

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）。

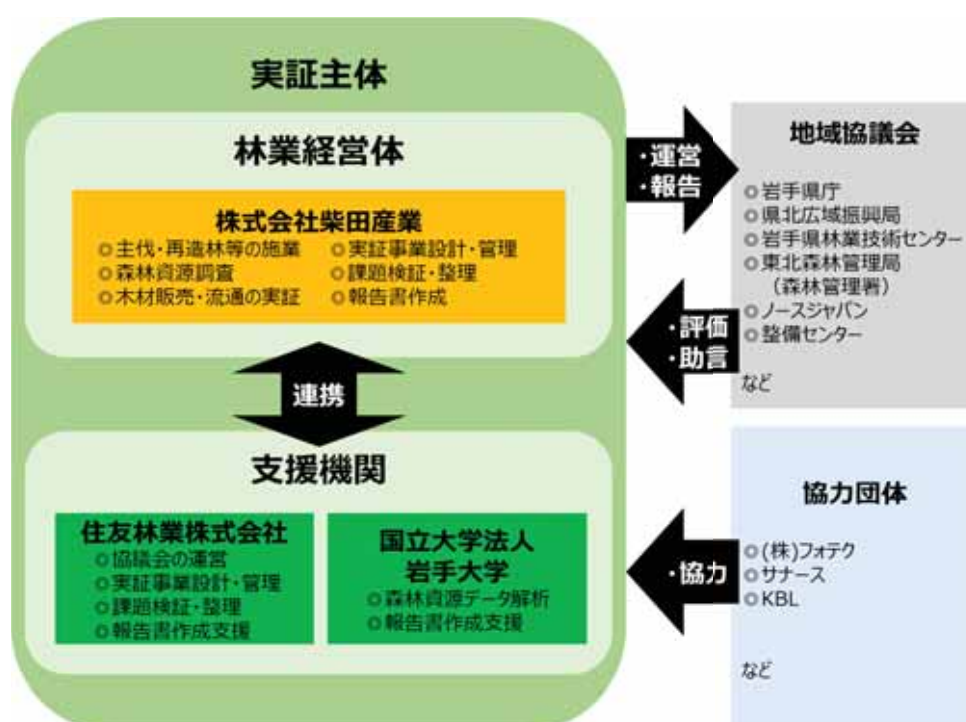


図1 事業実施体制

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。

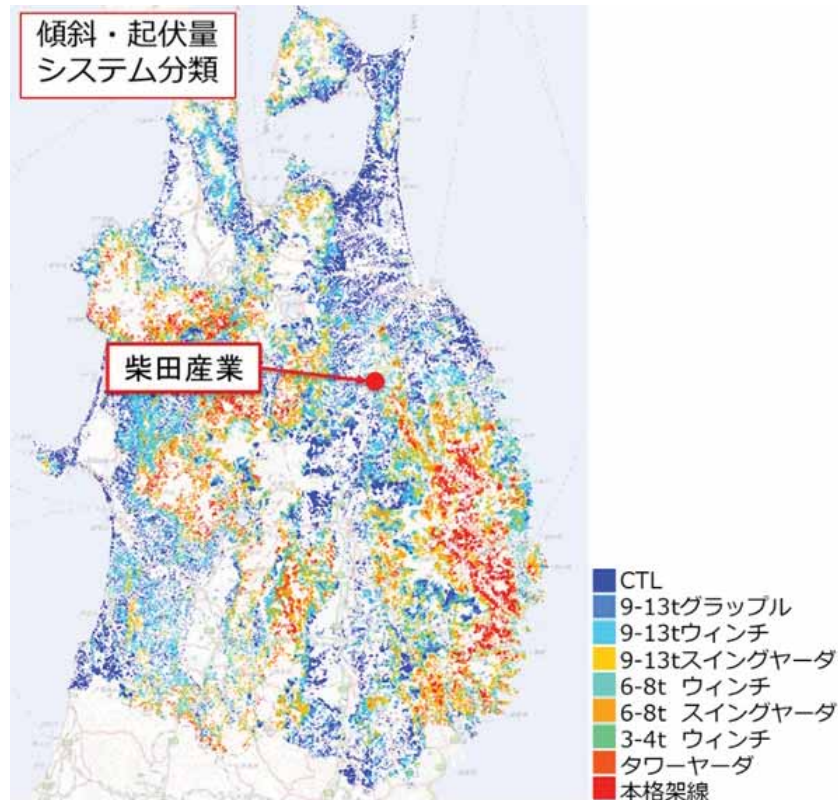


図 3 傾斜・起伏量による作業システム適地分類
(岩手大学 齋藤教授作成資料より)

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。

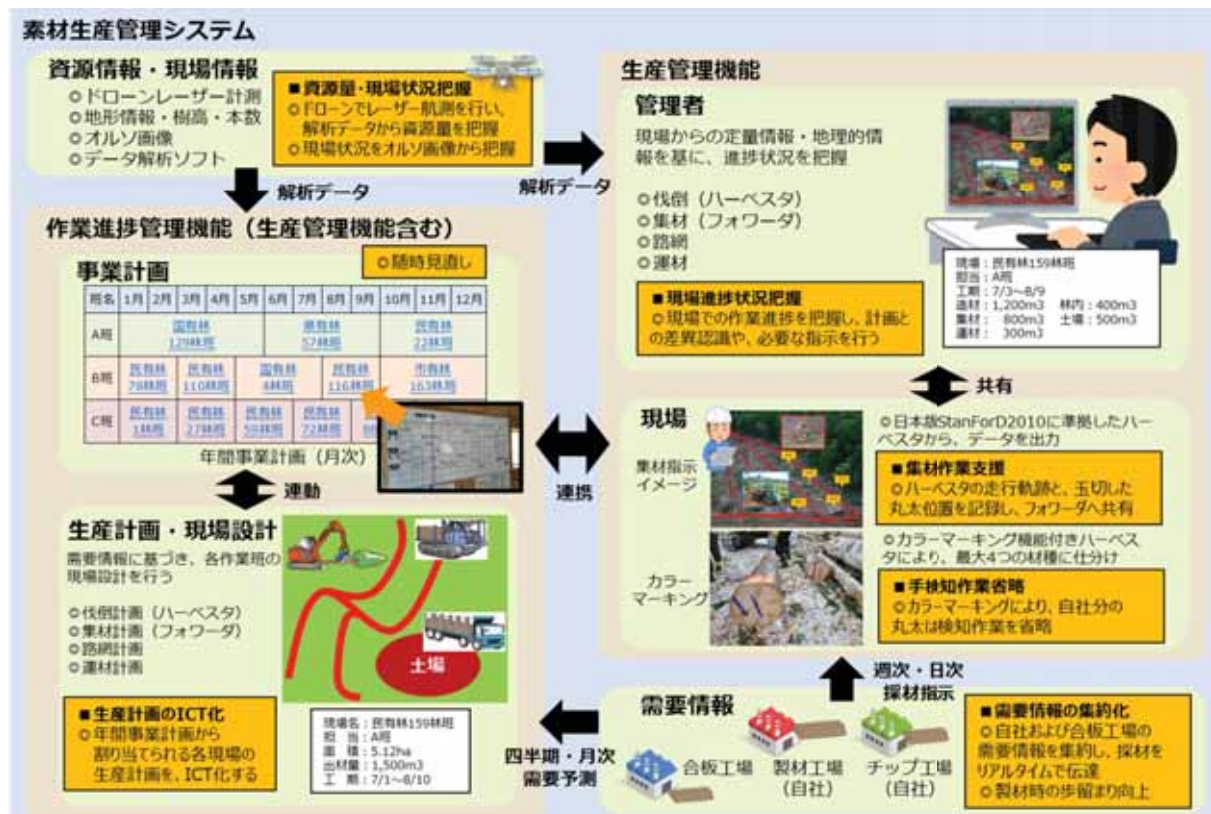


図 5 素材生産管理システム概要

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。



図 6 造林計画システム概要

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。

● 素材生産

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。

現場作業開始後は、生産管理機能を用いて ICT ハーベスタから得られる StanforD2010 準拠のデータやカラーマーキング機能等を活用して、曖昧さを排除した現場の定量情報・地理的情報を共有することにより、管理者による事業の進捗管理および適切な意思決定へ

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

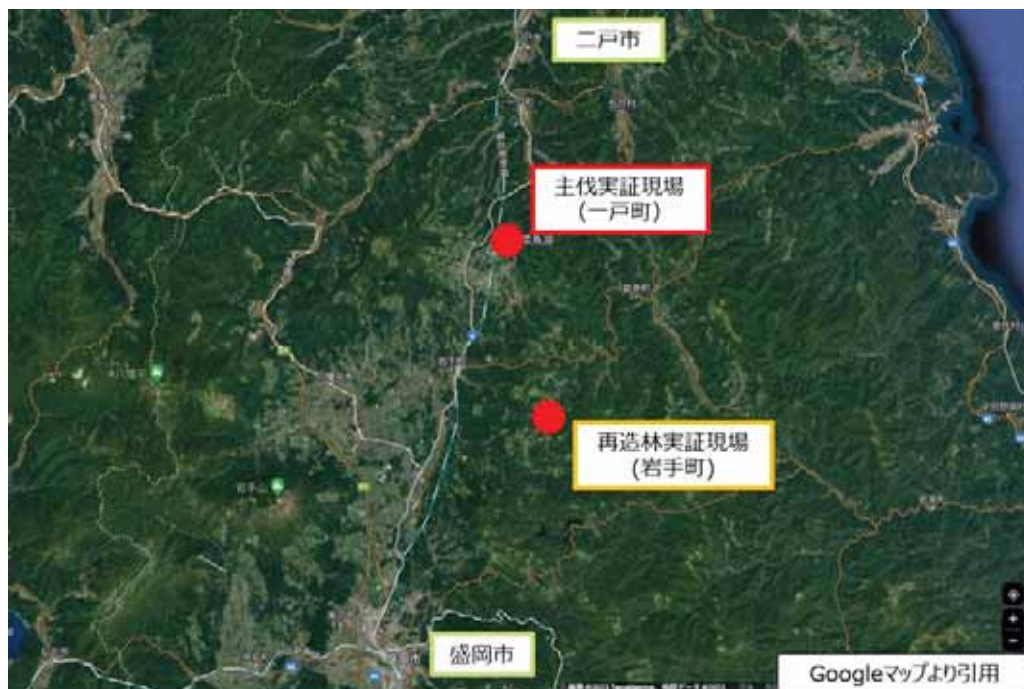


図7 令和6年度実証地の位置図

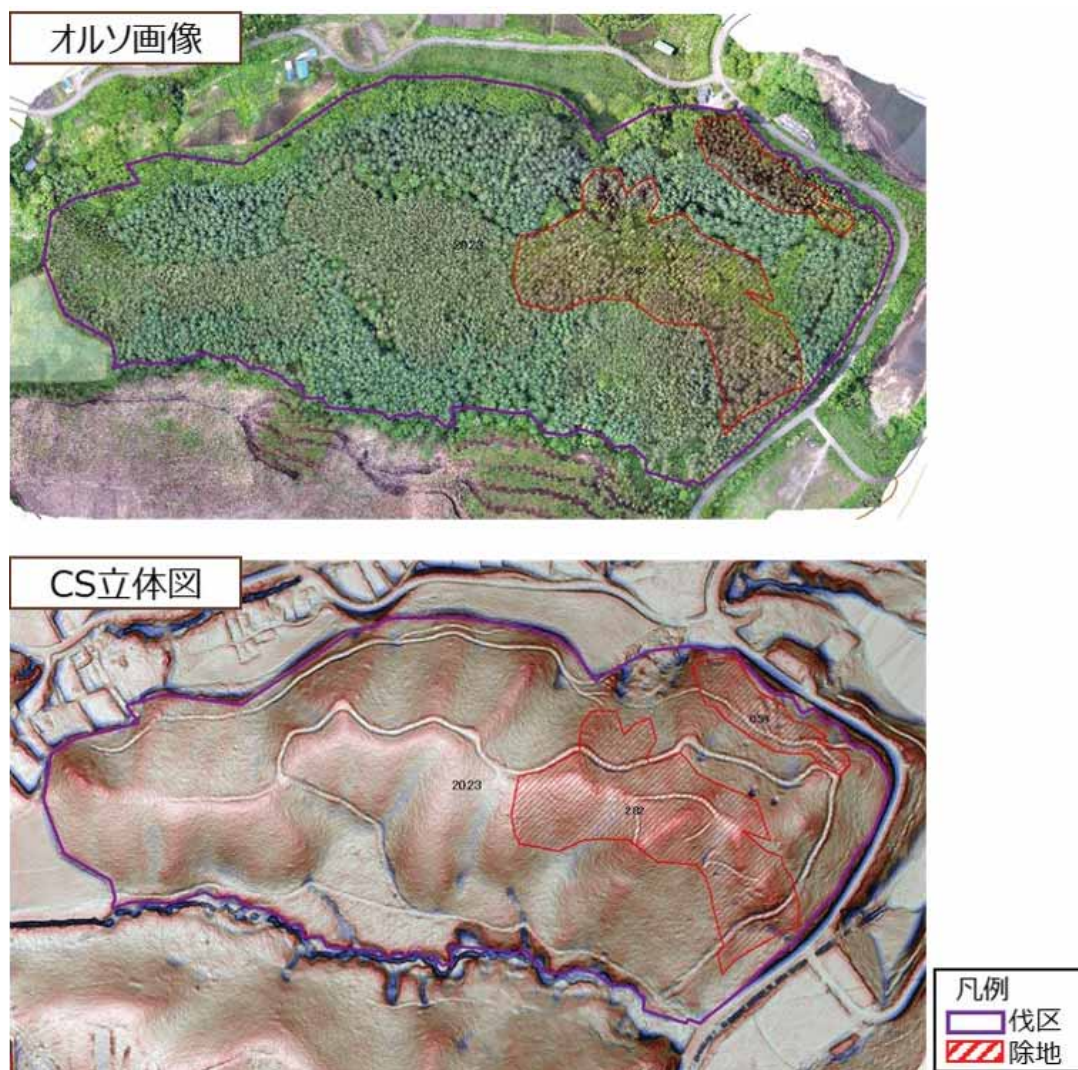


図 8 令和 6 年度実証地の図面

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。

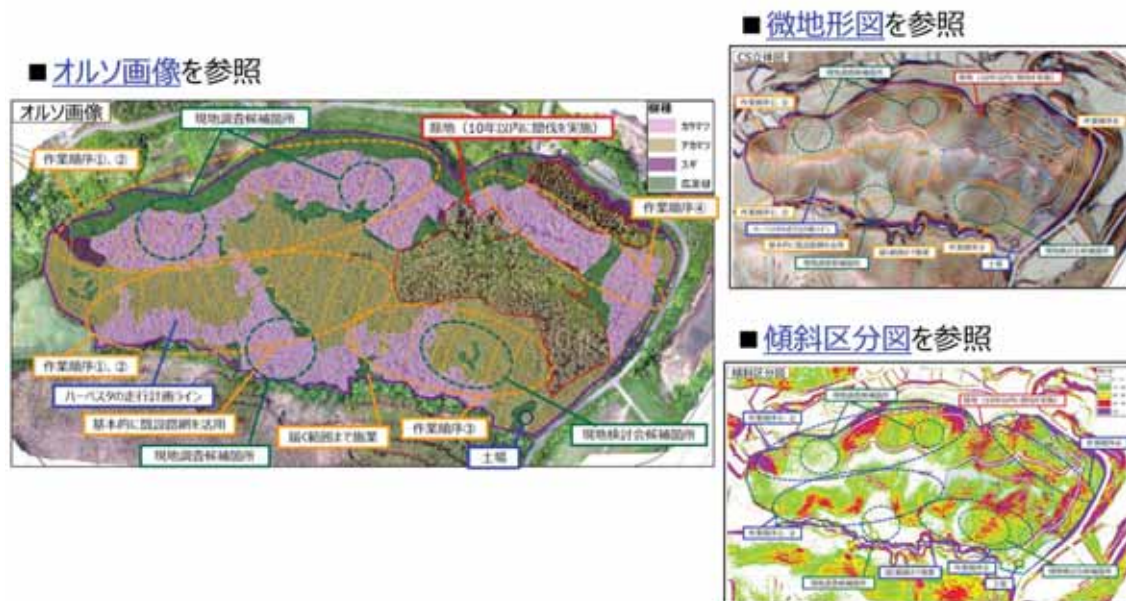


図 12 事前計画の検討

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。

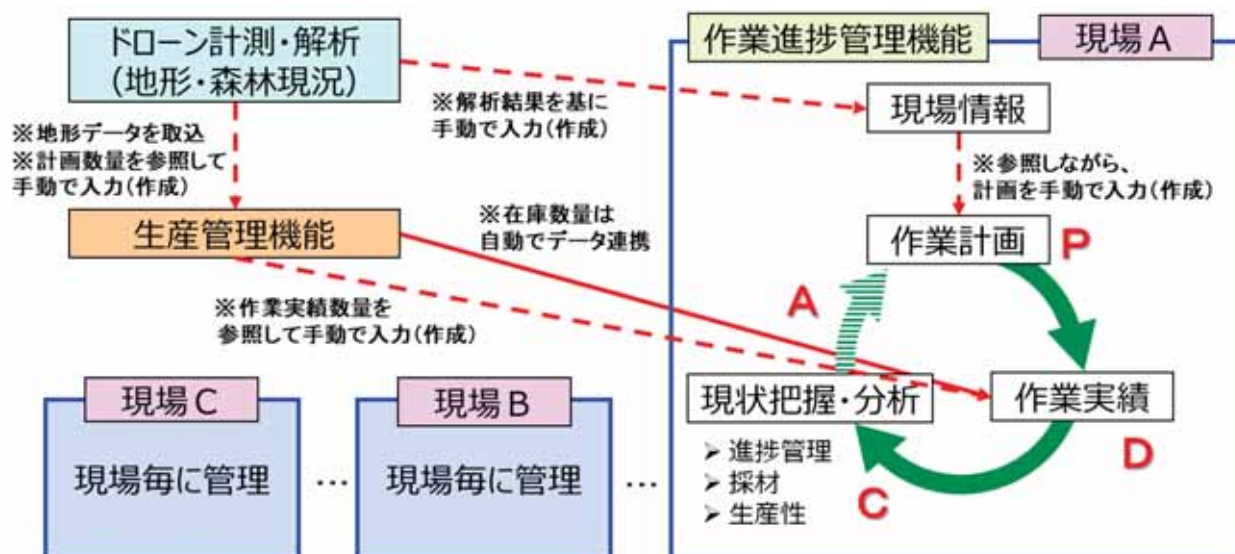
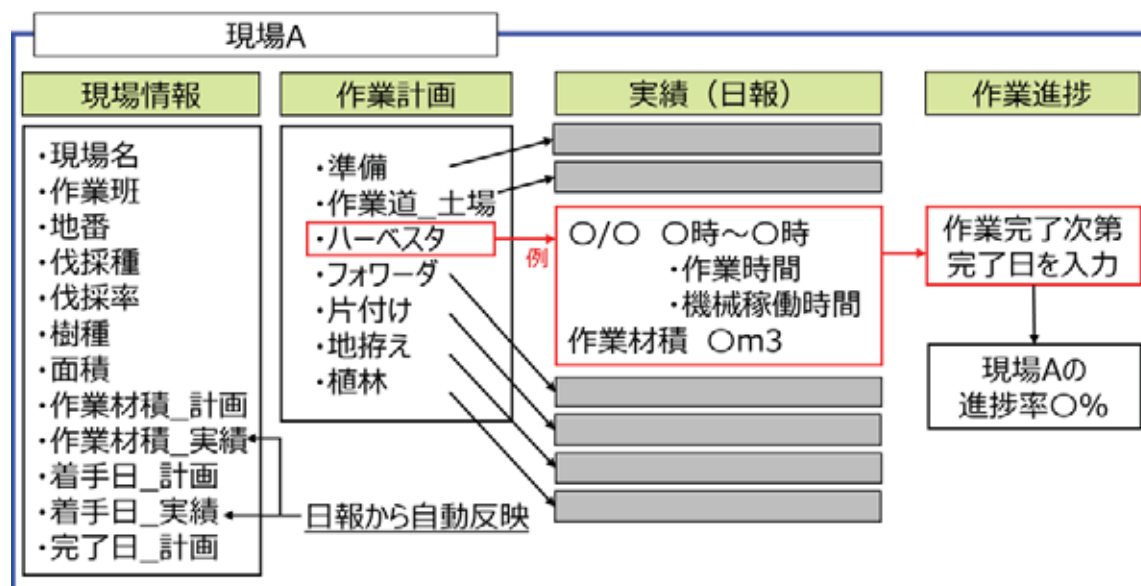


図 14 作業進捗管理システムの概要

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

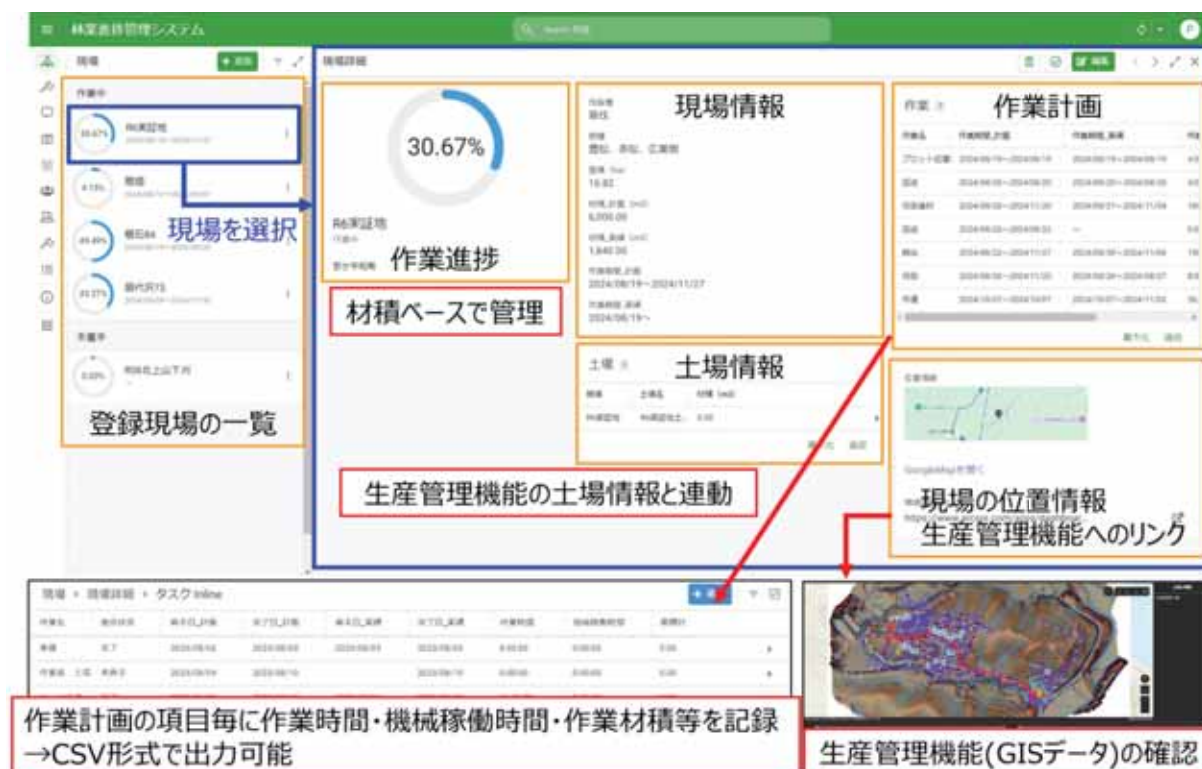


図 16 作業進捗管理の操作画面

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。

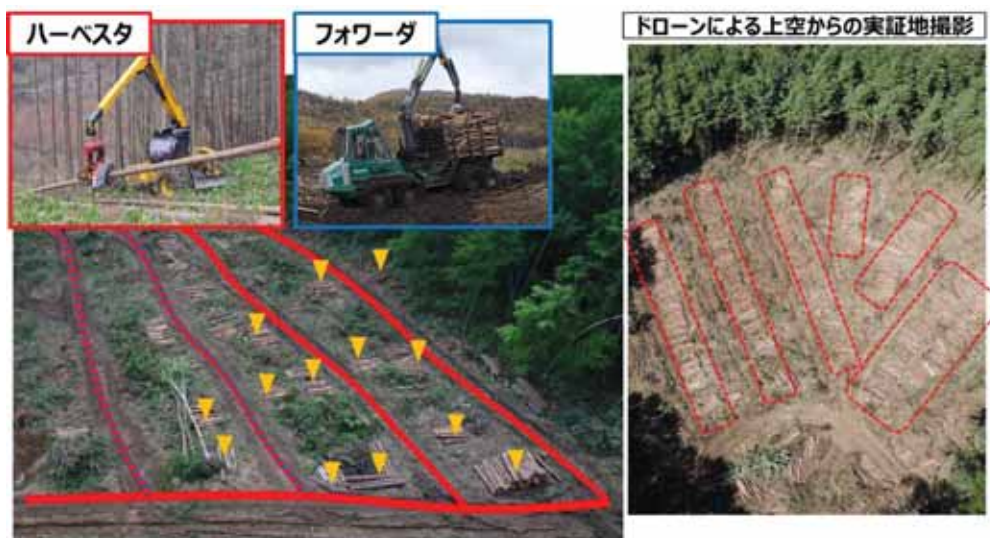


図 17 機械間の連携イメージ

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。

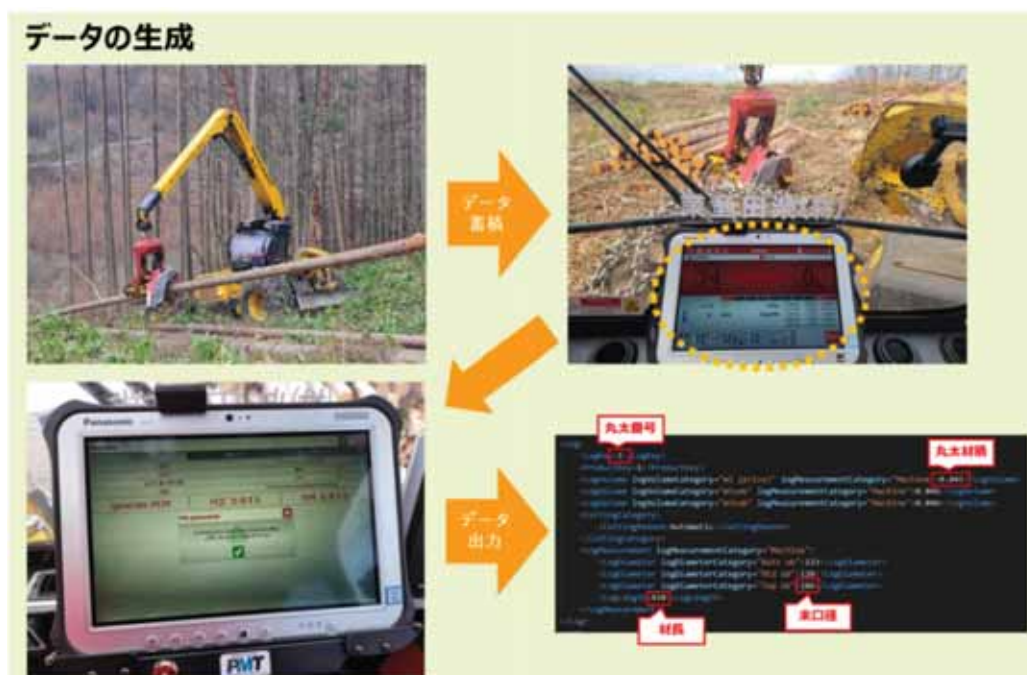


図 18 生産管理機能におけるデータ生成の流れ

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。

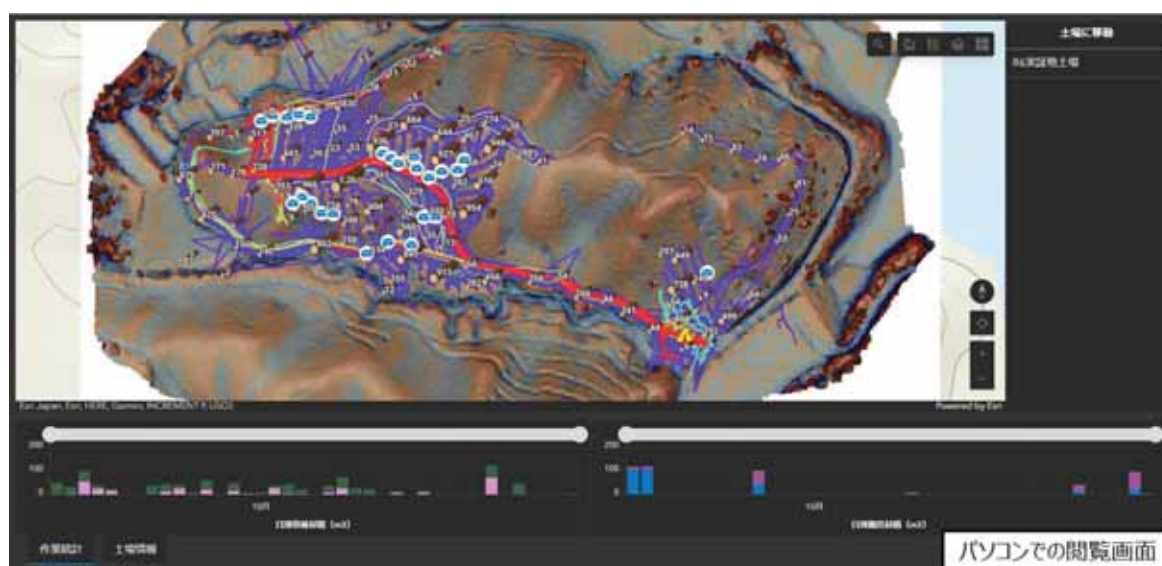


図 20 今年度の実証地における生産管理機能の活用



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が重要である。

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	四	五	六	日
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																													
荷役	作業																													
	作業時間	2	8	6	8	8		6	8	1	6	8		2	8	1	8		8	8										
	使用機械	30	30	30	30	30		30	30	30	30	30		30	30	30	30		30	30										
	合計	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2		2	2	2	2		2	2										
	機械台数(台)	28	20	20	20	20		20	20	20	20	20		20	20	20	20		20	20										
荷役	作業	3	1	1	1	1		3	1	1	3	1		1	1	1	1		1	1										
	作業時間	28	100	88	88	86		30	90	20	100	88		0	88	0	78		40	80										
	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。

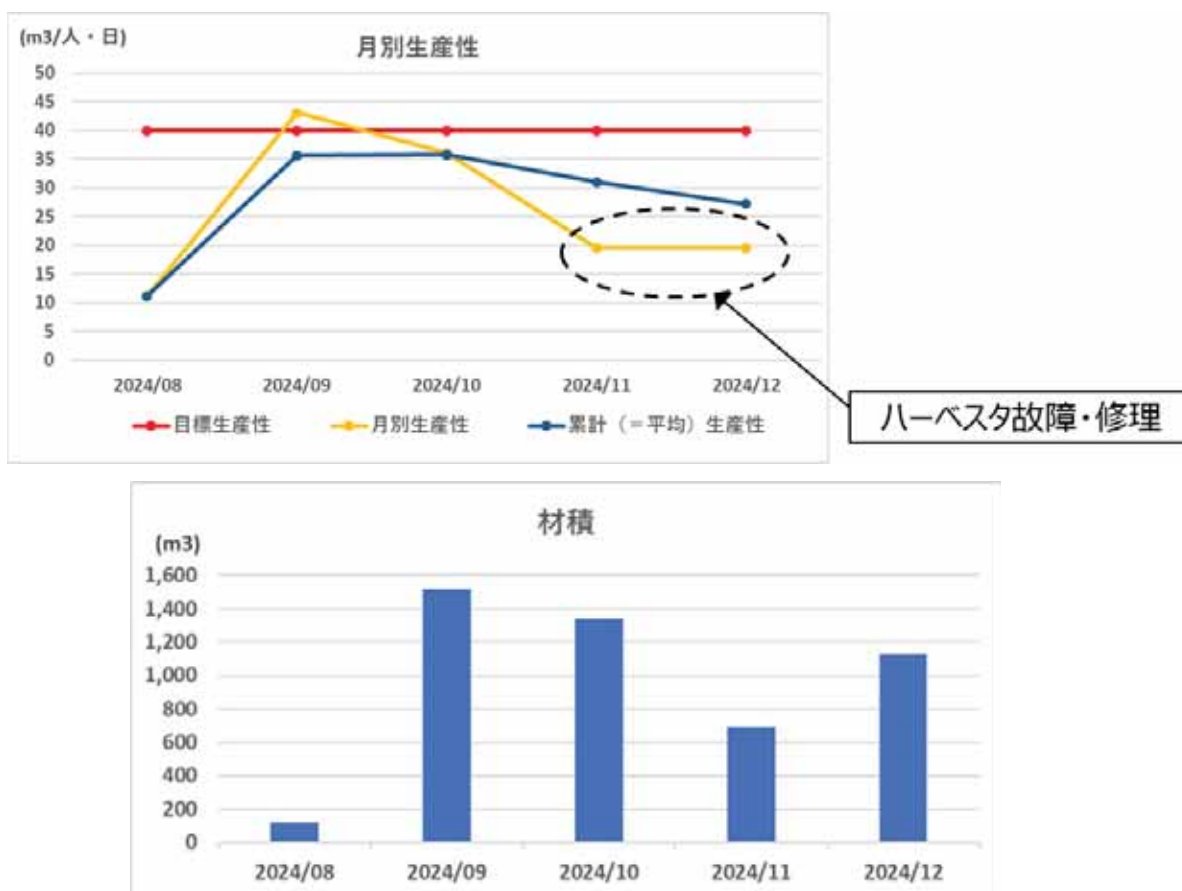


図 23 今年度実証における生産性の分析

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・大程度の種別分けて、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。

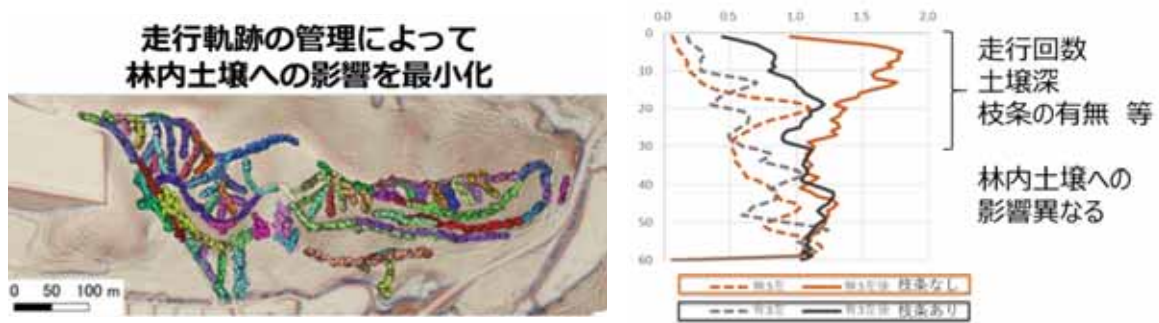


図 28 走行軌跡の管理による林内土壌への影響の低減（岩手大学作成）

- 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。

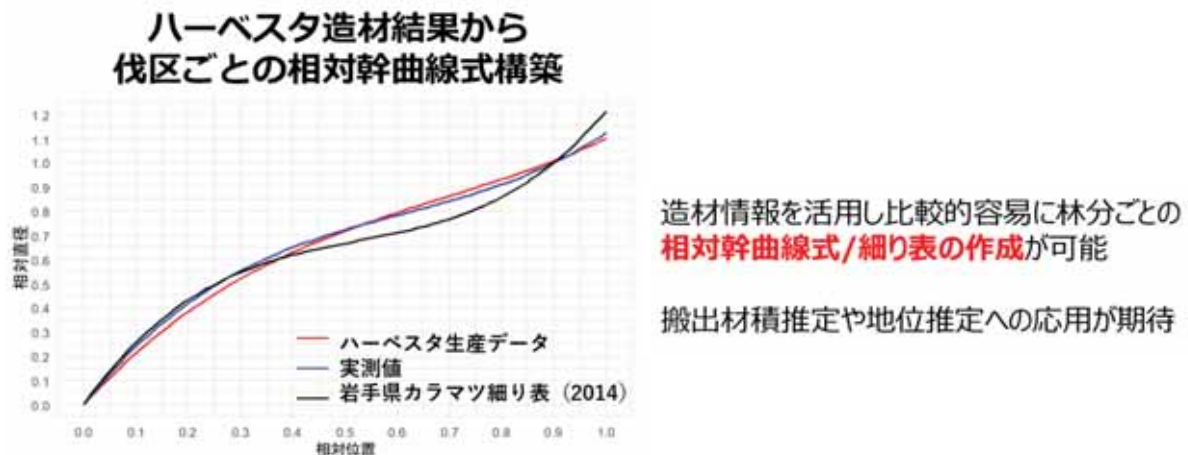


図 29 ハーベスタ造材データを用いた相対幹曲線式の調製（岩手大学作成）

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。

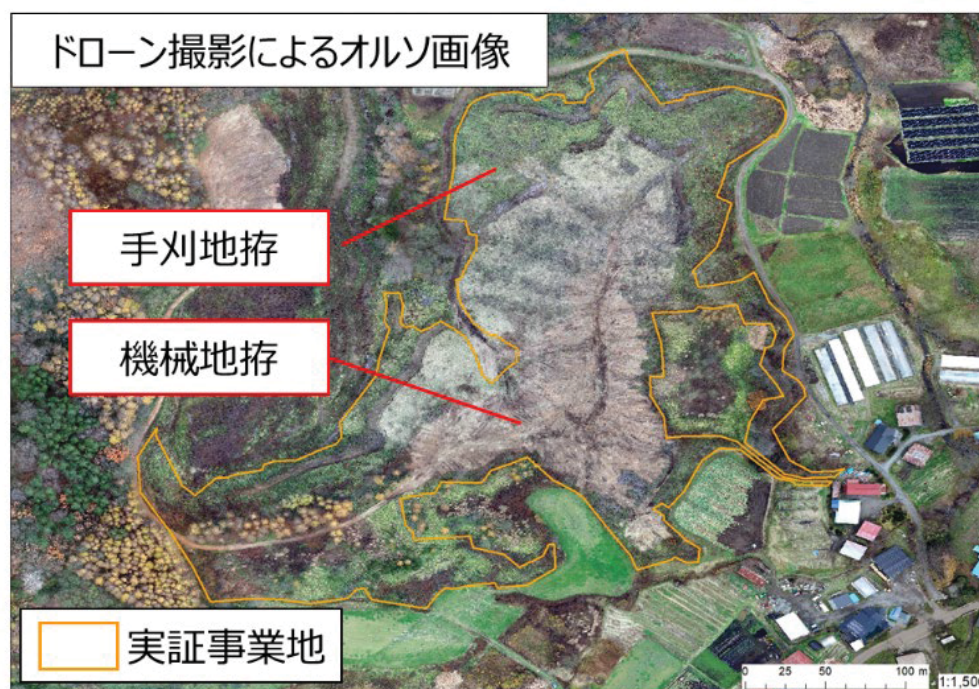


図 30 トラクターによる機械地拵実施状況



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

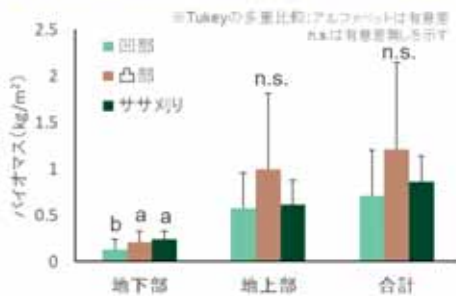
▼ 破碎物から雑草が繁茂する場合もある

競争植生の再生量の把握
植栽木の生残率の把握が必要



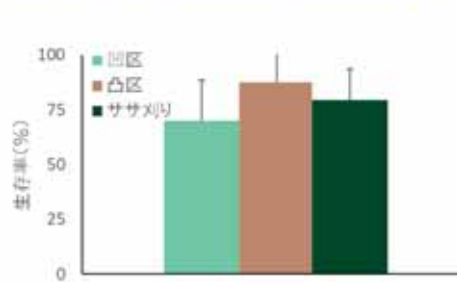
■ 施工年（左）と施工後1年（右）

■ 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%

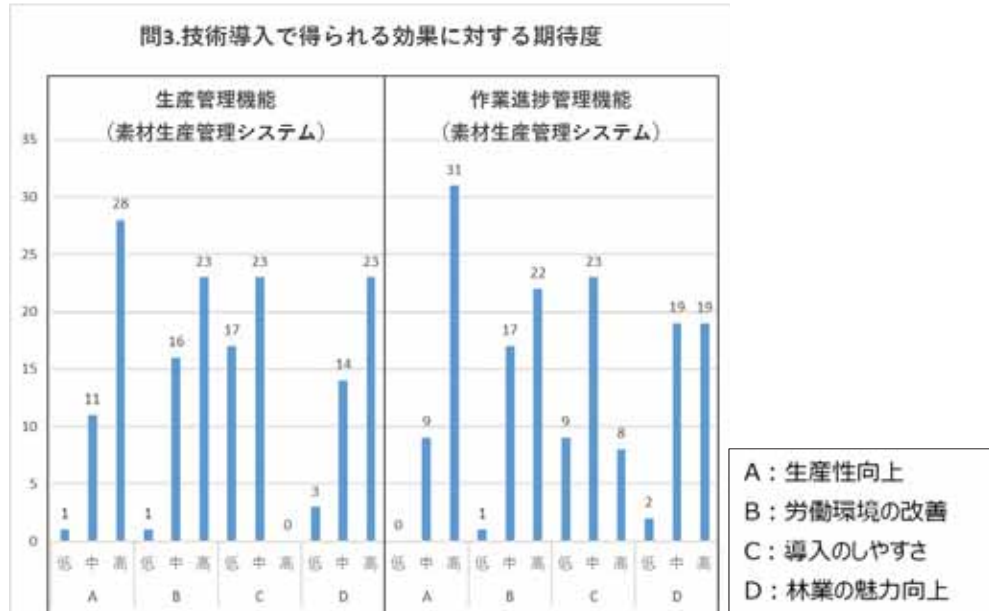
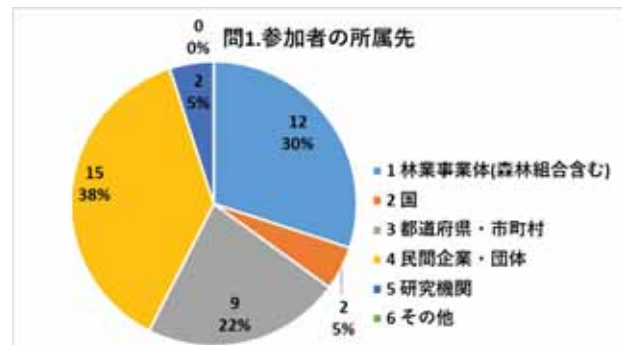


図 35 現地検討会におけるアンケート結果

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	m ³ /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/m ³	

＜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	m ³ /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/m ³	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