの研修を実施 ・ (株) サンライフの社員で「現場管理」と「機械管理」の2つのアプリを作成し、運用を開始 ・ 令和7年度も継続して使っていく

<活動の様子>



(2) 現場作業の機械化

① マルチャー活用

(a) 目的

- 令和4年度と令和5年度に使用したマルチャーの小型を用いて、下刈りの効率化と低コスト化を検証する。

(b) 活動実績と結果

年度	活動内容	成果
令和4年度	0.45クラスのベースマシンに0.45クラスのヘッドでの地拵えを実施	マルチャーヘッドの刃（ハンマー型）の選択が悪く根株、枝葉の粉碎に苦勞した
令和5年度	0.45クラスヘッドで地拵え	- マルチャーヘッドの回転制御をスマホでできるようになり、刃（チズル型）の選択したことにより、効率的に粉碎できるようになった - 令和4年度に地拵えした現場におけるマルチング効果は認められなかった
令和6年度	0.25ヘッドを0.45クラスのロングリーチで下刈り ヘッドの回転軸をアームに対して直角に取り付け 誤伐防止のためのカメラ・モニター取り付け	- ベースマシンでの操作が楽になり、作業効率が向上した - 植栽木を誤伐する可能性が減った - 運転席からカメラ・モニターで植栽木を見ながら下刈りをするのが可能になった - 粉碎クズは奥側飛散し、作業の安全性も確保された

<実証に使用した機材>



左：令和4・5年度のマルチャー（ノーマル）、右：令和6年度のロングリーチマルチャー・ヘッド直角取り付け

② 電動一輪車の活用

(a) 目的

- ・ 人力運搬作業（植栽時）を電動一輪車に置き換えることにより、作業の軽労化と効率化を目的とした。

(b) 活動実績と結果

年度	活動内容	成果
令和4年度	-	-
令和5年度	電動一輪車を活用した運搬作業の実証	・最大傾斜19度に枝条があっても荷物を載せたまま問題なく走破可能 ・直登方向だけでなくトラバース方向にも問題なく走行できる ・下り方向でもブレーキ作業は必要なく安全走行可能 ・人力歩行と同程度のスピードなので、電動一輪車を活用することによる追加的な負担はない ・人力作業（年配作業）と比較して運搬時間の短縮になる ・植栽作業効率が人力200本/日を250本/日に効率アップさせられると同時に、労働負荷を減少させられることが示唆された。
令和6年度	-	-

<実証の様子：電動一輪車運搬>



左：電動一輪車、右：人力運搬

(3) 新たな経営手法

(a) 目的

初期投資の最小化を目指して、令和5年度に植栽した早生樹（キリ、コウヨウザン、スギ大苗）の1年目の育成調査を行い、管理作業を行い管理コストの検証を行う。

(b) 活動実績と結果

年度	活動内容	成果
令和4年度	－	－
令和5年度	10月30日に以下を植栽 ● スギ（コンテナ大苗） ● コウヨウザン（コンテナ普通苗） ● キリ：3年生の玉苗（ポット苗）	コウヨウザンは4割がウサギの食害被害が発生
令和6年度	6月27日に以下を植栽 ● ユーカリ ● ユリノキ ● センダン ● チャンチンモドキ	成長が旺盛なのはユーカリ それ以外はわずかな成長にとどまったか、ほとんど成長しなかった。

<1年生のキリ、4m弱、DBH6cm弱の1年性のキリ（指導に基づき施肥）>



(4) トレーサビリティの確保

(a) 目的

- ・ 再造林費に見合った立木価格形成のため、簡易に閲覧できる産地情報の提供によるエンドユーザーへの働きかけを行う。具体的には、令和4年度と令和5年度に実施してきたQR コードに産地情報を埋め込み、エンドユーザーが手軽に伐採地の現状を確認できる手法のマーケット調査を行い、それらを用いて山側と工務店や大規模集成材工場等と連携を模索する。

(b) 活動実績と結果

年度	活動内容	成果
令和4年度	・主伐再造林した森林位置を状況写真をHPから見るができる仕組みを試行的に構築 ・HP を見ることができる QR コードを原木桤につけて試行流通	原木を落札した業者にHP を見てもらえなかった（興味を持ってもらえなかった）
令和5年度	ハウスメーカー感謝祭にて一般施主に主伐再造林地を HP から見ることのアンケート実施	アンケート結果では、HP からでなく実際に主伐再造林の現場を見てみたいという回答が大多数
令和6年度	・令和5年度のアンケート結果を踏まえて、主伐再造林現場に施主候補を連れていく「電動アシスト自転車による林業ツアーin 古殿町」を11/30に開催、8名参加(参加数を限定) ・林業を見たことない人にツアー前後での意識変化を分析	・一般の施主候補は林業現場を見たことなく、林業知識がない人ばかりであった ・林業現場を見てもらい、適切な森林管理について学んでもらった ・ツアー前後のアンケートでは適切な森林管理について関心のある人はいなかったが、ツアー後は25%の方に関心を持ってもらえた

2. 令和6年度の実行結果

(1) ICT 活用：FRD（路網設計ソフト）の有効活用の可能性検討

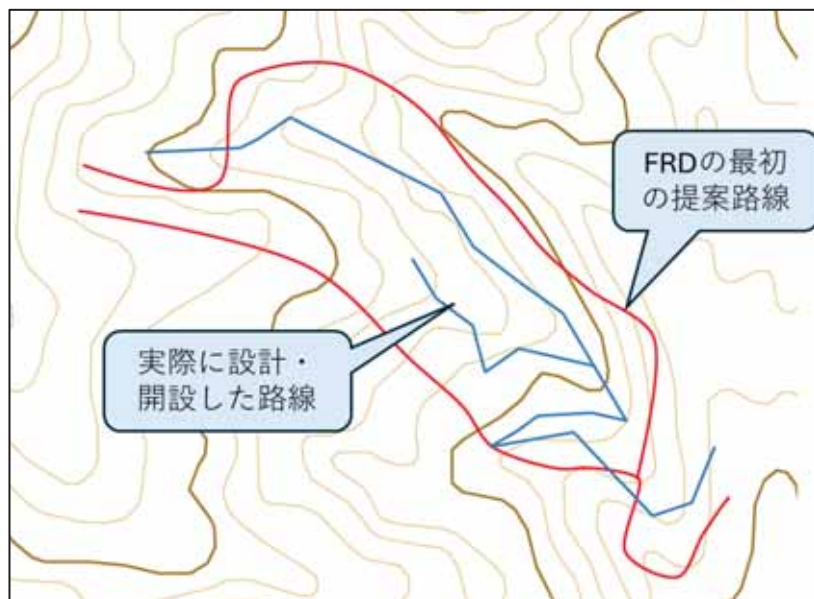
① 目的

- FRD の実践的な導入を行うため、令和5年度実証において示唆された、急斜面での活用を実証

② 結果

- FRD 初期提案路線の延伸の方向性は人力設計と同じである
- FRD 設計には原木収穫の作戦を踏まえた細やかさまでは提案できていない（機能にない）
- 路網開設の実作業プロセスを踏まえると、FRD を急傾斜地限定で初期段階の机上における地形分析と路線延伸の大まかな方向感を得るには活用できる

<FRD が自動計算で提案した路線（赤線）>



(2) ICT 活用：ノーコードアプリ活用による自作スマホアプリの活用

① 目的

- ・ 常時、7 現場と機械 40 台が稼働している状況を十分に管理しきれていない状況。情報把握とその整理に時間を要している状況の改善を目指した

② 導入したアプリの概要

- ・ パソコンでアプリを作成し、アプリを社員のスマホに自動送信
- ・ 携帯電波が入らなくても使用可能
- ・ 位置情報も記録可能
- ・ QR コードも作成
- ・ アプリは 200 アプリ作れる
- ・ 25,000 円／月のサブスク契約
- ・ 【課題】集計はできないので別途集計システムを作成発注

③ 実施内容

- ・ スマホアプリを自社で作るための作成アプリ「ノーコードアプリ」を導入
- ・ 社内業務のスマート化に必要なアプリは社員自ら作成して運用する仕組みを導入
- ・ 初期操作は、メーカーによる操作研修（3 時間×2 回）
 - ・ 1 回：基本操作研修
 - ・ 1 回：高度な操作研修（要望したため）

④ これまでの ICT 化と根本的に異なる点

- ・ 自社で必要なアプリを社員が自らが作成
- ・ 社員に IT 思考（論理的思考）が生まれる
- ・ 社員の自発的な発想で業務を効率化・IT 化



⑤ アプリの導入前と後のコスト・効果比較

- ・ 日常業務で無駄が発生していた事象については、アプリ導入によるスマート化により削減効果が発生（期待）。
- ・ 費用面では、スマート林業ツールの使用料が発生するが、それでも年間削減効果：317,500円／年が見込めると試算された。
- ・ ただし、使用料を支払っても、①収集できていなかった必要なデータが取得でき、②日常業務負担が軽減され、③精神的負担が軽減され、金額的な削減効果以上のありがた味がある。

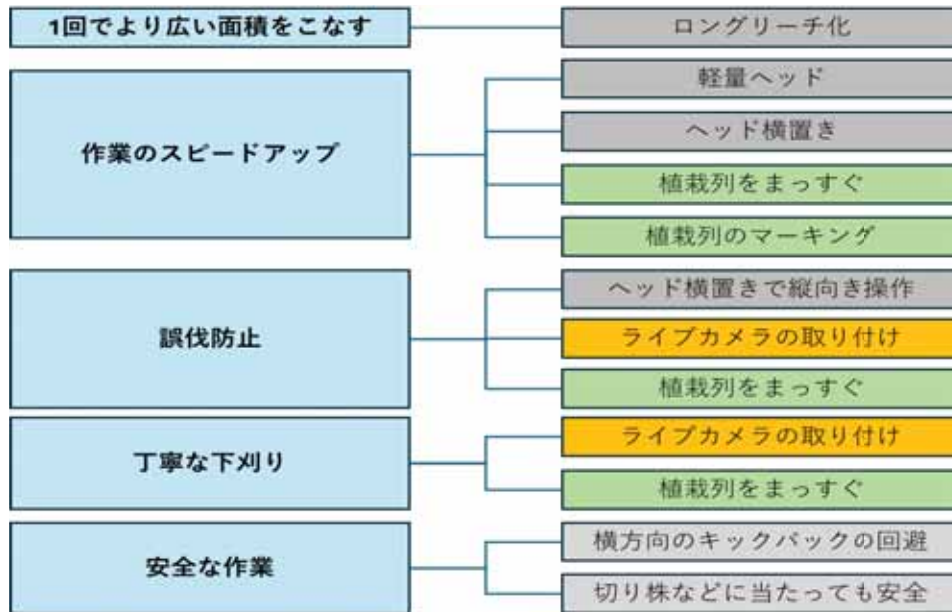
大分野	中分野	6月時点で発生しているコスト			効果	改善効果（見込み）		
		時間／月	月費用	年費用		時間／月	月費用	年費用
機械管理	機械の位置確認	1.83時間／月	3,667円／月	44,000円／年	省略	0.00時間／月	0円／月	0円／年
	オペ確認・鍵探し	3.67時間／月	7,333円／月	88,000円／年	鍵探しは残る→1／2に削減	1.83時間／月	3,667円／月	44,000円／年
	燃料使用量の情報収集 免税軽油の集計	18.75時間／月	37,500円／月	450,000円／年	→1／4に削減	4.69時間／月	9,375円／月	112,500円／年
現場進捗確認 (7現場)	現場進捗の確認 毎日集計 事前段取り 毎月集計	44.00時間／月	88,000円／月	1,056,000円／年	→1／4に削減	11.00時間／月	22,000円／月	264,000円／年
ノーコードアプリ	-	-	-	-	新規導入	-	25,000円／月	300,000円／年
集計アプリ (5年償却)	-	-	-	-	新規導入	-	50,000円／月	600,000円／年
			136,500円／月	1,638,000円／年			110,042円／月	1,320,500円／年

(3) 現場作業の機械化：マルチャーを使用した検討

① 目的

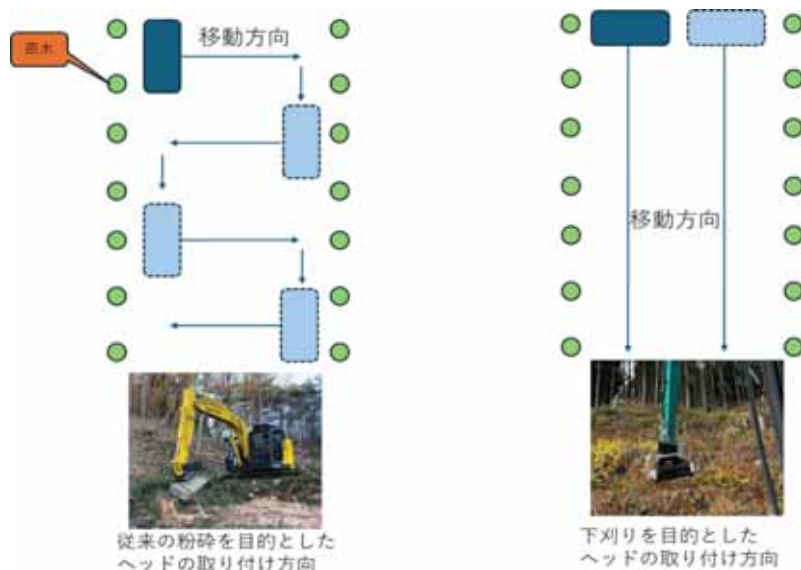
過酷な労働を強いて、誤伐も多い下刈り作業を機械化するための工夫を検討

② 令和6年度検討の目的と改造

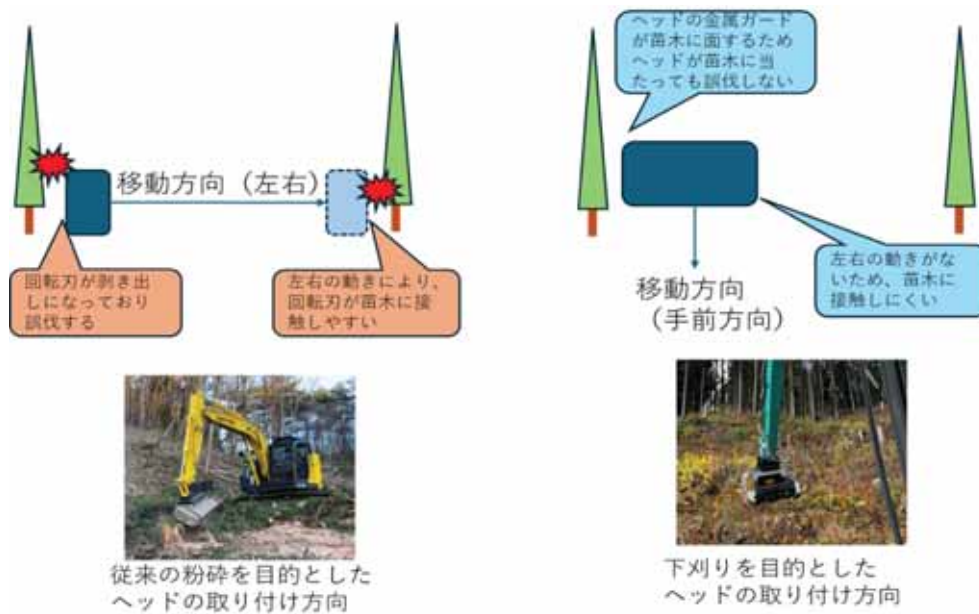


③ 粉碎ヘッドのバックホーへの取り付け方向の工夫

(a) 作業操作の効率化への効果



(b) 誤伐防止の効果



④ 誤伐防止の更なる工夫 (ヘッドへのモニターカメラの設置)



⑤ 作業結果（1 回のみ）

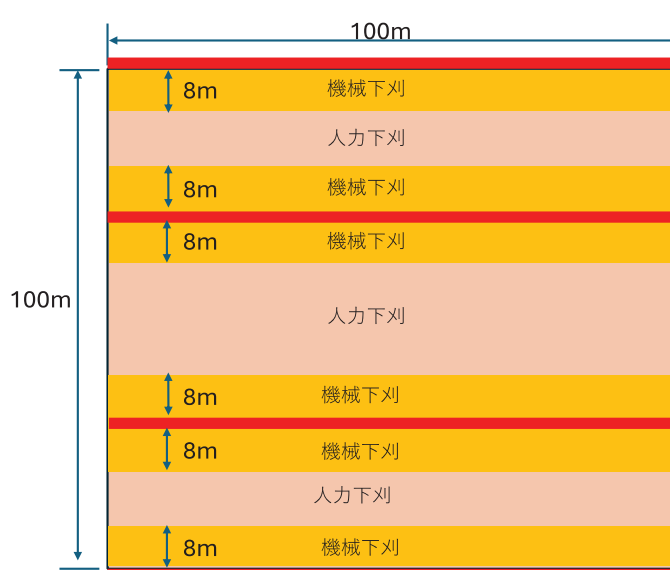
	作業時間	面積	haあたり 作業時間	作業人数	1人作業／ha	傾斜	誤伐
マルチャー	0:08:25	107.20m ²	13.22 時間	1人作業	13.22 時間	15～30°	なし
人力	0:20:41	248.81m ²	13.39 時間	2人作業	26.77 時間	平均10°	2本

※実証で得られた人力データは、平坦地であったため、異常に良過ぎたため、コスト試算では使用しなかった。



⑥ コスト試算

<1 ヘクタールの下刈りを標準した>



(a) 作業効率の人力作業とマルチャー作業の比較

	数値	備考
1. 全て人力作業		
下刈面積	9,300m ²	
作業効率	1,750m ² /人日	株式会社サンライフ実績：0.15～0.2ha/人
作業時間数	5.31日	
2. ロングリーチマルチャー作業		
①マルチャー作業		
下刈面積	4,100m ²	マルチャーで届く範囲面積
作業効率	5,700m ² /台	実証結果：0.57ha/台
作業時間数	0.72日	
②人力作業		
下刈面積	5,900m ²	マルチャーで届かない範囲面積
作業効率	1,750m ² /人日	株式会社サンライフ実績：0.15～0.2ha/人
作業時間数	3.37日	
③合計		
作業時間数	4.09日	

(b) コスト比較（100ha で比較）

- サンライフの年間下刈り面積 100ha では、マルチャーを使う方が、コスト的に安価となる。
- ただし、コストメリットは、約 40 万円である。

	数値	備考
1. 全て人力作業		
作業時間	571.43日	株式会社サンライフ実績：100ha/年
労務費	8,571,429円	15,000円/人日とする、7.5時間労働
2. ロングリーチマルチャー作業		
①労務費		
機械作業	72日/年	
人力作業	337日/年	
合計	409日/年	
労務費	6,136,090円/年	15,000円/人日とする、7.5時間労働
②機械経費		
機械費用単価	19,200円/日	ヘッド400万円、ベースマシン2000万円
作業日数	72日/年	株式会社サンライフ実績：100ha/年
機械費用	1,381,053円/年	
燃料代	647,368円/年	60L /日、150円
③合計		
費用	8,164,511円/年	

⑦ まとめ

過酷な作業である下刈りは、主伐再生林が増えれば、必然的に量が増える。やりたがれない作業である下刈りを機械化することは、作業コストの低減とは別次元の非常に重要な検討である。すべての下刈りを機械化することはできないとしても、いかに下刈りを今回の機械でやれるように植栽作業を工夫するかが、下刈り軽減の将来への道筋だと感じられた

(a) 林業現場での下刈り機械の性能としては申し分ない

- マルチャーの基本性能
- 誤伐のしにくさ
- ロングリーチ（もっと長いほうが良いにこしたことはない）
- 操作性での負担の少なさ
- キックバック時の安全性

(b) マルチャーヘッドにカメラの取り付け

- より誤伐を減らすことにつながる

(c) コスト面

- コスト面においては、100ha/年の下刈り面積で、路網密度が 200m /ha 以上あれば、マルチャーヘッドとベースマシンを下刈り専用で購入しても、人力下刈りよりも安上がりになると言うが得られた。

(d) 【機械以外で重要なこと】機械作業を意識して植栽列をまっすぐにする

- 植栽列を植栽本数を減らしてでも何が何でもまっすぐに植えることで機械下刈りに道が開けることがわかった

⑧ 新たな経営手法：バイオマス利用を目的とした早生樹育成

(a) 目的

- 福島県の伝統育成樹種であり、成長が旺盛な早生樹キリのバイオマス利用の可能性を検討。

⑨ 植栽 2 年目の成果

- キリは施肥の影響を大きく受ける
- キリは適切な施肥がされていれば初年度は樹高約 4m 弱、DBH6cm 弱、0.007m³
 - 他県実証でもほぼ同じ結果が確認できた。
- 幹にカミキリムシの被害をうける。
- 下刈りはカミキリムシ対策として必要。

<4m 弱、DBH6cm 弱の 1 年性のキリ（福島県の指導に基づき施肥）>



下の写真は全く施肥していないキリ

⑩ 今年度結果を踏まえた収支シミュレーション

(a) 事例（ポット苗 550 円、粗放的に育成した 3 年生の事例、化成肥料を年 1 回）



(b) シミュレーション結果

- 事例に基づき、シミュレーション
- 3 年に 1 回伐採すると 18 年間で 520m³/ha の収穫が見込める。
- 安い苗木（550 円/本）を植栽しても採算が合わない結果となった。

(c) 考察

- 4 年生の材積（4 年目での収穫、20 年間）でシミュレーションすると収支がプラスになる可能性がある。
- キリ育成においては管理コストは必須であると考えられるため、管理コストを下げることはできない。
- 伐採を完全機械化するなどによりコストダウンを図れることが理想。

＜キリを粗放的に管理して 3 年伐期で収穫した場合のシミュレーション＞

■ 3 年伐期で回した際の 18 年間の売上

伐採頻度	1本材積	植栽間隔	植栽密度	収量 (m3/ha)	トン/ha (0.3kg/m3)	単年売上 (7500円/t)	収穫回数	18年間収穫量		売上合計 (18年間)
1回/3年	0.12m3	5m間隔	361本/ha	43m3	13トン	97,470円	6回収穫	260m3	78トン	584,820円
1回/3年	0.12m3	2.5m間隔	722本/ha	87m3	26トン	194,940円	6回収穫	520m3	156トン	1,169,640円

■ 3 年伐期で回した際の 18 年間のコスト

苗木種類、植栽間隔	植栽コスト (初年度)	管理コスト (毎年)	伐採コスト (3年1回)	コスト合計 (18年間)
①キリ玉苗5m間隔植栽	2,550,000円/ha	30,000円/ha・年	100,000円/ha・回	3,690,000円
②キリ玉苗2.5m間隔植栽	5,100,000円/ha	60,000円/ha・年	200,000円/ha・回	7,380,000円
③ポット苗5m間隔植栽	218,550円/ha	30,000円/ha・年	100,000円/ha・回	1,358,550円
④ポット苗2.5m間隔植栽	437,100円/ha	60,000円/ha・年	200,000円/ha・回	2,717,100円

※伐採コストは推定

■ 3 年伐期で回した際の 18 年間の収支

苗木種類、植栽間隔	売上	コスト	収支
①キリ玉苗5m間隔植栽	584,820円	3,690,000円	-3,105,180円
②キリ玉苗2.5m間隔植栽	1,169,640円	7,380,000円	-6,210,360円
③ポット苗5m間隔植栽	584,820円	1,358,550円	-773,730円
④ポット苗2.5m間隔植栽	1,169,640円	2,717,100円	-1,547,460円

⑪ キリ以外の令和 6 年度に植栽した早生樹

- 令和 6 年度に植栽した早生樹 4 種類の状況は以下の通り。植栽直後に樹高を測定し、11 月にもう一度、樹高測定措置をした。
- 植栽後に明確に成長が認められたのは、ユーカリであった。

ユーカリ (緑)				ユリノキ (黄)				センダン (青)				チャンチンモドキ (緑)			
No	2024/7/2	2024/11/9	成長量	No	2024/7/2	2024/11/9	成長量	No	2024/7/2	2024/11/9	成長量	No	2024/7/2	2024/11/9	成長量
1	46cm	94cm	48cm	1	73cm	72cm	-1cm	1	90cm	97cm	7cm	1	86cm	101cm	15cm
2	60cm	112cm	52cm	2	71cm	31cm	-40cm	2	80cm	86cm	6cm	2	84cm	85cm	1cm
3	60cm	75cm	15cm	3	47cm	46cm	-1cm	3	105cm	113cm	8cm	3	115cm	24cm	-91cm
4	62cm	100cm	38cm	4	49cm	52cm	3cm	4	93cm	93cm	0cm	4	80cm	104cm	24cm
5	60cm	150cm	90cm	5	55cm	57cm	2cm	5	113cm	110cm	-3cm	5	80cm	56cm	-24cm
6	61cm	97cm	36cm	6	42cm	45cm	3cm	6	95cm	93cm	-2cm	6	85cm	136cm	51cm
7	66cm	122cm	56cm					7	102cm	106cm	4cm	7	80cm	79cm	-1cm
8	57cm	101cm	44cm					8	106cm	112cm	6cm	8	71cm	87cm	16cm
9	52cm							9	104cm	126cm	22cm	9	65cm	80cm	15cm
10	55cm							10	99cm	—		10	78cm	100cm	22cm

(4) トレーサビリティーの確保：適切な森林管理を知ってもらうためのツアー実施

① 仮説

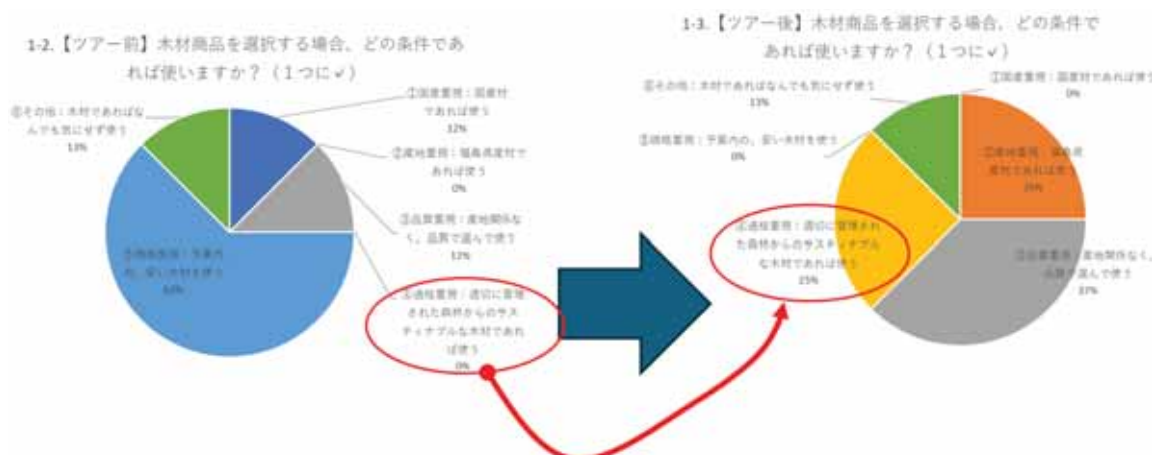
- 適切な森林管理（主伐再造林）が行われている森林であることをアピールすれば、そこから出材される原木を選択してくれるのではないかな。

② トレーサビリティーの確保（成果）

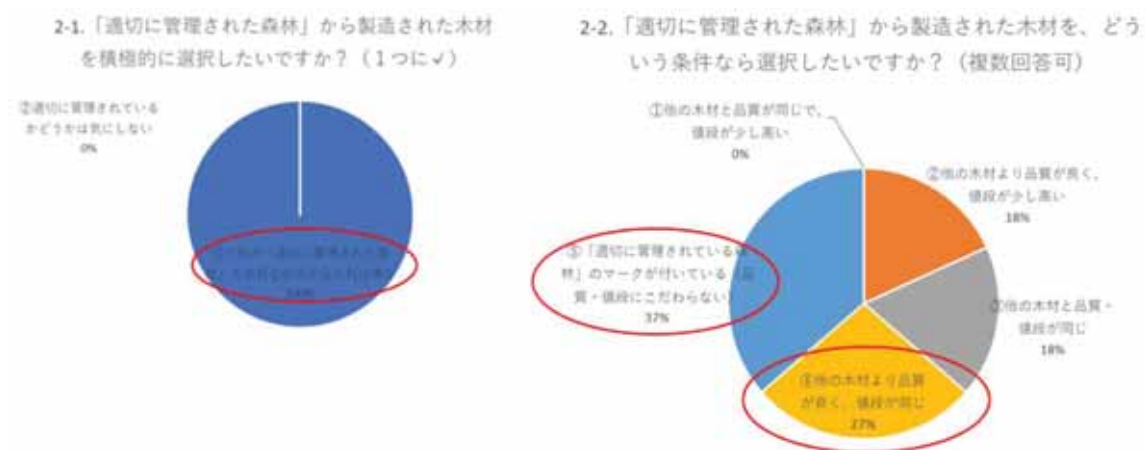
- 令和5年度調査から、施主候補は林業現場を見たがっているという結果を得、令和6年度に実際に林業現場を見せることができた。
- 林業の知識のない人（木材を選択する可能性のある人）森林・林業の知識を持ってもらうことにより、適切に管理された森林からの木材を選択してもらえる可能性があることがわかった。
- 木材を選択するにあたっては、適切に管理された森林からの木材であることを分かるようにしておくことが必要。
- ただし、適切に管理された森林からの木材というだけでは選択しづらく、木材としての品質と適切な価格も選択の重要な要素になっている。



<参加者のツアー前後の意識の変化>



<適切に管理された森林の木材活用される条件>



(5) 現地検討会の実施

① 開催概要

- 開催日：令和6年12月11日（水） 13：00～16：00
- 開催場所：福島県石川郡古殿町内（古殿町役場、（株）サンライフ所有林）
- 参加者：44名（実証グループ、有識者委員、協力団体、福島県内森林組合・林業事業体、行政機関（福島県内外）、研修者等）

② 報告内容

- 「新しい林業」経営モデル実証事業の3カ年の活動全体報告
- 早生樹植栽：福島県伝統のキリ玉苗の植栽（バイオマス利用の可能性）
- トレーサビリティ：適切に管理された主伐再造林地への見学ツアーの実施
- 業務のスマート化：ノーコードアプリの実践導入

③ 現地検討会

- マルチャーによる下刈作業
 - ロングリーチベースマシン＋横付け軽量ヘッド＋ヘッド装着カメラ



3. 実証事業の総括

- 株式会社サンライフとして、こういった研究開発事業に取り組むのは初めての経験でしたが、新しいことに取り組むことを社員が前向きに捉えてくれて、弊社社長も活動に対して前向きに対応してくれたことが良い成果につながったと考えている。
- 令和4～6年度に取り組んだ内容の中には、事業は終了しても、これからも継続して使ったり、モニタリングしていくことにしているものもあり、会社として取り組みを継続していく。

事業区分	内容	総括
ICT 活用	作業路網設計 支援ソフトの 活用	・FRD がアウトプットする路線は人力設計ほど伐採計画を反映できていないことが確認され、人力設計を代替するまでの性能ではないという判断である ・ただし、新規路網開設の際に大まかな路線イメージの参考としては十分に活用できる
	GNSS を使った 測量	
	ドローンを活 用した森林資 源の把握	
	検知アプリに よる丸太検知	・流通の形態（現場から工場への直送の場合）によって効率化になることが確認された ・費用対効果を考えると費用が高すぎる結果になった
	スマートフォ ン活用のシス テム構築（ノー コードアプリ）	費用対効果を考えると、導入にメリットが大きいことが確認できた
現場作業 の機械化	マルチャーに よる地拵え	・地拵え作業の軽労化にはつながるが、作業の効率化には繋がらない ・マルチング効果は確認できなかった ・費用対効果はよくないという判断である
	マルチャーに よる下刈り	・マルチャーをアームに直角に取り付けることにより、作業の効率化は図られることが確認できた。 ・ただ、それにより全ての下刈りを機械化できるわけではないが、費用対効果は期待できることが確認された

事業区分	内容	総括
	電動一輪車による運搬作業	年配の方の植栽作業においては費用対効果が高いことが想定された
新たな経営手法	早生樹の植栽・育成	・本事業で植栽した植栽木を継続モニタリング（樹高、DBH）する。 ・キリについては、2 年目にサンプル木を伐採して材積調査を行う
トレーサビリティの確保	主伐再造林地を HP で公開する仕組みの実証	・一般人は、林業のことや自分たちが使っている木材のことについてそもそも詳しくない。 ・どういった林業が適切な管理なのかについてもほとんど知識がないことがわかった。 ・適切な管理（主伐再造林）を理解してもらうためには、一般人向けのマーケティングが必要であることがわかった。 ・そのようにして、林業の知識をつけてもらわなければ、適切な森林管理を理解してもらうことは難しい

(1) ICT 活用 1 : GNSS を使った測量

① コスト分析結果

- ・ 人件費と機材のコストを考えると、GNSS 測量の方が大幅な人日数の削減とコスト削減につながる事がわかった。
- ・ デジタルコンパス測量と GNSS 測量では測量に費やす時間はあまり変わらないもの、前者は 2 名作業、後者は 1 名作業となり、人日数では半分のちがいがある。
- ・ コスト面においては、測量単価で少なくとも 10 分の 1 に抑えられることがわかった。

<コスト分析結果>

	測量面積	作業人数	現地測量作業時間	費用	機材費用	機材備考	今回の測量費用	測量単価
デジタルコンパス測量	0.3ha	2人	0:00	330,000円	0円/ 回	費用に含まれる	330,000円	330,000～ 1,100,000円/ha
GNSS測量	0.3ha	1人	0:30	778円	10,600円/ 回	GNSS10万円＋ソフト96万円、5年間使用、年間20回使用とした	11,378円	37,926円/ha

(2) ICT 活用 2 : 路網設計ソフトを活用した路網設計

(a) コスト分析結果

- ・ FRD を活用することで 1 人で路線設計ができ、時間的にも人力設計の 10%以下の労力で設計ができることがわかった。

<設計の実績と設計コスト>

	作業時間		作業人数	延べ人日	人件費
人力設計	3時間	0.4日	2人	0.80人日	8,000円
FRD設計	1時間	0.07日	1人	0.07人日	667円

※人件費単価は 10000 円／日、7.5 時間／日とした。

② ICT 活用 3：ドローンを活用した森林資源把握

(a) 精度分析結果

以下の通りの検証結果となり、今回の実証のやり方でのオルソフォトからの単木カウントは精度が高いとは言えなかった。

- ・ オルソフォトにより目視カウントした立木本数と毎木調査結果を精度比較するとすべて目視把握の方が少なくカウントされた。
- ・ DBH30cm 以上の単木はカウントされているが、DBH30cm 以下の単木がオルソフォト上で認識されずカウントから漏れていることがわかった。
 - スギ（DBH30cm 以下が 63%を占める林分）で 78%の精度
 - ヒノキ（DBH30cm 以下が 97%を占める林分）で 26%
 - アカマツ（DBH30cm 以上が 25%を占める）で 26%

< 毎木調査のデータ >

樹種	事前情報 (毎木調査)	ドローンオルソ フォトから計測	オルソフォトからの 本数計測精度	オルソフォト判別作業してみたのコメント
スギ	1,722本	1,350本	78%	樹冠がはっきりしている単木が多く、判別しやすかった。
ヒノキ	662本	171本	26%	小径木が多かったが、判読はしやすかった。
アカマツ	581本	149本	26%	枝分かれている木が多く、単木判読しにくかった。
合計	2,965本	1,670本		

③ ICT 活用 4：検知アプリによる丸太検知

(a) 実証 1：製材用丸太の桧のタップ入力結果

- ・ 年間 1,500 桧（＝トラック運搬回数）を検知するのであれば、58 時間の時間の削減（約 12 万円の作業の効率化）
- ・ 会計担当の労務負担軽減 63 時間削減できる。（約 13 万円の作業の効率化）
- ・ 合計で 25 万円／年の効率アップにつながる事がわかった。

< 野帳検知とアプリ検知の所要時間比較 >

	アプリ使い始め～検知終了	野帳記入・アプリデータ整理＋メール送信	合計	時間効率
①人力野帳入力	12:11	2:19	14:30	100%
②アプリタップ	11:36	0:44	12:20	85%
③アプリ写真	トラックに載せる際は元末を交互に組み替えるため写真認識は使用できない		0:00	0%
④アプリ音声入力	12:05	0:44	12:49	104%

(b) 実証 2：小径木の槿の写真判定結果

◆測定時間

- ・ 10 トントラック 1 台分単位の槿（約 460 本）の本数のみを計測することが求められる現場においては、写真アプリを使用するよりも、マニュアルでカウントした方が早いということがわかった。
- ・ 写真アプリを使用する際には、上手に写真を撮影したとしても、その後にアプリ上でマニュアル的に修正をかける作業（4 分 30 秒～5 分）が発生することが本数判定に時間がかかる理由である。

◆カウント精度

- ・ カウントの精度は、修正後であっても人力でカウントするよりも 1.2～1.7%少なめにで、金額換算で 3,000～4,000 円／回の売り上げ減につながる。
- ・ 約 5 分間作業で、3,000～4,000 円／回の売り上げ減につながる行為というのは採算面から判断すると認められない。すなわち、現時点ではこの検知アプリの採用はできない。

<実証の結果>

	1 回目	2 回目	備考	人力カウント
アプリ起動・写真撮影・一時分析	45 秒		事前に写真撮影の角度がベストになるように練習後に実施	人力でマーキングしながら 1 本ずつカウント
暫定本数	435 本	435 本	アプリが自動認識	
アプリ上での修正～本数確定	275 秒	303 秒	アプリ上で人の目で修正	
合計	320 秒	348 秒		318 秒
最終本数	458 本	456 本		464 本
正しい本数	464 本			
カウント精度	98.7%	98.3%		100%

④ スマートフォン活用のシステム構築：ノーコードアプリの導入

「令和6年度の実行結果」の「ICT活用j：ノーコードアプリ活用による自作スマホアプリの活用」を参照

(3) 現場作業の機械化

① マルチャーによる地寄せ

＜作業エリアの作業結果：2024年2月8日＞

実証	面積	作業時間	効率
1回目	845.28m ²	120分	422.64m ² /時

② マルチャーによる下刈り

「令和6年度の実行結果」の「現場作業の機械化：マルチャーを使用した検討」を参照

③ 電動一輪車の活用

＜効果のまとめ＞

植栽効率アップ効果	50本/日	シミュレーション結果
植栽効率アップ効果	2,500円/日	50円/本の植栽単価（200本/日）
作業者の疲労軽減効果	2,000円/日 （仮値）	サンライフの場合、年配作業者は1日作業すると翌日は休んでいる状況がある。電動一輪車導入で労働負担で軽減されることで休まなく可能性がある。
効果合計	5,722円/日	植栽作業において電動一輪車を87日間使用することで50万円の元が取れる。

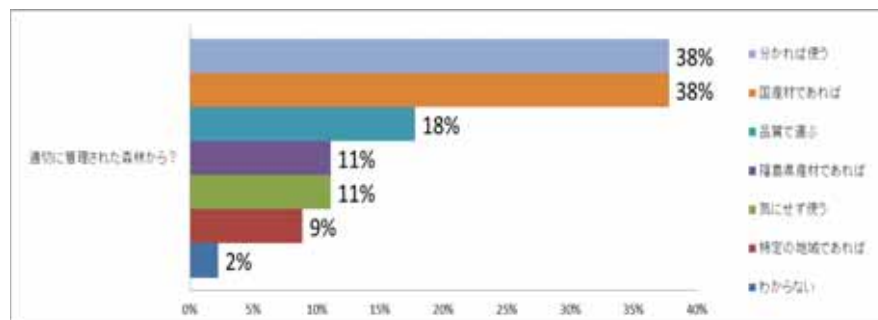
(4) 新たな経営手法

「令和6年度の実行結果」の「新たな経営手法：バイオマス利用を目的とした早生樹育成」を参照

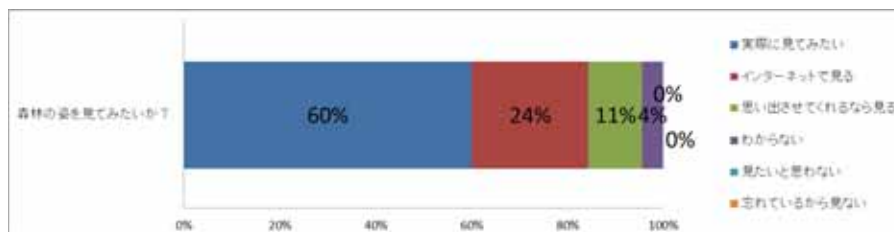
(5) トレーサビリティの確保

- ・ 適切に管理された森林であることを示すことで、選択される可能性がある。
 - ただし、木製品の品質が良いことが求められる。
- ・ 住宅が建てられたあとに、住宅に使われた木材が収穫された森林を見たい人は多い。
 - 森林を見たい人は「直接見たい」という人が多い。
- ・ ただし、原木が原木市場や工場に納品された段階でトレーサビリティが切れてしまう（R4 年度結果）ため、トレーサビリティが繋がる流通ルートを見つける必要がある。
- ・ 施主が QR コードにより森林の状況をみてもらうためには、そうしたくなるような魅力的な商品である必要がある。
 - 商品のユニークさ（差別化）が必要となる。
- ・ 持続可能な経営が行われる森林を長期に渡り、施主に見守ってもらうためには、住宅建築後に施主に定期的に森林の情報を思い出させるための工夫が必要となる。

＜適切に管理された森林に対するニーズ調査結果＞



＜森林の姿を見ることに対するニーズの調査結果＞



III. 今後の事業の展開の方向

令和4～6年度の事業での実績と経験を踏まえて、令和7年度からも以下の取り組みを進める。

事業区分	内容	令和6年度以降の取り組み
ICT 活用	作業路網設計支援ソフトの活用	路線設計について積極的な活用はしないが、ただし、CS 立体図を作るソフトとしては活用する
	GNSS を使った測量	日常的に使用していく
	ドローンを活用した森林資源の把握	日常的に使用していく
	検知アプリによる丸太検知	・流通の形態によっては効率化になることが確認されたが ・費用対効果を考えると費用が高すぎるという判断になり、導入はしない
	スマートフォン活用のシステム構築（ノーコードアプリ）	・費用対効果を考えると、導入にメリットが大きいことが確認できた ・ノーコードアプリのサブスクを継続してシステムの運用を継続する
現場作業の機械化	マルチャーによる地拵え	マルチャーヘッドの導入は未定（下刈用に導入する際には地拵えにも使用）
	マルチャーによる下刈り	マルチャーヘッドの導入を検討する
	電動一輪車による運搬作業	電動一輪車の導入は未定
新たな経営手法	早生樹の植栽・育成	・本事業で植栽した植栽木を継続モニタリング（樹高、DBH）する。 ・キリについては、2 年目にサンプル木を伐採して材積調査を行う
トレーサビリティの確保	適切な林業作業をPRするためのツアーの実施	一般の人向けに適切な林業活動を知ってもらうための活動の実施を検討する

令和6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

川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業
事業成果報告書

令和7年2月

北信州森林組合

国立大学法人信州大学

精密林業計測株式会社

目 次

I 実証事業の概要

- 1 事業の名称
- 2 取組の背景
- 3 実証のテーマ
- 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
- 6 実証事業の内容
 - 実施場所（位置図、写真等）
 - 事業区分毎の計画内容（森林資源調査、素材生産、流通、再造林）
 - 工程表
 - その他
- 7 実証事業の目標（収支改善目標含む）

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
- 2 令和5年度の実施結果及び課題
- 3 令和6年度の実行結果
 - ① 協議会、現地検討会の開催経過
 - ② 令和6年度の実行結果（経過）及び取組の評価と課題
 - (1) 森林資源
 - (2) 主伐
 - (3) 流通・販売
 - (4) 再造林・保育
 - (5) 経営モデル構築
- 4 実証事業の総括
 - 令和4年度から令和6年度の3年間の実証事業の総括的な取りまとめ

III 今後の事業の展開方向

I 実証事業の概要

1. 事業の名称

川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業

2. 取組の背景

北信州森林組合は、全国の森林組合の中でも先進的取組を進めてきた。集約班を組織して域内の民有林約3万7千haのうち、約6千haの森林境界明確化を行い、施業集約化して木材生産量をほぼゼロから1万m³へ増やし、ICTを活用した航空レーザ計測技術の導入、スマホによる木材検収システム、北信地区のクラウド木材在庫情報共有システムによる共同出荷体制の構築してきた。また、林野庁事業で長野県が事務局のスマート林業タスクフォースNAGANOでも中心的役割を担ってきた。

しかし、地域内森林の林齢は多くが80年を越えつつあり、主伐すべき森林が増加しているにもかかわらず、先進地である九州地方と比較して同組合の主伐量は増加していない。主要な要因は、森林所有者から見て主伐で得られた収入がほぼ再造林・育林費用で無くなってしまうためである。森林所有者は「それなら伐らなくていい」という選択をせざるを得ず、素材生産側から見ても、主伐を薦めることを躊躇する状況である。

3. 実証のテーマ

スマート林業と製材・建築のデジタル連携を柱とする流通コスト削減と受注生産による山元還元

4. 実証団体の構成

北信州森林組合、国立大学法人信州大学、精密林業計測株式会社
株式会社森林連結経営（委託）、ウッドステーション株式会社（委託）

5. 林業経営体、支援機関、実証事業関係者連関図



6. 実証事業の内容

本事業においては、ドローンやホロレンズという新技術を導入して再造林やその後の保育時のコスト削減の効果を実証すると共に、丸太需要者にとって過不足の無い、様々な長さの丸太（乱尺と呼ぶこととする）の造材指示を ICT ハーベスタへワークオーダーという形で入力し、乱尺丸太を需要者に納入したとき、主伐費用を従来と大差なく抑えることができるのか、また納入した丸太の品質的歩留まりは実用に耐えうるものなのか、を検証する。それらを明らかにすることにより、これまで需要者にとって必要ない部分を運搬したり、ごみとして処分したりしていた費用を材価に乘せることや、乱尺造材することで剰余部を別に販売する利益により、同じ森林から生産された木材でも、販売価格を増やすことで実質の材価の上昇を図り、新技術導入による保育経費の削減と合わせ所有者への還元額を増やし、主伐へのインセンティブを高めることが本事業の目的である

7. 実証事業の目標（収支改善目標を含む）

(1) 森林資源調査

信州大学と精密林業計測(株)は、2 種類のドローンレーザとモバイルレーザで計測された点群データをオリジナル統合して、主伐地の単木の精密な森林資源情報を算定する。また幹に照射された点群データから、細り表と丸太の利用材積の算定モデルを開発し、現地適用する。建築データを元に製材に必要な丸太情報を提供する委託先のウッドステーション(株)は、大型パネル製造を行っている木材店の木造大型パネル予定物件に使用する大型パネルの部材データから、木拾いデータ、製造に必要な丸太情報（造材指示）を提供する。これによって、森林の価値が見える化され、川下の製材工場にも有益な丸太情報を提供できる。森林直販事業と国産無垢材の建築使用の活性化に取り組む委託先の(株)森林連結経営は、川上と川下のデータ連携におけるコスト削減と山元還元策を提案する。

目標は、事業地の森林資源把握にドローンレーザとモバイルレーザを統合して森林調査の省力化と丸太の利用材積を算定する新技術を開発する。

(2) 主伐

北信州森林組合は、森林資源調査の結果としての造材指示（ワークオーダー）の提供を受け、ICT ハーベスタにワークオーダーをアップロードし、主伐地にて乱尺造材、大型パネルの製造に必要な丸太を山土場に集積する。ハーベスタで採材された丸太情報とレーザ計測の丸太（極積）情報を突合して精度検証する。

目標は、乱尺造材時の手間の検証、さらにはその手間を最小化する丸太生産方法のノウハウの取得である。

(3) 流通・販売

北信州森林組合は、当該丸太および造材報告をウッドステーションに納入する。販売は当該造材報告を取引データとする。目標は、StanForD2010 での商取引の実現と、一連の物流・商流における歩留まりの評価と、歩留まり 100%に至らぬ場合の余分をどのように造材・調達するかというノウハウを取得する。

ウッドステーションは、建築部材リストを基に製材と丸太の最適な木取り表を作成し、

森林と建築のデータ連携による実棟建設を行う。具体的には、国興(工務店)との打ち合わせ、大型パネル図の作成、木取り表の作成、製材の検品、大型パネル製造を行い、松本市で上棟する。

森林連結経営は、川上と川下のデータ連携におけるコスト削減と山元還元策を提案するため、林業に関する ICT 活用の実態調査を行う。

(4) 再造林・保育

信州大学と精密林業計測は、北信州森林組合と連携して令和5年度、産業総合研究所と共同開発成果である国内初のホロレンズ（複合現実）による再造林の植栽支援の実証を行う。主伐後にドローン計測で、地形情報と枝条集積箇所、植栽本数から植栽計画マップを作成する。ホロレンズに情報転送し、ホロレンズを装着した植付け作業員が植栽地にサイン表示された場所にナビゲートして植栽する。ホロレンズ装着有無による植栽作業の比較も実施する。

令和6年度、再造林時に作成した植栽計画マップをホロレンズに情報転送し、ホロレンズを装着した北信州森林組合の下刈作業員がホロレンズ表示された植栽場所の苗木を避けながら下刈りする。ホロレンズ装着有無による下刈り作業の比較も実施する。

(5) 経営モデルの構築

森林連結経営が中心となり、長野での森林産直による実棟建築まで実施した国内初の実証取組みについて、他地域で展開可能な森林直販による製材・建築と市場流通改革の経営モデル案を構築する。

Ⅱ 実証事業の実行結果及び課題

1. 令和4年度の実行結果及び取組の評価と課題

令和4年度は、主伐地の確保、各種レーザ計測による資源調査と立木解析、建築部材の木取り情報、ハーベスタ用のワークオーダーの現地設計、流通・販売では森林直販の製材・建築の連携づくりを実施した。森林資源調査、主伐、流通・販売、再造林・保育の実施項目別に説明する。

(1) 森林資源調査

北信州森林組合は、主伐地のカラマツ人工林(木島平村大字上木島)約1.3haについて、所有者に事業および研究内容の説明を実施、立木買取契約およびその後の再造林・保育に関し実証事業を実施する了承を得た。

精密林業計測は、令和4年ドローンレーザによる精密森林資源調査を行った。異なる種類のセンサを搭載した2機のドローン(DJI社 Phantom4RTK、以下P4R及びDJI社 Matrice600pro、以下M600)を使用して、長野県下高井郡木島平村のカラマツ林約1.3haを対象とした計測を行った対象地上空を飛行しながら連続写真を撮影し、それらの写真をSfM(Structure from Motion)/MVS(Multi View Stereo)処理を用いて解析することでオルソ画像を作成した。また、M600にはレーザセンサであるSurveyer Ultra(YellowScan社)を搭載してレーザ計測を行った。調査では森林の形状を再現した三次元点群の表層部と地表部の点群をそれぞれ抽出して数値表層モデル(Digital Surface Model, DSM)と数値標高モデル(Digital Elevation Model, DEM)を作成した。さらに、これらの差分を取って樹冠高モデル(Canopy Height Model, CHM)を作成し、立木の樹頂点を抽出した。樹頂点位置のCHMの値を抽出して樹高を算出し、これにP4Rで取得したデータから作成したオルソ画像を重ね合わせて樹種分類を行った。これらの処理により立木位置、樹種、樹高のデータが得られる。精密森林資源調査の結果を図1に示す。なお、この結果は信州大学に提供し、モバイルレーザ計測の計画立案にも活用された。

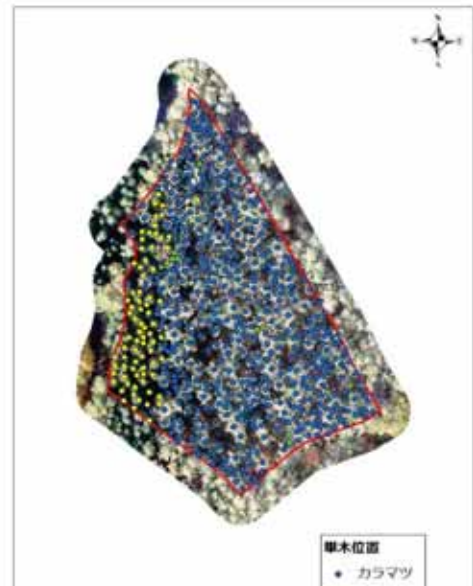


図1 精密森林資源調査の結果
(樹種情報で区分して表示)

また、M600及びSurveyer Ultraを使用した計測を同じ対象地で行った。カラマツが落葉した時期に計測を行うことで伐採計画立案時における活用を想定した詳細な地形データを取得することである。また、信州大学がモバイルレーザ計測結果の位置合わせ用に設置した標識の位置情報を面的に計測することにも利用した。この計測結果も信州大学に提供し、モバイルレーザ計測結果の処理に活用された。

信州大学は、レーザ計測と3D立木点群モデルから丸太情報の算定に関して、

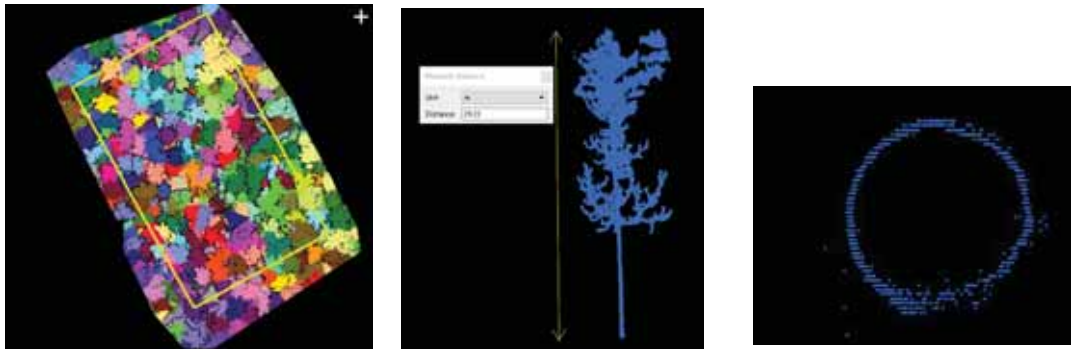


図2 3D点群データから単木抽出(左)、樹高算出(中央)、胸高直径算出(右)

①ドローンとモバイルレーザの計測範囲

- ・面積 : 約 0.5 (ha)
- ・樹種 : カラマツ
- ・本数 : 213 (本) ※ドローンからの抽出本数

②モバイルレーザの計測方法の検討および計測

- ・使用機材 : Hovermap (Emesent 社)、LiGrip (GreenValley 社)
- ・位置合わせ: 6 枚の GCP を設置
- ・ルート作成: コース間隔 10m で 2 つのルートを作成
- ・計測時期: 令和 4 年 12 月 (落葉期)
- ・下層植生: なし ※チェーンソーにより伐採
- ・抽出本数 : ・ドローンレーザ結果 213 (本) ※上層木のみ
- ・計測時間 : 1 ルートにつき 15 分

③レーザデータを使用した単木解析

主伐地のモバイルレーザ計測の 3D 点群データから単木樹冠の抽出を行い、樹高抽出と胸高直径を算出した。

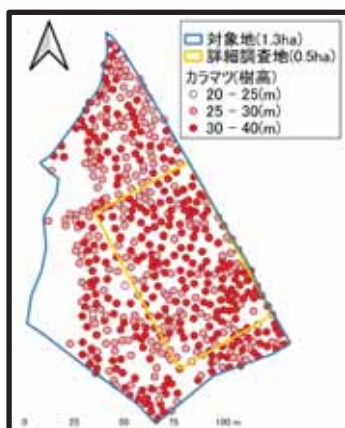


図3 主伐地のドローンとモバイルレーザ計測によるカラマツの樹高分布



図4 使用した背負子レーザ Hovermap (左) ハンディレーザ LiGrip (右)

(2) 主伐

北信州森林組合は、主伐に向けた課題検証整理を行った。

- ・主伐経費と所有者へ還元する立木単価についての妥当性の検討

これまでほぼ全量、北信州森林組合では木材生産を利用間伐により実施してきたことから、主伐に関する知識と経験がプランナー・作業員共に乏しく、妥当な経費を算出することが困難であったため、主伐の熟練者による講習と作業準備・手順の精査を組織内で実施した

- ・ICT ハーベスタの操作の習熟と StanForD2010 の入出力の整備

本事業の実証に使用する ICT ハーベスタ（北信州森林組合設備）が令和 5 年 2 月上旬に納入された。ICT ハーベスタの概念・利点等について弊社現場設計者（プランナー）の理解と造材指示の作成方法の習熟、およびハーベスタオペレータのトレーニングを実施した。

(3) 流通・販売

北信州森林組合は、ICT ハーベスタ生成造材報告データの流通プレーヤー間の共通理解を行った。

・大型パネル工法の要であるウッドステーションに、StanForD2010 フォーマットで生成される造材報告データの情報を提供し、概要について理解を得た。商取引での利用に関しては、カラマツ無垢材の乾燥技術の難しさから丸太引き受け先が変更となり、今後打ち合わせによって決めていく。

・課題として、樹種（カラマツ無垢材は住宅において梁くらいしか使うところがない）、径級（梁で使うには一定程度の太さが必要）など、素材生産側の「伐りたい」森林と、需要者側の「買いたい」森林のミスマッチが顕在化した状況。提供・公開する森林の情報の精査が必要である。

森林連結経営は、以下に取り組んだ。

・定期的に信州大学に来学して、川上と川下のデータ連携におけるコスト削減と山元還元策を提案するため、特に伐採丸太から製材、プレカット加工、大型パネル、上棟に至る森林産直のネットワーク構築づくりを参画機関と行った。

・カラマツの製材を専門に扱う小林木材（長和町）、工務店は国興（松本市）で建築物件も決定。木島平のカラマツ材を金物工法でどこまで使用できるか確認。

・建築図面から部材情報を拾い、必要な丸太寸法と本数の目安を算出。カラマツの無垢材を金物工法に使えるか、大型パネル工法のウッドステーションが金物メーカーでもあるタツミに検討依頼。

・国興・ウッドステーションが協議し建築図面が確定した段階で、ウッドステーションから正確な部材情報・想定丸太情報が、信州大学・小林木材の調整を経て、必要な丸太寸法と本数を確定、造材情報を作成。

・令和 5 年度に向けた課題として、作業のリスク管理があり、最終図面を基に、対象地の状況（木材品質）を考慮しつつ、製材方法を含めた調整を行って必要な丸太の径と長さ、本数を確定。造材時の品等、製材時の検品で困難と判明した場合の対応・予備製材の検討。地元の材を使い流通を最短に抑えたこの住宅のコスト・販売価格をどう設定するのが妥当かの検討が必要である。

(4) 再造林・保育

令和 4 年度は実施していない。

2. 令和5年度の実行結果及び取組の評価と課題

令和5年度は、ウッドステーションと地元工務店（株式会社国興：松本市）との連携による大型パネルの建築伏図からの建築部材の木取り情報作成、信州大学と精密林業計測がレーザ計測による品等区分と造材シミュレーションプログラムの開発、北信州森林組合が ICT ハーベスタ用を使用して、ワークオーダーによる乱尺造材を実施した。流通・販売では森林連結経営による森林直販モデルから地元製材所（小林木材株式会社：長和町）に丸太納品、製材、乾燥、養生を行った。ウッドステーションは、地元工務店の国興と連携して製材の検品、プレカット加工、大型パネル製造を行い、松本市で貸家2棟を上棟した。

(1) 森林資源調査

ドローンレーザ等による森林調査及び解析、丸太利用材積の算定技術

造材シミュレーションプログラムの開発

- ・計測範囲内の全立木(220本)で単木ごとにシミュレーションを行う
- ・単木ごとに丸太の切り出しをシミュレーションする
- ・切り出した丸太ごとに丸太情報(長さ・直径・曲がり)を計算する
- ・丸太情報を計算したものを集計し、Excel データで出力する
- ・丸太情報をもとに Excel データから丸太の検索が可能である

評価と課題 A 材丸太の製材所への納品

- ・対象地で造材された丸太は小林木材(株)(長和町)に運搬した
- ・運搬した丸太は小林社長が一本ずつ検品を行った(図5)
- ・製材所の方が曲がり、直径、木口品質から丸太の住宅対象木としての使用可否を判断した
- ・運搬した丸太の本数が30本だったのに対して、使用可能な丸太は7本のみとなった(表1)



図5 K製材での検品の様子

検品結果		
運搬丸太本数	30	本
曲がりによる欠落	9	本
直径不足による欠落	9	本
木口品質による欠落	5	本
使用可能本数	7	本

表1 丸太と製材品の検品結果

(2) 主伐

設計された住宅からの木拾い情報をもとに、信州大学において森林資源調査が実施され「どの住宅部材を森林内のどの木のどの位置から取る」という1対1の引き当てが行われた。また、信州大学によって当該丸太30本の造材指示(Excel)および現場準備が行われた。それをもとに、北信州森林組合は造材指示(Excel)を造材指示(StanForD .pin)に書き換えてアップロードした。乱尺造材の準備が整ったことから作業を行ったが、造材ミスで長さが足りないことが研究上許されないことから、実作業においてハーベスタのオペレータは当該丸太30本の造材時は鋸断前に下車して巻尺で実寸を測定・確認した上で造材した。

表 2 造材結果

StemKey	HarvestDate	StemNumber	LogKey	LogVolume m ³	LogDiameter mm,Top ub	LogDiameter mm,Butt ub	LogLength cm	材長 cm	末口径 cm	長さ差 cm	径差 mm	造材ID
505	2023-05-10T10:07:48+09:00	118	4	0.2109	277	311	317	314.0	31.5	-3	38	18
506	2023-05-10T10:26:21+09:00	119	2	0.3107	259	274	559	553.5	28.0	-5.5	21	5
507	2023-05-10T10:38:10+09:00	120	2	0.4146	291	341	528	524.0	32.5	-4	34	23
663	2023-05-12T11:07:04+09:00	276	1	0.319	263	344	528	526.5	28.0	-1.5	17	8
724	2023-05-12T15:34:07+09:00	337	3	0.3453	268	278	591	584.5	28.0	-6.5	12	11
818	2023-05-16T13:34:18+09:00	431	2	0.3436	288	339	469	468.5	33.0	-0.5	42	38
828	2023-05-16T14:54:34+09:00	441	1	0.1983	271	343	318	314.5	30.0	-3.5	29	17
831	2023-05-16T15:11:35+09:00	444	1	0.2881	322	413	318	316.0	36.0	-2	38	42
832	2023-05-16T15:28:13+09:00	445	1	0.4044	278	405	531	528.0	33.0	-3	52	25
851	2023-05-17T09:30:48+09:00	464	2	0.3245	263	278	566	553.5	28.0	-12.5	17	4
868	2023-05-17T10:12:51+09:00	481	1	0.2073	276	349	321	320.0	29.0	-1	14	15
878	2023-05-17T11:20:29+09:00	491	1	0.4776	312	428	532	528.0	32.5	-4	13	41
887	2023-05-17T13:22:22+09:00	500	2	0.292	256	273	529	527.5	27.0	-1.5	14	10
888	2023-05-17T13:26:56+09:00	501	3	0.3002	251	272	559	555.0	26.5	-4	14	20
819	2023-05-16T14:13:19+09:00	432	3	2.5855	753	782	560	557.0	28.5	-3	-468	3

1) 結果

自動送りを使って造材ができたのは、有効対象木30本に対し15本であった。自動送りできた15本の造材結果を表2に示す。「長さ差」および「径差」の平均および標準偏差を計算したところ、それぞれ以下になった。

- 長さ差

平均 $\mu = -3.75\text{cm}$ 、標準偏差 $\sigma = 3.04\text{cm}$

- 径差

平均 $\mu = 25.4\text{mm}$ 、標準偏差 $\sigma = 13.2\text{mm}$

2) 評価と課題

イ) ICT ハーベスタによって生成された造材データの流通利用

製材所へ納品する丸太の全部を自動送り→造材しなければ、ハーベスタ生成造材データは意味のある取引データとはならないことから、本実証事業の対象丸太は従来の取引方法(末口二乗法)で行った。並行して、ハーベスタ生成造材データを利用した場合の課題を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 長さの誤差はスリップやロストモーションが原因であることが多く、それらを測りなおす機能が必要。長さ不足は致命的だが樹種や伐採時期によっては頻発する現象であるため、作業時間の低減には自動でリトライできる機能が必要。

- 長さの誤差の平均値はハーベスタのキャリブレーションを実施することで補正が可能。概ね表示値に対し実寸が短くなる一方向誤差で、バラツキは $3\sigma = 9.12\text{cm}$ であることから、従来の流通において「伸び代 10cm」と言われている常識の範囲内に収まる。
- 末口径の誤差の平均値も長さと同様にハーベスタのキャリブレーションで補正できる。しかし、バラツキに関しては表示値に対して実寸が小さくなると従来の取引では NG であることから、ハーベスタのキャリブレーションは末口寸法を小さめに表示する設定にせざるを得ず、 $3\sigma = 39.6 \div 40\text{mm}$ となり、2 径級ばらつく可能性がある。
- 木材市場等で設備されている選木機は、末口を 2 次元測定するセンサにより径を判別する。一方、ハーベスタの径の測定は丸太を掴んだときのローラーや爪の開度をエンコーダーで測定することから、楕円形の丸太を掴んだ場合、同じ丸太でも掴み具合によって表示される径は変わる。選木機や人手による検知と比較して、ハーベスタの径の測定方法では精度に限界がある。

結論として、ハーベスタ生成造材データを従来の流通への利用を考える場合、寸法精度、特に末口径に関して現状より高い精度が求められる。StanForD2010 にはキャリブレーションデータの蓄積による精度向上の仕組みがあり、日本での運用による径の精度向上が期待される。

ロ) 本事業での利用

本事業においては、立木と住宅部材の 1 対 1 の引き当てという、従来の丸太生産よりも厳しい条件が課され、その結果以下のことが明らかになった。

- 対象木への造材 0 点マーキングおよび ID の付与は必須。実験ではなく事業として行う場合、これらの作業をコストが掛からないようにしなければ採算が合わない。ホロレンズなど、拡張現実のための設備が必要。逆に、これができれば造材指示はホロレンズへ展開し、造材データは森林資源調査と合わせた完了信号をホロレンズから送れば良いため、StanForD 規格のハーベスタは必ずしも必要ではない。ただし、拡張現実には高精度位置情報が必須で、現段階では十分とは言えないレベルであるため、技術開発が待たれる。
- 1 対 1 の引き当て（林内の「この木の、この部分」から住宅の「ここの部材」を取る）は、製材工程で内部品質が NG の場合、造材した丸太は原則として採算が合うように販売できない。従来の丸太取引は、買手は現物を確認したうえで品質リスクを負って購入する。品質諸条件の適合判定は、ハーベスタオペレータの造材時の品質チェックスクリーニングにより実現しており、本実証事業の仕組みでは、オペレータによるスクリーニングを行えず、品質諸条件をクリアできなかった丸太が多数発生したことが問題となった。
- 1 対 1 の引き当ては、素材生産の工程におけるミスやロスが考慮されていないため、立木の状態で内部品質まで確認できない限り成立せず、その技術開発が必要と思われる。1 対 1 の引き当てではなく、森林資源調査段階で「A という部材が今回

伐採の林分から〇〇本取れそう」という情報をもとに発注し、それを受けて素材生産者は対象木の品質を確認しながら造材していく、という方法が素材生産の立場から今の技術レベルでの現実的な方法といえる。

StanForD2010 に関しては、上記、生産者の立場からの現実的方法で素材生産する場合、活用の可能性がある。つまり、今回の実証事業では伐採林分・生産者（作業班）・納品先が全て1箇所であったため、丸太の搬送は単純だったが、これが多対多になった場合、建築工程における確認申請から上棟までの期間での材料調達のリードタイム短縮に役立つと思われる。StanForD ハーベスタは注文を受けて丸太に ID を付与することができ、ID を付与された丸太は発注元へのルートが自動的に定められることから、流通は人手を介さずとも自動的に行うことができる。現物が到着する前に後工程の準備にかかることができ、リードタイム短縮が期待できる。

(3) 流通・販売

1) 森林と建築のデータ連携による実棟建設

ウッドステーションは、建築部材リストを基に製材と丸太の最適な木取り表を作成し、森林と建築のデータ連携による実棟建設を行った。実際の作業としては、国興（工務店）との打ち合わせ、大型パネル図の作成、木取り表の作成、製材の検品、大型パネル製造を行い、松本市で貸家2棟を上棟した。この際、川上とのデータ連携に関する調査および国産材の流通改善に関する調査を行った。

国興（工務店）との打ち合わせでは通常よりも数か月早い段階で意匠図を確定させ、必要になる木材のおおよその数量を確認した。これはカラマツ材の乾燥に要する時間が長く、早い段階で意匠図を確定させなければ、木取り表の作成が伐採までに間に合わないためと判断したからである。木材のおおよその数量を信州大学に伝え、対象の伐採地で木材が確保できることを確認できた後、株式会社タツミ（プレカット）と打ち合わせを行い、プレカット図を確認させた。

大型パネル図の作成はウッドステーションが開発したソフト(WSPanel)を使用して行った。WSPanel はプレカット図を入力することにより、大型パネル製造の際に必要な着工指示書および建築部材リストが生成される(図 6)。建築部材リストは必要になる木材の断面寸法・長さ・数量を詳細に捕捉することができる。

木取り表の作成は早稲田大学の高口研究室と共同で行った。ここでは木材の歩留まりを最大化することを目的に製材と丸太の最適な木取りを検討した。まず、建築部材リストにある部材情報を断面寸法・長さごとに整理した。次に、カッティングストック問題というアルゴリズムを用いて、残材が少なくなるように製材の長さを最適化し(図 7)、必要な製材の数量を算出した。最後に、丸太の径級ごとに木取りを最適化し、必要な丸太の数量を算出した(図 8)。歩留まりの改善は1.0～1.6%となった。断面木取りの最適化については小林木材株式会社(製材)に聞き取りを行った。算出した丸太の径級と長さごとの数量を信州大学に伝え、森林資源データとの突合が行われた。

製材の検品では国興・タツミ・信州大学・ウッドステーションが小林木材に集まり、製材の使用可否を判断した。データ連携に基づいて伐採から製材までが行われたが、この間約9割の木材が使用不可と判断されており、残っていた14本の製材について、検品を行った。結果としては9

本が使用可と判断された。使用不可と判断された 5 本については曲がり・ヤニ袋・死節などが原因として挙げられた。

プレカットおよびパネル製造では使用可と判断された 9 本のカラマツ材に加えて、一般流通材のカラマツ材を調達した。プレカット・金物取付を実施した後、大型パネル工場に搬入し、パネル生産を行った。材の特性上、割れやヤニが生じるものがあったが、全てのパネルが検査を通過した。

上棟は 11 月 9 日に一棟目、11 月 11 日に二棟目が行われた(図 9)。2 棟ともに約 7 時間で一次防水まで終了し、同等の大型パネル物件と比較すると、施工スピードが速いと言える結果となった。

階層	施工連	枝番	種類	寸法1	寸法2	寸法3	数量	単位
1階壁	1	2	芯材1	105	30	1715	1	本
1階壁	1	2	芯材2	105	45	212.5	1	本
1階壁	1	2	芯材3	105	30	212.5	4	本
1階壁	1	2	芯材4	105	45	1715	1	本
1階壁	1	3	芯材1	105	45	705	1	本
1階壁	1	3	芯材2	105	45	2070	1	本
1階壁	1	3	芯材3	105	30	2501	1	本
1階壁	2	1	芯材1	105	45	350	1	本
1階壁	2	2	芯材1	105	45	350	1	本
1階壁	2	3	芯材1	105	45	1715	3	本
1階壁	2	3	芯材2	105	30	1715	1	本
1階壁	2	3	芯材3	105	45	644	1	本
1階壁	2	3	芯材4	105	45	391	3	本
1階壁	2	3	芯材5	105	30	1376	2	本
1階壁	2	3	芯材6	105	30	644	4	本
1階壁	2	3	芯材7	105	30	391	4	本
1階壁	2	3	芯材8	105	45	1376	3	本
1階壁	3	1	芯材1	105	45	1715	2	本
1階壁	3	1	芯材2	105	45	1615	1	本
1階壁	3	1	芯材3	105	30	1715	1	本

図 6 建材部材リスト

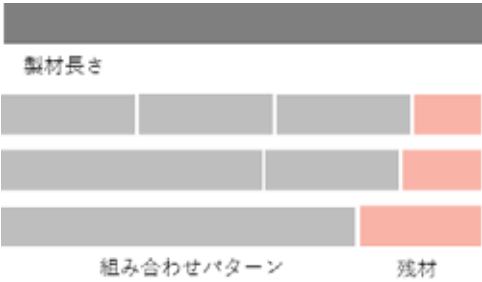


図 7 カッティングストック問題

丸太リスト		
長さ	径級	本数
〇〇mm	〇〇mm	〇本
〇〇mm	〇〇mm	〇本
・	・	・
・	・	・

図 8 丸太リストのイメージ



図9 上棟

2) 森林と建築のデータ連携による実棟建設の評価と課題

通常よりも数か月早い段階で意匠図を確定させるという制約は関係各所との調整をやや難解なものとし、従来よりも多くの打合せを要した。これについては国産材流通の改善という観点から、樹種がカラマツに絞らず、スギやヒノキに応用していけば十分解決できる課題であると考え。大型パネル図および木取り表の作成ではデータ間の連携において課題が見えた。建築サイドでは建築部材用加工機を動かすインターフェースがあり建築図面データ～加工データの連携可能だが、川上サイドではインターフェースがなく建築データとの連携は困難であった。川上から川下まで一気通貫なデータ連携が可能なソフトの開発が必要であると考え。また、歩留まりの改善は1.0～1.6%に留まったが、断面木取りにおいて辺材の活用を考慮できれば、より高い数値の改善が見られると考えられる。製材の検品では関係者から次の課題が挙げられた。カラマツ材は曲がり・ヤニ袋・死節などの欠点が要因で建築用材として敬遠され、使用する場合は無垢材ではなく欠点を除去した集成材で使用する為、無垢材として使用可能な研究と開発が必要である。また、今回製材した小林木材では丸太の産地を絞り、独自の乾燥ノウハウと時間を掛けたことで安定した品質であったが、他多くの製材所で安定した品質の材を供給できる体制を整備し、建築用材として認知されカラ松が建築用材として一般化できるかが課題と考える。これらの課題を解決され、建築データをもとに最適な木取りデータを川中・川上と連携することで、川中・川上は需要の見えないプロダクトアウト型から需要に応じたマーケットイン型の供給ができ、無駄な中間流通を介することのない新たなサプライチェーンの可能性はある。

3) 林業に関する ICT 活用の実態調査

森林連結経営は、川上と川下のデータ連携におけるコスト削減と山元還元策を提案するため、「林業に関する ICT 活用の実態調査を行った。森林組合や林業事業者に対しては、主にリモートセンシングによる森林資源調査や GIS 等を活用した森林管理がどの程度実施されているか、他に集材機や下刈り機の遠隔・無人といったその他の ICT の活用状況について聞き取りを行った。行政には、森林クラウドの機能や利用方法について聞き取りを行い、活用を進める組

織があれば紹介を依頼した。約 50 件の聞き取り調査により、多くの知見を獲得し、以下のような仮説を立てた。

イ) 林業の多面的で複雑な実態から普遍的な要素に基づくパターンを拾い出すことは可能

林業は地域によって同じ産業とは思えないほど大きく異なる。北海道・東北や九州とそれ以外の地域では、林業事業体の規模、県内の他産業との比較における位置づけ（重要性）、就業者の待遇、山主が期待できる利益などが全く異なる。例えば、1ha の杉林を皆伐して山主に還せる金額が地域によって 40 万円から 200 万円というように大きな開きがある。県内において林業の重要性が相対的に低い場合、予算や人材の制約を受けることは避けられない。更に樹木の成長量・地籍調査の進捗率・人工林と天然林の比率、など多くの要素が絡み合い、隣り合う自治体でも事情が異なるモザイク様の実態がある。しかし、詳しく調べていくと、上記のような指標から幾つかのパターンを抜き出すことは可能と考える。それぞれのパターンとその度合いに即した ICT 導入方法がわかれば、普及の有効な手段となり得る。

ロ) 大規模林業地域の ICT 導入は、当面、生産工程と流通部門に留まる

木材生産は、北海道・宮崎・岩手・秋田・大分・青森・熊本・福島の 8 道県が全体の約 54% を占めている。このような地域では既存の生産・流通システムが強固に組み立てられており、中抜きのような劇的な変化は起こりにくい。皆伐が中心のため、資源調査へのモチベーションも低い。林地が広大な上、そこで伐採する事業者が多数入り乱れているため、資源情報を管理しようとしても、実際にはそれが可能なシステムは現時点で存在しない。撮影用のドローンは多くの森林組合が購入しているが、一部で造林補助金の申請用に使われている他は、ほとんど死蔵されている。恐らく大規模林業地域では、伐採届のデジタル化が義務化され、各自治体がそれを利用して管理するような状況を作る以外、この分野の進展は望めないと思われる。

一方、人手不足もあり、集材機の遠隔化・無人化といった生産工程や、下刈り機の自走化など造林・保育における省力化に挑む組織は見られる。また、都市部での国産材需要の高まりに応える形で、中間土場以降の木材流通に関するデータ化・システム化は進むと思われる。現状、伐採時にしか売り上げが発生しないため、単木把握などのデータ化を成長後に行う傾向にあるが、植栽時から実施することで、育林のコストを抑え、その情報をクレジット化したり、伐採事業者に販売したりすることも考えられる。

ハ) 地籍調査の未了やニーズとのズレが資源情報のオープンデータ活用を阻んでいる

オルソ画像や微地形図といった資源情報を G 空間情報センター等でオープンデータ化しているのは、栃木・東京・長野・岐阜・静岡・兵庫・高知の 7 都県のみである（林野庁研究指導課より）。経済規模が比較的大きいが、木材生産量は栃木の 10 位から兵庫の 24 位まで中位クラスの都県となっている。オープンデータ化はかなりのコストがかかるが、東京は木材生産量が 42 位でも潤沢な予算があるため実施されている。一方、高知県は県内総生産で全国 46 位かつ予算規模の小さな県であるが、林業が重要産業であることから実施していると推測される。高知県では自伐型林業の就業者が増えているが、この事と関連があるかもしれない。

しかし、地籍調査が進んでいないことが、活発な利用の妨げになっている可能性が高い。例えば栃木県の場合、スマート林業推進協議会を作って資源情報を整備したにも関わらず、製材

所と資源とのマッチングを行っても、地籍調査が済んでいないため実際にはほとんど活用できないという声があった。地籍調査の進捗率は、栃木県：25% 東京都：25% 長野県：39% 岐阜県：18% 兵庫県：30% 高知県：59% 静岡県：25%となっている。

岐阜県では、県庁にオープンデータを活用する森林組合や林業事業体を紹介して欲しいと依頼したが、該当組織が無いという回答であった。飛騨市森林組合に聞き取りを行ったところ、県のデータは画像が粗いため、タワーヤーダーの設置に必要な情報を得るために市内の事業者へ依頼してドローン計測を行っており、データの質が需要に合致していない可能性がある。実際、0.5m メッシュの CS 立体図を公開しているのは静岡県と兵庫県のみであることがわかった。

二) 林産クラスターの核になり得る森林組合は全国に点在している

森林組合の中には、農林中金の「森力（もりぢから）基金」などを活用し、あるいは自治体の協力を得て、航空レーザ計測を行い、森林管理に生かそうとしている組織がいくつもある。長野の北信州森林組合、山形の金山町森林組合、熊本のくま中央森林組合をはじめ、毎年実施する組合が増えつつある。組合内か行政、またはその両方に地域森林の維持管理への ICT 導入に意欲的な人材がいて、力強く推進した結果と見られる。逆に言えばまだ俗人に頼った状態であり、担当者が変わると停滞してしまう恐れも否定できない。しかし、地域資源に対する責任感と、デジタル情報の活用に積極的という二点において、その地域は林産クラスターの核となる素質を備えていると言える。ビジネス感覚を持った人間が、山側の立場で地元の製材所などをうまく巻き込み、森林直販の実現にこぎつける可能性はあると考える。

ホ) ICT の活用に意欲的な地域の小規模事業者が複合型経営体になっていく傾向が見られる

中国木材が山林の購入を進めるなど、林産複合型経営が注目されているが、大企業だけでなく、地域に根差した小規模な林業事業体が、山林の購入や苗木生産の開始、製材やエネルギー事業への進出など、複合的な企業になっていく事例が散見される。共通しているのは、地域で生きていこうとする若い経営者または事業継承予定者が、これまで連携していた地域の事業者の弱体化や廃業を見越して、自ら手掛けることで事業を継続、あるいはより付加価値を高めた企業経営を目指す姿である。そのような企業は ICT を活用した森林管理に意欲的な傾向がある。また、管理する山林の面積が数百 ha 規模のため、Q-GIS やアシスト Z など既存の管理システムで十分対応が可能という側面があると考えられる。

へ) 広葉樹の資源調査が広域連携実現のカギになる可能性がある

広葉樹は計画的な生産に難があり、資源調査に資金を投じてでも費用を回収しにくいという課題がある。広葉樹のまちづくりを推進する飛騨市であっても、森林組合の原木生産量は 9 割が針葉樹で広葉樹は 1 割しかない。伐採・造材の機械化が難しい上にほとんどがチップか燃料になってしまう広葉樹を、それだけで林業として成り立たせることは極めて難しい。しかし、最近では外資が求める FSC 広葉樹材の供給に向け、登米市、岩泉町など認証を取得している地域が大口取引のために広域で連携しようとする動きが見られる。精密林業計測のレーザ測量と解析を利用すれば、ある程度の樹種判定が可能なので、例えば飛騨市森林組合が所有する 1,000ha

の林を調査しておけば、各地から自然に産出される広葉樹では取引先の需要に応えられない場合、不足する樹種の多い場所を選択的に伐採するといった活用方法が考えられる。

ト) 地籍調査と ICT の活用は、地籍調査の ICT 化で道が開ける

地籍調査の未了は ICT 活用以前に全国で林業振興の妨げになっている。最近、林野庁が推奨する手法を使い、Q-GIS などのソフト上で境界線を推定表示し、現地の映像によって所有者が現地を訪れることなく境界確定を行う作業が進められるようになってきている。しかし、一か所の手続きに何年も要し、5 人前後の作業班で年間に確定できる面積はわずか 20～50ha 程度である。日本全国の未了地を解消するには何十年もかかり、人出不足の時代に逆行している。微地形図、林相区分、森林簿、固定資産の支払状況、それらを勘案して AI が境界線を引く、というシステムができれば、原則としてそれを採用し、不服がある場合は私費で従来どおりの確定作業を行う、という法改正が現実味を持つと考えられる。

(4) 再造林・保育

1) 皆伐後の地拵え

皆伐実施後直ちに地拵えを行った（伐造一貫作業）。バックホーを用い、枝条やごみを縞によせる方法で機械地拵えを実施した（図 10）。

2) ホロレンズを用いた植栽

地拵え後の林地について、精密林業計測・信州大学においてドローンを用いて縞寄せした位置等を計測し、カラマツコンテナ苗 3000 本/1.3ha→2300 本/ha を過不足無く植えることができるよう、同機関において GIS 上での各苗木の植え付け場所が設計された。その結果がホロレンズにアップロードされ、それを用



図 10 皆伐後地拵え結果

いて弊社現場作業員が植え付け作業を行った。具体的には、ホロレンズを装着し、ディブル（植え付け穴掘り器）で植え付け穴を掘る作業員と、その後を追って穴にコンテナ苗を差し込む作業員の 2 人 1 組で作業を行った。ほぼ同一条件での作業比較を行うため、林地の南半分は従来の植え付け方法（赤白ポールを持ち隣接苗との距離を測りながら植え付け）、北半分はホロレンズを使用して植え付けた。また、令和 6 年夏の雑草繁茂による苗木誤伐の防止およびホロレンズの精度検証のため、ホロレンズ植栽苗木には後日目印のビニールテープを巻き付けた。



図 11 ホロレンズを用いた植栽
左：穴掘り（ホロレンズ装着） 右：植え付け

3) ホロレンズによる植栽支援

- イ) 精密林業計測は、北信州森林組合が植栽を実施する際に、MR ゴーグルを用いた植栽支援を Microsoft 社の MR ゴーグルである HoloLens2 (以下ホロレンズ) を用いて実施した。植栽対象地の全体では約 3000 本の植栽が計画されており、半分は従来の植栽方法を用い、半分はホロレンズによる植栽支援を試みた。
- ロ) ドローンレーザによる計測を令和 5 年 6 月 19 日に実施した。伐採前にもドローンレーザによる計測を実施しており、地形情報を正確に取得するために伐採後の対象地で再度実施した。
- ハ) 北信州森林組合の植栽担当者に植栽計画の立て方をヒアリングしたところ、林道面積を除外した 1ha の面積に対して 2300 本を植栽し、末木枝条集積箇所は避けて植栽することがわかった。また、従来の植栽はポールの長さを使用して、植栽を進めながら斜距離を測定し、一定の斜距離を維持したまま植栽することがわかった。北信州森林組合の植栽条件に沿った植栽計画を作成した。
- ニ) まず、対象地の正確な範囲を特定するために、GNSS 受信機のネットワーク RTK で杭位置を測位した。ドローンレーザーデータから作成した地形情報とドローンで空撮したオルソ画像を用いて、GIS 上で植栽計画を作成した。対象地は緩斜面と急斜面の場所があったため、斜距離が一定となるように GIS を用いて植栽間隔を水平距離で調整した。
- ホ) 植栽対象地に複数のポールを設置し、その位置情報を測位することで位置情報の基準点とした。これらの基準点および GIS で計画した植栽位置の座標情報を解析し、植栽位置を投影する AR プログラムの開発を行った。ポールを用いることによりデバイスの絶対位置と方位角を計算し、そこを基準に植栽計画点の相対位置を計算し、オブジェクトの投影を行うプログラムである。
- ヘ) 10 月 2 日から 6 日および 9 日に北信州森林組合の植栽担当者 2 人に対してホロレンズによる植栽支援を実施した。10 月 2 日の午前中に作業者がデバイスを装着して作業を行ったところ、実作業の動作に起因する誤作動が発生した。誤作動発生時には基準点に戻って校正を行う必要があったが、当初設置していた基準点数が少なく、作業地点からの距離が遠くなってしまった。そのため、基準点に戻っての位置校正により実用性が大きく損なわれていた。

- ト) そこで、10月2日の午後から3日にかけて基準点を増設し、それに対応できるようにプログラム内での基準点番号入力方法の変更を行った。同時に、誤作動の原因となっていた位置情報校正モードの起動方法についても修正を行った。
- チ) 10月4日からは修正後のプログラムで植栽支援を実施した。精密林業計測の担当者1名がホロレンズのデバイスを装着して対象地に植栽計画点を投影しながら先導し、北信州森林組合の担当者2名が先導者の指した地点に穴をあけ、植栽を行うという手順で作業を進めた。従来作業の2倍程度となる1日400本程度のスピードで植栽を実施し、週末を挟んだ10月9日の午前中までにホロレンズ植栽の対象範囲について、予定されていたすべての苗木の植栽が完了した。



図12 ドローン空撮画像からホロレンズによる植栽計画図

4) ホロレンズによる植栽支援の評価と課題

- イ) 植栽計画を作成する際にはオルソ画像を使用して末木枝条集積箇所の範囲を特定したが、現地を確認すると必ずしも一致していなかった。性能の高いカメラを使用することや曇天に撮影することで末木枝条集積箇所と地面の変化がわかりやすい写真を取得する必要がある。
- ロ) 植栽計画を立てる際には斜距離を一定とする必要があるが、GISでは水平距離を使用するため、地形起伏が複雑な場合にも容易に水平距離から斜距離を換算して植栽計画を立てるアルゴリズムの仕組みが必要である。
- ハ) また、オブジェクトの投影を長時間続けているとデバイスの自己位置推定誤差が蓄積し、計画点と表示位置の間にずれが生じた。今回の実証では基準点を増設することで対応したが、準備に時間や労力がかかるため実用性が低下している。デバイスの精度向上を期待しながら、リアルタイムに位置補正を可能とする新たなアルゴリズムを検討する必要がある。
- ニ) 従来の植栽と異なり、植栽時の作業列が判別しづらいため、計画点が投影されているにも関わらず植栽を仕損じてしまう場合や、未植栽点だと思って近づいた点で既に植栽が完了していた

などの事象が発生し、植栽作業の効率が低下してしまう状況があった。植栽計画時に作業列を振り分け投影時に色を変更する方法や、植栽が完了した地点の表示を変更する等、プログラムの修正により、作業のさらなる効率化に向けた改良が必要である。



図 13 ホロレンズによる植栽か所の表示

5) ホロレンズ装着有無による植栽結果

皆伐地拵後の林地について、精密林業計測・信州大学においてカラマツコンテナ苗 2300 本/ha を過不足無く植えることができるよう、GIS 上での各苗木の植え付け場所を設計・ホロレンズにアップロードされ、それを用いて植え付け作業を行った（2 人 1 組作業）。結果は、表 3 に示す通り平均的な植栽速度（300 本/人日）最大でも平均的植栽速度を超えることはなかった。ホロレンズの位置精度の問題により頻繁にキャリブレーションが必要で、集中して植付作業ができなかったことが効率が上がらなかった原因と考えられる。また、ホロレンズは今のところ本作業に適した形状ではないことから、安全上の問題が残っている。

表 3 植栽本数（日別・箇所別）

	植栽本数（本）	
	北側	南側
令和5年	ホロレンズ装着	ホロレンズなし
10月2日	50	200
10月3日		400
10月4日	300	250
10月5日	500	100
10月6日	600	
10月9日	107	300
10月10日		193
小計	1557	1443
合計		3000

3. 令和6年度の実行結果

① 協議会、現地検討会の開催経過

現地検討会（7/17）は、主伐地の北信州森林組合管内木島平村カラマツ林で実施した。開発目標は、作業者が下草に隠れた植栽木の位置を把握できるので作業の効率化と頭刈りによる欠損・誤伐防止である。植林地の下刈り作業は、夏場の過酷な労働作業であり、植栽木が大型草本に覆われた場合は、植栽木の頭刈りなどの下刈り欠損木の発生も起きやすくなる。そこで、国内初のホロレンズ（複合現実）による下刈り作業支援の実証を行った。令和5年度は主伐後にドローン計測で、地形情報と枝条集積箇所、植栽本数から植栽計画マップを作成し、ホロレンズに情報転送し、ホロレンズを装着した植付け作業員が植栽地にサイン表示された場所にナビゲートして植栽した。令和6年度は、再造林時に作成した植栽計画マップをホロレンズに情報転送し、ホロレンズを装着した北信州森林組合の下刈り作業員がホロレンズに表示された植栽木位置を確認して、植栽木を避けながら下刈り作業を従来方法による下刈り作業と比較して実施した。

協議会は、事務局の信州大学から参画機関にオンライン会議の開催、メール、電話で配信した。

② 令和6年度の実行結果（経過）及び取組の評価と課題

(1) 森林資源（精密林業計測・信州大学）

令和6年8月2日にDJI社Phantom4RTK(以下P4R)を使用して、長野県下高井郡山ノ内町のスギ林約0.2haを対象とした計測を行った。P4Rは位置精度の高い可視光域画像を取得する用途で使用した。対象地上空を飛行しながら連続写真を撮影し、それらの写真をSfM(Structure from Motion)/MVS(Multi View Stereo)処理を用いて解析することでオルソ画像を作成した。

令和6年9月25日に、DJI社M350RTK(以下M350)にレーザセンサであるSurveyer Ultra(YellowScan社)を搭載してレーザ計測を行った。レーザセンサは上空からレーザ光線を森林に照射し、反射して返ってくるまでの時間と照射方向から対象物の位置を計算する。これを1秒間に数十万点繰り返すことで対象物の形状を三次元的に復元する。今回の調査においても令和4年度の解析と同様に森林の形状を再現した三次元点群の表層部と地表部の点群をそれぞれ抽出して数値表層モデル(Digital Surface Model, DSM)と数値標高モデル(Digital Elevation Model, DEM)を作成、これらの差分を取って樹冠高モデル(Canopy Height Model, CHM)を作成した。本年度得られたデータから作成したCHMを解析し、処理を行い、立木位置、樹種、樹高のデータを得た。調査地の山ノ内町のスギ林約0.2haの精密なドローンオルソ画像上に単木で樹種分類したスギ森林資源調査の結果を図14に示す。

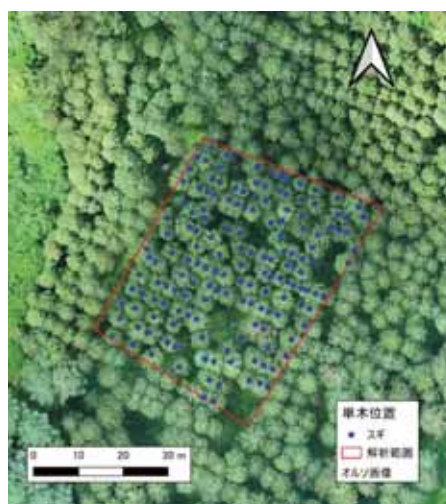


図14 スギ林対象地

モバイル（携帯用）レーザで立木の樹幹情報を取得するため、障害となる小径木の雑木を令和6年8月5日から7日に対象地内でチェーンソーを使用して下刈りを行った(図15)。



図 15 対象地伐採前(左)伐採後(中央)及び作業中の様子(右)

ドローンレーザ計測と同日に、モバイルレーザ計測を実施した。実施した内容は：

- ①反射板(GCP)5枚を設置し、Drogger GPS を使用して反射板の位置を記録した(図 16 左)。
- ②Emesent 社の Hovermap モバイルレーザセンサを使って計測を行った(図 16 中央)。
- ③GreenValley 社の LiGrip モバイルレーザセンサを使って計測を行った(図 16 右)。



図 16 モバイルレーザ計測

取得したモバイルレーザデータは後処理を行って上で、反射板位置を使用して 3D 点群の位置合わせを実施した。処理したモバイルレーザデータとドローンレーザデータを結合し、根元から樹冠の頂点までの単木抽出を個体ごとに行い、各 10cm ごとの幹直径を計算した。

・情報収集

効率的な森林資源調査に資する情報の収集のため、令和 6 年 9 月に東京ビッグサイトで開催された FORESTRISE 2024 に「新しい林業」に関わるドローン、レーザ計測、AI のスマート林業、ICT ハーベスタなど先進的な林業機械の開発に取り組む林野庁、企業とスタートアップ、国公立森林研究機関、林業関係団体による出展・セミナー・講演があり、担当者と直接打合わせと意見交換を行った。

・森林資源調査の流れ

1) 単木点群の抽出

- ・ドローンレーザと地上レーザの計測点群から単木点群の抽出を実行

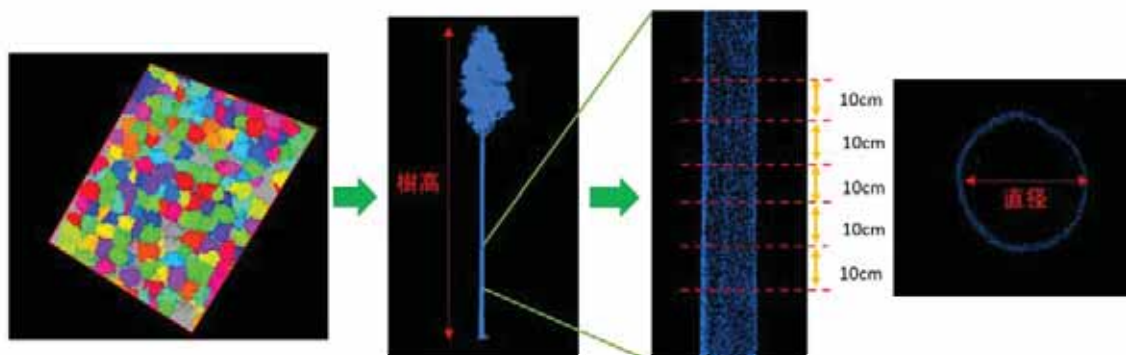


図 17 R6 対象地 3D 点群データから単木抽出 (左)、樹高算出 (中央)、各高さ直径算出 (右)

2) 幹点群の抽出

- ・単木点群の枝、ノイズを手動で分類して、幹点群のみを抽出

3) 高さごとの円盤点群の抽出

- ・幹点群から幅 10cm ごとに円盤状の点群を自動抽出 (図 17 中央)

4) 円盤点群から直径の算出

- ・円形フィッティングアルゴリズムを使用 (図 18)
- ・円盤点群から直径の算出 (図 17 右)
- ・直径の算出と同時に円の中心点の位置情報を算出 (※曲がりの算出で使用)

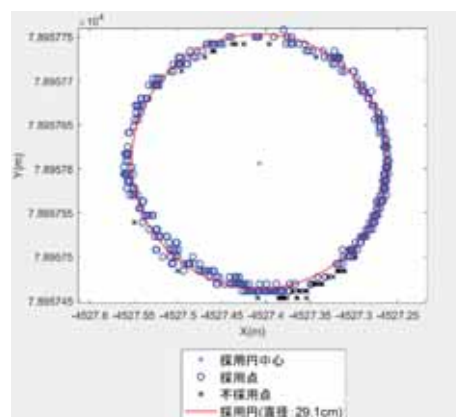


図 18 点群からの直径算出

5) スギ造材シミュレーションプログラム

- ・計測範囲内の全立木で単木ごとにシミュレーションを行う
- ・単木ごとに丸太の切り出しをシミュレーションする
- ・切り出した丸太ごとに丸太情報 (長さ・直径・曲がり) を計算する (図 19)
- ・末口直径 16cm 以下の丸太をバイオマスとして計算し (図 20)、毎木の造材シミュレーション結果を集計。範囲内全体の丸太本数と材積を取得 (表 4)

6) 評価と課題

- ・令和 4 年度のカラマツとは異なる樹種でも造材シミュレーションを行うことができた

・シミュレーションと間伐材の実測値の比較を行う予定である。



図 19 出力例

立木 No4 丸太長が 2m の場合、矢高が最小な造材は
元口 0.5m から末口 2.5mm で造材する

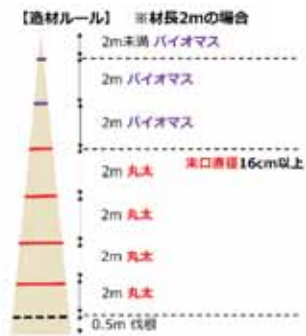


図 20 造材ルール

表 4 造材統計表

材長	材別	本数	総材積m3
2m	丸太	1166	136.4
2m	バイオマス	981	30.9
3m	丸太	763	137.6
3m	バイオマス	648	32.5
4m	丸太	536	134.0
4m	バイオマス	501	34.5
5m	丸太	441	139.7
5m	バイオマス	374	34.5

- (2) 主伐 (北信州森林組合)
令和 6 年度は実施していない。
- (3) 流通・販売 (森林連結経営)
令和 6 年度は実施していない。

(4) 再造林・保育（北信州森林組合・精密林業計測）

ア 準備（精密林業計測）

令和 5 年度に実施したホロレンズを用いた植栽事業に引き続いて、令和 6 年度はホロレンズを用いた下刈り作業を行った。植栽した苗木位置をホロレンズを通して投影して、下草に隠れた植栽木の位置を複合現実で把握することで下刈り作業の効率化の実証と検証を行った。

1) 基準点用ポールの設置

・対象地約 1.3ha 内にホロレンズをキャリブレーションするための基準点となるポールを設置。ホロレンズは屋内用に作られたデバイスであるため、位置の校正を定期的に行う必要がある。そのため、対象地内に基準点となる 32 本のポールを設置した。

2) ポールの改良

図 21 に示すように下草の背が高く、当初設置したポールがキャリブレーションに使えないことが分かった。そのため、下草より背丈が高い 3m ポールへの差し替えを行った。



図 21 繁茂した下草

3) 下刈り作業

令和 6 年 7 月 16 日からホロレンズを用いた下刈り作業を実施した。北信州森林組合の担当者 2 名が 1 名はホロレンズを装着した状態で、もう 1 名は通常の下刈りを行うという手順で作業を進めた。また、7 月 17 日には同対象地の約 0.08ha の範囲内でホロレンズによる下刈り作業と通常下刈りの比較現地検討会を行った。

4) 評価と課題

下刈り作業からホロレンズを装着することで視野が狭くなってしまい、足元や蜂の巣等が確認できず危険を伴う作業となること、投影される植栽木位置に注意して下刈り作業を進めようとする、低木等の障害物等に当たってキックバックを引き起こす危険性が高くなること、開発したプログラムは植栽木の位置をすべて表示していたため、視覚情報が過多になり作業速度の低下を招いたとの報告もあり、作業者を中心に半径 20m の植栽木のみ表示するなどプログラムを改善の希望があった。室内のゲームで使用するホロレンズを林業現場に用いた最初のトライであり、予想された課題でもある。ホロレンズを含む複合現実デバイスの小型化・高性能・屋外使用の進展と、植栽位置の DX による下刈り作業ロボットによる省力化が期待される。

イ 実際の作業（北信州森林組合）

令和5年10月に主伐跡地へホロレンズを用いて植栽を実施したが、その後、植栽木の成長を阻害する雑草が繁茂する令和6年7月中旬にホロレンズを用いての下刈作業を実施した。主伐範囲の北側半分（図22 水色範囲）はホロレンズ使用、南側半分（図22 黄色範囲）はホロレンズ不使用で植栽したため、下刈も同様に北側半分はホロレンズ有で実施、南側半分は作業速度の比較のためホロレンズ無で実施した。

作業速度の比較は、北側・南側の各エリアにおいて1日の作業終了時に下刈の完了した範囲をGNSS測量した。また、ほぼ同条件のホロレンズ有／無試験地を準備し、7/17 午後現地検討会の際に同時に作業して速度を比較した。



図 22 下刈作業エリア
(水色：ホロレンズあり、黄色：ホロレンズなし)

1) 結果

作業日毎の下刈り完了エリアを図23に示す。また、7/17 午後の現地検討会の際、およそ15分実演した際に、同時開始／終了した結果を図23の太線範囲に示す。また、同結果の値の比較を表5に示す。

まず、作業速度の比較について、7/17 午後の現地検討会の結果は

$$\text{有／無} = 188 \text{ m}^2 / 237 \text{ m}^2 \div 0.8$$

であり、参加者の実感と同様にホロレンズ有が無と比べ8割程度の速度となった。その原因として、後日作業者に聞き取りを行ったところ、以下の回答を得た。

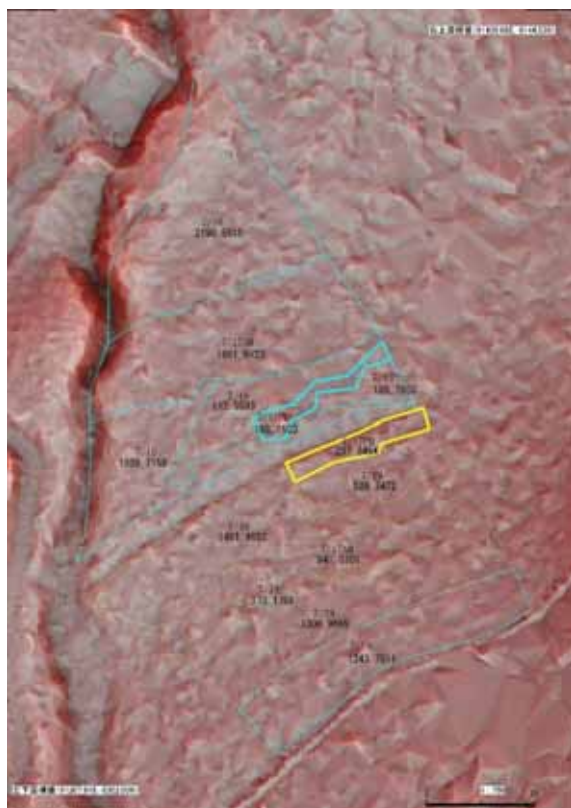


図 23 作業日毎下刈完了エリア
(太線：7/17 現地検討会実演エリア)

表 5 作業日毎下刈完了面積

			単位:m ²
	作業者A		作業者B
ホロレンズ	あり	なし	なし
7/16AM	2,190		1,481
7/16PM			
7/17AM			941
7/17PM(現地検討会)	188		237
7/18AM	812		273
7/18PM	休		休
7/19AM	1,109		1,300
7/19PM		1,243	
作業者別小計	6,100	1,243	4,232
ホロレンズ有無別合計	6,100		5,475

因として大きいと推察される。皆伐後の地拵えー植栽ー下刈作業について、工程毎の効率の追求もさることながら、前工程は後工程の効率を考えた出来形に仕上げる、ということが効率を上げるには有効と考えられる。

その他、実用化に向け作業者に聞き取りした内容を述べる。

● 植栽位置の規則性の問題：下刈は筋刈（筋状に植栽されている苗木を跨ぎながら刈る）が多く、植栽間隔が一定ならナビゲーションが無くてもおおそ苗木の位置は予測できる。一方、ホロレンズ植栽は苗木位置がランダムで、どこに現れるか予測しづらく注意を払って作業する必要がある。

● 作業手順の慣れの問題：植栽位置の規則性に関連するが、列に植栽されていれば刈払機を振る幅や体の動きも規則性があるが、ランダムに植栽されているとナビゲーションがあっても植栽位置に近づく度に刈り方を判断しなければならない。

一方、7/17 現地検討会以外の作業日においては、全般的にホロレンズ有作業の面積が無作業を上回っている。これは、作業者の能力の差もさることながら、植栽前の地拵作業の仕上がり具合の影響も大きい。表5の作業者Aは7/19 午前でホロレンズ有エリアの作業が完了したことから7/19 午後は作業者Bのサポート（ホロレンズ無）に回って作業したが、

作業者Aに聞き取りしたところ「黄色エリアは水色エリアと比べ枝や切株が多く、作業が難しかった」と述べている。

2) 評価と課題

結果から考察すると、下刈速度を評価の基準とするならば、下刈作業のナビゲーションも重要であるが、作業前の対象地がどのような状態（植わり方や地拵えの仕上がり）であるかが速度を左右する要

- ホロレンズ自体が屋内使用仕様であることによる不具合：
下刈作業は通常、梅雨～暑熱期に実施されるが、ホロレンズは防水仕様ではないため雨天時の作業が不可であること、直射日光によりオーバーヒートを起こす。
- ホロレンズの形状に伴う不具合：
ゴーグル形状であるため、汗により曇る・視野が狭く足元の石や伐根をキックバックする、ヘルメットを被ることができない、バイザーが無く跳石が危険
- 位置精度上の改善点：
ロストモーション発生に伴い、頻繁にキャリブレーションが必要。キャリブレーションのための基準点を設置する手間が必要。それでも位置がずれることから現状では苗木に印が必要。
- ソフトウェア上の改善点：
全ての苗木位置が表示されてしまうことから、近くの苗木の表示がどれかわからない。遠近がわかる表示方法が必要。

等、実用化にはデバイスの改良が待たれる。

しかしながら、作業者が装着することを前提とした場合の課題であり、キックバックやロストモーションの問題は、機械が下刈を実施することを考えた場合に当てはまらなくなる可能性がある。さらには、全自動化に向け、植栽位置を公共座標上で明らかにしておくことは必要な試みと考えられ、今後技術開発が期待される。



図 24 ホロレンズ下刈作業の様子
(左：キャリブレーション 右：ホロレンズ正面から)

(5) 経営モデル構築（森林連結経営・信州大学）

経営モデル案の概要は、先端技術を武器として、山側が自ら建築の世界に足を踏み入れ、木材を建築部品として高付加価値を付けて販売することで、山に再造林と経営維持が可能な利益を還元する。既存の流通システムに頼っていては、今後の住宅市場の縮小に対応できないばかりか、人手不足や燃料など各種コストの高騰による材価の低下圧力に晒され、経営の維持すら難しくなる。建築業界で開発が進む AI を活用したシステムは、建築情報を専門家の手から解放し、一般人が利用しやすい形で開示する方向に向かう。その流れを引き寄せることで、山側が自ら建築部品を作ることが可能に、容易になっていく。大規模生産・大規模流通の時代は終わり、地域内での小規模な生産、施主への直接販売が最も合理的な経済行為となることが予想される。概算見積もり AI と、木造大型パネル技術、それをリモートセンシングによる森林資源情報と結びつけることが、地域の森林と社会を守る最適モデルである。

(ア) 概算見積もり AI とその可能性

概算見積もり AI は、ウッドステーション株式会社が開発中の工務店支援システムである。住宅建築においては、最終的に設計が固まり建築確認申請を行うまでに、設計士と施主は何度もやり取りを重ねて希望と設計上・予算上の要請をすり合わせていく。本来ならその過程で一件ずつ費用を見積もるのが理想だが、建築に要する部材の種類の多さ・複雑さから、坪単価という経験値に基づく大まかな指標を頼りに推定するしかないのが実情である。これまでは図面を読める人が、ラインマーカーを手に横架材・柱材など一本ずつ木拾いをするしかなく、人手がかかっていた。それに対し、開発中の「概算 AI」は、PDF の平面図と立面図をクラウド上にアップするだけで、短時間で必要な木材の量や寸法、実勢価格までを表示してくれる。

仕様情報入力フォーム

建物仕様情報 | **木材仕様情報** | 断熱材仕様情報 | サッシ等仕様情報

土台・大引の樹種を選択
梁桁の樹種を選択
柱材の樹種を選択
ハガラ材の樹種を選択
垂木の樹種を選択
壁面材の種類を選択

桧KD
ドライビーム
杉集成
杉KD
米松KD
針葉樹合板

現時点では全国に供給可能な大手メーカーの材種のみが表示されている。

概算見積サイト Back to Top User Page

概算見積結果 (コード: 0367)

横架材 材料費

柱・木 材料費

ハガラ 材料費

合板 材料費

副資材 材料費

金物 材料費

プレカット加工費 運賃

概算見積サイト Back to Top User Page ログイン中: k5281521@k...

見積コード: 0367 横架材 材料費
合計金額: 774,061円

※実勢価格に基づいて算出しております

区分	樹種	等級	W	H	L	材積	単位	単価	金額
土台・大引き	桧KD	-	-	-	-	1.6477	m3	95,000	156,531
梁・桁(2階)	ドライビーム	-	-	-	-	3.0359	m3	100,000	303,590
梁・桁(下屋)	ドライビーム	-	-	-	-	0.3102	m3	100,000	31,020
梁・桁(小屋)	ドライビーム	-	-	-	-	1.7292	m3	100,000	172,920
母屋	ドライビーム	-	-	-	-	1.1	m3	100,000	110,000

PDF出力 CSV出力 編集

図 25 概算見積もり AI

このシステムは令和7年中に一般向けの会員募集を行うところまで開発が進んでおり、住宅産業の人手不足解消、また住宅コスト低減のために広く浸透していくのは必至とみられている。これを利用し、次項で解説する木造大型パネル技術を活用すれば、建築の専門家がいなくても、林業と製材が手を組んで建築部品の生産を行うことが可能になる。また、現在表示されている部材は全国に供給可能な大手メーカーの材種・価格のみだが、いずれここに「地域材」のデータを登録することが可能になる見込みである。地域材データの登録者は見積もり申請の情報にアクセスできるので、見積もり依頼件数の何割程度が実需に繋がるかというデータが出てくれば、先行需要を掴んで生産に生かすことができる。掲載する価格は自分で自由に設定でき、中間流通を省いた直送により利益を確保しやすくなる。登録者が単独の製材工場の場合は、従来どおり原木を安く買い、利益を自分だけが得ることになりやすい。掲載した製品の供給責任を果たす上でも、山側が主体的に関わり、適正価格を決めると共に生産計画に反映する仕組みを構築することが望ましい。

(イ) 森林資源情報と建築情報をつなぐハブになる木造大型パネル工場

木造大型パネルとは、簡単に言えば自由設計の在来木造建築をデジタル化&プレファブ化して施工精度を上げ、工期を短縮する技術である。これは従来から国内の大手ハウスメーカーが手掛けてきたものだが、大きく異なるのは、技術が誰にでも開かれ、オープンであることだ。この技術もウッドステーション株式会社が提供しており、住宅だけでなく倉庫やグループホーム、寺社などを含め既に数千棟の実績がある。生産パートナー会という団体に加入すれば、希望者はいつでも工場建設に関する技術移転や技能者の育成サポートを受けることができる。

大型パネルという名前でも、工場は極めて小規模で、300坪程度の上屋があれば良く、製造ラインの価格は5,000万円程度と、中山間地域でも十分に可能な投資額で済む。年間に生産できる棟数は50棟～200棟、工員は棟数により4名～12名程度が必要だが、熟練の大工がいなくても、半年程度の訓練期間でパネル図を読み、組み立てることができるようになる。

山側が自前でこの工場を持つ（製材所と共同で運営するケースを含む）意義は何か、それは木材を原木で売るのではなく、サッシや断熱材を取り付けた建築部品にまで付加価値を高めることで、取り込んだ利益を山に還せる、つまり材料の原木を高く買うことができる点にある。現在の林業はプロダクトアウトから脱却できず、需要を考えずにひたすら安く大量に供給しているが、買い手を探して遠くへ運び、地元の木材需要と全くマッチしていない。その状況を変えるのが、山側が自ら木造大型パネル工場を運営することである。

逆に、この工場が建築サイドによって建てられてしまうと、彼らは山への利益還元を考慮せず、住宅価格を安くして自分達が競争優位に立とうとする。それは森林の維持に繋がらず、いつかは資源が枯渇してサプライチェーンを回せなくなる自殺行為だが、短期的な利益のみを追求する事業者は意に介さないであろう。それを回避し、森林による持続可能な経済を成立させるためにも、山側が建築業界の足元まで進出すべきと考えられる。と言っても、実際に施主と契約を交わすのはあくまでも地元の工務店であり、大型パネル工場は彼らの仕事を奪う訳ではない。前項で記述した省エネ基準への適合や4号特例の縮小に対し、多くの工務店は自ら対応する能力を持ち合わせていないので、高品質な建築部材を提供できれば、彼らにとっての強力なパートナーになり得る。大手ハウスメーカーの建築では利益のほとんどが大都市の本社や広告代理店に吸い上げられてしまうが、地域材を使った建築は費用のほぼ全てが地域内で循環する。この事の持つ意味は、一般に考えられているよりも遥かに大きい。

(ウ) 詳細な資源情報を建築情報とリンクさせ、山を倉庫にする

近年、航空機やドローンによる森林情報の取得や解析が盛んになり、中には 0.5m メッシュの計測データを公開している県もある。樹種や本数、樹高や直径などから、相当正確な森林の蓄積量が推測でき、これに実際のサンプル調査を加えれば、ビジネスで扱うに十分な資源量の予測が可能になってきた。この情報を、先述した概算 A I や木造大型パネルの技術とリンクさせることで、木材のオンデマンド生産が初めて可能になる。

昨年、ドローン To ハウジングで試行したような、立木と建築部材の 1 対 1 の割当が実現するには、リモートセンシング技術の一層の向上を待たなくてはならないが、ある林分からどのような木材がどのくらい生産できるかという見込み量の産出は、現在の技術で十分可能である。適切な作業道の開削や、伐採後の再造林作業のし易さなどを考慮し、最適な林分を選んで伐ること、そして上棟の 2 ヶ月半前までに販売先が決まっていることが、従来の林業の生産方式とは全く異なる、「山を倉庫とし、在庫を持たない」林業への道を拓く。

(エ) 経営モデルの実現可能性に関する聞き取り結果

①自治体

山梨県中北林務環境事務所・宮崎県東臼杵農林振興局・宮崎県東京事務所・和歌山県東京事務所・うきは市役所・人吉市役所・丹波山村役場・海士町役場

各県・地域ごとに林業・木材産業の置かれた状況は大きく異なるが、共通しているのは森林組合など山側の当事者の、変化への対応意識・能力の低さへの嘆きである。行政としては、先進的なモデルを提示し、視察や研修を実施して導入できる部分からチャレンジするよう促す努力をしているが、現場は何かしら理由をつけて動かないケースが多い。ある県では山側と木材産業が互いに情報を囲い込み、連携して全体のパイを増やすという考えが全く及ばない風土があるという。しかしそのような人達を動かすのは「利益」であることを考えれば、森林資源情報を概算 AI・木造大型パネルと連携させ、大きな利益を生む経営モデルは、変化を起こすきっかけになる可能性が十分にある。うきは市・人吉市などは、もともと林業・木材産業の盛んな地域で、今後の少子高齢化、労働力不足という課題を乗り越える手法として、今回の経営モデルに注目している。両市とも、森林組合と地元の製材事業者が交流するネットワークがあり、木造大型パネル工場を設置する動きがあれば、何らかの支援が期待できる。山梨県丹波山村や島根県海士町などは、住宅不足に悩まされる現状から木造大型パネルによる公共物件の建築が進んでおり、近隣に工場ができることを望んでいる。各自治体が取得・公開する森林資源情報はレベルにかなりのバラツキがあるが、この経営モデルが実現していくにつれ資源情報の価値が認められ、UAV による独自のデータ取得なども増えていくはずである。建築の足元まで降りていくという発想は、自治体の林務担当者にとって、従来は全く考えられない取り組みであったと思う。しかし、木材の金額ベースの利用先は圧倒的に建材が占めることから、製材や住宅産業に関する知識を蓄えてきた公務員も少なくない。そのような人材には、経営モデル構築の後押しまたは下支えを期待できる。地域の木材需要を地域材で賄い、外部に資金が流出せずに循環することは、地域内の雇用を生み、林業従事者の手取りを増やす。そのような経営モデルは自治体にとって有用であり、手を上げる民間事業者がいれば、確実に行政のバックアップを受けられるという確信を得た。

②森林組合

浮羽・おおいがわ・球磨中央・北都留・南部町・佐伯広域・耳川広域

一口に森林組合と言っても、年間の出材量が 3 千 m³ 程度の北都留森林組合と、21 万 m³ を扱う佐伯広域森林組合とは全く異なる。しかし共通しているのは、その場所から動けないこと、先人の遺した森林を大切に使い、将来世代に引き継ぎたいという思いだろう。各組合とも、GIS の利用やドローンの導入は行っており、程度の差はあれ今後も利用を拡大していく方向にある。しかし彼らの多くは山の課題に対処するのに精一杯で、それを解消するために建築にリーチするという解決策はおおよそ理解の範囲を超えてしまうようだ。製材で実績を積んだ佐伯広域森林組合でさえ、大型パネルの製作に乗り出すには多くの葛藤があり、組織内の説得が必要だったと聞く。しかし、今回提案する森林直販モデルは地域にスモールサプライチェーンを確立することであり、小さな規模で始めることが可能だ。そのことを理解した山梨県の職員は製材工場を持つ南部町森林組合に、人吉市の元職員は森林資源データの整備を担う球磨中央森林組合に、それぞれ計画の検討を打診している。今やっている事からほんの少し領域を広げれば、木材を安定して高く売れる道が拓けてくる。それを概算 AI のような先端技術がサポートしてくれることを伝え、成功モデルを確立することができれば、自分達もできるかもしれない、やってみようという流れを作れるはずである。担い手が減っていく中、森林情報のデジタル化は避けられない流れなのに、現状はそのコストを上回るメリットが見えず中々普及していかない。建築データとのマッチングにより大きな利益を生むことが分かれば、情報のデジタル化が進み、将来の森林整備にも役立っていくと思われる。

③素材生産・造林事業者

サンエイ緑化・大阪林業・大澤林業（十勝）・木人舎（人吉市）

林業を営む民間事業者は生き残りのために、森林組合に比べれば遥かに日常的に、新たな技術や仕組みに挑戦している。そうでない事業者も多いが、彼らはいずれ働き手を失い、市場から退出を迫られるだろう。昨年の報告書でも指摘したように、意欲のある中小の事業者は事業領域を拡大する傾向にある。従来の事業の規模拡大だけでなく、素材生産事業者が山を買ったり、苗木生産を始めたりして、後継者難などによる地域の分業体制の崩壊に備えつつ、固定費率を下げようとしているようだ。そうした事業者は、森林と建築を結ぶ経営モデルにも関心を示し、自らの参画の可能性を検討する。経営者が高齢の場合は難しいが、代替わりした後継者や、新規に起業した経営者ならば、利益追求の観点からも冷静に実現可能性を探っていくはずだ。特に人吉市の造林事業者は、再造林の遅れという地域課題を自ら解決するために市役所を辞めて起業しており、木造大型パネル工場が地域材の地域内利用の起爆剤になることに期待して、金融機関も巻き込み、事業の検討に着手している。この地域は豪雨災害による復興需要が継続しているが、そのほとんどを県外の事業者が受注し、地元にお金が落ちないことに、彼は憤りを感じている。しかも近隣の八代市には中国木材の工場が進出予定で、地域の林業の主体性が失われ、経済的に隷属するようになる懸念もある。そのような地域にとって、この森林直販モデルは福音とも呼べるものだろう。造林のデジタル化も視野に事業展開をしようとしており、森林と建築のデータ連携とも親和性が高い。

④木材産業

平川木材工業・マルジョウ・堤木材（うきは市）・藤本製材（岩手）・サンケイ（日向市）

住宅産業の縮小を最も危機的に捉えているのは、この製材・木材加工事業者のようだ。木造住宅の着工棟数が落ち、構造材だけでなく内装材を作っていた事業者も打ち手を見出せないでいる。ウッドステーションの塩地会長がうきは市で講演した際も、多くの製材事業者が参加して

いた。彼らはある程度建築の世界を知っているだけに、自らが建築部材の生産を手掛けることには慎重な姿勢を見せる。それでも他に有効な解決策が見えないため、変化を好まない森林組合の背中を押しながら、森林直販事業の実現を模索しているようだ。その点、岩手の会社はストレートに大型パネル工場の建設を目指し、事業パートナーを見つけようと奔走している。地元の森林組合や民間の素材生産事業者など、事業に賛同し信頼できる相手が現れれば、すぐにも事業化に乗り出すと思われる。宮崎の企業は、中国木材という巨大な工場と共存するため、小径木を無駄なく加工して独特の集成材を作っている。原料の仕入れ値は安くても、手間がかかる分、少しでも高く売る工夫を重ねている。住宅部材の製造に関われば、加工の自由度を活かして内装に自社製品を供給でき、大きな利益を上げられる可能性があるのも、関心を示している。

⑤自治体・林業事業体(長野県内：信州大学)

本件モデルの実証地が所在する長野県内においても、約 20 市町村（長野市、松本市、伊那市、大町市、上田市、木曽町、飯田市など）と林業事業体を訪問して、「新しい林業」経営モデル構築と長野モデルの説明と聞き取りを行った。ドローン計測による効率的な森林資源調査法、川上と川下のデータ連携による山元還元策に関心が高かった。一方で費用対効果の面から実証にはまだ課題が多いことも説明した。

⑥建築関連事業者

ほしかわ工務店・剛工務店（群馬）・森ビル・田中工務店（東京）・天野保建築（山梨）・サトウ工務店（新潟）・環境計測（京都）

ヒアリングを行った事業者は全て木造大型パネルの理解者であり、多くは発注者や施工経験のある工務店である。彼らは大工の負担を軽減し、施工精度の高い高性能な住宅を供給するため大型パネルを支持している。その上、地域材が少なくとも国産材を積極的に使おうとする事業者でもある。最近、建築側が山側に歩み寄る姿勢を感じるが増えた。群馬県の工務店は「もくしるべの会」を結成し、地元の林業・木材事業者と交流して山の事情を知ろうと努めている。群馬県は県森連が中心となって木材需給のマッチングを推進しており、山側が資源情報のデジタル化を進めれば、森林と建築のデータ連携に発展する下地となり得る。森ビルは浜松市の委託事業「天竜林業イノベーション推進事業」を静銀経営コンサルティングと共同で進めており、山側の当事者が経営管理能力を向上させるための教育機会を提供しようと考えている。従来の事業領域に留まらず、山の資源情報を整備して木材を高く売る仕組みを創ろうとする人材が育っていく期待が持てる。多くの工務店が、2025 年 4 月からの法改正が実需にどのように影響するのかが見えず、着工棟数の減少に怯える中、ここに挙げた人々は従来から高機能住宅を手掛け、新技術に果敢に挑戦してきた。そのような建築関係者が口を揃えて、概算 AI によって業界が大きく変わっていくこと、木造大型パネルが地域材の活用役に役立つことを認めている。松本で実施したような、原木と部材を 1 対 1 でマッチングさせる試みは時期尚早だとしても、リモートセンシングによってある林分の材積や品等が予測できれば、建築データを連携させ、市場に出すよりも遥かに高い価格で取引できるだろう。木材利用は住宅に限らない。環境計測という会社は、気象データなどの計測機器を設置する局舎を、これまでの鉄とアルミから木造に切り替えようとしている。全国に 2 万棟あるというその種の小屋は定期的に建て替えが必要で、地域の木材を活用することで、発注者である自治体に価値を訴求しようとしている。森林直販経営モデルが、住宅産業以外にも展開していく可能性を示す事例として紹介したい。

(6) 取組全般の評価と課題

本件事業の令和6年度取組全般に関して、7月に当該事業を主管する経営課で、概要説明と意見交換、現地検討会の内容と日程、雑誌「林野」への執筆など、助言を受けた。

10月と11月に本件事業の森林資源～経営モデル構築に関して、林野庁の小坂次長、スマート林業を推進する計画課、試験研究開発の研究指導課、森林集積の森林利用課と、長野モデルの取組概要の説明と意見交換を行った。森林情報のデジタル化の進展、ドローンとホロレンズによる再生林・保育下刈りの省力化、ICTハーベスタの乱尺造材など「新しい」林業で取り組んだドローンの森林資源調査、川上と川下のデータ連携、デジタルトランスフォーメーション(DX)について、林野庁の他事業との連携にも期待しているとの意見をいただいた。

4. 実証事業の総括

令和4年度から令和6年度の3年間の実証事業の総括的な取りまとめを記す。

(1) 森林資源 (精密林業計測・信州大学)

令和4年度から5年度にかけてはドローン to ハウジングを軸として、信州大学・精密林業計測によるカラマツ林の計測と造材シミュレーションの実施をした。レーザセンサによる計測とレーザデータによる樹皮を含めた推定は比較的精度良く推定することができたものの、実際に造材したところ、樹皮が厚く材の直径が足りない丸太が多くなってしまったこと、推定値よりも曲がり材が多かったこと、製材時のヤニ壺や心材の中心位置のズレ(偏材)による材の曲がりなどレーザ計測で測定できない材質の欠点で建築用製材との1:1対応条件で要求を満たす丸太は多くなかった。令和6年度はスギ林の造材シミュレーションを行っており、今後対象地で実際に伐採を行った際に推定データと対応比較を行うことで、造材シミュレーションの事例を増やすことができる。今後は地域ごとの樹皮のデータ、材質を推定する計測方法、樹種ごとの計測時の特性などのデータを蓄積していくことで実用に足る造材シミュレーションの実現が可能であると考えられる。

(2) 主伐 (北信州森林組合)

本経営モデルにおける収支改善の手段は、主伐および再造林・保育のコストを劇的に低下させることが容易ではないことから、主伐の際に生産される丸太の内、建築用材として用いられるA材の販売価格を、製材時の歩留まり向上と流通段階における中間マージンの最小化により上昇させ、その結果としてA~C材全体の平均販売単価を上昇させて山元還元につなげていくマーケットインの実践を柱としている。

主伐によって生産されるA材の内、より多くの丸太が本経営モデルの流通に乗ることが販売価格上昇につながるが、本実証事業においては、主伐地全体のA材供給量に対して実際に建築する住宅が2棟と需要量が少なく、さらには森林資源調査における測定誤差(曲がり・径不足)や内部品質不適合のため歩留まりが低下し、最終的には現場で生産されたA・B材丸太の内、本経営モデルを適用できた材積は全体の1.1%(2.845 m³/253.44 m³)にとどまり、主伐現場の目立った収支改善は見られなかった。しかし、本事業における経営モデルのカラマツ販売価格は¥26,000/m³(税抜)で、通常合板用として販売する価格¥21,500/m³よりおよそ20%の値上げが実現できた。適用量が増加すれば、その分、収支改善が見込まれる。

一方、本経営モデルに対応するために丸太生産・流通の各段階において手間が上昇することがあつては、本経営モデルによる利益が相殺されてしまうことから、ICTハーベスタの造材指示機能・生産報告機能を用いて作業の簡素化を図った。結果としては、森林資源調査データと建築部材のデータの1対1対応は、レーザ計測の測定誤差や丸太の内部品質、ハーベスタの測定精度の限界やオペレータの操作ミス等、不確実な要因が多いため丸太生産においては非常に条件が厳しく、また、適用材積も少量であったことから「生産量が多くて処理しきれない状況を解決する」というStanForDの強みを発揮するにはいたらなかった。今後、1対1対応から多対多対応へと発展したとき、ハーベスタのICT機能は効果を発揮するものと期待される。

(3) 流通・販売（ウッドステーション、森林連結経営）

事業総括は令和5年度取組に記載した。

(4) 再造林・保育（北信州森林組合・精密林業計測）

ホロレンズの屋外対応・新技術を用いた位置精度向上等、「新しい林業」にはデバイスの性能向上が待たれる一方、それにより機械による植栽・下刈等の全自動化も期待できる。造林作業全体での生産性向上には、後工程の効率化に寄与する最適な前工程を見つけ出していく必要がある。

令和4年度に主伐を行ったカラマツ林での令和5年度以降の再造林、保育として Microsoft 社の HoloLens2（ホロレンズ）を用いた植栽、下刈り作業の支援を行った。レーザセンサを用いた地形計測を行い、その計測データを用いて植栽位置の決定を行った。植栽、下刈りともにホロレンズが本来屋内用デバイスであることから、定期的なキャリブレーション作業が必要となり、作業全体のネックとなってしまった。また、視界が狭くなってしまうことや乗り物酔いのような症状が出てしまうという問題もあり、これらの課題に関してはホロレンズを始めとしたデバイスの性能の向上が期待される。加えて実用に関しては、ヘルメットが被れないといった問題やフェイスガードをつけることができないといった課題も挙げられた。これらの課題に関してもハードウェアの改良やアタッチメントの拡充によって改良されることが期待される。他にも、ホロレンズに投影される植栽位置についても植栽が完了したり、下刈りが済んだ苗木に関しては色味を変更したり、見えなくなったりするといったプログラムの改良も求められる。ホロレンズを用いた再造林・保育に関しても今すぐに実用化できるとは言えないが、ソフト・ハードの両面から改良を加えていくことでよりスマートな植栽、下刈りを実現することができるようになると考えられる。

(5) 経営モデル構築（森林連結経営）

今回、森林を取り巻く様々な業種の人々に話を聞く中で、当チームが提案する経営モデルは、それが有効かどうかは既に議論の余地はなく、いつどうやって実現するかという社会実装のフェーズに移っていることを感じた。日本の森林は史上例を見ない蓄積量を抱えているが、林齢の偏りは著しく、再造林率が現状のままでは数十年ともたずに枯渇してしまうだろう。大規模林業地ではバイオマス発電の勢いが凄まじく、燃料の奪い合いで買い入れ価格が高騰し、A材まで燃やされる危機が迫っている。林業が盛んでない地域は他産業との人材獲得競争に敗れ、新しいことに挑戦する意欲を持った人が更に少なくなっていく。そのどちらにも有効なのが、リモートセンシングによる森林資源情報のデジタル化、それを概算 AI で建築側に提供し、地域に建てた大型パネル工場で建築部材として成形・販売し、その利益を山の維持管理に充てるという方法である。新しい林業に取り組んだ多くのチームがコスト削減や省力化において成果を上げているが、木材価格を上げる方向の取り組みは少ない。このモデルはその点で注目に値すると考える。

Ⅲ 今後の事業の展開方向

令和 4～6 年度に取り組んだ実証事業で得られた成果、知見を今後の経常の事業展開にどのように生かしていくか、地域での普及にどのように取り組むか、今後の「新しい林業」を定着させていくための課題や期待について記す。

(1) 森林資源 (信州大学・精密林業計測)

令和 5 年度はカラマツ人工林でのドローン to ハウジングを行ったが、北信州森林組合管内で建築構造材が出材可能な高齢級スギ人工林でドローンレーザと地上モバイルレーザ計測による単木管理のデジタル在庫のデータベースを作成する。令和 5 年度の建築情報をもとにデジタル在庫からの受注、細り表作成、採材シミュレーションの机上算定による受注生産可能な対象地（当該事業のモデル林）として活用する。

(2) 主伐 (北信州森林組合)

本経営モデルでは丸太の販売価格の上昇が収益改善の柱であるが、需要側が値上げ交渉に応じるには、提供される製品の価値が現状よりも高いと認めることが必要であり、供給側は価値を付与するための活動を行わなければならない。丸太は工業製品より生産過程において不確実な要素が多く、ジャストインタイムの実現にはかなりの困難を伴うが、海外の丸太生産状況並みに近づけなければ需要側から選ばれない。材長・径級を現状よりも細分化し、在庫を持つことが解決手段の 1 つとなるが、丸太は在庫期間が長くなれば品質は劣化していくことから、立木の状態で在庫できることが望ましい。具体的には

- 林地・立木の所有関係を整理し、いつでも、すぐに作業着手できる林分の確保、そのためのインフラ整備
 - 上記林分の資源量と共に、立木の状態での品質の把握
- を行い、現状のプロダクトアウトからマーケットインへの丸太生産・販売の割合を増やし、利益を得て再造林することが重要と考える。

(3) 再造林・保育

精密林業計測は、保育経費削減に向けて継続的なドローン空撮による造林木の生育状況モニタリングと、それによって得られる造林木位置情報を活用したホロレンズによる下草刈り補助システムの開発を行う。植栽後の造林地においてドローンの飛行を行い、得られるオルソ画像に対して自動検出プログラムを適用することで対象地内の造林木位置情報を抽出し、生育状況の確認を行う。同一対象地について定期的に空撮を行うことで経時変化のモニタリングも可能となる。抽出される造林木の位置情報をホロレンズに転送して AR として表示することで、ホロレンズ装着した下草刈り作業者が下草に隠れた造林木の位置を把握できるようになるため、作業の効率化と頭刈りによる欠損・誤伐防止効果が期待できる。通常の下刈り作業との比較を行う。

(4) 経営モデルの構築

森林資源情報のデジタル化は、少子化が進む日本で適切な森林管理を行っていくために、絶対に必要な事業である。しかしこれまでは、かかる費用に比べ利益を出しにくく、多くの組織が先延ばしにしてきたと思われる。この経営モデルは、木材を高く買うことで再造林を促進し、地元雇用を生み、施主が住宅に支払う資金を地域内で循環させる。森林組合が及び腰なら自治体や製材事業者が背中を押し、共に地域を元気にしていくという協力体制を築くことが、実現のための第一歩である。既にその道を歩み始めた地域が、森林を中心とした経済的自立と永続を目指す

志を集めて成功し、全国に知られることが必要である。今後も、本モデルに関心を持つ自治体には長野モデル実証主体が引き続き取り組み内容を説明することとしたい。

令和6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

京阪奈+三重 需要地と供給地の事業連携による
新しい地方創生型 SDGs 林業への挑戦
事業成果報告書

令和7年2月

代表経営体 バイオマスパワーテクノロジーズ株式会社(BPT)

林業経営体 株式会社玉木材、株式会社古家園

代表支援機関 株式会社森のエネルギー研究所

目 次

I 実証事業の概要

- 1 事業の名称
- 2 取組の背景
- 3 実証のテーマ
- 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
- 6 実証事業の内容
- 7 実証事業の目標

II 実証事業の実行結果及び課題

- 1 令和4年度及び5年度の実施結果及び課題
- 2 令和6年度の実施結果
 - ① 協議会、現地検討会の開催経過
 - ② 令和6年度の実行結果及び取組の評価と課題
- 3 実証事業の総括

III 今後の事業の展開方向

I 実証事業の概要

1 事業の名称

京阪奈+三重 需要地と供給地の事業連携による新しい地方創生型 SDGs 林業への挑戦

2 取組の背景

本事業は、各事業者が存在する京阪奈地区および三重地区において、種苗・木材生産とその利活用を通じて、需要地（京阪奈+三重エリアの製材工場【川中】、都市部の地域密着型の工務店【川下】）と供給地（種苗・素材生産事業者【川上】）が相互に事業連携し、もって地域経済を活性化させ、地方創生 SDGs 林業に挑戦しようとする新たな取組である。

山林の ICT データを整備して森林情報だけでなく毎木単位で情報を「見える化」し、需要側のニーズを組み入れたゾーニング概念（適地適木）に基づく多様な森林づくりを立案することで、収益を最大化するサプライチェーンを作り上げ、新たな安定したロングテール型収益構造を形成することを目指すものである。

3 実証のテーマ

各項目別のテーマは以下のとおりである。

京阪奈+三重

需要地と供給地の事業連携による新しい地方創生型SDGs林業への挑戦

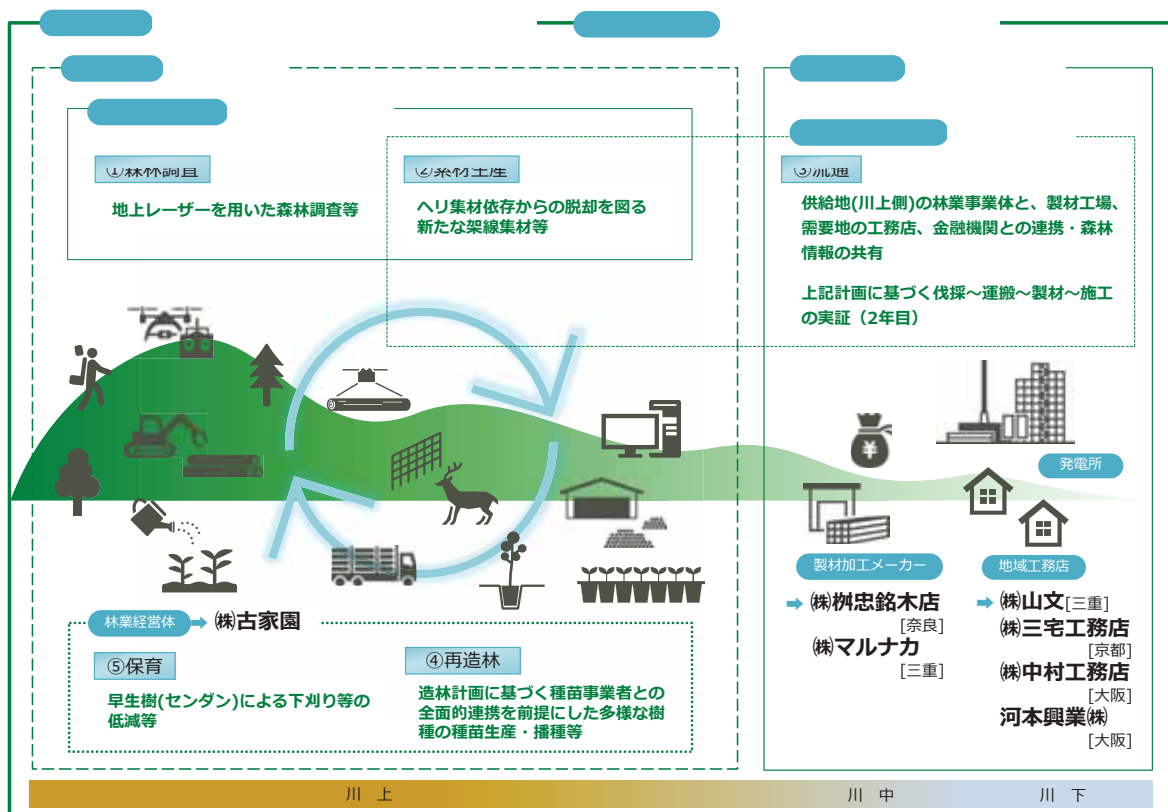


4 実証団体の構成

実証事業の代表経営体はバイオマスパワーテクノロジーズ(株)(BPT)、林業経営体は(株)榎玉木材、(株)古家園、代表支援機関は(株)森のエネルギー研究所である。

5 林業経営体、支援機関、実証事業関係者連関図

実証に参加した林業経営体、支援機関、事業関係者の関連性は以下のとおりである。



6 実証事業の内容

バイオマスパワーテクノロジー株式会社（以下 BPT）は、三重県松阪市で地域の多様な燃料を活用する出力 1,990kW のバイオマス発電所の運営を行っている。2020 年 7 月には、発電事業の持続可能性向上、林業事業の更なる推進を目的として株式会社玉木材（本社：奈良県五條市）をグループに迎え、エネルギー事業者である BPT 自身が、川上から川下までを一気通貫した事業を行うことで、林業の成長産業化を目標に森林イノベーション & 林業リノベーション事業の推進を目指している。森林を適切に「ゾーニング」し、スギやヒノキのみではなく早生樹・広葉樹などの多様な木材を生産し、キャンプ場など森林の空間的な利用も含めて新たな価値の創出に取り組んでいる。

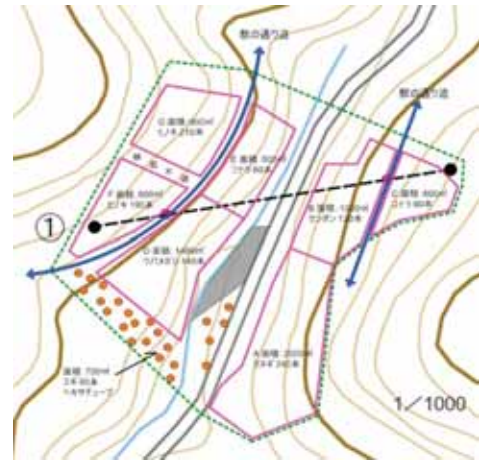
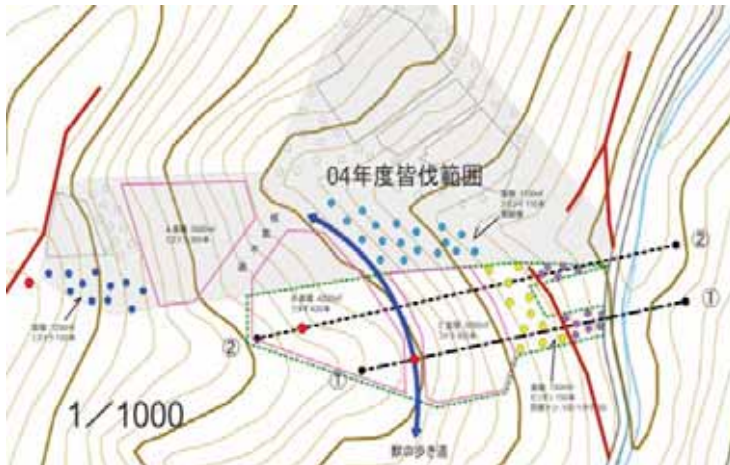
BPT・玉木材は、五條・吉野地区、及び三重県内に約 600ha の森林資産を所有しており、「2050 カーボンニュートラル」「脱炭素社会」の観点から、「SDGs×ESG 時代に相応しい新たな林業・エネルギー事業」の構築・実現を通じて、地域経済活性化に貢献し、資源循環型経済の構築に寄与する「地域創生型 SDGs 林業」を展開するものである。これまでの吉野林業地で行われていたスギ・ヒノキの優良大径木のみを軸にした森林づくりではなく、多様な空間利用を図ることをコンセプトに森林を適切に「ゾーニング」し、適切な獣害対策を組み合わせた上で、多種多様な樹種・生産物と新たなサービスを異業種とも連携して産み出していくことで新たな安定したロングテール型収益構造の形成を目指すものである。

他地域と比べ特筆すべき課題は、BPT・玉木材が山林を所有する紀伊半島の奈良県・三重県における壊滅的なシカの獣害が挙げられる。玉木材所有林において皆伐後の植付を広面積で行っているが、2008（平成 20）年以降にスギ・ヒノキ等を植林した山林のほとんどが「はげ山」と化しているといっても過言ではない状況である。従来型の密植・人力での植付時に高止まりする造林コストはもとより、地域内で植林した木々が全く育たないことが繰り返されており、造林経費の浪費はもとより林業従事者の造林意欲低下にもつながっている。また、従来型の一律に手間をかけて育てるスギ・ヒノキの優良材一辺倒の大量生産方式では、収益が減少・不安定化し、主伐後の再造林費も捻出が困難な状況となっている。

6 実証事業の内容

◆実施場所（位置図、写真等）

主伐及び再造林の実施場所は奈良県五條市川股、及び五條市勢井の玉木材所有山林で、傾斜 45 度超えもある急傾斜地である。スギ・ヒノキ 70～110 年生の林地で、主伐を実施後に再造林を実施した。植栽密度はヒノキが 2,000 本/ha、センダン等の広葉樹、スギについては 1,000～1,200 本/ha という疎植を行った。また、奈良県五條市大日川の玉木材所有山林においては、皆伐跡地にてセンダンの直接播種後の生育状況検証、及び電動クローラー輸運搬車「斜楽」での苗木運搬・植え付け作業を試行した。



川股(R4)主伐 2.6ha 造林 1.6ha (R5)主伐 0.5ha 造林 1.3ha 勢井(R5)主伐 1.0ha 造林 1.0ha



五條市川股、及び五條市勢井での作業写真

主伐及び再造林の樹種・規模一覧(川股)

川股	R4年度	主伐	2.6 ha
標高：600m～		本数(本)	面積(ha) 植栽密度(本/ha)
スギ	ヘキサ	380	0.36 1,056
ヒノキ	防獣ネット	1100	0.55 2,000
アカマツ	ヘキサ	240	0.22 1,091
混成	防獣ネット	140	0.12 1,167
ウバメガシ	防獣ネット	220	0.18 1,222
センダン	防護なし	160	0.14 1,143
造林面積小計(R4)			1.57 ha

川股	R5年度	主伐	0.5 ha
標高：600m～		本数(本)	面積(ha) 植栽密度(本/ha)
ミズナラ	ヘキサ	120	0.12 1,000
ミズナラ	防獣ネット	300	0.30 1,000
スダジイ	ヘキサ	110	0.11 1,000
クヌギ	防獣ネット	420	0.42 1,000
コナラ	防獣ネット	300	0.30 1,000
センダン	防護なし	100	0.10 1,000
センダン	ヘキサ	50	0.05 1,000
造林面積小計(R5)			1.28 ha

主伐及び再造林の樹種・規模一覧(勢井)及び、再造林のみ実証地(大日川)樹種・規模一覧

勢井	R5年度	主伐	1.0 ha
標高：700m～		本数(本)	面積(ha) 植栽密度(本/ha)
スギ	ヘキサ	180	0.18 1,000
ヒノキ	防獣ネット	340	0.17 2,000
ウバメガシ	防獣ネット	140	0.14 1,000
クヌギ	防獣ネット	200	0.20 1,000
コナラ	防獣ネット	200	0.20 1,000
センダン	防獣ネット	130	0.13 1,000
センダン	ヘキサ	50	0.05 1,000
造林面積小計(R5)			0.89 ha

大日川	R6年度	皆伐跡地	0.45 ha
標高：380m～		本数(本)	面積(ha) 植栽密度(本/ha)
センダン	ヘキサ	50	0.05 1,000
センダン	防獣ネット	220	0.22 1,000
クヌギ・コナラ※	防獣ネット	180	0.18 1,000
造林面積小計(R6)			0.45 ha

※クヌギ・コナラ50本ずつを0.10haに、同40本ずつを0.08haに植栽

◆事業区分ごとの計画内容

事業区分毎の計画内容（森林資源調査、素材生産、流通、再造林）を以下に示す。

【森林資源調査】

3Dレーザバックパック型スキャナ（woodinfo 社：3DWalker）を用いた地上レーザ測量等を使用して、現地の詳細な等高線データ・立木毎の位置情報・径・材長・曲がりの情報等の精密な情報を取得した。この情報を森林資源デジタルドキュメント化システム「Digital Forest」によって、林内の毎木の位置と太さ・高さ・材積・曲り等を自動で情報化し、一本一本の性質・特徴を把握することで現在から将来に渡って森林資源の有効活用とどのような森林に育てていくかの計画づくりに役立てた。さらに令和6年度には、玉木材の従業員自らがドローンを飛行させて令和4年度・5年度の植栽木生育状況と獣害対策の現状(防獣ネット・ヘキサチューブ破損有無)を確認することで、現況把握にかかる見回りの人工数・コストを削減する検証を行った。

また、品質調査に基づき木材利用の可能性を検討すると、木材価値向上と選別の有効性を判定し、施業時の作業基準を示すことが可能であることから、令和5年度には原木の内部品質と毎木データとの関係を調査し、品質に見合う木材生産手法を検討した。具体的にはデータ採取用に数本を先行伐採し、製材時の出来高を記録することで残りの木の伐採前に川中・川下の事業者側がどのようなデータを値付けに活用することが可能か(3)流通販売分野と連携し試行した。

【素材生産】

吉野地域では使用事例が少ない架線系集材（自走式搬器：ウッドライナー）を、急傾斜で凹凸のある山林内で使用する計画を設計・立案するにあたり、レーザ測量結果を解析して得られた立木及び微地形のデータをGIS上で判読した結果を活用することで、経験の少ないメンバーでも架線の索張り方法を効果的に習得する一助とした。

【流通】

玉木材の売上の約9割は原木市場での販売に依存している。当該事業を継続・発展させていくためには独自の販路開拓と収益源の多角化が急務となっている。上記課題を解決していくためには、流通分野や需要地の事業者との連携が不可欠であり、パートナーとなる地域の製材工場や工務店の実態とニーズを十分に把握することが求められている。

そこで、地域金融機関（枚方信用金庫）の協力も得て、供給側（BPT・玉木材及び古家園【川上】）と需要側（京阪奈+三重エリアの製材工場【川中】、都市部の地域密着型の工務店【川下】）との生産する製品の種類や流通に関する意見交換を行った。他、玉木材所有林から伐採・搬出される原木丸太（スギ・ヒノキ）を榊忠銘木店に直送し製材・製品化する際に原木の内部品質と毎木データとの関係を調査し、品質に見合う木材生産手法を検討した。また、広葉樹のエネルギー用途以外の用材としての活用可能性・販売先探索（センダンの家具材利用等）や、針葉樹・広葉樹それぞれに樹脂を加圧含浸し耐久性を高めた木材等の機能的・デザインの付加価値をつけた商品化といった検討を行った。

【再造林】

玉木材所有林の整備にあたり、長期的には森林全体の生産量を高める少量多品種の木材生産を掲げ、地形、方角（日射）や水条件などを勘案し適切な樹種を選定し、それに応じた獣害対策を多様に用いて低コストでの成林を目指している。そこで、造林予定地について、GIS 上での地形判読に基づき、獣害対策手法、及び災害発生予測等も考慮した「ゾーニング」による適地適木の、低コスト成林が可能となる造林計画の立案を目指した。

造林地調査とゾーニング計画は、種苗事業者(古家園)と林業事業体(玉木材)が綿密に連系し、年間で必要となる苗木の生産計画を、古家園にフィードバックし、スギ・ヒノキだけでなく早生樹（センダン）、広葉樹（ウバメガシなど）、アカマツの苗木といった多様な樹種の生産計画を立案し植栽スケジュールに合わせ必要な量・品質の苗を揃えた。

造林コストの削減方策としては、素材生産で架線を張って全木搬出した後、その架線を利用して獣害対策品と植栽苗を林地に搬入することで、搬出作業と造林作業の一体化による人件費削減の実現を目指した。

センダンについては、苗木植栽だけでなく種を直接林地にまく直播も行い生育状況を比較検証した。また、農業的植付手法を応用する試みとして、農業利用されているマルチ用穴あけ植付機（ホーラー）を転用した機械的植付手法と、コンテナ苗用鍬、コンテナ苗用穴あけ機モーター（ディブル）とを比較し、植栽速度の効率化、及び植栽精度の向上を試みた。また、傾斜地での苗木運搬及び植え付け作業の省力化・低コスト化を目的に、電動クローラー輪運搬車「斜楽」での苗木運搬・植え付け作業を試行した。



獣害対策 地形条件等に応じた組み合わせ ヘキサチューブ及び獣害防護柵設置、生育状況



獣害防護柵(防獣ネット)間シカの歩き道

植付作業状況(令和4年度玉木材実証地)

令和4年度の工程表について、項目別の実施状況を記載したものを以下に示す。

【令和4年度】										
	令和4年					令和5年			進捗率	
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	令和5年2月10日時点	3月10日時点
①森林調査										
地上レーザを用いた森林調査 講習を受け、自社で調査・解析									100%	100%
GISによる森林資源の精密管理									100%	100%
②素材生産										
新たな架線集材の導入、搬出実証・技術者育成									90%	100%
GISによる集材範囲や材積試算									95%	100%
デジタルによる生産計画作成									100%	100%
森林調査・素材生産分科会の開催(現地デモ調査含む)										
③流通										
候補先各社の基本情報の収集・整理、意見交換									90%	100%
具体的な流通システム(連携内容)の検討									80%	100%
流通分科会の開催(事業者間の施設見学会等を兼ねて実施)										
④再造林										
種苗事業者との全面連携による苗木準備、育苗体制構築									100%	100%
ゾーニング概念(適地適木)を反映した多様な獣害対策導入									90%	100%
架線を用いた苗運搬、農機的植付や床肥手法の導入・試行									60%	100%
再造林・保育分科会の開催										
早生樹(センダン)の苗木植栽と直播手法の検証									60%	100%
生育試験と評価に基づく、広葉樹等多段階植栽実証										
全般										
協議会(3回開催)										
定例会議(提案者3社及び代表支援機関):毎月第一金曜									90%	100%
事務局打合せ(代表林業経営体及び代表支援機関)										
※年度内(3/10)に事業を全て完了予定										
青棒:実施済 黄→:年度内完了(予定) 赤→:年度内未了										

令和5年度の工程表について、項目別の実施状況を記載したものを以下に示す。

令和5年度工程表	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	進捗率
①森林調査											100%
②素材生産 ※勢井1ha、川股0.5ha											100%
③流通 ※川股0.5ha											100%
④再造林+保育 ※勢井1ha、川股1.2ha											100%

令和6年度の工程表について、項目別の実施状況を記載したものを以下に示す。

令和6年度工程表	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	進捗率
①森林調査 ドローン活用 (柵・苗 見回り)											100%
②素材生産 川股林地残材 チップ加工											100%
③再造林+保育 大日川事業地 防獣ネット設置											100%
④再造林+保育 斜(傾斜地での 運搬・植栽機械化)											100%
⑤令和4.5年事業地 生育調査(人力)											100%

7 実証事業の目標（収支改善目標含む）

事業開始時点で、以下の目標を掲げた。

【森林調査】

BPT・玉木材社員が、林地でのレーザ測量技術及び取得データ解析技術を習得する。5年を目途に玉木材の経営する全ての森林情報をデータ化・森林GIS上で解析可能にする。

【素材生産】

搬出コストが高額のため、従来はヒノキの役物（売値の平均単価3万円/m³以上）しか搬出できなかったヘリ集材に対して、目標として、架線系集材技術の習得、A材だけでなくB材・C材（発電所向けの燃料材）搬出も含めることによる生産量増大、及び集材技術の熟練による低コスト化を目指す。また、森林GISを活用した索張り検討等も行う。

◆申請時点の目標値

- ・ヘリ集材時の素材生産費（※）

16,600 円/m³＝伐採 4,200 円/m³＋集材 10,000 円/m³＋輸送 2,400 円/m³

- ・現状の車両系素材生産費（※）

9,500 円/m³＝伐採 2,100 円/m³＋集材 5,000 円/m³＋輸送 2,400 円/m³

- ・目標とする素材生産費（※）

6,900 円/m³＝伐採 1,500 円/m³＋集材 3,000 円/m³＋輸送 2,400 円/m³



※注：令和4年申請時点では労務費に保険料を含めず計算したが、本事業では保険料を含め収支を計算。

また、目標コストの設定においては、令和4年度以降の労務費・燃料費等の高騰は考慮していない。

【流通】

製材工場・工務店といった需要側にヒアリングを行い、ターゲットとする製品、コスト、品質基準を策定する。スギ・ヒノキだけでなく、多様な広葉樹材のマーケティング・ニーズを把握する。

【再造林】

スギ・ヒノキ以外の樹種も活用した確実な成林・獣害対策を確立する。早生樹（センダン）、広葉樹（クヌギ、ウバメガシ）、アカマツの造林に必要な苗木生産体制を拡充する。広葉樹の植栽（1,000本/ha程度）による下刈り回数の軽減、及び経費削減を目指す。センダンの苗木植栽と直播の2つの手法における、生育状況の差異を比較する。

II 実証事業の実施結果及び課題

1 令和4年度及び5年度の実施結果及び課題

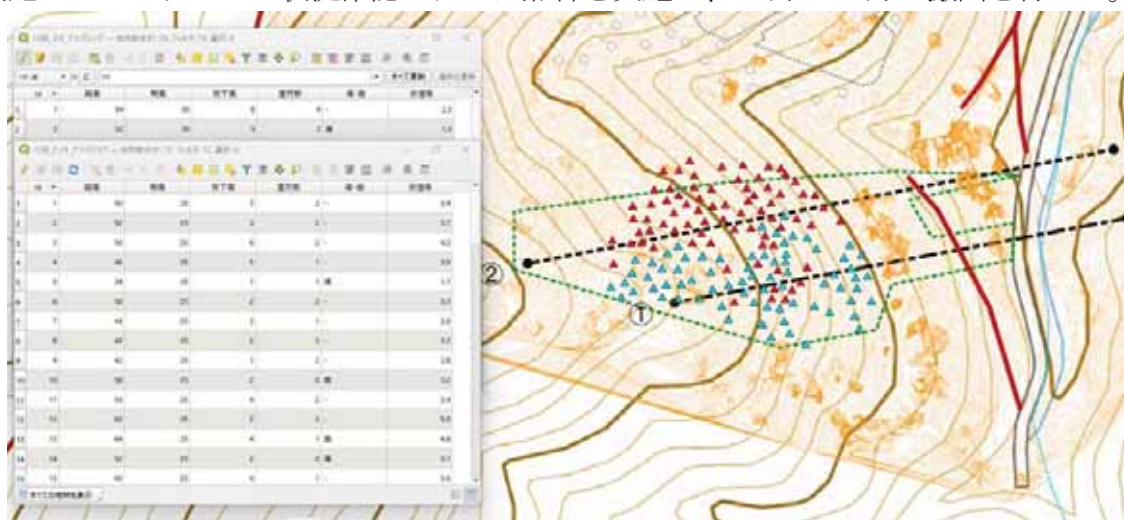
(1) 森林資源調査

令和4年度は、BPT・玉木材社員が自ら3Dwalkerによる林地でのレーザ測量を行うことで、技術及び取得データ解析技術の取得を目指した。その成果と得られた課題について、長所・短所及び従来との比較結果を記載する形で以下のとおりまとめた。

内容	成果	長所○・短所●	従来との比較
3Dwalkerによるレーザ計測	急傾斜地7ha程度の計測を実施	○1日で広範囲計測可 ●肉体的負担が大きい	輪尺を用いた毎木調査より効率的
	自社でデータ解析	●エラーが多い、長時間	結果の視認が容易
	架線計画の立案	○元柱・先柱の選定容易 ○樹高・材積等の一覧表示・フィルタリングが可能	PC上だけの計画には不安が残る
	材積推計と、実際の搬出材積比較	○出材見込推計 1,176m ³ に対し、市場への出材材積 1,142m ³ とほぼ正確	人の経験に頼り推計していた総材積推計がレーザ測量で可能
	製材工場向けのデータ活用	●傷・曲がり把握不可、径のズレ⇒毎木データが活用可能か不明	全体の数量と本数は高い精度で把握可能 が径・曲がり不可

BPT・玉木材社員により、林地でのレーザ測量技術及び取得データ解析技術に加え、県による航空レーザ測量結果等の新たなデータ解析・活用方策を習得することを目標に掲げた。また、取得した単木のデジタルデータを実際に現地で照合し、立木にナンバリングを行った上で材の品質を確認・写真等と紐づけしデータの有用性を確認することとした。

23年6月より五條市川股の林地にて現地調査を行い、9月に伐倒・搬出を行う候補木の決定とナンバリングの状況確認・データ照合を実施し、10月～11月に搬出を行った。

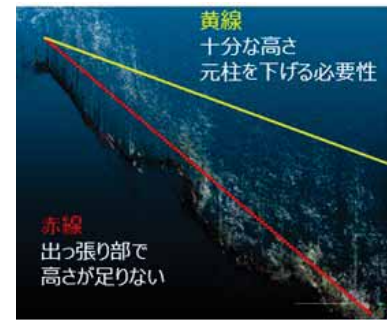


搬出対象木(橙:スギ 青:ヒノキ)毎の地図上へのプロット、単木のレーザ計測データ

【評価・分析】

架線計画の立案においては、取得データから作成した地形断面図をもとに元柱・先柱を検討することができた。

需要側向けのデジタルデータ活用として、事前にどの程度まで用途別の材の量や品質（太さ、曲がり、傷等）を絞り込めるかを検証したが、令和4年度に3Dwalkerで計測したデジタルデータと現地で候補とした材を照合した結果、推計材積と市場への実際の出材材積はほぼ一致していた。



地形断面図を活用した元柱・先柱検討

資源量の推計には役立ったが、現時点の精度では良材を出荷する目的で製材工場向けに搬出する候補材を絞り込むデータとしては不十分であった。

(2) 主伐

【実行経過・結果】

令和4年度事業においては、当初の計画通りの規模となる、約2haの主伐を令和4年9月～令和5年2月までの期間内に実行できた。

令和5年度も当初計画通りの規模となる、1.5haの主伐(勢井1.0ha、川股0.5ha)を期間内に実行した。

【評価・分析】

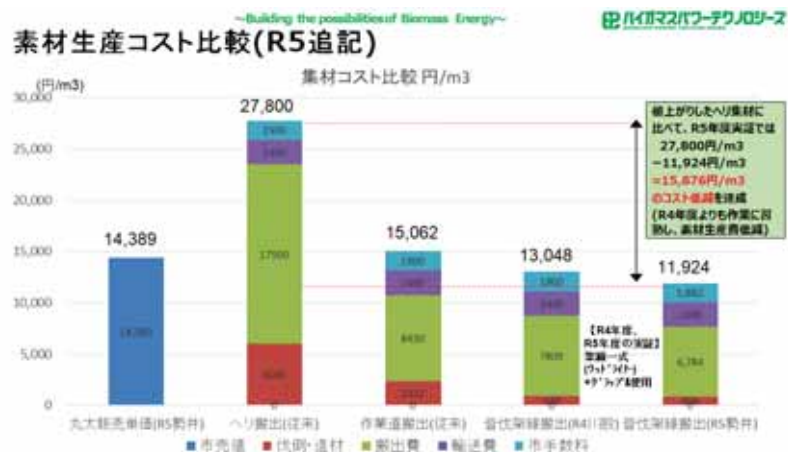
- ・労働強度の低減(省力化、軽労化)：ウッドライナーでの作業に作業員が習熟したことで、労働強度を軽減することができた。
- ・安全性の向上・・・インカム(林内通信装置)の採用により、架線集材の作業時に作業員全員が円滑に作業内容を伝達できるようになり、当初計画とおり安全性が向上した。
- ・低コスト化、効率化・生産性の向上

令和5年度実証において皆伐・架線搬出(ウッドライナーとグラップルを使用し、トラック)における素材生産コストを、勢井での実証結果をもとに試算した結果、チェーンソー伐倒858円/m³ + 架線集材(造材含む)6,784円/m³ = 7,642円/m³ となった。

これに、市場までのトラック輸

送費2,400円/m³ + 市場手数料1,882円/m³ = 4,282円/m³

を加えると、素材生産コストは11,924円/m³ となり、4年度(13,048円)よりも1,124円コストを削減できた。生産性としては、勢井(1.0ha)で搬出材積461.9m³ に対し、伐採・造材69人工+搬出(架線の架設・撤去含む)41人工=110人工で、約4.2m³/人・日となった。



【課題】

素材生産コスト 10,000 円/m³ を切ることを令和 5 年度目標としていたが約 2,000 円/m³ 未達となった。今後、集材作業の効率化や造材の効率化(プロセッサ導入等)によりさらにコスト低減を図ることが考えられる。

(3) 流通

【実行経過・結果】

令和 4 年度事業のヒアリングにおいて、川下側の複数の事業者（工務店）から、「既存製品との品質や価格だけ勝負になると流通に乗せるのはコスト的に厳しく、国内の森林整備・保全につながるストーリーの見える化や地域材の利用に対する補助金等も必要」との意見が出された。

製材工場に安定的に供給できる材の量、品質、価格を決めるためには、中長期的には玉木材の森林資源に関して、樹種・樹高・直径などをベースとする単木単位の資源量把握（←地上レーザ計測等を活用）だけでなく、ある程度のレベルで立木の品質（価格決定の最大要素）も見極める必要がある。

令和 5 年度は、原木の内部品質と毎木データとの関係を調査し、品質に見合う木材生産手法を検討することを目的に、製材工場での製材方法確認と材質チェック・記録、原木単位での利益率等の試算を実施した。具体的には以下の手順で行った。

- 1 (森林調査)立木の状態で、品質に応じた造材を事前に検討
- 2 ナンバリングした立木を伐採搬出後、製材工場（腹と背などの）取れ高の違い確認
- 3 樹皮の枝跡と内部品質の関係を把握(1 と 2 の結果を照合)

製材工場への直送は、約 120 年生のヒノキ 10m³、スギ 10m³（川股地区）計 20m³ とした。なお、樹高別の品質を確認するために直納に先立ちサンプル木調査を実施し、4m 造材を基準に元玉から 4 番玉までのサンプルを調達した。



製材工場へ直送材の選定と値決め（上段）、運送（下段）



製材原木集計			
樹種	ヒノキ	スギ	合計
本数	25	26	51
合計材積(m3)	10.318	10.206	20.524
平均直径cm	31.69	32.04	
平均材積(m3)	0.413	0.393	
金額(円)	274,790	166,906	441,696
平均単価(円/本)	10,992	6,419	8,661
平均m3単価(円/m3)	26,632	16,354	

原木径 178mm幅のラミナ特挽き用 直径28cm以上40cm未満
 造材 元玉から4番玉
 原木価格 玉順と径級から市場相場を目安に設定

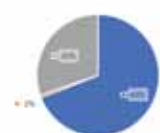
製材時の材質チェック、記録、タイプ毎に仕分け作業(左) 製材原木の集計結果(右)



(左) 製材方法の現場確認

【スギ】製品材積割合 平均値と優良材の比較

スギ製品別材積 (m3)



34cm以上の元木の利益率が高い傾向にある。
 ヒノキに比べ自然落枝のタイミングが早く、
 元玉の無節の層が製品規格に通した厚みで形成されており、役物の割合が高くなった。

径級判定による収穫時期の設定が有効



(右) スギの製材結果 集計例の抜粋

【得られた成果、考察】

- ・製材規格に適した原木の規格とその価格検討に必要なデータが得られた。
- ・利益率の高い原木の傾向が判明。これにより製品規格に対応した径級・形状・玉順の判定ができる。
- ・原木の外観と内部品質の関係の判断基準の共有が可能となる。
- ・製材工場への直送を試みた結果、材としての評価は高いものが多く得られた。

【課題】

- ・外見から見た節の配置でどういう製品がとれるかという基準を、山側がもっていない。現在は情報が無いままに造材している。
- ・たとえば、原木評価が低い製材価値の高い2番玉でいい評価が出ている。そうした基準を双方（山側と製材側）で共有しておく必要があると考えられる。
- ・製材工場への直送を試みた結果、山側の手間（作業）が現状では増加している。

(4) 再造林

【実行経過・結果】

令和4年度実証では、地形条件を考慮した上で「獣害防護柵(防獣ネット)による対策(ゾーンディフェンス)」を実施する区画と、「ヘキサチューブによる単木保護(マンディフェンス)」を実施する区画を組み合わせて実証地造林計画を立案した。シカに獣害防護柵を飛び越えられぬよう柵間に1mの通路(シカの歩き道)を設定する箇所も設けた。

令和5年度は以下の成果が得られた。

・効率化・生産性の向上

伐採班が植林作業まで一体的に動くことで、伐採～搬出時に何をすると効率的かを把握することができ、一体型施業での生産性向上に役立てた。

・労働強度の低減(省力化、軽労化)

ウッドライナーによる苗木・獣害対策資材等の荷あげを実施したところ概ね1日以内に荷あげ作業を実施でき、人力での荷あげに比べて省力化・時間短縮を実現できた。

造林作業風景

獣害対策地では被害に遭いやすい他の樹種を育て、**多樹種の木材生産**を行っていきます。今回、伐採班が**植林作業まで行うことで前段階(調査、搬出)でどう動く(何を)と効率的なのか確認することができました**。関係者全員で意見を出し合い、来年度事業に繋げていきます。



苗の荷あげから急傾斜地での植林の流れ

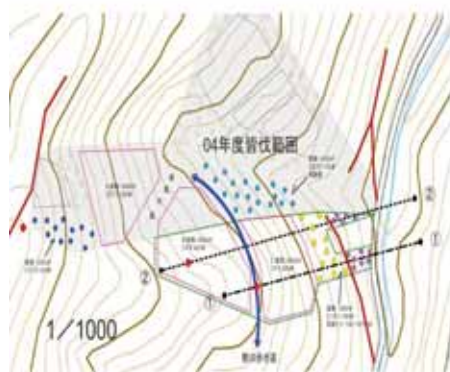


架線を活用した獣害対策資材荷あげ(左) 防獣ネット・ヘキサチューブ施工の様子(右)



防獣ネット施工作業 一連の流れと、作業時間の目安

再造林・保育



地形条件を考慮した獣害対策(ゾーンディフェンスとマンディフェンス)の組み合わせ

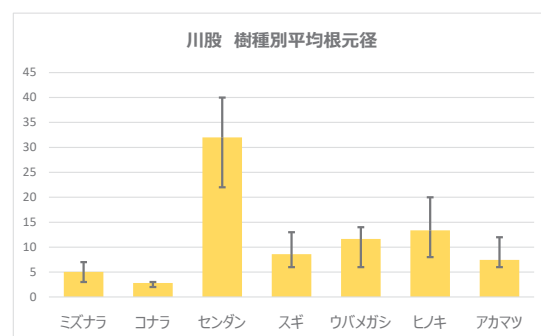
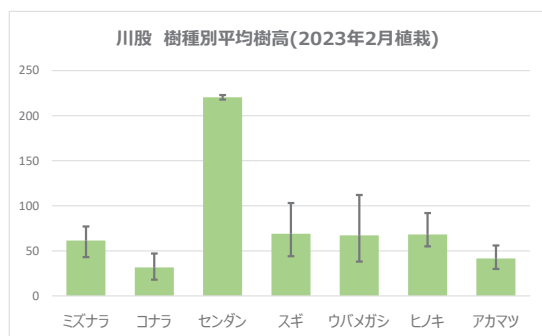
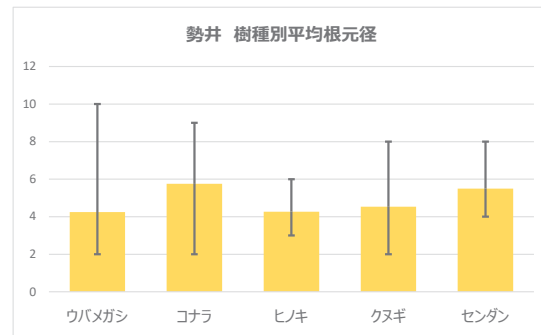
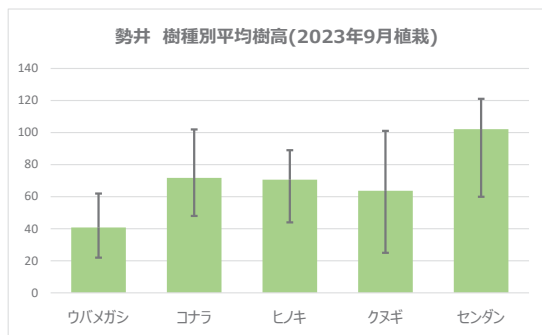
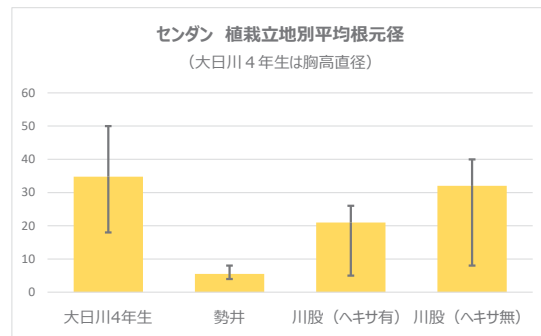
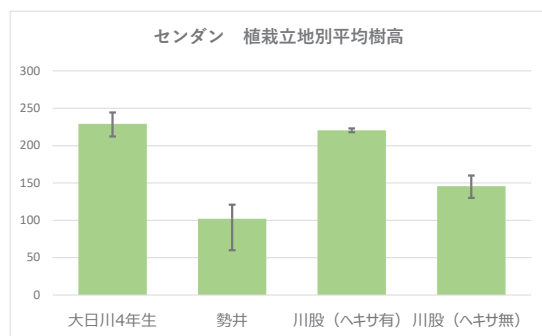
シカの通り道は、傾斜や岩の状態に応じて配置した。幅は最狭で幅 1m、ニホンジカの角がネットに引っかかるようなことはないような程度とした。

この結果、シカはこの通り道を中心に通行するようになり、令和 4 年度の実証地及び 5 年度の実証地双方において、防獣ネットについては設置から半年ないし 1 年半を経過した後もシカの被害なしという成果が得られた。

一方、ヘキサチューブを設置した箇所においては、令和 4 年度の設置後に、シカによる下の隙間から苗ごと引っっこ抜き、チューブの破壊、鼻での押し上げ等、相当数の被害が生じた。これを受けて令和 5 年度は隙間が生じないように設置方法を改善したことから被害が大きく減少し、ヘキサチューブによる効果も実証確認することができた。

【センダンをはじめとする広葉樹の生育状況】

ウバメガシ・コナラ・クヌギ・ミズナラ・センダンを植栽したが、スギ・ヒノキ・アカマツと比較しても遜色ない生育であった。中でもセンダンは際立って早い成長を見せた。



2024 年 1 月計測 樹種別の平均樹高、根元径

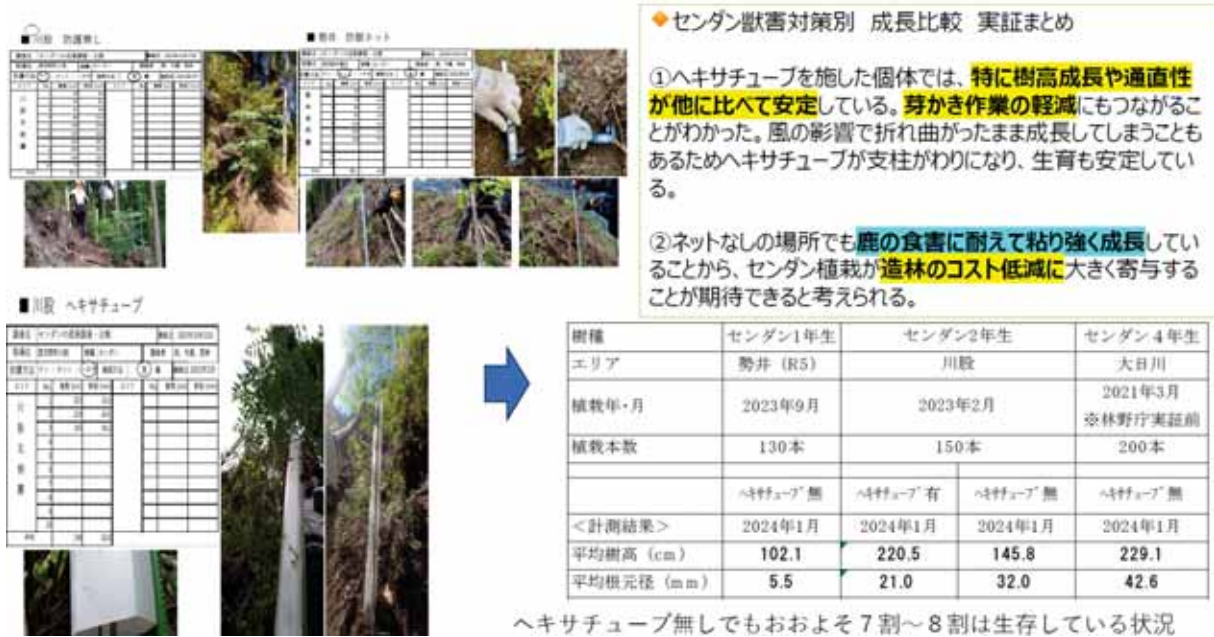
【センダンの直接播種 生育状況の検証】



【センダン直播 検証まとめ】

肥料投入区画は肥料投入なしに比べて1.5～2倍程度の成長をしており、ネットなしの場所でも鹿の食害を受けても生存し成長していることから、やせている土地等で新しい林業モデルとしてセンダン直播の可能性は、大いに期待できるものではないかと考える。

【センダン ヘキサチューブの有無による、樹高及び根元径の比較】



【造林作業の効率化 器具による差異の検証】

植栽器別の実証結果



◆コンテナ用鍬

最も汎用的で砂利を含んだ硬い土壌にも適応可能な必携の植栽器具といえる

- 利点 ①片手で使えるため急斜面でも安全
②何度も打ち込み、土壌をほぐすことも可能
欠点 ①深く打ち込む時には両手でしっかり持ってそれなりに力が必要である

◆モーラー

やや急な場所でも足で踏み込んで植え穴の確保が可能のため、鍬に次いで使用しやすいといえる

- 利点 ①コンテナ容量の穴ができるため、その後の植栽アクションがスムーズ
欠点 ①一時的に片足立ちが必要であるため転倒等に注意が必要
②土壌をほぐす行為が困難なため硬い土壌では使いづらさもある

◆ホーラー

土壌の状態や急傾斜地に適用しづらいが、多彩なアクションで緩い傾斜地や平地での利用に向いている

- 利点 ①植え穴を作りやすいためその後の肥料投入が容易
②土壌への差込のほか土をはさんで移動させることも可能なためモーラーよりアクションが多彩
欠点 ②モーラー同様、一時的に片足立ちが必要となるため転倒等に注意が必要

実証内容：5.0、6.0、8.0、10.0、12.0、15.0、20.0、25.0、30.0、35.0、40.0、45.0、50.0、55.0、60.0、65.0、70.0、75.0、80.0、85.0、90.0、95.0、100.0、105.0、110.0、115.0、120.0、125.0、130.0、135.0、140.0、145.0、150.0、155.0、160.0、165.0、170.0、175.0、180.0、185.0、190.0、195.0、200.0、205.0、210.0、215.0、220.0、225.0、230.0、235.0、240.0、245.0、250.0、255.0、260.0、265.0、270.0、275.0、280.0、285.0、290.0、295.0、300.0、305.0、310.0、315.0、320.0、325.0、330.0、335.0、340.0、345.0、350.0、355.0、360.0、365.0、370.0、375.0、380.0、385.0、390.0、395.0、400.0、405.0、410.0、415.0、420.0、425.0、430.0、435.0、440.0、445.0、450.0、455.0、460.0、465.0、470.0、475.0、480.0、485.0、490.0、495.0、500.0、505.0、510.0、515.0、520.0、525.0、530.0、535.0、540.0、545.0、550.0、555.0、560.0、565.0、570.0、575.0、580.0、585.0、590.0、595.0、600.0、605.0、610.0、615.0、620.0、625.0、630.0、635.0、640.0、645.0、650.0、655.0、660.0、665.0、670.0、675.0、680.0、685.0、690.0、695.0、700.0、705.0、710.0、715.0、720.0、725.0、730.0、735.0、740.0、745.0、750.0、755.0、760.0、765.0、770.0、775.0、780.0、785.0、790.0、795.0、800.0、805.0、810.0、815.0、820.0、825.0、830.0、835.0、840.0、845.0、850.0、855.0、860.0、865.0、870.0、875.0、880.0、885.0、890.0、895.0、900.0、905.0、910.0、915.0、920.0、925.0、930.0、935.0、940.0、945.0、950.0、955.0、960.0、965.0、970.0、975.0、980.0、985.0、990.0、995.0、1000.0、1005.0、1010.0、1015.0、1020.0、1025.0、1030.0、1035.0、1040.0、1045.0、1050.0、1055.0、1060.0、1065.0、1070.0、1075.0、1080.0、1085.0、1090.0、1095.0、1100.0、1105.0、1110.0、1115.0、1120.0、1125.0、1130.0、1135.0、1140.0、1145.0、1150.0、1155.0、1160.0、1165.0、1170.0、1175.0、1180.0、1185.0、1190.0、1195.0、1200.0、1205.0、1210.0、1215.0、1220.0、1225.0、1230.0、1235.0、1240.0、1245.0、1250.0、1255.0、1260.0、1265.0、1270.0、1275.0、1280.0、1285.0、1290.0、1295.0、1300.0、1305.0、1310.0、1315.0、1320.0、1325.0、1330.0、1335.0、1340.0、1345.0、1350.0、1355.0、1360.0、1365.0、1370.0、1375.0、1380.0、1385.0、1390.0、1395.0、1400.0、1405.0、1410.0、1415.0、1420.0、1425.0、1430.0、1435.0、1440.0、1445.0、1450.0、1455.0、1460.0、1465.0、1470.0、1475.0、1480.0、1485.0、1490.0、1495.0、1500.0、1505.0、1510.0、1515.0、1520.0、1525.0、1530.0、1535.0、1540.0、1545.0、1550.0、1555.0、1560.0、1565.0、1570.0、1575.0、1580.0、1585.0、1590.0、1595.0、1600.0、1605.0、1610.0、1615.0、1620.0、1625.0、1630.0、1635.0、1640.0、1645.0、1650.0、1655.0、1660.0、1665.0、1670.0、1675.0、1680.0、1685.0、1690.0、1695.0、1700.0、1705.0、1710.0、1715.0、1720.0、1725.0、1730.0、1735.0、1740.0、1745.0、1750.0、1755.0、1760.0、1765.0、1770.0、1775.0、1780.0、1785.0、1790.0、1795.0、1800.0、1805.0、1810.0、1815.0、1820.0、1825.0、1830.0、1835.0、1840.0、1845.0、1850.0、1855.0、1860.0、1865.0、1870.0、1875.0、1880.0、1885.0、1890.0、1895.0、1900.0、1905.0、1910.0、1915.0、1920.0、1925.0、1930.0、1935.0、1940.0、1945.0、1950.0、1955.0、1960.0、1965.0、1970.0、1975.0、1980.0、1985.0、1990.0、1995.0、2000.0、2005.0、2010.0、2015.0、2020.0、2025.0、2030.0、2035.0、2040.0、2045.0、2050.0、2055.0、2060.0、2065.0、2070.0、2075.0、2080.0、2085.0、2090.0、2095.0、2100.0、2105.0、2110.0、2115.0、2120.0、2125.0、2130.0、2135.0、2140.0、2145.0、2150.0、2155.0、2160.0、2165.0、2170.0、2175.0、2180.0、2185.0、2190.0、2195.0、2200.0、2205.0、2210.0、2215.0、2220.0、2225.0、2230.0、2235.0、2240.0、2245.0、2250.0、2255.0、2260.0、2265.0、2270.0、2275.0、2280.0、2285.0、2290.0、2295.0、2300.0、2305.0、2310.0、2315.0、2320.0、2325.0、2330.0、2335.0、2340.0、2345.0、2350.0、2355.0、2360.0、2365.0、2370.0、2375.0、2380.0、2385.0、2390.0、2395.0、2400.0、2405.0、2410.0、2415.0、2420.0、2425.0、2430.0、2435.0、2440.0、2445.0、2450.0、2455.0、2460.0、2465.0、2470.0、2475.0、2480.0、2485.0、2490.0、2495.0、2500.0、2505.0、2510.0、2515.0、2520.0、2525.0、2530.0、2535.0、2540.0、2545.0、2550.0、2555.0、2560.0、2565.0、2570.0、2575.0、2580.0、2585.0、2590.0、2595.0、2600.0、2605.0、2610.0、2615.0、2620.0、2625.0、2630.0、2635.0、2640.0、2645.0、2650.0、2655.0、2660.0、2665.0、2670.0、2675.0、2680.0、2685.0、2690.0、2695.0、2700.0、2705.0、2710.0、2715.0、2720.0、2725.0、2730.0、2735.0、2740.0、2745.0、2750.0、2755.0、2760.0、2765.0、2770.0、2775.0、2780.0、2785.0、2790.0、2795.0、2800.0、2805.0、2810.0、2815.0、2820.0、2825.0、2830.0、2835.0、2840.0、2845.0、2850.0、2855.0、2860.0、2865.0、2870.0、2875.0、2880.0、2885.0、2890.0、2895.0、2900.0、2905.0、2910.0、2915.0、2920.0、2925.0、2930.0、2935.0、2940.0、2945.0、2950.0、2955.0、2960.0、2965.0、2970.0、2975.0、2980.0、2985.0、2990.0、2995.0、3000.0、3005.0、3010.0、3015.0、3020.0、3025.0、3030.0、3035.0、3040.0、3045.0、3050.0、3055.0、3060.0、3065.0、3070.0、3075.0、3080.0、3085.0、3090.0、3095.0、3100.0、3105.0、3110.0、3115.0、3120.0、3125.0、3130.0、3135.0、3140.0、3145.0、3150.0、3155.0、3160.0、3165.0、3170.0、3175.0、3180.0、3185.0、3190.0、3195.0、3200.0、3205.0、3210.0、3215.0、3220.0、3225.0、3230.0、3235.0、3240.0、3245.0、3250.0、3255.0、3260.0、3265.0、3270.0、3275.0、3280.0、3285.0、3290.0、3295.0、3300.0、3305.0、3310.0、3315.0、3320.0、3325.0、3330.0、3335.0、3340.0、3345.0、3350.0、3355.0、3360.0、3365.0、3370.0、3375.0、3380.0、3385.0、3390.0、3395.0、3400.0、3405.0、3410.0、3415.0、3420.0、3425.0、3430.0、3435.0、3440.0、3445.0、3450.0、3455.0、3460.0、3465.0、3470.0、3475.0、3480.0、3485.0、3490.0、3495.0、3500.0、3505.0、3510.0、3515.0、3520.0、3525.0、3530.0、3535.0、3540.0、3545.0、3550.0、3555.0、3560.0、3565.0、3570.0、3575.0、3580.0、3585.0、3590.0、3595.0、3600.0、3605.0、3610.0、3615.0、3620.0、3625.0、3630.0、3635.0、3640.0、3645.0、3650.0、3655.0、3660.0、3665.0、3670.0、3675.0、3680.0、3685.0、3690.0、3695.0、3700.0、3705.0、3710.0、3715.0、3720.0、3725.0、3730.0、3735.0、3740.0、3745.0、3750.0、3755.0、3760.0、3765.0、3770.0、3775.0、3780.0、3785.0、3790.0、3795.0、3800.0、3805.0、3810.0、3815.0、3820.0、3825.0、3830.0、3835.0、3840.0、3845.0、3850.0、3855.0、3860.0、3865.0、3870.0、3875.0、3880.0、3885.0、3890.0、3895.0、3900.0、3905.0、3910.0、3915.0、3920.0、3925.0、3930.0、3935.0、3940.0、3945.0、3950.0、3955.0、3960.0、3965.0、3970.0、3975.0、3980.0、3985.0、3990.0、3995.0、4000.0、4005.0、4010.0、4015.0、4020.0、4025.0、4030.0、4035.0、4040.0、4045.0、4050.0、4055.0、4060.0、4065.0、4070.0、4075.0、4080.0、4085.0、4090.0、4095.0、4100.0、4105.0、4110.0、4115.0、4120.0、4125.0、4130.0、4135.0、4140.0、4145.0、4150.0、4155.0、4160.0、4165.0、4170.0、4175.0、4180.0、4185.0、4190.0、4195.0、4200.0、4205.0、4210.0、4215.0、4220.0、4225.0、4230.0、4235.0、4240.0、4245.0、4250.0、4255.0、4260.0、4265.0、4270.0、4275.0、4280.0、4285.0、4290.0、4295.0、4300.0、4305.0、4310.0、4315.0、4320.0、4325.0、4330.0、4335.0、4340.0、4345.0、4350.0、4355.0、4360.0、4365.0、4370.0、4375.0、4380.0、4385.0、4390.0、4395.0、4400.0、4405.0、4410.0、4415.0、4420.0、4425.0、4430.0、4435.0、4440.0、4445.0、4450.0、4455.0、4460.0、4465.0、4470.0、4475.0、4480.0、4485.0、4490.0、4495.0、4500.0、4505.0、4510.0、4515.0、4520.0、4525.0、4530.0、4535.0、4540.0、4545.0、4550.0、4555.0、4560.0、4565.0、4570.0、4575.0、4580.0、4585.0、4590.0、4595.0、4600.0、4605.0、4610.0、4615.0、4620.0、4625.0、4630.0、4635.0、4640.0、4645.0、4650.0、4655.0、4660.0、4665.0、4670.0、4675.0、4680.0、4685.0、4690.0、4695.0、4700.0、4705.0、4710.0、4715.0、4720.0、4725.0、4730.0、4735.0、4740.0、4745.0、4750.0、4755.0、4760.0、4765.0、4770.0、4775.0、4780.0、4785.0、4790.0、4795.0、4800.0、4805.0、4810.0、4815.0、4820.0、4825.0、4830.0、4835.0、4840.0、4845.0、4850.0、4855.0、4860.0、4865.0、4870.0、4875.0、4880.0、4885.0、4890.0、4895.0、4900.0、4905.0、4910.0、4915.0、4920.0、4925.0、4930.0、4935.0、4940.0、4945.0、4950.0、4955.0、4960.0、4965.0、4970.0、4975.0、4980.0、4985.0、4990.0、4995.0、5000.0、5005.0、5010.0、5015.0、5020.0、5025.0、5030.0、5035.0、5040.0、5045.0、5050.0、5055.0、5060.0、5065.0、5070.0、5075.0、5080.0、5085.0、5090.0、5095.0、5100.0、5105.0、5110.0、5115.0、5120.0、5125.0、5130.0、5135.0、5140.0、5145.0、5150.0、5155.0、5160.0、5165.0、5170.0、5175.0、5180.0、5185.0、5190.0、5195.0、5200.0、5205.0、5210.0、5215.0、5220.0、5225.0、5230.0、5235.0、5240.0、5245.0、5250.0、5255.0、5260.0、5265.0、5270.0、5275.0、5280.0、5285.0、5290.0、5295.0、5300.0、5305.0、5310.0、5315.0、5320.0、5325.0、5330.0、5335.0、5340.0、5345.0、5350.0、5355.0、5360.0、5365.0、5370.0、5375.0、5380.0、5385.0、5390.0、5395.0、5400.0、5405.0、5410.0、5415.0、5420.0、5425.0、5430.0、5435.0、5440.0、5445.0、5450.0、5455.0、5460.0、5465.0、5470.0、5475.0、5480.0、5485.0、5490.0、5495.0、5500.0、5505.0、5510.0、5515.0、5520.0、5525.0、5530.0、5535.0、5540.0、5545.0、5550.0、5555.0、5560.0、5565.0、5570.0、5575.0、5580.0、5585.0、5590.0、5595.0、5600.0、5605.0、5610.0、5615.0、5620.0、5625.0、5630.0、5635.0、5640.0、5645.0、5650.0、5655.0、5660.0、5665.0、5670.0、5675.0、5680.0、5685.0、5690.0、5695.0、5700.0、5705.0、5710.0、5715.0、5720.0、5725.0、5730.0、5735.0、5740.0、5745.0、5750.0、5755.0、5760.0、5765.0、5770.0、5775.0、5780.0、5785.0、5790.0、5795.0、5800.0、5805.0、5810.0、5815.0、5820.0、5825.0、5830.0、5835.0、5840.0、5845.0、5850.0、5855.0、5860.0、5865.0、5870.0、5875.0、5880.0、5885.0、5890.0、5895.0、5900.0、5905.0、5910.0、5915.0、5920.0、5925.0、5930.0、5935.0、5940.0、5945.0、5950.0、5955.0、5960.0、5965.0、5970.0、5975.0、5980.0、5985.0、5990.0、5995.0、6000.0、6005.0、6010.0、6015.0、6020.0、6025.0、6030.0、6035.0、6040.0、6045.0、6050.0、6055.0、6060.0、6065.0、6070.0、6075.0、6080.0、6085.0、6090.0、6095.0、6100.0、6105.0、6110.0、6115.0、6120.0、6125.0、6130.0、6135.0、6140.0、6145.0、6150.0、6155.0、6160.0、6165.0、6170.0、6175.0、6180.0、6185.0、6190.0、6195.0、6200.0、6205.0、6210.0、6215.0、6220.0、6225.0、6230.0、6235.0、6240.0、6245.0、6250.0、6255.0、6260.0、6265.0、6270.0、6275.0、6280.0、6285.0、6290.0、6295.0、6300.0、6305.0、6310.0、6315.0、6320.0、6325.0、6330.0、6335.0、6340.0、6345.0、6350.0、6355.0、6360.0、6365.0、6370.0、6375.0、6380.0、6385.0、6390.0、6395.0、6400.0、6405.0、6410.0、6415.0、6420.0、6425.0、6430.0、6435.0、6440.0、6445.0、6450.0、6455.0、6460.0、6465.0、6470.0、6475.0、6480.0、6485.0、6490.0、6495.0、6500.0、6505.0、6510.0、6515.0、6520.0、6525.0、6530.0、6535.0、6540.0、6545.0、6550.0、6555.0、6560.0、6565.0、6570.0、6575.0、6580.0、6585.0、6590.0、6595.0、6600.0、6605.0、6610.0、6615.0、6620.0、6625.0、6630.0、6635.0、6640.0、6645.0、6650.0、6655.0、6660.0、6665.0、6670.0、6675.0、6680.0、6685.0、6690.0、6695.0、6700.0、6705.0、6710.0、6715.0、6720.0、6725.0、6730.0、6735.0、6740.0、6745.0、6750.0、6755.0、6760.0、6765.0、6770.0、6775.0、6780.0、6785.0、6790.0、6795.0、6800.0、6805.0、6810.0、6815.0、6820.0、6825.0、6830.0、6835.0、6840.0、6845.0、6850.0、6855.0、6860.0、6865.0、6870.0、6875.0、6880.0、6885.0、6890.0、6895.0、6900.0、6905.0、6910.0、6915.0、6920.0、6925.0、6930.0、6935.0、6940.0、6945.0、6950.0、6955.0、6960.0、6965.0、6970.0、6975.0、6980.0、6985.0、6990.0、6995.0、7000.0、7005.0、7010.0、7015.0、7020.0、7025.0、7030.0、7035.0、7040.0、7045.0、7050.0、7055.0、7060.0、7065.0、7070.0、7075.0、7080.0、7085.0、7090.0、7095.0、7100.0、7105.0、7110.0、7115.0、7120.0、7125.0、7130.0、7135.0、7140.0、7145.0、7150.0、7155.0、7160.0、7165.0、7170.0、7175.0、7180.0、7185.0、7190.0、7195.0、7200.0、7205.0、7210.0、7215.0、7220.0、7225.0、7230.0、7235.0、7240.0、7245.0、7250.0、7255.0、7260.0、7265.0、7270.0、7275.0、7280.0、7285.0、7290.0、7295.0、7300.0、7305.0、7310.0、7315.0、7320.0、7325.0、7330.0、7335.0、7340.0、7345.0、7350.0、7355.0、7360.0、7365.0、7370.0、7375.0、7380.0、7385.0、7390.0、7395.0、7400.0、7405.0、7410.0、7415.0、7420.0、7425.0、7430.0、7435.0、7440.0、7445.0、7450.0、7455.0、7460.0、7465.0、7470.0、7475.0、7480.0、7485.0、7490.0、7495.0、7500.0、7505.0、7510.0、7515.0、7520.0、7525.0、7530.0、7535.0、7540.0、7545.0、7550.0、7555.0、7560.0、7565.0、7570.0、7575.0、7580.0、7585.0、7590.0、7595.0、7600.0、7605.0、7610.0、7615.0、7620.0、7625.0、7630.0、7635.0、7640.0、7645.0、7650.0、7655.0、7660.0、7665.0、7670.0、7675.0、7680.0、7685.0、7690.0、7695.0、7700.0、7705.0、7710.0、7715.0、7720.0、7725.0、7730.0、7735.0、7740.0、7745.0、7750.0、7755.0、7760.0、7765.0、7770.0、7775.0、7780.0、7785.0、7790.0、7795.0、7800.0、7805.0、7810.0、7815.0、7820.0、7825.0、7830.0、7835.0、7840.0、7845.0、7850.0、7855.0、7860.0、7865.0、7870.0、7875.0、7880.0、7885.0、7890.0、7895.0、7900.0、7

2 令和6年度の実施結果

① 協議会、現地検討会の開催経過

令和6年度の協議会は、6月から1月まで実証主体の事業者が毎月1回実務者会議を行う形に代えて実施した。現地検討会は実施しなかった。

② 令和6年度の実行結果(経過)及び取組の評価と課題

令和6年度に行った事業について、項目別に実行結果と取組の評価・課題をまとめた。

- (1) 森林資源調査：自社従業員によるドローン飛行で、獣害柵の被害有無や生育状況把握
 - (2) 主伐：林地残材のチップ化による歩留まり向上・燃料利用の実証調査
 - (3) 流通：樹脂を加圧含浸し耐久性を高めた木材等の、機能的付加価値をつけた商品化
 - (4) 再造林：電動クローラ輪運搬車「斜楽」での苗木運搬・植え付け作業を試行
- R4・R5年度の植林木の生育状況調査、及びセンダン播種後の生育状況調査

(1) 森林資源調査

令和6年度の夏より玉木材社員がドローン講習・指導を受けた上で、自らの操作で複数回のカメラドローン飛行を玉木材山林で行った。ドローン撮影の目的は、防獣ネットの落石等による被害有無の確認や植林木の生育状況を上空からのドローン撮影により視認することで、人力で傾斜地を歩いて見回らずとも状況を確認し省力化することにおいた。



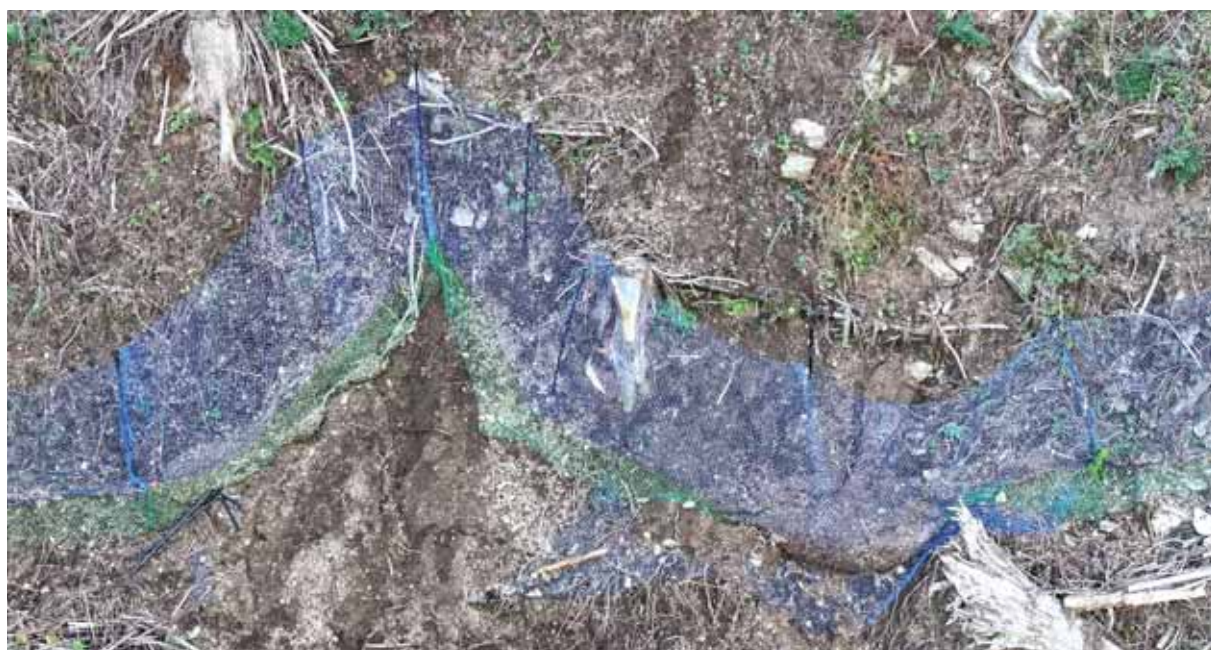
ドローン飛行の指導を受ける様子(左)及び、川股実証地でのドローン飛行の様子(右)



飛行中にリアルタイムで視認可能な防獣ネットの状況(左)、ドローン撮影した植栽木(右)

使用機器・性能	実証内容	成果	評価・分析
DJI 社製 カメラドローン 機種：Mavic 3 Pro 最大上昇速度 8 m/s 水平方向の最大飛行速度（無風）21 m/s ・3種のカメラ Hasselblad(広角)： 2,000 万画素 中望遠カメラ： 4,800 万画素 望遠カメラ： 1,200 万画素 デジタルズーム 望遠カメラ：7～28 倍	面積 2ha、標高差 150m の林地で、上空 20～50m 程度から防獣ネット及び植林木を目視内でドローン撮影。 ・要した時間：防獣ネット設置エリア約 2ha の撮影に 4 回の飛行で約 60 分（バッテリー交換・休憩等を含めても約 90 分程度）	1 回あたりの飛行時間： 15～20 分 （バッテリー容量の制約） →0.5ha 程度の防獣ネットを確認可能。これに併せて植林木の生育状況も概略を把握可能。	○ドローン撮影写真・動画をリアルタイムで操縦者が視認し、防獣ネットの被害有無確認・現状把握が容易 ○植林木は下草の状況次第で視認できる状況が変化。 ○人力見回り（半日/2ha）より 3 倍程度早い 30 分～60 分/日程度の飛行を数か月に 1 度程度行えば、効果的な見回り、補修可能。 ●長時間操縦は神経を使う疲労感あり、1 日あたり 1～2 時間程度が上限という感想

カメラドローンによる見回りの最大の効果として「大幅な省力化」を確認できた。従来、作業員が歩いて斜面を上り下りして防獣ネットの被害有無を確認する場合、植栽木の生育調査と併せて獣害ネットの見回りと補修をする場合には二人がかりで 1 日～1 日半/2ha、見回りだけであれば 1 名で半日程度を要していたものが、今回の川股実証地でのカメラドローン飛行では実飛行時間約 60 分で 2ha を視認することができた。今後のカメラドローン活用方策としては、例えば年に数回、伐採・搬出作業に取り掛かる前の午前中の早い時間帯に 30 分～60 分程度の時間を確保しドローン見回りを行うことで、その林地での獣害被害の状況や植栽木の生育状況を把握する、といったことが考えられる。



川股実証地(R4 年度センダン等植栽)防獣ネット設置箇所ドローン撮影(24 年 11 月 21 日)

(2) 主伐

令和4年度及び5年度の実証にて、架線による全木集材後に林道脇に残置された林地残材を対象に、トラックで運搬すると嵩張るため輸送効率の悪い枝条部・タンコロ等の活用について、エネルギー利用による歩留まりの改善とコスト評価を目的に移動式チップパーによる現地チップ化実証を実施した。



川股実証地の林地残材(左)、及び移動式チップパーを活用した林地残材の現地チップ化

使用機器・性能	実証内容	成果	評価・分析
Eschelböck 社(独) 製ドラムチップパー 機種名：Biber 6 最大処理径 32 cm (中型トラックで 運搬可能なチップ パーの中で最大級の 処理能力を持つ機 種を選定)	・タンコロ系 ・枝葉系 ・両者の混合 3 パターンに分け 山土場でのチップ 製造を実施。 製造したチップ は松阪の発電所 へ輸送。 ・グラップル及 びチップパーに作 業員が1名ずつ、 計2名従事	・実稼働時 間4時間弱で 11.5t のチッ プ製造 ・製造した チップの水 分：46～55% (WB) (堆積した残 材の内部が 乾いてない 状態)	○1 時間に 3～4t 程度のチップを 大きなトラブルなく製造可能 ○製造したチップは発電所で問 題なく使用できる品質 →五条近辺の発電所へ約 12,000 円/t(※)で販売が期待 ●チップパーを 1 週間単位でフル 稼働させるには、1 か所で 60t 程 度の残材の集積、及び積載コン テナ・輸送車両の手配が必要 ●根元部・枝条が多いため刃の 損耗が激しかった

※チップ原材料は、丸太だけでなく材積換算ができない枝条部も含んでいるため、チップの製造コスト及び販売単価の単位は、材積単価(円/m³)ではなく重量単価(円/生 t)を使用

2024 年 11 月のチップ化試験をもとに、移動式チップパーを自社で購入しフル稼働させた場合のコスト試算を行ったところ、山土場でのチップの製造コストは 9.1 円/kg (9,100 円/生 t) となった。FIT を活用しているバイオマス発電所での林地残材チップの買取単価は、未利用材であれば着価格で 12,000 円/生 t 程度が見込めることから、片道 30 分以内・1

日3往復ができるような五條市近辺の木質バイオマス発電所であれば輸送費を加えても燃料チップ製造の収支が成り立つ見込みのある結果となった。ただし、チップターの稼働日数を年間150日、その際の年間チップ製造量は1,725生tという想定であり、現状ではそれに見合うような大量の枝条系の林地残材は発生していない状況にある。

川股実証地 林地残材チップ化コストの試算結果と設定条件

残材チップ化コスト（全木集材で山土場に集積した状態の枝条・末木、タンコロ）						
項 目		グラブ：0.25タイプ	チップター：Biber6	費目別コスト（円）	チップkgあたり（円/生kg）	備考
重機償却/レンタル費	（円/日）	6,625	10,833	17,458	1.5	・グラブレンタル費：265,000円/月 20日/月。他の現場での木材生産作業と併用 ・チップター想定購入費：2,600万円/年 半額補助 年間稼働日数150日。耐用年数8年 $2,600万円 \div 0.5 \div 150 \div 8 = 10,833円/日$ チップター代理店ヒアリングより試算
重機 保守・修理費	（円/日）		5,400	5,400	0.5	（4枚の刃を15h毎に研ぐ。2,000円/枚の研ぎ費。 300hの稼働で刃を交換。等）
燃料費	（円/日）	3,834	3,873	7,707	0.7	軽油消費量 チップター 424.3L/日 チップター 24.5L/日 軽油単価 158円/L
労務費（グラブ1名、チップター1名）	（円/日）	24,000	24,000	48,000	4.2	作業員労務費 24,000円/日 × 2名 実質、0.5日ずつの作業。
回送費	（円/日）	0	26,000	26,000	2.3	1つの現場でチップターが5日間稼働の想定。 往復回送費130,000円 ÷ 5 = 26,000円/日。
重機別コスト 小計	（円）	34,459	70,106	104,566		
1日あたりのチップ製造量	（kg）	11,500	11,500			39t/日。片道30分圏内の、五條市近辺の発電所 までチップを積載したトラックが3往復する想定。 （トラックの運送時は、グラブ等々の作業員は、 別の現場作業に従事）
チップkgあたり製造コスト （輸送費含まず）	（円/kg）	3.0	6.1		9.1	チップターの1日あたり稼働時間：3h/日 年間での林地残材チップ製造総量： $11.5トン/日 \times 150日/年 = 1,725トン/年$ 想定
バイオマス発電所での、 チップの買取価格目安（FIT未利用）	（円/kg）				12.0	

(3) 流通

新しい林業のテーマとして、流通分野では「ICTを活用した、需要に応じた生産・販売の取組検討」という項目が掲げられている。バイオマスパワーテクノロジーズ^(株)では、このテーマを「新技術を活用して、新たな需要を創出し、材を高く売るための方策の探求」と発展させ、令和6年度は広葉樹のエネルギー用途以外の用材としての活用可能性・販売先探索(センダンの家具材利用等)や、針葉樹・広葉樹それぞれに樹脂を加圧含浸し耐久性を高めた木材等の機能的・デザインの付加価値をつけた商品化といった検討を行った。

◆植栽した広葉樹の、樹種・伐期に応じた用途・価格探求

植栽した広葉樹は、将来的には隣接する現存の高齢級スギ・ヒノキ林分を順に15～20年程度の間隔をあけて伐採・架線を活用して搬出する計画とも併せて、その際に伐期が適した用途のある広葉樹の樹種があれば伐採していく予定である。言い換えると、今回の実証で植栽したセンダン・クヌギ・コナラ・ウバメガシ・ミズナラ等が15～20年、30～40年、45～60年後等にどのような販売用途があるかは将来動向が分からず予測も立てづらいが、現状では将来的に多様なニーズに応えられる地域に合った樹種を植栽しつつ、どのようなニーズ・用途が広葉樹材にあるのかという情報収集は必要と考えられる。そこで、これまで家具材・燃料材両方の用途を九州の事例も参考に探求していたセンダンに加えて、令和6年度は広葉樹について奈良県内での樹種・伐期等に応じた用途の整理や、他地域での広葉樹材についてのニーズ把握と付加価値を高めていく取組等の文献・情報収集(2024年10月29日に飛騨市で開催された広葉樹活用研究発表会へ参加等)を行った。

樹種ごとの主な分布域、伐期、用途

樹種名	主な分布域	伐期	木材の用途
クヌギ	低地	15年生～	しいたけ原木・薪炭材(良質)
センダン	低地	20年生～	建築材・家具材 (ケヤキ・キリの代替材)など
キリ	低地	20年生～	建築材・家具材(筆筒)など
ウバメガシ	低地、中間地帯	30年生～	薪炭材(備長炭)
コナラ	低地、中間地帯	15年生～ 100年生～	しいたけ原木・薪炭材(良質) 家具材など
ミズナラ	中間地帯、高地	100年生～ 200年生～	建築材、家具材、ウイスキーの樽材など 天板など
ブナ	中間地帯、高地	100年生～	建築材、家具材、器具材など

低地：標高600m以下、中間地帯：標高600mより高く標高800mより低い、高地：標高800m以上

樹種ごとの主な分布域、伐期、用途

樹種名	主な分布域	伐期	木材の用途
クヌギ	低地	15年生～	しいたけ原木・薪炭材(良質)
センダン	低地	20年生～	建築材・家具材 (ケヤキ・キリの代替材)など
キリ	低地	20年生～	建築材・家具材(筆筒)など
ウバメガシ	低地、中間地帯	30年生～	薪炭材(備長炭)
コナラ	低地、中間地帯	15年生～ 100年生～	しいたけ原木・薪炭材(良質) 家具材など
ミズナラ	中間地帯、高地	100年生～ 200年生～	建築材、家具材、ウイスキーの樽材など 天板など
ブナ	中間地帯、高地	100年生～	建築材、家具材、器具材など

低地：標高600m以下、中間地帯：標高600mより高く標高800mより低い、高地：標高800m以上

出典：広葉樹利用に関する調査報告 奈良県森林技術センター (令和5年3月)



写真：広葉樹4種のフローリング加工例(広葉樹活用研究発表会より)

◆RP 加工による、針葉樹・広葉樹の付加価値をつけた販売方策検討について

RP 加工とは、大型木造船等にも活用されていた強化プラスチック (FRP) 技術をベースに、多様な樹脂を木材と一体化させる技術である。腐朽や変色を防ぐ加工を行うことで、屋外のベンチ・ウッドデッキ、木道、学校の机などに活用事例がある。樹脂は木材用途に合わせて素材設計可能であり、着色も可能で、長さ 4m・幅 2m までの木材なら加工可能である。RP 加工が可能な樹種はスギ・ヒノキだけでなく、広葉樹(クヌギ・ミズナラ、ナラ枯れ材)等を原材料にした実績もあり、A 材のみならず C 材・D 材等を原材料にした高付加価値化が可能になると期待されている。



ミズナラ材を着色・RP 加工した例、ナラ枯れ材(クヌギ)を原材料に RP 加工した例
(出典：(株)e2m ホームページ)

玉木材の所有する山林において資源量把握を行った立木について、トレーサビリティを明確化した上でこうした RP 加工向けの原材料として多様な樹種・形状の(小径木・曲がり材・根元部等を含む)原木を出荷する事業が成立すれば、従来は燃料材等としての利用用途しか無かった原木に新たな需要を創出し、m3 あたりの単価を高めることで山側への収益を生み出すことが可能となる。そこで、令和 6 年度の「新しい林業」での実証事業とは別の独自事業として、松阪市内の山林から搬出したスギ材を市内で製材・乾燥後、ウッドデッキ材料(床材：120mm×1995mm×厚み 24 mm)として 1.1m3 を出荷し(株)e2m 社に RP 加工を委託した。そして、神奈川県内の住宅にウッドデッキ約 36m2 を施工し高評価を得ており、今回の新しい林業でテーマに掲げた「需要地と供給地の事業連携の取組」の 1 つの形を実現した。



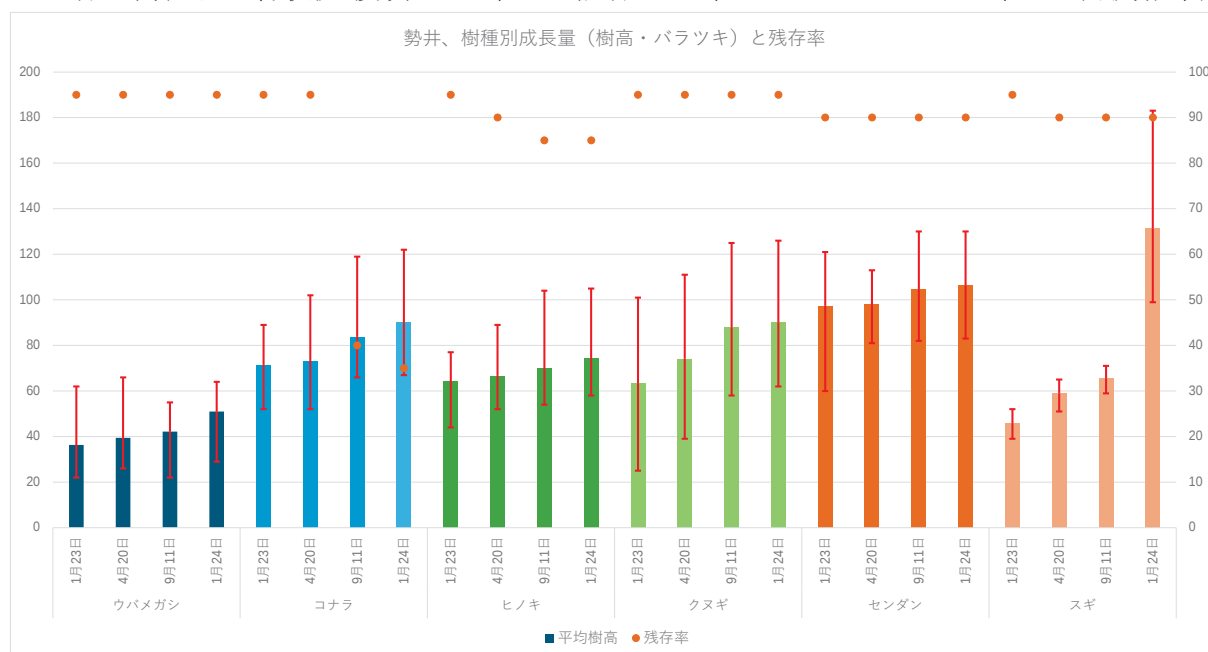
★RP加工
(株)e2m)



独自事業(補助対象外)として行った実証 神奈川県内の住宅にウッドデッキを施工

(4) 再造林

◆造林地樹種別生育状況(勢井：R5年8月植林→R6年1月・4月・9月・R7年1月計測結果)



R5年度に獣害対策・植林を行った勢井実証地では、食害を受ける頻度が減り、概ね90%程度の高い残存率となった。この理由としては、R4年度に獣害対策・植林を行った川股実証地に比べて防獣ネット・ヘキサチューブの施工に習熟し、作業能率・精度も向上したことが要因としてあげられる。樹高については、スギ(ヘキサチューブ)が急激に伸長した一方で、センダン苗(防獣ネット)は1回目の夏を越した時点では目立った成長は見られなかった。センダンは2回目の夏以降に伸長する場合もあることから、標高の高い勢井実証地でのセンダンの生育については、引き続き計測を行っていく予定である。

現在、玉木材では別事業でドローンを活用した獣害対策資材や苗の荷揚げ作業(5日間にわたるドローン300回の飛行で総重量約5.2トン)も業者委託しており、その場合の低コスト化・省力化評価も行っている段階である。



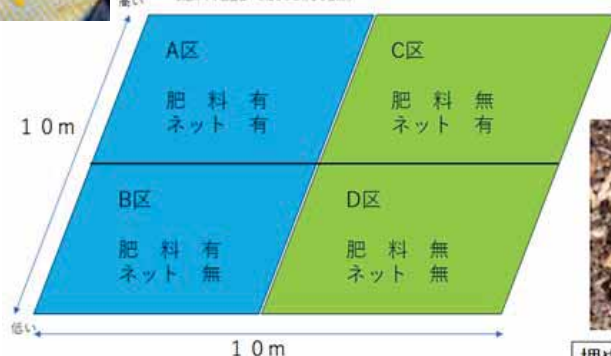
勢井実証地でのドローン空撮 (R5年8月植栽。R6年11月22日撮影)

◆センダン(直接播種)の生育状況

センダン播種(直播)実証



成林地・中粒500g(約150粒)・中粒500g(約150粒)・中粒500g(約150粒)・中粒500g(約150粒)



実施日：令和5年6月16日
実施場所：玉木材 大日川山林

実施内容：
山林地約100㎡区画を4つの区分に分け地持ちえを行い(2名で約30分)、左図のとおり獣害ネットの有・無、肥料(ハイコントロール360シェイカムアグリ社製)の有・無としてセンダンを直播した。(肥料施肥には50㎡へ約4kgを施肥し、1名で約15分要した)

センダン播種は、乾燥を避けるため実のままの種をそれぞれの区画に100粒ずつ播種(2名で約40分)した。播種にはミニマ人力播種機MH-3麻場製を使用した。



埋め込まれたセンダン種子

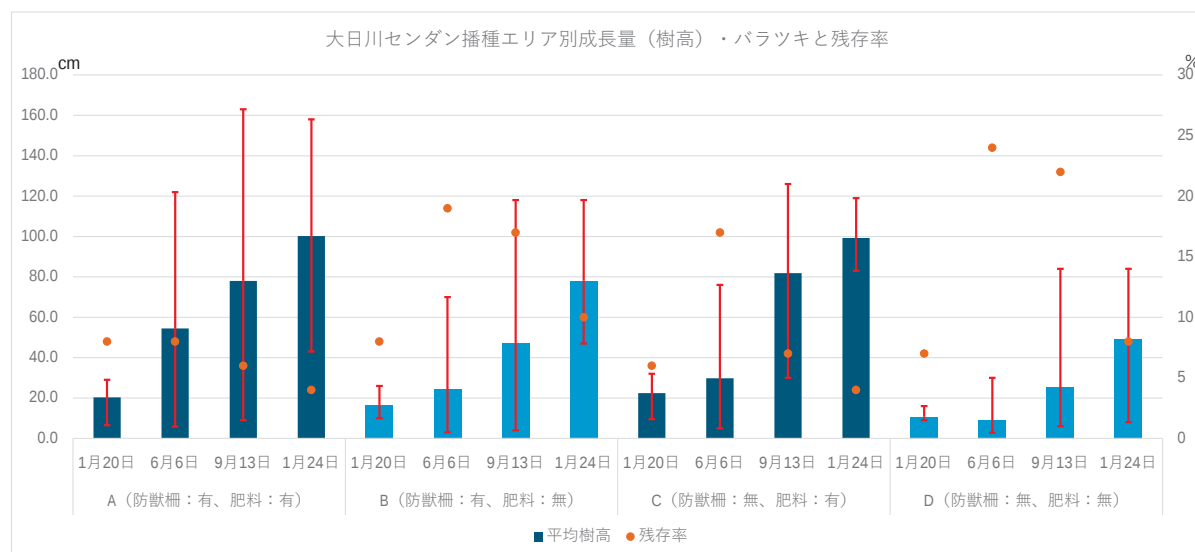


播種の様子

発芽～生育～残存した本数を生存率とすると、播種後7か月では最低7%～最高14%、播種後19か月では最低4%～最高10%という結果となった。鹿の往来が激しく下層植生がほとんど見られない不毛な林地でどの区分でも播種による生存が確認できたことは大きな一歩といえる。肥沃な平地での成長記録に比べると、播種後7か月での成長量は最大のものでも約6分の1程度にとどまるものの、成林させることが困難な林地や林道から遠く離れた林地で実施することに一定の期待が持てる結果となった。また、施肥を行ったA・C区画では、播種後19か月での平均樹高が共に約100cmとなり、施肥を行わなかったB区画(78cm)、D区画(49cm)と比較し高くなっていた。



播種後14か月のセンダン



◆令和6年度新規植栽地(大日川) 電動クローラー輪運搬車「斜楽」での苗木運搬・植付

令和6年度の新たな造林は、五條市大日川(おびかわ)山林にて、センダン及びクヌギ・コナラの植栽を実施した。うち、センダン苗の植栽地においては、電動クローラー輪運搬車「斜楽」での苗木運搬・植え付けを試行し、これまでの人力による植栽時と比較した。その結果、20度を超えるような傾斜地で枝条が多く残された林地では運搬に時間を要したことと腕の疲労といった課題がありトータルで生産性の向上には繋がらなかったが、電動オーガドリルを活用した植栽穴あけは生産性を高める可能性があることが分かった。



令和6年度大日川実証地 ゾーニング(左)、センダン植栽地(植栽前)の林地の状況



大日川実証地(平均傾斜 20 度)でのセンダン苗木運搬(左)、電動オーガドリルでの植栽

使用機器	実証内容	成果	評価・分析
電動クローラー輪運搬車「斜楽」(オプション:電動オーガドリル付)	【運搬】 苗 30 本 入り袋(3~5 kg) ×6 袋を積み、1 名で操作 【植栽】 電動オーガドリルを用いて、斜面に平行に植栽	運搬+植栽 【斜楽使用時】 24 分/30 本 【従来型(人力運搬+クワ植栽)】 作業員 A: 17~22 分/30 本 作業員 B: 34 分/30 本	○電動オーガドリルでの植栽は、大日川実証地の土壌では能率が高く有効だった。 ●運搬時、林地に枝条が残っているエリアでは操作に苦慮し時間も要した。中程度の傾斜では腕力を相当に使い疲労が激しい。 ●運搬+植栽総合では、慣れた作業員が人力で行う方が早い。

3 実証事業の総括

令和4年度から6年度の3年間の実証事業について、(1)森林資源調査、(2)主伐、(3)流通、(4)再造林 それぞれの当初目標、実行結果・成果、取組の評価・分析・課題について要約した一覧表を以下に示す。

(1) 森林資源調査

評価項目	当初目標	実証結果・成果	評価・分析、課題
作業の効率化・簡便化	・ 玉木材社員によるレーザ測量及び解析技術習得 ・ 将来5年以内を目途に、玉木材の経営する全ての森林情報をデータ化する	○ 玉木材社員が、レーザ測量及びデータ解析に加え、林地の見回りを行うカメラドローンの操縦技術まで習得 ○ ドローンによる林地の見回りは、人力に比べて約3分の1に省力化	・ 材積推計は可能だが良材の抽出(傷・曲がり、径の判断)に課題あり ・ 立木情報は、レーザ計測データで把握しきれない材質・施業履歴等を写真データ等と共に紐づけ、川中・川下側が求める形にする必要

(2) 主伐

評価項目	当初目標	実証結果・成果	評価・分析、課題
作業の効率化・簡便化 労働強度の低減	・ 架線の索張りを、微地形及び立木データを考慮して森林GIS上で計画 ・ 架線系集材技術の習得	○ レーザ計測データを活用した元柱・先柱の選定、材積推計を実現 ○ ウッドライナーでの作業に作業員が習熟し、労働強度軽減	主伐～再造林の一体型施業で架線を活用し獣害対策資材の荷あげも効果的に実施し、省力化を実現。
低コスト化 効率化・生産性の向上	・ 素材生産費 10,000 円/m³ 以下	○ 素材生産費 11,924 円/m³ 事業開始前より 15,876 円/m³ の削減に成功。 ● 目標に 1,924 円/m³ 未達	集材作業の効率化や造材の効率化(プロセッサ導入等)によりさらにコスト低減を目指す。

(3) 流通

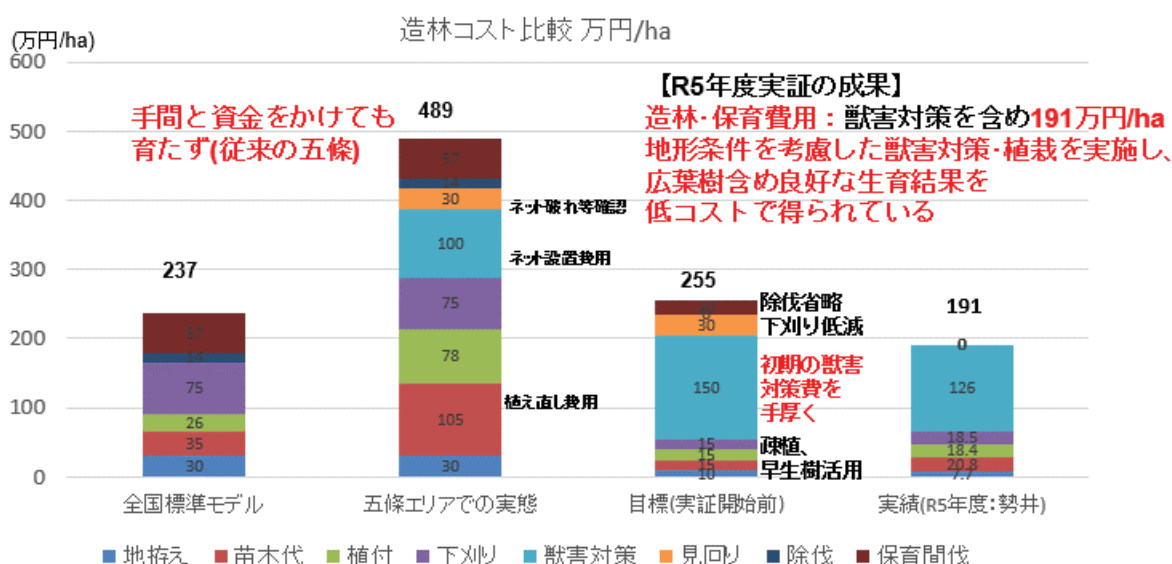
評価項目	当初目標	実証結果・成果	評価・分析、課題
効率化・生産性の向上	・ 林業事業体と、製材工場・工務店等の事業連携	○ 製材工場へ直送・材の評価・試行(機能的付加価値を加え商品化)	山の現場で品質評価精度を高める必要性を認識。 建築材に加え薪炭材・家具材等、樹種・径級に応じ用途・価格探求
	・ 広葉樹材のニーズ把握	・ センダンだけでなく、クヌギ・コナラ・ウバメガシ・ミズナラ等の用途を探索。	

(4) 再造林

評価項目	当初目標	実証結果・成果	評価・分析、課題
低コスト化、効率化・生産性の向上	・センダン、クヌギ・ウバメガシ等の広葉樹を1,000本/haで植栽、下刈り軽減	獣害対策費(126万円/ha) 再造林費(47万円/ha) ○従来の再造林費から約60%削減	地形条件を考慮した獣害対策の組み合わせが効果を発揮。 生育状況も良好
作業の効率化、簡便化	センダン種子の直播・施肥	○播種は12秒/個と、苗の植栽より3~6倍速い ○施肥の効果もあり	播種後残存率1年後に6~22%とばらつきあり ●苗と比較した生育状況を今後整理
作業の効率化、簡便化	・農業的植付・施肥検証	・条件に応じ植付器具の適性整理	今後の保育コスト・生育状況の把握

【再造林のコスト分析】

造林コスト 従来と実証時比較



令和5年度の実証結果のうち、勢井(1.0ha)での伐採・搬出～再造林(防獣ネット中心)の実証結果をもとに単位面積1haあたりの費用面を整理すると、下記のとおりであった。

【再造林費の試算根拠】

◆R5年度 勢井(1.0ha) 皆伐・搬出、再造林に要した時間(作業員5名の合計を従事日誌より集計)						
		素材生産		造林		
		伐採・造材	集材(架線準備/撤収含)	資材準備・荷上	獣害対策(ネット張り等)	下刈り
作業時間(h)小計 6hで1人工換算		416.5	245	12	132	57

	素材生産			獣害対策		
労務費（平均単価：3,443円/h） ※各作業員の従事時間が異なるため、 作業ごとの労務費合計とは不整合	伐採・造材	集材(架線準備/撤収含)	資材準備 ・荷上	獣害対策 (ネット張り等)	下刈り (保育)	
小計	1,446,746	849,730	37,932	458,391	185,064	

内訳	(単位：円)					
獣害対策(資材費)	840,400	獣害ネット70万円＋ヘキサチューブ14万円				
獣害対策(労務費)	496,323	資材荷あげ12h＋獣害対策(ネット張り等)132h				
苗木代	207,800	苗木 1,120本（単価 170円～180円/本）				
造林作業(労務費)	94,229	1ha 1,240本の植栽 27h				
その他	90,000	地拵え関連＋肥料代＋造林器具資材費等				
		※獣害資材・苗の荷あげ 架線のレンタル費・燃料費は、主伐経費に計上				
地拵え・植栽 小計	1,728,752					
下刈り(労務費)	185,064	57h				

【実証の成果 再造林費の現状試算と、将来見込み】

- ・ 獣害対策費：資材費 84 万円＋労務費 50 万円＝ 134 万円/ha(伐採・造林一貫作業)
 - ・ 地拵え・植栽：機材費＋肥料代＋苗木代＋労務費 39 万円/ha
(※)下草刈り：18.5 万円/ha（1 回に省略、現地見回り含む）
- 合計 191 万円/ha

獣害対策費と地拵え・植栽を足した再造林費の内訳としては、
 獣害対策(資材費 84 万円＋労務費 50 万円)＋植栽(30 万円)＋地拵え含むその他(9 万円)
 ＝173 万円/ha

であり、玉木材の従来(4,250 千円/ha)に対して費用を 60%も削減する結果であった。

もとに 実証した 結果を 試算	基本情報	主伐	地拵え・植栽	下刈り	除伐	保育間伐	搬出間伐	計
	○伐期：20～80年 ○材積：460m ³ /ha ○作業員：5名 ○作業員賃金：約21,000円/人・日(保険料含む) ○丸太販売単価：14,400円/m ³ (7t・7t良材＋並材も含む)	 架線系集材(ワット・イ-)で生産性UP ✓生産量:460m ³ ■収支 114万円 ▲経費-551万円 ※市売手数料込 丸太収入665万円					 短・中・長伐期の樹種を組み合わせた多段階植栽のソーニングにより、長伐期の	1haあたりの合計 ■収支 -77万円 経費 -742万円 収入 665万円 【経費削減の方向】 ・センガン等播種・萌芽更新で造林費削減 【収益増加可能性】

玉木材 令和5年度の実証結果をもとにした、主伐～再造林～保育の1haあたり総収支

○**再造林費**：獣害対策(資材費84万円＋労務費50万円)＋植栽・地拵え(39万円)＝173万円/ha
 →当初目標(255万円/ha)の**3割強(67.8%)のコストダウン**を達成

○補助金を一切考慮しない場合▲77万円/haの赤字ではあるが、**造林コスト削減と売上増次第で黒字化も期待できる**

玉木材 令和5年度の実証結果をもとにした、主伐～再造林～保育の1haあたり総収支

◆経営収支の改善について

課題提案時に記載した経営収支の改善目標の達成状況(課題提案時と実証結果後の対比)を、以下のとおり整理した。

経営モデル実証事業 収支計算シート			1haあたり試算		単位：千円/ha			
				課題提案時 (R3年度) の状況	目標	試算条件と改善方策 【実証の試算結果】	R4～R6年度 実証による改善 収支試算	目標との 差額
収入						◆2100年までの収入		
						多様な樹種・複数用途で複数回の売上確保 25,000円/m3×500m3/ha=12,500,000円 ※R5年度の収入(勢井)：ｽｷﾞ/ﾋｶﾞ高齢級		
		販売収入	8,900	4,500	平均14,389円/m3×461.9m3=6,646千円		12,500	8,000
		補助金収入	2,510	0	脱補助金		0	0
					林地残材活用50t/ha×12,000円/生t = 600,000円 将来的には空間利用、カーボ ンクレジット創出等で更なるプラスを			
		その他収入	0	500			600	100
支出								
	主伐経費					◆2030～2100年の平均主伐経費		
	(用材搬出) 人件費		4,000	2,100	機械の効果的な活用による生産性向上 【R5勢井：約110人工】		2,296	▲ 196
	燃料代		600	240	機械の効果的な活用による生産性向上		43	197
					機械の効果的な活用による生産性向上			
	機械経費		2,400	480	【R5勢井:ｸｯﾄﾞﾗｲﾅｰ、ｸﾞﾗｯﾌﾟﾙ2か月】		1,190	▲ 710
	通信・消耗品費		200	80	機械の効果的な活用による生産性向上		80	0
					事前、事後の見回り等			
	その他経費		140	56	【3人工と想定】		62	▲ 6
	(残材チップ)		—	—	残材のチップ化に要する経費 50t/ha		45	▲ 45
			—	—	残材のチップ輸送経費 50t×2,500円/t		13	▲ 13
			—	—	1回あたりの主伐経費 小計		3,729	▲ 3,729
			—	—	70年間の伐採回数		2.5	
					70年間の素材生産経費の合計		9,321	

支出	再造林費					◆2023年以降の再造林費(1回)		
						作業の効率化、架線での資材荷上げ等 【R5勢井：獣害対策・地帯えの労務費】	496	▲ 496
		人件費	500	200		作業の効率化、見回り・補植の低減 【R5～勢井：植林作業の労務費】	105	95
		燃料代	100	50		資材荷上げ時など	10	40
		機械経費	200	100		クワ等植林機材含む	20	80
		苗木代	350	200		植栽本数の低減(広葉樹なら1,000本/ha) 【R5勢井：針広混交 1,240本/ha】	210	▲ 10
		通信・消耗品費	100	50		肥料等含む	50	0
		獣害対策費	3,000	500		適切な獣害対策	840	▲ 340
		◆再造林費用計(補助金非考慮)	4,250	1,100			1,731	▲ 631
	保育経費		1,000	300		下草刈りの回数低減(1回に)、除伐の省略 【R5以降勢井：下草刈り】	185	115
	流通・販売経費		2,000	450		市場に限らず一部直販等での削減		
	うち、市場手数料		1,000			【R5】市場手数料1,882円/m ³ ×300m ³ ×60%	565	
	うち、輸送費(用材)		1,000			【R5】トラック輸送費2,400円/m ³ ×500m ³	1,200	
	うち、輸送費(燃料チップ等)		0					
	調査経費		200	100		ドローンによる植栽木・獣害確認回り (レーザ計測による単木調査は含まない) 【R6勢井】年1回程度の見回り 5千円/年	35	65
総収支			▲ 3,380	94			63	

Ⅲ 今後の事業の展開方向

令和4年度・5年度・6年度の3年間の実証事業で得られた成果・課題認識を踏まえ、今後の事業展開を以下のように想定する。

1. 森林資源調査

- ・令和4年度・5年度はスギ・ヒノキを主対象に単木の3Dレーザ計測による森林資源調査を行った。これにより、詳細な地表データ及び立木の位置データを得られたことで搬出を行う架線架設の計画や、獣害対策を考慮した造林計画は容易となった。しかし、流通分野にて製材工場側が用材を購入する際に必要となる情報は十分に得られず、良材の絞り込みには精度が不十分であった。
- ・一方で、再造林と関連する内容として、令和4年度・5年度の植栽木残存状況と獣害対策の現状把握(防獣ネット・ヘキサチューブ破損有無の確認)については、玉木材の社員自らドローンを飛行させることで視認にかかる人工数・見回りコストを削減することが可能となり、資源量の推計までは現時点では困難なものの単木単位での生育状況までは視認・写真や動画の共有が可能であった。このドローン撮影のデータ(3)流通分野(製材工場の視点)で、販路拡大に向けて必要な情報として加工・提供する可能性を探求したい。

2. 主伐

【架線集材】令和4年度・5年度の実証において、架線集材によるコスト低減効果が確認できた。今後は作業の習熟により架設・撤去や集材作業の生産性を高めると共に、プロセッサ導入等によりさらにコスト低減を目指していく。

【エネルギー利用】林地残材の発生量が2,000t/年規模になった際には、トラックに直接積載した方が輸送コストが安価な根元部等と、チップ化した方が輸送コストの安価な枝条部分について分別したうえで現地でのチップ化・チップ輸送体制を構築し、五條市近辺のバイオマス発電所等での活用を検討する。

3. 流通販売

- ・令和5年度においては、スギ・ヒノキの林地での3Dレーザ計測データと実際の材の品質とを製材工場の視点で照合し、また製材時の製品の取れ高を検証した。今後の方向性としては、製材工場での検証よりもまずは伐採・搬出現場において「外観判定による木材の評価基準を現場で共有」や「木材生産(素材生産)の工程で発生するロス低減を目指し、現場での品質評価の精度を高める」ことが必要と結論づけられた。
- ・需要地と供給地の新たな事業連携のモデルとして、直納による吉野材(スギ・ヒノキ)の新たな高付加価値化を図るため、針葉樹をハードウッド化する加工工場へ直販した場合の丸太からの歩留まり検証・経済性試算を行う。
- ・広葉樹について、小径木・種子なども含めて多様な活用先を異業種とも連携して生み出していく。建築材料だけでなく、伐期15~30年以内ではしいたけ原木・薪炭材・家具材・楽器の材料(トーンウッズ)等、100年先を見据えるとウイスキーの樽材

(ミズナラ)等、20年単位で見ても複数回の収入を得られるような収益構造を確立する。

- ・新たな用途として、針葉樹・広葉樹の並材についても、デジタルデータを活用しトレーサビリティを確保した上で例えば RP 加工・高硬度塗膜のような機能的付加価値＋デザインの付加価値をつけた製品との連携・展開を試みる。

4. 再造林・保育

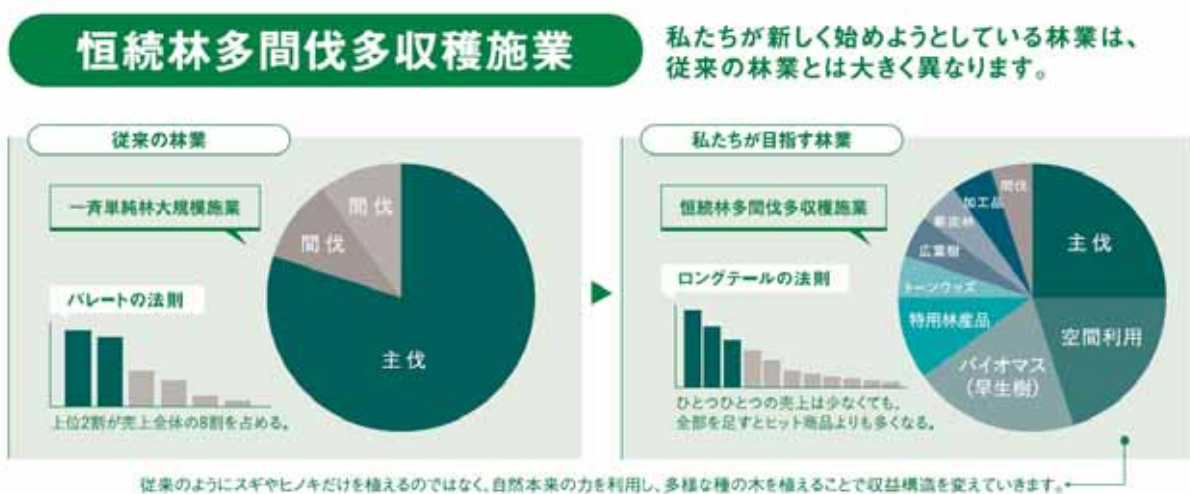
【ゾーニング】適地適木（水平・垂直温度分布や温量指数、降水量、土壌、斜面方向、地形、斜度、樹種の組み合わせ＝周囲の自然林の状態が見本）＋伐期＋利用目的＋生産コスト を考慮して植林の計画を立案していく。

【獣害対策】地形・樹種に応じて、防獣ネットとヘキサチューブを組み合わせた対策を継続。

【センダン】古家園が自社でセンダン採種園を運営し、直接播種・苗の植栽を使い分け、燃料材利用・用材利用を組み合わせ 10～15 年程度の短伐期での収益化を目指す。

【ドローンの更なる活用】また、玉木材では NEDO 事業でドローンを活用した獣害対策資材や苗の荷あげ作業(5 日間にわたるドローン 300 回の飛行で総重量約 5.2 トン)も業者委託しており、低コスト化・省力化評価も実施中。

3 年間の実証を通して、当初の目的としていた「これまでの吉野林業地で行われていたスギ・ヒノキの優良大径木のみを軸にした森林づくりではなく、森林を適切に『ゾーニング』し、地形や樹種の条件に応じた適切な獣害対策を組み合わせた上で、多様な樹種・多様な生産物を生み出す」モデルとなるエリアを作り出すことができた。今後も、多様な樹種・多様な生産物と新たなサービスを異業種とも連携して産み出していくことで新たな安定したロングテール型収益構造の形成を目指していく。



施業五原則 自然本来の力、生態系サービスを最大限活用した持続性の高い恒続林を目標に、以下の「施業五原則」に則って林業を展開します。

合自然性 自然の原則に則っているか	持続可能性 収穫量<成長量	多様性 ゾーン全体で担保できるか (遺伝子的・種・生態系)	技術的合理性 技術的に可能なのか	経済性 費用対効果

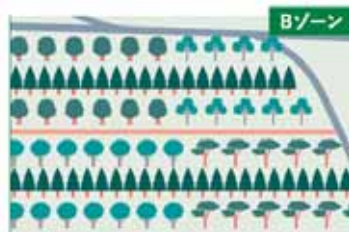
ゾーニング

森林を適切に「ゾーニング」し、多様な空間利用を図ります。数種を大量生産する林業に拘らず、少量でも多品種を生産していきます。そして人手をしっかりとかけるところと自

然に任せるところ、多種共存による木材生産の森、面的な森林利用から空間的な森林利用へのシフトなど、どのような形が望ましいかを深く考えて森に関わっていきます。



Aゾーン
スギ・ヒノキなどの主材をしっかりと管理するゾーン。



Bゾーン
早生樹・有用広葉樹など、多様な種で構成するゾーン。



Cゾーン
高齢林化を目標とし、空間利用も図るエリア。

これらを徹底的に行って森林経営にイノベーションを起こし、日本林業再生の一翼を担う。それが私たちの目標です。

林野庁補助事業

令和6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

森林管理組織「リフォレながと」を核とした
長門型林業経営モデル構築事業
事業成果報告書

令和7年2月

(代表林業経営体) 一般社団法人 リフォレながと

(代表支援機関) 山口県農林総合技術センター

(支援機関) 住友林業株式会社

内容

1. 実証事業の概要	3
1.1. 事業の名称	3
1.2. 取組の背景	3
1.2.1. 山口県長門市の林業・木材産業の背景	3
1.2.2. 代表林業経営体の背景	3
1.2.3. 集約化（施業地確保）の背景	4
1.2.4. 素材生産の背景	4
1.2.5. 流通・販売の背景	5
1.2.6. 再造林の背景	6
1.3. 実証のテーマ	6
1.4. 実証団体の構成	6
1.5. 実証事業の内容	7
1.6. 実証事業の目標	8
2. 令和4年度及び令和5年度の実施結果	8
2.1.1. ICT機器を用いた境界明確化	8
2.1.2. ICT機器を用いた資源量把握・立木評価・施業提案	11
2.1.3. 素材生産の実施	13
2.1.4. 再造林に伴う資材運搬	16
2.1.5. 再造林地の獣害対策のための獣害捕獲	18
2.1.6. ながと型住宅を核とした需給情報マッチング	19
3. 令和6年度の実施結果	20
3.1. 実証内容	20
3.1.1. ICT機器を用いた境界明確化	20
3.1.2. ICT機器を用いた資源量把握・立木評価・施業提案	23
3.1.3. 素材生産の実施	26
3.1.4. 再造林に伴う資材運搬	30
3.1.5. 再造林地の獣害対策のための獣害捕獲	31
3.2. 令和6年度の実行結果及び取組の評価	33
4. 今後の事業の展開方向	33
4.1. ICT機器を用いた境界明確化	33
4.2. 立木評価と生産計画、素材生産	34
4.3. 再造林・獣害対策	34

1. 実証事業の概要

1.1. 事業の名称

森林管理組織「リフォレながと」を核とした長門型林業経営モデル構築事業

1.2. 取組の背景

1.2.1. 山口県長門市の林業・木材産業の背景

長門市の森林面積は 26,839ha、うち地域森林計画対象面積は 26,695ha と、民有林率が高い。民有林のうち、人工林が 13,379ha と、約 46% である。主要造林樹種は、面積比率で、スギが約 34%、ヒノキが約 42% である。人工林の齢級構成としては、蓄積量の比率で、10 齢級以上が 54% 以上を占め、戦後植栽した資源が成熟期を迎えている。

長門市では、平成 29 年度から、林野庁の補助事業「林業成長産業化地域創出モデル事業」を利用し、林業・木材産業の成長産業化に取り組んできた。その一環として、長門市の林業・木材業の発展と森林所有者への利益還元を実現するための「長門市林業成長産業化地域構想」を取りまとめ、現在、二期目を迎えている。

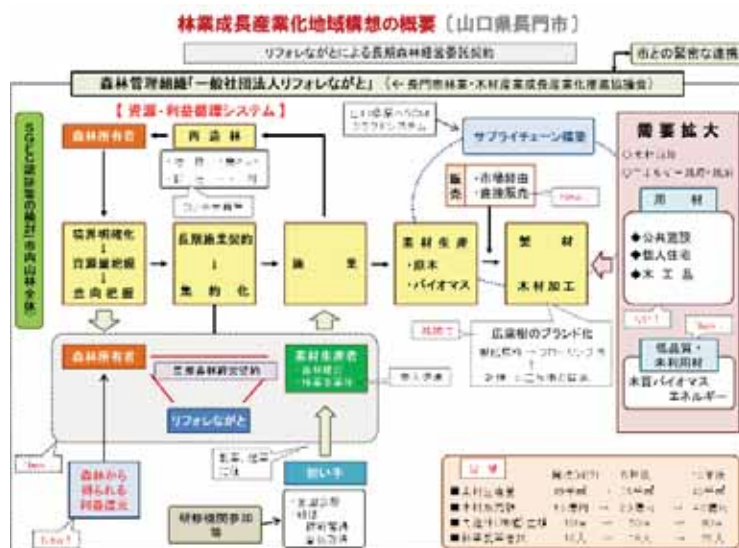


図 1 長門市林業成長産業化地域構想の概要

1.2.2. 代表林業経営体の背景

構想を実現させるため、令和 2 年 7 月に、長門市内の関係者が出資して、「一般社団法人 リフォレながと」を立ち上げ、①素材生産量の拡大、施業の効率化・低コスト化（川上分野）、②担い手の確保・育成（人材育成）、③需要の確保・拡大、新たな流通販売体系の確立（川中・川下分野）に関する事業を地域林業の

司令塔として担っている。特に境界明確化・森林の集約化（施業地確保）や素材生産量の拡大、長門市産材を活用した住宅（ながと型住宅）向けを含めた原木の流通・販売などを主要業務として実施している。

リフォレながとは、設立目的が地域林業の司令塔であり、収益を上げることが第一の目的ではないが、川上から川中・川下に至るまでの林業活性化の担い手として、大きな期待が寄せられている。



図 2 リフォレながとの役割

1.2.3. 集約化（施業地確保）の背景

長門市では、森林所有者の高齢化が進み、また、市外在住の所有者も増えつつあり、施業地確保を行う上での現地境界確認が困難になりつつある。

一方、リフォレながとは、森林所有者に施業提案を行う際に、毎木調査を行っているが、施業箇所が増加するにつれ、調査時間の確保が課題となっている。さらに、調査項目のうち、樹高や形質は目視に頼っているものの、経験の度合いによって、調査精度にばらつきが生じている。

1.2.4. 素材生産の背景

長門市の伐採は、これまで搬出間伐を中心に施業を行い、素材生産量について、長門市とリフォレながとは、令和 8 年度までに素材生産量を一年間当たり 40 千 m^3 、再造林面積を一年間当たり 80ha まで増やすことを目標に掲げているが、現状は 12 千 m^3 と、未達である。

表 1 長門市の素材生産量等の目標

	令和 2 年度	令和 8 年度	令和 13 年度
○素材生産量の拡大	12 千 m^3	40 千 m^3	40 千 m^3
（うちスギ・ヒノキ）	10 千 m^3	30 千 m^3	30 千 m^3
○木材販売額	1.2 億円	4.0 億円	4.0 億円

○再造林（新植）面積：	17ha	→	80ha	→	80ha
（うちスギ・ヒノキ：	13ha	→	60ha	→	60ha）
○林業就業者数	： 9 人	→	26 人	→	26 人
※但し、令和 5 年度に終了する航空レーザ測量の結果を踏まえ令和 7 年度に目標の再調整を行う予定となっている。					

長門市内の多くの森林組合や事業体は、これまで搬出間伐を中心に施業を行ってきたため、ハーベスタやプロセッサなどの高性能林業機械をあまり所有しておらず、重機も 0.25m³ クラスの小型サイズを使用していることが多いため、コスト競争力は高くない。また、担い手の育成について、異業種からの参入として、山口県建設業協会長門支部の会員企業が、今年度から参入する計画となっており、代表支援機関である山口県農林総合技術センターで短期育成研修を受講している。

さらに、長門市で素材生産を行う事業体は、日報を記載する事業体はあるものの、生産性分析や進捗管理に活用できていない。

1.2.5. 流通・販売の背景

長門市では、長門市や山口県内のメーカーと協力し、管柱やフローリングに長門市産材を活用した「ながと型住宅」の取組を開始している。



図 3 ながと型住宅建て方現場

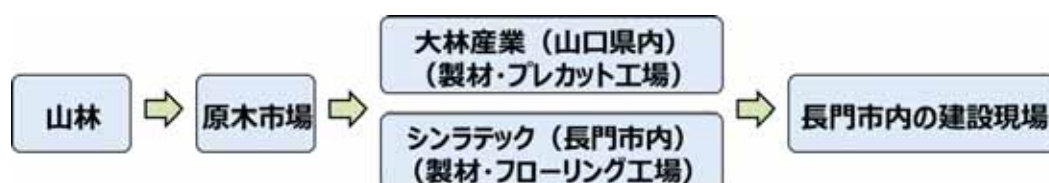


図 4 現状のながと型住宅の物流

ただし、工務店、プレカット工場及び製材工場（同一企業が運営）、素材生産事業体の 3 者による需給情報が共有されておらず、各者とも、十分なリードタ

イムを持った受発注による余裕を持った生産活動ができていない。

特に、ながと型住宅に必要な管柱用 3m 造材を行っておらず、スギ・ヒノキとも、径級に関わらず、基本的には 4m に造材している。

1.2.6. 再造林の背景

長門市における再造林推進に関しては、シカ等による獣害対策が大きなテーマとなる。長門市では、これまで皆伐をあまり実施していなかったため、事業体は再造林の経験が乏しい。造林した苗木に対して獣害防護柵などで対策を講じなければ、甚大な被害を受ける。

また、再造林における防護柵や苗木の運搬について、UAV の活用による労務低減が、可能性として見出されている。

1.3. 実証のテーマ

地上レーザや ICT ハーベスタなどの先進的技術を駆使し、素材生産効率や労働安全性を高めるとともに、製材工場等との詳細な需要情報の共有を図ることによって、原木の付加価値を高め、林業収益性の向上につながる経営モデルの構築を実証する。

1.4. 実証団体の構成

代表林業経営体、支援機関のほかは、下表のとおりである。

表 2 協力団体一覧

協力団体	役割
山口県建設業協会 長門支部	主伐
(株)清水林業	主伐・再造林
(株)横山木材	主伐
山口県西部森林組合	再造林
(株)シンラテック	製材
大林産業(株)	製材
山口県猟友会長門支部	獣害対策

本事業について専門的な立場からの審査や助言等を行うため、協力団体メンバーのほか、有識者等からなる推進協議会を設置した。

表 3 新しい林業推進協議会名簿

委員名	所属 肩書	備考
寺岡 行雄	鹿児島大学 教授	有識者
吉村 博克	長門市 経済観光部長	行政
安藤 繁之	山口県建設業協会 長門支部長	素材生産
清水 政則	(株)清水林業 代表取締役	素材生産
河内 武二	山口県西部森林組合 代表理事	造林者
近藤 友宏	(株)シンラテック 代表取締役社長	実需者
山根 満広	建築士会長門支部長	実需者
本田 聡	山口県森林企画課	オブザーバー
山内 茂雄	山口県下関農林事務所	オブザーバー
角谷 隆士	長門市経済観光部農林水産課	オブザーバー

1.5. 実証事業の内容

本事業の主な実証項目を下図に示す。



図 5 本事業の主な実証内容

◇ 集約化（施業地確保）

- 境界明確化の効率化
- 資源量把握の効率化
- 立木評価の高精度化

◇ 素材生産

- 需要先の実需要に合わせた材長・径級での造材（4m 採材からの脱却）による直送
 - 異業種からの新規参入企業への造材作業支援
 - 進捗管理・請負単価の適性判断

- 在庫管理（山土場・中間土場（設置の場合のみ））
- ✧ 流通・販売
 - 需給情報の川上側への円滑な情報共有
 - 供給情報の川中・川下側への円滑な情報共有
- ✧ 再造林・保育
 - 再造林の効率化
 - 獣害対策の効率化

1.6. 実証事業の目標

令和４年度当初に掲げた目標は、以下のとおりである。

（集約化）

私有林との長期施業委託契約面積：150ha/年

（素材生産）

ICT ハーベスタの導入により、素材生産のコストダウン：500 円/m³

ICT ハーベスタの導入により、確保する新規参入事業体：1 社

（流通・販売）

需要者との情報共有によるバリューアップ、運送効率化のコストダウン：併せて 500 円/m³

安定的な供給体制構築による、ながと型住宅建設：5 棟/年

（再造林）

皆伐実施後の再造林率：100%

ICT を利用した罠によるシカの捕獲：100 頭/年

ただし、シカの捕獲頭数はあくまで目安であり、最大の目的は、再造林地を獣害から守り、苗木を活着させることである。

上記目標の達成度合いについて、次項で評価する。

2. 令和４年度及び令和５年度の実施結果

2.1.1. ICT 機器を用いた境界明確化

令和４年度はスマートグラスとスマートフォンの GNSS を用いた中継システムの実証を行った。スマートグラスでは、中継先の会場での指示をスマートグラスのディスプレイ上に表示できる利点があったが、ブレが酷く、歩行も難しいという課題があった。そのため、令和５年度は低コストで手ブレ補正に優れているアクションカメラによる現地映像を行った。また、精度の高い現在地を示すために、センチメートル級の精度がある中で比較的安価な GNSS である Drogger を使用して、スマートフォンの位置情報の修正を行っ

た。映像を投影するカメラが示す方向(=スマートフォンが向いている向き)について表示することが可能なアプリケーションも使用した。

また、県外の森林所有者が遠隔地からの境界明確化を想定し、事務所と集会所の2ヶ所へ分散する実証も行った。

令和5年度に実施した実証の日時や参加者等を以下に示す。

- ・日付 令和5年10月28日(土)
- ・場所 長門市三隅地区(二か所)
- ・面積 三隅A2.83ha、三隅B 0.54ha
- ・対象者 三隅A公民館5名、三隅B公民館5名、リフォレながと事務所1名



図 6 実証のイメージ



図 7 現場の撮影者の様子

中継については、以下の通り、3つのシステムを用いて行った。複数会場の森林所有者が同じ画面を共有するために、また司会者(リフォレながと職員)が1名で実施するために2つのWEB会議システムを用いて現場と司会者、司会者と各会場を中継する手法で実証を行った。

表 4 中継に使用したシステム

映像	中継者	使用した中継システム
スマートフォンアプリケーションによる現在位置と撮影向き	現場と司会者のいる会場	WEB会議システム1の画面共有
アクションカメラの映像	現場と司会者のいる会場	アクションカメラ専用の中継システム
複数会場での映像投影	司会者のいる会場と各会場	WEB会議システム (現場の2つの情報を画面共有)

参加者に確認したところ、納得感や正確性、将来への期待感など、高い評価を得ることができた。アンケート結果は、下図の通り。



図 8 ICT 機器を用いた境界明確化へのアンケート結果

必要なスタッフの数は、集会場に 1 名、現場に 2 名必要だった。通常の現場立ち合いの場合の境界明確化が 1 名から 2 名であることから、人工の削減にはつながらないが、ICT 機器を使用する境界明確化は、山に行くことができない高齢者や遠方の所有者に対し非常に有効な手法である。

表 5 実証に使用した機器の概算費用（単位は円）

アクションカメラ	Wi-Fi(月単位)	GNSS	スマートフォン	合計
60,000	5,000	120,000	30,000	215,000

2.1.2. ICT 機器を用いた資源量把握・立木評価・施業提案

リフォレながとによる立木評価は、立木データから原木換算による生産予測を実施している。しかし、現地調査と内業に多大な労力・負担がかかることから、地上レーザ機器による立木評価の高精度化・省力化について、検討した。

表 6 使用した機器と生産予測方法

	1本計測	歩行型	設置型
機器名	iPhone	LA01、LA03	OWL
解析ソフト	mapry	mapry	OWL Manager
開発者	(株)マプリ	(株)マプリ	(株)アドイン研究所
レーザ点/秒	非公表	80,000点/秒	43,200点/秒
計測人数	2人(樹高計測時)	1人	2人
計測方法	iPhone搭載LiDARスキャナで、1本単位で樹種確認しながらスキャン	背負い式で、12m幅で歩行しながら連続計測（30分内）	約10m毎に一脚で設置、45秒静止した状態でスキャン林内を一筆書で計測
計測風景			
生産予測	リフォレながと立木評価書 ※等級は、現地調査結果から調整、入力		OWL施業提案作成システム ※ 等級は地上レーザ解析から自動入力

本業務では、立木評価を 4 つの調査地で実施した。また、どの調査地での主伐を実施したことから実績との誤差を検討する。

表 7 調査地の概要と調査方法

○ 調査地一覧

事業地	面積:ha	調査方法	標準地箇所数	調査面積	従来 2人	Mapry 2人	LA01 1人	OWL 2人
事業地 1	2.58	標準地	9	0.1425	○	○	○	○
事業地 2	4.32	標準地	13	0.23	○	○	○	○
事業地 3	0.19	全木	—	0.19	○	○	○	○
事業地 4	0.81	全木	—	0.81	○	○	x	○

○ 標準地、全木調査における面積あたりの平均所要時間			時間：分		
調査方法	項目	従来	Mapry	LA01	OWL
標準地調査(0.01haあたり)	現地調査	0:27	0:56	0:14	0:33
	内業(データ入力・確認)	0:36	0:18	1:28	1:41
	計	1:03	1:15	1:42	2:14
毎木調査(1haあたり)	現地調査	11:01	12:01	0:42	6:04
	内業(データ入力・確認)	1:28	0:32	1:08	1:22
	計	12:29	12:33	1:50	7:26

調査、立木評価に費やす人工について、リフォレながとの従来手法と Mapry で
の調査に差はなかったが、LA01 や OWL では省力化が図れることを確認した。

表 8 機器ごとの調査結果の比較

○ 詳細調査を真値とした誤差

項目	調査地	詳細 調査	詳細調査との平均値の誤差					
			従来	LA01	Mapry	OWL	OWL補 (参)	航空
平均胸高直径 cm	事業地 1	26.5	-2.3	3.3	-0.9	0.3	0.3	0.6
	事業地 2	32.2	-2.0	-1.1	0.4	0.4	0.4	2.2
	事業地 3	35.8	-3.1	-2.5	-0.3	0.9	0.9	-1.1
			-2.2	0.6	-0.1	0.4	0.4	1.4
平均樹高 m	事業地 1	18.4	-0.2	0.9	0.3	-2.2	0.4	-0.4
	事業地 2	24.3	-4.0	0.0	-2.4	-4.1	0.3	-1.3
	事業地 3	25.8	-5.4	1.2	-0.7	-5.8	-0.6	-0.9
			-2.6	0.4	-1.3	-3.4	0.3	-0.9
ha材積 m	事業地 1	668.0	-65.6	225.7	-27.8	-75.8	30.3	-114.5
	事業地 2	1004.7	-234.5	-235.1	-135.5	-289.5	-144.3	-347.0
	事業地 3	1277.7	-382.0	-281.9	-50.1	-371.3	-146.5	-490.6
			-174.8	-56.8	-89.6	-209.4	-76.1	-262.3

※ OWL補は、樹高補正した数値

詳細調査（胸高直は直径巻尺、樹高は超音波測定器）と比較したところ、それぞれの調査手法で差があった。これは、レーザ計測のハード面の性能、解析ソフトの違いなどによる。

あわせて、生産予測から、原木生産予測による生産予測を行った結果、毎木調査手法との差が、生産予測にも比例して大きくなった。

これらは、過去の生産実績に基づいた安全率と等級比率の調整により、精度が向上できることを確認している。

表 9 立木評価の手法

立木評価に必要な指標	従来	実証中の検討している手法
素材材積	毎木調査の立木データから原木換算	航空レーザと地上レーザの組合せ
等級割合	毎木調査時の調査者の経験数値	地上レーザとこれまでの実績
生産原価	現況と地域相場と事業体への交渉	現況と地域相場と事業体への交渉
形質別販売価格	市況と製材所への交渉	市況と製材所への交渉

2.1.3. 素材生産の実施

令和4年度、令和5年度に素材生産を実施するに当たり、下記項目について、実証を行った。

表 10 素材生産実証内容

実施内容	実証で利用した機械やソフト	実証を行った施業地
ICTハーベスタを利用した需要に応じた材長・径級での造材による直送	機械：Waratah社のICTハーベスタ ・細りを予測した採材支援（ValueBucking） ・カラーマーキング ・原木1本毎の造材結果	全現場
電子日報による進捗管理、生産性分析	Googleフォーム（無料）と表計算ソフト	三隅二条久保、扉檜
在庫管理	Ipadのレーザ機能を利用したソフトMapryの検知システム	三隅二条久保

さらに、下記項目について、定量、または定性評価を実施した。

表 11 評価項目

ICTハーベスタ造材とチェーンソー造材の生産性比較	・日報による従来型とICTHVの生産性の定量評価 ・従来型（HV、手造材、初心者）とICTHVによる造材する材長など造材の違い（最適採材との違いを検証する）
ICTハーベスタのスプレー効果の検証	スプレーの有無での仕分けの効率（定性）
Mapryによる検収データと実測データの比較	検収システム実用性（定量）
日報データ・ドローン空撮データ・ハーベスタ造材数量データを使った進捗管理・生産性分析	日報の記録、電子化の有効性について（定性）

(1) ICT ハーベスタの活用

前述した通り、長門では、手造材や0.25ハーベスタが多く、0.45ハーベスタと造材の生産性について、それぞれの事業体ごとに比較を行った。なお、生産性の算出方法について、令和4年度は日報データの造材時間から算出したが、令和5年度は実際の造材している時間のみを計測することにより算出したため、生産性が高くなっている。

表 12 ハーベスタとチェーンソーの造材比較（令和4年）

造材	生産性(m ³ /人日)	造材費用(円/m ³)
ハーベスタ	52.01	951
チェーンソー	18.18	1,117

表 13 0.25HV と 0.45HV の造材比較（令和 5 年）

造材	生産性（m3/人日）	造材費用（円/m3）
0.25HV	124.2	297
0.45HV	270.5	183

表 14 バリュースタッキング（VB）機能の有無による生産性比較（令和 5 年）

造材	生産性（m3/人日）	備考
0.45HV-VB あり	76.8	長門建設業協会 が実施
0.45HV-VB なし	75.7	

比較した結果、チェンソーや 0.25 ハーベスタよりも 0.45 ハーベスタの生産性が高く、導入コストを加味しても、造材費用も有利であることが分かった。

次に、ICT ハーベスタに搭載されているバリュースタッキング機能を利用した造材を行った。長門では、従来、4m のみの造材をして県森連などの市場に販売していたが、「ながと型住宅」にも使用する管柱用 3m 材（径級 16～22）や梱包材用の 2.4m 材（径級 30cm～）の需要が県内や近隣の製材所・プレカット工場にあり価格も高いことが分かった。特に管柱用 3m 材（径級 16～22）は、同じ径級を市場に 4m 材として販売するよりも価格が 3,000 円程度高いため、積極的に採材したい。そのため、ICTHV の細り予測を用いて 2 番玉・3 番玉の採材を重視した採材を行った。なお、梱包用材は、同じ径級の 4m 材と比較すると、1m3 当たり 2,000 円高く販売できた。

バリュースタッキング機能の有無による造材平均単価は約 400 円、有利に造材できた。また、実証を行った造材オペレータからは、細りの予測があるため造材が簡易になった、曲がり等の形質のみを確認すれば良いので造材時の負担が減ったという話があった。

表 15 バリュースタッキング（VB）機能の有無による造材比較

	経験者	初心者
VB機能あり（円/m3）	11,861	14,103
VB機能なし（円/m3）	11,406	13,523
備考	従来は0.25HV	長門建設業共同組合

さらに、ICT ハーベスタに搭載されているカラーマーキング機能を用い、集材、仕分を効率化した。長門では、従来、造材した原木の全量を近隣の原木市場に納材するシステムであった。今回は、管柱用材、梱包用材を、製材工場に直送したことにより、土場での仕分作業が必要になった。仕分を行うオペレータにヒアリングしたところ、直感的に作業ができるため、効率化につながっており、今後もこの機能を継続してほしい、とのことであった。

ICT ハーベスタや直送実証での課題として、ICT ハーベスタでは、細りの予測と実測と合致しない、表示径級が平均径のため最小径と合致しない、キャビンからの直曲判断が不正確、といった問題点も生じた。また、これまでチェーンソーや小型ハーベスタ造材が多い地域のため、大型ハーベスタを使うことで従来よりも丸太に傷がつきクレームとなった。傷については、事前に市場や製材所に説明して合意形成を得ておく必要があり、用途によりつかみ圧を変更するなど工夫する必要がある。

直送の課題としては、曲がりや腐りなどの仕分けの正確性の向上、仕分け・検収実施によるリフォレながとや林業事業体の労務の増加、トレーラーや大型トラック・会社の不足があげられる。

(2) 日報による進捗把握及び生産性分析

本事業では、Google フォームを利用して、日報入力を行った。作業開始前に、作業工程ごとに予定生産性を作成し、オペレータが日報を電子データとして入力することで、事業体やリフォレながとが進捗率を視覚的に把握できた。

表計算ソフトを用いて、進捗や生産性、コストをグラフ化したものが、下図である。

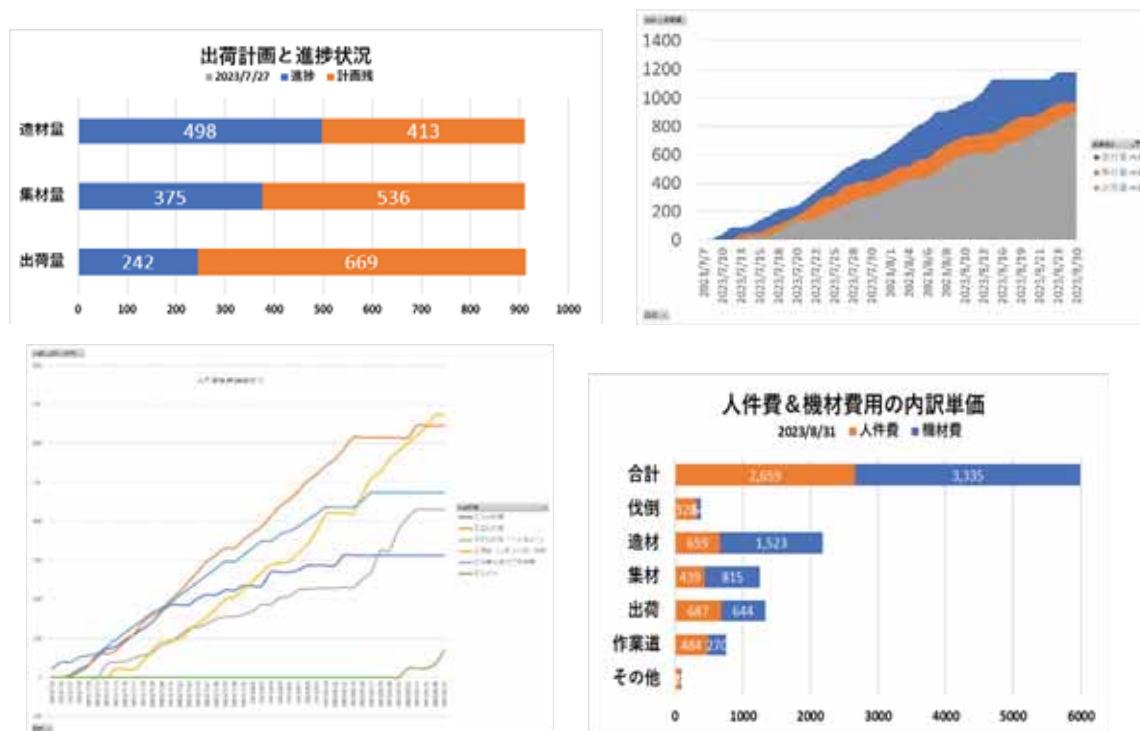


図 9 日報による進捗率や実績の分析グラフ

運用については、入力項目を「作業者」、「作業内容（伐採、造材、集材など）」、「作業時間」、「使用した機械」、「作業量」の5項目のみを入力することで入力時間の省力化を図った。入力者も作業者それぞれが入力する方法と班長がまとめて入力する方法のどちらでも可としたことで、入力漏れが少なくなった。

リフォレながとでは、コストや生産性のデータを用いて、林業事業体への発注額の妥当性や施業の歩掛基準の作成、現場の段取りの検討に活用できる。林業事業体は、作業途中の作業ごとの稼働時間や目標と進捗の差などを確認しながらコスト把握・生産性分析に活用できる。

また、日報データが電子化されていることから、日報の集計のみの簡易な作業で知りたいデータや表、グラフの作成を行えるようになるとさらに利用を進めることができるため、表計算ソフトにて作成を行った。

2.1.4. 再造林に伴う資材運搬

令和4年度は苗木の運搬を行った。運搬効率を考え、ある程度固まった箇所に苗木を運搬したが、ドローンでの運搬後に人力で植栽箇所まで運搬するのに労力がかかった。令和5年度は、植栽効率を考量し、苗木を凡そ0.05ha分を1か所に置くように分散させて運搬した。

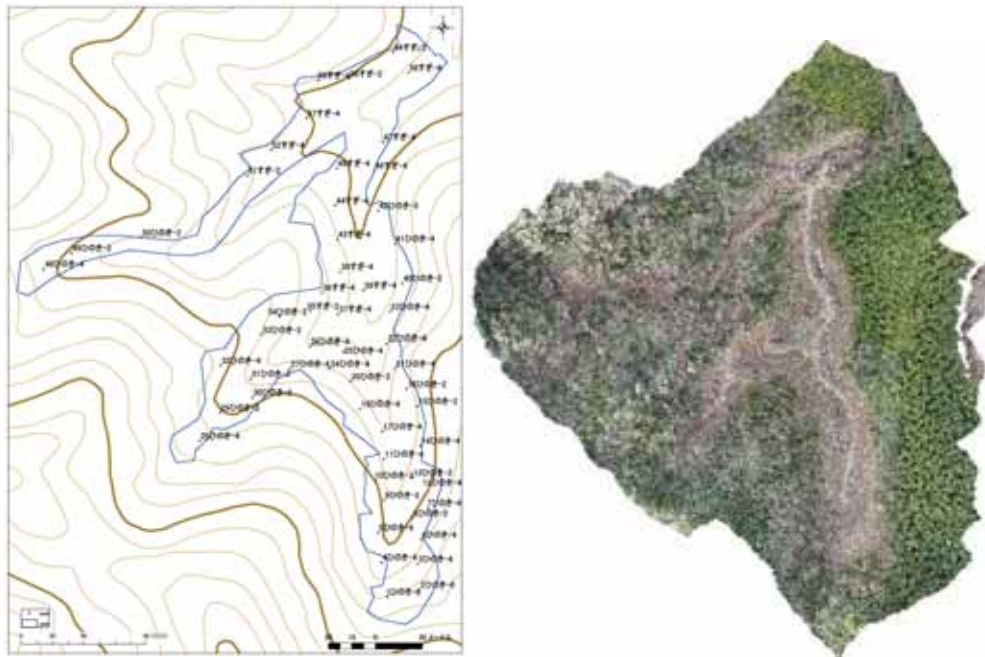


図 10 ドローンにより苗木運搬した箇所と箇所ごとの運搬した資材

令和 5 年度の苗木運搬について、従来の人力による獣害資材運搬と比べ、人工は減少したが費用は高くなってしまった。しかし、作業員にヒアリングしたところ、労働強度の軽減に効果的であった。また、苗木を分散して運搬することでオペレータの移動に時間を要するが、その後の植栽効率が向上した。分散させることの植栽効率について、植栽した事業者へのヒアリングによると 1 人/ha の削減が図れるという意見もあった。また苗木を分散して運搬することが可能であれば、大型苗木を効率よく植栽することも可能である。費用については、ドローン運搬を委託すると、運搬コストが高くなるため、毎年一定量の運搬を行うのであれば、費用対効果を考慮したうえで購入することを検討する必要がある。

表 16 人力運搬とドローン運搬の比較（ドローン運搬は委託を想定）

作業	掛かった人工	費用
人力運搬	2	4 万円
ドローン運搬	1.5	約 35 万円

(3) 獣害ネット用資材運搬

最大 55kg の資材の運搬が可能な大型ドローンで獣害対策用防護柵の運搬を行った。本事業では、獣害資材を 50m 分 1 セットとして林縁部に 50m 毎に運搬し、2 現場計 650m 分の資材運搬を実施した。



図 11 実証の様子

650m の資材を 4 人で 2 時間 29 分の時間で運搬できた。しかし、約 38 万円の委託費が必要だったことから、従来の方法よりも費用は高くなってしまった。しかし、作業員にヒアリングしたところ、労働強度の軽減に効果的であった。

2.1.5. 再造林地の獣害対策のための獣害捕獲

植栽木の食害をなくすこと、リフォレながとの植栽地の見回り軽減、植栽地周辺から鹿を減らすことを目的に猟友会と連携した効率の良い捕獲システムの確立を目指し、実証を行った。

リフォレながとと猟友会の見回り軽減のためのセンサー付き通信機器と小型囲い罠や、長門では事例が少なかったくくり罠を組合せた捕獲を行った。令和 4 年度は 2 地区で実施したが、令和 5 年度は長門市内全域の 4 地区 15.19ha の再造林地で実証を行った。



図 12 獣害捕獲の概要と通信制カメラの映像イメージ

令和 5 年 11 月より捕獲を始め、3 か月でシカ 25 頭を捕獲した。

捕獲の課題として、4 地区で実証を行ったが、地区によっては猟友会の高齢化が進んでおり、山林の険しい地形での捕獲が難しい場合があった。また、捕獲時の巡視やシカを運搬する際に利用したい作業道が急傾斜であったり、ボサの影響で通行できないことも多いため、施業者とも捕獲場所を共有することで協力体制を構築する必要がある。そのほか、植栽地の管理者としては、1 頭でも植栽地周辺にシカが確認されれば、捕獲を依頼したいが、猟友会としては、捕獲効率

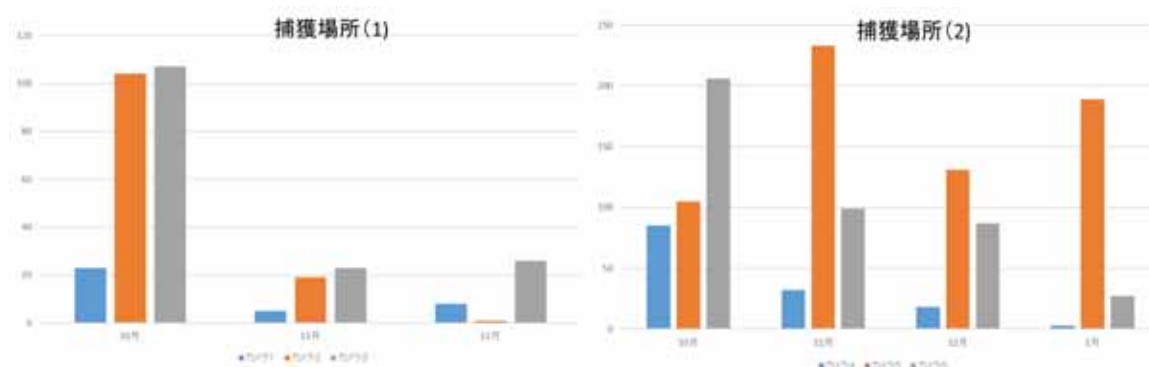
が下がった場合、捕獲の手間が増えるため、意識や手法のすり合わせが必要となることも分かった。

植栽地周辺で猟友会に捕獲をしてもらうことやセンサーカメラの設置は、リフォレながとの植栽地見回り軽減につながる。巡視の軽減効果は、通信制カメラの機械代を考慮しても 70,000 円/年のコストダウンが見込め、今後皆伐が増えた場合に有効な方法であることが分かった。

表 17 見回り効果

5台設置の場合	ハイカムCT4G +見回り(年4回)	見回りのみ (人件費(※))
初期費用	506,000	
ランニングコスト (1年目)	33,900円 +25,000円/回×4	25,000円/回 ×12回=300,000
ランニングコスト (2年目)	133,900	300,000
ランニングコスト (3年目)	133,900	300,000
ランニングコスト (4年目)	133,900	300,000
ランニングコスト (5年目)	133,900	300,000
合計	1,175,500	1,500,000円
1年あたりの費用	231,500円	300,000円

また、シカ捕獲による生息密度の変化を調査した。調査方法は、センサーカメラを用いたシカ出没個体数変化確認法を用いた。結果は、どちらの捕獲場所でも捕獲地周辺ではシカ捕獲を開始後に出現数が減少した。減少した要因としては、冬期に入り、シカの生息場所が変化した可能性もある。また、捕獲場所2では、捕獲をしていない尾根部分に設置したカメラでは出現数が減少していないため、シカの捕獲後の処理に労力を費やす尾根部分でも捕獲をすることも検討する必要がある。



2.1.6. ながと型住宅を核とした需給情報マッチング

長門市では、長門市産材管柱を活用した、「ながと型住宅」の普及に力を入れており、令和5年度は、1棟完工の見込である。ながと型住宅の需給調整は、リフォレながとが実施している。今年度は、これまでリフォレながとの担当職員

が電話による口頭で実施していた需給マッチングや受発注を表計算ソフトのマクロによりシステム化した。

来年度は、実際に運用することでの効果や課題を抽出する。



図 13 「ながと型住宅」今年度完工物件

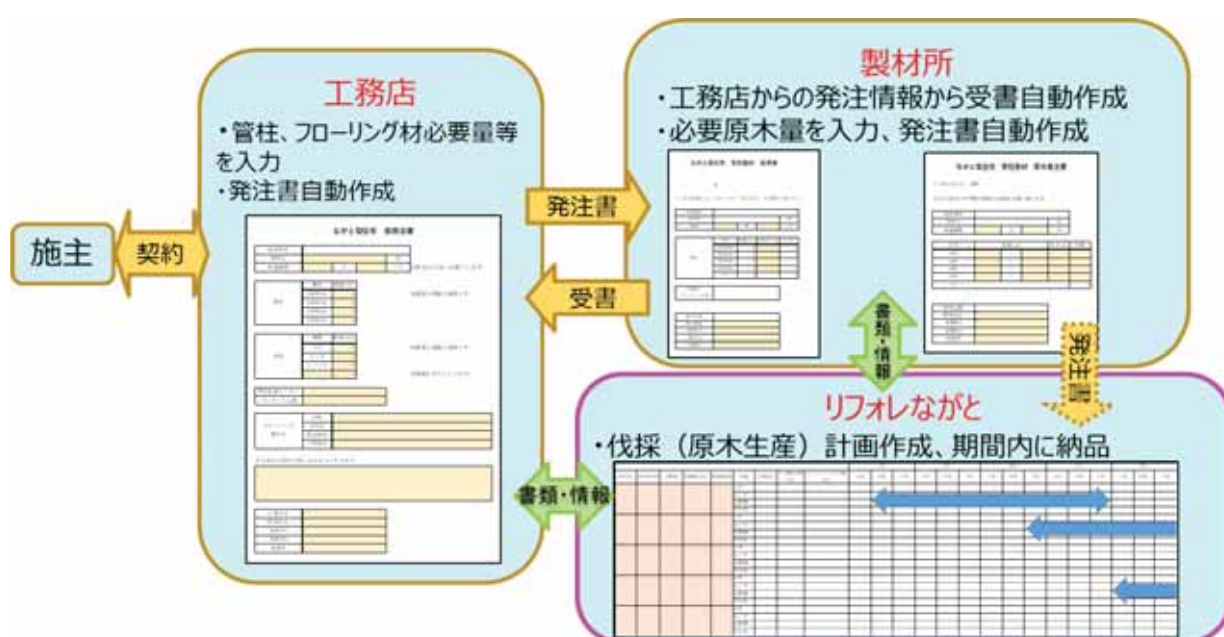


図 14 作成した受発注システムのフロー

3. 令和 6 年度の実施結果

3.1. 実証内容

3.1.1. ICT 機器を用いた境界明確化

令和 5 年度までは地籍が完了しているエリアで伐区確定のために境界明確化を行っていた。今年度は、地籍調査が完了していない森林で境界候補図の策定と森林所有者から境界同意を行った。

境界候補図の策定手順については、以下に示す。長門市は公図が存在しない山林が多く、今回の対象地も公図がない森林であった。そのため、山口県の森林

簿・森林計画図をベースの情報として長門市が取得した航空レーザ計測データを活用して所有者界の素案を策定した。次に森林所有者特定のために林地台帳や地番情報特定のために保安林指定調査図、対象地の森林に詳しい人を境界明確化推進委員に就任してもらいヒアリングを行い、森林所有者や地番の特定を行った。特定した森林所有者に直接訪問して固定資産課税明細書や過去の植栽履歴などを受領して所有山林の位置などの確認を行い、境界候補図の策定を行った。

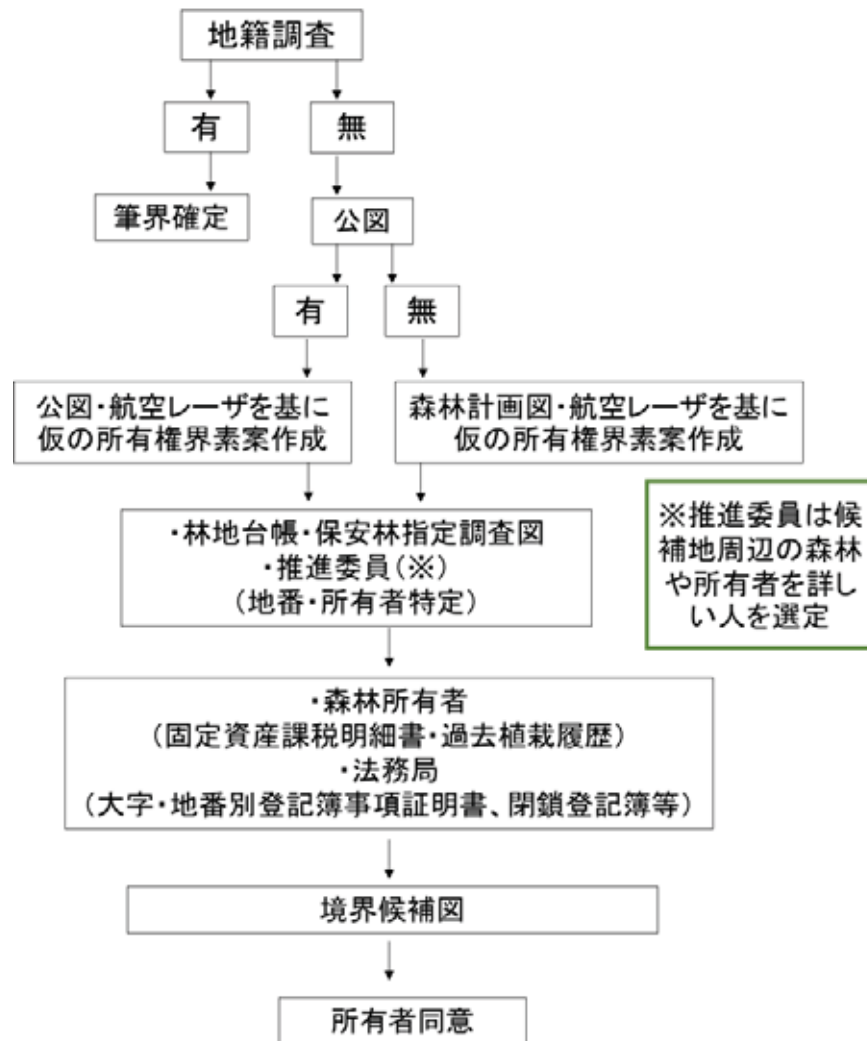


図 15 境界候補図作成までの手順

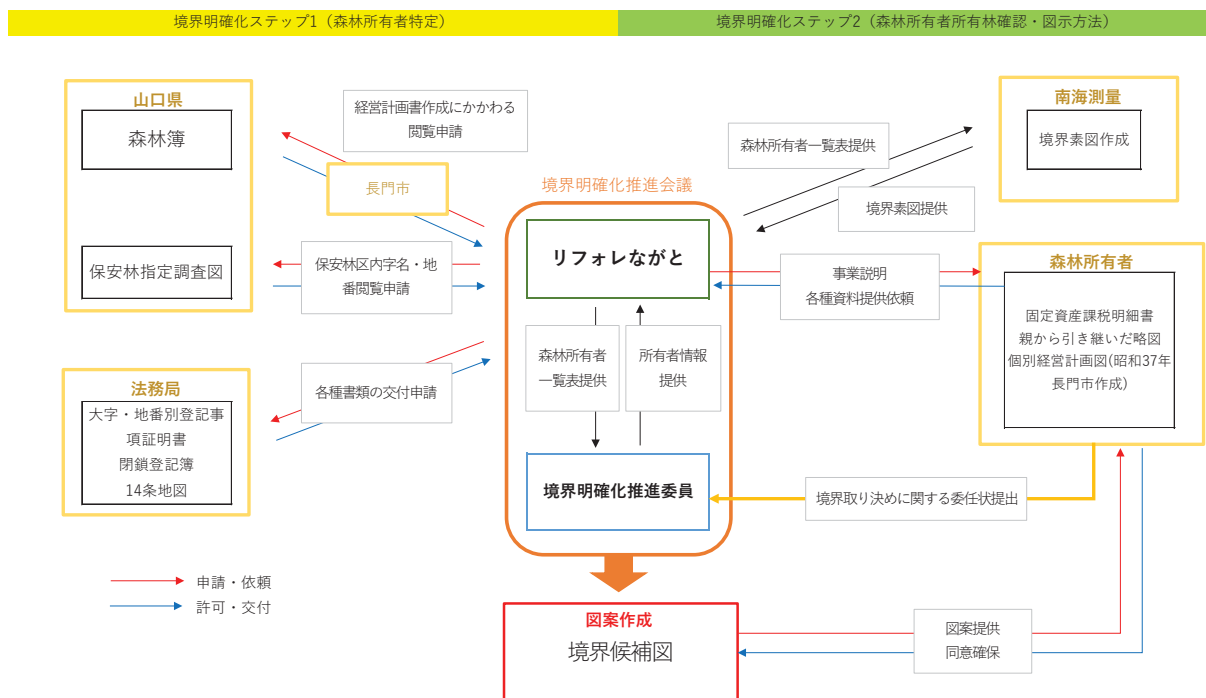


図 16 境界明確化で使ったデータと入手先

作成した境界候補図について、昨年度までの手法と同様にアクションカメラ等を使い、森林所有者が現地に行かずに、境界同意を取得する手法について実証を行った。

森林所有者に提示した情報は、まずは森林 GIS にて地形データや林相区分データを 3D 画像なども用いて説明した。森林 GIS での説明のみで納得した森林所有者が参加者の 88% とほとんどであった。次に山林の様子を映像で確認したい森林所有者に対して現地と公民館の森林所有者が同じ映像を確認しながら相互指示できるように令和 5 年度と同様の方法でアクションカメラと WEB 会議システムを用いて現地映像を投影した。また、現地の場所を示すために航空レーザを解析した地形図や林相区分図を背景にした GPS 位置情報とアクションカメラが向いている向き(=スマートフォンが向いている向き)を表示した。

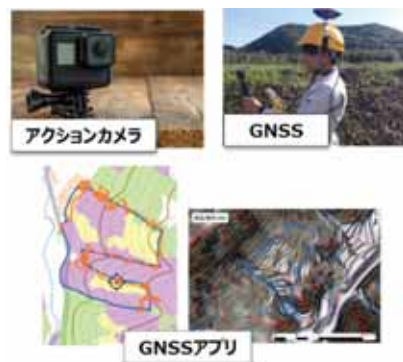


図 17 実証で使ったスマートグラスと実証の様子

参加者に確認したところ、納得感や正確性、将来への期待感など、高い評価を得ることができた。アンケート結果は、下図の通り。

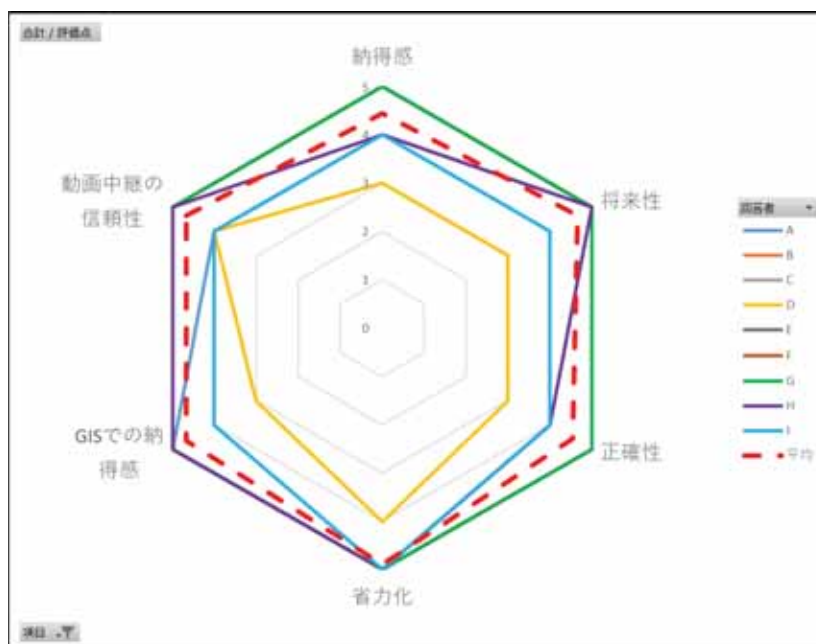


図 18 ICT 機器を用いた境界明確化へのアンケート結果

ICT 機器を使用する境界明確化は、山に行くことができない高齢者や遠方の所有者に対し非常に有効な手法であることがわかった。課題としては、地籍がない箇所での所有者特定には地元の山林に詳しい人（推進委員）が必須であり、詳しい人は高齢な人が多いことから優先順位を決めて境界明確化を早急に必要ながある。

民間事業者のため、公共機関から入手できる個人情報が少ないことも課題であった。入手できた個人情報は林地台帳のみで所有者不明な箇所が 7 割以上あり、所有者特定に苦労した。また、電子データとして入手できる資料が登記簿や森林所有者からの資料も含めて少ないことから、データの電子化に労力を費やした。

3.1.2. ICT 機器を用いた資源量把握・立木評価・施業提案

リフォレながとでは、森林所有者から立木購入による皆伐を進めており、正確な立木評価が求められている。そのため、毎木調査による資源量把握と立木評価・施業提案を実施している。本業務では航空レーザによる森林資源解析、地上レーザ(OWL)にて資源量把握を行い、毎木調査との比較を行った。また、資源量把握のデータを基に、丸太販売価格予測を実施した。

まず、地上レーザの精度について検証を行った。丸太販売価格予測に必要な樹高、胸高直径、丸太ごとの末口直径、矢高（等級）の精度について計測を行った。なお、地上レーザは Mapry 社の LA03 と OWL の 2 種類にて精度の検証を行っ

た。実証結果を抜粋したものを以下に示す。DBHは実測値と比較してLA03は9.4%、OWLは1.6%の誤差率であった。樹高については、両機とも大きな差異があった。丸太ごとの末口直径については、2cm括約の数値として元玉でLA03は16%、OWLは1%の誤差率があり、両機とも先端に行くほど精度が落ちる傾向が確認できた。丸太ごとの矢高についてもLA03は164%の差異があり、等級一致率についてもどちらも2番玉で15%と精度が低かった。

現時点では、径級・等級とも精度は低く、地上レーザの解析による丸太販売価格予測は困難な状況であることから今後もメーカーと連携して精度向上の取組を続ける。ただし、地上レーザはデジタルデータとしての客観性、施業提案時の所有者説明には有効であると考えられるため、対象とする森林所有者の状況によるがDBHの計測に活用する。

表 18 実測と地上レーザの精度結果

	樹高	DBH	丸太ごとの 末口直径(細り)	矢高→等級
LA03	要改善	△	要改善	要改善
OWL	要改善※1	○	△	要改善※2

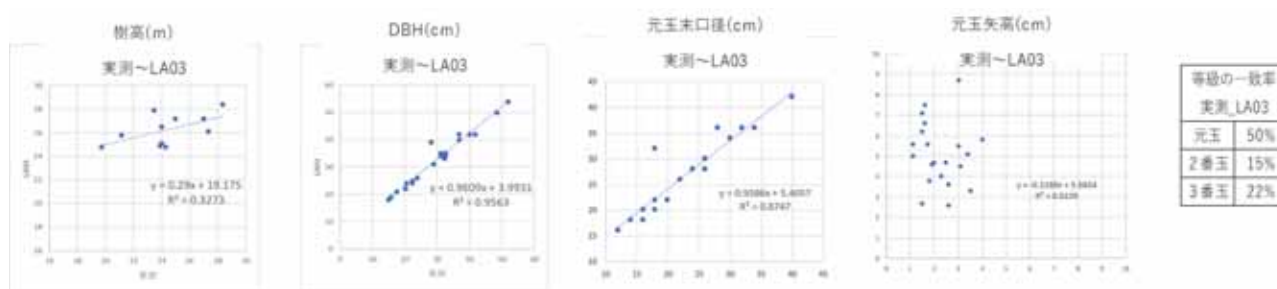


図 19 精度結果 (抜粋)

次に資源量調査の省力化を図るために航空レーザを活用したプロットによる資源量調査の実証を行った。プロットの選定方法は林野庁が公開している「地上レーザスキャナによる収穫調査(令和3年度)」に基づいて実施し、航空レーザ計測の10mメッシュ内の立木密度によるラインプロットを設定する。ラインプロットは伐採地全体と同様の立木密度のヒストグラムになるように設定した。

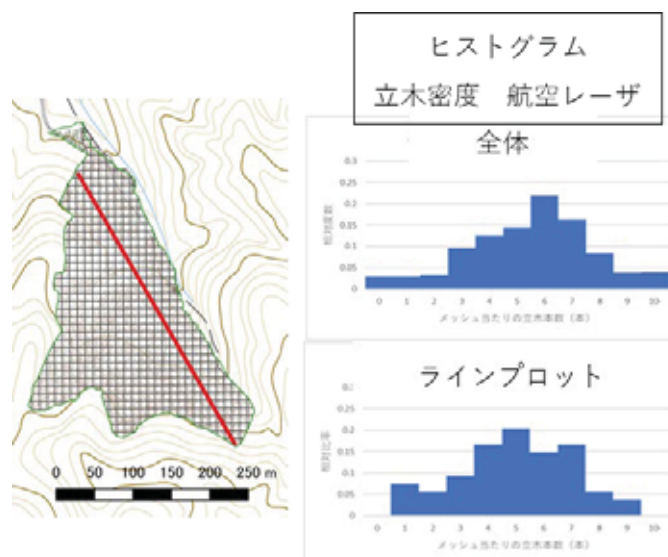


図 20 ラインの位置図と設定したラインと伐採地全体の立木密度ヒストグラム

設定したラインプロット内の全木を毎木調査して、径級は地上レーザ (LA03)、樹高は航空レーザ、素材材積算定のための細り式は山口県調製データ、等級 (矢高) は目視で測定した。

資源量調査の結果を以下に示す。ラインプロットによる伐採地全体の立木材積の推定結果と毎木調査の結果の差異は 3.5% となり実測値の方が立木材積は少なくなった。

表 19 資源量調査の結果

計測方法	計測面積 (ha)	計測材積 (m³)		全体の立木材積 (m³)	②を基準とした差異率
ラインプロット	0.41	298	全体面積に割り戻した立木材積を右欄に算出	4,116 ①	3.5% (①-②)/②
手動による毎木調査結果	5.66	3,978	—	3,978 ②	—

出材見込みとライン調査、毎木調査の素材材積の比較を下表に示す。ライン調査結果と出材材積の見込みの誤差は 5.6% の誤差率となった。

表 20 素材材積の比較

計測方法	面積 (ha)	素材材積		A材 素材材積に対 する割合	B材 素材材積に対 する割合	C材 素材材積に対 する割合
		計 (m³)	出材材積見込 を基準と した素材材積			
ライン調査	5.66	3,339	-2.5%	1,001 30%	1,503 45%	835 25%
毎木調査	5.66	3,168	-7.5%	943 30%	1,431 45%	794 25%
出材材積	5.66	3,426	—	855 25%	1,231 36%	1,340 39%

また、計測した地上レーザデータを用いて生産計画の策定も行った。今年度本事業で皆伐を実施した長門建設業協同組合は、異業種からの参入につき林業初心者であり、山口県主催の研修に昨年度まで参加した研修生が皆伐を行った。昨年度までの研修後のアンケートにおいて研修で林業機械の操作方法は習得できたが、施業手順や作業道の開設線形などの習得が課題であったとの声が多かった。そのため、計測した地上レーザや航空レーザデータについて、森林 GIS を用いて作業道の路線や作業手順を説明した。3D データを活用することで現場開始前に現場の様子や作業手順が分かりやすく理解できたという声があった。

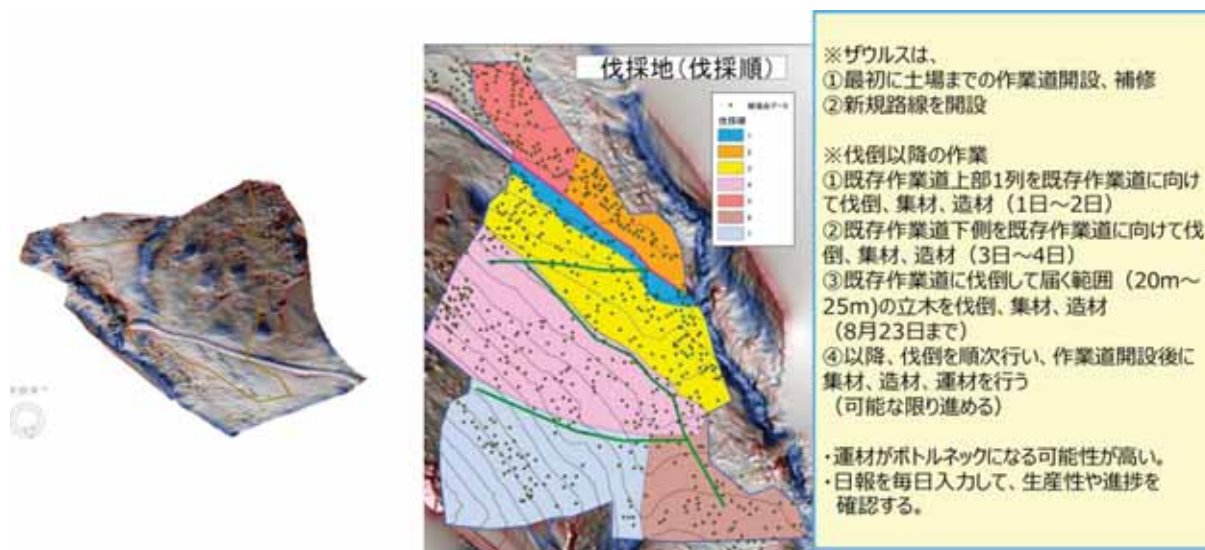


図 21 作成した生産計画の概要

3.1.3. 素材生産の実施

(4) ICT ハーベスタの活用

今年度は、県内ではほとんど事例がなかった県外への直送を行い、より多種多様な造材を行うことで ICTHV の効果を検証した。

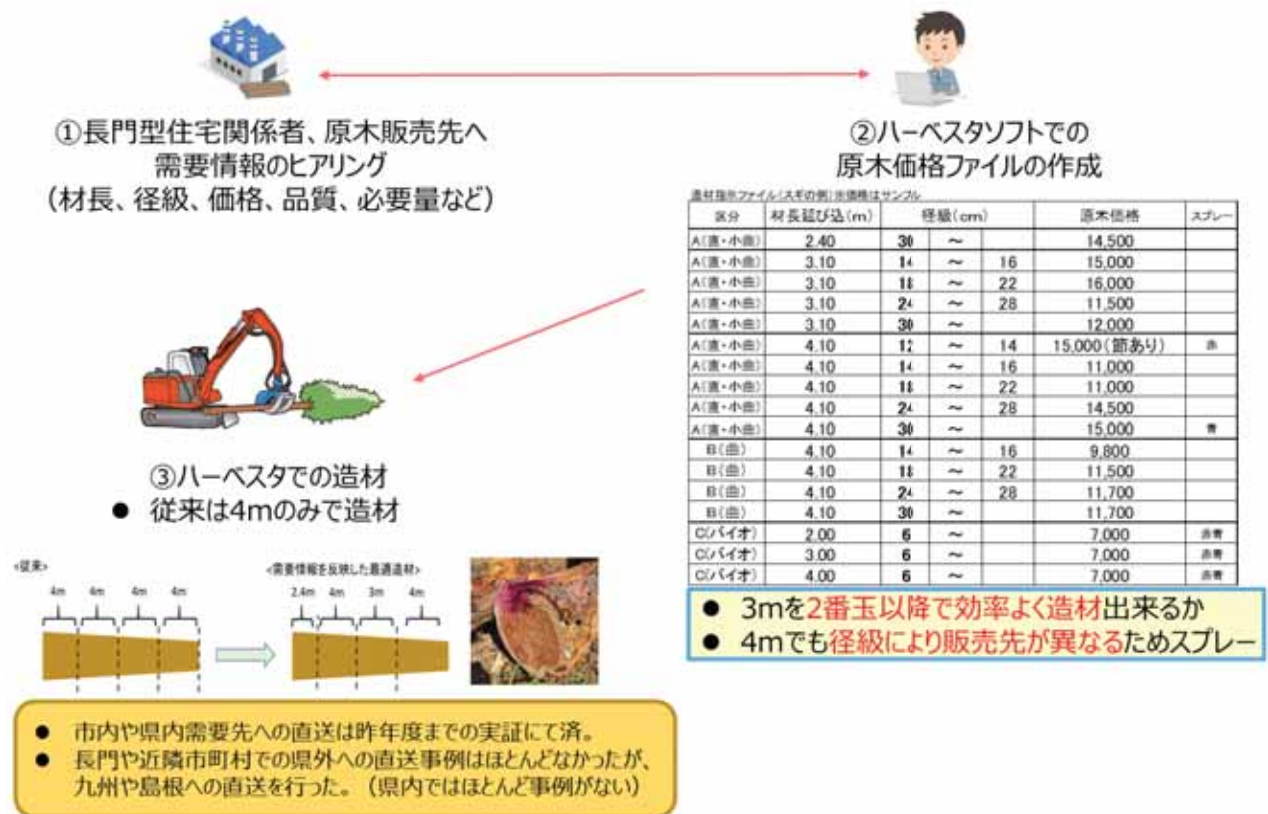


図 22 ICT ハーベスタの実証の流れ

Value バックキングの有無による造材効果を初心者（建設業協会）、熟練者ともに計測を行い実証した。比較した結果、初心者、熟練者ともに、販売価格が高く有利な造材がバリューバックキング機能により可能となることが分かった。

表 21 バリューバックキングの有無による造材比較（単位は円/m3）

	建設業協会（初心者）	熟練者
Valueバックキングあり	10,908	10,861
Valueバックキングなし	10,409	10,406
効果	499	455

また、バリューバックキング有無による造材の生産性も比較した。初心者、熟練者どちらもバリューバックキングありの方が生産性が高かった。この結果は造材時に材長などを検討する必要がないため、造材時間が早くなったと考察できる。

表 22 バリュースタッキングの有無による生産性比較（単位は m³/人時）

	建設業協会（初心者）	熟練者
Valueバッキングあり	32.18	41.14
Valueバッキングなし	27.21	27.81
効果	4.97	13.33

これまで原木市場への販売がメインだったが、長門型住宅に必要な材を含め、県内外の製材工場への直送を行った。直送による効果は、運賃や手数料など考慮しても以下の効果があったが、林業事業体が仕分けなどに慣れていないため山土場での仕分けや検収に時間を要した。

	販売価格（円/m ³ ）（※）	
	スギ製材用	スギ合板用
直送	12,300	10,000
原木市場	10,500	9,300
効果	1,800	700

（5） iPhone 版 Mapry を活用した在庫把握

本事業では、直送を行うため、土場での在庫を把握し、トラックの手配ために、iPhone 版 Mapry を検知アプリとして活用した。



図 23 iPhone 版 Mapry による検知画像

手検知と比べ、検知時間は大幅に短縮できた。しかし本数は正確だが、手検知と比べ径級及び材積に誤差が生じた。スギを測定したことから、色が濃い部分のみを小口面として認識して径級が細くなったことが要因と考えられる。誤差は 10%程度であったことからトラックの手配やリフォレながとの新人や異業種参入者などの林業未経験者が、ある程度正確に、在庫把握や進捗を把握するのに有効であった。

表 23 計測時間と測定した径級の比較



(6) 日報による進捗把握及び生産性分析

本事業では、Google フォームを利用して、日報入力を行った。作業開始前に、作業工程ごとに予定生産性を作成し、オペレータが日報を電子データとして入力することで、事業体やリフォレながとが進捗率を視覚的に把握できた。

表計算ソフトを用いて、簡易に進捗をグラフ化したものが下図である。



図 24 日報による進捗率グラフ

作業別成果量の推移や計画と進捗の差異などによる進捗管理や作業別見込費用により最終的な経費予測、最終的な生産性算定などが容易となった。今後日報データを蓄積して傾斜や地利、資源量と生産性の検証を進める。

3.1.4. 再造林に伴う資材運搬

本事業では、再造林に必要な苗木を電動一輪車で運搬し、再造林に係る労働負荷の省力化と、労働強度の軽減を図った。1ha 分の苗木を運ぶのに費用対効果を検証した。

表 24 電動一輪車と人力運搬の比較（1ha 分）

作業	運搬費用
人力運搬	2,546 円/ha
電動一輪車運搬 (機械代+人件費)	1,944 円/ha

また、特定苗木コンテナ苗の植栽を山口県の第一期として配布を受け、漁業の閑散期である冬の仕事として「山口県漁業協同組合長門支部」が植栽した。



図 25 電動一輪車



図 26 山口県漁業協同組合長門支部による植栽

3.1.5. 再造林地の獣害対策のための獣害捕獲

植栽木の食害をなくすこと、リフォレながとの植栽地の見回り軽減、植栽地周辺から鹿を減らすことを目的に猟友会と連携した効率の良い捕獲システムの確立を目指し、実証を行った。

本事業では、リフォレながとと猟友会の見回り軽減のためのセンサー付き通信機器と小型囲い罠や、長門では事例が少なかったくくり罠を組合せた捕獲を行った。また、捕獲の有無や捕獲したシカの状態が分かることから新鮮なジビエに加工することも可能となるため、ジビエ加工場と連携して捕獲したシカをジビエとして活用し、市内の道の駅などで肉を販売した。



図 27 獣害捕獲の概要

捕獲効果として、捕獲後に捕獲地周辺では減少傾向がみられた。ただし、上流域には増加傾向がみられた地域もあったが、総じて個体数削減及び保護対象区域の植栽地からの追い払い効果が見られた。

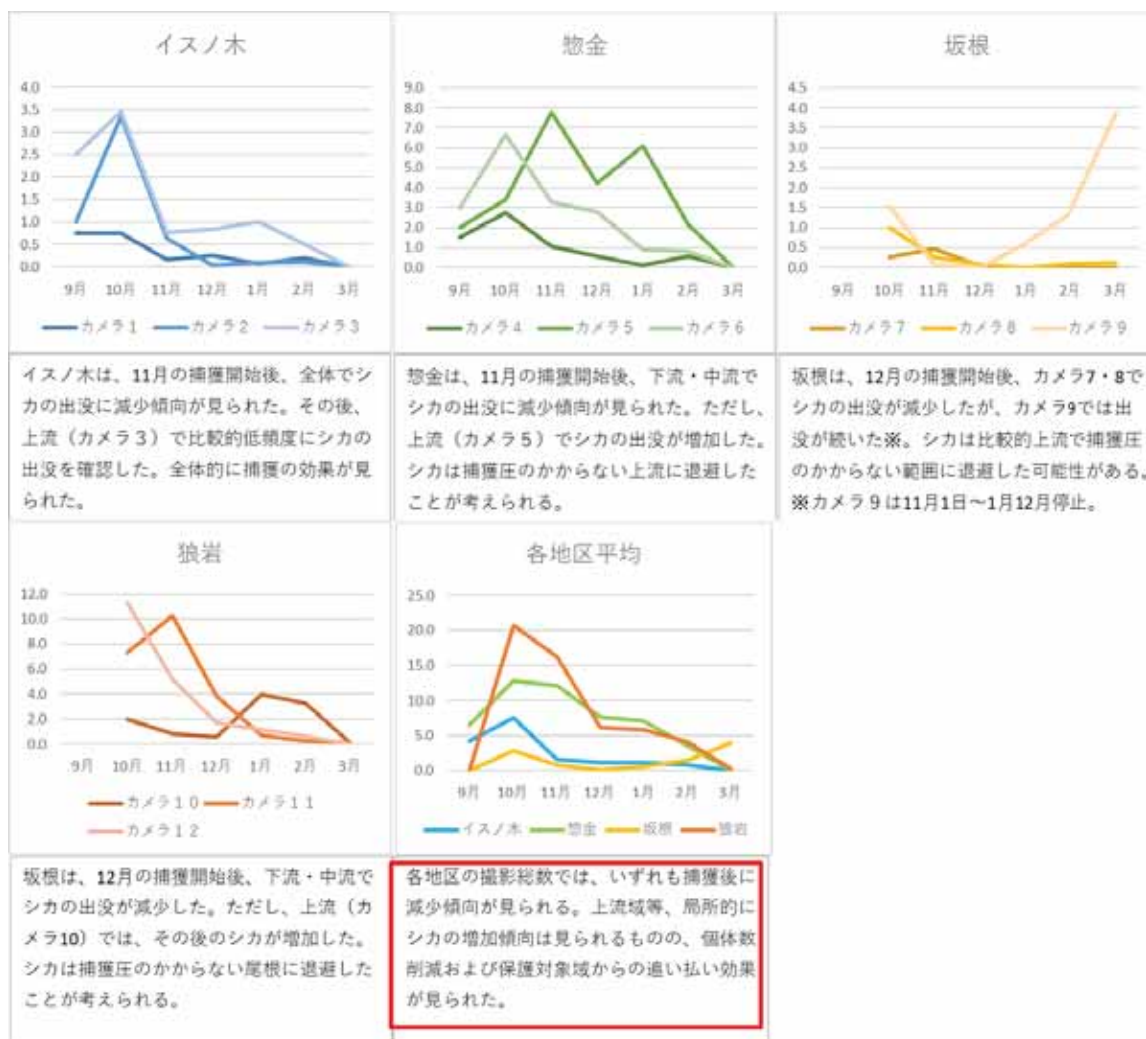


図 28 出現数の推移（令和5年度）

また下表にセンサーカメラに撮影された1日当たりのシカの出現数を示す。罾設置箇所周辺では捕獲期間で出現数が減少していることが分かる。

表 25 1日当たりのシカの出現数

	カメラ	油谷浅井					三隅大平・大久保				
		尾根	罾付近	罾付近	谷	合計	尾根	罾付近	罾付近	谷	M計
捕獲前	6月	3.6	0.7	0.7	0.6	5.5	4.3	0.9	1.3	1.9	8.4
	7月	5.5	1.1	0.7	0.5	7.8	7.5	3.9	1.1	1.2	13.7
捕獲期間	8月	3.3	0.3	0.2	2.0	5.8	2.5	0.9	0.7	0.4	4.5
	9月	5.8	0.9	0.3	2.2	9.2	5.8	1.0	2.1	0.7	9.6
	10月	6.5	0.7	0.9	1.6	9.7	13.3	1.6	0.0	1.6	16.5
	11月	2.8	0.4	0.3	0.1	3.7	12.5	2.7	2.3	2.2	19.7
	12月	9.6	0.7	0.2	1.1	11.6	7.5	0.7	-	9.8	18.0
	1月	8.7	0.3	0.0	1.6	10.6	9.3	0.9	-	5.4	15.5
	計	45.8	5.0	3.3	9.7		62.6	12.5	7.5	23.2	

3.2. 令和 6 年度の実行結果及び取組の評価

I -6 項で示した目標の今年度および令和 6 年度末までの達成見込み状況は、次表のとおりであった。

表 26 目標項目達成見込

目標項目	目標指標	3力年での達成見込状況	備考欄
集約化	150ha/年	190ha/年	150ha/年
素材生産 コストダウン	500円/m3	約200円/m3	手造材や小型ハーベスタとの比較により
新規参入 事業体	1社	1社	長門建設業協同組合が来年度以降の施業を検討中
流通販売 バリューアップ・ コストダウン	500円/m3	約1,300円/m3	最適採材と流通の省力化により
ながと型住宅	5棟/年	5棟	令和 4 年度に達成
再造林率	100%	100%	100%
シカ捕獲頭数	100頭/年	100頭/年(全域に換算)	長門4地区のうち2地区での実施で25頭/年

素材生産のコストダウンには、小型ハーベスタ(0.25)と ICTHV(0.45)の機械代の償却費と人件費を含んだ金額で効果を検証した。また、流通販売やバリューアップ・コストダウンでは、製材用(長門型住宅用など)と合板用を直送した際に直送、市場販売のどちらも検収費や販売手数料を含んだ金額で試算している。また、1,300円と効果が大きかったのは、市場で販売時よりも直送の方が販売金額が高い、山土場での検収費が市場での検収費よりも安くなっていることが要因としてあげられる。

4. 今後の事業の展開方向

4.1. ICT 機器を用いた境界明確化

今年度実施した境界候補図の作成については、デジタルデータでの作成以外に森林所有者などにヒアリングしなければ候補図の作成が難しいことが分かった。一方で、本実証で航空レーザデータや ICT 機器を使った境界明確化は有効だと実証されたので、引き続き境界明確化を推進していきたい。また、個人情報など 1 事業体で入手しづらい情報も多いため、長門市とも連携して境界明確化を進めていきたい。

4.2. 立木評価と生産計画、素材生産

本実証では地上レーザの精度について、検証を行い、有効な点、改善する点について整理した。前述している通り、メーカーによる精度向上が必須となるが、デジタルデータとしての客観性があり、所有者提案につながることから地上レーザを活用していく。また、代表支援機関である山口県農林技術センターは地上レーザ OWL のレンタルなどしており、引き続き情報共有を行い、山口県内での水平転換を図っていききたい。

素材生産については、長門建設業協会が、今年度 1 現場の皆伐を実施した。ICTHV やザウルスロボ、掴み付フォワーダなどを利用して、長門での新規事業参入事業体が少ない機械（初期投資低）で効率よく施業を行うシステムを検討した。来年度以降も継続して皆伐を行う意向はあるが、今年度の課題であった作業手順や林業独自のやり方を習熟するまでには作業員や日数を確保出来なかった。今後もデジタルデータを活用して生産計画を策定して、進捗把握など行うが、素材生産の班長の存在は必須であり、人材確保も課題である。ICTHV については、今後も直送を行うには様々な材長の需要があることから、直送を効率よく実施する手段の 1 つとして検討していききたい。

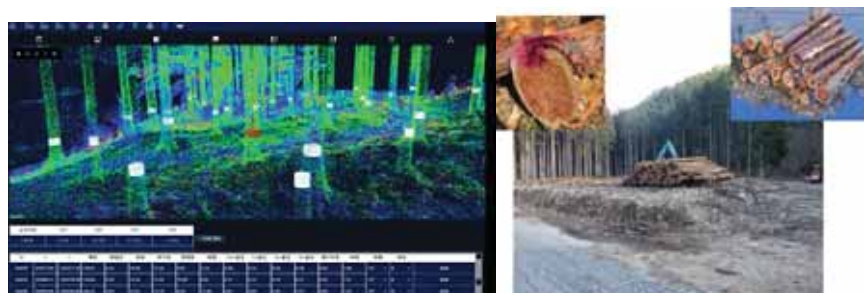


図 29 素材生産の実施内容例

日報管理については、長門建設業協会（初心者）の進捗把握や施業途中での原価計算と見込み、生産性分析方法を検討する。また、立木評価時の施業費や歩掛算定の情報として活用する。

4.3. 再造林・獣害対策

令和 6 年度に長門建設業協会が皆伐予定の箇所において、同じ異業種からの参入として「山口県漁業協同組合長門支部」が、漁業の閑散期である冬の仕事として再造林業務へ参入を行ったが、ドローン運搬もしくは電動一輪車により労務負荷を図り、参入時の課題の抽出を行った。また、山口県で令和 6 年度より苗木の配布が開始される特定母樹コンテナ苗の植栽を行ったが、植栽地の地位

を確認しながら、低密度植栽など低コスト化を今後も検討したい。

獣害対策については、猟友会やシカのジビエ加工所との関係性を構築できた。また、長門市内の造林地ではシカの被害も増えてきているので、長門市、猟友会や森林組合と連携して捕獲と巡視を行う体制を構築していく。

以上

【第3部】

「新しい林業」経営モデル実証事業 3ヶ年の成果

目 次

はじめに

第1章 経営モデル実証事業の取組成果の概要	3
1 北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営	4
2 ICTを活用したCTLシステムによる垂直統合型経営モデルの構築	6
3 川下側の需要を反映した川上での効率的な素材生産及び特定母樹「遠田2号」及び 早生樹「ユリノキ」の低密度植栽による低コスト造林での収支採算性向上の取り組み	8
4 新たな技術を融合させた経営モデル(古殿モデル)の実証	10
5 川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業	12
6 最新式集材機とICTハーベスタ等を核とした主伐・再造林システム実証・普及事業	14
7 京阪奈+三重 需要地と供給地の事業連携による新しい地方創成型 SDGs林業への挑戦	16
8 先進的林業経営体によるタワーヤードフル活用モデルの構築	18
9 森林管理組織「リフォレながと」を核とした長門型林業経営モデル構築事業	20
10 伐境の奥地化に適應した主伐・再造林作業システムの実証 ～最新鋭の架線集材システムの導入による重機集材との二刀流へ～	22
11 「伐採・植栽・楽下刈一貫システム」構築事業	24
12 大隅で持続可能な林業を実現する先進林業モデル事業 —OSUM(Oosumi SUsustainable forest Management Initiative)モデル—	26
別表1 12実証主体の取組総括一覧	28
第2章 実証技術の評価と課題	40
2-1 森林資源把握(森林資源調査)	41
2-2 主伐・素材生産	43
2-3 再造林・保育	49
2-4 流通販売・その他	54
別表2 機械装備及び作業システム等の特性評価	58
第3章 経営モデルの提案とその実現に向けて	59
3-1 「新しい林業」の経営モデルが求められる理由	59
3-2 「新しい林業」経営モデルの検討	61
別表3-1 ICTハーベスタ造材データ連携を軸とした生産・流通の合理化と 造林保育作業の機械化	64
別表3-2 従来型作業システムと新たな作業システム事例のコスト等比較	65
3-3 「新しい林業」の実現に向けて	70
参考	76

はじめに

現行の森林・林業基本計画（令和3年）では林業について「従来の施業方法等を見直し、エリートツリーや自動操作機械等の新技術を取り入れて、伐採から再造林・保育に至る収支のプラス転換を可能とする「新しい林業」を目指す取組を展開する」こととしている。

この森林・林業基本計画について議論した令和2年11月の林政審議会の資料をみると、将来の目標とする「新しい林業」においては、様々な前提条件をおいてはいるが、作業員賃金を現状の16,000円／人日から24,000円／人日としたうえで、造林を行った後に森林所有者にヘクタールあたり113万円の黒字が残る試算を示している。

こうしたことを受け、林野庁では令和4年度から「新しい林業」経営モデル実証事業をスタートし、（一社）林業機械化協会は事業実施主体として令和6年度までの3年間取り組んできた。

事業では伐採から造林・保育に至るそれぞれのポイントにおいて、林業のデジタル化、合理化、自動化等にかかる現在ある技術を現実の生産・造林現場に落とし込み、どのようなメリットデメリットが生じるのか、北海道から九州に至る全国12の地域において林業事業体と研究機関等が実証主体を構成し地域林業における課題の解決方策の実証に取り組んだ。

「新しい林業」は、丸太価格の上昇と経費の軽減により立木価格が上昇し、森林所有者に還元されること、各種作業経費を減少させるとともに軽労化、安全化等が進み林業経営体が利益を得ること、必要な原料が必要な時に必要な量届くことで丸太から製材品を作りだす製材所は経営の効率化・合理化を果たすこと、等により川上から川下までの関係者にWIN-WINの関係を形成し、地域林業に活力をもたらすことを期待するものである。

本報告では、これまでの背景および取組状況を踏まえつつ、上記の考え方に基づいて、本事業の成果を総括することとし、第1章から第3章において以下のことを整理した。

第1章 事業実施の趣旨および先進林業機械化の現況を鑑みて、新技術導入による作業効率化・省力化・収支改善に向けた12団体による積極的な取組の実証成果を総括した。

第2章 「新しい林業」の展開に必要と考えられる現状の先進林業機械や各種技術について、その特徴・メリット、導入に際して求められる条件・環境等を整理して、新しい機材や技術を導入しようとする林業関係者への有益な技術情報として提供した。

第3章 本事業で得られた実証成果及び整理した技術情報をもとに、今後、新しい林業の「経営モデル」として想定される機材・技術の基本構成のイメージを整理するとともに、経営モデルの具体的な取組において考慮されることが望ましいポイント・検討事項を集約した。

第1章

経営モデル実証事業の取組成果の概要

「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」(林野庁補助事業)において、令和4から6年度に実施された「新しい林業」への12団体の取組みについて、その成果概要を取りまとめた。

実証主体12団体の取り組んだ事業は以下のとおりである。

実施事業名 (実施年度)

- 1 北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営 (R4~6)
 - 2 ICTを活用したCTLシステムによる垂直統合型経営モデルの構築 (R4~6)
 - 3 川下側の需要を反映した川上での効率的な素材生産及び特定母樹「遠田2号」及び早生樹「ユリノキ」の低密度植栽による低コスト造林での収支採算性向上の取り組み (R4~5)
 - 4 新たな技術を融合させた経営モデル(古殿モデル)の実証 (R4~6)
 - 5 川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業 (R4~6)
 - 6 最新式集材機とICTハーベスタ等を核とした主伐・再造林システム実証・普及事業 (R4~5)
 - 7 京阪奈+三重 需要地と供給地の事業連携による新しい地方創成型SDGs林業への挑戦 (R4~6)
 - 8 先進的林業経営体によるタワーヤードフル活用モデルの構築 (R4~5)
 - 9 森林管理組織「リフォレながと」を核とした長門型林業経営モデル構築事業 (R4~6)
 - 10 伐境の奥地化に適応した主伐・再造林作業システムの実証
～最新鋭の架線集材システムの導入による重機集材との二刀流へ～ (R4~5)
 - 11 「伐採・植栽・楽下刈一貫システム」構築事業 (R4~5)
 - 12 大隅で持続可能な林業を実現する先進林業モデル事業
—OSUMI(Oosumi SUsustainable forest Management Initiative)モデル— (R4~5)
-

1 北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営

(有)大坂林業 (株)渡邊組 (有)サンエイ緑化
(国研)森林総研 (地独)道総研森林研究本部 (株)フォテク

北欧で実施されているICTを活用した高効率性と低環境負荷が両立する持続可能な作業システムを参考モデルとして、作業計画から素材生産、流通、再造林、保育に至る各工程において、新技術を導入した安全で収益性の高い作業システムの構築に取り組んだ。

1. 生産計画

LiDAR搭載UAVによる点群データを令和4年度に3.5ha、5年度に8ha取得し、ScanXで解析し、地表面抽出、等高線出力、樹木分類、樹頂点抽出、樹高・樹冠面積を把握した。

出材量予測と伐採後の実績比較では高精度な予測が確認され、地域特性に応じたデータ蓄積の重要性が示された。6年度には、3D点群データの森林資源把握・路網計画への有用性が確認され、DEMを活用した作業道作設の効率化と安全性向上を実現した。トドマツ人工林において、オルソ画像と樹高データを用いたAI資源解析を試行し、従来の全木毎木調査(4人・日)と比較して、UAV調査(1人・日)で大幅な省力化と人的コスト削減を達成できた。今後の課題は撮影技術・解析スキルの向上があげられる。

計測データをタブレット端末に取り込み、現場作業者がリアルタイムで確認できる仕組みを整備したことにより、誤作業の防止や計画修正の柔軟性が向上し、現場と管理部門の情報連携が強化された。また、GISソフトと連携し、新設路網の設計や既存路網の把握を効率的に行うことが可能となった。



単木判別、樹冠計測からDBHの推定



携帯端末による現場とのデータ共有

2. 素材生産・流通

完全機械化CTL(短幹集材)作業システムの実証にICTハーベスタを活用し、北欧で川上と川下の間の情報共有システムとして活用されているStanForD準拠のhprファイルを出力することでExcel等での管理を可能にし、位置情報付加や通信機能を持たない普及型ハーベスタを含め、生産性の比較検証を実施した。Timber base Cloudの開発により、地図重ね合わせ機能、材のソート機能、hprインポート機能が追加され、フォワーダ集材との連携を強化した。ハーベスタ計上材積と自動選木機の誤差が5年度は0.1%と極めて小さく、データ活用による流通効率化の可能性を実証した。6年度には、機械検知材の径級区分を人力検知・ICTハーベスタ・製材工場の自動選木機で比較し、ICTハーベスタのキャリブレーションや取引慣行の変革が課題として残るが、機械化による検収作業の効率化・経費削減が確認された。

ICTハーベスタとフォワーダを活用した完全機械化CTL作業システムをカラマツ人工林(約3.4ha)で実証した。StanForDを山側と製材工場間の情報共有の核とし、作業指示ファイルを用いたリミテーション機能やカラーマーキングにより、材の仕分け効率化を実現し、生産量は11日間で704.8m³、作業生産性は64.1m³/人・日を達成した。

また、トドマツ林を対象にICTハーベスタによる原木生産と製材工場での受け入れを実証した。ハーベス

タ計測データと工場の自動選木機データを比較し、高い一致率が確認できた。ICT活用により伐採現場での採材データの即時記録と、材種別・直径階別管理が可能となり、従来の手検知方式に比べ作業効率が大幅に向上した。一方で、製材工場での受け入れ方法やデータの信頼性向上、現場の運用体制整備が課題として残る。

フォワーダ集材では、重量検収の実用性を確認した。また、トドマツ林では全木作業システムで林地残材が質量の4割を占めるため、バイオマス収穫の可能性が示唆された。

3. 再造林・保育

再造林作業の機械化に向け、自動植付け機(Bracke社P12. a)、乗用刈払機(筑水キャニコム社 山もつとモット)、クラッシャー(Seppi社 MINI-BMS125)を活用し、地拵え・植栽・下刈り作業の効率化を実証した。自動植付け機に植栽位置誘導装置を実装し、植栽列の整列性向上と下刈り時の誤伐防止(誤伐率0.8%)を実現した。また、乗用刈払機による列間下刈りの作業工期は0.7人/haと省力化の効果を確認した。6年度には、電動クローラ型一輪車「斜楽」を活用した小型植栽ユニットを開発し、30°の登坂・下降試験でも平地と同様の作業時間で植栽可能であることを確認できた。ただし、等高線方向の移動では地面への干渉があり、改良が必要である。

植栽試験では、自動植付け機と人力用植栽器具(スプレーマーカ、電動オーガ、エンジンオーガ)を比較し、それぞれの作業効率と精度を検証した。植栽位置誘導装置の高い誘導精度により、自動植付け機・人力植栽・乗用刈払機下刈りでの作業効率が向上し、コスト削減を上回る価値を提供できたが、位置誘導装置を外して下刈り作業を試験した結果、「ルートロスト」による作業時間ロスが13%発生し、位置誘導装置の有無が作業効率に与える影響が明確となった。

本実証により、LiDARを活用した高精度な森林資源把握、ICTによる素材生産の効率化、再造林・保育作業の機械化による省力化が確認された。一方で、技術の精度向上、機械化導入のコスト対策、取引慣行の見直しなどの課題も明らかとなり、今後の改良が求められる。



クラッシャー



自動植付け機



乗用刈払機



「新しい林業」PV動画：北海道
<https://youtu.be/g-cNOSRQ204>

2 ICTを活用したCTLシステムによる垂直統合型経営モデルの構築

(株)柴田産業
住友林業(株) 岩手大学農学部

素材生産から再造林、製材までのプロセスを一貫して管理する「垂直統合モデル」の構築を目指し、CTL(短幹集材)システムの採用とICT機器の活用による林業生産の効率化を実証し、その普及に取り組んだ。

1. システム構築

(1) 素材生産管理システム

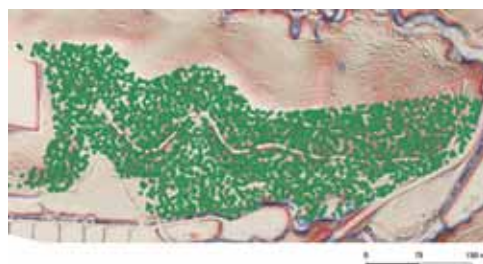
生産計画機能(収穫・搬出材積の管理、複数現場対応、土場管理、機体の走行軌跡記録、メモ機能)と作業進捗管理機能(進捗管理・生産性把握)を構築し、実証と改良を行った。

(2) 造林計画システム

地拵え・植栽・下刈りなどの作業進捗を管理し、地形データを活用して最適な植栽列とトラクタの走行軌跡を設計する機能を構築した。作業班間・管理者間、素材生産部門と製材工場の情報共有を可能にし、CTLシステム導入の判断材料と精度の高い生産計画の策定に寄与した。

2. 森林調査

飛行高度80mで点密度約400点/m²のドローンレーザ計測を実施し、点群データからDEM作成・資源量推定を行った。事前にDSMを取得し、相対高によるコンターフライトを実施し、詳細な森林情報を基に、単木位置・幹材積・地形傾斜などのデータを活用した生産性予測モデルを構築し、伐木造材時間の予測精度を約50%向上させた。柴田産業の全4作業現場でドローン計測による材積推定を行い、目標を達成した。



ドローンレーザによる地形と立木位置

3. 素材生産

(1) 生産管理機能

ハーベスタとフォワーダの機械間連携を強化し、作業班や管理者との情報共有を通じてPDCAサイクルの推進を目的とした。ハーベスタの走行軌跡や造材データを記録し、StanForD準拠データとしてフォワーダと共有することで、経験の浅いオペレータでも生産性を維持しながら作業ができ、集材漏れの防止につながった。

(2) 生産進捗管理機能

従来ホワイトボードで管理していた作業進捗をデジタル化。ドローン計測による地形・森林情報を基に作業計画を作成・登録し、作業実績や在庫数量をリアルタイムで記録・分析。作業計画の見直しや環境配慮の確認が容易になった。システム活用により生産目標の変動要因を分析し、現場作業の改善を図ることが可能となった。



ICTハーベスタとフォワーダの連携

(3) 素材生産コスト

燃料や資材の価格高騰により目標を達成できなかった。前提条件の変動と生産性向上効果を分離して評価するための要因分析が求められる。また、システムへのデータ反映はオペレータが手動で行う必要があり、大曲り材や広葉樹などでは造材データの取得が難しいといった課題が残った。

(4) 作業進捗管理機能

本機能の導入により、途中段階での進捗率の確認が可能となり、月間生産目標との差異（例：機械の故障などの要因）が可視化された。柴田産業では、従来ホワイトボードを用いて作業進捗を管理していたが、新たに導入した進捗管理機能を活用し、実証現場の作業管理をデジタル化した。この機能では、作業前にドローン計測で取得した地形・森林情報を基に作業計画を作成・登録し、生産管理機能にも地形情報を取り込む。作業開始後は、作業実績数量を手動で、在庫数量を自動で記録し、リアルタイムで進捗・採材・生産性を分析する。これにより、作業計画の見直しや環境配慮の確認を適宜実施できる。また、計画時に現場情報や作業計画を登録し、日々の作業実績を記録することで、生産性や進捗率を正確に把握できる仕組みが構築された。素材生産管理システムの活用により、生産作業の進捗状況をリアルタイムで確認・分析できるため、目標生産量の変動要因を随時把握し、現場作業の改善を図ることが可能となった。その結果、このシステムが非常に有効であることが確認された。



リアルタイムで素材生産状況を把握

4. 流通・販売

カラーマーキング機能により、自社製材工場での仕分け作業や在庫管理の時間を短縮できた。原木種別の境界となる径級付近の判別が容易になり、フォワードによる集材時の作業が効率化され、作業時間の短縮につながった。垂直統合モデルにおいては、原木の売買が不要であり、これにより検知作業の省略が可能となった。

5. 再造林

地拵えの機械化のためトラクタに地拵え用アタッチメントを装着し、緩傾斜地での伐根を含む破碎作業を実施したが、急傾斜地では刈払機による対応が必要となった。また伐根破碎物のマルチング効果を評価するためクラッシャーによる地拵えの際、伐根破碎物の散布による競争植生抑制効果を検証したが、期待された効果は確認されなかった。

本実証により、CTLシステムの導入判断基準の明確化、ICTを活用した生産管理の効率化、カラーマーキングによる作業負担軽減が実現可能であることが確認された。その一方、カラーマーキングに伴うコスト増やデータ取得の制限などの課題が残っており、費用対効果を検証しつつ、さらなる改善が求められる。



「新しい林業」PV動画：岩手
<https://youtu.be/Vs2prQ4EW-8>

3 川下側の需要を反映した川上での効率的な素材生産及び特定母樹「遠田2号」及び早生樹「ユリノキ」の低密度植栽による低コスト造林での収支採算性向上の取り組み

守屋木材(株) (株)仙台木材市場 (株)佐藤製材所 (株)寺島木材
宮城県林業技術総合センター

県産材の安定供給と持続的利用ならびに確実な再造林を進め、採材方法による収益改善、伐採～造林～保育及び流通における低コスト化、作業効率の向上を図る。安定供給体制の構築には、素材生産業者と製材・合板需要者間の情報共有等により、素材生産の向上と確実な再造林、山元への収益還元に向けて取り組んだ。

1. 主伐・素材生産

Waratah社製H414のICTハーベスタを用い、川下の需給情報をもとに最適な採材を行う「造材指示事項」をあらかじめ設定し、現場での伐採・造材に反映させた。小径丸太も含めた多様なサイズの丸太を造材できることにより、素材単価の向上が期待され、またICTシステムによって経験の浅いオペレータでも一定の作業効率が見込める点が確認された。

一方で、品質判断をオペレータが担う場面では、熟練度によって判断精度に差が出るため、未熟なオペレータが不適格材を生産し、土場での再仕分けに時間を要する懸念も見られた。カラーマーキング機能は、はい積みや小運搬の現場において仕分け作業を視覚的にわかりやすくする効果があり、現場作業の効率化に貢献すると評価された。また、生産制限機能を活用することで、出荷先ごとの必要本数を自動で管理する仕組みも試行され、従来の手検知に比べて労力の削減が期待された。

実際の労働生産性を比較すると、令和3年度の従来方式による7.9m³/人日に対し、ICTハーベスタを用いた4年度は11.1m³/人日、5年度は9.1m³/人日となった。作業経費も、従来の9,800円/m³から、ICT導入後は最大で1,600円/m³の削減が見られた。5年度の生産性がやや低下した背景には、対象地の面積が狭く蓄積量が少なく、また現場条件や作業者の習熟度の影響があったものと考えられる。ICTによる丸太の検知については、手検知と比べて本数・材積ともにやや過大にカウントされる傾向が見られ、品質の誤認やボタン操作のミスが原因とされる。今後は、こうした精度の見直しとともに、異なる現場条件での作業実績を蓄積し、より効率的な作業方法の検討が求められる。



Waratah社ICTハーベスタ



造材作業の様子



カラーマーキング

2. 再造林・保育

令和4年度にスギ特定母樹「遠田2号」のコンテナ苗を1,600本/haの低密度で植栽し、苗木費用や地

拵え・植栽費用を合わせて521千円/haのコスト削減を実現した。5年度には、下刈り作業を従来の全刈から「坪刈り」へと切り替え、苗木の周囲のみを直径1m程度の範囲で刈り払う方法により、1haあたり56千円(約20%)の経費削減効果が確認された。ただし、坪刈りでは雑草の繁茂によって作業箇所を探す手間が増すこともあり、今後は効率面の検証が必要である。

令和5年度には新たに宮城県の造林樹種として認定された早生樹ユリノキを1,000本/haで植栽し、従来のスギ3,000本/ha方式と比較して大幅な経費削減効果が得られた。コンテナ苗の単価はユリノキの方が高かったものの、本数が少ないため、苗木費用は合計339千円、地拵え・植栽費用は約28千円の削減となり、総額で437千円の再造林コスト削減が実現した。ユリノキは初期成長が速いため、保育作業の省力化も期待されているが、落葉樹であることから植栽位置の把握に課題があるほか、獣害対策の必要性も指摘されている。



スギコンテナ苗の植栽



ユリノキ

3. 経営収支の分析・評価

本実証事業における総収支の試算結果は、当初の目標を上回る成果となった。まず、ICTハーベスタの導入によって、haあたり作業経費が766千円削減されたほか、手検知および丸太輸送時に運転手が行っていた検知作業を省略することにより、さらに73千円の経費削減効果が得られた。加えて、木材検収を写真による検知のみに限定することで、68千円の削減が見込まれた。これらのコスト削減に加え、ICTの活用により丸太1本あたりの単価が上昇し、販売収入の増加分として340千円/haの増収が得られた。再造林においても、低密度植栽や作業方法の見直しにより、521千円/haの経費削減が確認されている。

以上の結果から、令和4年度総収支はhaあたり1,800千円のプラスとなり、当初設定していた収支目標を上回った。また、主伐作業の労働生産性については、チップを含む材積ベースで9.1m³/人日となり、従来型のハーベスタによる7.9m³/人日と比較して約1.15倍の向上が確認され、ICT機能による作業効率の改善効果と考えられる。

今後、従来型ハーベスタによる生産性や作業効率の比較、現場条件を異にする事業箇所での川下側の需給情報に応じた最適採材の効果、検知省略による材積精度の再検証、一貫作業システムによる低コスト再造林の経費削減効果等について検証する必要がある。

ICTハーベスタの計測精度向上には校正作業が重要であること、また、操作の習熟など、オペレータの養成も不可欠であるが、その信頼性が広く認知されれば、検知省略などによるスムーズな流通販売につながると考えられる。新技術導入を契機として、森林調査、伐出作業、造材作業等に関わる慣行の見直しなど、川上と川下の双方に利益をもたらすことが期待される。



「新しい林業」PV動画：宮城
<https://youtu.be/u1vWd4iJPuM>

4 新たな技術を融合させた経営モデル(古殿モデル)の実証

(株)サンライフ

福島県林業研究センター 古殿町

ICT等の新技術活用による伐採、造林、保育作業の軽労化、低コスト化を目指すとともに、効率的で将来的に成長できる林業事業体の体制づくり、投資回収までの期間短縮、内部収益率(IRR)の向上によって、持続可能な木材供給の定着による販路拡大と立木価格の向上を目指して取り組んだ。

1. ICT活用

(1) 路網設計支援ソフトFRDの活用

伐採搬出のための作業道作設の効率化を図るため、FRDを試行した。傾斜30°以上の急傾斜地では、FRDを活用することで踏査作業の効率が向上することが確認された。また測量作業にGNSSを活用することで、省人化(2人作業→1人作業)が実現した。FRDは、路線案の方向感を得るのに有効だが、作業道作設では林内の立木収穫を考慮する必要がある、今後の検討課題である。人力踏査が困難な広範囲の現場では、FRDが有効であると考えられた。



路網設計支援ソフトによる作設路網の検討

(2) ノーコードアプリの開発・活用

林業現場における機械と作業の効率的な管理を目的に、社内でノーコードツールを活用したスマートフォン用アプリを2種開発した。1つは林業機械の管理アプリで、もう1つは現場進捗を可視化する管理アプリである。

これらのアプリを通じて、保有する約40台の林業機械の所在地、稼働状態、給油量を一元的に把握できるようになり、従来の紙や口頭による報告に比べ、事務作業が大幅に軽減された。また、社員を対象とした操作研修(基本編・応用編各3時間×2回)を実施し、社内での運用体制を整備した。

今後、新たな管理ニーズが発生した場合にも、社内で柔軟にアプリを自作・改良できる体制が構築された点は大きな成果である。



ノーコードアプリの活用例

(3) 森林資源量の把握

森林資源の把握に向け、ドローンで撮影したオルソ画像を活用し、樹木を目視マーキングする試行を行った。その結果、胸高直径が30cm以下の細い立木に関してはカウント精度が低いことが判明した。また、スマートフォンを用いた丸太検知アプリの導入可能性についても検証を実施した。製材用丸太を直接工場に搬入する場合には有効性が見込まれたが、ライセンス料の高さや取扱数量との費用対効果を考慮すると、現段階での導入は難しいと判断された。

2. 現場作業の機械化

(1) 地拵え・下刈り作業の効率化

作業負担が大きく人手不足の課題が顕著な地拵え・下刈り工程について、機械化による省力化を図った。

0.45クラスのベースマシンにマルチャーヘッドを装着し、切削刃を替えることで作業効率が向上した。また、0.25クラスのマルチャーヘッドをロングリーチ機に装着し、下刈りの実証を行った。

植栽列に沿って下刈りするため、ヘッドを横置きに、誤伐を防ぐため、カメラ映像をモニターで確認可能に、さらに苗木を物理的に保護するための金属ガードも装備した。ヘッド動作は植栽列に並行に調整されている。この機械化により、人力作業と比較して年間100ha規模の下刈りで約40万円のコスト削減を達成した。とくに夏場の重労働を軽減する効果が大きく、今後の普及が期待される。



ロングリーチ機にマルチャー装着



マルチャーヘッド

(2) 苗木運搬の効率化

苗木の運搬作業に電動一輪車を活用し、最大傾斜19度の斜面やトラバース方向でも安定走行が可能であることを確認した。これにより植栽作業の効率が200本/日から250本/日へと向上し、作業負荷の軽減にも貢献した。

3. 再造林(早生樹の試験植栽)

バイオマス資源の活用を視野に、ユーカリ、ユリノキ、センダン、チャンチンモドキといった早生広葉樹を試験的に植栽した。また、キリやコウヨウザン、スギの大苗による成長調査も併せて実施した。

特にキリは、適切な施肥により1年目で高さ約4m、胸高直径6cmにまで成長する高い成長性を示したが、カミキリムシによる虫害対策にかかるコストが課題となった。コウヨウザンでは約4割の苗木がウサギによる食害を受けており、獣害対策が必要である。



早生樹の植栽

4. トレーサビリティの確保

木材の価値向上と森林の適切な管理のため、エンドユーザーへの働きかけを実施した。施主候補者を対象に、電動アシスト自転車による林業現場のツアーを開催し、また、ハウスメーカーの感謝祭では一般消費者を対象にアンケート調査を行い、森林管理に対する関心度を把握することができた。

本実証により、ICTを活用した効率的な林業経営、機械化による省力化、新たな経営手法の可能性が確認された。一方で、費用対効果の見極めや、害獣・害虫対策、目標林型をどのように考えるかなどの課題も残されており、さらなる改善が求められる。



「新しい林業」PV動画：福島
<https://youtu.be/obrcA8-oEUs>

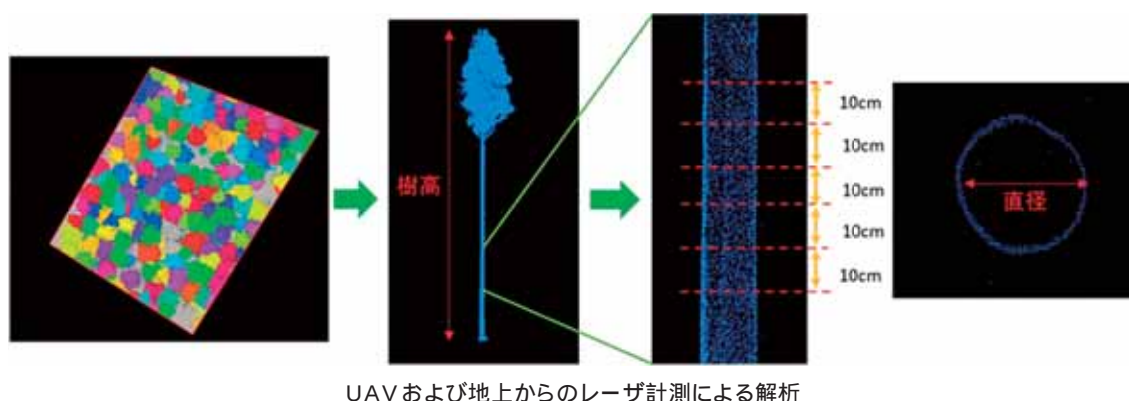
5 川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業

北信州森林組合
信州大学 精密林業計測(株)

新技術の活用による再造林・保育作業のコスト削減を実証するとともに、ICTハーベスタを用いた造材指示による乱尺丸太の生産・納入の可能性を検証する。主伐費用の増加を抑えつつ、納入丸太の品質を維持できるかを評価し、木材の販売価格向上と保育経費の削減により所有者への還元、主伐インセンティブを高めることを目的とする。

1. 森林資源の評価

令和4～5年度にかけて、カラマツ林のレーザ計測と造材シミュレーションを実施した。レーザデータを用いた直径推定は比較的高精度であったが、実際の造材では樹皮の厚みによる直径不足、曲がり材の予測精度の低さ、ヤニ壺や偏材による製材時の品質低下が課題として浮上した。令和6年度にはスギ林の造材シミュレーションを進め、伐採データとの比較を行い、より実用的な予測モデルの構築を行った。



2. 主伐と収支改善

本経営モデルでは、主伐材のA材販売価格を向上させ、A～C材全体の平均単価を上昇させる「マーケットイン」の戦略を採用した。

実証事業では、主伐地全体のA材供給量に対し、実際の建築需要が2棟分と少なく、森林資源調査の測定誤差や内部品質の不適合により歩留まりが低下した。結果として、現場生産A・B材のうち本モデルを適用できたのは1.1%(2.845m³/253.44m³)にとどまり、大幅な収支改善には至らなかった。ただし、本モデルのカラマツ販売価格は26,000円/m³(税抜)で、通常の合板用価格21,500円/m³より20%高く設定できた。今後、適用量を増やすことによる収支改善が期待される。

また、ICTハーベスタの造材指示機能・生産報告機能を活用し、作業の簡素化を図ったが、レーザ計測の誤差や丸太内部品質のばらつき、ハーベスタの測定精度限界、オペレータの操作など、不確実な要因が多く、森林資源データと建築部材の1対1対応は困難であった。適用材積も少量にとどまり、「生産量が多くて処理しきれない状況を解決する」というStanForDの強みを十分に発揮することはできなかった。今後、多対多対応へと発展することで、ICTハーベスタの有効性が高まるものと期待される。

3. 再造林・保育

「新しい林業」に向けた技術革新として、Microsoft HoloLens2を活用した植栽・下刈り作業の支援を実施した。レーザセンサによる地形計測を行い、そのデータを基に植栽位置を決定したが、定期的なキャリブレーション作業が必要であり、作業全体の負担が増加した。また、視界の狭さや長時間使用による乗り物酔いのような症状も発生し、実用面での課題が明らかとなった。

さらに、ヘルメットやフェイスガードの装着ができない点や、ホロレンズに投影される植栽位置が作業後も視認できることで混乱を招くといった問題もあった。これらの課題に対しては、ハードウェアの改良やアタッチメントの開発、プログラムの改善により対応が求められる。現時点では即時実用化は難しいが、技術改良を重ねることで、より効率的な植栽・下刈り作業の実現が期待される。

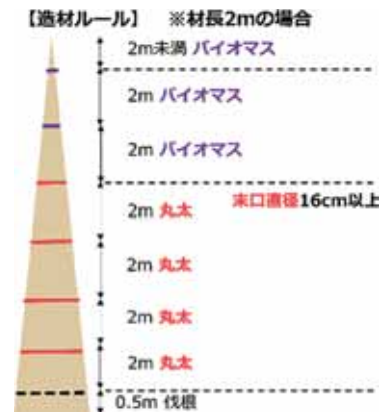


ホロレンズを装着した下刈り作業

4. 経営モデルの構築

本経営モデルの実現は、もはや「可能か否か」ではなく、「いつ・どのように実装するか」の段階に移行している。現在、日本の森林は史上最大の蓄積量を抱えているが、林齢の偏りが著しく、現行の再造林率のままでは数十年後に資源が枯渇するリスクがある。大規模林業地ではバイオマス発電の燃料需要が高まり、A材までもが燃料として消費される危機に直面している。一方、林業が盛んでない地域では他産業との人材獲得競争が激化し、新たな挑戦をする人材が減少している。

この状況を打開するためには、リモートセンシングによる森林資源のデジタル化と、AIを活用した建築用部材の生産・販売モデルの確立が求められる。本モデルでは、リモートセンシングで得られた森林資源情報をAIで解析し、建築側に提供することで、効率的な資源利用を促進する。さらに、地域に大型パネル工場を設置し、建築部材として成形・販売することで、その利益を山の維持管理に充てる仕組みを構築する。



新しい林業への取り組みの多くはコスト削減や省力化に重点を置いているが、本モデルは木材価格を向上させることを目的としており、その点で特に注目に値する。

ただし、マーケットインを目指すには、乱尺造材の歩留まりを向上させる必要があり、今後は高齢林での検証などが必要と考える。



「新しい林業」PV動画：長野
<https://youtu.be/2xWE5w51oXo>

6 最新式集材機とICTハーベスタ等を核とした主伐・再造林システム実証・普及事業

白鳥林工協業組合 中江産業(株)
岐阜県立森林文化アカデミー 岐阜県郡上農林事務所

急傾斜地等で路網開設が困難なエリアでは、架線系システムによる集材の取組が求められることから、主伐・再造林の工程に最新式の集材機とICTハーベスタ等を導入したシステムにおける作業効率及び安全性の向上、林業経営上のメリットやデメリット、導入条件等を明らかにすることをテーマとして取り組んだ。

1. 再造林作業機械の活用

地拵え作業の機械化として、乗用刈払機を使用することで根株処理など一定の作業効果が確認できたが、傾斜25度超や転石の多い場所、地形の凹凸が激しい現場では走行が困難で、岐阜県内では活用可能なエリアが限られた。その能力をより良く活かすためには、地形的に凹凸の少ない緩傾斜地での使用が望ましい。また転石による刃こぼれ、林床の落枝によるクローラの滑りや機体下部への巻き込みが発生することもあり、乗用刈払機の活用の際には注意が必要と考えられた。



乗用刈払機

2. ICTハーベスタの活用とその有効性

Waratah製アタッチメントのICTハーベスタを導入し、自動採材機能であるバリューバックングを用いた造材実証を行った。価格入力に基づく最適採材プラン提案が可能で、特にオペレータの経験が浅い場合に有効な支援ツールとなった。直径計測の精度は手計測との比較ではほぼ一致(15%の不一致も隣接径級)。ただし、採材材種が多い(約15種)場合、バリューバックング機能のみでは判断が難しく、細りや曲がり等の形状は自動検出できず、精度はオペレータの技術に依存することになる。

また、カラーマーキング機能の導入により、玉切りと同時に木口ヘスプレー色分けが可能となり、現場での仕分け効率が向上した。オペレータの降車作業も省略でき、1日15分程度の省力化が見込まれた。さらに、生産した丸太の情報(樹種、材長、直径、材積など)はキャビンで記録され、リアルタイム送信が可能であるが、今回はUSBで持ち帰り運用した。情報共有の仕組みの整備や通信環境の向上が、今後の導入促進の鍵となる。



ICTハーベスタ

3. 油圧集材機と架線式グラップルの導入効果

油圧集材機と架線式グラップルシステムを用いた架線集材作業の実証では、初めて挑戦するチームながら労働生産性は2.99m³/人日を記録した。トラブル発生や架設撤去に時間を要したが、指導を受けつつ行ったことで、作業が進むにつれ生産性が向上し、最終的には26.3m³/人日という高効率を達成した。

架線式グラップルの導入により、荷掛けや荷外しの作業時間が大幅に短縮した。従来型と比較し、荷掛けでは最大106秒(1本掛け)、荷外しでは平均73秒の削減となった。一方で、狙った材をうまく掴めずに時間がかかるなど、オペレータの熟練度に依存して、ばらつきが課題となった。メリットとしては、作業員の斜面移動が不要で安全性が向上することがある。またリモコン操作により2人で集材作業が可能で人員効率が向上すると考えられる。デメリットは500kgという機体重量による最大荷重制限、複数本の同時掴みが難しいこと、バッテリー消費の早さなどがあった。



架線式グラップル(荷掛け手)

導入・維持コストが嵩み、破損リスクもあるため、生産量や現場条件に応じた判断が求められる。集材対象の重量が適正範囲内であれば効率悪化の恐れもあり、特に軽量材区域や長距離搬出では使用可否の検討が必要である。現場での万能ツールというわけではなく、地形や材の条件、オペレータの技量による適用判断が重要である。

コスト面では、油圧集材機の導入による人件費削減効果は年間約226万円と見積もられたが、導入・維持にかかる設備費(減価償却費など)を大きく上回るものではなかった。特に架線式グラップルの導入はコスト的にハードルが高く、集材対象の重量や地形条件、サイクルタイム等に応じて使用可否を慎重に判断する必要がある。

4. 安全性と作業負担軽減効果

安全性については、特に荷掛け作業において顕著な改善が見られた。従来型のように傾斜地で材の上を移動する必要がなく、荷外しでも複数のスリングが絡まるリスクを避けられる。また、斜面での作業量が大幅に減り、夏場作業では日陰での操作が可能であり、ハーベスタのキャビン内作業など、熱中症対策の観点からも有効であることが確認された。

この取組では、機械化による省力化と安全性向上の効果が確認された一方で、各機械の特性や現場条件との適合性が導入の可否を左右することが明らかとなった。ICTハーベスタは一定の効率化を実現したが、流通や通信インフラの整備が不可欠である。架線式グラップルは労働強度の軽減に有効だが、訓練と現場適性が重要である。再生林の機械化については地形的制約があり、今後の改良が求められる。



「新しい林業」PV動画：岐阜
<https://youtu.be/dn5XNpK6uIM>

7 京阪奈+三重 需要地と供給地の事業連携による新しい地方創成型SDGs 林業への挑戦

バイオマスパワーテクノロジーズ(株) (株)玉木材 (株)古家園
(株)森のエネルギー研究所

森林資源調査、主伐、流通、再造林の各分野でICTや新技術の実証を進めた。森林調査では地上・空中デジタル機器による省力化と資源量把握に、主伐では架線集材と林地残材のチップ化によるコスト削減に、流通では製材向けの品質評価と付加価値化に、再造林では獣害対策と新たな樹種・省力技術の導入に取り組んだ。

1. 森林調査

地上レーザスキャナやドローンなどを用いて地上・空中からの森林資源調査を実施し、機器操作やデータ解析技術を習得した。地上レーザスキャナによる単木情報の取得と現地照合では、推計材積と実際の出材量がほぼ一致しており、資源量把握に有効だった。一方、曲がりや傷などの品質面については判断が難しく、製材向け原木の選定には課題が残った。

ドローンによる植林木の生育状況確認や防獣ネットの点検を試行した結果、傾斜地の巡視作業に比べて大幅な省力化が可能であることが確認できた。従来、1~1.5日かかっていた作業を、60分程度の飛行で視認できるようになったことから、今後は年間を通した定期巡回などに応用できると考えられる。

2. 主伐

2年間にわたって2箇所(勢井・川股)で主伐と架線集材を実施した。伐倒にはチェーンソーを使用し、集材にはウッドライナーとグラップルを活用した。伐採・造材・架設撤去まで含めた労働生産性は勢井で約4.2m³/人・日となり、素材生産コストは、令和4年度13,048円/m³に対し、令和5年度は11,924円/m³と約1,100円の削減を実現した。目標とした1万円/m³以下には届かなかったが、今後プロセッサの導入等によりさらなる効率化が見込まれる。また無線通信機器(インカム)の導入により、架線作業中の意思疎通が円滑になり、安全性が向上したほか、ウッドライナーの習熟により作業員の負担が軽減され、現場運営の改善に繋がった。

従来は残置されていた林地残材(枝条や小径材等)を対象に、移動式チップパーによる現地チップ化の実証も行った。1kgあたり9.1円のコストで製造可能となり、近隣のバイオマス発電所でのFIT活用を前提とすれば、経済的に成立する可能性が示された。ただし年間1,725トン相当の残材を確保する必要があり、現在は十分な発生量がないことが課題である。



ウッドライナーによる集材



移動式チップパーによる残材チップ化

3. 流通

森林資源の安定供給と需要サイドとの連携強化に向けて、立木ナンバリングによるトレーサビリティ管理や、

単木ごとの立地・形状・枝跡・材質の照合を行い、原木の品質評価手法を検証した。製材工場への直送では、ヒノキ・スギ各10m³を供給するとともに、立木時に二番玉で高評価の得られる部位を見極め、搬出・加工後に評価との整合性を確認した。製材後のデータから、山側と製材側との基準共有の必要性が示された。

広葉樹を含めた木材の多用途利用を拓くため、RP加工（樹脂含浸）による製品化にも取り組み、スギ材をウッドデッキ材として施工し、高評価を得た。「素材→商品→販売」までの一貫した取り組みと、それに伴うトレーサビリティの確保が木材の新たな価値創出の鍵と考える。

4. 再造林

獣害対策として、歩き道を設けたシカ柵の設置とツリーシェルターの使い分けを行った。ツリーシェルターでは当初、苗の引き抜き被害が発生したが、設置方法の改善により被害が大幅に減少し、効果が確認できた。

広葉樹（センダン・コナラ・クヌギ・ウバメガシ・ミズナラ）の植栽も行い、中でもセンダンは肥料区で良好な成長を示した。直接播種では発芽率が低いという課題もあるが、一定の生育が見られたことで、将来的な省力化の可能性が示された。

また、ドローンや電動運搬機を活用した資機材搬送や植栽支援の実証も行った。斜面での運搬には課題が残るものの、電動オーガによる穴あけ作業では省力化の効果が見込まれた。センダンなどの新たな樹種による育林とあわせ、今後の再造林モデル構築に向けた技術的知見が蓄積されつつある。



製材工場への直送材選定と運送



獣害防護ネット間のシカの歩き道

今後の取組としては、立木データの精度向上と製材側との評価基準の共有、主伐におけるコスト削減、広葉樹などの付加価値化と販路拡大、獣害対策の改善、省力機材の活用ノウハウの確立、地域連携の強化等が挙げられる。これらを通じて、調査・主伐・再造林・流通までの一連の工程の効率化と収益性の向上が求められる。



「新しい林業」PV動画：三重奈良
<https://youtu.be/DPSOsv7TRyg>

8 先進的林業経営体によるタワーヤードフル活用モデルの構築

前田商行(株)
(一社)日本森林技術協会

地形急峻な地域におけるトラック搭載大型タワーヤードによる主伐作業における架線計画の高度化、タワーヤードを活用した再造林の効率化に取り組むとともに、林地残材のバイオマス発電用資材としての収益化、再造林の支出削減等を検討した。

1. 架線計画の高度化

オープンソースのソフトウェア等を活用した架線計画シミュレーションの作業手順を確立することができたほか、机上計画の段階において、令和4年度は213,400円、令和5年度は372,200円の収益改善効果を得る結果となり、タワーヤードを用いた架線計画の検討において最初に実施する机上計画の高度化を実現することができた。

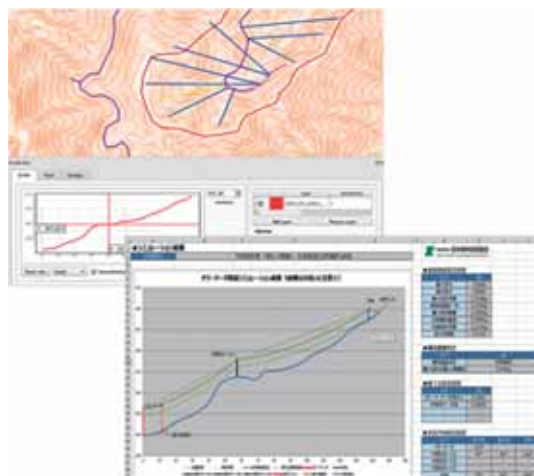
架線計画シミュレーションについて、実証で確立した作業手順では、「QGIS」と国土地理院が発行する基盤地図情報のうち5mメッシュの数値標高モデルを用いた縦断面図により架設状況を「見える化」した。熟練技能者の技術と架線計画シミュレーションの結果を一致させるには、シミュレーションで使用する数値標高モデルから作成した等高線を活用する必要がある。

実際の架線配置は、計画結果を基に現地踏査により決定される。現地踏査では、先柱や主索を固定するアンカーの選定、架線配置に応じた伐倒方法や集材範囲などについて検討することが必要である。

計画の段階でより効率的な架線配置を検討し、さらに熟練技能者の知識や経験を付加することで、タワーヤードを活用した安全で効率的な架線集材を実現することができる。そのため「QGIS」等を有効活用できる人材とタワーヤードを安全で効率的に使用するための知識や技術を有した人材の育成が必要である。



タワーヤード



架線計画シミュレーション

2. 林地残材の収益化

全木集材で発生する林地残材を現場で破碎・運搬して、バイオマス発電用の資材として流通させることによる収益化を検証した。

林地残材を活用したチップの安定供給体制を実現するには、事業量の確保や木材破碎機の性能を最大限に発揮できるチップの運搬体制など、安定供給のためのサプライチェーンを考慮した作業システムが必要となる。また、林地残材をバイオマス発電用として、現場で破碎・利用することを想定した機械装置の開発が望まれる。



チップパーによる林地残材の活用

3. 再造林の効率化・収益性向上

ツリーシェルターの活用では、植栽・獣害対策・下刈りまでを考慮することで再造林の支出を削減できることを検証した。

タワーヤードによる全木集材では、車両系システムによる短幹集材と比較し、地拵えの省略や路網による除地を抑えることで植栽面積が確保できる。さらに、ツリーシェルターによる再造林作業の収益改善を実現できれば、下刈り作業の省略も可能となり、急傾斜地においても、「伐って・使って・植えて・育てる」を実現できるものとする。

ツリーシェルターについては、初期投資の増大を考慮する必要があるため、経過観察が必要となるが、その効果が認められる場合は、植栽本数の削減により初期投資を削減することができる。また、下刈り作業を省略できれば、労働強度や危険性が高い急傾斜地における保育作業が減少し安全性の向上に繋がる。なお、下刈り作業に従事する人員を木材生産等に従事させること等により、事業量拡大や収益性の向上も期待できると考える。

このほかに、タワーヤードによる再造林資機材の運搬方法を確認することができれば、ツリーシェルター以外にも、大苗を用いた再造林の支出削減が期待される。この場合は、苗木購入の経費が増加するが、急傾斜地における大苗の運搬や植栽作業を補助するための機械化等も同時に検討することが必要である。



架線を利用した資機材運搬



ツリーシェルター

これら成果を踏まえ、地形の厳しい地域における効率的な主伐・再造林作業を実現するため、QGIS等を活用した架線計画シミュレーションの高度化と、それを運用できる人材の育成に取り組む。また、林地残材のバイオマス資源としての収益化を図るため、作業システムや機械開発を検討する。さらに、ツリーシェルターや大苗を活用した再造林手法の導入により、急傾斜地での作業の省力化・安全性向上と収益性改善を目指す。



「新しい林業」PV動画：和歌山
https://youtu.be/cRoIW_aa0dg

9 森林管理組織「リフォレながと」を核とした長門型林業経営モデル構築事業

(一社)リフォレながと

山口県農林総合技術センター 住友林業(株)

ICT機器の活用による森林境界の遠隔確認、レーザ計測による資源量把握、ICTハーベスタによる生産性と収益性の改善、日報データを用いた進捗・生産性管理、再造林作業における資機材・苗木運搬の省力化、獣害対策とジビエ活用等に関する実証に取り組み、労働負荷の軽減、作業効率や精度の向上、コスト削減といった成果が得られた。

1. ICTを活用した森林境界の明確化

従来の現地立会が困難な高齢者や遠隔地の森林所有者に対応するため、ICT機器(スマートグラス、アクションカメラ、GNSSなど)を活用した遠隔での境界確認を実証した。令和6年度には地籍未調査地において航空レーザや森林計画図を用いた境界候補図を作成し、88%の所有者は現地に行かずに同意された。一方で、所有者特定には地元で詳しい有識者の協力が不可欠であり、情報の電子化や高齢化による人材確保が今後の課題である。



現場撮影者の装備

2. ICT機器による資源量把握・施業提案

地上・航空レーザを用いた資源量調査では、省力化と一定の精度が確認できた。OWLによる胸高直径誤差は1.6%と良好だったが、等級判定などは難しい。地上レーザは施業提案用の説明ツールとしては有効である。航空レーザによるラインプロット調査では、立木材積の誤差は3.5%、出材見込みとの差も5.6%と高精度であった。これらのデータを活用した生産計画支援は、林業初心者の作業理解にも大いに貢献した。



使用機器：左から、mapry(iPhone)、mapry(LA03)、OWL

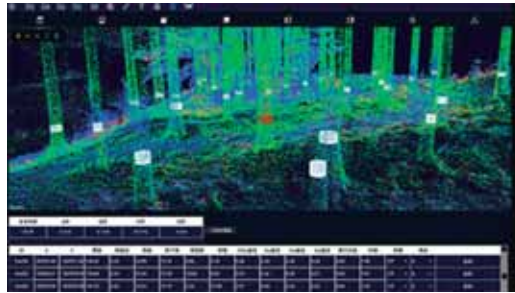
3. 素材生産におけるICTハーベスタ活用

長門地域で従来主流であったチェーンソーや0.25クラスのハーベスタに加え、0.45クラスのICTハーベスタを導入し、生産性やコストの優位性を検証した。特にバリューバックキング機能により、需要に応じた造材(管柱用3m材、梱包材用2.4m材など)が可能となり、従来の4m材よりも高単価で販売できることが明らかとなった。

カラーマーキング機能による集材・仕分け作業の効率化、土場での仕分け作業における直感的な判断が可能となった。一方で、細り予測や表示径級のズレ、直曲判断の不正確さ、大型ハーベスタ使用による丸太の傷といった課題も生じている。

県外製材工場への直送実証も実施し、初心者・熟練者を問わずバリューバックキング機能により販売価格・生産性ともに向上することが確認された。ただし、仕分けや検収に不慣れな場合、山土場での対応に時間

がかかるといった課題も見られた。直送の効率化のため、iPhone版Mapryを活用した在庫把握も行った。検知時間の大幅な短縮が可能で、林業未経験者でも在庫量や進捗状況を一定程度把握できることを確



素材生産作業の実施例

認した。ただし、色味による木口認識の誤差が径級・材積に影響し、10%程度の誤差が発生することも明らかとなった。

4. 日報データによる進捗・生産性管理

現場作業の進捗や生産性を可視化・分析するため、Googleフォームによる日報入力を導入した。作業量や作業量など基本的な5項目に絞ったシンプルな入力形式とし、班長による一括入力にも対応したことで運用性が高く、入力漏れも少ない。生産性目標との比較や、コスト分析にも活用でき、現場マネジメントの効率化に貢献した。今後は地形や資源条件との関係性も検証していく。

5. 再造林における資機材・苗木運搬の効率化

再造林作業の省力化に向けて、苗木や獣害資機材の運搬に多様な手法を導入し、効果と課題を検証した。ドローンによる苗木運搬は、初年度は集中的な運搬方法を採用したが、作業者の負担が大きく、翌年には小面積ごとの分散配置に切り替えることで作業効率が改善された。一方で、ドローンの委託費が高額なため、購入も視野に入れる必要がある。防護柵資機材の運搬にも大型ドローンを使用し、作業効率は高かったが、費用面での課題が残った。電動一輪車を用いた苗木運搬では、コストを抑えつつ労働負荷の軽減が確認できた。



電動一輪車

6. 獣害対策とジビエ活用

再造林地における獣害対策として、通信カメラと罠を併用した捕獲システムを導入し、シカの個体数削減や見回り作業の省力化を図った。令和5~6年度には合計4地区・約15haで実証を行い、出現頻度の低下や、巡視コストの削減効果も確認できた。高齢化や地形条件などにより捕獲活動に制約があるものの、ICTと地域資源を活用した獣害対策は、植栽木の保護と管理の効率化に有効であり、今後はその持続性と体制強化が求められる。

ICT機器を活用し、森林境界の遠隔確認や資源量把握、スマート造材、生産性管理、再造林作業の効率化、獣害対策などに取り組み、労働負荷軽減やコスト削減、精度向上に成果が得られた。一方で、情報の電子化や担い手の高齢化、機器精度や運用面での課題も明らかとなった。今後は、デジタル基盤整備と地域連携により実用化と普及を目指す。



「新しい林業」PV動画：山口
<https://youtu.be/7Z0pBm9zGlg>

10 伐境の奥地化に適応した主伐・再造林作業システムの実証 ～最新鋭の架線集材システムの導入による重機集材との二刀流へ～

(特非)ひむか維森の会
宮崎大学農学部

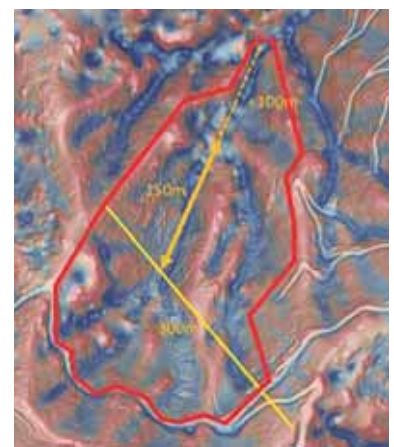
林業ICT導入について、油圧集材機と架線グラップルの導入により安全性と労働生産性の向上が確認された一方、1日あたりの生産量やコスト面での課題も明らかとなった。また、ドローンやアシストスーツによる再造林作業の軽労化効果が示された。さらに民有林の模擬入札を通じて、価格形成の多様な要因や入札制度の課題も整理された。新技術導入と作業システムの最適化の両立が今後の普及の鍵となる。

1. 架線集材におけるICT機器導入の実証

油圧集材機(YR302E)と架線グラップル(BLG16R)の導入による主伐作業の効率化と安全性向上の可能性を検証した。架線集材は急傾斜地での搬出作業で稼働しているが、架線グラップルについては従来型のものと比較して本当に生産性で上回るかという点については、事業者の慎重な姿勢がある。

現地での実証作業では、架線グラップルと通常搬器の両方式を切り替えながら活用し、それぞれの作業効率と安全性を比較検証した。グラップルによる集材では、ラジコン操作により荷掛け作業者が自ら搬器を動かすことが可能で、作業の自由度が高まり、安全性も向上したという評価が得られた。特に、谷筋など危険な地形では、グラップルによって安全な位置からの作業が実現し、技術習熟が進むにつれて生産効率も改善された。一方で、横引き距離が長くなると油圧式集材機では搬器の移動速度の遅さが顕在化し、最終的には従来の機械式集材機に戻して作業を完了させる必要が生じた。

生産性の面では、グラップル方式は労働生産性で20%の向上が見られたが、1日あたりの総集材量は低下しており、全体の売上高に影響するという課題が明らかになった。機械導入による追加コストを吸収するには、さらなる作業量の確保や、2オペ化によって浮いた1人の活用法を工夫する必要がある。架線グラップルは通常搬器と競合する存在ではなく、用途や地形に応じて併用するなど、それぞれの強みを生かせる可能性が示された。



集材架線の設計



架線集材作業

2. ドローンによる資機材運搬の実証

再造林を見据えた技術として、大型農業用ドローンを転用して、急傾斜地での苗木やシカ柵資機材の運搬作業の効果を検証した。抜屋林業の伐採跡地において、ドローンはおよそ70mの距離を5分程度のサイクルで往復し、苗木2,000本を90分ほどで搬送し、人力運搬と比較して生産性は約3倍に達し、重労働の大幅な軽減につながった。また、ドローンによる正確な資機材配置を目指してRTK誘導も活用されたが、測位の安定に時間がかかるなど、現場での運用には改善の余地も残された。



ドローンによる資機材運搬

3. アシストスーツによる造林作業の軽労化

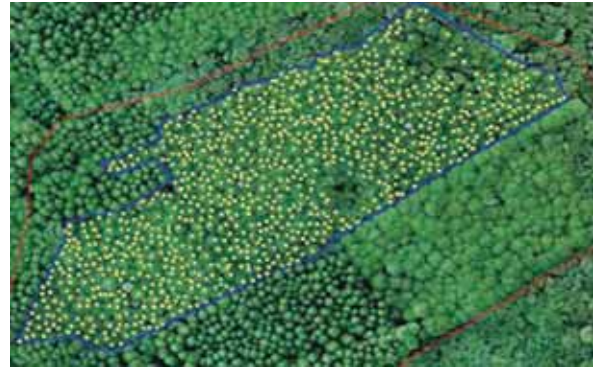
造林作業の軽労化に関しては、アシストスーツの導入も試みられた。パッシブ型とアクティブ型の2タイプ計5種を導入し、特に下刈り作業での使用効果を検証した。パッシブスーツでは効果が限定的で、急傾斜や不安定な足場ではかえって動きの妨げになりストレスや疲労が増す傾向が確認された。一方、アクティブスーツは、植栽作業や資機材搬入など動作が比較的単純な作業において、特に体力に不安のある作業からは好評価を得ており、今後の活用可能性が示された。



アシストスーツを着用した資機材運搬

4. 民有林における立木公売の模擬入札

民有林における立木公売のあり方について模擬入札を通じた分析を行った。小林市内の民有林を対象にドローンレーザ計測による森林情報を提供した上で、地元事業体による入札とその評価を行った。入札形式による価格競争の効果は確認されたが、価格決定にはデジタル情報だけでなく、実地の状況や作業リスク、搬出条件、他社の動向など、複合的な判断が大きく影響した。また、価格の裏には伐出後の対応や再造林への取り組みといった見えないコストが存在するため、入札価格をそのまま適正価格とするには慎重な検討が必要であるという課題も示された。



立木購買でのデジタル森林情報の提供例

以上の実証結果から、架線集材へのICT機器の導入によって林業の労働負担や安全性に明確な改善効果が見られた一方で、生産性や導入コストに対する慎重な評価が引き続き必要であることが確認された。とりわけ、架線集材技術の高度化と再導入に向けては、単なる機械導入にとどまらず、作業システムそのものの最適化と、浮いた労働力の再配分を含めた新しい運用モデルの構築が求められる。また、再造林の現場では、ドローンやアシストスーツなどの新技術を活用することで、高齢者や女性の就労を支援し、労働力確保と持続可能な林業の基盤形成につながる可能性がある。



新しい林業」PV動画：宮崎 - ひむか
<https://youtu.be/7fiUo9CPUPg>

11 「伐採・植栽・楽下刈一貫システム」構築事業

都城森林組合 耳川広域森林組合
宮崎県林業技術センター、豊田通商㈱

都城森林組合および耳川広域森林組合において多様な技術・機械を用いた実証試験を行い、森林施業の省力化・低コスト化、就労環境の改善に向けた取組み・検討を行った。

1．都城エディションによる中出し

都城森林組合で改良した4トン4WDダンプ(通称:都城エディション)を用いて、短尺材および用材の中出し作業を実施した。短尺材の中出しでは、約2,000m³分の材積を対象に運搬を実施。従来の積込み・小運搬経費3,500円/m³に対し、9%のコスト削減を達成した。しかし、バイオマス向け短尺材の買取価格が想定より安い4,000円/m³となり、作業員への支払い単価も同水準の設定となった。持続的な施業のためには、買取価格6,500円/m³程度が必要である。用材の中出しについては、同じく約2,000m³の材積を対象に実施し、中出し経費は1,186円/m³であった。従来単価1,654円/m³に比し28%のコスト削減を実現した。



4トン4WDダンプ
(都城エディション)

都城エディションの課題として、雨天時のチェーン装着、落下バークによる路盤補修の必要性があり、伐出路規格(例:全幅2.2m、最大勾配40%、最小曲線半径4m)の整備と普及が不可欠である。また、砂地や湿地でも走行可能なタイヤの開発が望まれる。

2．電動一輪車による苗木運搬

コンテナ苗約20,000本と広葉樹大苗330本の運搬を行ったが、傾斜35°程度の急傾斜地でも安全に運搬可能であり、アウトリガーの効果もあり安定した作業が実現した。大苗運搬でも良好な成果が得られたが、電動オーガに苗の踏み固め機能がない点は改良が求められる。

3．防草シートの耐久性および忌避効果の検証

木タールを含浸したコーヒー豆袋の麻シートを3カ所(2ha)に敷設し、また胡椒麻袋と木タールの組み合わせによる鹿忌避効果を7カ所(12ha)で試験した。これにより、下刈り人工数(54人/ha)を平均68%削減できた。従来の忌避剤は効果が数か月であったが、今回使用した油性木タールと工業用アルコールによる含浸処理で、有効期間の延長が期待された。今後も忌避効果やマルチング効果(地温上昇による成長促進)について定量的な実証が必要であるほか、忌避剤の作成作業等の改善が必要である。



防草シートの敷設

4．マルチャーによる地拵え

マルチャーの使用により、枝葉の粉碎物が下草の生育を抑えるマルチング効果が認められ、下刈り作業の

負担軽減につながった。35°程度の傾斜地でも重機が通れる作業路を確保すれば運用可能であることが確認され、急傾斜地の多い地区でも活用の可能性が見いだされた。今後は、稼働時間の最大化のため1か月単位の作業計画の策定と、皆伐終了後の迅速な情報共有体制の構築、そして高技能オペレータの育成が課題となる。

5. マルチャーによる下刈り

マルチャーによる下刈りを5haで実施し、haあたり経費70,000円～175,000円、人工数2人/ha～5人/haであった。従来の下刈りコスト(180,000円/ha、10人/ha)と比較して最大61%のコスト削減、最大80%の人工削減を達成した。急傾斜地でも路網沿いでの筋刈りや法面での作業が可能であり、0.2クラスの小型重機でも対応できた。ただし、既植栽地では苗木の誤伐を恐れる声があり、普及には意識改革と操作技術の習熟が必要である。



マルチャーによる下刈り作業

6. ドローンによる資機材運搬

大型ドローンを用いて、シカ防止ネットとコンテナ苗を同時に運搬する実証を行った。1日あたり、ネット1,400m、苗1,200本を4人で運搬し、コストは149,000円であった。移動費や設置費の削減、現場での負荷軽減、新規就業者のモチベーション向上など、副次的効果も大きい。一方で、初期費用・保守費用が高額であり、天候やバッテリー稼働時間に作業が左右されるため、運用の安定性には課題が残る。また作業地の条件が地域によって異なることも考慮した比較検討が必要である。

7. 軽トラックによる苗木運搬

メッシュ袋(苗木40本収納)による運搬を試行し、約10,000本を搬送。従来の「コモ」(100本束)と比べて積み込みが効率的で、苗の損傷も少なかった。加えて、苗木の根の状態が確認できるため、品質管理の観点でも優れている。ただし、長年コモを使用してきた苗木生産者の間では、新方式への転換に抵抗があり、周知と意識改革に時間を要することが想定される。

短尺材の中出しやマルチャーの活用などによる省力化・軽作業化の可能性が確認された。都城エディションの導入により、小規模事業地でも運搬の効率化が可能となり、再造林率の向上や作業の持続性につながる成果が得られた。一方で、労務単価や資機材価格の見直し、機器導入に伴う技術支援、現場従業員への理解促進など、現場実装に向けた課題も浮き彫りとなった。防草シート、ドローン、一輪クローラなどの実証について、効果検証や改良を重ねていく。下層植生や立地条件を踏まえ、継続的な検証と情報共有が求められる。



「新しい林業」PV動画：宮崎・都城・耳川
<https://youtu.be/kXgbCgZ8Q8M>

12 大隅で持続可能な林業を実現する先進林業モデル事業

—OSUMI(Oosumi SUsustainable forest Management Initiative)モデル—

(株)岡本産業 上野物産(株) 駿河木材(有) 山生産業(株) 大隅森林組合 山佐木材(株)

鹿児島大学農学部

素材生産50万m³を担う鹿児島県大隅地域における持続可能な林業を実現するため、先進林業モデル(OSUMIモデル)として、主伐後の確実な再生林による森林資源の保続、次世代の林業経営や従事者のための安全な林業、機械伐倒主体の素材生産システムや低密度植栽等の導入、ウェブ需給マッチングによる稼げる林業に取り組んだ。

1. 森林資源調査

大隅地域では、森林簿の地位区分が「地位中」に偏っており、林分ごとの成長量や収量の正確な評価が困難だった。そこで、デジタル航空写真からSfM技術を用いて得られたDSMと、LiDARによるDEMの差分から林冠高(DCHM)を求め、鹿児島大学高隈演習林でのスギ人工林160林分(計463ha)に適用した。結果、林冠高と林齢の関係から新たな地位評価が可能となり、主伐対象林分の選定精度が向上。地位再評価により、50年生時点での収穫予測量が14,567m³増加した。

さらに、肝付町では森林資源把握のために航空写真3D化による林冠高解析を行い、高蓄積林分のゾーニングを実施。主伐対象林分ではドローンによる作業前後の撮影と3D解析によって、収穫予測と生産実績の比較が可能となった。

2. 主伐(機械化施業による生産性と安全性の両立)

本事業では、チェーンソー伐倒に依存しない機械化素材生産システムの構築を目指し、ロングリーチハーベスタやフェラバンチャー、グラップルソーといった高性能林業機械を導入した。肝付町後田の実証地



ハーベスタヘッド

(1.4ha)では、チェーンソー伐倒を約79%削減し、757m³の素材生産を達成した。伐倒から造材までの作業生産性は25.6m³/人日と、従来の18.8m³/人日から約1.36倍向上した。

作業の進捗や生産量の変化を把握するためにドローンを用いた空撮・3D解析を活用し、切株の数や位置をもとに、オペレータの習熟度や日ごとの生産量の変化を分析した。その結果、作業初期の18m³/日から約1週間で30m³/日超へと生産量が増加するなど、短期間での操作技術の習得効果が確認された。

一方で、機械導入には高額なリース費用がかかり、今回の3機種のリース料は合計約594万円にのぼった。また、機械の作業半径に応じた高密度な作業道の整備(今回の実証では約428m/ha)が必要となり、伐出コスト全体は従来より増加した。

こうしたことから、コスト抑制には広面積での施業実施や高材積の確保により、機械の稼働率を最大化することが不可欠である。さらに、地形や既存路網に応じた効率的な作業道設計、安全性を確保した路網開設技術、そしてオペレータの育成体制の整備が、機械化主伐の定着に向けた重要な課題であるといえる。

3. 木材流通(ICT活用による検収・需給マッチングの効率化)

本実証では、木材の流通・販売過程においてもICTを活用し、現場の業務効率化と情報の透明化を図る取り組みを実施した。

中間土場でのICT活用として、スマートフォンで丸太の画像撮影・検収を行う原木検収システムを導入した結果、市場検収と比較して5%以内の誤差であり、実用可能な精度を有することが確認された。これにより、検収作業の省力化だけでなく、加工業者や買い手側との迅速な情報共有による取引の透明化が期待される。

木材需給のマッチングに向けて、既存のGoogleクラウドサービスを活用した簡易なWebシステムを構築し、需要者が希望する木材の規格や数量を「需要者入力マトリクス」に記入し、生産者側はそれに応じた供給情報を登録することで、相互にマッチングが可能となる。今回、その基本的な操作性や情報集約の実現可能性が示された。木材流通におけるICT導入は、省力化・効率化だけでなく、需給のミスマッチを解消し、木材販売の計画性を高める可能性を示しており、今後の運用体制の整備が期待される。

4. 再造林

主伐後の連続的な再造林を実証した。地拵えでは、山間部での作業に適した乗用型草刈機(山もっとモット)や、0.4クラスバックホーに草刈りクラッシャーを装着して実施した。クラッシャーでは地面の雑草木を粉碎できるため、地拵え作業が不要になる可能性が示された。

植栽では鹿児島県の優良品種「県始良20号」を用い、1,500本/haの低密度でコンテナ苗を植栽した。苗木運搬にはドローンを活用し、約2,500本の苗を30本ずつ袋に入れ、2人で3時間で作業を完了した。作業道がない斜面では有効な手法と確認された。

また、植栽配置については機械下刈りに対応した植栽間隔(1.9m×3.5m)で実施し、下刈り機械の搬入・旋回のための余地を確保することとした。



クラッシャーを装着したバックホー

本実証事業では、森林資源調査による高蓄積林分の抽出、ICT・高性能機械による機械伐倒、画像検収やマッチングシステムによる流通効率化、低コストかつ省力的な再造林の実証まで、一連の作業が実現された。一方で、高性能機械の有効活用にはオペレータの熟練、広面積での連続施業、路網整備など、コスト回収に向けた体制構築が必要であることも明らかとなった。今後は、生産性評価を継続しつつ、経営体としての持続可能性を視野に入れた取り組みが求められる。



「新しい林業」PV動画：鹿児島
<https://youtu.be/J0gJG03WzvK>

別表 1 12 実証主体の取組総括一覧

実証主体1 北海道 (テーマ) 北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営 (背景) 高効率、低コストな素材生産実現のため、林分資源や事業地微地形等の安全で迅速な把握とともに、各種データ処理による完全機械化作業システムの導入、ICT 機能のフル活用が課題。また将来の労働力不足を見据え、造林保育作業の機械化や ICT 化が課題。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源 把握	・人力事前踏査 ・人力收穫調査 (標準地調査・毎木調査) ・人力周囲測量 ・人力踏査による路網設計	・UAVを活用した資源管理 ・LiDAR搭載UAVを活用した路網設計	・光学 UAV (通常型) 及び LiDAR 搭載 UAV による森林資源内容の把握、3D 地形モデルによる伐採作業計画の策定 ・LiDAR 搭載 UAV による CS 立体図から作業道開設計画策定	・地形を含めた森林構造、樹木分類、樹頂点、樹高、樹冠面積等の解析に加えて、AI を活用した自動樹冠抽出を実施。これにより、高い精度の資源把握や出材数量予測が可能となり、従来の標準地調査や毎木調査作業等現地調査の大幅な縮減、省力化・効率化を実現 (人力調査 9,000 円/ha → LiDAR 搭載 UAV 1,900 円/ha、光学 UAV 5,300 円/ha。事務作業 75% 削減) ・UAV 取得データから、CS 立体図上で既設路網と伐採予定樹木の位置情報を重ね表示し、新設路網計画の検討が可能	・伐採～造林保育作業を担う各事業体、また川上～川下を通じた関係者による取得データの共有・活用 (データ循環サイクルの構築) ・伐採データとの整合性
主伐・ 素材生産	・ハーベスタ伐木造材 ・フォワーダ運材	・ICT ハーベスタ、フォワーダの完全機械化 CTL システムの構築 ・ICT ハーベスタによる最適採材、素材データを ICT 生産流通管理	・製材工場の需要情報に基づく ICT ハーベスタによる最適採材 ・ICT ハーベスタのカラマーキング機能による効率化の仕訳 ・GNSS 付属ハーベスタとフォワーダの生産、集材データによる丸太の図上管理と在庫管理 (Timber base Cloud) ・造材データ活用による検知省略	・迅速で柔軟な需給マッチングの実現 ・集材時の識別を容易化し、作業効率化を実現 ・災害リスクの軽減 ・ハーベスタの移動経路、フォワーダによる丸太の移動表示や在庫を明らかにし、丸太生産・流通を効率化 ・製材工場自動選木機で計算された材積とほぼ変わらず、十分な精度を確認 ・ICT ハーベスタによる造材データに基づく新たな木材取引の可能性 ・丸太検知に係る人件費の大幅な削減 (人力検知の 1/10) ・材積誤差は僅かであり、重量検収の可能性	・森林域での通信の確保 ・カラマーキングの多色化または仕訳種類の簡素化・ルール化。日本の気象環境下に適したインク ・トレーサビリティの確保
流通販売	・人力山元検知 ・製材工場自動選別機	・ICT ハーベスタによる検知自動化	・フォワーダ積載質量、積載比重から積載材積を予測 ・前生樹、伐根全数切削 (末木枝条破砕) ・植栽位置誘導システムを実装した自動植付け機 (ソフトウェア製) による植栽 ・小型植栽機による植栽	・選木機や ICT ハーベスタで処理量データを管理する工場では受け入れの可能性 ・小規模製材工場では受入れ時、選木時、製材機投入時にも寸面 (末口径級表記) 確認するため、人力検知省略に難色 ・ハーベスタコンピュータ操作の技術習得体制が未整備	
再造林・ 保育	・人力地植え ・人力植付け ・人力下刈り	・クラッシャー、乗用刈払い機 (山もつとモット) による機械地植え ・植栽位置情報を活用した植栽作業の機械化 ・植栽位置情報を活用した保育作業の機械化	・フォワーダ積載質量、積載比重から積載材積を予測 ・前生樹、伐根全数切削 (末木枝条破砕) ・植栽位置誘導システムを実装した自動植付け機 (ソフトウェア製) による植栽 ・小型植栽機による植栽	・計画植栽位置に岩、伐根がある場合は実位置と若干のズレ ・植穴開けに時間がかかる。装置完成度が低く改良が必要 ・位置誘導ズレに起因し若干誤伐発生するため、作業開始時に位置ズレ補正が必要 ・乗用下刈り機での列間刈時の誤伐率は極めて低いが、その後の人力補整刈りで誤伐が発生するので、位置情報を人力作業にも活用することが必要	

実証主体2 岩手
(テーマ)ICTを活用したCTLシステムによる垂直統合型経営モデルの構築
(背景)林業経営体の素材生産計画・管理、造林計画・管理等のシステム化と実証・普及、さらには森林調査のICT化や造林機械の導入が課題。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源 把握	・人力事前調査 ・人力収穫調査	・ドローンレーザによる地形データ把握と 森林資源把握	・ドローンレーザ計測データの解析により、 冠ササイズから直径を推定し、資源量を 把握 ・従来型データの解析により、単木位置、 幹材種、地形傾斜等を基に生産性予 測モデルを作成	・施業提案や立木購入に必要な森林資 源情報、地形情報の把握の効率化、 森林調査の省力化などが可能 ・伐木造材時間を予測可能(50%精度)	・レーザ計測データの解析処理の習熟、 高機能ソフトの活用 ・機械の移動、メンテナンス、準備作業 等の時間予測等が課題
主伐・ 素材生産	・ハーベスタ伐木造材 ・フォワーダ運材 ・人力検知	・ICTハーベスタとフォワーダのICTデー タ連携により、CTLシステムを前提とし た垂直統合型素材生産管理システム の構築	・ハーベスタ、フォワーダの走行軌跡や 生産造材丸太の生産量、位置情報の データ連携 ・現場ごとに現場情報、作業計画と作業 進捗管理をパソコン上で情報共有 ・ICTハーベスタのカラーマッピング機 能による効率的仕訳、自動検知	・StanForDに連携したハーベスタ造材 データを簡単に利用できるシステムを 構築し、生産現場の作業実績や丸太 在庫情報などのデータ連携により、素 材生産部門と製材部門間の作業進捗 管理や生産性管理に反映させ、垂直 統合型のPDCAサイクルを実現 ・カラーマッピング機能による生産材の 径級判別機能を確認 ・オペレータの仕訳時間の短縮、自社製 材向けの人力手検知作業の省略によ り、生産性が向上、出材量増加を確認 (生産性 従来型10m ³ /人日→R5: 32.6m ³ /人日、R6:42.2m ³ /人日、生 産コスト2,000円/m ³ 低減) ・従来型の検知・積込、荷下ろしコスト の低減(167円/m ³ 削減)	・データ連携(システムへの反映)の自動 化(現行はUSBによるデータ移行)を 可能とする通信環境の整備 ・森林資源データと素材生産データを基 にした生産性等予測から立木購入時 の見積制度の向上 ・CTLシステムの導入には、事業地の確 保、稼働率向上が必要 ・StanForD形式に未対応な機種や CTLシステム以外の作業システムへ の作業進捗管理や生産性管理システ ムの普及
流通販売 再造林・ 保育	・人力地植え ・人力植付け(普通植栽) ・人力下刈り	同上 ・機械地植え(トラクタ) ・低密度植栽(機械下刈りを前提とした 植栽密度) ・機械下刈り(トラクタ)	同上 ・クラッシャーを装備したトラクタによる伐 根破碎等地植え	・緩傾斜地での伐根破碎によるマルチン グ効果(競争植生の抑制、植栽木の 生存率向上)は不明確	・機械が稼働可能な地形条件を有する 事業地の確保、稼働率向上が課題

実証主体3 宮城

(テーマ)「川下側の需要を反映した川上での効率的な素材生産と特定母樹及び早生樹ユリノキの低密度植栽による低コスト造林での収支採算向上の取組」
(背景) 国産材需要の高まりに伴い県産材生産の増産が必要となるが、このためには、主伐による収益増加と木材流通及び再造林保育作業の効率化、低コスト化を実現し、適正な山元還元が不可欠。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源 把握	・人力事前踏査 ・人力収穫調査(毎木調査) ・人力周囲測量 ・人力踏査による路網設計				
主伐・ 素材生産	・チェーンソー伐採 ・プロセッサ造材	・チェーンソー伐採 ・ハーベスタ伐採・造材	・川下の木材需給情報に基づく造材指示データをICTハーベスタに入力し、有利な最適採材の造材作業	・伐木造材作業の生産性向上(R3:7.9m/人日→R4:11.1m/人日、R5:9.1m/人日)、生産コスト削減(R4:△766千円/ha推定)	・さらなる生産性向上には事業ロットの拡大及び土場スペースの確保等が必要
	・フォワーダ運材	・ICTハーベスタによる最適採材とカラーマーキング仕訳 ・フォワーダ運材	・造材指示に基づき、カラーマーキング機能、生産制限機能により効率的仕訳	・造材指示により経験の浅いオペレータでも作業効率向上が可能 ・小径木仕訳に有効。スムーズな仕分け作業はオペレータの負担軽減と仕分けコストの削減が可能	・経験浅いオペレータでは材質判断ミスにより不適格材を生産し手戻りによる仕分けコスト増にもなることもあり、オペレータの習熟も課題
流通販売	・人力山元検知	・ICTハーベスタによる検知自動化 ・写真検知	・樹皮分を差し引いた直径で材積自動計算 ・丸太木口の写真撮影により単木毎に材積計算	・人力検知(手検知)、トラック運転手本数検知の省略により検知コスト削減(R4:ハーベスタ検知175円/m削減・R3:ハーベスタ検知162円/m・68千円/ha削減)により生産流通コストの削減が可能 ・合板や製材丸太では検知数量誤差は少なく有効。地形や植積技術(木口揃えなど)の習熟度合等の条件次第でさらなるコスト削減が可能	・川下側の機械検知・写真検知の精度に対する信頼性の確保が必要
再造林・ 保育	・人力元付け(通常密度) ・人力下刈り(5回)	・特定母樹低密度植栽 ・早生樹低密度植栽 ・特定母樹 人力下刈り(3回) ・早生樹 人力下刈り(1回)	・スギ特定母樹「遠田2号」の低密度植栽(1,600本/ha) ・早生樹「ユリノキ」の超低密度植栽(1,000本/ha) ・スギ特定母樹植栽地の下刈りを坪刈3回 ・ユリノキ植栽地の下刈りを坪刈11回	・低密度植栽による苗木費用、植栽費用の削減により、再造林コスト(特定母樹の場合521千円/ha、早生樹の場合640千円/haの削減) ・坪刈の採用により下刈りコスト削減(特定母樹の場合56千円/ha削減)、下刈り回数の削減等により再造林コストの大幅な低減が可能	・坪刈実施個所では植栽木周辺以外の下草繁茂が著しく、次回以降の坪刈りの効率性の検証が必要

実証主体4 福島
(テーマ)新たな技術を融合させた経営モデル(古殿モデル)の実証
(背景)福島県古殿町は人工林資源が豊富で、地籍調査がほぼ完了しているなど林業生産活動基盤が整備されているにもかかわらず、森林情報の未活用、人材不足、造林意欲の低下等により、森林資源の循環利用が危惧。魅力的な林業経営環境を構築し林業活性化を図るため、ICTや新技術を活用した資源把握、伐採造林作業の低コスト化や、木材の販路拡大、山元立木価格の向上等が課題。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源 把握	・人力事前踏査 ・人力収獲調査 ・人力路網設計	・レーザ航測データの活用 ・ICTを活用した事業地測量 ・UAVを活用した資源量調査 ・路網設計のICT化	・森林データベースの活用 ・GNSSを活用した路網設計測量 ・撮影写真のオルソ化から本数把握 ・路網設計支援ソフトFRDの活用	・測量に係る省力化、効率性向上によりコスト削減が可能(デジタルコンパス2名体制→GNSS 1名体制) ・径級の小さいものは捕捉不十分 ・設計作業の省力化・低コスト化(人力踏査路網設計の8倍の作業効率。人件費は1/10以下)	・精度向上のため解像度の向上が必要 ・緩傾斜地では路網選択が絞り切れず ・効率的で、細やかな伐採・搬出作業計画が考慮されない
主伐・ 素材生産	・チェーンソー伐採 ・プロセッサ造材仕訳 ・フォワーダ運材 ・人力検知・野帳記入	・チェーンソー伐採 ・プロセッサ造材仕訳 ・フォワーダ運材 ・検知のICT化 ・現場管理のICT化	・丸太検知アプリの導入(タップ入力・音声入力・写真検知) ・ノーコードアプリによるスマホアプリ活用	・作業の効率化、省力化で効果あるものの、費用対効果が合わない。 ・ノーコードアプリによる自社内スマホアプリを作成し、多数の作業機械(重機)の位置、燃料使用量(免税軽油)等の把握、作業進捗管理(事務量が1/4に低減)。無駄、精神的ストレスを解消	・写真検知の精度向上
流通販売		・生産材のトレーサビリティ付与による立木価値向上	・伐採位置、伐採事業者、流通事業者等原木流通情報を付与したQRコード貼付し、マーケット調査 ・伐採箇所、造林地(トレーサビリティ)の確認(施主候補に対し)	・最終消費者への普及には工務店段階の運用の検討が必要 ・川下での少量管理は手間 ・付加価値を向上させる情報の検討	
再造林・ 保育	・人力地植え ・人力植付け(普通植栽) ・人力下刈り	・機械地植え ・電動一輪車による苗木運搬 ・早生樹等植栽 ・機械下刈り(マルチャー)	・キリ玉苗植栽 ・スギ大苗(40cm)低密度植栽 ・コウヨウサン大苗(40cm)低密度植栽 ・ロングリーチマルチャーによる機械下刈り。誤伐防止のためのモニターカメラ装備	・伐根破砕処理は高効率 ・破砕物の地表マルチングによる防草効果は小さい ・切削型菌形マルチャーで効率向上 ・植栽作業効率の向上と作業の軽労化効果が有り、高齢作業員に有効 ・超短伐期収穫による収支改善の可能性 ・作業効率の向上、省力化(5~6人日/ha→1オベ2人日/ha)、安全性の向上 ・モニターカメラにより誤伐減少	・地表残置の丸太、枝条処理が課題 ・急傾斜地、枝条多い箇所では操作が困難 ・バケットサイズが小さく、運搬量小さい ・病虫害、施肥等管理コストが課題 ・路網からロングリーチで届かない箇所は人力下刈りとの組合せ ・機械下刈りを想定した植栽列の設定

実証主体5 長野

(テーマ)川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業
(背景)北信州森林組合では、施業の集約化やICTを活用した森林調査や木材流通に取り組んでいるものの、再造林・保育費用の負担から主伐・再造林のインセンティブが高まることが大きな課題。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源 把握	・人力森林調査	・ドローンレーザ、地上レーザ(背負子レーザ、ハンディレーザ)による精密森林資源調査	・ドローンによる空撮とレーザ計測により対象林のオルソ画像化と立木位置、樹種分類、樹高の把握 ・地上モバイルレーザ計測により、樹高、胸高直径の把握 ・立木の単木解析により、品等区分と需要に応じた造材シミュレーション(R4,R5カラマツ、R6スギ)	・カラマツは、レーザ計測データ利用の造材シミュレーションに基づく造材丸太は、製材部門ではサイズ不足、曲がり、品質の面で十分な結果を得られず ・スギは、資源データ把握、造材シミュレーションは実施済み	・造材シミュレーションの実効性を高めるため、シミュレーション事例を増やし、材質推定、樹種ごとの計測特性等のデータ蓄積が必要 ・製材部門との検証は今後実証
主伐・ 素材生産	・チェーンソー伐採 ・プロセッサ造材仕訳 ・フォワーダ運材 ・人力検知・野帳記入	・ICTハーベスタによる最適採材	・住宅部材のオーダーに基づき、ICTハーベスタへの造材指示により乱尺造材	・ICTハーベスタの測定方法は選木機や人力検知に比し精度に限界。キャリアレーションデータの蓄積による測定精度向上により、従来型流通に適用可能。曲がりや内部品質の判別は難しく、判別するオペレータの経験・技量が必要	・ICTハーベスタの川下需要に応じた最適採材機能の發揮には、寸法精度の問題から、1需要との1対1対応でなく、多需要対応が効果的
流通販売		・建築と森林のデータ連携による実棟建設	・木造大型パネル工法に使用する建築部材リストを基に、製材時に歩留まり最大化する最適な木取、製材数量等の情報を作成し、必要丸太数を算出、森林資源データや立木の単木解析データと突き合し、必要量を伐採・採材、供給	・カラマツは、製材段階で多くの丸太が曲がりや、ヤニ袋、死節等の内部品質上の欠点(カラ松由来)により、ほとんどのが使用不可 ・スギは今後実証	・住宅建築部門で進行するAI化(概算見積AI)を念頭に、地域レベルで、大型パネル等建築部材需要に即応できる森林資源把握 ・造材シミュレーションは地域材活用、新たな地域林業も形成に有効
再造林・ 保育	・人力植付け	・ホロレンズによる植栽支援	・ドローンレーザによる地形情報ドローン空撮によるオルソ画像からGIS上で植栽計画を作成、植栽位置座標情報から植栽計画点をホロレンズに投影し、効率的な植林を支援	・位置情報の基準点補正(キャリアレーション)が煩雑 ・GIS上の植栽計画地点のズレ(水平距離と斜距離のズレ)、ホロレンズ上の植栽位置投影が作業列(植栽列)を捕捉しづらい、視野が狭いなどにより、植栽速度は上がらず、植栽効率は低下	・デバイスの精度向上、ホロレンズ投影のプログラム改良により作業の効率性向上が必要 ・屋外使用が可能で、ヘルメット装着でも使用できるデバイスの改良が必要 ・視野が狭い、視覚情報過多、視準(位置補正)等による乗り物酔い症状の改善策
	・人力下刈り	・ホロレンズによる下刈り支援	・植栽位置情報をホロレンズに投影し下刈り作業の効率化を支援	・視野が狭く危険性が高くなる、投影される植栽点の視覚情報過多となるなど作業速度は低下(人力下刈りの8割) ・植栽位置情報に基づく植栽列の不規則性が作業効率を低下	・ホロレンズによる植栽、下刈り作業の効率化には、植栽点の規則性、地帯えの出来形とも大きく関係 ・地帯え〜植栽〜下刈りの作業過程で後工程の効率化につながる最適な前工程、出来形仕上げが課題

実証主体6 岐阜

(テーマ) 最新式集材機とICTハーベスタ等を核とした主伐・再造林システム実証・普及事業

(背景) 木材需要の増大が見込まれ、間伐から皆伐へのシフトを進める必要。森林技術者数が伸び悩む中、最新式の林業機械の普及定着が課題。また車両システムが困難な急傾斜地で架線システムの取り組みを進める中で、荷掛け作業の安全と効率の向上が課題。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源把握	・人力事前踏査 ・人力収穫調査(毎木調査) ・人力周囲測量 ・人力踏査の路網設計	・油圧集材機と架線式グラップルシステムによる架線集材	・無線・遠隔操作による油圧集材機と架線式グラップルにより架線集材	・集材作業の省人化(従来型3人体制→2人体制で労働生産性は1.5倍) ・荷掛け・荷外し作業の省人化、時間短縮 ・上記により効率性、労働生産性が向上(オペレータの習熟、立木サイズ向上により最大26.3m/人日)を実現 ・人力での荷掛けと荷下し、急傾斜地での移動等が不要となることから、飛躍的な安全性の向上と労働強度の軽減	・荷掛け作業、複数本掴みで時間的ロス ・グラップル自重が大いいため最大使用荷重が小さくなり丸太積載率が低下 ・単木重量が小さいエリア等では、グラップルを従来型のフックスリングに換装することも必要
主伐・素材生産	・プロセッサ造材仕訳	・ICTハーベスタによる最適採材とカラーマーキング仕訳	・川下のマーケットニーズに即した造材指示データをICTハーベスタに入力し、有利な最適採材の造材作業 ・造材指示に基づき、カラーマーキング機能により効率仕訳	・最適採材(バリューハッキング)機能は経験の浅いオペレータに有効 ・従来のオペレータによる検知作業(チョーク印字)が不要となり、仕訳作業時間の短縮(1日当たり15分程度)	・曲がり等の欠点は判別できないため、オペレータの見る目の習熟は必要 ・多種仕訳には対応できず
流通販売	・人力山元検知	・ICTハーベスタによる検知自動化	・樹皮分を差し引いた直径で材積自動計算	・ICTハーベスタの機械検知の材積は人力検知(手検知)材積とほぼ一致し、十分な精度を確認	・多種仕訳には対応できず ・造材データの需要先とのリアルタイム情報共有には林内通信環境整備が必要 ・造材データを川下納品データとするには現在の多段階流通に留意した工夫とネットワークの構築が必要
再造林・保育	・人力地植え ・人力植付け ・人力下刈り(全刈)	・乗用草刈り機による地植え ・人力植付け ・乗用草刈り機による地植え	・「山もつとモット」による伐根処理 ・「山もつとモット」による下刈り	・緩傾斜地等条件が良ければ、根株処理含めても作業効率は大幅に向上(従来型人力地植え:13.4人日/ha→機械地植え:1.17人日/ha) ・下刈り作業効率は大幅に向上(人力下刈り:7.6人日/ha→機械下刈り:1.9人日/ha) ・安全性の向上、労働強度の大幅な軽減	・急傾斜地(25度超)や、転石、伐採木、枝条の多い箇所では走行が難しい ・傾斜地での使用は制約が多く、機械自体もオペレータの足場やパワー不足等の改善が必要 ・造林・育林作業の機械化には、伐採木や枝条の残置が少ない全木集材が望ましい

実証主体 7 三重奈良

(テーマ) 京阪奈+三重 需要地と供給地の事業連携による新しい地方創成型 SDGs 林業への挑戦

(背景) 境界不明など森林情報が未整備で施業計画立案が難しく、正確な施業地データの把握が課題。吉野地区の木材生産では、ヘリ集材の採算性が悪く、架線集材への切り替えや最新式の架線集材技術の習得普及が課題。これに伴い、A 材のみの幹材集材から全木集材への転換、B、C 材の有効利用ため、流通分野や需要者との連携が不可欠。さらには、再造林では、コスト高で収益性も不安定な従来型の針葉樹造林だけでなく広葉樹造林や獣害対策による低コストでの成林を目指す必要。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源把握	・人力踏査 ・人力毎木調査	・地上レーザ測量による森林の 3D 化等精密な資源情報の調査把握 ・ドローン見回り	・3Dレーザバックパック型スキャナ (3D ウォーカー) により詳細地形や単木毎の立木位置、サイズ、曲がり等を把握しデジタルデータ化 ・ドローンにより、獣害防止策の被害有無や単木単位での生育状況をリアルタイムで視認し、写真、動画で記録・共有	・森林調査の効率化、省力化 ・架線計画立案 (先柱・元柱の選定等) が容易 ・出材見込み推計の精度は高い ・詳細な地表データを GIS 上で活用し、適地適木、獣害対策等のゾーニングを含めた造林計画の策定が可能 ・ドローン見回りによる大幅な省力化 (人力 0.25 人日/ha → 0.07 人日/ha 1/3 程)	・調査手の体力負担増 ・地上レーザによる単木デジタルデータは、材積 (径) が整合せず、品質 (曲がり、傷等) も不十分で、良材絞り込みには精度不足 ・資源量のみの把握なら地上レーザ以外の手法の検討が必要 ・定期的な見回りの実施
主伐・素材生産	・人力伐倒、造材 ・ヘリ集材 (役物搬出)	・自走式搬運器を装備した架線集材 ・林地残材の収益化	・地上レーザ解析データを GIS 上に展開し最適な架線設計 (索張) ・自走式搬運器 (ウッドライナー) による架線集材 ・林内通信装置 (インカム) の導入 ・全木集材に伴う末木枝条をバイオマス燃料として移動式チップパーでチップング、搬出利用	・経験少ない者でも架線索張りを習得 ・労働強度の軽減にも効果 ・ウッドライナー架線集材により生産コストを低減 (ヘリ集材コスト 27,800 円/m³ → R4 13,048 円/m³、R5 11,924 円/m³ (トラック運増料等含む)) ・集材時の安全性が向上 ・山土場チップ製造コストは、9,100 円/生トン ・需要先まで片道 30 分以内 1 日 3 往復できれば採算可能 (バイオマス発電所着価格 12,000 円/生トン)	・技術面の習熟が必要 ・集材作業やプロセッサ等による造材の効率化によりさらなるトータル生産コストの低減が課題
流通販売	・原木市場での販売	・流通分野、需要地との連携	・地域の製材工場や工務店のニーズ把握 ・地上レーザによる立木単木データや施業履歴と、製材品質、木材価格のマッチング、材品質に合った木材生産 ・広葉樹材の需要把握等	・利益率の高い原木特性、原木外観と内部品質の判断基準の把握から、山側が川下で求める材品質を評価、判断できないまま、造材が進められていることが判明 ・資源量把握だけでなく、立木外観から材品質を評価できる基準を川上川下で共有する必要 ・川上現場では材品質の評価精度を高め、全体コスト低減と山元還元のための収益向上を図る必要	・チップパーの稼働率向上 (残材処理現場の確保) ・発電所までの運搬距離により山元チップ化は要検討
再造林・保育	・人力苗木運搬 ・人カスギ、ヒノキ植栽 ・人力下刈り ・獣害保護柵	・架線利用等による造林資器材運搬 ・電動一輪車による苗木運搬・植付け ・植栽樹種の多様化 ・センダン種子の直播造林 ・シカ食害対策 (ゾーンデファフェンス、単木保護) ・獣害対策の現状把握	・苗木、獣害対策資材 (保護柵、ヘキサチューブ) を集材終了後に架線運搬 ・「斜架」による苗木運搬、付属電動オーガによる植付け ・GIS 上の地形判読等による適地適木ゾーニングに基づき、スギ、ヒノキのほか広葉樹樹、アカマツ等多様な樹種を植栽 ・GIS 上の地形判読等によるゾーニングに基づき、シカ通路設置とゾーン保護柵、ヘキサチューブの単木保護措置を組み合わせ ・ドローンによる保護柵の破損状況等確認	・生産材搬出作業と造林作業の一貫作業により省力化、生産性向上と人件費低減を実現 ・労働強度の低減、軽劣化にも効果 ・電動オーガによる植穴掘りの効率化、軽劣化を確認 ・造林保育ツールコスト (獣害対策合むい) の大幅な低減を実現 ・センダン造林では施肥区で顕著な成長 ・地形条件等を考慮した適地適木ゾーニングとシカ通路設置等多様な獣害対策によりシカ食害は激減 ・獣害防護柵の設置技術、効率が向上	・広葉樹の販売先の探索・確保 ・針葉樹一般材、広葉樹材の付加価値製品化等による収益向上のための需要地と木材供給地の事業連携が課題 ・中程度以上傾斜地では運搬作業に腕力を要し生産性向上や軽劣化に難点 ・造林保育のさらなる生産性向上 ・センダン直播造林では、生存率、生育状況の追跡が必要 ・センダン等苗木生産体制の構築

実証主体8 和歌山 (テーマ) 先進的林業経営体によるタワヤーダフル活用モデルの構築
事業名 (背景) 急傾斜地において、安全かつ一層効率的・効果的な架線システムによる木材生産を推進するため、タワヤーダをフル活用し、①架線計画の高度化、②集造材後の林地残材の収益化、③主伐後再造林の効率化や低コスト化などの課題解決が必要。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源把握	・人力事前踏査 ・人力収穫調査(毎木調査) ・人力周囲測量 ・人力踏査の路網設計				
主伐・案材生産	・チェーンソー伐採 ・地形図と人力踏査による架線設計	・オープンソースデスデータによる架線設計(机上シミュレーション)	・オープンソースのソフトウェア(QGISとExcel)を活用した架線計画の高度化(架線計画シミュレーション)	・架線計画シミュレーションによる架線架設経費の前減効果を確認 ・下げ荷集材、架線架設の手戻り防止、架線高に応じた効果的な真材作業の事前検討等の面で、机上シミュレーションの効果を確認 ・間伐や択伐での机上シミュレーションの効果を確認	・現場での架線架設に当たっては、現地踏査とシミュレーションを活用して、効率のかつコスト削減となる架線計画作成する必要 ・シミュレーションを作成できる人材育成から有効活用できる体制までの構築
	・架線集材	・タワヤーダ集材			・タワヤーダを有効活用できる人材の育成(路網整備技術、架線架設の基礎知識技術の習得) ・タワヤーダを効果的にフル活用するため、タワヤーダが走行可能な稜線林道(森林作業道)の整備とその条件整備(森林作業道指針の改定、作業道の維持管理支援等)が必要 ・ハーベスタ造材の効率化・低コスト化等のためには、ベースマシンの公道走行も課題
販売流通		・ハーベスタ造材仕訳	・移動チップパーによる木材破碎とチップ運搬	・稜線林道から公道を経る需要先に至る到達経路を、QGISやGoogleMAPを活用しシミュレーションと、タブレット端末GNSSによる走行軌跡の作成 ・現場から発電所までの運搬時間、運搬可能量を推定し、林地残材の1日当たりのチップ生産量を算出(21.24t/日) ・末木枝条の最適、効率的なチップ生産、販売による収益増(23,690円/ha)は可能	・チップ運搬大型箱型トラックが走行できる路網整備が課題
再造林・保育	・人力植付け(通常密度) ・人力苗木運搬	・人力植付け(低密度植栽) ・タワヤーダによる苗木、防護柵等の資材運搬	・スギ精英樹1,500本/ha植栽 ・苗木、ネット・支柱をセットにしたツリーシェルダー等資機材をロングタイプコンテナバッグに詰めタワヤーダ運搬	・低密度植栽による苗木費用の縮減 ・一貫作業で有効	・架線の架設撤収を繰り返すため、タワヤーダ集材と再造林作業が近接作業にならないよう作業時期の調整が必要 ・架線張替回数が少ない小面積皆伐では効果が期待 ・荷かけ荷下ろしに時間を要する
	・人力下刈り(全刈) ・獣害防護柵の設置	・ツリーシェルダーの設置	・下刈り省略 ・生分解性ツリーシェルダー設置	・ツリーシェルダーへの転換によりコスト増となるが、下刈り不要のため、再造林コストは低減(294,405円/ha)が可能	・ツリーシェルダーにより再造林初期費用は高くなる

実証主体9 山口

(テーマ) 森林管理組織「リフォレながと」を核とした長門型林業経営モデル構築事業

(背景) 境界明確化や集約化の促進のため省力で制度の高い森林評価が必要。搬出間伐から主伐再造林への転換を進めるため、異業種参入も想定しICTを活用した高性能林業機械、需要に即応できる造林支援システムの導入等が課題。さらには主伐後の再造林に必要なコンテナ苗や獣害防護資材の人力によらない運搬方法の採用が課題。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源把握	・森林所有境界の関係者立会による明 確化 ・人力毎木調査 ・立木評価	・ICT機器を活用した境界の明確化 ・ICT機器を活用した資源量把握、立木評価	・スマートグラス、スマホGNSSを活用した現地映像中継と航空レーザ解析地形図等による境界確認(R4) ・アクションカメラ、高精度GNSS受信機、スマートフォンを組合せた現地映像中継による境界確認(R5) ・県森林計画図を基に航空レーザ計測データ、林地台帳等を活用し境界候補図を作成、アクションカメラ等による境界確認(R6) ・ドローンレーザ及び地上レーザ(MAPRY、OWL)による資源解析、資源量把握、解析用システムによる立木評価、生産量予測、丸太販売価格予測	・高齢者、県外等遠隔地の所有者の現地立会なしの正確な境界確認に有効で高い評価 ・集約化の促進にも効果 ・現地確認作業での省力化が困難(現地1~2名配置)	・使用機器の低コスト化、省力化・手振れ補正、位置精度の向上が課題 ・境界明認担当者数の削減が必要(現地で映像中継場所のそれぞれに配置が必要) ・森林所有者へのヒアリングや、所有者特定のため地元の森林に詳しい者からの情報入手が重要
主伐・素材生産	・チェーンソー伐採資材 ・4m 造材(市場向け)	・ICTハーバーベスタ伐採造材	・リニューバッキング機能による販売に有利な採材(管柱用3m材、梱包材用2.4m材) ・ARナビゲーション(OWLデータの表示)による造材指示 ・カラマーマーキング機能による仕訳 ・検知アプリによる写真検知 ・Google フォームを利用した日報による生産性分析	・生産性向上とコスト削減に有効(R4造材生産性52㎡/人日) ・生産材の有利販売を実現(木材市場向け従来型4m材→長門住宅用3m材の出材で400円/m程) ・スマートグラス装着オペレータにより造材指示とおりの造材 ・山土場での仕訳作業の効率化 ・検知時間の大幅な短縮	・曲がり、腐れ、傷の判断が不可あるいは不正確などから、仕訳の精度向上やオペレータの習熟が課題 ・大型ハーベスタ造材時の丸太表面の傷への理解醸成が必要 ・径級、材種に誤差 ・作業進捗や在庫管理概数把握での利用
流通販売		・原木生産の口頭での受発注	・需給情報のマッチングシステム構築(ながと型住宅)	・工務店～製材所～原木生産(1)フレな(2)の受発注システムの策定 ・ICT機器活用の資源把握、ICTハーベスタのバリエーション機能との連動	
再造林・保育	・人力苗木運搬 ・苗木の電動一輪車運搬 ・猟友会捕獲	・苗木・資機材のドローン運搬 ・苗木の電動一輪車運搬 ・ICT 機器活用した獣害捕獲	・コンテナ苗の分散運搬 ・大型ドローン(最大55kg)による獣害防止ネット用資機材の運搬 ・異業種参入者(閑散期の漁業者)の労働負荷軽減 ・通信機器を活用した捕獲	・労働強度の大幅な軽減 ・分散運搬により植栽効率が増(1人1日/haの削減効果) ・獣害対策資材運搬の省力化、効率化 ・大苗の効率的植栽が可能 ・コスト削減(人力2,546円/ha→1,944円/ha) ・センサーカメラ付き通信システムによる捕獲監視の軽減	・ドローン運搬コスト増に対し、作業人員削減や大苗植林によるトータルコスト削減の検討が必要 ・地元猟友会との連携

実証主体10

宮崎 ひむか

(テーマ)伐境の奥地化に適応した主伐・再造林作業システムの実証 ～最新鋭の架線集材システムの導入による重機集材との二刀流へ～
 (背景)伐採対象地の奥地化に伴い、素材生産の収益性低下とともに再造林の困難性が増大。林地に対する環境負荷も低減できる架線集材の復活の気運。生産性、収益性が高い架線集材システム
 の導入とともに、山元立木価格の上昇、主伐後再造林の効率化・軽労化、ICT活用による省力化が課題。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源 把握	・人力事前踏査 ・人力収穫調査(標準地) ・人力周囲測量	・ドローンレーザ計測による森林資源調査、主伐・再造林作業のデジタル支援	・ドローンレーザ計測により点群データを取得し林分材積を算出		
主伐・ 素材生産	・チェーンソー伐採 ・地形図と人力踏査による架線設計 ・架線集材(人力荷かけと荷外し)	・ドローンレーザ計測データによる架線集材計画 ・油圧集材機・架線式グラップルシステムによる架線集材システム	・ドローンレーザ計測データによる架線設計 ・無線・遠隔操作による油圧集材機とグラップル機器による架線集材システム	・ドローンレーザ計測LASデータの立体表示を活用し、架線設計を支援 ・集材機・荷掛け・荷外しの無人化により省力化・軽労化と安全性が大幅に向上 ・労働生産性は、3オベ→2オベが可能となるが、1日当たり生産量が少なく、従来型を下回る(25m/人日→17~30m/人日) ・線下周辺の集材作業では高い生産性・操作習熟により集材効率は向上 ・グラップル自重500kgでも従来型集材機と同等の大径材搬送は可能 ・架線グラップル集材と従来型のロージングプロック集材の併用も可能交換、作業も比較的平易 ・作業箇所の奥地化、重機集材から架線集材への転換に際し、導入の選択肢	・具体の架線架設作業ができる技術者の育成が必要 ・グラップル自重500kgのため、搬送時に主索低下し、線下高の確保や尾根越し搬送に難点、横取り範囲が狭い等も課題 ・複数本集材が難しい、グラップル自重のため空荷走行が遅い等から、1日当たり生産量(売上)は通常型集材より低下 ・導入コスト回収(償却)のため1日当たり生産量(売上)の上昇が課題 ・線下への先行集材の検討 ・2オベ化で浮いた1名分の有効活用
販売流通	・プロセッサ造材仕訳	・プロセッサ造材仕訳		・競争による落札価格(立木価格)の上昇効果を確認	・デジタル資源情報のみで入札価格は決められず、参考情報程度 ・入札価格決定には、デジタルデータでは表現できない材質や様々なコスト・リスク等を判断するため、現地・現物熟覧が必要 ・再造林等条件付与を含めた立木価格設定の困難性、素材事業者の技術力、創意工夫の発揮・裁量を制限する恐れ
再造林・ 保育	・人力植付け(通常密度) ・苗木、獣害防護柵等資機材に人力運搬	・アシストスーツ着用による再造林作業 ・資機材運搬用大型ドローンによる奥地再造林	・アシストスーツ着用による資機材運搬、植付け、下刈り作業 ・ペイロード30kgの農業用大型ドローンによる資機材運搬	・パッシブ型スーツ(ゴム・パネのサポート)は、安定した足場での植栽作業では軽労化に効果があり、苗畑作業や造材作業等の安定した足場での作業に適している ・アクティブ型スーツ(電動サポート)は、斜面移動や苗木運搬、植穴掘りの作業の軽労化に有効 ・高齢労働者や女性労働者の現場作業の軽労化、大苗造林での活用効果が期待 ・人力に比し大幅な運搬時間の短縮等による生産性向上と省人化・軽労化を実現(5~6人、2~3h/ha→3人、1.5h/ha) ・獣害防護柵等造林資機材のパッケージ運送や大苗造林への活用が可能	・パッシブ型スーツは、急傾斜地での不安定な足場を移動する下刈り作業では軽労化の効果は薄い ・大型ドローンは償却コストが高くなるため、農業ほかに多用途利用により稼働率を高め償却コストを低減する必要がある ・レンタル利用を検討する必要

実証主体 11

宮崎 都城
(テーマ)「伐採・植栽・乗下刈り一貫システム」構築事業
(背景)再造林の進展による新植、下刈り面積の増大に対し、造林保育作業のコスト削減や省力化・軽労化等就労環境の改善が不可欠。また木質バイオマス需要増に対し、奥地化する主伐地からの短尺材等の搬出運搬の効率化、コストの削減が課題。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源把握					
主伐・素材生産	・チェーンソー伐採造材 ・フォワーダ搬出	・ダンプトラック搬出	・風呂敷型フレコンバックを活用した短尺材の収集と改良箱型四駆ダンプトラックによる短尺材の搬送 ・4WDダンプトラックによる作業道へのパーク散布	・搬出の効率化、コスト削減(9%削減) ・フォワーダより初期投資が少なく、燃費、機動性の面で有利 ・路網補修費の大幅な削減(94%減)	・ダンプトラック走行に適した林内作業路の開設が必要 ・雨の日走行ではチェーン装着や路盤補修が必要
流通販売					
再造林・保育	・人力地植え	・機械地植え	・マルチャーによる地植え	・労働生産性の向上、低コスト化(従来型から22~55%削減) ・緩傾斜地での有効性を確認 ・道路勾配35度程度箇所でも操作は可能 ・粉碎枝葉のマルチング効果により下刈り回数の抑制に期待	・地形的制約あり ・事業地移動を少なく稼働率を上げられるよう、まとまった作業地の確保が必要
	・人力植付け	・電動一輪車による植穴掘り	・付属電動オーガによる植穴掘り		・機械の改良が必要
	・苗木の軽トラ運搬	・トラックによる苗木運搬	・改良箱型四駆ダンプトラックによる苗木運搬	・コンテナ苗運搬時間の短縮、運搬コストの低減(94%削減)	・ダンプトラック→大型クローラ運搬車→一輪クローラ運搬車(植林地小運搬)といった苗木の効率的運搬システムの構築 ・一輪車運搬トレイの大きさにあった苗木梱包
		・電動一輪車による苗木運搬	・クローラ型電動一輪車による苗木の林内運搬	・傾斜地での走行、操作性の良さを確認 ・造林作業の軽労化に有効	
		・造林資機材のドローン運搬	・大型ドローン運搬による獣害防護柵、苗木の同時運搬	・造林資機材運搬コストの低減 ・労働強度の低減 ・労働生産性は大幅に向上しコスト削減(人工数10人/ha→2~5人/ha、コストは最大60%削減)	・初期投資、ランニングコストが高い ・オペレータの養成 ・重機稼働の地形的制約あり
	・人力下刈り(全刈)	・機械下刈り	・マルチャーによる下刈り ・防草シートによる下刈り省力化 ・木タール等含侵シートによる獣害の忌避	・緩傾斜地、路網沿での有効活用により、造林作業の効率化、省力化 ・急傾斜でも路網沿いなら筋刈は可能 ・下刈り労務投下量低減による低コスト化、軽労化(敷設に17~19人/ha/ha要するが、従来型の下刈り6回に比し68%コスト削減の可能性)	・事前に植栽木マーキングが必要 ・操作技術の高いオペレータの養成 ・下層植生により防草効果はパツキ、必要に応じ部分刈を検討 ・木タール等含侵成分による獣害忌避効果は今後の課題

実証主体12 鹿児島

(テーマ)大隅で持続可能な林業を実現する先進林業モデル事業 -OSUMI (Osumi Sustainable forest Management Initiative) モデル-
 (背景)大隅地域での持続可能な先進的林業の確立に向け、林業の低コスト化と高い木材価格の実現が課題。このため、マーケッティン型素材生産への転換、素材生産～流通～再造林の各段階でコスト削減や再造林保育の低コスト化技術の普及が必要。

分野	従来型作業システム	実証経営モデル	導入した新技術・新手法	実証成果	課題
森林資源把握	- 森林簿情報による事業地選定 - 人力収獲調査 - 人力周囲測量	林分地位の再評価による収益性高い事業地選定	デジタル航空写真の3次元化による樹(林)冠高から地位を再評価し、高蓄積林分を抽出	素材生産予測により黒字化実現可能な高蓄積林分のゾーニングが可能	
主伐・素材生産	- チェーンソー伐採 - 作業道開設(バックホー)	チェーンソー伐倒を伴わない安全な素材生産システム	- フレアバンチャーザウルスによる作業道開設 - ロングリーチハーベスタ、ロングリーチグラップルソーによる伐倒・木寄せ - ICTハーベスタのカラマーキング機能による仕訳 - 森林内通信システム Soko-co forest による作業位置情報等の通信	- 伐木・造集材作業で高い生産性を実現(25～30m³/人日) - チェーンソー伐倒を機械伐倒に8割弱転換 - 安全性の向上	- 作業道開設量の増加と高密度路網は不可避のため。作業道開設コストが増大 - 機械導入コスト(リース代金)の増大 - 事業地・生産量の拡大確保が不可欠 - 先進林業機械のオペレータ養成
流通販売	- 手検知・市場検知 - 相対取引	- フォワーダ運材 - 森林内通信システムの導入	- スマートフォン等アンドロイド端末での木材検取システム Log-co (写真検知)の導入 - Google クラウドサービスを利用した需給マッチングシステムの導入	2km離れた生産現場での位置情報やチャット機能による通信が可能 - 時間ロスを抑制し生産性、安全性が向上 - 市場検知との誤差5%以内 - スマホ写真検知の有効性を事業体間で共有 - 複数の需要者・供給者(素材生産事業者)間での需給情報の共有化	需給情報のマッチングができて、需要時期、出材時期等による価格変動に懸念
再造林・保育	- 人力地拾え - 人力苗木運搬 - 植付け(普通苗、通常密度3,000本/ha植栽) - 人力下刈り	- 機械地拾え - ドローン運搬 - 植付け(エリートツリー、低密度植栽) - 機械下刈り	- 乗用草刈り機(山もつとモット)による地拾え - クラッシャーによる地拾え 1,500本/ha植栽 - 乗用草刈り機(山もつとモット)、クラッシャーによる下刈り	- 緩傾斜地での作業性は高い - 作業後の雑木残査がほとんどなく、植付け前の事前処理が不要 - 苗木運搬に利用できる作業路がない場合に有効 - 苗木コスト、植付け作業コストの削減 - 緩傾斜地では生産性高い	- 傾斜等地形条件により作業制約 - 作業後の雑木残査が残存し、植付け前の事前処理が必要 - 安全確保上、植栽作業と同時運搬はできないため、植栽前日に運搬する必要があるため、作業スケジュールを適切に設定 - 低密度植栽での活用 - 傾斜等地形条件により作業制約

第2章

実証技術の評価と課題

12実証主体が取り組んだ主な機材および技術の実証成果を踏まえつつ、「資源把握」、「主伐・素材生産」、「再造林・保育」、「流通販売・その他」の4分野に区分して、それぞれの技術について、「導入メリット」および「導入条件と課題」という視点で評価結果を集約した。

本事業で取り組んできた実証技術のうち、主な機材および技術として以下列挙したものについて、その技術概要のほか、現時点における導入メリット等を、また、導入に際して考慮すべき条件ならびに課題等を整理した。これら先進機材や技術を活用する際の参考としていただきたい。

2-1 森林資源把握(森林資源調査)

- ・レーザ計測等による資源調査
- ・空撮画像による資源調査

2-2 主伐・素材生産

- ・ICTハーベスタ
- ・リモコン式油圧集材機・架線グラップル

2-3 再造林・保育

- ・地拵えの機械化
- ・植付けの機械化
- ・下刈りの機械化
- ・苗木等資機材運搬

2-4 流通販売・その他

- ・バリューバックングによる生産データの共有・連携
- ・写真検知等による自動化
- ・ノーコードアプリなどの活用による事業効率化
- ・ICT機器を活用した境界明認

2-1 森林資源把握(森林資源調査)

1. レーザ計測等による資源調査

森林資源を持続的に利用するためには、森林資源量や地形データ等を取得する必要がある、上空あるいは地上のレーザスキャナにより、詳細な3次元データが得られる。

(1) 技術の概要

レーザスキャナによる計測技術(LiDAR)としては、固定翼あるいは回転翼の有人航空機によるもの(以下、航空レーザ)、無人航空機(ドローン、無人ヘリ等)によるもの(以下、UAVレーザ)、地上を移動しながら計測するもの(以下、地上レーザ)がある。

(2) 導入メリット

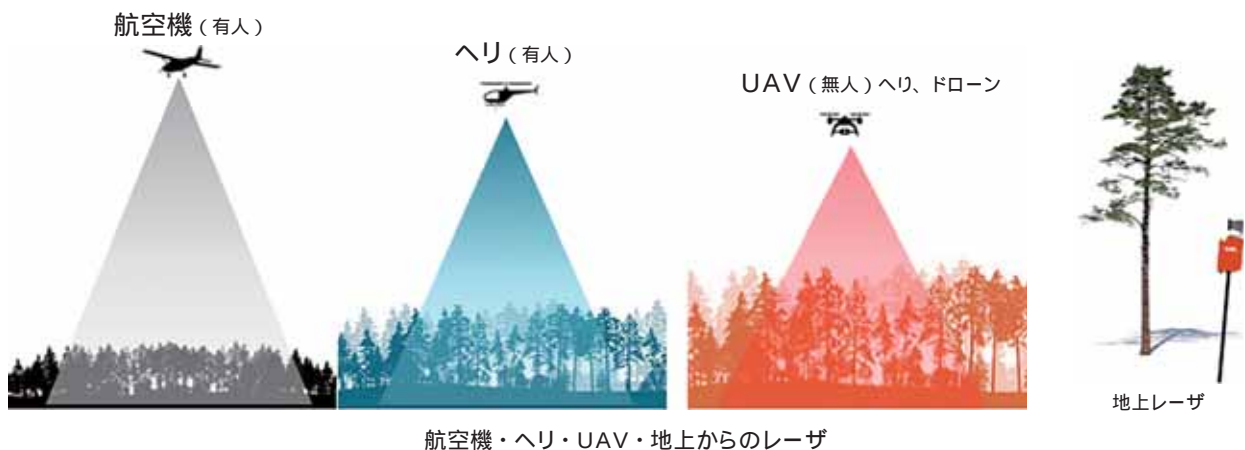
- ・ 航空レーザおよびUAVレーザでは、林冠を含む3次元点群データが得られ、単木ごとの樹高や樹冠形等のほか、地面データから微地形を捉えることも可能である。
- ・ 地上レーザでは樹幹に直接レーザが照射されるので、樹幹形状(曲がりなど)が把握しやすく、胸高直径も計測され、詳細な地表データが得られる。
- ・ 少人数、短期間で詳細なデータが得られ、効率性、省力化、作業安全性にメリット。



航空レーザ計測による点群画像

(3) 導入条件と課題

- ・ 航空レーザおよびUAVレーザでは、林内の点群密度が少なく、樹幹形状や胸高直径を直接計測することは難しい。胸高直径については近似的に推定する必要がある。生育樹種やその混み具合あるいは地形等の影響により、画一的かつ簡便な近似解析法は確立されていない。
- ・ 地上レーザでは、枝葉等で遮蔽されるため、林冠内部あるいは樹高までレーザが到達しにくく、樹高の計測精度は低下する。下層植生が多い森林では計測に難あり。
- ・ 得られた詳細データの活用法、膨大なデータの保存・管理について要検討。取得データの信頼性を担保するための調査方法ならびに計測基準の策定が必要。
- ・ 導入コスト問題、そのコストの負担者問題。



航空機・ヘリ・UAV・地上からのレーザ

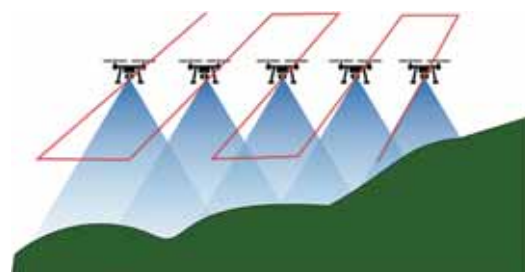
2. 空撮画像による資源調査

空中写真やドローン画像を地形補正(オルソ補正)したオルソ画像を使って、立木情報の取得、森林資源分布等のマッピングに活用できる。

(1) 技術の概要

航空機による空中写真やドローンによる空撮写真を使って、正射影(オルソ画像)を作成することによって、単木ごとの立木位置や樹冠サイズを測定できる。また常緑樹と落葉樹の分類など、対象範囲の樹種構成を判読して大まかな林相区分が作成できる。

画像の色合いを基に、機械学習等の分析により、森林と開けた土地(裸地、草地、建物など)の識別、あるいは伐採地や森林回復エリアの変化を検出するなど、森林被覆率(森林と非森林の分類)などを自動的に処理することも可能である。また、周辺の道路状況を含めた判読により、林道や作業道の検出、伐採作業や搬出に適したルートを選定、森林境界の識別等で利用できる。



森林上空をドローンで空撮

(2) 導入メリット

- ・ドローンや航空写真の画像で安価に資源解析に利用できる。
- ・高解像度のドローン画像を活用すれば、広範囲の森林解析とマッピング(林相区分、植被率、単木識別、森林インフラ(路網、地形)など)に活用できる。
- ・定期的な航空・ドローン撮影を行うことで、伐採監視、土地利用変化、森林の成長変化等のモニターも可能である。

(3) 導入条件と課題

- ・樹高計測や精緻な地形情報を得るためには、DSMおよびDEMが必要である。
- ・他樹種が混在していたり、高密度の森林では、単木抽出や樹種分類の精度が低下する。
- ・一般的なデジタル画像でも常緑樹と落葉樹の識別は可能だが、細かい樹種分類は難しい。
- ・陰や地形の影響を受けやすく、草地と森林の判別、樹冠に隠れた道の検出など難しい場合がある。
- ・天候条件や光の加減、季節による被写体の画像の違いがデータの品質に影響する。
- ・詳細な樹種識別や生育診断等には高解像度データが必要である。
- ・LiDARデータとの併用が必要なケースが多い。



オルソ画像等を用いた解析



オルソ画像を用いた造林跡地検査

2-2 主伐・素材生産

1 ICTハーベスタ

ICTハーベスタとは、情報通信技術 (ICT) を活用して伐採・造材作業を高度に最適化する林業機械である。地形データや木材情報をリアルタイムで解析し、作業の効率化やコスト削減を実現するもので、以下の機能を備えている。

- ・ **バリューバックング**：木材の直径・長さを測定し、リアルタイムで市場価値に応じた最適な造材パターンを自動計算する、最適採材システムである。
- ・ **自動検知機能**：木材情報の自動解析：ハーベスタヘッドに搭載されたセンサーが、伐採木の直径・長さを自動測定できる。
- ・ **地形データ連携**：DEM (数値標高モデル) をもとに、機体の正確な位置を測定して作業範囲の最適化、安全かつ効率的な作業ルートの選定等が可能。



ICTハーベスタ

- ・ **作業データの記録**：伐倒・造材・搬出のデータを記録し、作業後の分析やコスト算出に活用可能。
- ・ **リアルタイム通信**：伐採・造材・搬出のデータをリアルタイムで記録し、クラウドや遠隔管理システムと接続し、作業状況を関係者と共有できる。
- ・ **樹木情報の可視化**：事前 to 取得したLiDARデータや現場スキャンをもとに、木の位置やサイズを把握することができる。

こうしたICTハーベスタの機能を活かすことにより、作業効率の向上、コスト削減、森林資源の有効活用が可能になることが期待される。

以下、バリューバックング、自動検知、カラーマーキング、作業記録・作業進捗管理・在庫管理に関する概要である。

ア. バリューバックিং(採材指示機能、数量制限機能)

ICTハーベスタのバリューバックিংは、木材の価値を最大化するための玉切り最適化技術である。センサーを活用し、市場ニーズに応じた最適なカットを自動で決定することで、収益向上・作業の標準化・物流の効率化など、多くのメリットがある。

(1) 技術の概要

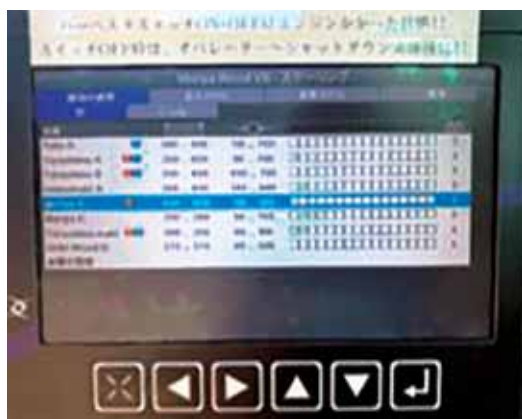
伐採木材の価値を最大化するために、木の切り分け(玉切り)方法を最適化する技術であり、ICTを活用して木材の長さや径級をリアルタイムで解析し、市場価値が最も高くなるように自動で最適なカットを決定する。

(2) 導入メリット

- ・ 市場価格、加工用途、木材の品質、製材所の受入れ規格を考慮して、自動的に最適な位置で木がカットされる。
- ・ オペレータは、提案されたカット方法を確認するだけで済み、作業効率が向上する。
- ・ 従来はオペレータの技能に依存していたが、バリューバックングでは誰が操作しても最適な玉切りが可能になる。
- ・ 市場価格や製材工場の需要に基づいてカットされるので、単価の高い木材の割合を増やすことが可能になる。
- ・ 事前に決められたサイズの木材の搬出が可能で、運搬や加工の効率が向上し、コスト削減につながる。
- ・ 木材の価値を最大化するためのデータ駆動型の玉切り最適化技術であり、センサーを活用し、市場ニーズに応じた最適なカットを自動で決定することで、収益向上・作業の標準化・物流の効率化など、多くのメリットをもたらす。



最適造材作業



操作パネル(例)

(3) 導入条件と課題

- ・ 初期導入コスト：ICTハーベスタ導入には高額な投資が必要。特に中小規模の林業事業者にとっては負担が大きい。
- ・ データ活用と市場連携：バリューバックングの精度を高めるためには、リアルタイムでの市場価格データや加工工場の受け入れ基準との連携が必要。これが十分に整備されていないと、最適なカットができない可能性がある。
- ・ オペレータのトレーニング：ICT機器を使いこなすためのオペレータ教育も重要。デジタル技術に慣れていない作業員にとってはハードルが高い場合がある。
- ・ 材品質(欠点)の見極めに限界。
- ・ 単一需要生産(材長等定規格)にはオーバースペック。多様な需要には有効。

イ．自動検知(造材同時検知、データ集積機能)

(1) 技術の概要

ハーベスタに搭載された各種センサーを活用して伐採木の特性等をリアルタイムで解析し、最適な伐採・加工・運搬の判断を自動化する技術である。従来のハーベスタではオペレータが目視や経験に頼っていたが、ICTハーベスタを導入することで、精度の高い木材選別や作業効率の向上が可能になる。

木材特性の自動検知：LiDARセンサー、画像解析カメラ、直径測定装置などによって、伐採対象木の情報をリアルタイムで解析して、最適な切断を自動で行う。

伐採対象木の自動認識：周囲木をスキャンして、伐採対象木を自動識別できるので、適切な伐採木選定が可能。

作業環境の自動検知：作業現場の環境(地面状況、周囲木との距離、作業エリアの最適化(運搬しやすいルート の提案))を判断し、オペレータの負担が軽減される。

自動伐倒方向の制御：伐倒方向を自動で最適化する機能を持ち、適切な伐倒方向を自動選択することで、運搬の効率向上と安全性の確保ができる。

リアルタイムデータの自動記録：伐採作業中のデータ(伐採木の位置・本数・直径・長さ、作業時間と生産量、伐採エリア)を自動記録し、森林管理システムと連携可能。



自動検知システム



人力検知作業

(2) 導入メリット

- ・ 作業の効率化：機械が瞬時に木材情報を解析して、最適なバッキング(玉切り)により、価値の高い木材を効率的に生産できる。
- ・ 木材価値の最大化：市場価格や製材所の需要を考慮し、高価値な玉切りが提案される。
- ・ ハーベスタ・フォワーダのデータ連携で生産流通管理・山元在庫管理が期待される。
- ・ 安全性の向上：倒木方向を自動制御することで事故リスクが削減されるほか、地形や障害物を検知してオペレータに警告を発する。
- ・ 森林資源の持続的活用：適切な選木・伐採により、森林生態系の維持・保全に配慮されるほか、GISとの連携により計画的な伐採が可能。

(3) 導入条件と課題

- ・ 適時のキャリブレーションにより自動検知データに対する信頼性を確保するとともに、「川下」サイドが人力検知への依存体質から脱却できるかどうかのカギ。
- ・ AIによる自動検知の精度向上のためには、市場価格・GISデータとの連携が不可欠だが、データ連携に必要な通信環境やデータ管理システム等のインフラ整備が不可欠。
- ・ 自動検知機能を最大限に活用するためには、オペレータがICTに習熟する必要がある、適切な教育プログラムが必要。
- ・ 最新ICTハーベスタは高額であり、中小規模の林業事業者にとって導入のハードルが高く、資金的支援や共同利用を促すなど適切な対応策が求められる。

ウ．カラーマーキング(造材指示に基づくカラーリングによる仕訳機能)

(1) 技術の概要

ICT ハーベスタのカラーマーキング機能とは、伐採した丸太の用途や品質に応じて自動的に色をマーキングする機能で、ハーベスタのヘッド(伐採ユニット)に搭載された塗料スプレー装置により、事前に設定されたルールに基づいて(丸太サイズや価格等に基づいた木材用途の分類)、丸太の表面に特定の色をマーキングする。木材の選別や運搬を効率化し、適切な用途に分配するために活用される。



カラーマーキングされた材

(2) 導入メリット

- ・ 作業の効率化：作業者の目視による仕訳作業が省略され、フォワーダやトラックへの積み込み作業がスムーズになり、仕分けミスの削減、作業のスピードアップが図られる。
- ・ 木材価値の最適化：高品質な木材が適切な市場に流通することで、収益の最大化が期待されるとともに、低品質な木材も適切に分類されて無駄の削減が期待される。
- ・ デジタル記録とトレーサビリティの向上：どの木がどの用途に使用されたかのデジタル記録が可能となるほか、森林管理や生産計画の精度向上に役立てられる。

(3) 導入条件と課題

- ・ 塗料の補充・管理：マーキング用の塗料の消費量が多く補充作業が必要、低温環境では塗料が固まりやすい。
- ・ マーキングの視認性：雨や泥でマーキングが消えやすいため、特定の条件下では追加の対策が必要。積み重ねられた木材ではマーキングが見えづらくなる場合がある。
- ・ 初期導入コスト：カラーマーキング機能を搭載したICT ハーベスタは高価であり、中小規模の事業者にとっては、コスト負担が課題である。

エ．作業記録・作業進捗管理・在庫管理

ICTハーベスタ搭載の各種センサーやGNSS等で記録されるリアルタイムのデータを使って、作業の進捗状況および出材データを自動記録し、進捗管理(日報)・出材管理ができる。ICTハーベスタを使うことで、伐倒から出材管理までの一連の流れをデジタル化し、より効率的な森林管理が可能になる。

(1) 技術の概要

- ・ 作業進捗管理：伐倒の位置情報のほか、ハーベスタのエンジン稼働時間・作業時間が記録され、1日の処理本数や作業量が計測・記録される。
- ・ 出材量管理：伐倒木の直径や長さを自動測定し、樹種ごとに材量を自動集計する。
- ・ 通信環境が整っていれば、GISやクラウドサービスと連携して、伐倒エリアをマップ上に表示し、作業進捗データや伐倒木データなどを関係者と共有・確認するなど、伐倒作業の進行状況をリアルタイムで記録・可視化できる。

(2) 導入メリット

- ・ GISやクラウドシステムとの連携を強化することで、現場と管理部門の情報共有がスムーズになり、全体の最適化が進む。
- ・ 作業進行状況の遠隔監視、作業計画との比較が容易。
- ・ 遅延や問題発生時の迅速な対応(進捗の遅れや機械トラブルを早期発見)。
- ・ 出材量をリアルタイムでデジタル管理(トラックの配車や市場供給計画が立てやすい)。
- ・ 人手による計測ミスを削減(手作業での材積計測よりも正確)。
- ・ 出材データをデジタル管理(販売・請求管理との連携も可能)。
- ・ 伐倒データと出材データを一元管理(記録ミスの削減)。
- ・ 市場への供給を計画的に管理(需要に応じた最適な搬出計画)。
- ・ 伐倒位置や集積箇所のGISマッピングが可能。

(3) 導入条件と課題

- ・ 導入メリットを発揮できるかどうかは、GNSSの精度や通信環境に依存する。
- ・ 操作データの統一フォーマットが必要である。メーカーごとにデータ形式が異なることがあるほか、製材所や市場での受け入れ時にデータ互換性が必要。
- ・ 樹皮や幹曲がりなどの影響で誤差が出る可能性がある(完全に正確な材積測定ではない)。
- ・ ハードウェアのメンテナンスが必要(センサーの定期校正が必要)。

2. リモコン式油圧集材機・架線グラップル

(1) 技術の概要

架線を利用して木材を運搬するグラップル集材機で、リモコン操作によって油圧でグラップルを開閉・旋回して、木材の集材作業を行う。

(2) 導入メリット

- ・ 集材作業の操作自体は比較的容易で、集材機運転に習熟していない作業員でも操作が可能。
- ・ 作業効率を上げるためには、グラップルの開閉・旋回を精密にコントロールするなど、リモコン操作の習熟が求められる。
- ・ オペレータはリモコン操作で、集材搬器(グラップル付き)の移動、丸太の荷掴み・荷上げ・荷外しを行うことができる。
- ・ 集材機運転手、荷掛け荷外し作業の無人化・省人化により、安全性が向上するとともに、労働生産性が向上する。特に、架線直下付近の集材作業では生産性は高い。



架線集材システム

(3) 導入条件と課題

- ・ 適切な索張り技術の習得が必須であるほか、架線設置の初期準備に時間を要する。
- ・ 架線グラップルの自重が大きいため(約500kg)、1回当たり集材量が制約される。
- ・ グラップル自重が大きいため横取り(横曳き)可能な範囲が制限され、1架線で集材可能な範囲が従来型よりも狭くなる。
- ・ 油圧集材機や架線グラップルは高価で、中小規模の林業事業者には負担が大きい。補助金や共同利用の仕組みが必要。
- ・ 伐倒方向を極力線下方向とし、線下集材量を増加させるなど、架線グラップル集材の効率性、生産性を最大限に発揮するような対応が必要。
- ・ 架線張替を極力減らし、1架線単位での集材範囲が拡大するよう、従来型搬器(ロージングブロック)との組み合わせが有効。架線グラップルと従来型搬器の交換作業は比較的短時間で可能。
- ・ 事前に現場地形等から、架線設計(架線位置)とともに、架線グラップル集材作業、従来型集材作業の効率的組合せを念頭に、作業方法のゾーニング(採面取り)や、伐採順序などの作業計画を策定しておく。
- ・ 全木集材の利点を生かし、短コロ、末木枝条の燃料原料材等としての利用・収益化を進め、高い導入コスト負担を抑制する工夫が望ましい。



架線グラップル



リモコン式油圧集材機

2-3 再造林・保育

1. 地拵えの機械化

機械化・自動化を想定した地拵え用の機材として、マルチャーおよびクラッシャーがある。また一定の性能を持つ乗用刈払機でも地拵えが可能とされる。

(1) 技術の概要

マルチャーおよびクラッシャーについては、バックホーやトラクタあるいはロングリーチグラブのアタッチメント交換での対応が可能で、ショベルベースのハーベスタでもアタッチメント交換で対応できる場合がある。ただし、地拵えの性能はベースマシンの油圧パワーに依存する。



マルチャー

(2) 導入メリット

- ・マルチャーおよびクラッシャーは、伐採作業機械等のベースマシンのアタッチメント交換で、効率的に伐採～地拵えの一貫した機械化作業が可能。
- ・地拵え作業の効率化、省人化・省力化によって生産性が向上する。残置丸太、末木枝条及び伐根の破碎に威力を発揮する。
- ・低密度植栽を前提とすれば、地拵え後の下刈り作業の機械化が可能である。伐採～地拵え～下刈りに至る作業工程をすべて一貫して機械化することも可能である。
- ・従来行われてきた人力による下刈りや保育作業の軽労化、安全性の向上が図られる。
- ・伐根、伐採残渣の破碎物による一定のマルチング効果により下草抑制に期待。



トラクタによる地拵え

(3) 導入条件と課題

- ・傾斜地であっても作業路脇ではアームの届く範囲であれば実行可能。ロングリーチタイプを導入することや、ベースマシン走行路を利用することも考えられる。
- ・破碎物のマルチングによる下刈り抑制効果は限定的である。また破碎物があるために植付け作業が阻害される懸念もあり、注意が必要である。
- ・機材導入コストのほか。切削刃損傷や維持管理のコストが必要。
- ・傾斜度等地形条件に応じて、機械作業導入区域と従来型人力作業区域をゾーニングして、綿密な作業計画を策定することで、作業の効率性やコスト削減が図られる。



乗用刈払機による伐根処理

(参考) マルチャー (Mulcher) とクラッシャー (Crusher) は、どちらも伐採後の処理に使われるが、目的や粉碎の仕組みについて、以下のような違いがある。

- ・マルチャー：回転式カッターで木材を細かく砕き、表層を均一に処理するもので、木材を細かくチップ状

にするが、土壌の掘削までは想定しない。

- ・クラッシャー：強力なハンマーやローターで硬い伐根や岩石を砕くもので、硬い岩盤や土壌に埋まった伐根も砕き、深くまで掘削できる。

2. 植付けの機械化

林業の労働力不足解消や効率化を目的に、苗木の植栽作業を自動化する機械開発が進んでいる。普通苗、コンテナ苗、大苗などに対応する技術が開発されつつあるが、高額な導入コスト、急傾斜地対応、苗木適応性の課題があり、特にコンテナ苗に適した機械が中心となっている。また植栽およびその後の下刈りを含めた作業効率化に向けて植栽位置誘導システムが開発・導入されつつある。

(1) 技術の概要

自動植栽機の機能概要としては、地形認識(LiDAR・カメラの活用による植栽位置の決定)、GNSS制御(プログラムされた植栽位置に植栽)、自動掘削・植付け・覆土(ロボットアームやドリルで植穴を掘り、適切な深さに植栽)で構成される。

機械タイプとしては、自動植栽ロボット(コンテナ苗を、小型無人機で地形認識しながら植栽)、GNSS・AI制御植栽機(普通苗・コンテナ苗を、自動で適切な間隔に植栽)、大型自走式植栽機(高性能林業機械に搭載された植付け用ヘッドを用いて普通苗・大苗の大規模植栽が可能)、ドローン活用型植栽機(種子・コンテナ苗を、山間部や急傾斜地に投下)などがある。



自動植付け機(苗の装填部)



自動植付け機

(2) 導入メリット

- ・労働力不足の解消：人手に頼らず、大規模な植栽作業が可能であり、高齢化や人手不足の影響が軽減される。
- ・作業効率の向上：従来の手作業よりも短時間で広範囲の植栽が可能であり、GNSS・AI技術により適切な間隔・深さ・方向で植栽できる。
- ・コスト削減：人件費削減による長期的なコストカット、作業計画の最適化により無駄な資機材使用が削減される。
- ・下刈り作業への波及効果：植栽間隔等を精密に制御することで、下刈り作業の機械導入における走行路を確保し、下刈り作業の効率化につながる。

(3) 導入条件と課題

- ・高額な導入コスト：最新の自動植栽機は価格が高く、中小規模の事業者には負担が大きい。初期投資を回収するまでの期間が長くなる可能性がある。
- ・地形適応性の課題：急傾斜地や岩場では機械が適切に動作しない場合があり、柔軟な地形適応技術の開発が必要。
- ・苗木の適応性：苗の重量や根の形状によって、機械での扱いやすさが異なる。コンテナ苗を前提とした機械が多く、普通苗や大苗には完全対応できていない。

- ・技術習得・運用の課題：オペレータの操作・メンテナンススキルが必要である。

3. 下刈りの機械化

機械化・自動化を想定した下刈り用の機材として、ここではマルチャー、乗用刈払機について述べる。

(1) 技術の概要

林地表面の伐根や残材を破碎処理することで、苗木植栽後のマルチング効果による雑草木の抑制、下刈りの省力化等が期待される。乗用刈払機については、低密度植栽地での導入が可能であり、無人の計画走行の実用化が期待される。



乗用刈払機

(2) 導入メリット

- ・低密度植栽とすることで、下刈り作業の機械化が可能となり、マルチャーおよび乗用下刈り機の活用が期待される。伐採～地拵え～下刈りに至る作業工程をすべて一貫して機械化することも可能である。
- ・従来行われてきた人力による下刈りや保育作業の軽労化、安全性の向上が図られる。
- ・伐根、伐採残渣の破碎物による一定のマルチング効果により下草抑制に期待。

(3) 導入条件と課題

- ・急傾斜地での導入は困難。傾斜地であっても作業路脇ではアームの届く範囲であれば実行は可能である。したがって、ロングリーチタイプを導入することや、ベースマシン走行路での利用も考えられる。
- ・マルチャー、乗用刈払機による破碎等の作業における機材操作について、一定程度の習熟は必要である。
- ・機材導入コストのほか、切削刃損傷や維持管理の費用が必要である。
- ・UAV調査に基づく林況把握と傾斜度等地形条件に応じ、機械作業導入区域と従来型人力作業区域をゾーニングして、作業手順など作業計画を策定しておくことで効率性が向上する。
- ・伐採～地拵え～下刈りを通じた一貫した機械化作業を可能とするベースマシンのフル活用が考えられる。その際、各作業用アタッチメントの適切な選択が必要である。
- ・一定ロットの事業地を確保しておくことと、ベースマシンの事業地間移動を極力少なくする作業手順や作業計画の作成が望まれる。
- ・伐採～地拵え～下刈りの一貫した機械化作業(ロングリーチ活用含む)を前提として、効率的な作業路網を作設しておくことでさらに効率性が向上すると考えられる。

4. 苗木等資機材運搬

苗木植栽やシカ防護柵の設置等における各種資機材の林内での運搬作業は、作業者のかなりの労働負担となっており、作業拠点からこれら資機材を小運搬することで、作業効率、軽労化、安全性を向上させることが期待される。以下、ドローン、架線、電動運搬車について述べる。

ア. ドローンによる資機材運搬

(1) 技術の概要

ドローンを活用した苗木や林業資機材の運搬は、山間部や急傾斜地での作業を効率化し、作業者の負担が軽減される。特に、植林作業の苗木運搬・肥料や資機材の配送での活用が進んでいる。ドローン活用による省力化・コスト削減・安全性向上が期待される。

(2) 導入メリット

- ・大型(中型)ドローン(機材によるが、積載量10~50kg、飛行距離2~10km)による苗木運搬や造林資機材の運搬により、人力重筋作業の大幅な省力化、作業員の労働時間削減によりトータルコスト削減が可能。
- ・一度に大量の資機材を輸送できるため、人手不足対策にも有効である。
- ・急斜面や崖を登らずに資機材運搬が可能であるため、作業員の安全対策としても有効。
- ・急傾斜地やアップダウンの多い事業地、路網が届かないエリアへの運搬に効果発揮。
- ・積載量の大きい大型ドローンにより、運搬効率のさらなる向上と獣害保護柵・支柱など重量物の運搬も可能となり、現場作業の軽労化に極めて効果的。



ドローンによる防護柵の運搬

(3) 導入条件と課題

- ・現在のバッテリー技術では、長距離・重量物の運搬に制約がある。バッテリー交換が最小となるよう、フライト回数、バッテリー消耗の少ないフライト計画の調整が必要。
- ・強風・雨・雪の影響を受けやすいため安定運用が課題である。天候データとAIによる運行管理の導入が望まれる。
- ・導入経費が高価。植栽作業の季節性から適用作業期間(稼働期間)が短く償却コストが高い。稼働率向上の点から、他作業との組合せや複数事業者での共同利用も課題。
- ・導入コストの負担軽減、早期の償却が可能となるよう、事業地・事業量の確保、複数事業地での共同利用、造林資機材運搬だけでなく多用途への利用等による稼働率向上が課題。大型ドローンでは農業等異業種との共同利用(レンタル利用含む)も課題。
- ・遠隔操作や自動飛行の設定には専門知識を要し、操縦トレーニングが求められる。
- ・輸送距離や作業員の歩行距離をさらに短縮するためには、路網との組み合わせも重要。

イ．架線による資機材運搬

(1) 技術の概要

集材架線を活用して、各種資機材を効率的に輸送するもので、苗木の大量運搬、獣害防備柵等の重量物輸送が可能。

架線によって500m以上の長距離運搬が可能である。



集材架線を利用した運搬

(2) 導入メリット

- ・苗木や資機材の運搬を短時間で実施でき、植林作業の省力化に期待。
- ・架線集材による伐採と造林の一貫作業で、植栽苗木や獣害保護資機材等の架線運搬により大幅な省力化となる。
- ・急斜面での重労働が不要で、軽労化、安全対策としても有効。
- ・最大500m以上の長距離運搬が可能である。



資機材の吊り下げ

(3) 導入条件と課題

- ・荷下ろし地点が架線下に限定されるため、ドローンと比べて小運搬の融通性は限定的だが、電動一輪車との組み合わせ等で省力・軽労化が図られる。
- ・架線集材と資機材運搬の錯綜、架線集材作業と植付け作業の調整が必要。
- ・伐採造林一貫作業での架線活用では、集材作業と造林作業の近接作業とならないような配慮、作業手順等について安全確保と効率的な作業計画の策定が必要である。

ウ．電動運搬車による資機材運搬

電動運搬車(電動キャリア、電動運搬車)は、苗木や資機材を小分け運搬する際に活用される。バッテリー駆動の運搬機材である。人力運搬の負担を軽減し、効率的に資機材を運ぶことが可能である。



電動一輪車を利用した運搬

(1) 技術の概要

バッテリー駆動のアシスト機能で、重量物でも軽い力で運搬が可能。坂道や不整地でも概ね安定走行が可能である。多少の狭い道や段差のある地形でも小回りが利く。積載量50kg程度を運搬可能なモデルが多い。荷台の形状を変更できるモデルもあり、苗木・肥料・工具など多様な資機材に対応できる。



電動一輪車の足回り

(2) 導入メリット

- ・人力負担を大幅に削減し、作業の安全性が向上する。
- ・ある程度の長距離や急斜面でも一定速度で運搬でき作業時間が短縮される。
- ・エンジン式と比べて、オイル交換や燃料補給が不要で管理が簡単。
- ・電動一輪車は造林現場での資機材小運搬に効果的。大型ドローンや架線による資機材運搬と現場での小運搬の組み合わせが効果的。大型ドローンや架線でパーツを運搬し、現地で組立ても可能。

(3) 導入条件と課題

- ・急傾斜地、地表の状況等によっては操作に注意が必要。

2-4 流通販売・その他

1. バリューバッキングによる生産データの共有・連携

(1) 技術の概要

バリューバッキング機能を活用することによって、素材生産業者(伐採業者)と木材工場(製材所・合板工場等)との取引が、取得データに基づいて最適化され、取引の効率化、迅速化、客観性、公正性などが担保され、川上～川下の具体的な連携の進展も期待される。

(2) 導入メリット

- ・需要に応じた木材供給の最適化：事前に市場ニーズを把握し、求められる寸法・品質の木材を計画的に生産・供給でき、余分な在庫が削減され、販売効率の向上が期待される。
- ・価格決定の透明性：木材の品質・寸法データがリアルタイムで記録され、客観的な評価が可能であり、価格交渉がデータに基づいて行われ、公正な取引につながる。
- ・販売プロセスの効率化：木材情報のデジタル化と共有により、売買契約や物流手配が円滑になり、木材工場の生産計画と同期させることで、ジャストインタイム供給が可能。
- ・輸送・搬出コストの削減：収穫時に木材の種類・品質が分かるため、適切な積み分け・運搬計画が可能。最適ルートを選定で、無駄な輸送コストの削減につながる。
- ・トレーサビリティの向上：どの森林・伐採現場から生産された木材か追跡可能であり、FSC認証やSGEC認証などの証明における活用も期待される。

(3) 導入条件と課題

- ・ICT導入コスト：ICTハバースタ本体の導入コストに加え、データ管理システムの構築等が必要である。そのため、中小の素材生産業者には導入ハードルが高い。
- ・データ活用の標準化：木材工場ごとに求めるデータフォーマットや品質基準が異なるため、データ統一基準が必要で、取引先とのデータ連携が不可欠。
- ・取引先のデジタル対応：木材工場側もICTを活用しなければ恩恵を受けられない。従来のアナログな取引方法(現場確認・経験値に基づく価格交渉)との調整が必要である。
- ・作業者のスキル向上：ICT機器の扱い方、データ管理・分析のスキルが必要であり、特に従来の伐採業者がデータ活用に慣れるまで時間を要する。
- ・データ精度：初期のデータ収集・解析段階では、誤差やバラつきが発生する可能性がある。また精度管理のため、計測センサーの校正や継続的なデータ改善が必要である。

2. 写真検知等による自動化

(1) 技術の概要

画像解析(機械学習・ディープラーニング)により、丸太の特徴を学習させて、写真内の丸太を自動検出して、丸太の径・長さ・本数を自動計測し、材積算出や在庫管理に活用する。レーザ計測と画像解析を併用する解析法では、3次元点群を取得して、丸太の高さ・直径・位置を精密に測定する。山元で一定の長さに造材後、桎積した状態で、木口を写真撮影し、事前に登録した丸太木口サイズを基に、専門アプリ(AI活用)で、全量を個別に測定・記録する。

(2) 導入メリット

- ・ 人力手検知と比較して大幅に省力化され、本数・材積の集計、通信機能による川下側とのデータ連携も可能である。

(3) 導入条件と課題

- ・ 丸太径級は末口サイズ取引(末口二乗法)であるため、撮影時は木口を末口に揃えて桎積する必要がある。小径材の混載や木口の不揃いの場合は、判読できない場合がある。
- ・ 丸太本数・材積概数について一定の精度は満たせるが、取引慣行上、人力手検知と同じ精度が求められるため、木口表示がない場合は受け入れ不可の場合がある。写真検知による本数および材積の計測精度向上が求められる。
- ・ 造材後に桎積みする際に、一定範囲の径級を見極めて桎積みし、写真による捕捉精度を高める工夫が必要である。
- ・ 担い手不足から手検知の継続が困難であることを、川上川下の双方が理解し、丸太の取引・流通管理における省力化、低コスト化、デジタル化に臨むよう仕向ける必要がある。



写真撮影による写真検知

3. ノーコードアプリなどの活用による事業効率化

ノーコードアプリを活用すれば、林業生産の現場管理を効率化できる。特に、作業管理・進捗管理・出材量管理・安全管理・GIS連携にノーコードツールを活用することで、リアルタイムで情報共有が可能になる。しかし、現場の通信環境や作業員のデジタル対応、運用ルールの確立が導入時の課題であり、試験運用しながら導入していくことが望ましい。

(1) 技術の概要

ノーコードアプリは、プログラミングの知識がなくても、ドラッグ&ドロップなどの直感的な操作でアプリを作成・運用できるツールである。目的に応じたアプリの一例を示す。

例1) 作業管理アプリ

- ・ 作業日報の記録(作業者がスマホやタブレットで簡単入力)
- ・ 作業エリア・タスク管理(伐採エリアの進捗や担当者を可視化)
- ・ 使用ツール例: Airtable, Notion, Google Forms + Google Sheets, Glide

例2) 進捗管理・現場可視化アプリ

- ・作業エリアごとの進捗チェック(地図ベースのUIで管理)
- ・タスクの割り当てと優先順位の管理(作業員の負担を最適化)
- ・使用ツール例:Trello, Monday.com, Power Apps, Glide

(2) 導入メリット

- ・紙入力だった作業日報を、簡単な入力フォームで記録でき(デジタル化)、作業員の負担が軽減される。
- ・スマホやタブレットで操作・入力・分析も容易であり、リアルタイムで共有が可能。
- ・タスクの進捗状況やチーム全体の作業効率が把握しやすく、データを自動集計して、直ちに活用することができる。



活用方法はいろいろ

(3) 導入条件と課題

- ・ネット環境がない場所も多く、オフライン入力や後で同期する仕組みが必要。
- ・現場作業員がスマホやタブレットを使いこなす教育とともに、作業員の習慣化が必要。
- ・既存のエクセルや紙媒体との統合フォーマットを作成し、データの整合性を保つ必要がある。
- ・どのアプリをどの用途に使うのか、運用ルールを明確にする必要がある。
- ・セキュリティ管理が重要。クラウド保存の場合、アクセス権限やデータ保護対策が必要。
- ・情報過多になる可能性があり、情報を整理しないと混乱を来す懸念がある。
- ・誤入力やデータの正確性を維持するためのルールが必要。
- ・システムの更新・メンテナンスが必要。過去のデータを管理するルールが必要。

4 .ICT 機器を活用した境界明認

本事業で取り組む「新しい林業」で検討すべき主な課題とはやや方向性が異なるが、森林所有者の高齢化や代替り及び遠隔地居住等の進展により現地立会が進まない状況を打開するため、林業事業地の境界明確化を進めるための作業技術について検討してきた。

(1) 技術の概要

現地と遠隔地とを通信で接続し、スマートフォンや高精度 GNSS 機器による位置情報を活用して、スマートグラスやアクションカメラからの現地映像等を、遠隔地にいる関係者が共有することで、現地立会不要の境界明認作業を可能とするものである。

(2) 導入メリット

現地確認が困難な対象者が、遠隔地からICT機器を介した現地映像等を活



アクションカメラ(例)

用することによって、現地立会の簡素化、関係者間の情報共有がなされ、境界確認が可能となる。

(3) 導入条件と課題

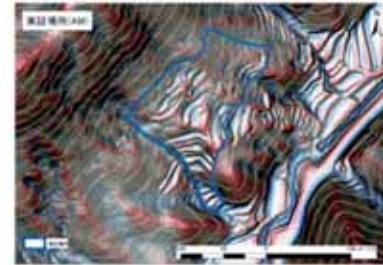
- ・ 現地映像の手振れ、位置精度の向上が課題。高精度のGNSS機器や手振れ補正機能により、より正確な現地情報の提供が可能。
- ・ 通信環境が良い事業地が対象である。
- ・ 現地映像の撮影要員や遠隔地での説明要員が必要であるが、境界明認作業を着実に進展させることが期待される。
- ・ 現地映像や境界提示の信頼性を高めるため、施業対象森林のUAVレーザ計測等による資源情報もあわせて提供することが望ましい。
- ・ 遠隔地での説明要員の省力化(現地撮影者による説明)も今後の課題である。



スマートグラスによる現地映像の送信



地図情報も共有して、現地の位置や状況を遠隔で確認



別表2 機械装備及び作業システム等の特性評価

	従来型(現状) 林業経営	林業経営に導入する 新技術(主なもの)	導入メリット	選択検討の主たる視点					導入条件と課題
				効率・ 生産性 向上	低コスト・収 支改善	簡略・ 省略・ 省力	安全性 向上	労働強度 低減	
森林資源把握	人力森林調査 事前踏査 毎木調査	UAV空撮(写真)	・事業地の概況把握(地形、本数、林相区分)	○		○	○	○	・森林資源および地形に係るデジタルデータの収集 ・点群密度：航空レーザ<ドローンレーザ<地上レーザの順に多い ・取得データの使途、必要に応じた解析方法の決定 ・生産性、効率性、省力化、安全性の向上 ・導入コスト問題、そのコストの負担者問題
		UAVレーザ 地上レーザ	・上記に加え、樹高、DEM、森林構造3D化 ・本数、3D化、細り率の把握						
主伐・ 素材生産	チェーンソー伐倒 ハーベスタ伐倒・ 枝払 プロセスサ造材・ 仕訳	ICTハーベスタ伐倒・枝払 造材 ICTハーベスタ造材・仕訳 バリュースパッキング カラーマーキング	・需要・価格動向を反映した採材指示に沿った生産による収益性アップ ・未習熟オペレータの戦力化 ・カラーマーキングによる仕分けの明確化	○		○		○	・材品質(欠点)の見極めに限界 ・StanForDを機能させる仕組みづくり(垂直連携、水平連携) ・単一需要生産(材長等定規格)にはオーバースペック ・多様な需要には有効 ・林内通信環境未整備ではリアルタイムのデータ連携困難 ・高い導入コスト
		リモコン式油圧集材機 架線グラブ	・集材機運転手、荷掛け荷外し手の無人化や省人化で、人工あたり労働生産性は向上 ・架線下(一定の横取り)集材作業では、生産性向上 ・荷かけ、荷外しの無人化により安全性が向上 ・新規参入者、長期未操作者のオペレータ化が可能						
再造林・保育	人力地植え エンジン刈払機	機械地植え(伐採造林一貫システム) マルチャー・クラッシャー 乗用刈払機	・ハーベスタのヘッド交換で、伐採から地植えの効率的な一貫機械化作業 ・地植え、下刈りや保育作業の安全性向上 ・伐根処理による林内機械走行の安定 ・マルチング効果により一定の下草抑制効果 ・低密度植栽下で伐採～地植え～下刈りの一貫した機械化作業	○	○		○	○	・傾斜地であっても作業路脇はアームの届く範囲で実行 ・マルチングによる下草抑制効果は限定的 ・機材導入コストに加え維持管理コストも必要 ・ゾーニングによる綿密な作業計画が必要
	人力苗木運搬	機械運搬 UAV運搬 フォワーダ活用 架線活用 電動運搬車	・人力運搬作業の軽労化、省力化 ・大苗植栽の導入	○	○	○	○	○	UAV ・電池の問題でフライト回数、フライト距離、重量物運搬に制限 ・導入経費が高価。他作業との組合せ、共同利用も検討 ・専門的知識を要し操縦トレーニングも必要 架線 ・荷下ろし地点に制限。電動運搬車との組合せも検討 電動運搬車 ・エンジン式に比べ管理が容易。大型UAV、架線との組合せ
	人力植栽	植栽位置誘導装置	・間縄などによる位置決めが不要となり植栽時の時間短縮・省力化 ・植栽位置記録により下刈り時の誤伐減少 ・植栽地の外杭が不要、測量を省略化 ・CLAS技術を活用し単独測位のGNSSで上記の作業が高精度に可能	○	○	○		○	・GNSS受信の精度 ・装置本体及び配線周りの強度、防水・防塵などが必要
	人力植栽	機械植付け 自動植付け機 スマートグラス 低密度植栽 特定母樹・エリートツリー 早生樹、広葉樹、大苗	・大規模な植栽が可能で高齢化、人手不足を解消 ・短時間で広範囲に適切な配置で植栽が可能 ・人件費削減、作業計画の最適化 ・下刈り作業の機械導入が可能	○		○	○	○	・導入コストが高く、中小事業者には負担が大きい ・急傾斜地、岩場では機械導入が困難 ・現状の機械ではコンテナ苗の使用が前提 ・オペレータの技術習熟が必要
	人力下刈り	機械下刈り マルチャー・クラッシャー 乗用刈払機	・下刈り作業の安全性向上、労働強度の低減 ・作業効率は人力下刈り作業に比し、全刈で2倍、列間で6倍 ・植栽位置表示により誤伐率低下 ・新規就業者の確保	○		○	○	○	・高い導入コスト 転石等による切削刃損傷や維持管理コスト ・伐根破碎作業を伴う場合は操作習熟が必要 ・急傾斜地では導入不可、適用平均傾斜は30度前後までを推奨 ・マルチャーヘッドではアームの届く範囲が限定
	山元人力検知	ハーベスタ検知、データ連携 写真検知	・人力検知省略による省人化 ・川上～川下のデータ連携 (ポイントごとの検知省略)	○	○	○		○	・川下の人力検知絶対主義、ICT造材データの信頼性確保 ・林内通信環境未整備によるリアルタイムのデータ連携困難
流通販売・ その他	フォワーダ運材	ICTハーベスタ・フォワーダ 連携 生産進捗管理・在庫管理	・需要に応じた木材供給の最適化 ・価格決定の透明性、データに基づく価格交渉 ・無駄な輸送コストの削減 ・トレーサビリティの向上、森林認証への活用	○	○	○			・データ統一基準、データ管理システムの構築が必要 ・木材工場側のICT活用が条件 ・データ精度管理のための計測センサの校正、継続的な改善
	人力仕訳 自動選別機仕訳	ICTハーベスタ造材仕分け カラーマーキング仕分け	・人力検知省略による省人化 ・川上～川下のデータ連携 (ポイントごとの検知省略) ・カラーマーキングによる仕分けの明確化	○	○	○		○	・川下の人力検知絶対主義 ・ICT造材データの信頼性確保
	境界確定立会	ICT機器を活用した境界明認 スマートレンズ アクションカメラ	・現地確認が困難な者が遠隔地から現地確認 ・現地立会の簡素化、関係者間の情報共有	○		○	○	○	・現地映像の手振れ補正、位置情報の向上 ・通信環境の確保 ・対象森林のUAVレーザ測定解析等による資源情報の提供

第3章

経営モデルの提案とその実現に向けて

第1章では全国12地域で実施した取組内容を、第2章では各地で実証した技術等を整理した。本章においては、これらを参考とし、現状の技術水準、関係者の連携の可能性を念頭に置き、一定の条件を前提とした経営モデルの試案作成を試みた。併せて、その収支改善に関わる要因等について検討事例を示した。また、提案したモデルを実現するために目指すべき方向性を整理した。

3 - 1 「新しい林業」の経営モデルが求められる理由

すでに現実となっている林業の担い手不足の解決を図るとともに、従来の林業業務の内容や慣行を見直す必要性を理解する必要がある。他産業で急速に進展している技術革新の現状に留意しつつ、林業界の「担い手不足」への対応策の一環として、先進機材や新技術の導入による「新しい林業」の展開が求められていることを理解しておく必要がある。

(1) 技術革新の現状

他産業での技術革新は急速に進んでおり、AI(人工知能)、UAV(無人航空機)、演算処理、高機能センサーの展開は、今後の産業や社会に大きな影響を与えつつある。森林に関わる近い将来の姿としては、次のような状況が予想される：

- ・ AI×UAV×高機能センサーの融合により、森林管理が完全デジタル化
- ・ 量子コンピュータとエッジAIの発展で、環境シミュレーションや自動運用が加速
- ・ ノーコード開発と自動プログラミングで、新技術導入のハードルが低下
- ・ 高性能センサーによるリアルタイムデータ収集で、持続可能な資源管理が可能に

こうした技術革新により、森林管理・資源活用・環境保全のDX(デジタルトランスフォーメーション)が加速し、林業生産における変革が自ずと求められるであろう。

(2) 異業種参入の可能性

林業界よりも、他産業(建設、農業、物流、IT、AI、自動車・ロボティクスなど)の技術進展はより速いスピードで進んでいる現実がある。この他産業の技術革新が、林業界にもたらす影響を考慮する必要がある。他産業が開発する技術革新は、以下のように、林業界でも応用し得るものである。

- ・ スマート建機・ICT施工の進化
 - ICTハーベスタ、ロングリーチグラブプル、フォワーダの自動操縦技術
- ・ BIM/CIM(3Dデータ活用)の林業への応用
 - GISやLiDARと連携した3Dシミュレーションによる伐採計画・土木作業の最適化
- ・ 農業の自動化技術の転用
 - 苗木植栽ロボットなど、自律機械導入の可能性
- ・ AIによる伐採・生産管理の最適化
 - 伐採計画・需要予測の分析、最適な木材供給計画立案をAIが担う可能性

他産業の技術を積極的に取り入れることで、林業はより持続可能で収益性の高い産業へと進化していくと考えられる。そのことは逆説的に、旧来の計測手法や取引慣行から脱却できずに新技術の導入に後ろ向きであり続けるようなことがあれば、他産業によって林業界が席卷される可能性は否定できず、事実、すでにその予兆が見られている。

(3) 林業界の担い手問題

林業界では担い手不足は深刻な課題であり、特に高齢化や若年層の定着率の低さが問題である。林業従事者の約60%が50歳以上で、10年後には熟練者が大量に引退し、技術継承が困難になる可能性が高い。労働環境の厳しさ(危険・重労働・季節変動)、低い給与水準、不安定な雇用環境のため、若年層に敬遠される現状がある。若年層が地方から都市部に流出し、地域によっては、現場作業員だけでなく指導者・技術者の不足も深刻である。

3-2 「新しい林業」経営モデルの検討

3-1では、技術革新の現状、林業を取り巻く現況を踏まえ、「新しい林業」の展開が求められていることを記載した。

「新しい林業」で導入される機材が搭載する様々なセンサーによって、有効かつ有益なデジタルデータが提供されることが期待されるが、そうしたデータを即座に活用できるからこそ「新しい林業」の効果的な展開に期待が寄せられるのである。しかし、現状では様々な問題が残されており、特にICT機器を活用するための通信環境の整備や大型機械の能力を発揮させるための路網整備等の基盤整備の充実が求められる。

今後の林業の目指すべき方向を考えれば、こうした基盤整備等の課題が解消されていることを前提として、どのような林業が展開できるのかを示すことには大きな意味があるものと考えている。そうした前提のもとで、「新しい林業」の新たな経営モデルについて検討する。

1. 経営モデル試案

「経営モデル」の検討にあたっては、言うまでもなく、一定の前提条件が必要である。素材生産の林業経営での事業展開では、事業規模に応じた適切な人員配置と機材導入が不可欠であり、特に、ICT機材の導入にはオペレータやデータ解析担当者の育成が重要であり、新たな資金調達や事業者連携によるコスト削減がカギとなるであろう。

そこで、12実証主体が取り組んできた新しい林業機械および技術等による成果、ならびに有識者や実証主体からの聞き取り等を通じて得た様々な知見を踏まえ、一定条件のもとで「新しい林業」の経営モデル試案を作成し、立木販売の収入で再造林・保育の経費を賄うことの可能性等を検討した。

特に、効率性、省力性、安全性の向上等に有効であり、普及展開の可能性も高いと考えられる機械・機器、作業システムを抽出して、経営モデルを構成した。

(1) 検討事項

試案の検討にあたっては、現在の林業が抱える課題に対処することを念頭に、想定するモデル事業体の経営方針および事業規模等を以下の基本方針を想定した上で、森林所有者や素材生産業者などの林業経営体が持続的経営を行うことが可能かを検討した。

- ① 林業従事者は長期的に減少を続けており、今後大幅な増加は想定しがたいことから、積極的に機械化を進め省力化・軽労化を図ること。
- ② 林業労働災害の総数は減少してきているが、重大災害が依然として多いことを念頭に、安全教育、IT化・IT機器の導入などによって、林内を歩かない、重量物に手を触れない現場の実現を図ること。
- ③ 伐採後の再造林の実施率が低位であり、また、植栽してもシカ等の獣害被害が多いという現状の下、造林から保育・保護までを含めた経費が捻出できること。

(2) 想定する事業体及び前提条件

① 事業規模及び事業内容

- ・素材生産は、事業規模が拡大傾向にあり、新しい作業システムの導入が期待される年間素材生産量5,000m³以上の林業経営体が、森林所有者から伐採・再造林・保育の作業を一貫して受託・実施。
- ・事業対象地は緩傾斜のスギ主伐林分とし、林分蓄積が600m³/ha(林野庁「森林生態系多様性基礎調査」のスギ人工林50年生林分蓄積を参考。)、生産材積は歩留まり7割程度として400m³/haと設定。

② 価格およびコスト

- ・スギ素材(丸太)価格を13,900円/m³、スギ山元立木価格を3,300円/m³と設定(農林水産省「木材需給報告書」、日本不動産研究所「山林素地及び山元立木価格調」。2018~2023のうちウッドショック2021~2022を除いた4年間の単純平均価格)。
- ・現状の再造林・保育の作業種別コストは林野庁業務資料(R2 林政審議会資料)より引用。

③ 新技術等の導入

「新しい林業」の事業展開を以下の方針で取組むことを想定した。

作業計画の作成

- ・UAV 空撮による森林資源データ解析を行い、路網作設計画を作成し、安全に配慮した効率的な作業計画を作成。

素材生産

- ・ICT ハーベスタを導入し、生産事業における伐木・造材・仕訳を全面的に機械化。
- ・フォワーダ運材とのデータ連携により生産性を向上。
- ・管理部門とデータ共有し、作業の進捗管理、素材丸太の在庫管理、トラック運材、製材等、川下部門とのデータ連携により生産~出材に至る効率化を図り、コストを削減。

造林・保育

可能な限り全ての作業工程の機械化を前提として、

- ・マルチャー搭載重機による地拵え(伐根処理含む)。
- ・UAV 等による造林資機材の運搬。
- ・植栽位置誘導によるエリートツリーの低密度植栽。
- ・下刈り回数の削減と乗用刈払機の導入等により、労働強度の高い造林・保育作業の省人化・省力化・軽労化等を図りつつ、大幅にコストを削減。

全体に係る方針

- ・導入機械は取得費が極めて高額であるため、すべてレンタルで対応。
- ・山元への利益還元の増加、森林所有者の再造林意欲の喚起、伐採後の再造林・保育の実現。

(3) 経営モデル試案の概要

上記前提条件のもとで、導入機材、作業工程、人員配置、必要経費、販売収益等に係る収支試算等について、集計表の形式で別紙(別表3-1、別表3-2)に示した。

2. 試算結果と考察

(1) 経営モデルによる収支改善等の見通し

① 主伐～流通販売

- ・ICTハーベスタを導入し、労働生産性を向上させ直接作業のコストを削減できるものの、ICTハーベスタの機械費用(レンタル費)が必要となることから、素材生産のトータルコストを大きく削減することは難しい。
- ・素材生産作業の省人化、労働安全性の向上が大幅に図られるとともに、ICTをフル活用した高性能機械化により若年労働者の新規参入が期待される。
- ・直接作業コスト削減分の一部を間接費(経営体利益含む)に増加充当し、安全教育の強化、安全装備の充実、作業者の処遇改善を図ることが可能になる。
- ・ICTデータの川上・川下連携により、トラック運送や製材用資機材調達・在庫管理等が円滑化・効率化し、コスト削減が見込まれる。

② 再造林・保育

- ・各作業段階で全面的な機械化とエリートツリーの低密度植栽や下刈り回数の削減を進めることで、作業効率の向上、作業コストの削減が図られる。
- ・マルチャー等の機械レンタル費が非常に大きいことから、トータルコストを大きく削減することは難しい。
- ・過酷な気象下で労働強度の高い現場作業を大幅に軽減させることが可能であり、若年労働者の参入を含め、担い手の確保に大きな期待がもてるとともに、素材生産のオペレータが再造林においても活躍しやすくなり、生産・再造林の一貫作業が促進される。

(2) 収支試算に係る考察

この経営モデルでは、現状のモデルと比較して収支が大きくプラスになり、森林所有者が得られる山元収入で再造林・保育に要する経費を賄える結果となった。

一方で、素材生産～再造林・保育を担う林業経営体、森林所有者の利益までは見込まれておらず、このままでは将来にわたって林業経営を継続することは困難である。

林業経営体が現に保有している林業機械の有効活用や従来型の作業システムを実態に応じて柔軟に組み合わせ、より機動的で効率的な作業システムとしコスト削減を図ることや、現地の実情に応じて、造材端材等の燃料材活用により更なる収益化を図ることについても、投入する機械(スキッダ、チッパー等)の費用対効果を検証しつつ検討する価値もあるであろう。

持続可能な林業経営の実現に向けては、木材・木製品等から立木までの取引に関わるすべての関係者が森林の再生産を可能にする適切な価格になるよう努力を継続することが重要である。

なお、地形などの自然条件、市場との距離などの経済条件などが不利で関係者の努力だけでは解決できない地域も多く、当分の間、資金調達への支援が必要である。

現実的林業経営においては、それぞれの森林や林業経営体がおかれた条件の下で生産性と安全性が高い新しい林業経営へ徐々に移行していくことになるが、その先には将来的に他産業並みの労働環境、就労条件が実現することが期待される。

別表3 - 1 ICTハーベスタ造材データ連携を軸とした生産・流通の合理化と造林保育作業の機械化

区分	新たなモデル(作業システム)	実施内容	期待される効果	条件整備(機械機器導入等)
森林資源 把握	UAV空撮による森林調査	・森林蓄積の概数把握 ・アプリによる地形データ、資源データの分析による路網計画、作業区割、作業手順等作業計画や生産計画の作成	・人力森林調査の大幅な省力化 ・UAVデータ分析による現場作業の効率性向上	・空撮用UAV導入 ・分析アプリ導入
	主伐・造材生産 素材・仕訳	・バリュエーション、注文に応じた最適採材、自動検知仕訳 ・造材仕訳データの蓄積、フォワーダとのデータ連携 ・管理部門とのデータ共有(USBデータ移行、進捗管理)	・伐木造材作業の生産性向上、省力化 ・仕訳作業の効率化、生産性向上 ・人力検知作業の省略	・ICTハーベスタのレンタル ・ICTハーベスタ造材データ取引の合意 ・通信環境の整備(リアルタイムデータ連携の場合)
流通販売	フォワーダ運材	・ICTハーベスタ造材仕訳データの連携	・フォワーダ作業の効率化、生産性向上	
	トラック輸送	・販売先との生産、山元在庫データの連携	・トラック運転手作業(検品等)の省略化	
再造林・ 保育	UAV空撮による造林地調査	・地形データ分析による区割、作業手順等造林作業計画の作成 ・造林除地、伐根の情報把握と植栽位置情報の把握	・人力造林地調査の大幅な省力化 ・植栽位置誘導の準備	・空撮用UAV導入(再掲)
	マルチャーターによる地拵え(伐根処理含む)	・伐採ベースマシンのマルチャーターアタッチメント換装 ・伐根及び末木枝条の破砕処理	・人力地拵えの大幅な省力化、安全性向上	・マルチャーターのレンタル
	植栽位置誘導によるエリートツリーの低密度植栽	・GNSS測位によりUAV位置座標を捕捉し植栽箇所に誘導 ・成長早いエリートツリーに転換。低密度植栽(3,000本→1,500本/ha)	・苗間測定、マスキング作業の省略 ・苗木コスト低減 ・植栽作業の省力化、生産性向上	・GNSS受信機の導入、装着
	UAVによる苗木運搬	・運搬用UAVによる苗木、資機材の指定箇所への運搬(中運搬)	・人力運搬の大幅な省力化、安全性向上	・運搬用UAVのレンタル
	電動一輪車による苗木小運搬	・電動一輪車による苗木、資機材の運搬(小運搬)	・人力運搬の大幅な省力化、安全性向上	・電動一輪車のレンタル
	獣害防護柵の設置	・運搬用UAVによる獣害防護柵等資機材の運搬	・人力運搬の大幅な省力化、安全性向上	・運搬用UAVのレンタル(再掲)
	植栽位置誘導実装乗用刈払機による下刈り	・GNSS受信機実装乗用刈払機による列間下刈り(乗用刈払機の無人化・自動化にも応用) ・下刈り回数の低減(5回→2回)	・人力下刈りの大幅な削減、省力化、安全性向上	・乗用刈払機のレンタル ・GNSS受信機の導入、装着(再掲)
	UAVによる獣害等見回り	・UAVによる獣害被害、防護柵の破壊等異常の確認	・人力見回りの大幅な省力化	・空撮用UAV導入(再掲)

別表3-2 従来型作業システムと新たな作業システム事例のコスト等比較
(前提)

- ・コスト比較は、伐採(主伐)から再造林・保育(下刈り)までの短期のスパンを対象。境界明認に係るコストは除く。
- ・新しい作業システムの導入が期待される年間取引量5,000m³以上の林業経営体(素材生産事業体)が、森林所有者から主伐、再造林・保育を一貫して受託を実施。
- ・対象地は緩傾斜地のスギ主伐林分で林分蓄積は600m³/ha(林野庁「森林生態系多様性基礎調査」スギ人工林50年生林分蓄積を参考。)、生産材積は生産歩留7割として400m³/haと設定。1事業地3ha程度、4事業地で約5,000m³の素材生産を想定。
- ・生産は全幹集材とし、一般材として、主に集成材、合板等用途に、製材工場への直送を想定。
- ・従来型システムのスギ素材(丸太)価格を13,900円/m³、スギ山元立木価格を3,300円/m³(百円単位)と設定。いずれも2018～2023のうちウッドショック2021～2022を除いた4年間平均価格(素材価格：農林水産省「木材需給報告書」、山元立木価格：日本不動産研究所「山林素地及び山元立木価格調」)。
- ・従来型の再造林・保育の作業別コストは、林野庁業務資料(R2林政審議会資料。)を引用。

区分	従来型作業システム	コスト(円/m ³)	新たな作業システム試算	コスト(円/m ³)	コストの考え方
森林資源把握	森林調査(人力)	—	・UAV空撮による森林調査	—	・空撮用UAVは経営体の必須装備としてコスト計算から除外
主伐・素材生産	作業路作設(バックホー)	内訳 作業コスト	作業路作設(バックホー)	7,000	・作業道作設コストは作業コストに含む。 ・労働生産性は4倍程度(7～10m ³ /人日→30～40m ³ /人日)を見込む 不要機械費用、機械燃料費増等を考慮し、作業コスト半減を想定
	伐倒(人力・チェーンソー)		伐倒(ICTハーベスタ)	2,800	
	木寄せ(グラブブル・ウィンチ)	内訳 作業コスト	仕訳(同上機)	レンタル費用 1,600	・ICTハーベスタのレンタル費1,000千円/月、回送費117千円/月(400千円/回・往復、4事業地間移動3回300千円、レンタル期間6月)、月20日稼働で、35m ³ /人日生産(中央値)を想定し、m当たりレンタル費用を算出 ・間接費増は、作業員の処遇改善、作業安全措施等にも充当
	造材(プロセッサ)		検知(同上機)		
流通販売	運材(フォワーダ)	内訳 作業コスト	運材(フォワーダ)	2,600	・ICTハーベスタデータ連携による効率化、省力化はコスト計算から除外。経営体所有トラックで輸送する場合はコスト削減可能
	検知(人力)		2オペ ⇒ 1セット2名体制		
生産・流通費用合計	3オペ+1 ⇒ 1セット4人名体制	間接費(26%) 2,000	2オペ ⇒ 1セット2名体制	3,000	10,000円/m ³
	・トラック運材(納品伝票作成)	3,000	・トラック運材	3,000	
販売価格	林業事業体	素材(丸太)価格 13,900円/m ³		素材(丸太)価格 15,300円/m ³	・ICTハーベスタ、フォワーダ等のICTデータ連携による生産・出材進捗管理や流通の円滑化等により、素材価格の10%上昇を見込む(参考; R5 15,800円/m ³)
	森林所有者(林業事業体)	山元立木価格 3,300円/m ³ 1,320千円/ha		山元立木価格 5,300円/m ³ 2,120千円/ha	(参考; R5 4,361円/m ³)

区分	従来型作業システム	コスト(千円/ha)	新たなモデル(作業システム)	コスト(千円/ha)	コスト考え方
再造林・保育	人力造林地調査	—	・ UAV 空撮による造林地調査	—	・ 空撮用 UAV は経営体の必須装備としてコスト計算から除外(再掲)
	人力地拵え	310	・ マルチャーによる地拵え(伐根処理含む)	328 内訳 作業コスト	・ 労働生産性を4倍程度向上(12→3 人工/ha (1 オペ3日/ha))を見込む ・ 機械燃料費増等を考慮し、作業コスト半減を想定。
	普通植栽	苗木代 360 人力植代 270	・ エリートツリーの低密度植栽	155 レンタル費用 173	・ マルチャーのレンタル費 800 千円/月、回送費 350 千円/月(400 千円/回・往復、4 事業地間移動 3 日回 300 千円、レンタル期間 2 月)月 20 日稼働で 3 日/ha 地拵えを想定し、ha 当たりレンタル費用を算出
	獣害対策	防護柵設置 720	・ UAV による苗木運搬 ・ 電動一輪車による苗木小運搬	180 246 135 内訳 作業コスト 100 レンタル費用 6 5	・ 苗木購入代の削減(3,000 本/ha→1,500 本/ha) ・ 植栽本数は 50% 減、UAV、電動一輪車及び植栽位置誘導実装植付け機(電動オーガ)の活用による省力、生産性向上を考慮し、作業コスト半減を想定。 ・ 運搬用 UAV : 50 千円/回、2 日(1,500 本/ha) ・ 電動一輪車 : 60 千円/月(含回送代) = 3 千円/日、2 日(1,500 本/ha) ・ 植栽位置誘導(GNSS)実装植付け機 : 50 千円/月(想定) = 2.5 千円/日、2 日
	人力下刈り	860	・ 獣害防護柵の設置 ・ UAV による資機材運搬 ・ 植栽位置誘導実装乗用刈払機による下刈り	650 作業コスト レンタル費用 730 260	・ 運搬用 UAV による省力、生産性向上等を考慮し作業コスト 10% 減を想定 ・ 運搬用 UAV レンタル(再掲・苗木、防護柵の同時運搬) ・ 労働生産性を 3.5 倍程度向上(6~7 人工/ha→2 人工/ha)を見込む
	人力見回り	—	・ UAV による獣害等見回り	460 レンタル費用 10	・ 機械燃料費増等を考慮し、下刈り 1 回当たり作業コストは 30% 減、加えて下刈り回数の 6 割減(5 回→2 回)となることから、下刈りトータルの作業コストは 7 割減を想定 ・ 乗用刈払機 : 100 千円/日、回送費 15 千円/日(200 千円/回・往復、4 事業地間移動 3 回 100 千円、レンタル期間 1 月 20 日稼働) 2 人工/ha (1 オペ 2 日) 下刈り 2 回 ・ 植栽位置誘導(GNSS)実装。50 千円/月(想定) = 2.5 千円/日、2 日。下刈り 2 回
	再造林・保育費用	2,520 千円/ha		2,134 千円/ha	・ 空撮用 UAV は経営体の必須装備としてコスト計算から除外(再掲)

3. 経営モデル作成において検討すべき事項

他の地域や事業体で経営モデルを適用する際には、「地形・森林資源・人件費・機械インフラ・市場環境・補助金・経営戦略」などの違いを考慮し、最適なシナリオを作成する必要がある。特に、作業効率やコスト構造の変動要因を十分に分析し、地域ごとの事業評価を行うことが重要である。

参考までに、林業事業体の経営モデルを他の地域や事業体で適用・計算しようとする場合に、考慮すべき検討事項を以下例示する。

◇ 1 地域特性の違い

(1) 地形・気候

- ・ 傾斜・地形（急傾斜地か平坦地か → 作業効率や機械化の可否に影響）
- ・ 気候条件（降雪量、降水量、気温 → 作業可能日数や木材成長に影響）
- ・ 土壌条件（地拵えや植栽の難易度に関係）

(2) 樹種・森林資源

- ・ 主伐・間伐の割合（施業方針に直結）
 - ・ 樹種の違い（スギ・ヒノキ・広葉樹など → 成長速度・市場価格に影響）
 - ・ 材積・密度（収穫量や搬出効率が変化）
-

◇ 2 労働力・人件費

(1) 人材確保

- ・ 地元の林業労働者の数と質、地元の若者の雇用
- ・ 新規雇用の可能性（都市部からの移住者が確保できるか）
- ・ 作業者の年齢構成（高齢化率 → 技能継承の難易度）

(2) 賃金・労働条件

- ・ 地域の賃金水準（都市部に近いか遠いかで変動）
 - ・ 雇用形態（正社員・契約社員・季節雇用のバランス）
 - ・ 作業負担（傾斜地では肉体的負担が増し、労働時間も影響）
-

◇ 3 機械・インフラ

(1) 機械化の適用可否

- ・ ICTハーベスタ、フォワーダの導入可能性
- ・ 機械化が困難な場所（急傾斜地、狭い林道）
- ・ 機械購入かレンタルか（初期投資 vs. ランニングコスト）

(2) 道路・搬出インフラ

- ・ 林道網の整備状況
- ・ 森林施業プランにおける搬出コスト
- ・ 路網整備コストの試算（新設・改良・維持費）

◇ 4 コスト構造

(1) 作業ごとのコスト

- ・伐採・集材コスト
- ・地拵え・植栽・下刈りの人件費・資材費
- ・苗木代(地域ごとに価格が異なる)

(2) 補助金・助成金

- ・地域ごとの林業支援制度
 - ・補助金依存度(事業継続性への影響)
 - ・補助金活用による投資回収シミュレーション
-

◇ 5 木材市場と販売戦略

(1) 木材価格の地域差

- ・地元市場の需要・供給バランス
- ・近隣の製材所・バイオマス発電所の有無
- ・輸送コスト(市場への距離、輸送手段)

(2) 収益確保のための施策

- ・認証材(FSC、SGEC)の取得
 - ・地域ブランド化(高付加価値化)
 - ・直販(地域工務店との連携)
-

◇ 6 事業体の運営方針

(1) 経営規模の適正化

- ・地域の森林資源に応じた最適な経営規模
- ・事業規模の拡大余地(新規受注やエリア拡大)

(2) 多角経営の可能性

- ・素材生産以外の収益源(観光、CO₂クレジット、熱利用、キノコ栽培など)
 - ・地域のお他産業との連携(農業・観光業とのシナジー)
-

◇ 7 事業規模

(1) 年間伐採量：～5,000m³

- ・特徴：個人経営や小規模事業者が中心、手作業や小型機械が主流
- ・メリット：初期投資が少なく、地域密着型経営が可能
- ・デメリット：生産効率が低く、コスト削減が難しい
- ・機材：小型ハーベスタ、小型フォワーダ、チェーンソー

(2) 年間伐採量：5,000～50,000m³

- ・特徴：数名の作業チームが組織化され、ICT 機材を部分導入
- ・メリット：機械化により作業効率が向上し、コスト削減が可能
- ・デメリット：機材導入費用がかかるが、資金調達手段(補助金・融資)あり

- ・ 機材：ICTハーベスタ、中型フォワーダ、ドローン、GISシステム
 - (3) 年間伐採量：50,000m³～
 - ・ 特徴：大規模企業やコンソーシアム形式での事業展開、ICT化が進む
 - ・ メリット：ICT機材やAIを活用し、最適な伐採・搬出計画を実施
 - ・ デメリット：高度な経営管理が必要で、初期投資も大きい
 - ・ 機材：大型ICTハーベスタ、大型フォワーダ、リモセンデータ、AI解析システム
-

◇ 8 必要な人員

- ・ ICT機材を導入する場合：従来の作業者に加え、データ解析や機材管理の人員が必要
 - ・ 作業効率向上のため：フォワーダやプロセッサの運転者、作業計画担当者も配置
-

3 - 3 「新しい林業」の実現に向けて

新しい林業の「経営モデル」が、今なぜ必要かという理由については、3-1で述べたように、他分野でのICTやAI等の新技術導入による劇的変化に林業分野が立ち遅れることなく、有望な新技術を積極的に導入すべきであり、そうすることが逼迫する担い手問題の解決策でもあることを認識しておくべきであろう。

これまでのわが国の林業技術は、人力を中心とする生産技術や取引慣行を前提とし、ある意味、緻密で丁寧な職人芸的な方法に頼っていたとも言える反面、今後は情報通信技術ICTや人工知能AIを導入していく余地は相当にあり得ると考えられる。

これまでに辿ってきた「旧い林業」を脱却し、「新しい林業」では、川上～川下、森林調査～素材生産～造林保育に至る各段階で最新鋭機械・機器の活用、ICT化、無人化・省人化、新技術等を駆使し、生産性向上、コスト削減を図り収益性を向上させること、そして山元への収益還元、森林価値の向上を図りつつ、再造林と保育を確実に実施して、持続可能な循環型林業を実現することがこれからまさに目指すところである。

そのためには、「これまでの林業」が踏襲してきた計測技術や手法、あるいは判断基準や様々な慣行を必要に応じて見直し、「新しい林業」を進めていく努力が必要である。本節では、本事業を実施するなかで改善が望ましいと考えられる「これまでの林業」における様々な約束事や慣行等を含めて、改善すべき内容とその方向性を整理し、「新しい林業」のさらなる展開を期待するものである。

1. 新技術・デジタルデータの信頼性・慣行の見直し

ICTハーベスタのデータ活用は、木材流通改革の大きな一歩となり得るものと期待されるが、林業界における計測技術や商取引慣行は旧態依然としており、新しい林業を推進する上で妨げとなっているものが少なくない。その一例が丸太検知である。

丸太検知は、現在その担い手が不足している中において、そのコスト(人件費)削減は不可避であるにもかかわらず、丸太数量取引では、人力検知(手検知)と木口表示を必須(絶対主義)とする伝統的な商慣行がある。川上で検知しなければ、川下(製材分野)で検知が行われ、そのコストは丸太価格に転嫁(値下げ)されるというスタンスである。

(1) 計測システムの信頼性の認知と「検知」見直し

川下側にとって、ICTハーベスタの検知データは、直径が皮厚分過大に計測され(人力検知では皮除き直径を計測)、結果的に材積が過大評価されて損益が生じるとの疑念である。しかし実際には、ICTハーベスタでは、伐採箇所、樹種ごとに皮厚分を事前に評価し、直径計測から皮厚分を差し引き計測しており、しかも定期的に、計算値のキャリブレーションも実施して誤差修正を行っている。こうした対応が実施されていることを周知し、川下側の理解醸成を重ねていく必要がある。

北欧などではハーベスタの計測だけでなく、出材の最終重量を確認するため、フォワーダの重量検知も行うことが検討されている。フォワーダのクレーンにはロードセルが内蔵されている。

一方で、丸太の品質、腐れ、傷、曲がり、扁平等の欠点については、ICTハーベスタでは検知・判別が不可能であるため、高品質材(役物)の仕訳には限界があり、ICTハーベスタの活用を一般材に限るなどの対応も検討しておく必要がある。

(2) 丸太検知・選別仕訳の対応の地域較差

九州の木材市場や大規模製材工場では、自動選別機が装備されているケースが多い。そのため極端な例としては、山元の生産材は指定の長さに造材後は仕訳や検知をせずに、トラックに混載して運搬し、製材工場等装備の自動選別機で検知・仕分け後に取引数量・代金を精算するケースもある。あるいはトラック混載状態での重量検知も行われている。

こうした取引がすでに行われている地域では、ICTハーベスタの自動検知機能や仕訳機能の必要性は低いものと思われるが、こうした地域でも、ICTハーベスタ等のデータ連携機能による作業進捗管理や在庫管理は極めて有効であろう。自動選別機の更新時に、川上と合意の上で、検知方法や木材価格(構成)等を見直すことも検討する価値はある。ただし、検知の農林規格があり、何らかの調整・工夫が必要である。

一方、北海道では木材市場が少なく、製材工場でも自動選別機の導入例は少ない。したがって、依然として山元人力手検知が主流であるが、山元での検知担い手不足が問題となっている。ICTハーベスタの自動検知仕訳機能を活用すること、あるいは山元での造材・仕訳後にトラック運送で重量検知するといった転換も大きな課題となっている。

このように、それぞれの地域における丸太取引形態や担い手実態等を踏まえて、新しい手法を検討していくことが必要である。

2. 川上～川下の連携関係

川上(素材生産)と川下(木材工場)が対立すると、業界全体の効率が低下し、持続可能な木材供給が困難になる。そのため、情報共有・長期契約・ICT活用などを通じた協力体制の構築が不可欠である。現在直面する問題について、その根本要因をお互いが理解し、問題意識を共有して、課題をクリアしていくためには、双方の立場や状況をお互いに理解し、連携協力することが必要である。つまり、対立的関係から相互理解と双方が調整し合う関係へと転換することが求められる。

(1) 利益追求に伴う対立関係

- ・ 価格競争の発生：素材生産側(川上)はできるだけ高く売りたいが、木材工場(川下)は原料を安く仕入れたい。そのため、価格交渉が対立しやすい。
- ・ 品質基準のズレ：素材生産側は効率的な生産を重視し、木材工場側は加工しやすい材質や寸法を求めるが、要求が一致しないことがある。
- ・ 情報共有の不足：木材市場の需要変動や製材所の設備仕様に関する情報が川上に十分に伝わらず、無駄な生産や調整コストが発生する。

(2) 協力関係によるメリット

- ・ 安定的な木材供給の確保：互いに協力し、市場変動に対応できる供給体制を構築することで、急激な価格変動を防ぐ。
- ・ 生産・加工効率の向上：需要に合った木材を供給することで、無駄を削減し、全体の収益性を向上させる。
- ・ 持続可能な森林経営の実現：適正な価格設定と計画的な伐採で、長期的な森林資源の活用を促進する。

(3) 相互理解・相互協力の必要性

- ・データ共有と情報の透明化：ICTを活用し、生産・需要データを共有することで、適正な取引を実現。
- ・共同の価格・品質基準の設定：材寸・品質基準を統一し、取引の安定化を図る。
- ・契約や長期パートナーシップの強化：短期的な価格交渉ではなく、長期的な契約や協定を結び、互いに利益を確保。

3 ICT計測データの信頼性の問題と解決策の検討

林業でICT計測データが受容されない問題の所在は、「精度への不信」、「旧来の取引慣習への依存」、「データ活用の遅れ」にある。この課題を解決するためには、精度検証と標準化、データ基準の統一、現場への浸透、インセンティブなどを通じて、ICT計測を正当な取引手法として定着させる必要がある。

(1) 問題の所在

① 計測精度に対する不信感

- ・ICTハーベスタやセンサー技術は進化しているが、現場の作業者や取引先（木材工場など）がデータの精度に納得できず、旧来の人力計測が依然として重視されている。
- ・計測誤差が発生した際の責任の所在が不明確で、トラブルを避けるために従来の手法が選ばれやすい。

② 取引の基準が旧来の慣習に依存

- ・価格決定や木材品質の判断が、経験則や目視に依存しているため、データ主導の取引に移行しにくい。
- ・取引先ごとに求めるデータ基準が異なり、統一的な指標が確立されていない。

③ データの受容と活用の遅れ

- ・ICT計測データを活用する仕組みが整っておらず、現場レベルでの受容が進まない。
- ・ICT機器の導入コストが高く、中小事業者には導入しづらい。

(2) 問題解決の例

① 計測精度の検証と標準化

ICT計測と人力計測を比較検証し、誤差傾向を明確化し、業界全体で納得できる基準を策定する。
例えば、木材の直径・長さの計測誤差が許容範囲内であることを科学的に示す。

② データ基準の統一と法整備

木材取引の計測基準を、業界団体や行政が統一し、ICT計測データを正式な取引基準として認めるようにする。

③ ICT計測のメリットを現場に浸透させる

データの透明性と再現性を向上させ、木材工場や素材生産業者が安心して利用できる環境を整える。例えば、「ICT計測データをリアルタイムで可視化し、現場作業者も納得できる形でフィードバックする」仕組みを導入する。

④ インセンティブの導入

ICT計測を活用することでコスト削減や品質向上につながることを明確にし、ICT活用を促進するための経済的メリットを示す。

4. 持続的事業展開のための事業体の連携協力

素材生産業者は収益性の低さやICT機材導入の難しさといった課題を抱えており、個々の事業体だけでは経営の安定が難しい場合が多い。持続的経営のためには、事業体の連携・共同化、ICT導入の促進、効率的な生産・物流体制の確立、付加価値の向上が鍵となる。共同化によるコスト削減、ICTシェアリング等で、収益性を向上させることが必要と考えられる。

(1) 事業体の連携・共同化による経営基盤の強化

- ・協同組合・コンソーシアムの形成：小規模事業者が連携し、共同で機材を導入・運用して初期投資負担を軽減。例えば、ICTハーベスタやプロセッサを共同所有・運用し、複数の事業者が効率的に利用。
- ・他業界との連携：林業は季節性のある産業。導入機械を林業専用とせず、農業等異業種との共同利用も要検討。例えば、農業用トラクタと専用アタッチメントで、機械地拵えや下刈り等に対応。共同利用でなくても期間レンタルもあり得る。
- ・共同販売・共同出荷体制の確立：複数の事業体が協力して、まとまった量の木材を供給することで、安定した販売が可能。
- ・受発注プラットフォームの導入：生産量・需要データを共有し、無駄のない受発注を実現する仕組みを構築。例えば、森林組合や自治体がICTを活用した木材流通プラットフォームを整備し、小規模事業者も効率的に販売できる環境を作る。

(2) ICT導入を促進するための施策

- ・補助金や助成金の活用：国や地方自治体のICT機材導入補助制度を活用し、導入負担を軽減。
- ・シェアリングモデルの導入：ICT機材をレンタル・リースで利用し、初期投資を抑える。例えば、森林組合がICT機材を保有し、地域の事業者に貸し出すなど。
- ・データ活用の教育・研修：ICT機材の導入だけでなく、データを活かすスキルの向上が重要。例えば、自治体・林業大学校と連携し、ICT活用の研修プログラムを提供。

(3) 効率的な生産・物流体制の確立

- ・作業標準化：生産プロセスを統一し、効率的な作業手順を確立することで無駄なコストを削減。例えば、ICTデータを活用して、適正な伐採・搬出計画を作成する。
- ・低コストでの搬出・輸送の最適化：共同輸送や積載率の向上によって輸送コストを削減。例えば、複数事業者によるトラックの共同利用や、地域における3PL(3rd Party Logistics：第三者物流)の導入によって、運搬の効率化を図る。

(4) 付加価値の向上による収益性改善

- ・地域ブランドの創出：地域ブランドを作り高付加価値木材として販売。例えば、「〇〇産スギ」などとしてプレミアム価格での取引を目指す。
- ・カスタマイズ生産：ICTデータを活用し、市場ニーズに合った木材生産を行って余剰在庫を減らす。例えば、家具メーカーと連携して、求められるサイズ・品質の木材を供給。

5．新技術導入のための経済的・技術的な支援

林業のICT化や先進機械導入を推進するためには、資金援助・ノウハウ教育・実践的な支援体制の整備が重要。以下のような支援が効果的と考えられる。林業のICT化を促進するためには、機械導入にあたっての経費的支援・教育研修・技術サポートを組み合わせた総合的な支援が不可欠。特に、小規模事業者にも適用しやすい共同導入支援・デジタル教育・アフターサポートの充実が、持続可能な林業の実現につながる。

(1) 資金援助(補助金・助成金・融資)

最新鋭機械や新技術の導入コストは高く、導入には高いハードルがある。「新しい林業」を実現するためには、新たな機械、新技術の導入にあたっての支援に関する検討が必要である。

(2) ICT活用ノウハウの教育・研修

担い手確保が喫緊の課題。林業経営の継続、持続的林業が危機的な状況下では、収益性が不十分であっても、最新技術等を駆使し、安全性の向上、労働強度の軽減等により次代を担う若手の参入、異業種からの参入を促す必要がある。実践的な研修プログラム、eラーニング・オンライン教育、デジタル人材育成の支援が不可欠である。

(3) 実践的な支援・コンサルティング

林業DX支援センターの設置、経費支援に係る手続きのサポート、ICT導入後のフォローアップが必要である。

6．通信網や林道等のインフラ整備

林業におけるICT機材は、作業効率の向上、安全性の向上、資源管理の高度化を進める上で不可欠であるが、通信網(インターネット・GNSS・クラウド)や路網(林道・作業道)などの林業インフラが重要であり、これらの整備が不可欠である。

(1) 通信環境の整備

ICTハーベスタやドローンのデータをリアルタイムで送信・解析したり、リモートセンシングなどの森林資源データをクラウドで管理しGISと連携できれば現地で直ちにデータ確認・解析が可能である。また土砂崩れや火災の早期発見・緊急対応等に際してIoTセンサー・監視カメラの活用が想定され、道路の被害情報をリアルタイムで自治体や関係機関と共有することもできる。そのほか、作業員の安全管理(緊急時の通信手段確保・遠隔指示)という側面でも山間部の通信網整備が求められる。

しかし山間部では、携帯電話の電波が届かない地域が多く(特に4G・5Gが未整備)、GNSSの受信精度も低下しやすい(森林の樹冠により、衛星信号が遮られる)。そのため、クラウドデータのリアルタイム更新が困難で、必要なデータや情報が途絶する地域が多い。

具体的な対策としては、携帯基地局やWi-Fiスポットの整備、衛星通信の導入(Starlinkや衛星電話の活用による通信圏外の作業環境の改善)、オフラインでもデータを記録・同期できるシステムの導入(作業終了後にクラウドへアップロード)などが考えられる。

(2) 路網(作業道・林道)の整備

作業道が未整備であるため、ICT機器を搭載したハーベスタやフォワーダが入れない箇所が多い。また路網密度が低いために、搬出コストも割高で、ICT機器を使った効率的な搬出が困難となる。また災害時の復旧等に際しても、現地へのアクセスが困難で、倒木や土砂崩れの処理が遅れるという問題も生じる。

ICT林業の効果を最大化するためには、ICTハーベスタの効果的な活用を可能とする作業道の整備が不可欠であり、そうすることで林業機械の稼働率向上・搬出コスト削減につながる。適切な路網があれば、ICT機器で管理した出材量データを活用して、スムーズな搬出計画の実行が可能であり、高性能林業機械(フォワーダ、グラップル)の活用を最大化することが期待される。緊急時の安全確保に関しても、路網が整備されていれば、災害時の作業員の避難・救助が迅速化され、通信機器(基地局・衛星通信機器)の設置も容易である。

対応策としては、必要性に応じて区域のゾーニング等によって優先順位を設定して、林道・作業道の最適な配置を計画的に整備して路網密度を増やし、ICT機器を活用できるエリアを拡大させていくことが考えられる。

7. GIS関連オープンデータの活用

GIS(地理情報システム)を活用することで、森林資源の可視化・管理の効率化・意思決定の精度向上が可能になる。特に、オープンデータを利用することで、コストを抑えつつ高品質な地理情報を活用でき、持続可能な森林経営への貢献が期待される。以下、森林関係で考えられるオープンデータの活用例を示す。

(1) 森林資源管理での活用

- ・ 森林オープンデータ(LiDARデータ)により、UAV空撮画像を補完した森林資源の解析
- ・ 国土地理院によるDEMにより、地形解析(傾斜・標高)を通じた伐採計画の最適化
- ・ 森林管理データ(森林簿など)による、樹種・樹齢・成長予測管理への利用

(2) 作業計画・搬出ルート最適化

- ・ 国土交通省の道路オープンデータにより、路網との接続を考慮した搬出コスト削減
- ・ 河川・地盤情報により、土砂崩れリスクを考慮した安全な作業エリアの選定

(3) 森林災害・環境変化の監視

- ・ 気象庁の降雨量・災害リスクデータにより、伐採や施業のタイミング決定に活用
- ・ 航空・衛星画像 → 台風・山火事後の被害状況の迅速な把握

8. データ共有および管理システムの整備

ICT、新しい技術、最新鋭機械を駆使した新しい林業の実現のためには、そのベースとなる資源データ把握、データ連携、データ管理を適切に実施するシステムが不可欠である。事業対象地の森林資源量把握、事業地の地形・面積、資源内容(林相、樹種構成等)を把握して、素材生産、流通販売、造林保育の各分野でも活用できる基礎データとして共有、利用、管理する体制を整備する必要がある。

参考

- ・これから「新しい林業」を具体化して、林業家の収入を安定的に確保するためには、木材価格の安定や取引の透明性、技術革新など、多方面にわたる取り組みが必要と考えられます。
- ・林業先進国とも言われるスウェーデンやフィンランドでは、林業生産と木材産業が持続的に発展し、双方に利益をもたらされるような対策が取られていると言われます。
- ・以下、北欧で取られている様々な方策について、参考情報として記載しました。

参考1 北欧における林業生産と木材産業の双方に利益をもたらすための対策

(1) 持続可能な森林管理の推進

これらの国々では、伐採量を森林の成長量以下に抑え、計画的な植林を行うことで、森林資源の持続可能性を確保している。例えば、スウェーデンでは、適切な伐採と植林により、20世紀初頭から森林資源が増加し続けている。

(2) デジタル技術の活用

フィンランドでは、リモートセンシング技術やGISデータの活用により、森林資源の正確な把握と管理が行われている。これにより、伐採や植林の最適化が図られ、持続可能な林業経営が実現している。また、5年ごとに航空レーザー測量を行い、オープンデータ化している。これを多くのベンチャー企業が活用してソフトを開発し、山元に還元している。

(3) 森林管理認証制度の導入

スウェーデンやフィンランドでは、森林管理認証制度を導入し、持続可能な森林管理を行っていることを第三者機関が認証しており、国際的な市場での信頼性が向上し、木材製品の付加価値が高まっている。

(4) 林業家の収入確保策

林業家の収入を安定させるため、スウェーデンでは、木材の測定と報告を専門とする機関「Biometria」が設立され、木材の品質や量を正確に評価し、公正な取引を支援している。フィンランドでは、木材取引のデジタル化が進み、ハーベスタによる測定が主流となることで、取引の透明性と効率性が向上し、林業家の収入安定に寄与している。

参考2 北欧における林家の収入を安定的に確保するため方策

(1) 公正な木材価格評価と取引の透明性

- ・専用機関の設立

スウェーデンでは「Biometria」のような機関が設立され、木材の品質や量を客観的に測定・評価しており、買い手と売り手の間で公正な価格が決定され、林業家が適正な収入を得られる仕組みが整備されている。

- ・取引のデジタル化

フィンランドでは、木材取引プラットフォームがデジタル化され、伐採後の木材量や品質がオンラインで即座に確認でき、取引の透明性が高まり、価格交渉が公正に行われる。

(2) 木材価格の安定化策

- ・価格安定基金の設置

林業国では、木材価格の変動を緩和するために価格安定基金が設けられる場合がある。例えば、木材価格が市場で低下した際には、基金から補填が行われる仕組み。

- ・長期契約の促進

製材所やパルプ工場との間で長期契約を締結することで、一定期間にわたり安定した木材販売価格を保証し、林業家は市場価格の変動に左右されにくくなる。

(3) 技術革新による効率化

- ・ICTハーベスタの導入

ICTハーベスタにより、伐採作業の効率化と精度向上が実現する。木材の品質や収量をリアルタイムで計測し、最適な伐採を可能にすることで、収益性が向上する。

- ・リモートセンシングとGIS技術

ドローンや衛星データを用いた森林資源のモニタリングにより、収穫タイミングの最適化や病害木の早期発見が可能となり、林業家はより高い収益を得る機会が得られる。

(4) 付加価値の創出

- ・高付加価値製品の開発

木材を単純な原材料として販売するのではなく、高付加価値の製品（例えば、家具材や建築材）として加工することで、収益が向上する。

- ・森林認証の取得

森林認証（FSCやPEFCなど）を取得することで、持続可能な森林管理が認められた木材としてプレミアム価格で販売でき、林業家の収益が向上する。

(5) 公的支援と補助金

- ・政府の補助金

フィンランドやスウェーデンでは、植林や森林管理、機械購入に対する補助金が提供されており、初期投資の負担を軽減し、経済的な安定を図っている。

- ・森林保険制度

自然災害による損害をカバーする保険制度が整備され、林業家は予期せぬ損害から収入を守ることができる。

(6) 林業家の協同組合の強化

・協同組合を通じた収益の最大化

林業家が協同組合を結成することで、木材販売の交渉力を強化し、製材所やパルプ工場との取引条件を有利にできる。また、協同組合が共同で機材やサービスを提供することで、コスト削減と収益向上を実現している。

参考3 フィンランド林業デジタル化の歩み(先進技術導入の先見性)

1921年：国による「森林インベントリー」作成スタート

1970年代：リモートセンシングを用いた区画ごとの森林インベントリーの作成、区画別の森林計画と森林価値の可視化

1980年代：伐採の機械化・林業機械導入、持続可能な森林サイクル確立のための森林法制定

1984年～1989年：国有林と民有林(土地)所有者登録簿のデジタル化

→ 誰もが簡単に登録簿へのアクセスが可能に！ 登録内容更新も簡単に！

1990年：木材取引における、ハーベスタによる測定的主流化

→ ハーベスタが木材取引のデジタル化を牽引

※ハーベスタヘッドで丸太を1本ずつ計測し、登録

2000年代初頭：製材所主導により、需要に対する伐採の最適化が始まる

2008年：森林資源情報や地形情報を高精度で得ることができるリモートセンシング技術、「LiDAR」による森林インベントリー作成がスタート

2010年代：NODP(ナショナル・オープンデータ・ポリシー) 国家情報開示政策が始まる

→ GISデータ(気象、道路網、衛星画像など)へ無料でアクセス可能に

林業機械内・運転席で、リアルタイムに森林区画内の正確な位置情報などを確認可能。

→ ドローンによる森林データ取得やインターネットでの森林所有者サービス

2020年：第2世代「LiDAR」による森林インベントリー作成がスタート

2021年：インターネットを利用した木材販売契約に画期的な変化が起きる

令和6年度 林野庁補助事業
「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

令和7年3月
一般社団法人 林業機械化協会
