

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

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6年3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
ウッドステーション株式会社（委託）
株式会社森林連結経営（委託）

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 実証事業の内容
- 6 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年度の実施結果
- 2 令和5年度の実施結果
 - ① 協議会、現地検討会の開催経過
 - ② 令和5年度の実行結果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

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、全国でも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1万千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関わらず、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. 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

6. 実証事業の目標

(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の取得する。

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（令和6年度）

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年度の実施結果

① 協議会、現地検討会の開催経過

- (1) 現地検討会は、追加公募の10月下旬採択であることから開催していない。主伐地のカラマツ林は、北信州森林組合管内木島平村の高標高域にあり、12月より豪雪地帯のため入山はできない。車両通行は5月の連休明けを想定しており、ICTハーベスタの主伐の際に、現地検討会を予定している。
- (2) 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。
- (3) 流通・販売の森林直販の仕組みづくりで事務局は、令和4年11月29日、主伐材の製材・乾燥の協力依頼で長野県木材協同組合連合会にプロジェクトの協力依頼を行い、賛同を頂いた。その際に主伐地はカラマツ林であることから、宮崎会長（瑞穂木材株式会社）からカラマツ製材に関して、小林木材株式会社（長和町）を紹介していただいた。北信州森林組合が同席した。
令和5年1月17日に、カラマツの製材・乾燥の協力依頼で小林木材の工場と実棟建築する株式会社国興（松本市）の敷地や本社を見学し、プロジェクトの協力依頼を行い、賛同いただいた。森林連結経営が同行した。

② 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、ドローンレーザによる精密森林資源調査を行った。令和4年11月3日に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。P4Rは位置精度の高い可視光域画像を取得する用途で利用した。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。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。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、このCHMを解析することによって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。

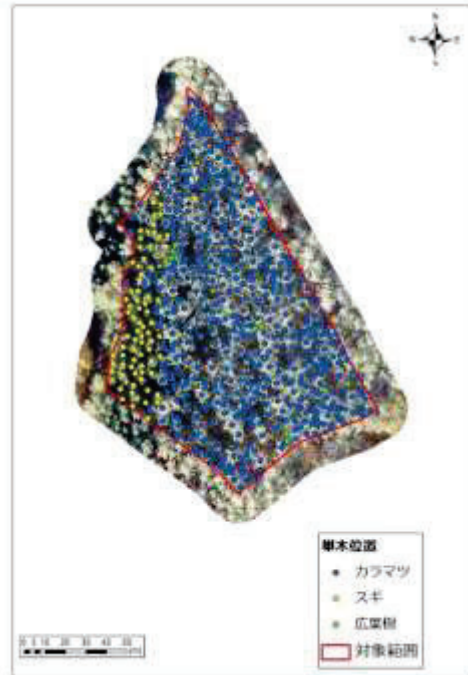


図 1. 精密森林資源調査の結果(樹種情報で区分して表示)

また、令和4年12月8日及び12月13日には以下の二つの目的をもって、再びM600及びSurveyer Ultraを使用した計測を同じ対象地で行った。目的の一つは、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。もう一つは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である。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。なお、12月8日の計測データについては、位置情報の付加に使用する電子基準点のデータがエラー値となっており正確な測位ができなかったため、12月13日に再計測を行った。

評価としては、計画通り実行できたと思われる。また、課題については、人的リソースが不足し、時間外労働が発生してしまった点が挙げられる(精密林業計測)。

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、

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
- ・選定理由:・モバイルレーザでの高精度な計測が可能な面積とした。樹高が30m以上の立木が多いプロットとした。なお、過去の施業履歴からスギはトビグサレにより使用不可と判断した。

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

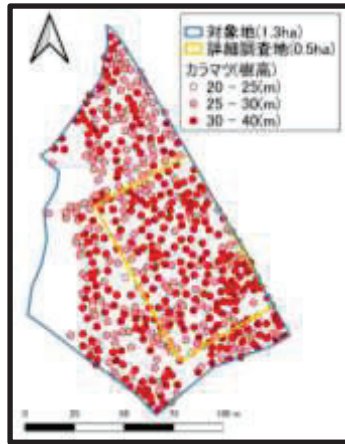


図2. 主伐地のドローンとモバイルレーザ計測によるカラマツの樹高分布

図3. 使用した背負子レーザ Hovermap (左) ハンディレーザ LiGrip (右)

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。

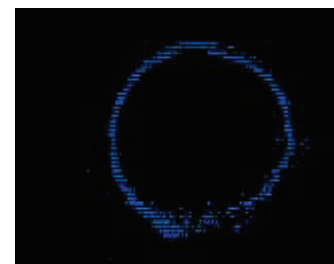
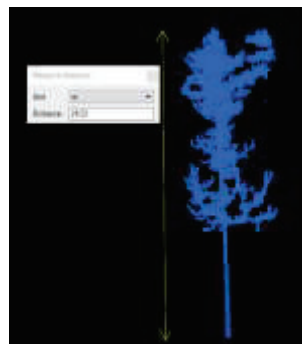
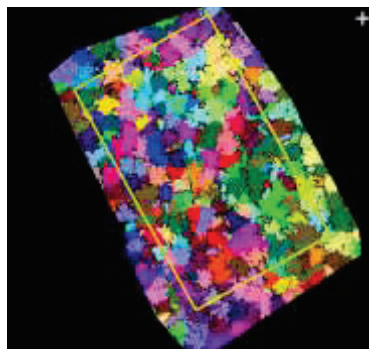


図3. 3D 点群データから単木抽出 (左)、樹高算出(中央)、胸高直径算出 (右)

(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・作業者共に乏しく、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(2月末まで継続)

- ・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（2月末まで継続）。

(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年度の実施結果

① 協議会、現地検討会の開催経過

- (1) 現地検討会（5/29）は、主伐地の北信州森林組合管内木島平村カラマツ林において、川上と川下のデータ連携による対象立木選定と造材シミュレーションによる ICT ハーベスタの主伐作業を実施した。伐採された丸太は森林産直で製材、乾燥、養生開始、製材品納品、プレカット、大型パネル化がウッドステーションで製造され、松本市貸家2棟が無事に上棟（11/9、11）された。それを踏まえて、第2回現地報告会（11/30）を伊那市産学連携拠点（Inadani-sees）で開催して参画機関の代表が報告した。
- (2) 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、主伐地のカラマツ人工林での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

1) 単木点群の抽出

- ・単木点群抽出前の計測点群(図-1)
- ・計測点群に位置情報を付与(図-1)
- ・計測点群から単木点群を自動抽出(図-2)
- ・単木点群の自動抽出結果を手動修正
- ・計測範囲内に220本のカラマツを確認



図-1：計測点群

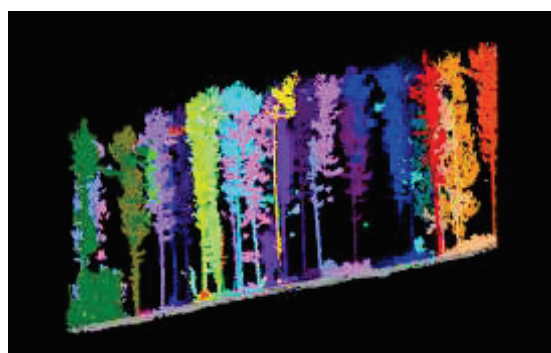


図-2：単木点群の抽出

2) 幹点群の抽出

単木点群から直径を高精度に算出する

ためには幹と枝の点群を分類する必要あり

- ・単木点群の枝やノイズ点群を手動で分類し、幹点群のみを抽出(図-3 左)

3) 高さごとの円盤点群の抽出

- ・直径を算出するためには幹点群から円盤状に点群を切り出す必要あり
- ・幹点群から幅 10cm ごとに円盤状の点群を自動抽出(図 - 3 右)

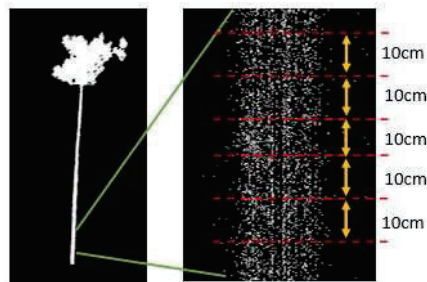


図-3：高さごとの円盤点群抽出

4) 円盤点群から直径の算出

- ・円形フィッティングのアルゴリズムを使用
- ・円盤点群から直径の算出(図 - 4)
- ・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)
- ・220 本の全ての高さで直径を算出

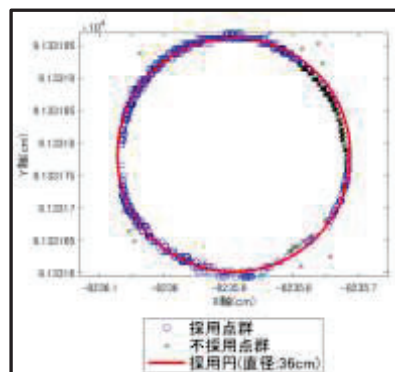


図-4：点群からの直径算出

5) 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

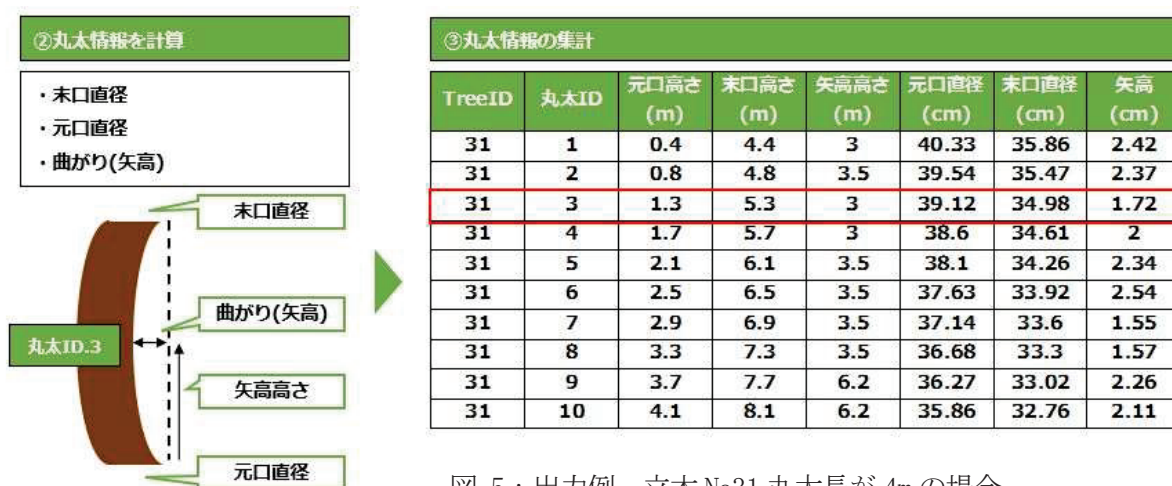


図-5：出力例 立木 No31 丸太長が 4m の場合、矢高が最小な造材は元口 1.3m から末口 5.3mm で造材する

6) 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㈱(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 - 6)
- ・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
- ・検品結果は以下の通りとなった(表 - 1)
- ・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



図一6 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

表一1 丸太と製材品の検品結果

(2) 主伐

1) 使用機械諸元

北信州森林組合が使用した ICT ハーベスタの諸元は表 2 のとおり。

項目	型式	メーカー	仕様
ハーベスタヘッド	150EcoP	KETO (FIN)	最大枝払径：450mm
ベースマシン	315-07	日本キャタピラー	バケットサイズ：0.5 m ³
造材コントローラ	iLogger	Technion (FIN)	StanForD2010 対応

表 2 ハーベスタ諸元

2) 造材指示の受領および ICT ハーベスタへの造材指示アップロード

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、信州大学によって図 7 のように造材指示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、同造材指示がハーベスタオペレータの作業手間増加にならないようハーベスタへ造材指示をアップロードした。具体的には、本事業において丸太生産側に求められる従来と異なる作業は「乱尺造材」への対応のみであったことからハーベスタへ下記の設定を行った。

- ① 乱尺種類数の確定＝6 種類の長さ
- ② 6 種類の長さを 6 色に色分け（黄緑青赤桃紫：図 8）
- ③ ハーベスタへの造材指示
StanForD2010 メッセージ.pin（長さ情報）.oin .spi の作成入力
- ④ iLogger 上で 6 種類の長さに対応したボタン操作を設定
オペレータの右手ジョイスティックにボタンが 10 個あることから、そのうちの 6 個を上記 6 色に塗り、そのボタンに対応する長さを iLogger で設定

3) 主伐作業

0 において乱尺造材の準備が整ったことから作業を行ったが、実際には下記の問題があった。

- 造材ミスで長さが足りないことが研究上許されない

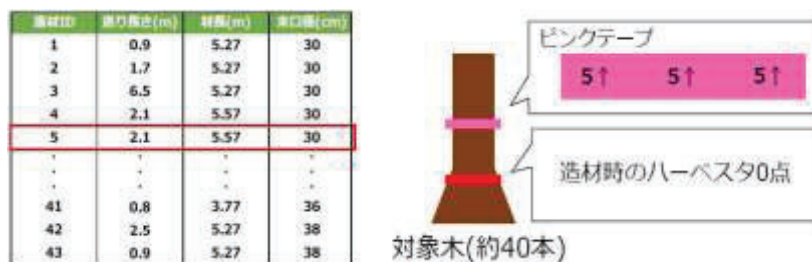


図 7 造材指示 (信州大学より)

- ハーベスタヘッド (KET0150EcoP) の測長センサは枝払いの材送りローラーに取り付いており、ローラーが滑ると短い材長で造材されてしまう
- 枝払いがスムーズに進まない (1 回で枝払いできずその動作を繰り返す) 場合、測長センサのロストモーションが発生して材長が短くなる
- 主伐時期が 5 月連休明けで樹皮が剥けやすくなっているそのため、乱尺造材作業は下記の手順で行った。
 - イ) 造材 ID 目視確認 (オペレータ下車)
 - ロ) 造材 0 点で鋸断 (ソーバー下ろし)
 - ハ) 造材 ID に対応する色を確認し、対応する色のボタンを押して材を自動送り
- ニ) 送りが停止したところで造材 0 点から現在のソーバー下ろし点までの長さを巻尺にて測定 (オペレータ下車)
- ホ) -1 材長が許容範囲内であれば鋸断 (ソーバー下ろし)
- ヘ) -2 材長が許容範囲外の場合、巻尺測定者が正しい位置を木材チョークでマーキングし、オペレータはその位置まで手動 (目視) で材を送り、鋸断 (ソーバー下ろし)
- ト) 造材された丸太の材長・末口径 (長径短径)・元口径 (長径短径)・樹皮厚さ・品質を測定、要求品質との比較
 - スリップやロストモーションが発生した場合はヘ)-2、スムーズに材が自動送りできた場合はホ)-1 にて造材した。

樹種: カラマツ

造材 ID	送り長さ (cm)	材長 (cm)	必要末口径 (cm)
1	NQR	NQR	NQR
2	NQR	NQR	NQR
3	600	557	30
4	160	557	30
5	160	557	30
6	NQR	NQR	NQR
7	200	527	30
8	40	527	30
9	0	527	30
10	160	527	30
11	320	587	30
12	520	587	30
13	40	587	30
14	0	587	30
15	70	317	32
16	NQR	NQR	NQR
17	70	317	32
18	200	317	32
19	NQR	NQR	NQR
20	360	557	32
21	NQR	NQR	NQR
22	40	557	32
23	206	527	34
24	NQR	NQR	NQR
25	0	527	34
26	60	527	34
27	NQR	NQR	NQR
28	NQR	NQR	NQR
29	NQR	NQR	NQR
30	0	557	34
31	0	557	34
32	NQR	NQR	NQR
33	0	557	34
34	10	557	34
35	NQR	NQR	NQR
36	0	557	34
37	NQR	NQR	NQR
38	200	467	36
39	0	527	36
40	240	527	36
41	440	527	36
42	280	317	38
43	0	527	38

有効数: 30
無効数: 13

図 8 造材指示色分け

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	2023-05-16T15:11:15+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	454	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	275	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

4) 主伐の結果

「指示通りの造材を行ったが必要径級に満たなかった」「実際には曲がっており使えなかった」「内部品質に問題があり使えなかった」等のNG材に関しては他の機関において考察が成されることから本項では割愛する。

まず、自動送りを使って造材ができた（0ホ）-1の手順）のは、有効対象木30本に対し15本であった。自動送りができなかった（0ホ）-2の手順）15本はローラースリップや枝払い不良などによる材長不良のため検討から除外した。自動送りできた15本の造材結果を表2に示す。

項目”LogLength”より左側の列はStanForD2010の.hprメッセージの抜粋、右側は0ト）で測定した結果である。15本の内”LogDiameter”の値が明らかにおかしい造材ID=3のデータは除外して、造材された丸太の材長・末口径の「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、それぞれ以下ようになった。

- 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 $\sigma = 13.2\text{mm}$

5) 評価と課題

- 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 $2\sigma = 6.08\text{cm}$ 、 $3\sigma = 9.12\text{cm}$ 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。また、伸び代分は取引材積に含まれないことから、従来の流通の枠組みに適用することができる。
- 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。従来の取引に適合させようとする、山側が誤差の費用を負担することになる。
- 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ー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。

6) 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。
- 外見の品質問題については、森林資源調査の精度向上と寸法の余裕を多めにとることで解決は可能と考えられる。一方で、1対1の引き当ては内部品質が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。従来の丸太取引の特徴の1つは、例えば市売の場合、これらの諸条件をクリアした丸太が浜に並べられ、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 1)。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 2)、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 3)。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つたが、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 4)。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9 建材部材リスト

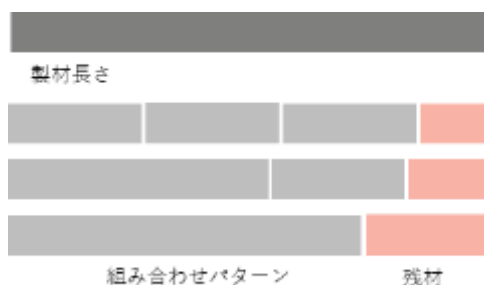


図10 カッティングストック問題

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11 丸太リストのイメージ



図12 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する。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する。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・死節などの欠点が必要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する。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がある。

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体に対しては、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する。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。

ニ) 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。

ヘ) 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目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13 皆伐後地拵え結果図13）。



図13 皆伐後地拵え結果

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 14 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) ドローンレーザーによる計測を令和5年6月19日に実施した。伐採前にもドローンレーザーによる計測を実施しており、立木資源情報の解析は実施していたが、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。

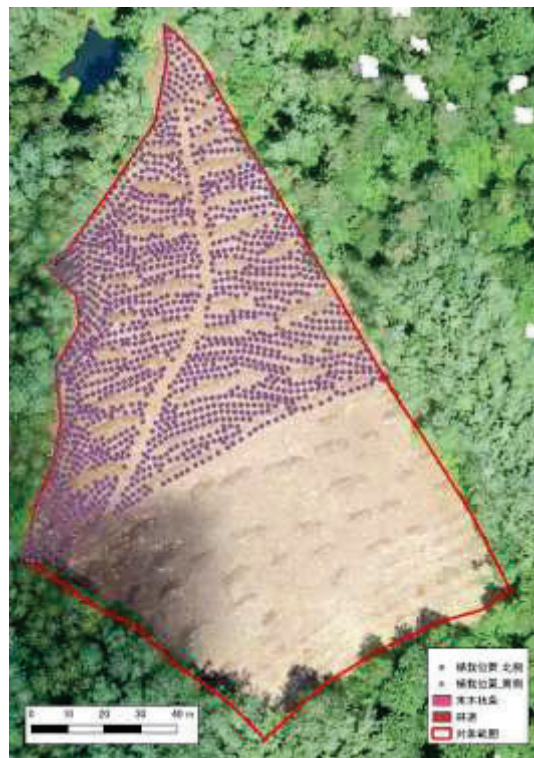


図15 ドローン空撮画像からホロレンズによる植栽計画図

- ホ) ホロレンズによる植栽支援の運用で必要となるため、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。任意の基準点から他の基準点を見通した状態でボタン操作を行う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。9月20日に現地にデバイスを持参し、ホロレンズ上で植栽計画点が正しく表示されることを確認した。
- 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、テストでは予測できなかった、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位置および方位角の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労力がかかり、また基準点からの移動が長くなることによってデバイスの自己位置推定誤差が蓄積し、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6点から32点に増設し、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。また、基準点の増設に伴い、方位角計算時に見通す先の基準点の自由度が向上するようにプログラムを改良した。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。

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。オルソ画像を撮影した時は晴天だったため、地面と末木枝条集積箇所の変化の小さい質の写真となったことが原因と考えられるため、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16 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

表1 植栽本数（日別・箇所別）

イ) ホロレンズ装着有無の比較

表1に日別・箇所別の植栽本数を示す。平均的な植栽速度は300本/人日で、ホロレンズ装着により植栽速度の向上が見込まれたが、結果としては最大でも平均的植栽速度を超えることはなかった。原因として、作業が1方向ではなく行ったり来たりを繰り返すことからロストモーションが発生し、その対策のため基準点を設け、10本程度ごとに基準点の視準によるホロレンズのキャリブレーションを実施しなければならず、集中して植え進めることができなかったことが、効率が上がらなかった要因の1つと考えられる。

	植栽本数（本）	
	北側 ホロレンズ装着	南側 ホロレンズなし
令和5年		
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

6) 課題

現時点での課題については以下の通り。

- 予想より装着感は軽いが、ヘルメットが被れないのは問題。平坦地ならば落石の心配は無いが、急斜面の場合、植林作業にヘルメットは必須。
- 植え終わった場所は色が変わるなどのプログラム改良は必要。視界が狭くなる分、より親切的なナビゲーションが求められる。

- 視準キャリブレーションを含め、作業者があちらこちらを見なければならず、乗り物酔いのような症状が現れたことは改善を要する。
- 基準点は今冬の積雪により消失していることが予測される。基準点の再現が必要（精度と労力）。

Ⅲ今後の事業の展開方向

令和6年度は、以下に取り組む。

(1) 森林資源 スギ人工林での採材シミュレーション

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) 再造林・保育 ホロレンズ装着で下刈り作業の検証

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。

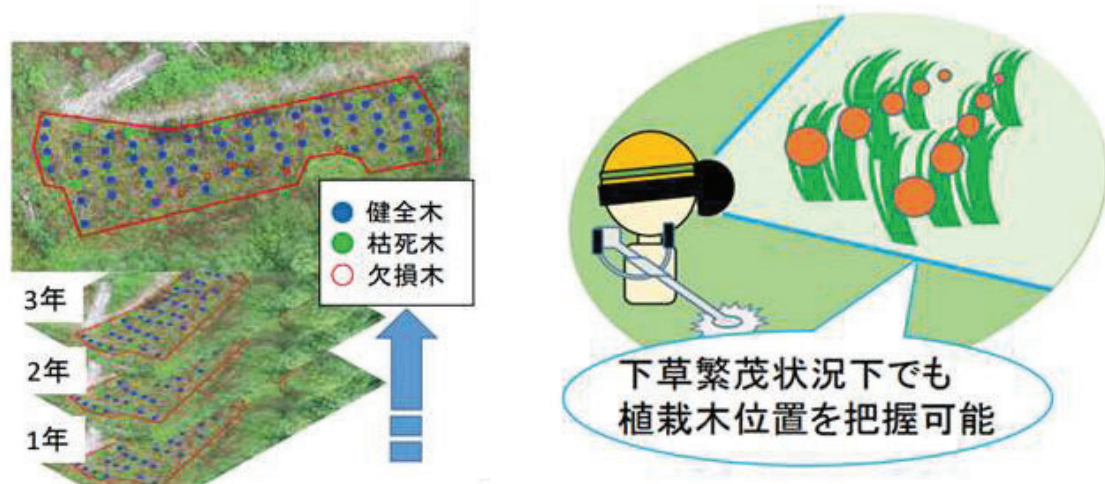


図17 ホロレンズ装着による下草刈り補助と造林地モニタリング

(3) 経営モデルの構築

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の作成し、聞き取りなどを行い、普及展開の経営モデルを構築する。