

令和7年度

林業イノベーション推進  
スマート林業技術等実証事業

報 告 書

令和8年3月

富山県林業イノベーション推進協議会

## 目次

|     |                      |    |
|-----|----------------------|----|
| 第1章 | はじめに                 | 3  |
| 1   | 実証事業の目的              | 3  |
| 2   | 実証事業の概要              | 4  |
| 第2章 | 実証事業                 | 8  |
| 第1節 | タワーヤードを活用した架線集材      | 8  |
| 1   | 目的                   | 8  |
| 2   | 実証地と実証方法             | 8  |
| 3   | 実証結果                 | 18 |
| 4   | 課題と今後の計画             | 19 |
| 第2節 | ドローンによる森林資源調査業務      | 22 |
| 1   | 目的                   | 22 |
| 2   | 実証方法と実証地             | 22 |
| 3   | 実証結果と検証              | 29 |
|     | 【資料】現場への実装方法         | 38 |
| 第3節 | 緊急時の連絡体制の構築          | 44 |
| 1   | 目的                   | 44 |
| 2   | 実証地と実証方法             | 44 |
| 3   | 実証結果と検証              | 49 |
| 4   | 課題と今後の計画             | 53 |
| 第3章 | 富山県林業イノベーション推進協議会の運営 | 1  |
| 1   | 開催日時と内容              | 1  |
| 2   | メンバー構成               | 3  |
| 3   | 議事録                  | 4  |
| 4   | 開催状況                 | 5  |

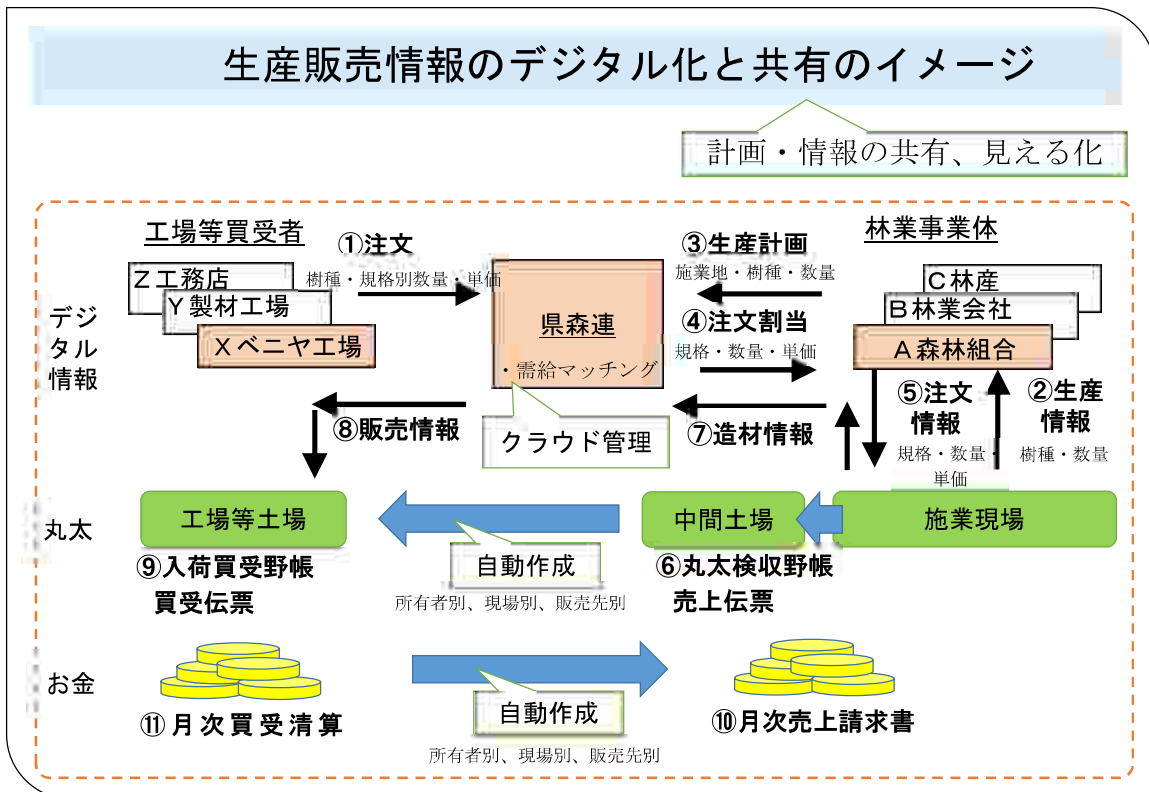
# 第1章 はじめに

## 1 実証事業の目的

県内の人工林は本格的な主伐期を迎えており、今後、こうした森林から木材生産を行い、森林資源の循環利用を進めるには、林業の担い手の確保、生産性と安全性の向上、県産材の流通の円滑化等の諸課題に対応する必要がある。これらの課題の解決には、地理空間情報の高度な活用や近年目覚ましい発展を遂げているICT等の先端技術を積極的に活用して林業イノベーションを進めることが不可欠である。

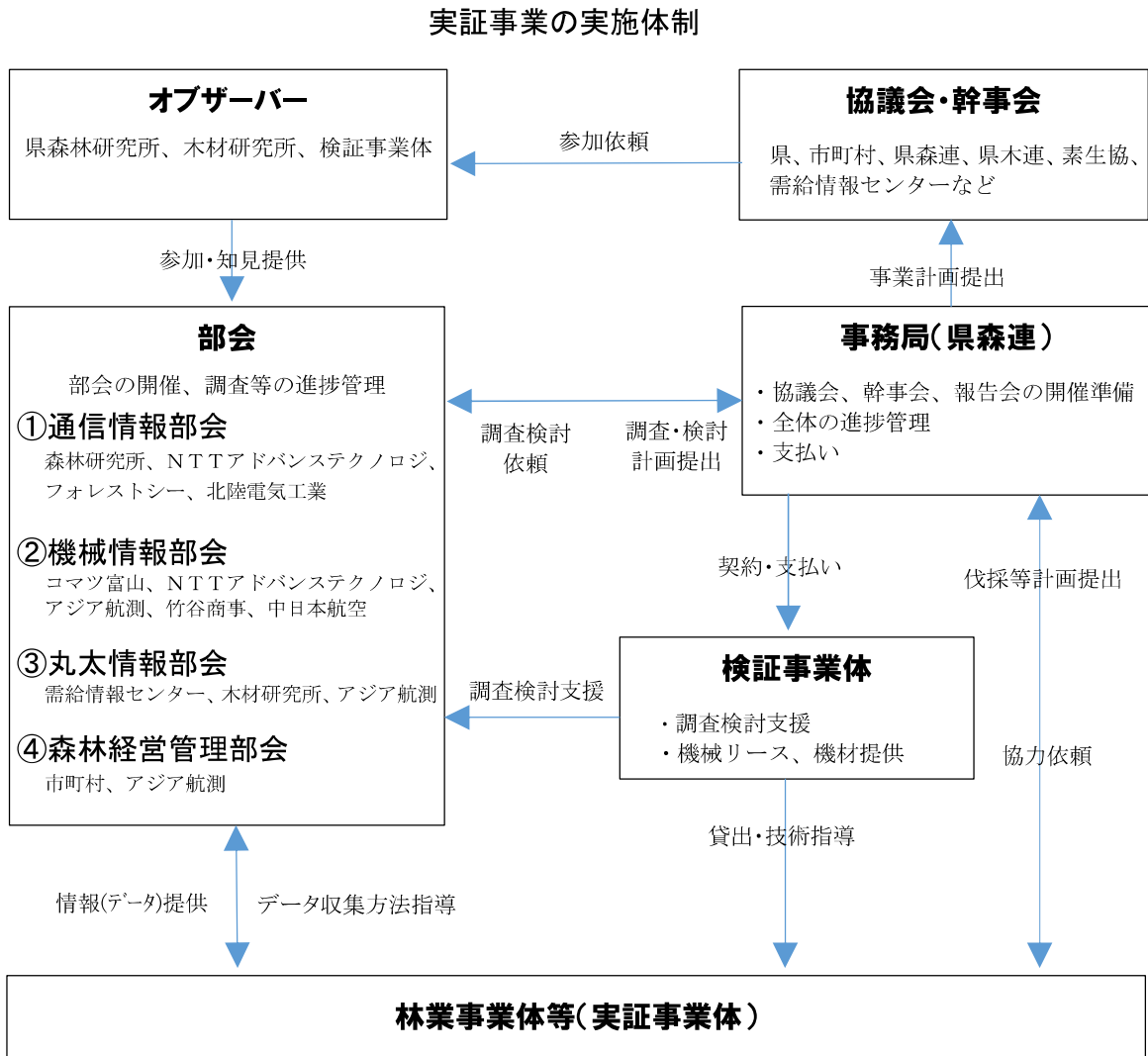
本事業は、こうしたことを踏まえ、県内の森林・林業・木材産業等の関係者が連携し、ICT等を活用した森林施業や木材生産の効率化・省力化を段階的に実証し、県内へのスマート林業の普及を進めることを目的とする。

また、この取り組みを通じ、市町村が行う森林経営管理などによる森林整備を支援する。



2 実証事業の概要

(1) 実証事業の実施体制



## (2) 令和7年度の実証内容

### ① 架線（タワーヤード）による木材生産の実証

| 内 容                                | 実施項目  |
|------------------------------------|---|
| 路網の開設が困難な急傾斜地等でのタワーヤードを活用した木材生産を検証 | ①タワーヤードを活用した工程毎の作業時間や素材生産量等の計測<br>②生産性や生産費の算出<br>③富山県森林クラウドによる架線計画の策定 |

### ② ドローンを活用した森林資源調査の実証

| 内 容                        | 実施項目  |
|----------------------------|---|
| ドローンで撮影した画像を用いた森林資源量の把握を検証 | ①ドローンによる対象森林の撮影<br>②撮影地の画像を基に、抽出した立木について、現地で樹種、胸高直径を調査<br>③ドローンで取得したデータと現地調査の結果を基に、樹種判定と直径、材積の算定<br>④算定した材積と毎木調査との比較などによる、精度の検証 |

### ③ 緊急時の連絡体制の構築

| 内 容   | 実施項目  |
|---|---|
| 携帯電話圏外の林業フィールドにおいて、緊急時に事務所などと緊急時に連絡するための通信機器を検証 | ①低軌道衛星とデジタル簡易無線機との連携による位置情報の共有の実証<br>②衛星無線機を活用した緊急時などの連絡体制の実証 |

### (3) 実証事業の概要



## (4) 実証事業の実施箇所

### ●令和7年度

#### ①架線（タワーヤード）による木材生産

| NO | 所在地                | 標高        | 施業内容・面積                | 実証事業体     |
|----|--------------------|-----------|------------------------|-----------|
| 1  | 富山市舟倉地内<br>(公社造林地) | 250m～330m | 面的複層林施業（更新伐）<br>2.32ha | 富山県農林水産公社 |

#### ②ドローンを活用した森林資源調査

| NO | 所在地               | 標高       | 施業内容・面積 | 実証事業体                                      |
|----|-------------------|----------|---------|--|
| 1  | 高岡市山川地内<br>(旧高岡市) | 80m～150m | —       | 富山県西部森林組合<br>DeepForest<br>Technologies(株) |
| 2  | 小矢部市白谷地内          | 90m～120m |         |  |

#### ③緊急時の連絡体制の構築

| NO | 所在地                | 標高        | 使用機材  | 実証事業体  |
|----|--------------------|-----------|---|--------|
| 1  | 富山市八尾町安谷<br>(旧八尾町) | 460m～680m | スターリンク+デジタル<br>簡易無線機（soko-co<br>FOREST）、衛星無線機<br>+デジタル簡易無線機 | 富山森林組合 |

## 第2章 実証事業

### 第1節 タワーヤードを活用した架線集材

#### 1 目的

県では森林資源の循環利用に向け、主伐や間伐などによる木材生産を推進しており、これを受け、農林水産公社において、将来の伐採に向け、面的複層林施業地の候補地を調査したところ、一部の急傾斜地など、路網の開設が困難な森林が含まれ架線集材を導入する必要性が生じた。

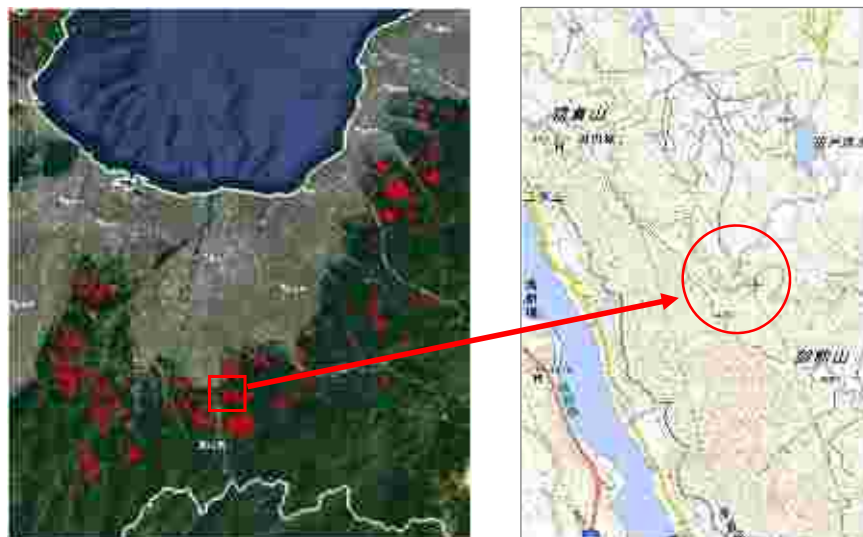
このため、タワーヤードによる「架線系作業システム」による集材を実施し、その有効性について検証を行う。

#### 2 実証地と実証方法

##### (1) 実証地 富山市舟倉〔公社造林地〕4.59ha

###### 【林況】

- ・植生：スギ人工林（60年生）
- ・傾斜：26°～40°
- ・立木密度：433本/ha
- ・平均胸高直径34.1cm
- ・標高：360m～450m
- ・斜面方向：北向き
- ・平均樹高：19.8m
- ・ha当たり幹材積：393m<sup>3</sup>/ha



実証地位置図



実証地平面図



実証地全景

## (2) 実証方法

施業地の一部において架線集材を行うにあたり、近年、県内ではタワーヤーダによる木材生産が行われていないため、隣県の岐阜県において、タワーヤーダを積極的に活用されている、飛騨市森林組合に作業を委託し、実施。

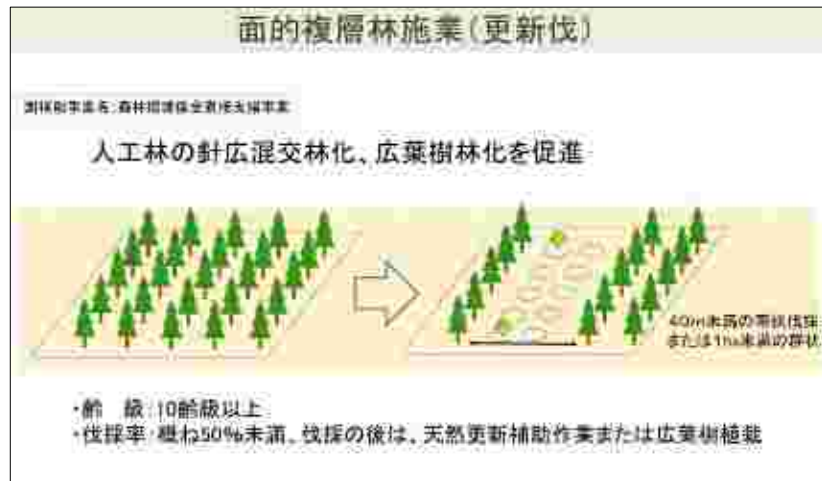
### 1) 作業期間 令和7年9月24日～10月23日

実働16日。うち研修実施や機械運搬4日含む。

### 2) 施業内容

人工林面的複層林施業（更新伐）

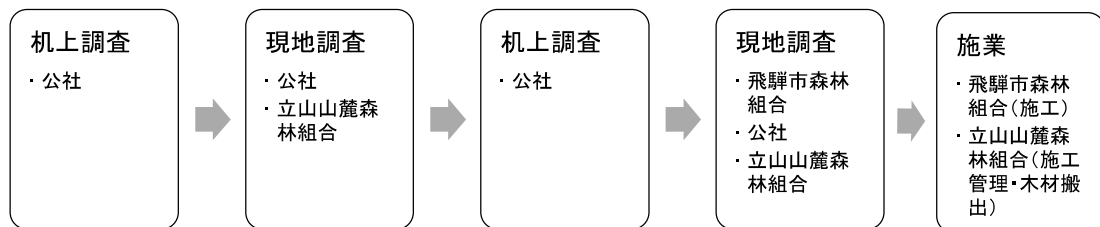
- ・ 施業面積：3.36ha
- ・ 伐採面積：0.68ha（1ha未満の群状伐採）
- ・ 伐採率：20.2%
- ・ 林内運搬：なし



【参考：面的複層林施業のイメージ】

### 3) 実証フロー

実証にあたっては、次のとおりの進め方と役割分担とした。



※今回の実証では、立山山麓森林組合が元請となり飛騨市森林組合が架線集材を受託

### 4) 作業概要

#### i 調査①(机上)

索張り計画の策定にあたり、富山県森林クラウドにより実施。

- ・実施日：令和7年5月29日(木)～5月30日(金)
- ・実施者：富山県農林水産公社

#### 【富山県森林クラウドによる架線計画】

富山県森林クラウド(以下、GIS)の機能として架線計画の設計支援機能があり、航空レーザ計測によって取得された地盤高の三次元データなどを活用し、主索の位置と支柱の取付け位置の選定が可能となっている。

その特徴として、

- 三次元データから、主索を張る上での条件設定値の入力により、断面図や平面図が表示可能
  - 単木情報に含まれる胸高直径による支柱に適した対象木の選定可能
  - 設定した集材範囲の中にある樹頂点情報から、出材量を推定可能
- であることから、今回の実証事業では、計画策定に活用した。



架線計画図



架線計画図（赤色立体図）



架線計画図（オルソ画像）



架線計画図（レーザ林相図）



架線計画（縦断面図）



集材範囲内の木材情報表示

## ii 調査②（現地）

G I Sで検討した索張り候補地について、関係者で現地調査を実施し、タワーヤーダの設置の条件を確認した。特に実証地は林道や遊歩道に面した箇所、次の条件を満たす必要があった。

- a. タワーヤーダが林地に設置できないことから林道占用許可を得られる。
- b. タワーヤーダ設置の際に必要な控索として公社造林地以外の立木が使用できる。
- c. 遊歩道をまたいだ索は設置しない。

- d. 先柱に適した立木が存在する。
- ・実施日：令和7年6月6日（金）
  - ・人工数：0.5人日



先柱調査状況



実証地隣接の歩道

### iii 調査③（机上）

現地調査結果から、索張り方法を森林GISで再検討した。

タワーヤーダ設置位置を固定し、先柱設置位置を検討。索の設置可否について確認の上、必要な場合は中間支柱も検討した。

また、先柱設置位置周辺の立木情報を取得し、先柱候補の木の存在を机上調査で実施。

- ・実施日：令和7年7月1日（火）～7月2日（水）
- ・実施者：富山県農林水産公社

### iv 調査④（現地）

索張りすることとなった線形（1本）について、タワーヤーダの設置箇所や先柱の候補となる立木などを、飛騨市森林組合と最終確認。

この結果を元に、飛騨市森林組合がDEMデータを元にタワーヤーダ架設シミュレーションを実施。

- ・実施日：令和7年7月31日（木）
- ・人工数：1.5人日



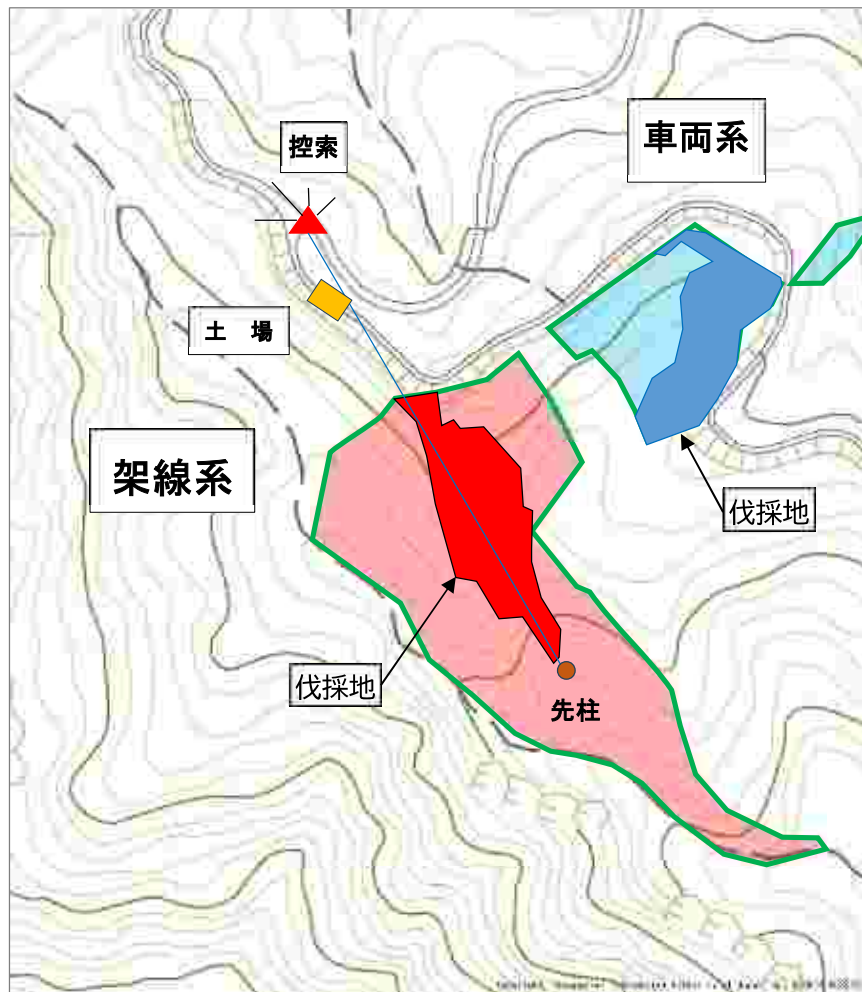
先柱調査状況



先柱候補

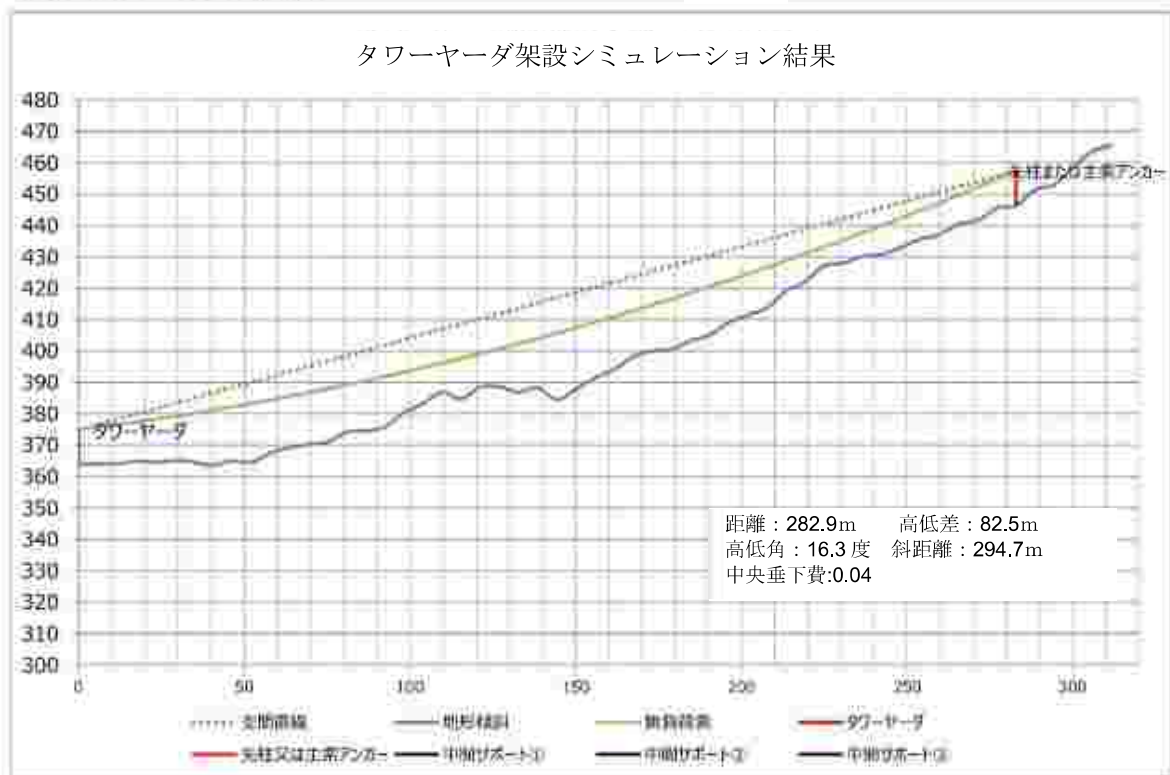


架線設置概要図（平面図）



架線設置概要図（拡大平面図）

## ●シミュレーション結果



架線の概要図（縦断面図）

## v 先行伐採

線形周辺の立木をチェーンソーで伐採。

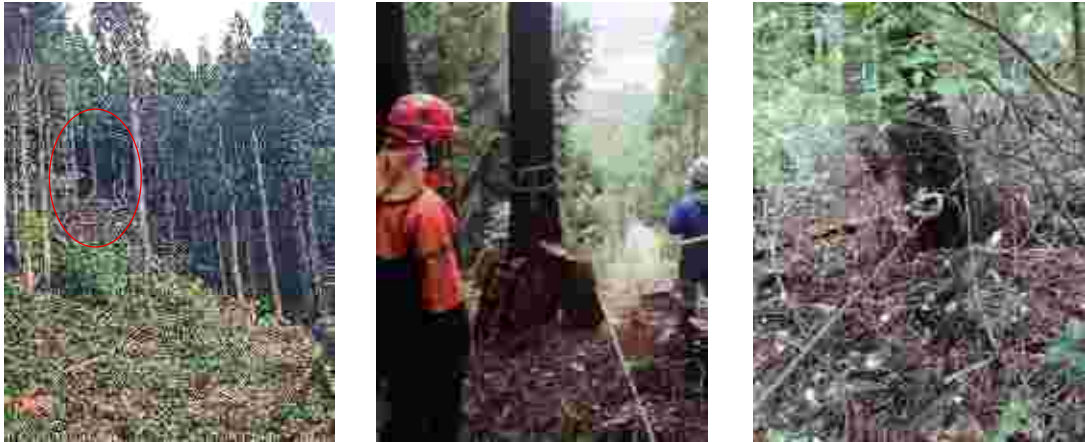
- ・実施日：令和7年10月6日（月）～10月7日（火）
- ・人工数：3.3人日
- ・数量等：43本

## vi タワーヤーダの据え置きと架線設置

今回、飛騨市森林組合では、架線設置に際しリードロープの設置などをドローンにより運搬を実施。

その後、林道にタワーヤーダを据え置き、先柱を用いて主索・控え索を張上げ。

- ・実施日：令和7年10月8日（水）～10月9日（木）
- ・人工数：6.1人日
- ・架線の概要：延長約283m、高低差約83m、タワー高11m、先柱（高さ約2m）



先柱の設置状況



控え索の設置状況



ドローンによるリードロープの運搬状況

### vii 伐採（先行伐採除く）、集材、造材

施業エリア内の立木伐採 [チェーンソー]、伐採木の集材 [タワーヤード]、造材 [ハーベスタ]

- ・実施日：令和7年10月9日（木）～22日（水）
- ・人工数：26.2人日 [基本構成] 伐採1人、集材1人、造材1人
- ・数量等：325.2m<sup>3</sup>

- ・集材方法：
  - i. 下げ荷集材
  - ii. 元口に玉掛し、地曳きで全幹集材
  - iii. 搬器はリフトライナーを使用し、伐採木の引き寄せ及び土場への集材はリモコンで操作
  - iv. 予め、荷揚げポイントや土場の場所を設定することで、リフトライナーは自動で走行、停止
  - v. 吊り上げ可能量は最大4t。横取りは左右85mまで可能
  - vi. 土場での荷下ろしを省力化するため、オートチャーカーを使用



実証地全景（起点側から）



実証地全景（終点側から）



集材状況（玉掛け直後）



集材状況（運搬中）



集材状況（土場周辺）



土場周辺の状況

### viii 架線の撤去とタワーヤーダの撤収

先柱、控え木に設置しているワイヤーロープ、スリング等の撤去、タワーヤーダの撤収

- ・実施日：令和7年10月22日（水）
- ・人工数：1.0人日

## (3) 使用機械

### 1) タワーヤーダ

- ・コンラート社（オーストリア製）3000U ホイールタイプ
- ・タワー高 最大11m
- ・総重量 19,500kg
- ・荷揚げ能力 最大4t
- ・ワイヤー スカイラインD20mm（600m）、ホールバックライン

ワイヤーロープは主にヨーロッパで使用されている圧縮ワイヤーを使用。一般的なワイヤーに比べ高価であるが、耐久性が高く滑車に跡が残らない等の利点がある。



## 2) リフトライナー

- ・コンラート社（オーストリア製）LL40-2
- ・総重量 1050kg
- ・荷揚げ能力 最大4 t
- ・巻き上げ索 D11 mm (100m)



## 3 実証結果

今回の実証は、令和7年9月24日～10月23日（実働16日）で行ったが、この間に県内の林業事業者をはじめとした関係者向けの研修等が開催された。作業に影響を与えた清掃等の片付けに要した日を除いた、期間中の作業人工は33.3人日で、生産された木材量は325.2m<sup>3</sup>となった。

この結果、一連の作業（タワーヤード設置～伐採～集材・造材～タワーヤード撤収）の生産性は、9.4m<sup>3</sup>/人日となり、県内の主伐の生産性6.3m<sup>3</sup>/人日（R4）や全国平均（下表）より高い値となった。

また、生産費については、13,164円/m<sup>3</sup>程度（労務費、機械経費等）となり、全国平均（皆伐、架線系）よりも高い結果となった。この要因は、作業を実施した飛騨市森林組合が今年度に全ての機械経費の見直しをおこない、昨年度の実証に対し約2倍の機械経費が計上されていることによるものである。

[参考]「令和4年素材生産事例調（林野庁調べ）」より

|                          | 皆伐 [高性能林業機械] |       | 間伐 [高性能林業機械] |       |
|--------------------------|--------------|-------|--------------|-------|
|                          | 車両系          | 架線系   | 車両系          | 架線系   |
| 生産性 (m <sup>3</sup> /人日) | 7.40         | 6.04  | 4.56         | 7.02  |
| 生産費 (円/m <sup>3</sup> )  | 6,190        | 8,356 | 9,261        | 6,564 |

※スギの伐木、造材、集材の全国平均。

※架線系の事例数は少なく、年によりばらつきがある。

実証地の隣接地では、同時期に車両系作業システムにより同様の施業（更新伐）を実施しており、その生産性は5.3m<sup>3</sup>/人日となった\*。なお、この生産性には作業道設置に伴う

人工（120m。2.0人日）は含まれておらず、この人工を考慮した場合、生産性は、 $5.0\text{m}^3/\text{人日}$ となる。

また、車両系の作業システムでは雨天時に作業を見合わせた日があったが、タワーヤードでの作業では、そうした日がなく、架線系作業システムは天気の影響を受けにくく、作業日数の向上に寄与できると思慮される。

※車両系作業システムでの作業員が初級者であり、OJTを兼ねて作業を行っていたことから、生産性を1.5倍としている。

## 4 課題と今後の計画

### （1）農林水産公社での対応

現場の様々な条件を考慮した架線集材の適用可否および生産性データが充実すれば、よりコストダウンが見込める集材方法の選定が現場ごとに可能となる。

これにより、公社造林地において搬出が困難とされる一部の急傾斜地に造林された森林資源の収益化の検討も可能となり、木材生産と販売収入の増大による経営改善と、公社による分収造林事業の継続に資するものとして期待している。

昨年度の実証結果で得られた知見から、今回の実証では、公社職員が中心となり県森林GISでの架線計画の策定や計画生産量を想定できたことから、今後、航空レーザ計測データの解析等と組み合わせ、より高収益となる伐採計画の策定に活かしていく手法を検討する必要がある。

### （2）県での対応

#### 1) 収益性の検証

今回の実証地の傾斜は $26\sim 40^\circ$ の中傾斜地～急峻地で、「路網・作業システム検討委員会 最終とりまとめ（林野庁 2010）」に記載されている、傾斜毎の作業システムの想定で、架線系が対象となる現場である。特に林道に接した区域が急峻地であることから、車両系での施業を実施するには、伐採箇所から離れた箇所から長距離の森林作業道の設置が必要であり、その費用や運搬距離の増加によるコスト増が予想される。

本県のスギ人工林は、約半分が $30^\circ$ 以上の急傾斜地に分布していることや、立木の等級比率や運搬距離などの森林条件により収益性が大きく左右するため、引き続き、条件が異なる箇所でも収益が確保できる条件などを検証する必要がある。

また、今回、富山県森林クラウドにより生産量の推定を行ったが、計画では生産量 $282\text{m}^3$  ( $393\text{m}^3/\text{ha}\times 0.72\text{ha}$ )に対し、実際の出材量は $325.2\text{m}^3$ と15%の差となっており、計画精度が収益に影響することから、必要に応じて、令和6年度実証で使用したドローンレーザを活用するなどにより、精度の向上を図る取組みも検討が必要である。

## 2) 活用可能地の選定

タワーヤーダで架線集材を出来る基本的な現地の条件としては、以下の点があげられ、導入にあたっては、これらを満たす活用可能地を選定する必要がある。

- ①タワーヤーダを据え置く作業基点に到達するため、要件（路盤強度、傾斜、幅員など）を満たす搬入路がある（又は開設できる）。
- ②先柱及び先柱のアンカーとして利用できる立木（原則、4本）がある。
- ③元柱（タワーヤーダ本体に付属）のアンカーとして利用できる立木（原則、4本）がある。また、立木がない場合、丸太を埋設し代替できるとともに、これに伴う費用を賄うことができる。
- ④垂下比等を考慮し、中間支柱の活用も含め、架線が地盤に触れないよう設置することができる。
- ⑤地盤の横断方向の凹凸や巻上げ索の延長等を考慮し、集材対象エリアをカバーする線形を設置できる。

## 3) 人材育成

現在、県内では、タワーヤーダを用いた木材生産は行われておらず、架線集材もほとんど行われていないことから、索張りやタワーヤーダの操作、作業の安全確保等の基礎知識と活用可能地の選定や架線計画の策定などのスキルを取得するため、研修などにより人材を育成する必要がある。

また、集材する反対方向に向けて伐倒するため（揚げ荷の場合は、梢端部を斜面下方向、下げ荷の場合は、梢端部を斜面上方向）、浴びせ倒しとなる可能性が高く、伐採を安全に行うための技術習得も必要となる。

更に、架線計画を策定できる人材も必要なことから、森林クラウドなどが活用できることが求められる。

## 4) タワーヤーダの活用と運用方法などの検討

令和7年に県内の事業者がタワーヤーダを導入したことから、県内での具体的な活用体制が整ってきた。

作業システムとして架線を選択すべき事業地もあることから、計画的にタワーヤーダを使用できるよう、保有する事業者の習熟度の向上への支援や連携について検討する必要がある。

また、今回、飛騨市森林組合が実施したドローンを活用したリードロープの設置等、更なる効率化についても検討が必要である。



## 第2節 ドローンによる森林資源調査業務

### 1 目的

スギなどの針葉樹林で木材生産を行う上では、森林計測を行うことは重要であるが、その調査方法は毎木調査が主流であり、大きな労力がかかる。近年、ドローンによるスギ人工林の資源量調査の技術が確立されてきているが、本実証事業ではその適用性や活用方法について検証を行った。

また、広葉樹の木材生産において生産性を上げるには、コナラ等の資源量が多い林分を対象とする必要があり、本実証事業ではドローンを用いた広葉樹林での樹種識別や材積推定する手法の検証を行った。昨年度の実証事業において、広葉樹林においてドローン調査と一部現地での毎木調査を組み合わせることで効率的に森林全体の樹種構成が把握できることが示されたが、本年度の実証事業では、富山県独自の広葉樹解析モデルを作成することで、現地での毎木調査を実施せずに、更なる効率的な森林調査が可能か実証を行った。

### 2 実証方法と実証地

#### (1) 概要

実証は、富山県西部森林組合（以下、森林組合）が実証主体として取り組むこととし、技術面は令和6年度に実証をおこなった DeepForest Technologies 社（以下 DF 社）により実施した。

まず、ドローンを活用した森林資源調査の高精度かつ効率的な実施手法の確立のため、県内の森林2か所（高岡市山川、小矢部市臼谷）において、DF社によりドローンによるデータ取得を実施した。

現地調査も併せて実施し、スギ人工林の資源量調査の精度検証のためのデータ取得、および広葉樹の樹種識別モデル作成のためのデータ取得を行った。

スギ人工林について、樹種識別を実施し材積推定を行い、その精度を検証した。

広葉樹林については、現地調査で得られた樹種画像情報と DF 社が過去に取得した樹種画像情報を用いて広葉樹の樹種識別モデルを作成した。

その後、森林組合が DF Scanner を用いた森林解析の指導を受け、森林組合のみで実際に DF Scanner を用いて広葉樹林の資源量解析を実施し、その使いやすさや精度を検証した。



作業フロー

## (2) 実証に利用したソフトウェア

### 1) DF BIRD

DF BIRD は DF 社が開発した画像処理ソフトウェア。オルソ画像（位置情報を基に歪みを補正した地図画像）や 3D モデルの作成が可能。

### 2) DF Scanner Lite/Pro

DF Scanner は、DF 社が開発した森林解析ソフトウェア。AI のディープラーニング機能を活用し、ドローンで撮影した森林の樹冠画像から、樹種、樹高、胸高直径、幹材積、CO2 固定量などの樹木の情報を単木あたりで取得が可能。一般的なデジタルカメラを搭載したドローンやレーザードローンのデータに対応し、ドローン計測で取得したオルソ画像と表層高モデルを利用してその解析を行うことが可能。

スギやヒノキ林で構成される人工林で全自動解析を行う場合は DF Scanner Lite の機能で十分であるが、広葉樹林での精度の高い樹冠分離を実施する場合や、オリジナルの樹種識別モデルを活用する場合は DF Scanner Pro の機能が必要である。

本実証事業では、スギ人工林の解析には DF Scanner Lite を使用し、広葉樹林の解析には DF Scanner Pro を使用した。

## (3) 実証地

本実証事業にて、DF 社がデータ取得及び現地調査を行った実証地は 2 か所あり、それぞれ高岡市山川、小矢部市白谷の約 6～7 ha の森林である。



広域図

(詳細)



高岡市山川 (約 7ha)



小矢部市白谷 (約 6ha)

## (4) 実証方法

### 1) 計測

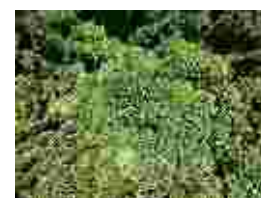
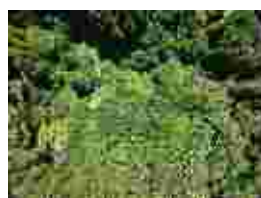
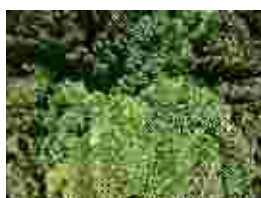
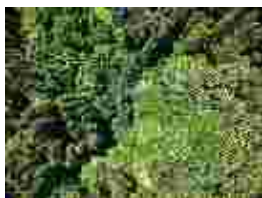
#### ① ドローン計測

DJI 社製 Mavic 3 Enterprise (以下、ドローン) を使用して、県内のそれぞれ約 6～7 ha の森林 2 か所の上空を飛行させ、画像データを取得した。森林全体の状況把握におけるドローン空撮においては下記条件を満たす仕様で行った。ドローン空撮にかかる所要時間は 1 か所の計測につき 30 分程度であり、高岡市山川は計 186 枚、小矢部市白谷は計 191 枚の撮影枚数となった。

| 計測諸元    |             |
|---------|-------------|
| 対地速度    | 5m/s        |
| 地上解像度   | 2.5 cm      |
| オーバーラップ | 85%         |
| サイドラップ  | 75%         |
| 計測時間帯   | 10 時 ～ 14 時 |
| 位置測位    | ネットワーク RTK  |



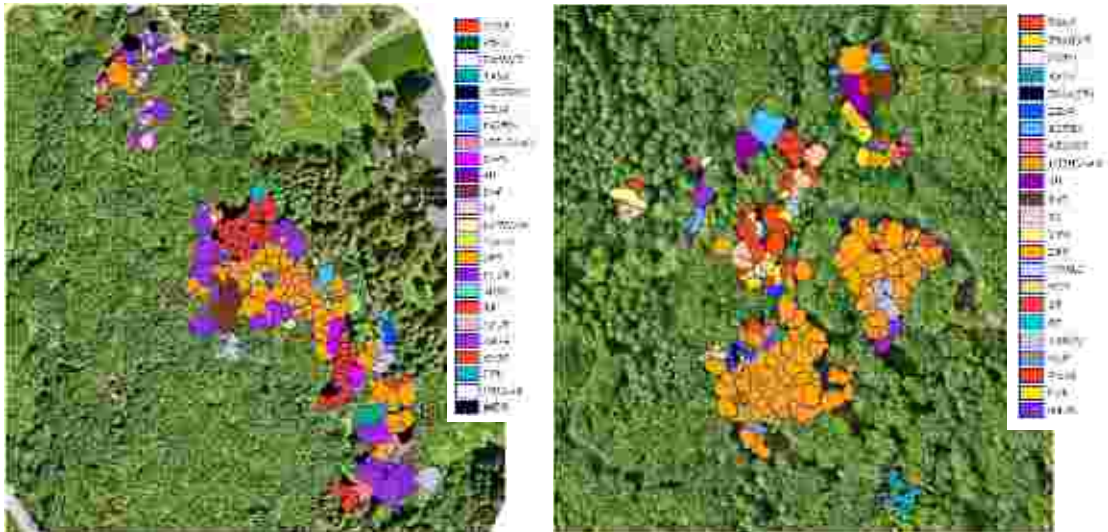
飛行の様子



画像データの一部

## ② 現地調査

撮影した画像データを元にオルソ画像を作成し、タブレットにインポートして現地調査を実施した。調査項目は、樹種及び胸高直径で、所要時間は1か所あたり3時間程度であった。



タブレットに直接樹種情報等を記録した様子

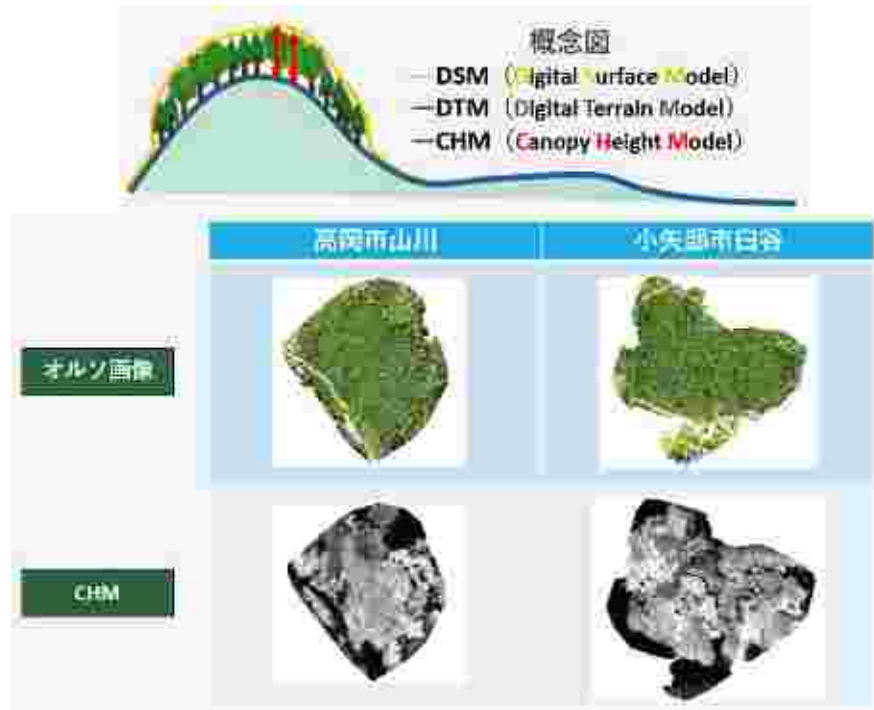


DBHの取得を行っている様子

### 3) ドローン写真のオルソ化

オルソ画像は SfM ソフトウェア (DF BIRD) を用いて解像度 2.5 cm で作成を行い、併せて DSM データ (表層高モデル) も同時作成した。

また、得られた DSM データと、国土地理院発行の DEM5A (地面高モデル) の差分から、DF Scanner Lite/Pro を用いて CHM データ (樹冠高モデル) を生成した。



作成したオルソ画像および CHM

### 4) 【スギ人工林解析】 AI 技術を活用した樹種識別

DF Scanner Lite を用いて「全自動解析」ツールによってスギ人工林の自動解析を行った。



DF Scanner Lite の画面

全自動解析ツールから CHM およびオルソ画像のファイルを入れると自動解析が可能

### 5) 【スギ人工林解析】材積推定

DF Scanner Lite の「全自動解析」ツールを用いることで、樹種識別の解析結果と同時に、樹高の測定、胸高直径の推定、および幹材積の推定が自動で行われる。胸高直径の推定には、DF 社が過去に蓄積したデータから作成された推定モデル式が使われている。幹材積の推定モデルは、「細田和男・光田 靖・家原敏郎「現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法」 森林計画学会誌 44 巻 2 号: 23~39 ページ、2010 年 12 月発行」を使用している。

### 6) 【広葉樹林解析】樹種識別モデル作成

高岡市山川および小矢部市臼谷で取得された樹種画像情報と、DF 社が過去に全国で収集してきた樹種画像情報を併せて、富山県内の樹種に特化した樹種識別モデルを作成した。樹種識別モデルを作成するにあたり、富山県内に存在しない樹種を外す、画像枚数が十分に無い場合や見た目が酷似している樹種について統合するなどの工夫を行い、以下の 11 種類の樹種分類モデルとして完成させた。モデルの精度については下表のとおり検証を行った。

| 識別樹種                | precision | recall | f1-score | support |
|---------------------|-----------|--------|----------|---------|
| アカマツ                | 0.81      | 0.80   | 0.81     | 81      |
| カラマツ                | 0.98      | 0.90   | 0.94     | 1078    |
| クリ                  | 0.71      | 0.60   | 0.65     | 40      |
| コナラ・カン類             | 0.73      | 0.89   | 0.80     | 226     |
| サクラ類                | 0.35      | 0.35   | 0.35     | 23      |
| スギ                  | 0.91      | 0.88   | 0.89     | 756     |
| タケ                  | 0.85      | 0.98   | 0.91     | 48      |
| ヒノキ                 | 0.92      | 0.92   | 0.92     | 982     |
| ホオノキ                | 0.97      | 0.93   | 0.95     | 230     |
| ミズナラ                | 0.78      | 0.89   | 0.83     | 302     |
| 枯死木                 | 0.91      | 0.99   | 0.95     | 400     |
| <b>accuracy</b>     |           |        | 0.90     | 4166    |
| <b>macro avg</b>    | 0.81      | 0.83   | 0.82     | 4166    |
| <b>weighted avg</b> | 0.91      | 0.90   | 0.90     | 4166    |

Precision : 正しいと予測したものうち、実際に正しかった割合

Recall : 実際に正しいものうち、どれだけを正しく検出できたか

f1-score : precision と recall のバランスを表す指標

support : 各クラスに含まれる実データ数

accuracy : 全体のうち、正しく分類できた割合

macro avg : 各クラスの指標を単純平均した値

weighted avg : 各クラスの指標を、Support (データ数) で重み付けして平均した値

完成したモデルは拡張子「.dfmodel」ファイルとして森林組合に提供した。

### 7) 【広葉樹林解析】DF Scanner を用いた森林解析方法の取得

森林組合はDF社から、オンラインにてDF Scanner Pro を用いて広葉樹林の森林解析を行う方法についてレクチャーを受けた。レクチャー内容は録画・録音を行い、森林組合に送付された。

### 8) 【広葉樹林解析】材積推定

DF社のレクチャー内容を基に、森林組合で別途取得したドローンデータを用いて広葉樹林の解析を行った。

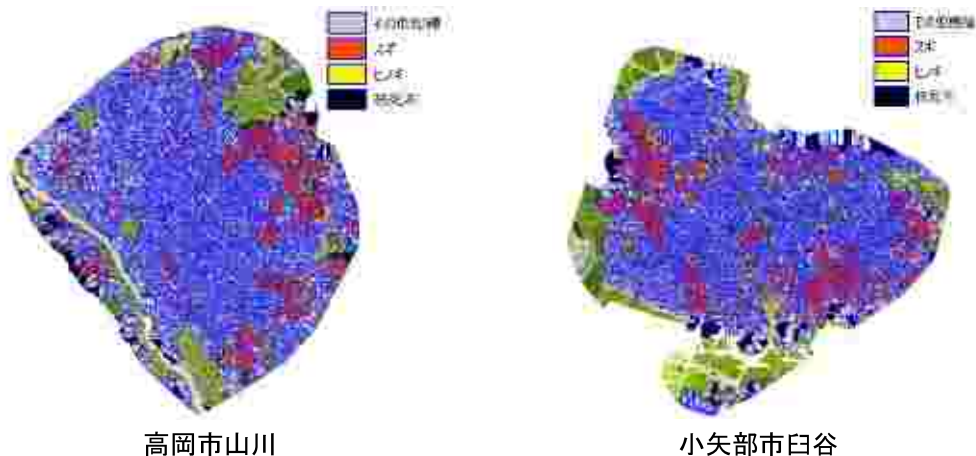
広葉樹の樹種識別には2.3.6【広葉樹林解析】樹種識別モデル作成にて作成した「.dfmodel」ファイルを用いて自動で解析を行った。

## 3 実証結果と検証

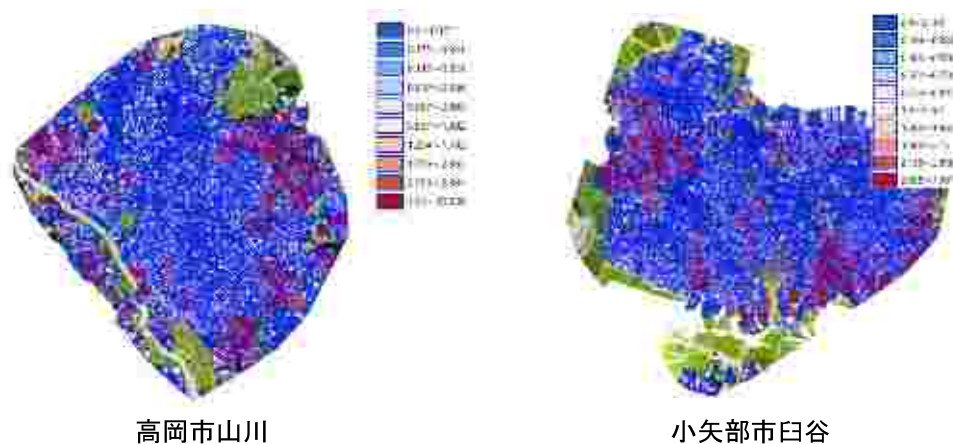
### (1) 実証結果と検証

#### 1) 【スギ人工林解析】

調査範囲全体の樹種識別を自動で行った結果を以下に示す。



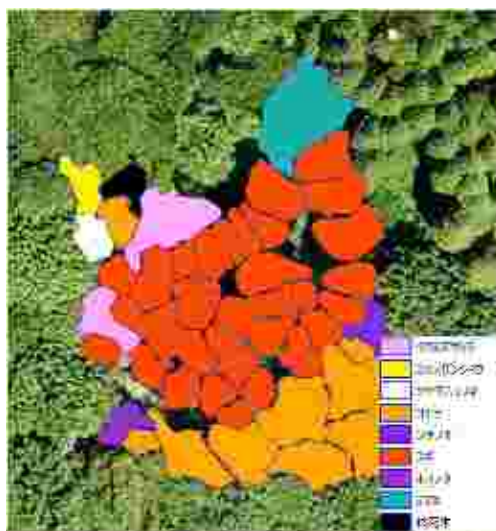
材積推定を実施した結果を以下に示す。



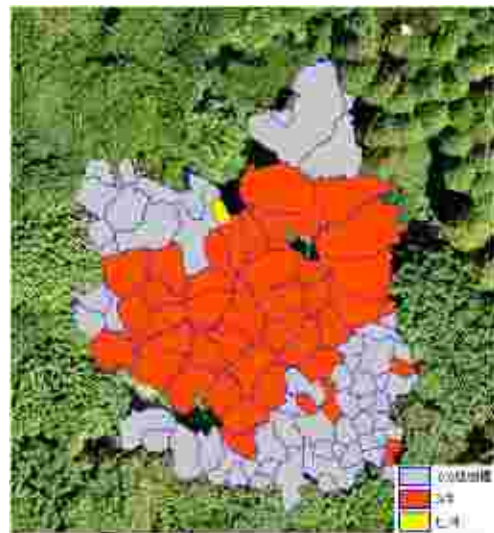
ドローンによるスギ人工林の資源量調査の精度検証を行うために、高岡市山川のスギ人工林の区域の一部で取得した現地毎木調査データと、DF Scanner Liteによる全自動解析結果を比較した。



現地データのうちスギ人工林が含まれるエリア（黄色枠内）



検証に用いた現地データ



同エリアの自動解析結果

まず、樹種識別精度を比較するために、スギとその他樹種それぞれの樹冠面積を比較した。樹種分布としては上記画像の通り現地データに近い値となった。

| 樹冠面積の合計 | 現地データ   | 自動解析結果  |
|---------|---------|---------|
| スギ      | 705.40㎡ | 808.51㎡ |
| その他樹種   | 663.90㎡ | 660.21㎡ |

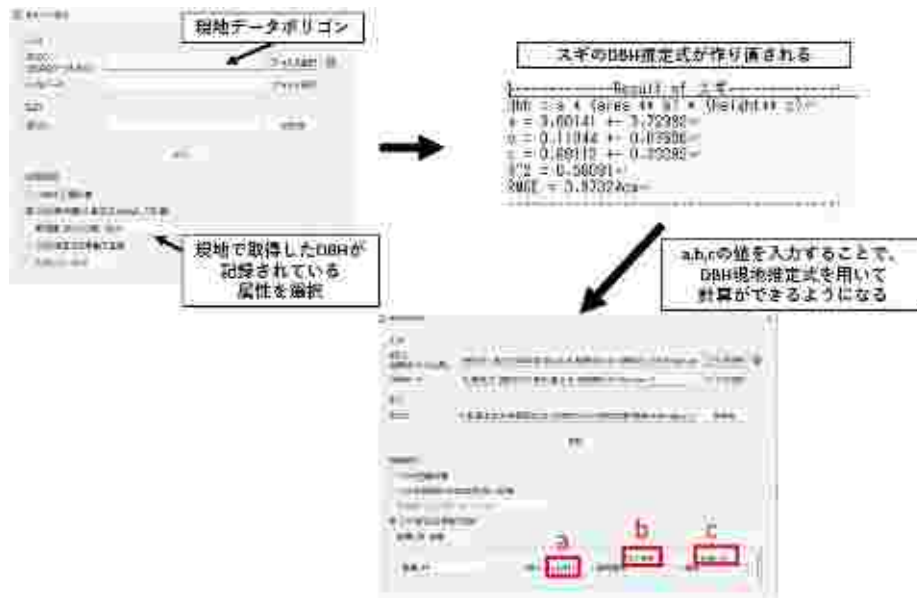
次に、現地でDBHを計測したスギ35本の胸高直径（DBH）と自動解析結果のDBHを比較した。

| ID | 現地データ |          | 全自動解析結果 |         |          | 備考          |
|----|-------|----------|---------|---------|----------|-------------|
|    | 樹種    | DBH      | 樹種      | DBH     | 誤差       |             |
| 1  | スギ    | 117.1 cm | その他樹種   |         |          | その他樹種として誤識別 |
| 2  | スギ    | 70.1 cm  | スギ      | 70.1 cm | 0.0 cm   | 0%          |
| 3  | スギ    | 73.8 cm  | スギ      | 63.4 cm | -10.4 cm | -14%        |
| 4  | スギ    | 64.0 cm  | スギ      | 51.4 cm | -12.6 cm | -20%        |
| 5  | スギ    | 52.2 cm  | スギ      | 40.8 cm | -11.4 cm | -22%        |
| 6  | スギ    | 54.2 cm  | スギ      | 40.9 cm | -13.3 cm | -25%        |
| 7  | スギ    | 59.5 cm  | スギ      | 40.3 cm | -19.2 cm | -32%        |
| 8  | スギ    | 50.2 cm  | その他樹種   |         |          | その他樹種として誤識別 |
| 9  | スギ    | 49.3 cm  | スギ      | 42.2 cm | -7.1 cm  | -14%        |
| 10 | スギ    | 52.1 cm  | スギ      | 46.6 cm | -5.5 cm  | -11%        |
| 11 | スギ    | 51.7 cm  | スギ      | 46.5 cm | -5.2 cm  | -10%        |
| 12 | スギ    | 51.5 cm  | スギ      | 37.9 cm | -13.6 cm | -26%        |
| 13 | スギ    | 61.0 cm  | スギ      | 50.4 cm | -10.6 cm | -17%        |
| 14 | スギ    | 58.5 cm  | スギ      | 42.7 cm | -15.8 cm | -27%        |
| 15 | スギ    | 56.3 cm  | スギ      | 44.3 cm | -12.0 cm | -21%        |
| 16 | スギ    | 55.0 cm  | スギ      | 44.0 cm | -11.0 cm | -20%        |
| 17 | スギ    | 50.0 cm  | スギ      | 39.8 cm | -10.2 cm | -20%        |
| 18 | スギ    | 51.6 cm  | スギ      | 49.0 cm | -2.6 cm  | -5%         |
| 19 | スギ    | 59.4 cm  | スギ      | 48.2 cm | -11.2 cm | -19%        |
| 20 | スギ    | 54.8 cm  | スギ      | 42.3 cm | -12.5 cm | -23%        |
| 21 | スギ    | 50.4 cm  | スギ      | 41.9 cm | -8.5 cm  | -17%        |
| 22 | スギ    | 56.0 cm  | スギ      | 44.7 cm | -11.3 cm | -20%        |
| 23 | スギ    | 49.7 cm  | スギ      | 47.3 cm | -2.4 cm  | -5%         |
| 24 | スギ    | 55.1 cm  | スギ      | 42.5 cm | -12.6 cm | -23%        |
| 25 | スギ    | 55.3 cm  | スギ      | 43.2 cm | -12.1 cm | -22%        |
| 26 | スギ    | 55.9 cm  | スギ      | 51.6 cm | -4.3 cm  | -8%         |
| 27 | スギ    | 54.2 cm  | スギ      |         |          | 2本のスギとして誤識別 |
| 28 | スギ    | 50.8 cm  | スギ      | 48.0 cm | -2.8 cm  | -6%         |
| 29 | スギ    | 52.8 cm  | スギ      | 45.4 cm | -7.4 cm  | -14%        |
| 30 | スギ    | 54.0 cm  | スギ      | 45.7 cm | -8.3 cm  | -15%        |
| 31 | スギ    | 48.5 cm  | スギ      | 40.2 cm | -8.3 cm  | -17%        |
| 32 | スギ    | 52.0 cm  | スギ      | 42.8 cm | -9.2 cm  | -18%        |
| 33 | スギ    | 60.5 cm  | スギ      | 49.5 cm | -11.0 cm | -18%        |
| 34 | スギ    | 69.0 cm  | スギ      | 61.5 cm | -7.5 cm  | -11%        |
| 35 | スギ    | 72.7 cm  | スギ      | 73.4 cm | 0.7 cm   | 1%          |

全体的に過小評価となったが、ほとんどのスギで20%程度の誤差に収まった。

DF Scannerでは、DF社が全国で収集したデータを用いたDBHの推定式を装備しているが、独自のDBHの推定式を作成することもできる。これにより、より現地に即したDBHの推定を行うことができる。

今回現地でDBHを計測したスギ35本のうち、20本を用いてDF Scanner Lite内にある「樹高/DBH推定」機能のうち「DBH実測値から推定式を作成して計算」ツールを使用してDBHの現地推定式を作成した。



現地でDBHを計測したスギ35本のうち、DBH現地推定式に用いた20本を除いた15本のスギについて、作成した推定式を用いてDBHの推定を行った。

精度評価について下記に示す。

| ID | 現地データ |          | 全自動解析結果 |         |          |      | DBH現地推定式使用結果 |         |         |      | 備考 |        |
|----|-------|----------|---------|---------|----------|------|--------------|---------|---------|------|----|--------|
|    | 樹種    | DBH      | 樹種      | DBH     | 誤差       | 誤差割合 | 樹種           | DBH     | 誤差      | 誤差割合 |    |        |
| 1  | スギ    | 117.1 cm | その他樹種   |         |          |      | その他樹種        |         |         |      |    |        |
| 2  | スギ    | 70.1 cm  | スギ      | 70.1 cm | 0.0 cm   | 0%   |              | 66.5 cm | -3.6 cm | -5%  |    |        |
| 3  | スギ    | 73.8 cm  | スギ      | 63.4 cm | -10.4 cm | -14% |              | 65.8 cm | -8.0 cm | -11% |    |        |
| 4  | スギ    | 64.0 cm  | スギ      | 51.4 cm | -12.6 cm | -20% |              | 59.8 cm | -4.2 cm | -7%  |    |        |
| 5  | スギ    | 52.2 cm  | スギ      | 40.8 cm | -11.4 cm | -22% |              | 53.9 cm | 1.7 cm  | 3%   |    |        |
| 6  | スギ    | 54.2 cm  | スギ      | 40.9 cm | -13.3 cm | -25% |              | 53.1 cm | -1.1 cm | -2%  |    |        |
| 7  | スギ    | 59.5 cm  | スギ      | 40.3 cm | -19.2 cm | -32% |              | 54.0 cm | -5.5 cm | -9%  |    |        |
| 8  | スギ    | 50.2 cm  | その他樹種   |         |          |      | その他樹種        |         |         |      |    |        |
| 9  | スギ    | 49.3 cm  | スギ      | 42.2 cm | -7.1 cm  | -14% |              | 54.0 cm | 4.7 cm  | 10%  |    |        |
| 10 | スギ    | 52.1 cm  | スギ      | 46.6 cm | -5.5 cm  | -11% |              | 56.6 cm | 4.5 cm  | 9%   |    |        |
| 11 | スギ    | 51.7 cm  | スギ      | 46.5 cm | -5.2 cm  | -10% |              | 54.4 cm | 2.7 cm  | 5%   |    |        |
| 12 | スギ    | 51.5 cm  | スギ      | 37.9 cm | -13.6 cm | -26% |              | 51.3 cm | -0.2 cm | 0%   |    |        |
| 13 | スギ    | 61.0 cm  | スギ      | 50.4 cm | -10.6 cm | -17% |              | 53.8 cm | -7.2 cm | -12% |    |        |
| 14 | スギ    | 58.5 cm  | スギ      | 42.7 cm | -15.8 cm | -27% |              | 51.9 cm | -6.6 cm | -11% |    |        |
| 15 | スギ    | 56.3 cm  | スギ      | 44.3 cm | -12.0 cm | -21% |              | 49.5 cm | -6.8 cm | -12% |    |        |
| 16 | スギ    | 55.0 cm  | スギ      | 44.0 cm | -11.0 cm | -20% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 17 | スギ    | 50.0 cm  | スギ      | 39.8 cm | -10.2 cm | -20% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 18 | スギ    | 51.6 cm  | スギ      | 49.0 cm | -2.6 cm  | -5%  | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 19 | スギ    | 59.4 cm  | スギ      | 48.2 cm | -11.2 cm | -19% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 20 | スギ    | 54.8 cm  | スギ      | 42.3 cm | -12.5 cm | -23% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 21 | スギ    | 50.4 cm  | スギ      | 41.9 cm | -8.5 cm  | -17% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 22 | スギ    | 56.0 cm  | スギ      | 44.7 cm | -11.3 cm | -20% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 23 | スギ    | 49.7 cm  | スギ      | 47.3 cm | -2.4 cm  | -5%  | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 24 | スギ    | 55.1 cm  | スギ      | 42.5 cm | -12.6 cm | -23% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 25 | スギ    | 55.3 cm  | スギ      | 43.2 cm | -12.1 cm | -22% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 26 | スギ    | 55.9 cm  | スギ      | 51.6 cm | -4.3 cm  | -8%  | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 27 | スギ    | 54.2 cm  | スギ      |         |          |      | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 28 | スギ    | 50.8 cm  | スギ      | 48.0 cm | -2.8 cm  | -6%  | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 29 | スギ    | 52.8 cm  | スギ      | 45.4 cm | -7.4 cm  | -14% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 30 | スギ    | 54.0 cm  | スギ      | 45.7 cm | -8.3 cm  | -15% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 31 | スギ    | 48.5 cm  | スギ      | 40.2 cm | -8.3 cm  | -17% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 32 | スギ    | 52.0 cm  | スギ      | 42.8 cm | -9.2 cm  | -18% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 33 | スギ    | 60.5 cm  | スギ      | 49.5 cm | -11.0 cm | -18% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 34 | スギ    | 69.0 cm  | スギ      | 61.5 cm | -7.5 cm  | -11% | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |
| 35 | スギ    | 72.7 cm  | スギ      | 73.4 cm | 0.7 cm   | 1%   | -            | -       | -       | -    | -  | 現地式に使用 |

全自動解析結果より精度が悪くなった樹木の誤差割合を赤字で、精度が良くなった樹木を青字で示している。全体的として大幅に DBH 推定精度の向上を図ることができた。

## 2) 【広葉樹林解析】

森林組合では更新伐の計画精度向上のため材積推定が可能であるか、また有利販売のためのホオノキなど位置情報把握の検証を行った。

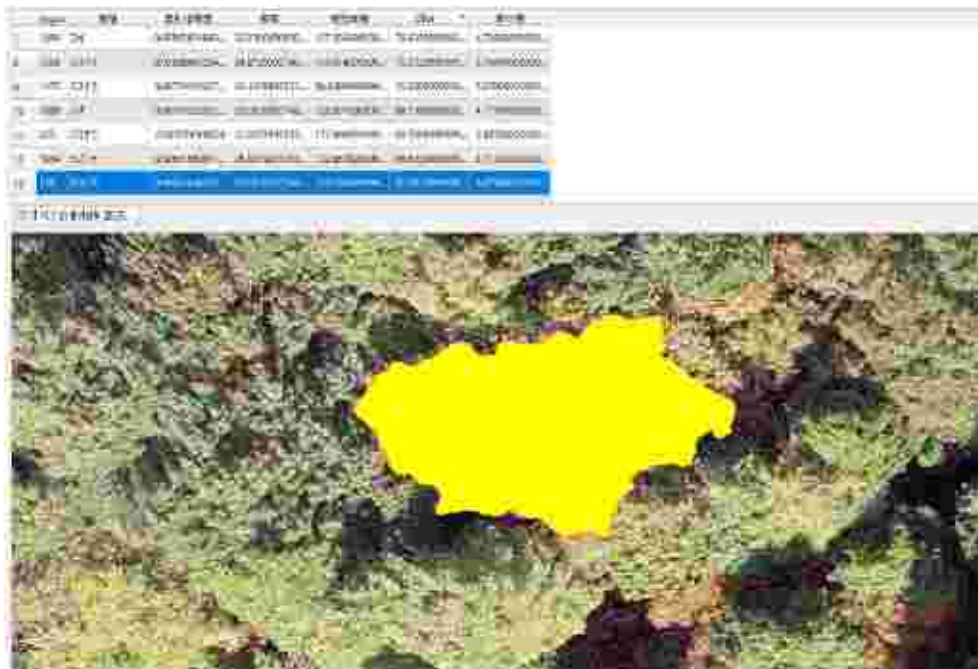
出材量との比較による精度検証についても検討を行ったが、①明確な伐採樹木の特定ができないこと、②主伐ではなく間伐等の実施を行ったため被圧木の出材が多くなっている可能性があり、ドローンから得られる高木種の材積との比較が難しいこと、等の理由より本実証事業では現地での立木調査と比較することで、広葉樹解析の有効性を検証した。

ドローンの撮影は、Phantom 4 Pro を使用し、下表のとおり計測を実施した。

| 計測諸元    |              |
|---------|--------------|
| 飛行速度    | 5m/s         |
| 高度      | 70m (対地高度一定) |
| 地上解像度   | 2.5 cm       |
| オーバーラップ | 80%          |
| サイドラップ  | 70%          |
| 計測時間帯   | 10時 ~ 14時    |

森林解析は、Metashape で作成したオルソ画像を用いて DF Scanner Pro で実施した。解析結果の確認は、QGIS を用いて単木情報や位置などを確認した。

GIS 上で樹冠分離データ、樹種、DBH、位置、オルソ画像、航空写真を基に現地の確認を行った。



QGIS を用いて解析結果を確認している図

現地確認は航空写真・樹木位置情報を参考に調査を行った。



ホオノキ DBH55 cm



コナラ DBH63 cm

DF Scanner Pro で解析した結果と、現地で確認をした実際の DBH の値は、下記のとおりであった。

| 解析データ   | DBH    | 現地データ | DBH<br>① | DBH<br>② | DBH<br>③ | 備考  |
|---------|--------|-------|----------|----------|----------|-----|
| ミズナラ    | 70.073 | コナラ   | 63       |          |          |     |
| ホオノキ    | 66.583 | ホオノキ  | 55       |          |          |     |
| ミズナラ    | 66.582 | コナラ   | 52       |          |          |     |
| ミズナラ    | 65.889 | ヒバ    | 70       | 57       | 32       |     |
| ミズナラ    | 61.397 | コナラ   | 39       | 38       |          |     |
| ヒノキ     | 60.039 | スギ    | 73       |          |          |     |
| コナラ・カシ類 | 59.662 | ケヤキ   | 60       | 57       |          | 株立ち |
| ホオノキ    | 59.547 | ホオノキ  | 53       | 48       |          | 株立ち |
| ヒノキ     | 58.787 | ヒバ    | 75       |          |          |     |
| コナラ・カシ類 | 56.983 | コナラ   | 52       |          |          |     |
| ミズナラ    | 56.352 | ホオノキ  | 48       | 47       | 43       | 株立ち |

### 3) 実証を行った森林組合担当者の感想

- ・解析データと現地データの比較の結果、樹種は概ね合致していた。DBHについては、解析では1本の樹木が現地では株立ちとなっていることが多かったが、推定したDBHと近い樹木が生育していた。
- ・森林解析によって、有用広葉樹の位置把握や直径推定が十分に可能であると感じた。今

後は、有用木の注文販売や採材指示によって有利販売を進め、所有者へ利益還元を図りたい。

- ・ソフトウェアの操作は、シンプルで使い易いものであった。
- ・樹冠分離の精度については、下図の通りすぎ、広葉樹ともに正確に分けられていると感じた。



AI 自動樹冠分離結果

#### 4) 実証での課題

今後の課題としては、組合で撮影したオルソ画像が下写真のようにゆがみが見られたため解析に誤差が生じている可能性がある。今後は、風の有無などに注意し撮影をする必要がある。



歪みの生じているオルソ画像

一方で、森林施業プランナーが通常使用している下記の環境では樹冠分離作業を実施す

ることができなかつたため、解析専用のパソコンが必要であった。(DF社より：AI樹冠分離機能を使うためにはNVIDIA製のGPU(GeForce RTXシリーズ推奨)の使用を推奨する。)

| PC スペック (プランナー) |   |
|-----------------|---|
| CPU             | AMD Ryzen 7 7735U with Radeon Graphics (2.70 GHz) |
| メモリ             | 16.0GB  |
| OS              | Windows 11 Pro                                    |
| GPU             | AMDRadeon(TM) Graphics 995M                       |
| ストレージ           | SSD 512GB   |

### (3) まとめ・考察

#### 1) スギ人工林解析

スギ人工林については、現地調査を行わずとも、ドローンの飛行と、主に自動解析のみで、簡単に資源量の把握をすることができた。

必要に応じて、現地で20本以上のDBHを計測し、それらのデータを基にDBH現地推定式を作成することで、より高精度な単木のサイズ推定が可能となった。

#### 2) 広葉樹林解析

広葉樹林については、実際に広葉樹の伐採・販売を行っている森林組合によりドローン計測から解析まで内製的に実施することができた。特に従来の広葉樹調査の場合、実際に林内に入らないとどこに目的の樹種があるかが不明であったが、ドローンを用いて樹種解析を行うことで、目的とする樹木の位置を絞ることが可能になり大幅な業務効率化に繋がることが期待できる。現時点では樹種識別や樹冠分離の推定精度は100%ではないものの、どの位置にサイズの大きい有用広葉樹が生育している可能性があるかを示すうえでは使用する価値があるといえる。

### (4) 今後の課題・展望

スギ人工林、広葉樹林ともに、資源量を把握するためには従来、山に立ち入り調査することが必須であった。一方で、スギ人工林であっても調査人員によって見積もり資源量が大きく変わってしまう場合や、面積が広大な場合全ての範囲を調査できない、近年は熊による人的被害への対応、など課題感が多くあり、できるだけ山に入らないで高精度な資源量解析ができることは、森林産業においては有用なツールとなり得る。

スギ人工林について、DF ScannerのDBH推定式は全国のデータを基に作成しているものであるため、本実証事業のように現地で一部実測データを取得してDBH現地推定式を作成した方が精度が高くなるケースがある。

DF社では全国のDBHデータを取得しており、今後も引き続き、より堅牢性の高いモデル

としてアップデートしていく予定とのことである。また、例えば地域ごとのモデルを作成するなど、より DBH 精度の高くなる方法も研究・開発を予定されている。

広葉樹林についても、本実証事業では富山県に特化したモデルの作成を行ったが、今後さらに樹種データを全国で取得していく見込みである。自動で精度高く識別できる樹種を増やしていくことで、より有用広葉樹の検出が可能になることで、更に効率的に森林資源の把握が進むことが期待される。

## 【資料】現場への実装方法

DF BIRD および DF Scanner Pro/Lite などの各種 DF 社のソフトウェアは、林業事業体や地域のドローン計測会社が導入して活用することを想定している。

以下に 2026 年 1 月現在のソフトウェアおよびその他機材を用いて、スギ人工林解析を行う手法および広葉樹林解析を行う手法について紹介する。詳細な手順については前述の「実証方法」および DF Scanner のマニュアル等を参照されたい。

### 必要機材およびその概算価格

ドローン計測に必要な機材は以下の通りである。スギ人工林で DBH 現地推定式を作成したい場合は追加でタブレット端末が必要になる。

| 品名                            | 概算単価     | 数量 | 概算単価（税抜き） |
|-------------------------------|----------|----|-----------|
| Mavic 3 Enterprise            | ¥770,000 | 1  | ¥770,000  |
| RTKセット                        | ¥470,000 | 1  | ¥470,000  |
| Galaxy Tab S9FE(Wi-Fiモデル)     | ¥70,000  | 1  | ¥70,000   |
| iPad Wi-Fi + Cellularモデル ペン付き | ¥90,000  | 1  | ¥90,000   |

※高精度な位置情報取得が必要な場合に使用

(※)  
現地調査が必要な場合にのみ、いずれか1つ

### 必要ソフトウェアおよびその価格

スギ人工林の資源量解析を実施したい場合と、広葉樹林解析を実施した場合には必要ソフトウェアが異なる。

#### 【スギ人工林解析】

| 品名              | 概算単価     | 数量 | 概算単価（税抜き） |
|-----------------|----------|----|-----------|
| DF BIRD         | ¥50,000  | 1  | ¥50,000   |
| DF Scanner Lite | ¥200,000 | 1  | ¥200,000  |
| DF Walker       | ¥0       | 1  | ¥0        |

※1 DF BIRDはDF Scannerを利用の場合は無料

※2 林業事業体向け年間ライセンス価格

※3現地調査が必要な場合

#### 【広葉樹林解析】

| 品名             | 概算単価     | 数量 | 概算単価（税抜き） |
|----------------|----------|----|-----------|
| DF BIRD        | ¥50,000  | 1  | ¥50,000   |
| DF Scanner Pro | ¥450,000 | 1  | ¥450,000  |

※1 DF BIRDはDF Scannerを利用の場合は無料

※2 林業事業体向け年間ライセンス価格

※3現地調査が必要な場合

- ・ DF BIRD : DF 社が開発した、ドローンで撮影した複数の写真からオルソ画像や 3 次元データなどを生成する SfM (Structure from Motion) ソフトウェア
- ・ DF Scanner Pro : DF Scanner の Pro 版では、広葉樹に対応した樹冠分離やオリジナルモデルを活用した樹種解析などの広葉樹にも対応した高度な機能が利用可能。一方、DF Scanner の Lite 版はスギヒノキ等の人工林特化型のソフトウェア。
- ・ DF Walker: DF 社が開発した、森林に特化した現地調査用アプリケーション。タブレッ

トやスマートフォンを利用して、フィールドでの現地調査結果の効率的な収集が可能。

## 手順

### 【スギ人工林解析】現場での作業

- ・まず、解析対象範囲で実証方法に記載の計測諸元に従いドローンの自動飛行を実施する。30分ほどのフライトで10ha弱の面積の計測が可能である。同じような林相であれば、50～100haほどの面積を同時に解析することができる。全自動解析を行う場合は、現場での作業は以上になる。
- ・DBH 現地推定式を作成したい場合は、追加で次の作業を実施する。ドローン飛行により得られた画像データから、DF BIRDなどのSfMソフトウェアを用いてオルソ画像を作成し、位置情報が測位可能なタブレット等上でインストールしたDF Walkerに取り込む。DF Walker上でオルソ画像を表示しながら、森林内でスギのDBHを計測し、オルソ画像上に樹種情報およびDBH情報を書き込んでいく。20本以上のデータを取得することを推奨する。

### 【スギ人工林解析】解析作業

- ・本報告書内の「2.4.3 ドローン写真のオルソ化」「2.4.4 【スギ人工林解析】AI技術を活用した樹種識別」および「2.4.5 【スギ人工林解析】材積推定」に記載の方法で解析を行うことで、スギの資源量把握が可能である。解析結果はシェープファイルとして出力され、他のGISソフトウェアでも閲覧ができる。
- ・現地調査を実施し、そのデータを基にしてDBHの推定精度を上げたい場合は、本報告書内の「3.1 【スギ人工林解析】」で報告している方法でDBH 現地推定式を作成し活用することを推奨する。

### 【スギ人工林解析】ドローン計測から解析までの所要時間

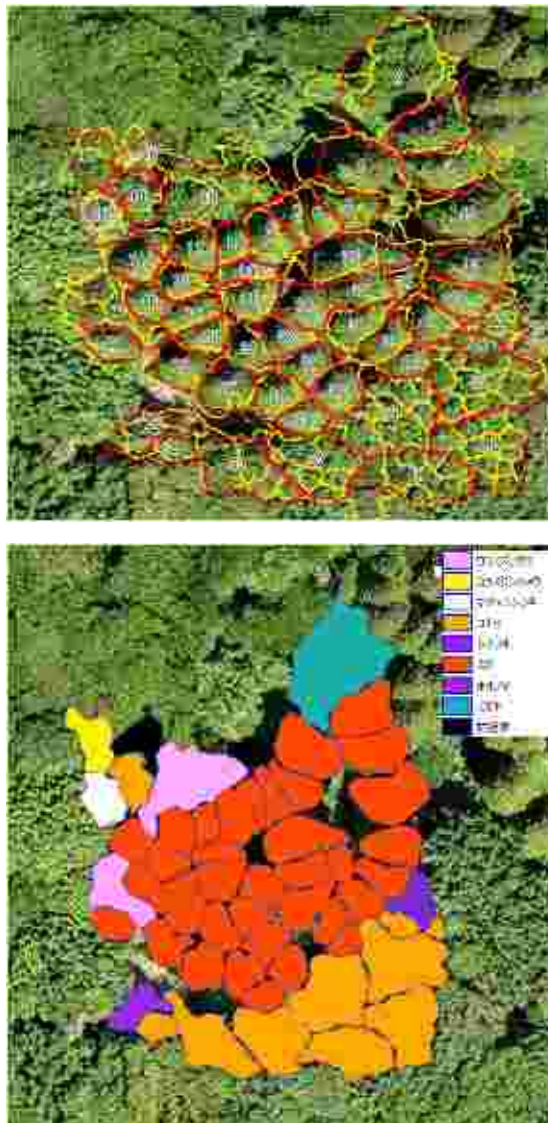
| 解析フロー                             | 所要時間（時間）            |
|-----------------------------------|---------------------|
| ドローン計測                            | 5haあたり20分           |
| 現地調査（必要な場合のみ実施）                   | 1時間                 |
| ドローン画像処理（DF BIRD）                 | 5haあたり1時間（PCでの自動処理） |
| ドローン画像解析（DF Scanner）              | 5haあたり10分（PCでの自動処理） |
| ドローン画像解析<br>（DBH 現地推定式を使う場合の追加時間） | 5haあたり30分           |
| 1.5時間/5ha（DBH 現地推定式を作る場合は3時間/5ha） |                     |

**【広葉樹林解析】現場での作業**

- ・スギ人工林と同様に、解析対象範囲で実証方法に記載の計測諸元に従いドローンの自動飛行を実施する。30分ほどのフライトで10ha 弱の面積の計測が可能である。

**【広葉樹林解析】解析作業**

- ・本報告書内の「2.3.3 ドローン写真のオルソ化」に記載のとおり、DF BIRD を用いることでオルソ画像および DSM の作成が可能である。一般的に、広葉樹の場合、スギ人工林と異なり樹冠分離が非常に困難と言われている。本実証事業のスギ人工林では、樹高情報から樹冠を分離するアルゴリズムを用いて解析を行っている。下図は、現地調査結果と、DF Scanner Lite の樹冠分離機能を用いて自動で樹冠を分離した結果である。



- ・参考として、下記に現地で確認をした樹種データを示す。

スギについては綺麗な樹冠分離ができているが、広葉樹については実際よりも細かく分離されてしまっていることがわかる。

DF Scanner Lite に搭載している樹冠分離機能は高さ情報のみを用いているため、横

に広がるような樹形を持つ広葉樹の場合、実際よりも細かく分離されてしまったり、異なる樹種が一つの樹冠に複数含まれてしまうなどの問題が発生する。

DF Scanner Pro に搭載の「AI 樹冠分離 (β版)」(2026年1月時点) を用いて同一箇所  
の樹冠分離を行った結果が以下の通りである。

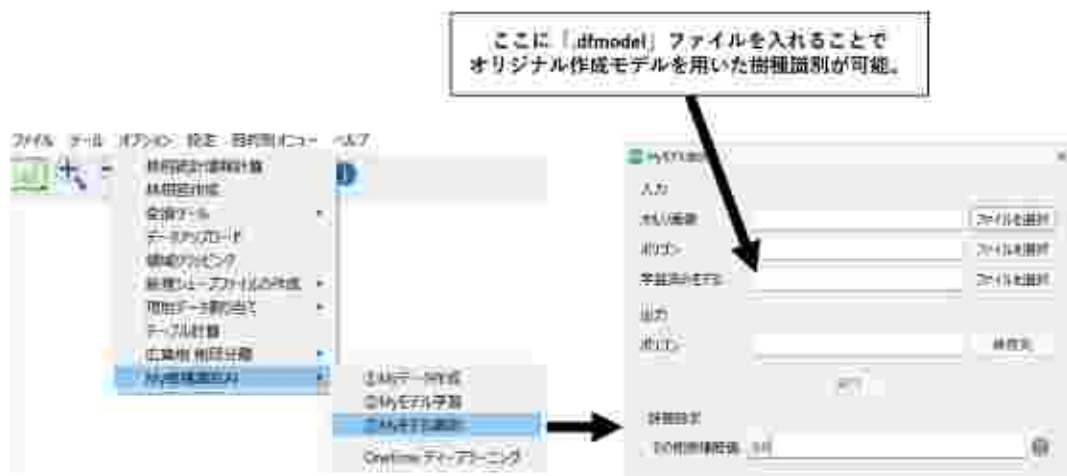


オルソ画像情報を基に分離をしているため、特に広葉樹について (画像上の50番、51番の樹木など)、現地調査の結果に近い樹冠分離結果となっている。

今後、AI 樹冠分離については精度向上の余地があり、スギ人工林についても現状の高さ情報を用いた樹冠分離より精度が上回る可能性もある。

- ・ 樹冠分離を実施した後に、樹種識別を実施する。DF Scanner Pro には2026年1月現在、「日本の樹種識別」という広葉樹を含んだ識別モデルが実装されているが、富山県外の樹種も含んだモデルとなっているため、富山県内で広葉樹解析を実施する場合は、本実証事業で作成した富山県モデルを活用することを推奨する。

樹種識別が完了したら、スギ人工林解析と同様にしてサイズの推定が可能になる。



**【広葉樹林解析】ドローン計測から解析までの所要時間**

| 解析フロー                | 所要時間（時間）                |
|----------------------|-------------------------|
| ドローン計測               | 5ha あたり 20 分            |
| ドローン画像処理（DF BIRD）    | 5ha あたり 1 時間（PC での自動処理） |
| ドローン画像解析（DF Scanner） | 5ha あたり 3 時間（PC での自動処理） |
| 4.5 時間/5ha           |                         |



## 第3節 緊急時の連絡体制の構築

### 1 目的

山間部の林業フィールドでは、スマートフォン（LTE 通信）などの通信の圏外となることが多く、生産管理などの ICT 化や事故などが発生した際、関係者に速やかに連絡することが困難な状況となっている。

このため、昨年度までの実証で有効性が確認できた「低軌道衛星とデジタル簡易無線機との連携による位置情報共有の実証」に加え、「衛星無線機を活用した緊急時などの連絡体制の実証」による緊急時の連絡体制の構築について実証を行う。

### 2 実証地と実証方法

#### (1) 実証地及び期間

##### 1) 低軌道衛星とデジタル簡易無線機との連携による位置情報共有の実証：

- ・実証地：富山市八尾町安谷（旧八尾町） ※携帯電話圏外
- ・期 間：令和7年9月1日～令和7年10月31日

##### 2) 衛星無線機を活用した緊急時などの連絡体制の実証

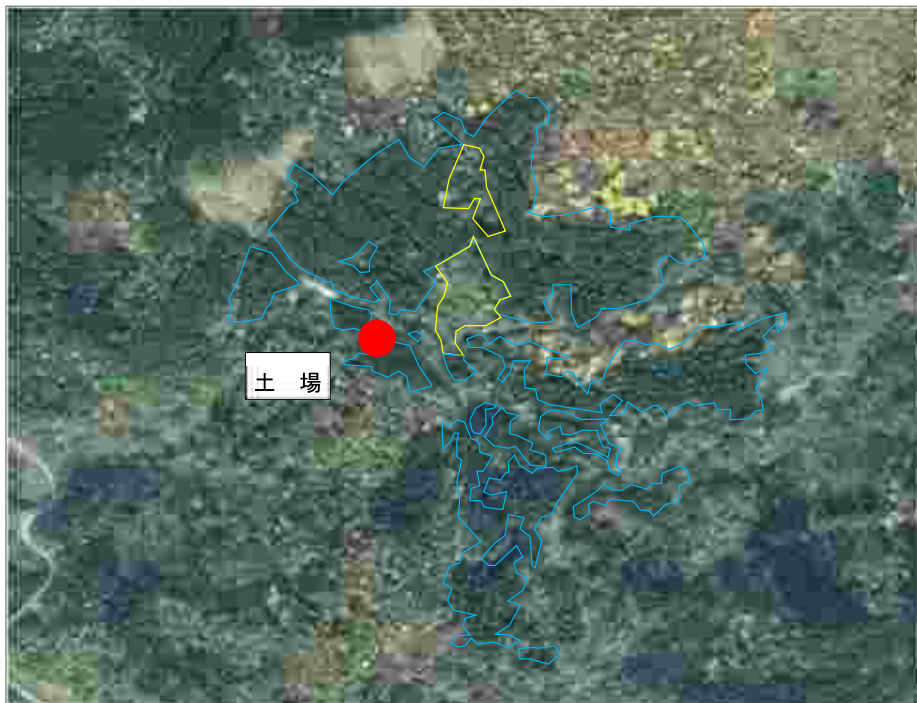
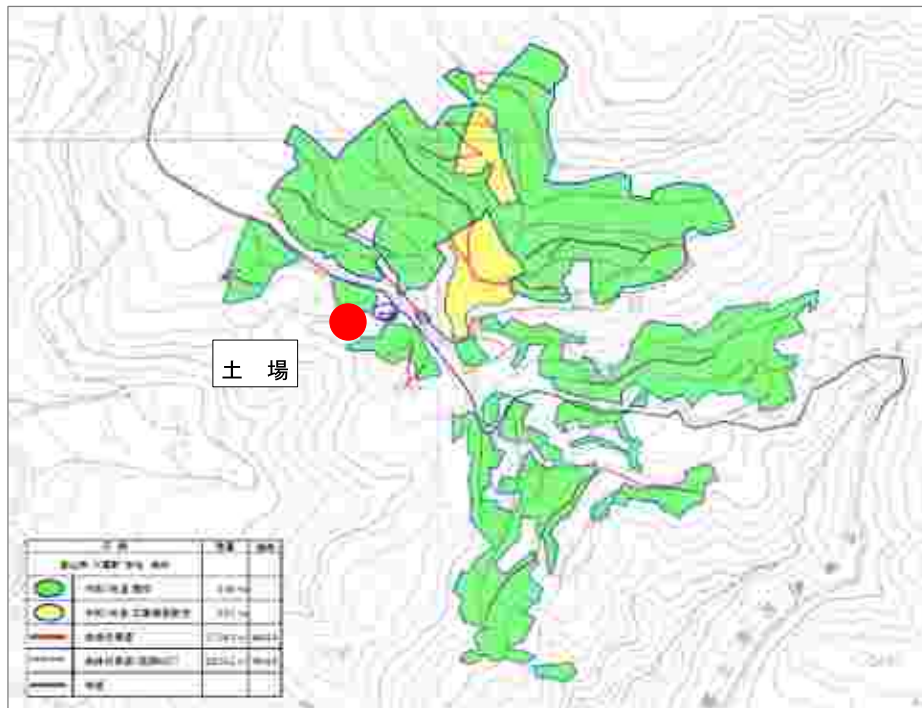
- ・実証地：富山市八尾町安谷（旧八尾町） ※携帯電話圏外
- ・期 間：令和7年10月23日

#### (2) 施業地の概要



【位置図】

## 【施業地の概要】

**(3) 施業内容**

- ・人工林搬出間伐 9.4ha
- ・広葉樹更新伐 0.91ha
- ・伐採木は、フォワーダに積載し、作業道を走行し林道まで運搬。
- ・作業員8名（伐採3名 造材集材2名 運搬2名 仕分け1名）

## (4) 実証方法

### 1) 低軌道衛星とデジタル簡易無線機との連携による位置情報共有の実証

#### ア. 実証方法

低軌道衛星（スターリンク）を利用した通信エリアは、無線機を設置する林道等から 50 m程度に限定されるため、林内の作業員から外部の事務所等への連絡や作業員間で通信を行うことができない。

このため、スターリンクとの連携による外部との連絡や作業員間の音声通話が可能な簡易無線機等（「Soko-co Forest」。株式会社breakthrough、株式会社JVC ケンウッド）を用い、林内での活用方法を実証した。

Soko-co Forest（3台）は、伐採、集材、運搬、仕分けを行う作業員が日によって携帯した。

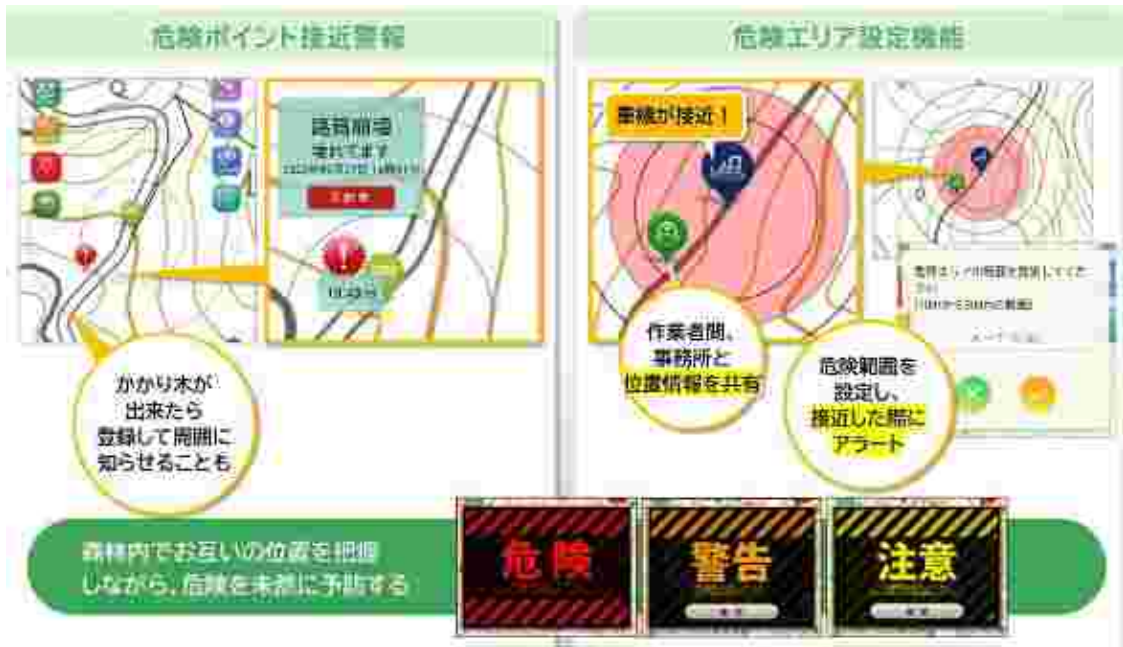
使用方法としては、各作業員が施業の進捗状況を確認するための位置確認や伐採木の運搬時に、積込者と運搬者、運搬車同士、仕分け者が運搬車の位置情報共有に活用した。

また、森林内と事務所間での連絡構築のため、スターリンクを利用した。

#### イ. システム概要

【システム概要図】





【使用機器】



【Soko-co Forest の特徴】

森林内で約1～3kmで通信、通話が可能。

スマートフォンと連携し、地図上に位置情報を表示し、共有可能。

オフラインでも、スマートフォンで森林基本図や空中写真などを背景図として表示可能

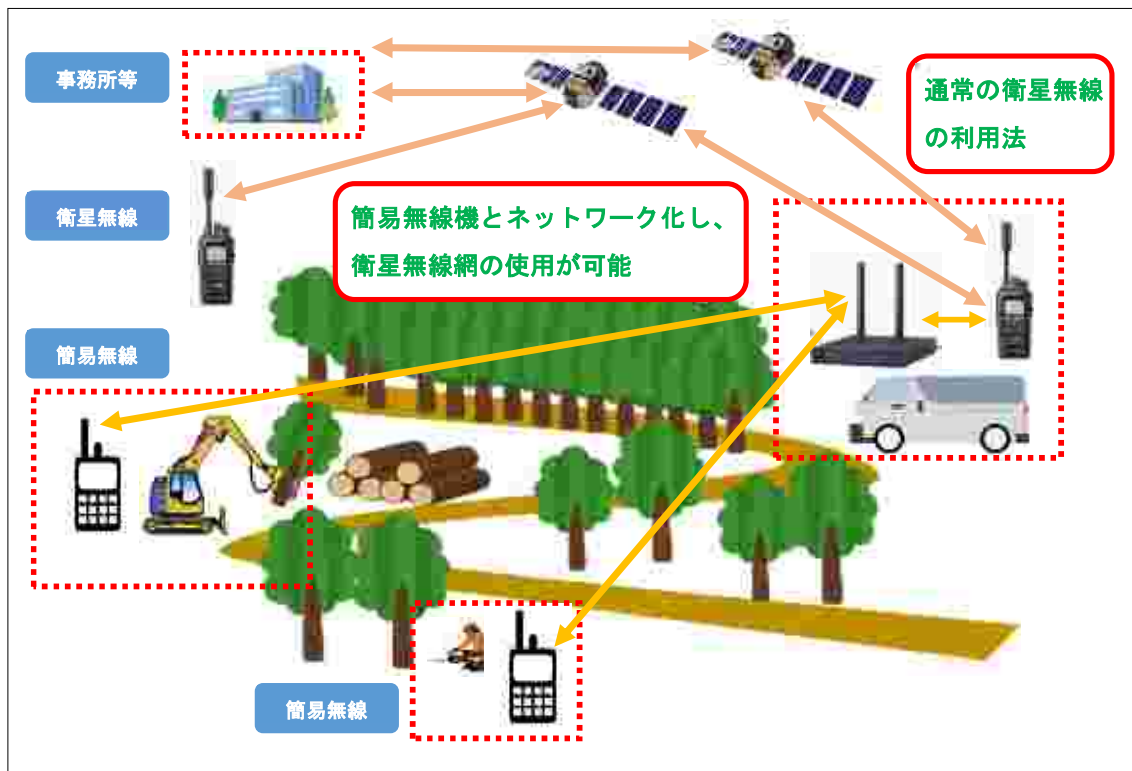
## 2) 衛星無線機を活用した緊急時などの連絡体制の実証

### ア. 実証方法

地球全体をカバーする衛星を利用した無線装置とデジタル簡易無線機をネットワーク化することで、直接、林内の簡易無線機から衛星を介し、現場外への通信が可能となる。

携帯電話が通話不可能な場所において、現場外へ連絡可能となる仕組みが構築できるかを実証した。

### イ. システム概要



【システム概要図】

### 【使用機器】





衛星無線機（右）とデジタル簡易無線機（左）



衛星無線機用拡張アンテナ



車載用無線機



通信拡張ユニット

### 3 実証結果と検証

#### (1) 実証結果と検証

##### 1) 低軌道衛星とデジタル簡易無線機との連携による位置情報共有の実証

Soko-co Forest は、現場内での位置情報の共有が図ることができた。

特に、Soko-co Forest が使用するデジタル簡易無線機本体のみで、約 1.5 km 間（直線距離）で位置情報が確認できるなど、広範囲での利用が可能であった。

また、スターリンクを利用することで、約 8 km 離れた事務所との連絡、位置情報の共有が図ることができることを確認した。

【実証状況】



使用方法の確認



フォワーダ同士の位置情報の確認



低軌道衛星アンテナの設置



事務所での作業員の位置情報確認



遠距離での位置情報共有を確認

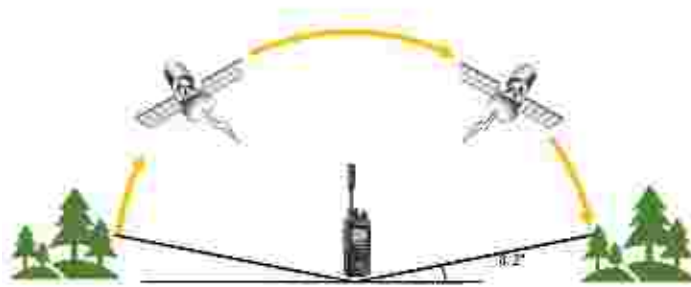


実証時に確認できた位置情報共有範囲

## 2) 衛星無線機を活用した緊急時などの連絡体制の実証

構築したシステムを現地で稼働させたところ、次の結果となった。

- ・ 接続確認では、空が広く見える現場であれば、衛星無線がつながることを確認。
- ・ 衛星無線と簡易無線機を連携するシステムが稼働することを確認。
- ・ 衛星無線は使用する衛星を順次切り替えていく仕組みで、上空の開けた視界の確保が必要（イリジウム衛星無線のアンテナを地平線として、仰角 8.2 度より上に空が見わたせる場所）で、実証地では約 15 分の接続後、約 5 分切断するサイクルが続いた。
- ・ 簡易無線機側（森林内）からは、衛星無線側が切断していることがわからないため、システムは稼働したが、緊急時での使用に難点があることが判明。
- ・ このため、システム稼働の実証のみとし、運用は行わないこととした。



【実証状況】



林内での簡易無線機の通話状況



衛星無線の通話状況（接続と切断が繰り返される）

## (2) 使用する際の留意点

### [スターリンク + Soko-co Forest]

- ・充電等が必要な機材が多い。  
《必要な機材等》
  - ポータブルバッテリー（スターリンク用）
  - 使用者分のデジタル簡易無線機及びスマートフォンの充電
    - ・毎日スマホ、無線機を充電しなければならない。
    - ・毎日、使用開始前に動作確認を行う必要がある。
    - ・今回使用した事業地では、デジタル間の無線機の通信が概ね良好であった。
    - ・デジタル簡易無線機とスマートフォンを常に携帯する必要がある。（自分のスマホを含めるとスマホの2台持ち）。

### [スターリンク]

- ・長期的に現場で使用するために、防水仕様となっていないポータブル電源等の機器の保管、管理が課題。
- ・人が常駐していない現場に設置することがあり、盗難に対する心配がある。
- ・1日現場で使用する場合、1,000Wh クラス以上の電力量を持つバッテリーが必要となる。

### [Soko-co Forest]

- ・事前にメーカー側での林班データ等の作成、セットアップ期間が必要である。
- ・位置情報の取得、共有頻度が増えると無線機のバッテリー消耗が激しい。

## (3) 利用者の感想

- ・Soko-co Forest へ森林計画図を組み込むことで、作業位置の確認や境界なども確認できることが良かった。
- ・材を運搬する際、フォワーダ同士の位置確認ができ、退避場所の確認しながらスムーズに作業できた。
- ・無線機により随时コミュニケーションが取れることで、作業のムダ、ムラが減った。
- ・無線機があることで、いざという時への安心感につながった。
- ・お互いの位置がスマホで確認ができるので、安心感があった。
- ・接近した際教えてくれるのが良い。
- ・GPS の観測間隔が短くなり、バッテリーの減りも少なくなっほしい。
- ・常に携帯しなければならないので、作業によっては邪魔になる。

## 4 課題と今後の計画

今回、電波不干渉地帯での緊急連絡体制の構築が可能であることを実証した。

スターリンクとデジタル簡易無線機の連携では、森林内から作業員が離れた事務所へ連絡することが可能になったことに加え、Soko-co Forest は、作業員同士の位置情報の共有による安全性の確保に加え、フォワーダの集材時の効率化にもつながるなど、実証したシステムの機能が効果的に働く結果となった。

一方、Soko-co Forest 導入する場合、運営経費を経費に上乗せとすることになるため、効果と経費について検討が必要である。

また、各キャリアによりスマートフォンとスターリンクの直接通信が進められていることから、今後、山間部における通信環境は大幅に改善することが期待できる。

今後は、こうした通信環境変化を実際に確認した上で、現場での安全確保に有効な手段を整理し、選択することが必要と考えられる。

## 第3章 富山県林業イノベーション推進協議会の運営

### 1 開催日時と内容

| 開催日                     | 会議名等                            | 議事内容   |
|-------------------------|---------------------------------|--|
| 令和7年<br>4月24日           | 第1回<br>富山県林業イノベーション推進協議会        | 1 議題<br>(1) 令和6年度収支決算について<br>(2) 令和7年度事業計画及び収支予算について<br>(3) スマート林業技術等の実証事業について<br>(4) 意見交換   |
| 令和7年<br>9月30日～<br>10月1日 | スマート林業先進地視察研修<br>(愛知県豊田市、岐阜県関市) | 1 視察先・内容<br>(1) 豊田森林組合<br>GIS活用による施業データ管理、タワーヤードによる木材生産 など<br>(2) 愛知県林務課<br>スマート林業ツール定着の取組 など<br>(3) 岐阜県森林組合連合会木材ネットワークセンター<br>システム販売、丸太自動認識システム など<br>2 参加者<br>県、市町村、公社、林業事業体、木材加工業者など<br>24名 |
| 令和7年<br>10月11日          | とやま森と木のフェスタ(出展)                 | 1 内容<br>(1) 実証事業のパネル展示<br>(2) soko-co FOREST 体験会<br>(3) 大型ドローン展示・操縦体験会   |
| 令和7年<br>10月16日          | 第1回<br>実証事業現地研修会                | 1 場所<br>富山市舟倉地内(公社造林地)<br>2 内容<br>タワーヤードによる木材生産<br>講師：飛騨市森林組合 新田課長<br>3 参加者<br>国、県、市町村、林業事業体など<br>43名  |

| 開催日           | 会議名等                     | 議事内容  |
|---------------|--------------------------|---|
| 令和7年<br>11月5日 | 第2回<br>実証事業研修会           | 1 場所<br>富山市八尾町地内（造林事業実施箇所）<br>2 内容<br>（1）緊急時の連絡体制の構築：soko-co FOREST<br>（2）3D スキャナを用いた森林整備事業の申請・検査におけるデジタル技術の活用：マプリー<br>3 参加者<br>県、市町村、林業事業体など 24名 |
| 令和7年<br>12月1日 | 現地研修会                    | 1 場所<br>魚津市東城地内<br>2 内容<br>リモコン式地拵え機デモ：新川森林組合<br>3 参加者<br>県、市町村、公社、林業事業体など 45名  |
| 令和8年<br>3月19日 | 第2回<br>富山県林業イノベーション推進協議会 | 1 議題<br>（1）スマート林業技術等の実証事業の概要<br>（2）意見交換   |

## 2 メンバー構成

| No. | 会 員 名                      | 所属等            | 備 考     |     |
|-----|----------------------------|----------------|---------|-----|
| 1   | 富山県                        | 森林政策課          | 県       |     |
| 2   | 魚津市                        | 農林水産課          | 市町村     |     |
| 3   | 滑川市                        | 農林課            | 市町村     |     |
| 4   | 黒部市                        | 農林整備課          | 市町村     |     |
| 5   | 入善町                        | 建設課            | 市町村     |     |
| 6   | 朝日町                        | 農林水産課          | 市町村     |     |
| 7   | 富山市                        | 森林政策課          | 市町村     |     |
| 8   | 上市町                        | 産業課            | 市町村     |     |
| 9   | 立山町                        | 農林課            | 市町村     |     |
| 10  | 舟橋村                        | 生活環境課          | 市町村     |     |
| 11  | 高岡市                        | 農地林務課          | 市町村     |     |
| 12  | 氷見市                        | 農林畜産課          | 市町村     |     |
| 13  | 小矢部市                       | 農林課            | 市町村     |     |
| 14  | 射水市                        | 農林水産課          | 市町村     |     |
| 15  | 砺波市                        | 農地林務課          | 市町村     |     |
| 16  | 南砺市                        | 森林・農地整備課       | 市町村     |     |
| 17  | (公社) 富山県農林水産公社             | 森林部            | 林業関係団体  |     |
| 18  | 富山県森林組合連合会                 | 代表理事会長         | 林業関係団体  | 会長  |
| 19  | 富山県木材組合連合会                 | 副会長専務理事        | 木材関係団体  | 副会長 |
| 20  | 富山県素材生産組合                  | 会長 (中川工業(株))   | 民間林業事業体 | 監事  |
| 21  | 新川森林組合                     | 業務部            | 森林組合    | 監事  |
| 22  | 立山山麓森林組合                   | 事業部            | 森林組合    |     |
| 23  | 富山森林組合                     | 事業課            | 森林組合    |     |
| 24  | 富山県西部森林組合                  | 業務部            | 森林組合    |     |
| 25  | とやま県産材需給情報調整センター           | 事務局 (県森林組合連合会) | 木材加工、流通 |     |
| 26  | NiX JAPAN(株)               | 都市計画部          | 検証事業体   |     |
| 27  | コマツ富山(株)                   | 業務部            | 検証事業体   |     |
| 28  | NTT アドバンステクノロジー(株)         | 西日本事業本部        | 検証事業体   |     |
| 29  | (株)竹谷商事                    | —              | 検証事業体   |     |
| 30  | (株)フォレストシー                 | IoT 通信事業部      | 検証事業体   |     |
| 31  | 北陸電気工業(株)                  | —              | 検証事業体   |     |
| 32  | DeepForest Technologies(株) | 事業総括部          | 検証事業体   |     |
| 33  | 中日本航空(株)富山支店               | —              | 検証事業体   |     |
| 34  | 新川農林振興センター                 | 林政・普及班         | 県出先     |     |
| 35  | 富山農林振興センター                 | 林政・普及班         | 県出先     |     |
| 36  | 高岡農林振興センター                 | 林政・普及班         | 県出先     |     |
| 37  | 砺波農林振興センター                 | 林政・普及班         | 県出先     |     |
| 38  | 県森林研究所                     | —              | オブザーバー  |     |
| 39  | 県木材研究所                     | —              | オブザーバー  |     |
| 40  | 鹿児島大学                      | 非常勤講師          | オブザーバー  |     |
| 41  | アジア航測(株)北陸支店               | —              | オブザーバー  |     |
| 42  | 事務局 (県森連)                  | 事務局長 (専務)      |         |     |

### 3 議事録

令和7年度 第1回富山県林業イノベーション推進協議会 議事録

【日時】 令和7年4月24日(木) 14:00～15:30

【場所】 富山県民会館701号室

令和7年度 第2回富山県林業イノベーション推進協議会 議事録

【日時】 令和7年3月19日(木) 14:00～15:20

【場所】 富山県民会館701号室

(※内容は別紙参照)



別紙のサンプル

## 4 開催状況

### 【協議会】

---



第1回 (R7.4.24)



第2回 (R8.3.19)

### 【先進地視察】

---



令和7年9月30日～10月1日 愛知県・岐阜県内

## 【研修会】

---



第 1 回 (R7. 10. 16) 富山市舟倉地内 (公社造林地)



第 2 回 (R7. 11. 5) 富山市八尾町



第 3 回 (R7. 12. 1) 魚津市東城地内

この取組みは、「森林環境譲与税」を活用しています。