

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

- ・バリューバッキ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

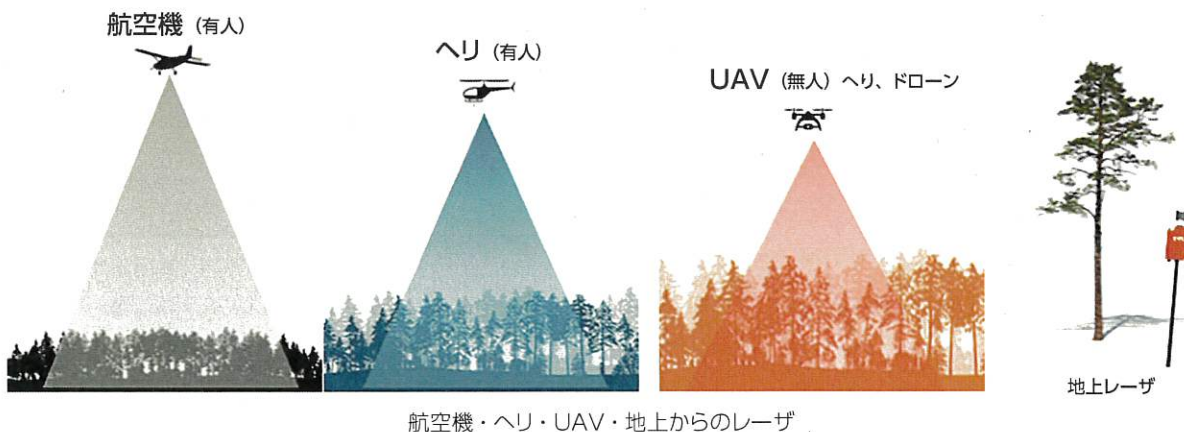
- ・ 航空レーザおよびUAVレーザでは、林冠を含む3次元点群データが得られ、単木ごとの樹高や樹冠形等のほか、地面データから微地形を捉えることも可能である。
- ・ 地上レーザでは樹幹に直接レーザが照射されるので、樹幹形状(曲がりなど)が把握しやすく、胸高直径も計測され、詳細な地表データが得られる。
- ・ 少人数、短期間で詳細なデータが得られ、効率性、省力化、作業安全性にメリット。



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

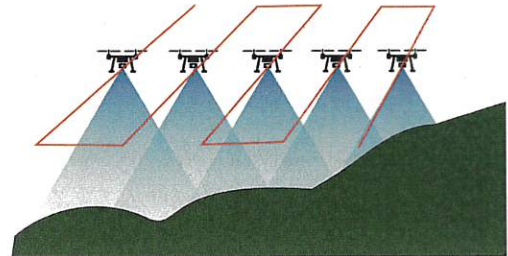
2. 空撮画像による資源調査

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。
- ・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：事前を取得した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。



ICTハーベスタ

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

(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。



操作パネル(例)

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、最適なバックキング(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、樹種ごとに出力量を自動集計する。
- ・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)。
- ・出力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)。
- ・出力データをデジタル管理(販売・請求管理との連携も可能)。
- ・伐倒データと出力データを一元管理(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。

(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。

(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。

(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碎き、表層を均一に処理するもので、木材を細かくチップ状



マルチャー



トラクタによる地拵え



乗用刈払機による伐根処理

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。

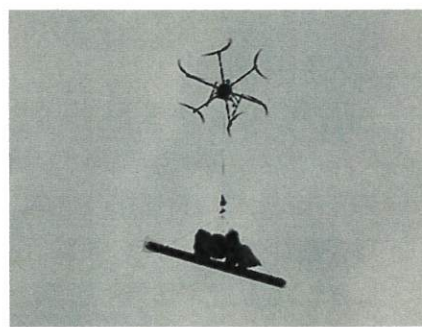
ア. ドローンによる資機材運搬

(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。

(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。



集材架線を利用した運搬



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。

(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。



電動一輪車を利用した運搬



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ハードウェア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、桧積した状態で、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, Nortion, 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)、作業者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、作業者の習慣化が必要。
- ・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)

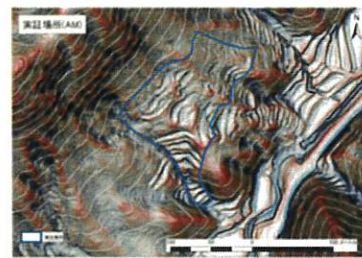
用することによって、現地立会の簡素化、関係者間の情報共有がなされ、境界確認が可能となる。

(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	選択検討の主な視点					導入条件と課題
				効率・ 生産性 向上	低コスト・ 労務 改善	簡略・ 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) UAVレーザ 地上レーザ	・事業地の概況把握(地形、本数、林相区分) ・上記に加え、樹高、DBM、森林構造3D化 ・本数、3D化、細り率の把握	○		○	○	○	・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
主伐・ 素材生産	チェーンソー伐倒 ハーベスタ伐倒 枝払 ブロッサ造材・ 仕訳	ICTハーベスタ伐倒・枝払・ 造材 ICTハーベスタ造材・仕訳 パリュウパッキング 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(垂直運搬、水平運搬) ・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
	架線集材機	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	○			○	○	・1回の集材量が小さく、日あたり生産量(収益額)が低下 ・横取り範囲が狭く、架線単位の集材範囲は従来型より狭い ・グラブバッテリー充電のため、架線スパンに一定の距離が必要 ・高い導入コスト
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 兼用刈払機	・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 ・伐倒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 フォワード活用 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	・間隔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 兼用刈払機	・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 ・伐根破砕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
流通販売・ その他	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
	フォワード運材	ICTハーベスタ・フォワード 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	○	○	○			・データ統一基盤、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、ロングリーチグラップル、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) 経営モデル試算の概要

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、チップパー等)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線計画の作成 ・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
	ICTハーベスタによる伐倒・造材・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)
	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	
流通販売	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)の省力化	
	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)
	マルチャラーによる地拵え(伐根処理含む) 植栽位置誘導によるエリートツリーの低密度植栽 UAVによる苗木運搬	・伐採ベースマシンのマルチャラーアタッチメント換装 ・伐根及び未木枝の破砕処理 ・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) ・運搬用UAVによる苗木、資機材の指定箇所への運搬(中運搬) ・電動一輪車による苗木、資機材の運搬(小運搬) ・運搬用UAVによる獣害防護柵等資機材の運搬	・人力地拵えの大幅な省力化、安全性向上 ・苗木測定、マーキング作業の省略 ・苗木コスト低減 ・植栽作業の省力化、生産性向上 ・人力運搬の大幅な省力化、安全性向上 ・人力運搬の大幅な省力化、安全性向上	・マルチャラーのレンタル ・GNSS受信機の導入、装着 ・運搬用UAVのレンタル ・電動一輪車のレンタル ・運搬用UAVのレンタル(再掲)
再造林・ 保育	獣害防護柵の設置	・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扱量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、合板等を用途に、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「山林業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)	—	—	—	・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	作業路開設(バックホー)	7,600	作業路開設(バックホー)	7,000	・作業道開設コストは作業コストに含む。
	伐倒(人力・チェーンソー)	内訳	伐倒(ICTハーベスタ)	内訳	・労働生産性は4倍程度(7~10m ³ /人日→30~40m ³ /人日)を見込む
	木寄せ(グラップル・ウインチ)	作業コスト	仕訳(同上機)	2,800	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
	造材(プロセッサ)	5,600	検知(同上機)	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
	仕訳(グラップル)		運材(フォワーダ)	間接費(37%)	・間接費増は、作業員の処遇改善、作業安全措置等にも充当
流通販売	3オペ+1 ⇒ 1セット4人名体制	間接費(26%)	2オペ ⇒ 1セット2名体制	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
	・トラック運材(納品伝票作成)	3,000	・トラック運材	3,000	
生産・流通費用合計		10,600円/m ³		10,000円/m ³	

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)
	人力地植え	310	・ マルチャーによる地植え(伐根処理含む)	内訳 作業コスト 155 レンタル費用 173	・ 労働生産性を4倍程度向上(12→3人/ha(1オペア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。 ・ 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 地植えを想定し、ha 当たりレンタル費用を算出
	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	内訳 作業コスト 135 レンタル費用 100 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
	獣害対策	防護柵設置 720	・ 獣害防護柵の設置 ・ UAVによる資機材運搬	作業コスト 650 レンタル費用 —	・ 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)
	人力下刈り	860	・ 植栽位置誘導実装乗用刈払機による下刈り	内訳 作業コスト 260 レンタル費用 460 10	・ 労働生産性を3.5倍程度向上(6~7人/ha→2人/ha)を見込む ・ 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6割減(5回→2回)となることから、下刈りトータル作業コストは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 月20日稼働) 2人/ha(1オペア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
	人力見回り	—	・ UAVによる獣害等見回り	—	・ 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)
	再造林・保育費用	2,520千円/ha		2,134千円/ha	

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、現場の作業員や取引先（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、現場作業員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



「新しい林業」

経営モデル実証事業3か年の成果
～新技術を導入した12の実証事例から～

