

森林づくりへの異分野技術導入・実証事業
(リモートセンシング研修)

実 施 報 告 書

2020年9月

ブルーイノベーション株式会社

内容

1. 事業の概要	4
1.1 森林整備事業へのリモートセンシング技術等の活用	4
1.1.1 森林整備事業の概要	4
1.1.2 森林整備事業の課題	5
1.1.3 リモートセンシング技術等の活用を前提とした通知類の整備	6
1.1.4 具体的な運用	8
2. 森林整備事業の申請・検査に必要となる記録等について	16
2.1 資料の収集	16
2.2 記録の抽出	17
2.3 各都道府県におけるオルソ画像の活用状況	18
3. 全国の林業従事者向けアンケートの実施及び結果	19
3.1 アンケートの実施目的・対象者・実施方法等	19
3.2 結果	19
3.3 結果分析	28
3.4 研修内容への反映	28
4. 林業現場でのリモートセンシング技術の検証	29
4.1 検証の概要	29
4.2 検証実施箇所	29
4.2.1 植付・下刈り実施箇所（植栽地）	30
4.2.2 間伐実施箇所	31
4.3 検証方法	32
4.3.1 植付・下刈り実施箇所（植栽地）の検証方法	32
4.3.2 間伐実施箇所の検証方法	33
4.4 自動飛行計画作成ソフトについて	34
4.5 ドローン機種及びオルソ化ソフト等の選定	38
4.5.1 ドローン機種選定	38
4.5.2 オルソ化ソフト又はサービスの選定	41
4.6 面積検証	56
4.6.1 植付・下刈り箇所での面積検証	56
4.6.2 間伐実施箇所での面積検証	60
4.6.3 面積検証の結果	64
4.7 施業の実施状況の検証	65
4.7.1 植付状況の検証	65
4.7.2 下刈り状況の検証	68
4.7.3 間伐状況の検証	73
4.7.4 施業状況の検証方法	76
4.8 検証結果のまとめ	77
4.9 ドローン測量と他の面積計測手法との比較検証	78
4.10 現地検証結果を踏まえた森林整備事業の申請・検査へのリモートセンシング技術の反映	82
4.10.1 調査目的・方法	82
4.10.2 森林整備補助事業申請及び検査規定におけるドローンで撮影したオルソ画像等の反映について	82
4.10.3 東京都森林整備補助事業等竣工検査内規におけるドローンで撮影したオルソ画像等の活用	88
5. 林業現場向けドローン研修の暫定カリキュラム作成	95
5.1 カリキュラム構成の考え方	95
5.2 林業現場においてドローンを飛行させる際の注意要素の抽出	95
5.2.1 飛行環境	95
5.2.2 飛行計画	97
5.2.3 安全管理	99
5.2.4 アプリケーション	102
5.2.5 データ解析	102
5.3 林業現場向けドローン研修の暫定カリキュラム	103
6. 林業現場向けのドローン研修の試行	117

6.1 試行研修の開催場所.....	117
6.1.1 試行研修の開催場所の選定.....	117
6.1.2 試行研修の開催場所.....	118
6.2 林業現場向けドローン研修の試行実施.....	121
6.2.1 総論.....	121
6.2.2 東京都実施（第1回目）.....	121
6.2.3 茨城県実施（第2回目）.....	123
6.2.4 岐阜県実施（第3回目）.....	125
6.3 効果検証（研修試行実施からのフィードバック）.....	128
7. 林業現場向けのドローン研修のカリキュラム.....	131
8. まとめ.....	146
8.1 林業現場向けのドローン研修の全国での開催.....	146
8.2 今後の展開.....	147
参考文献.....	148

用語集

用語	説明
SfM ソフト	SfM ソフトは、複数枚の写真から対象物の形状を復元する技術である SfM (Structure from Motion) を原理とした航空写真解析ソフトウェア。ソフト上で対象物の三次元モデルを作成し、オルソ画像の作成や面積の算出を可能にする。
DEM/DSM/DTM	DEM(Digital Elevation Model)は数値標高モデル 主にコンピューターで扱うことを目的として、地表面及び地物表面を等間隔の正方形に区切って各正方形の中心の標高値を集めた地形データ(メッシュデータ)のこと。DTM と同義で使用される場合もある。 DSM(Digital Surface Model)数値表層モデル (DSM) 地物表面の標高値を集めたメッシュデータ。 DTM(Digital Terrain Model) 数値地形モデル 地表面の標高値を集めたメッシュデータ。
GNSS	GNSS(Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)は、GPS(アメリカ)、GLONASS(ロシア)、Galileo(欧州)、QZSS(日本)など世界各国が運用している人工衛星を活用して位置測位を行うシステムのこと
非 GNSS 操縦	ドローンの位置制御に GNSS を用いない操縦方法のことで、GNSS の測位環境が悪い場合に測位誤差などに起因する誤動作のリスクが減る一方で、機体の安定性が下がるデメリットがある。
ATTI モード	DJI 製ドローンにおいて、非 GNSS 操縦を行う際の飛行モードの名称。
高高度撮影	本検証においては、ドローンが地上から目視しにくくなる標高約 30m 以上で行うドローンによる空撮のことを指している。

1. 事業の概要

1.1 森林整備事業へのリモートセンシング技術等の活用

1.1.1 森林整備事業の概要

我が国の国土の3分の2を占める森林は、国土の保全、水源の涵養、地球温暖化の防止、生物多様性の保全、木材等の林産物供給などの多面的機能を担っている。このため、国（農林水産省林野庁）は「森林整備事業」を公共事業と位置づけ、森林の整備に対する支援を実施している。

この森林整備事業は、国が事業を直接行うのではなく、国が都道府県に補助金を交付した上で、補助事業の実務を担う都道府県が、施業を実施した森林所有者や林業経営体に対し、単位面積当たりの事業費に基づいて算定された補助金を支払う仕組みとなっている。

森林整備事業は、複数の事業メニューから構成されるが、その中心となる「森林環境保全直接支援整備事業」では、植付や下刈り・間伐等の施業や路網整備などを補助の対象としている（表 1-1 参照）。

表 1-1 森林環境保全直接支援整備事業

施業名	内容
植付	伐採跡地などの残材や枝葉を整理し(地ごしらえ)、苗木を植付ける作業。
下刈り (植栽後1~5年)	苗木を植付けた後に生えてくる雑草木を刈り払う作業。
除伐(植栽後 25年生以下)	下刈りが終了した後、植栽木の生育を阻害する樹木を伐採するとともに、生育・形状の悪い植栽木を伐る作業。
間伐(植栽後 60年生以下)	成長に伴い植栽木同士が生育を阻害するようになった段階で、植栽木を抜き伐り本数を調整する作業。植栽木が小さい段階では伐採のみ(保育間伐)。木材として利用する場合は伐採木を搬出して利用(間伐)
更新伐	人工林の広葉樹林化の促進などを目的として、抜き伐りや群状の伐採等を行う作業。
鳥獣被害対策	植付や間伐等の実施に合わせて、シカなどの野生鳥獣の被害から植栽木を守るための防護柵の設置等を行う作業。
路網整備	上記の作業を行う際に必要となる森林作業道等の開設。

1.1.2 森林整備事業の課題

森林整備事業は、施行地（下刈りや間伐などの施業が行われた現場）の数が 2017（平成 29）年度の実績で 13 万 7,134 件に及んでおり²⁾、申請・検査に関し、以下のような課題が顕在化している。

① 図面等の作成

森林整備事業の補助金の申請には、位置図（施行地の位置を示すもの）、施業図（施行地の形状・面積を示した図面）、作業前・作業中・作業後の写真の添付が必要とされており、その作成に手間を要する。

② 現地検査

補助金の申請のあった施行地のうち、一定の割合で抽出したものについては、申請者・検査員の双方が立ち合って行う現地検査が必要とされており、関係者の負担となっている。

③ データの活用

補助金の申請に当たって作成した図面等は、補助金の交付や会計検査対応のみに利用されており、これらの図面等のデータを蓄積し、施業の効果検証やこれに基づく効率的な事業のあり方の検討、施業実績に基づく将来の森林の姿の予想などに活用する仕組みとなっていない。

1.1.3 リモートセンシング技術等の活用を前提とした通知類の整備

林野庁では、森林・林業分野において衛星画像、空中写真、ドローンや航空レーザー等のリモートセンシング技術等の活用が進んできていることを踏まえ、森林整備事業の申請・検査でのこれらの技術の活用に向けた検討を行った。

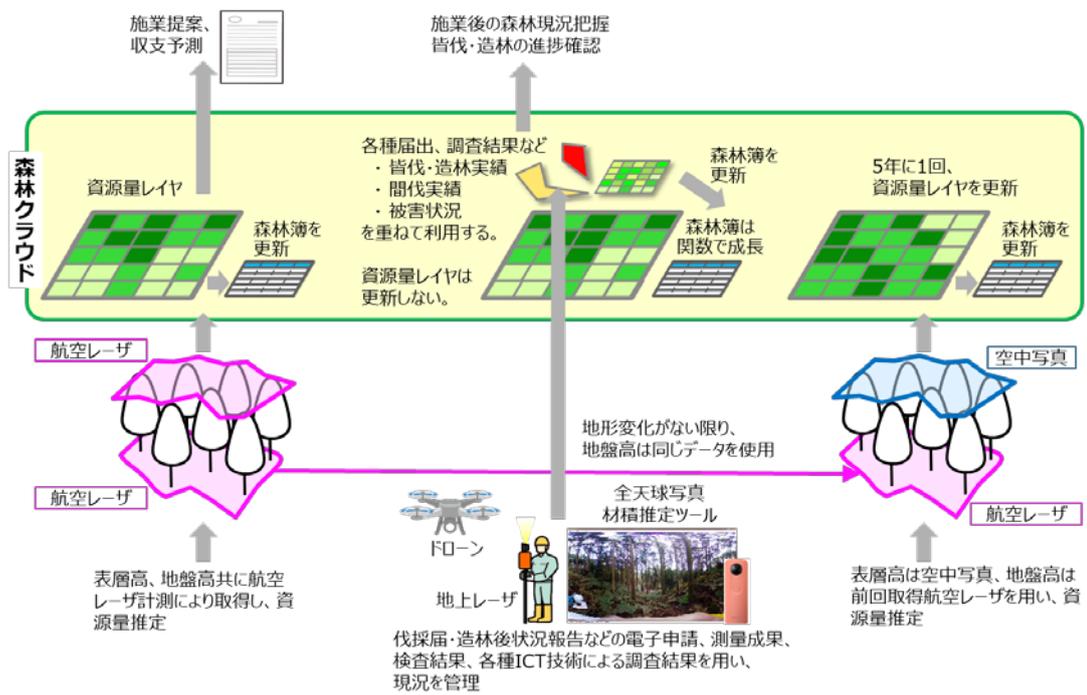
具体的には、2019（令和元）4月から7月にかけて、森林整備事業に関わる都道府県・森林組合等の職員やドローン等の専門家等から構成される検討委員会において検討を行い、植付や下刈り・間伐などの施業の実施に合わせた撮影が可能であること、苗木の植栽や立木の伐採の状況がわかる解像度を得ることができることなどから、ドローン等の活用を進めることとした。

この結果、ドローン等の活用が可能となるよう森林整備事業の申請・検査に関する内規例等が2020（令和2）年3月に改正され、GIS データ（シェープファイル）やオルソ画像・ドローン写真等の提出があれば作業前・作業中・作業後の写真を不要とする、ドローン等の画像を含む申請書類で施業の実施状況が把握できる場合には現地検査を省略できる、などの仕組みが盛り込まれ、2020（令和2）年4月から適用されている。（図1-1および図1-2）

なお、この改正では、森林所有者や林業経営体の一部にしかドローン等がまだ普及していないことから、従来の方法での申請・検査も引き続き可能とされている。



図 1-1 森林整備事業へのリモートセンシング技術導入のイメージ



「平成 29 (2017) 年度森林情報高度活用技術開発事業のうち森林クラウド実証システム開発事業報告書」
 (平成 30 (2018) 年 3 月 一般社団法人日本森林技術協会、パシフィックコンサルタンツ株式会社、株式会社パスコ) に加筆

図 1-2 目指すべき森林情報の管理体制

1.1.4 具体的な運用

ドローンを活用した場合の植付・下刈り・間伐における申請・検査の具体的な流れは概ね次のとおりである。

① 申請

申請にあたり、申請者はドローンで施行地を撮影する。撮影回数は、実施状況が判別しやすい植付や下刈りについては施業後に 1 回、実施前後の比較が必要な間伐については施業前後の 2 回となる。このドローンによる撮影は、施業の進捗や天候に応じて臨機応変に実施する必要があることから、外部サービスではなく申請者が自ら実施することが基本になる。

次に申請者は、GIS 上でオルソ画像を用いて施行地の境界を測定する（図 1-3）。申請者は、都道府県への補助金申請時にこれらのオルソ画像・GIS データ（シェープファイル）を送付する。

② 検査

申請を受け付けた都道府県は、オルソ画像・シェープファイルを GIS に読み込み、施行地の位置や形状・面積を確認する。また、GIS に読み込んだオルソ画像から施業の実施状況（植栽本数、下刈りの状況など）を確認する。間伐の場合は、間伐前と間伐後のオルソ画像を比較して伐採状況を確認する。

これにより施業状況等が確認できる場合には、従来の「現地検査」は不要となる。ただし、画像から施業の実施状況が十分に確認できない場合には、これまでと同様、一定の割合で抽出した申請について現地に赴いて確認する。

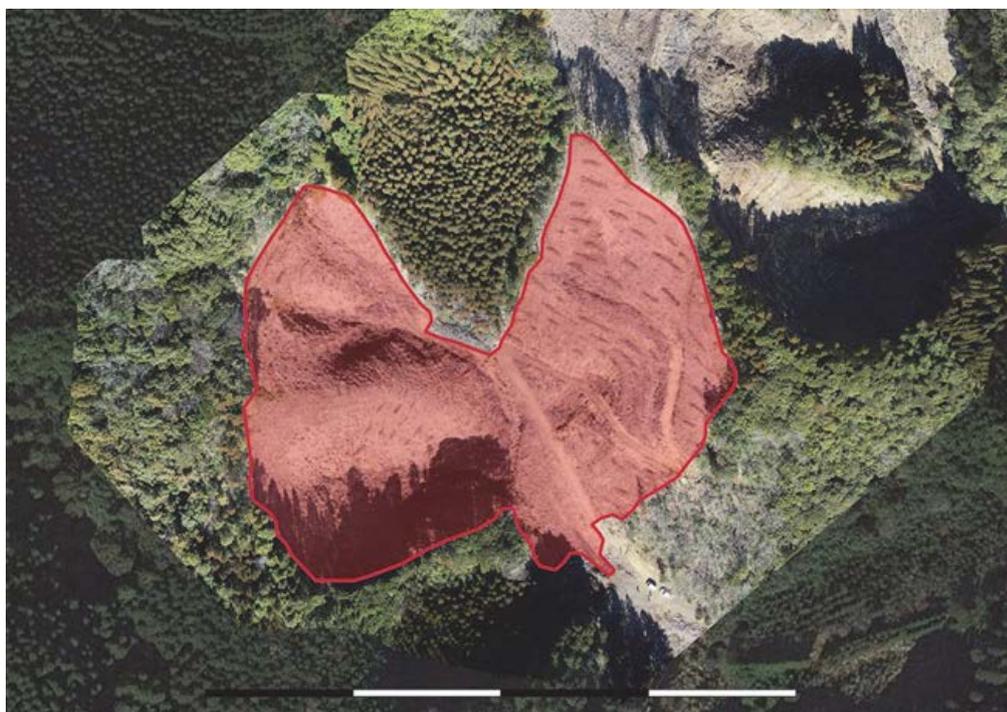


図 1-3 GIS 上で重ねられた造林施行地のオルソ画像と

測量区域を示すポリゴン

1.2 事業の目的と内容

本事業は、森林整備事業でのリモートセンシング技術等の導入・普及に向け、植付や間伐等の実施状況の把握に適したドローンの飛行方法や撮影した画像の解析方法を整理した上で、林業従事者等がドローンの飛行方法や画像撮影、解析等のノウハウを効率的に取得できる林業現場向けドローン研修のカリキュラムの作成を行うものである。

また、現在、都道府県が管理する森林簿や計画図等については、森林GISによる保存や管理・更新が行われているが、森林整備事業の申請・検査については紙ベースで処理されることが依然として通例であり、森林簿や計画図等への反映は別途の作業を要するなど森林GISとの連携は十分に図られていない。このような中、森林整備事業の申請・検査にドローンやオルソ画像等の活用が進むことは、単に申請・検査の省力化につながるのみならず、申請に際して提出されたオルソ画像等を森林GISに取り込むことにより、森林情報の管理体制の強化及び効率化につながる可能性を有している。

このような状況を踏まえ、本事業においては、ドローン等を利用した申請・検査の実現に加え、**図 1-1** に示すように、リモートセンシング技術を利用した森林資源量情報 (**図 1-2 目指すべき森林情報の管理体制**) 及びドローン等を利用した施業情報 (申請・検査も含む) が森林クラウド上で更新・利活用される体制の実現も視野に置くこととする。

・ 1.3 事業の流れ

本事業では、まず、各都道府県の森林整備事業の申請・検査に必要とされている記録（申請書、図面、写真など）について整理し、求められる記録がドローンを活用して作成できるかどうかを検討した。

また、リモートセンシング技術等の活用状況や研修に対する要望を把握するため、林業従事者や都道府県職員等に対するアンケートを実施した。

その上で、ドローン機種やオルソ化ソフトの選定、飛行高度や自動飛行の手法、オルソ画像の精度の確認など林業現場でのリモートセンシング技術の検証を行った。（以後「検証」と記載する。）

これらを踏まえ、林業現場向けドローン研修の暫定カリキュラムを作成し、3回の研修を試行した上で、カリキュラムの最適化を行った。図 1-4 に全体の実施フローを示す。

（以後「研修」と記載する。）

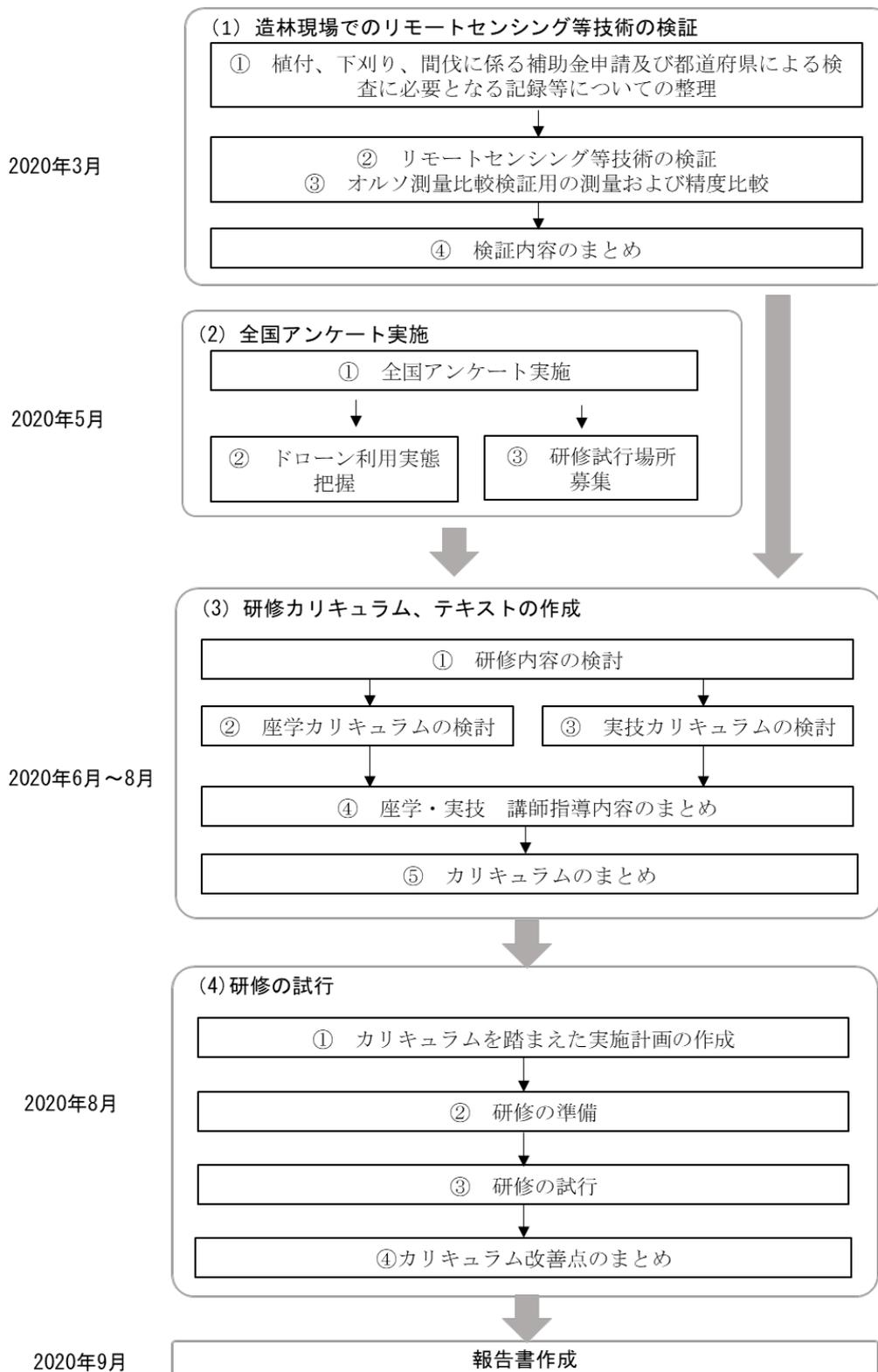


図 1-4 事業実施フロー（全体）

1.2.1 林業現場でのリモートセンシング技術の検証

① 既存データの整理

各都道府県の森林整備事業の申請・検査で必要とされているデータ項目(申請書、図面、写真など)について各都道府県共通のものと独自のものに整理・分類した。さらに、それらのデータ項目の作成等について、ドローン活用可否の検証項目を整理した。

- ・47 都道府県から申請・検査に必要なデータ項目等を収集
- ・申請・検査に必要な共通のデータ項目と各都道府県独自のデータ項目に整理・分類
- ・データ項目作成等へのドローン活用可否の検証項目を整理

② 全国的林業従事者向けアンケートの実施

研修の試行に先立ち、林業従事者等のドローンの活用状況、研修に対する要望等を把握するため、アンケートを実施した。

③ 林業現場でのリモートセンシング技術の検証

ドローン機種やオルソ化ソフトの選定、飛行高度や自動飛行の手法、オルソ画像の精度の確認など林業現場でのリモートセンシング技術の検証を行った。

使用するドローン機種

検証で使用するドローンは、入手しやすさ、操作性、撮影時の安定性、画質等から以下の機体を選定した。

DJI 社製 Inspire2、Mavic 2 Pro、Phantom 4 Pro、Mavic 2 Zoom、Phantom 4 RTK

検証日程

- 植付のドローン活用検証；1回(2020(令和2)年4月30日～5月2日)
- 下刈りのドローン活用検証；1回(2020(令和2)年7月8日～7月10日)
- 間伐実施前のドローン活用検証；1回(2020(令和2)年6月4日)
- 間伐実施後のドローン活用検証；2回(2020(令和2)年8月5日、9月2日)

画像処理方法

ドローンで撮影した写真から、測量区域のオルソ画像を作成する解析ソフト(SfMソフト)については、様々な利用ケースを想定し、市販ソフト、フリーソフト、オンラインのオルソ化サービスなどから入手可能と考えられるもの5種類を選定した。

- ・Agisoft Metashape Professional
- ・Pix4D Mapper
- ・Open Drone Map
- ・Drone Deploy
- ・くみき

1.2.2 林業現場向けドローン研修の暫定カリキュラム作成

各都道府県の森林整備事業の申請・検査で必要とされているデータ項目、全国の林業従事者向けアンケートの結果、林業現場でのリモートセンシング技術の検証を踏まえ、林業現場向けドローン研修の暫定カリキュラムを作成した。

座学カリキュラム

座学カリキュラムについては、今後ドローンを運用するにあたって必要となる知識（概論、法律、安全）及びドローンで取得した撮影データを検査で活用するための解析方法を盛り込んだ。

（ドローン活用のカリキュラム）

- ・航空写真測量
- ・運用方法
- ・操縦編
- ・無人航空機概論
- ・航空法と許可申請
- ・自動飛行計画
- ・安全管理について

（写真データ解析のカリキュラム）

- ・写真解析

実技カリキュラム

実技カリキュラムについては、受講者が林業現場で活かせる技術を習得できるよう、操縦の基礎である手動飛行から自動飛行の活用までを盛り込んだ。

1.2.3 林業現場向けドローン研修の試行

1.2.2に記載した暫定カリキュラムにより、第1回目の研修を試行した。第2回目、第3回目の研修では、それ以前に実施した試行研修での受講者等からの要望等を踏まえ、随時改善を行いながら実施した。

① 研修試行の実施計画の作成

全国3箇所の選定と開催自治体との日程調整を実施した。
研修は、秋田県、東京都、大分県の3箇所での開催を予定していたが、新型コロナウイルスの影響や豪雨災害のため、秋田県・大分県での開催ができなくなり、これに代わる開催として茨城県と岐阜県を選定した。

② 研修の準備

暫定カリキュラムの内容を踏まえ、ドローン機体、バッテリー、備品等の準備、パソコン、タブレット端末、投影設備、トイドローン、ソフトウェア、解析実習用サンプルファイル等の準備を行った。また、新型コロナウイルスの感染予防策を講じた。

③ 研修の試行

全国3箇所にて暫定カリキュラムで研修を試行した。

④ カリキュラム改善点のまとめ

研修の試行の結果（受講者向けアンケートの回答内容や意見等）を踏まえ、林業現場向けドローン研修のカリキュラムを作成した。

・ 1.3 活動体制

本事業は、以下の体制で実施した。

(1)ブルーイノベーション株式会社

(主担当：カリキュラム、テキストの作成、研修の試行、検証)

業務管理	那須 隆志	担当：責任者
実施担当	酒井 和也 (JUIDA 認定講師 (ドローン講習))	担当：実施内容の統括
	柴崎 誠 (JUIDA 認定講師 (ドローン講習))	担当：カリキュラム、テキストの作成
	前川 淳 (JUIDA 認定講師 (ドローン講習))	担当：カリキュラム、テキストの作成
	津田 真弓 (JUIDA 認定講師 (ドローン講習))	担当：カリキュラム、テキストの作成
	田上 周 (JUIDA 認定講師 (ドローン講習、測量士 補))	担当：カリキュラム、テキストの作成
	奥 由美子	担当：カリキュラム、テキストの作成
	金指 美樹	担当：カリキュラム、テキストの作成

(2)一般社団法人日本森林技術協会

(主担当：林業現場でのリモートセンシング技術の検証)

業務管理	宗像 和規 (測量士、森林情報士 (森林 GIS1 級))	担当：責任者
実施担当	大萱 直花 (技術士 (森林、総合技術監理)、測量 士、森林情報士 (GIS1 級、航測 1 級))	担当：検証総括
	篠原 正太 (森林情報士 (森林 GIS1 級))	担当：主査、ドローン 撮影
	塔筋 太郎 (無人航空従事者試験 (2 級)、測量士、 森林情報士 (森林航測 1 級))	担当：データ解析
	鏡内 康敬 (無人航空従事者試験 (マルチコプター) 1 級)	担当：ドローン撮影、 オルソ画像作成
	瀬戸 智大 (無人航空従事者試験 (マルチコプター) 1 級、森林情報士 (森林航測 2 級))	担当：ドローン撮影、 オルソ画像作成

2. 森林整備事業の申請・検査に必要となる記録等について

2.1 資料の収集

森林整備事業の申請・検査に必要とされているデータ項目について整理するため、各都道府県の森林整備事業の検査内規を表 2-1 のとおり収集した。

表 2-1 収集資料一覧

都道府県	収集資料	都道府県	収集資料
北海道	造林事業竣工検査要領	三重県	三重県造林補助事業実施及び補助金交付要領
青森県	青森県造林補助事業実・要領	滋賀県	滋賀県造林事業竣工検査および査定要領
岩手県	森林整備事業しゅん工検査要領	京都府	森林整備事業検査要領
秋田県	秋田県造林補助事業竣工検査内規	大阪府	大阪府造林事業検査実・要領
山形県	山形県森林・業支援事業竣工検査内規	兵庫県	造林事業実施要領
福島県	福島県森林整備事業竣工検査要領	奈良県	奈良県木材生産林育成整備事業検査要領
茨城県	茨城県森林整備関係補助事業竣工検査要領	和歌山県	和歌山県森林環境保全整備事業検査要領
群馬県	群馬県民有林造林補助事業しゅん工検査要領	鳥取県	鳥取県造林事業実・要領
埼玉県	埼玉県 森林整備 事業竣工検査 内規	島根県	造林事業検査内規
千葉県	造林竣工検査内規	岡山県	岡山県造林事業調査容量
東京都	東京都森林整備補助事業等竣工検査内規	広島県	広島県造林事業竣工検査要領
神奈川県	神奈川県造林補助事業検査要領	山口県	山口県造林補助事業検査内規
新潟県	新潟県民有林造林事業竣工検査要領	徳島県	徳島県森林整備事業竣工検査要領
富山県	富山県造林事業検査内規	香川県	森林整備事業検査内規
石川県	造林補助事業竣工検査内規	愛媛県	愛媛県造林事業竣工検査内規
福井県	福井県造林事業竣工検査内規	高知県	高知県造林事業等竣工検査内規
山梨県	山梨県造林補助事業竣工検査内規	佐賀県	佐賀県造林事業検査指針
長野県	信州の森づくり事業調査要領	熊本県	熊本県造林事業等しゅん工検査要領
岐阜県	岐阜県森林整備事業審査要領	大分県	ドローンによる造林事業地確認ガイドライン
静岡県	静岡県造林補助事業検査内規	長崎県	長崎県森林整備事業（造林）竣工検査内規
愛知県	造林事業等検査要領	沖縄県	森林整備（造林）補助事業竣工検査内規

2.2 記録の抽出

表 2-1 の資料から、ドローンの技術を用いることによって代替可能となるデータ項目又は効率化に寄与できるデータ項目の抽出を以下の流れで行った。

- ① 規程の項目の整理
都道府県ごとに検査規程の項目の一覧表を作成した（参考資料編：資料 1 参照）。
- ② 現地調査に係る項目の抽出
検査規程の項目の中から現地調査に係る項目を抽出した（参考資料編：資料 2 参照）。
- ③ 検査項目のグループ化
②で抽出した現地調査に係る項目から類似する検査項目をグループ化した（参考資料編：資料 3 参照）。

この結果を踏まえ、③でグループ化した検査項目の中から、主要な調査項目とそのデータ項目を整理するとともに、それぞれのデータ項目について、ドローンで代替可能と考えられるもの、または効率化に寄与できる可能性があると考えられるものを表 2-2 に示した。

表 2-2 現地調査項目と検査要素及びドローンによる代替等の可能性

調査項目	データ項目	代替可能	効率化に寄与
境界	施業地の位置・面積	○	
	測量成果の照合	○	
	施業図の照合	○	
	樹種区分		○
造林	植栽本数	○	
	植栽木の枯損率	○	
	地ごしらえ	○	
	除地	○	
保育	下刈り	○	
間伐	除・間伐		○

注 1：「樹種区分」については、判読者の能力に左右されることから「効率化に寄与」とした。

注 2：「間伐」については、間伐手法により、確認状況に違いがあることから「効率化に寄与」とした。

2.3 各都道府県におけるオルソ画像の活用状況

表 2-1 の資料のうち、例えば「大分県ドローン造林検査ガイドライン」(大分県、2018 年 10 月 18 日)には、目視による現地検査を補助することを目的としたドローンによる現地確認方法が定められている。この中では、「A. 植栽樹種及び下刈り実施状況確認」、「B. 植栽面積及び下刈り面積」、「C. ha 当たり本数及び植栽本数」、「D. 獣害保護柵の設置延長」の各項目について、具体的な実施手法が記載されている。

これ以外の都道府県においては、ドローンで撮影されたオルソ画像の活用について明記された検査項目は確認できなかった(2020(令和 2)年 6 月 2 日時点取りまとめ結果)。

一方で、「『造林補助事業竣工検査内規例について』の制定について」(林野庁、2020(令和 2)年 3 月 31 日)においては、オルソ画像の確認により現地確認が省略できる旨を示していることから、今後、各都道府県においてドローンで撮影されたオルソ画像の活用を前提とした検査が進展することが予想される。

本項では、各都道府県における主要な検査項目の整理を行い、ドローンによる代替及び効率化に寄与できる可能性について示した。4 章においては、現地検証を行うことにより、ドローンの性能やドローンで撮影されたオルソ画像の活用法を明確にし、主な検査項目についてどのような対応が可能か検討することとする。

さらに、5 章以降においては、現地検証の結果を受けて、カリキュラムへの反映を行うこととする。

3. 全国の林業従事者向けアンケートの実施及び結果

3.1 アンケートの実施目的・対象者・実施方法等

林業現場向けドローン研修の試行に先立ち、林業事業者等のドローンの活用状況、研修に対する要望等を把握するため、アンケートを実施した。

・対象者

森林組合・林業事業者・都道府県・市町村職員。

・実施方法

事業者であるブルーイノベーションがアンケート内容を検討・作成し、林野庁経由で各都道府県の林業事業者等へアンケートを配布し、回答を得ることとした。

回答方法は、Microsoft Excel または Google Form とし、回答は1団体あたり1回答とした。また、回答期間は2020(令和2)年5月8日～5月22日とした。

3.2 結果

総計484件の回答が得られた。回答の内訳は、法人等118件(全体の22%)、森林組合186件(全体の38%)、市町村関係185件(全体の38%)であった。以下では、484件の単純集計の結果を記す。

質問1のドローンによる森林調査の経験の有無については、ドローンによる森林調査を行ったことがある(はい)と答えた団体は全体の約30%、行ったことがない(いいえ)と答えた団体は全体の約70%であった。

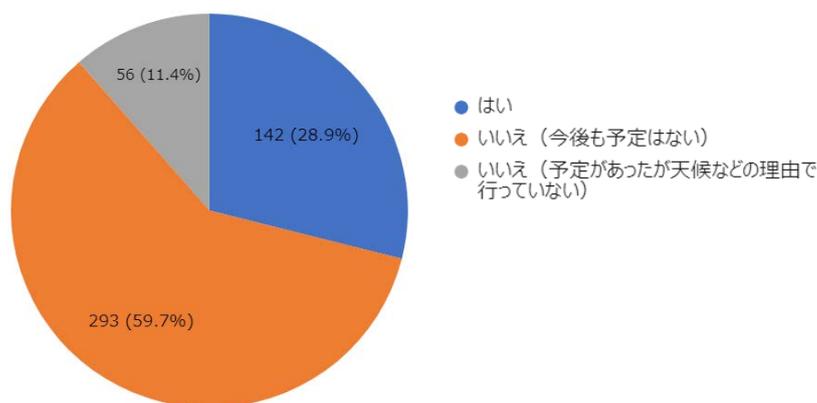


図 3-1 質問 1 [ドローンによる森林調査の経験の有無]

質問2では質問1で「はい」と答えた団体を対象に、過去にドローンによる森林調査を行った際の目的を自由記述形式で調査し、151件の回答が得られた。

ドローンによる森林調査の目的としては、施業場所の測量や施業状況の確認など施業前後の調査が最も多く(約75%)、次いで風倒木被害や松くい虫被害など災害調査が多かった(約15%)。(図3-2)

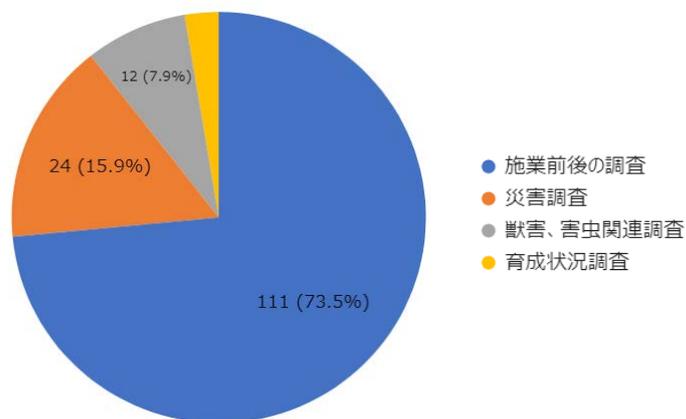


図3-2 質問2[ドローンによる森林調査の目的]

質問3では質問1で「はい」と答えた団体を対象に、ドローンによる森林調査を始めた時期と頻度を調査し、時期については106件、頻度については132件の回答が得られた。

開始時期は2019年以降が最も多く(約65%)、次いで2018年が多かった(約25%)。また頻度については約30%(40団体)が月1回以上運用しており、約20%(29団体)が半年に数回程度の運用としていた。(図3-3)

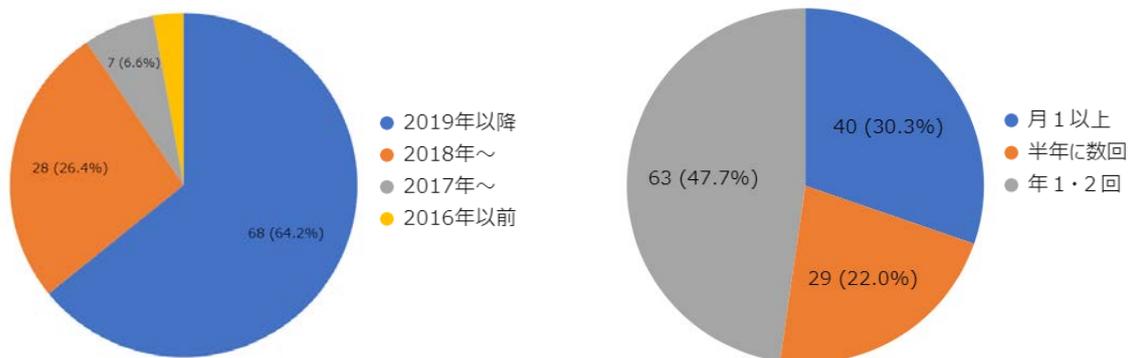


図3-3 質問3[ドローンによる森林調査を始めた時期と頻度]

質問4では質問1で「はい」と答えた団体を対象に、ドローンによる森林調査を行った際の操縦者の手配方法を調査し、139件の回答が得られた。

担当者自身が講習等を受講して操縦したケースが最も多く(約60%)、これに次いで担当者が講習等を受講せずに操縦したケースが見られた(約25%)。また専門業者に依頼するケースも見られた(約10%)。(図3-4)

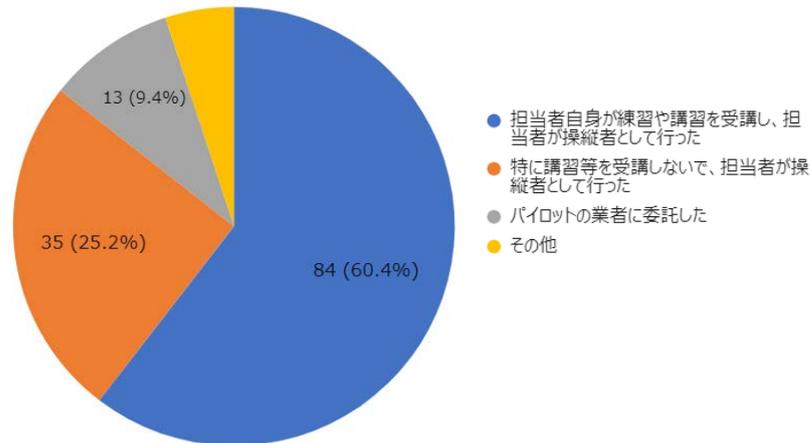


図3-4 質問4[ドローンによる森林調査を行った際の操縦者の手配方法]

質問5では質問4で最も多かった「担当者自身が練習や講習等を受講し、担当者が操縦者として行った」と答えた団体を対象に、練習方法と訓練時間を調査し、それぞれ82件の回答が得られた。

練習方法については、ドローン購入先が実施した講習会の受講や経験者による指導を受けるケースが最も多く(約35%)、ドローンスクールへ通うケースがこれに続いた(約20%)。また訓練時間については1~10時間程度が最も多く(約60%)、11~20時間程度がこれに続いた(約25%)。(図3-5)

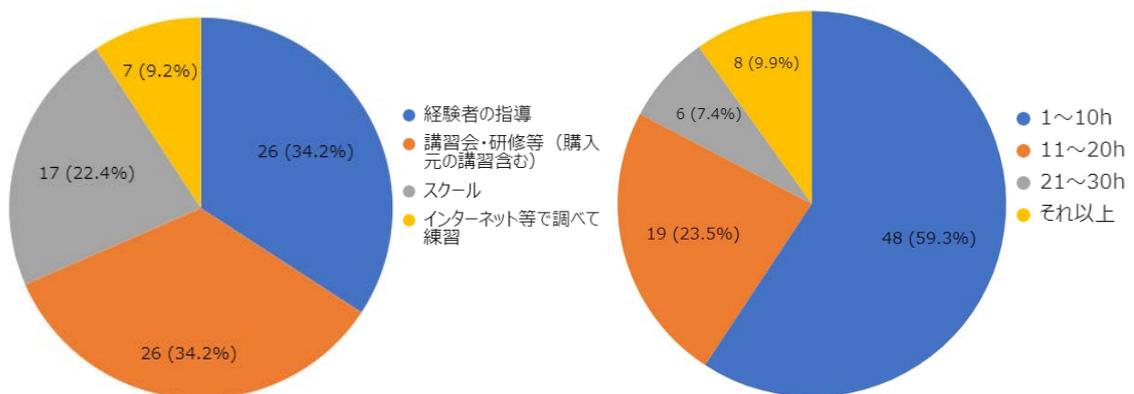


図3-5 質問5[操縦者の練習方法と訓練時間]

質問 6 では質問 1 で「はい」と答えた団体を対象に、ドローンで撮影・取得した成果物（空撮画像・オルソ画像等）が満足いくものだったかどうかを調査し、139 件の回答が得られた。

全体の約 85%が「満足」と答え、約 15%が「不満足」と答えた。（図 3-6）

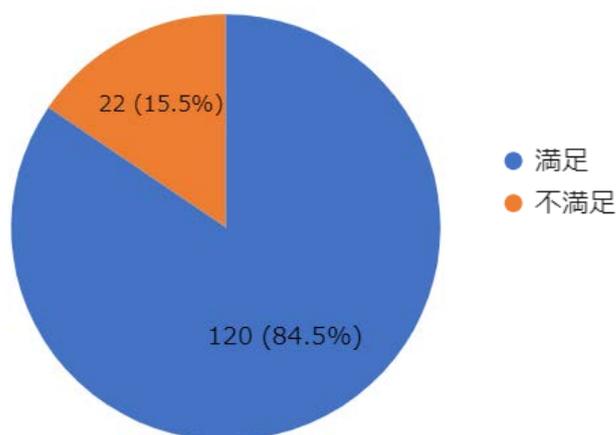


図 3-6 質問 6 [ドローンで撮影・取得した成果物は満足いくものだったかどうか]

質問 7 では質問 6 で「満足」と答えた団体を対象に、どのような点に満足したかを自由記述形式で調査し、177 件の回答が得られた。

満足した点については、施業前後に林業現場の状況把握が可能な点、高画質の画像が得られる点を挙げる団体が多く（それぞれ約 30%程度）、次いで測量作業の効率化（時間短縮・労力削減）が挙げられた（約 15%）。（図 3-7）

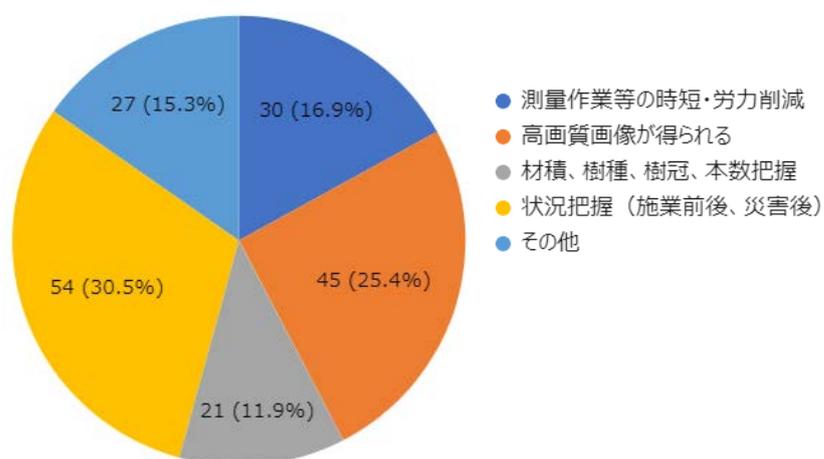


図 3-7 質問 7 [ドローンで撮影・取得した成果物はどのような点で満足したか]

質問 8 では質問 6 で「不満足」と答えた団体を対象に、どのような点が不満足だったのかを自由記述形式で調査し、21 件の回答が得られた。

ドローンでは林内の様子が分からないことや測量精度が悪いことなど成果物の品質が不足していた点が不満足と答えた団体が最も多く(約 45%)、次いでオルソ画像の作成に失敗したことや手間がかかるなどオルソ画像の作成作業に関して不満足と答えた団体が多かった(約 30%)。(図 3-8)

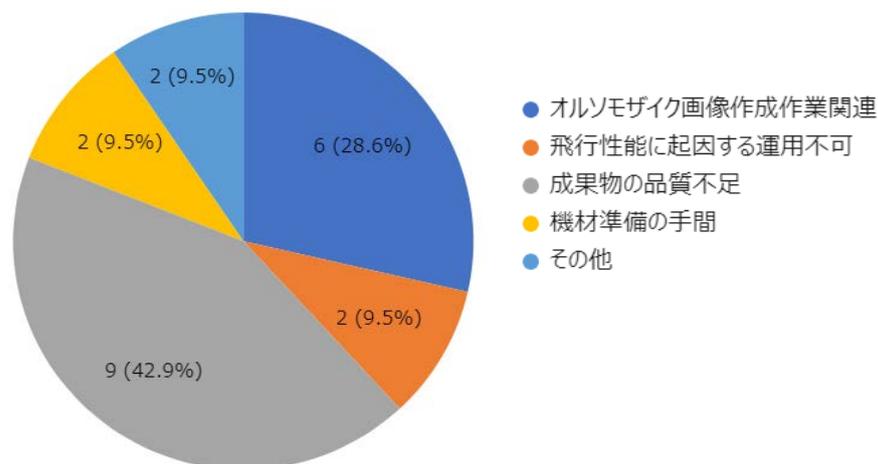


図 3-8 質問 8[ドローンで撮影・取得した成果物はどのような点で不満足したか]

質問 9 は全員を対象に、ドローンによる森林調査を実施した際に効率が上がると思うかどうかを調査し、484 件の回答を得られた。

上がると思う(はい)と答えた団体が全体の約 70%で、上がると思わない(いいえ)と答えた団体が約 5%であった。また、わからないと答えた団体が約 25%であった。(図 3-9)

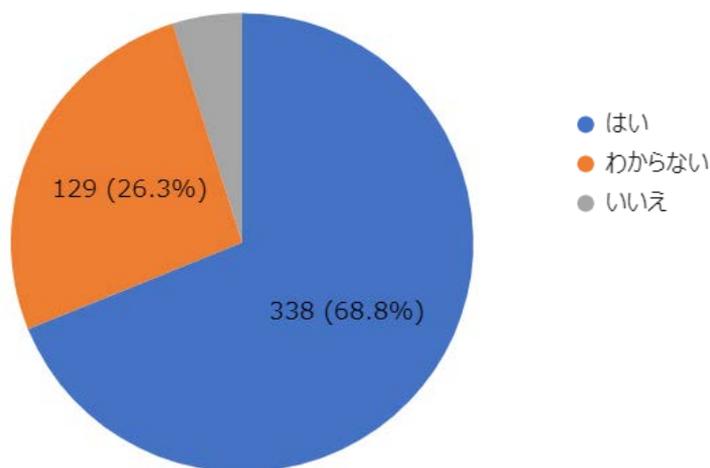


図 3-9 質問 9[ドローンによる森林調査を実施した際に効率が上がると思うかどうか]

質問 10 は質問 9 で「はい」と答えた団体を対象に、どのような点が効率化しているのか自由記述形式で調査し、340 件の回答が得られた。

測量や状況把握など作業全般の効率化ができると回答した団体が全体の約 90%を占めた。(図 3-10)

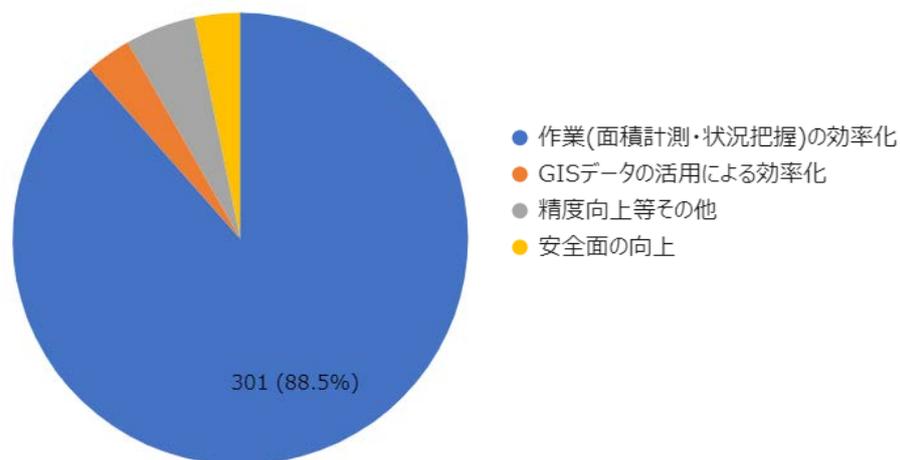


図 3-10 質問 10[ドローンによる森林調査を実施した際にどのような点が効率化するか]

質問 11 では質問 9 で「いいえ」と答えた団体を対象に、効率化しないと思われる理由を調査し、14 件の回答が得られた。

品質や精度が不足していることや、解析に手間がかかること、またドローンが飛行できる範囲が限られている点などが理由として挙げられた。(図 3-11)

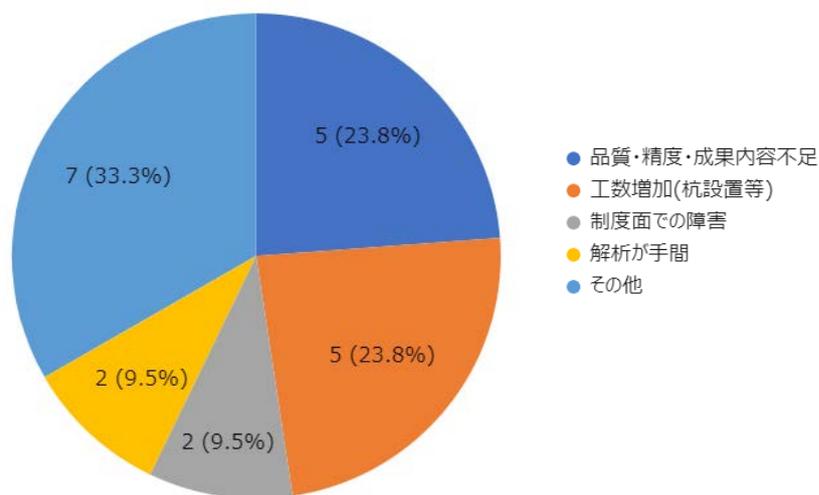


図 3-11 質問 11[ドローンによる森林調査を実施した際に効率化しない理由]

質問 12 ではドローンで撮影した写真のオルソ化を行ったことがある団体を対象に、使用した SfM ソフトの種類を調査し、47 件の回答が得られた。

Agisoft Metashape が最も多く(約 55%)、そのほかジツタ Assist Z や Pix4Dmapper 等が数%程度使用されていることが分かった。(図 3-12)

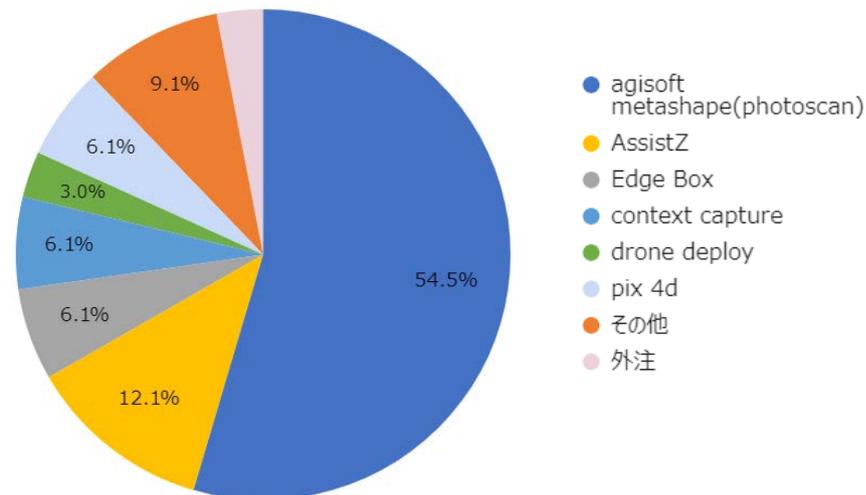


図 3-12 質問 12[ドローンで撮影した写真のオルソ化を行った際の SfM ソフト]

質問 13 では GIS ソフトを用いたことがある団体を対象に、使用した GIS ソフトの種類を調査し、173 件の回答を得られた。

フリーソフトの QGIS が最も多く(約 30%)、そのほか ESRI ArcGIS やジツタ Assist7 等が使用されていることが分かった。(図 3-13)

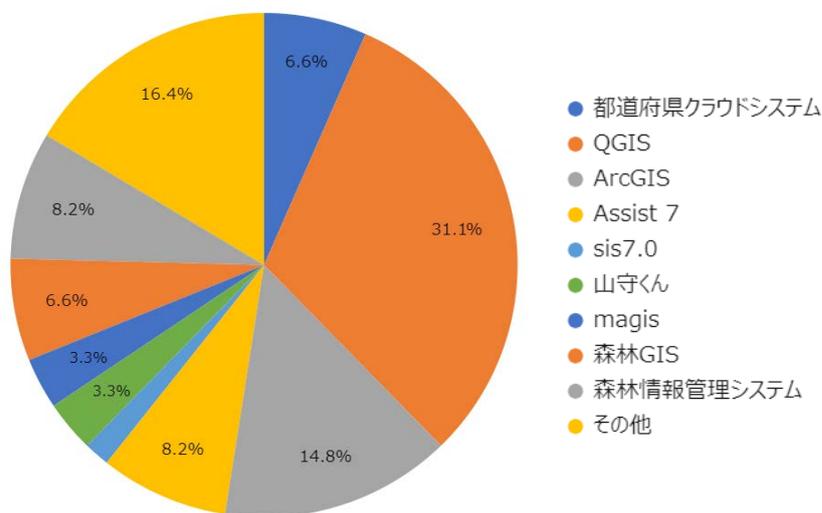


図 3-13 質問 13[使用したことがある GIS ソフト]

質問 14 では全員を対象に、ドローンによる森林調査を実施した際の課題・懸念事項について自由記述形式で調査し、331 件の回答を得られた。

ドローンの飛行時間が短い点や雨天時・強風時に飛行できない点など飛行性能(環境条件)に関することが課題とする回答が最も多く(約 25%)、次いで面積計測時の精度等、成果物の品質を心配する回答が多かった(約 20%)。また、機材の費用や、操作方法等の技能習得に関して懸念する回答も多数見られた。(図 3-14)

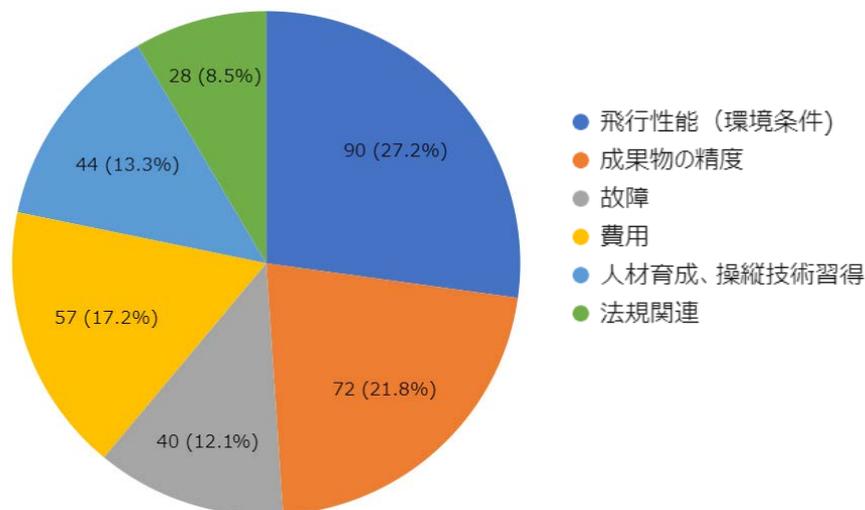


図 3-14 質問 14[ドローンによる森林調査を実施した際の課題・懸念事項]

質問 15 では全員を対象に、所有しているドローンの種類とその台数を調査し、152 件の回答を得られた。なお複数台所有している場合はその台数分カウントして集計した。

DJI phantom4 が最も多く(135 台)、次いで Mavic 2 pro が多かった(43 台)。

(図 3-15)

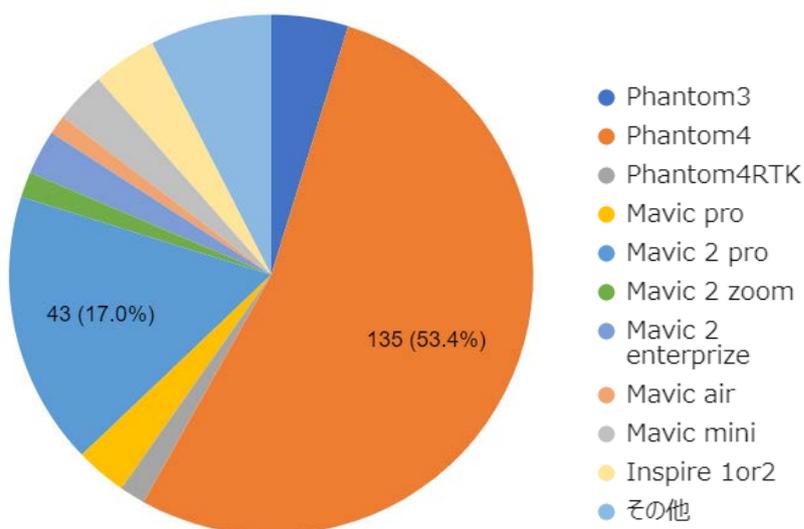


図 3-15 質問 15[所有しているドローンの種類と台数]

質問 16 では全員を対象にドローンによる森林調査研修を受講したいと思うかどうかを調査し、484 件の回答が得られた。

受講したいと思う（はい）と答えたのは全体の約 90%で、受講したいと思わない（いいえ）と答えたのは全体の約 10%であった。（図 3-16）

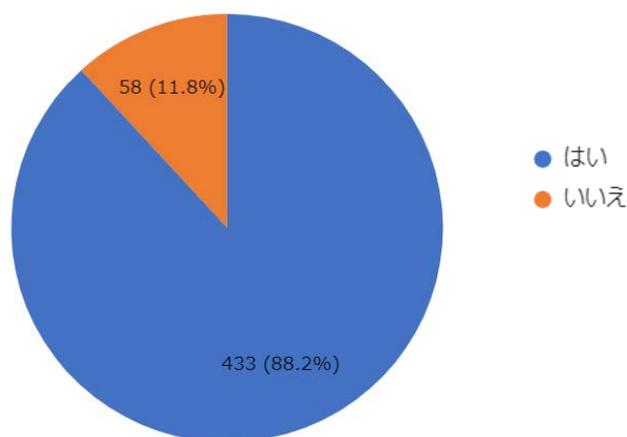


図 3-16 質問 16[ドローンによる森林調査研修を受講したいと思うかどうか]

質問 17では全員を対象にドローンによる森林調査研修で習得したいことを質問し、484 件の回答が得られた。なお回答は「ドローン関連法規」「操縦技術」「機体性能」「安全知識」「ドローン活用事例」「オルソ写真測量の現場撮影方法」「オルソ写真測量の解析方法」「ドローンの飛行に関する諸手続き(目視外飛行時、落下時など)」から選択形式(複数回答可)とした。

すべての選択項目に対して約 70%以上の団体が習得したいと答え、「オルソ写真測量の現場撮影方法」については習得希望が特に多かった(約 85%)。（図 3-17）

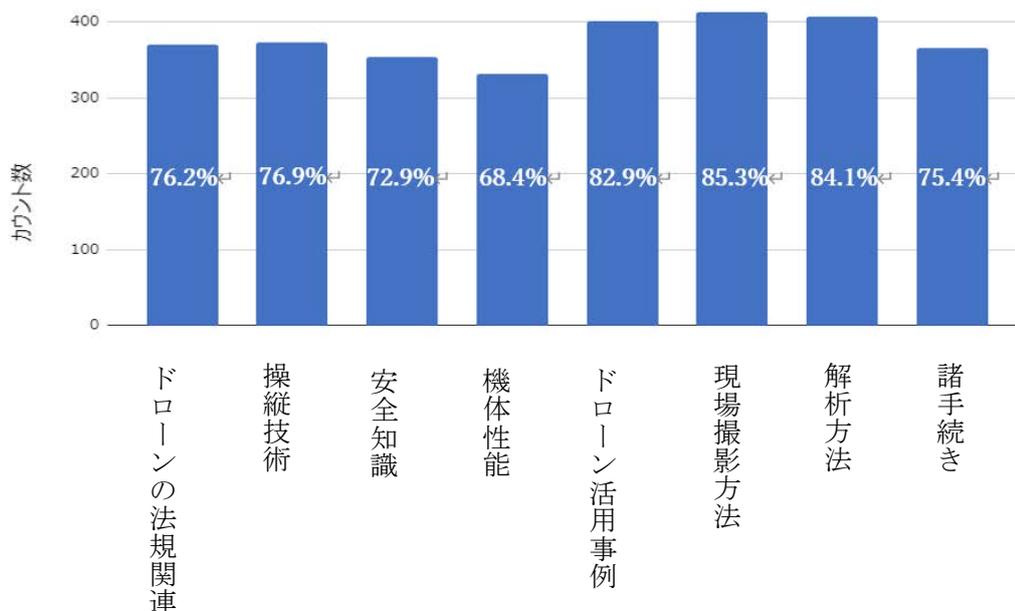


図 3-17 質問 17[ドローンによる森林調査研修で習得したい内容]

3.3 結果分析

まず林業現場におけるドローンの利活用の状況について、質問 1 の結果によると、過去にドローンによる森林調査の経験があると答えた団体は全体の 3 割程度であり、多くの団体がドローンを未活用であることが分かった。またドローンの使用目的について、質問 2 の結果によると施業前後の状況確認が最も多かったが、質問 12 (SfM ソフトの種類) の回答件数が 47 件と、かなり少ないことを考慮すると、現状ドローンを林業現場に導入はしていても、主に空撮画像の確認がメインであり、SfM ソフトを用いた空撮画像のオルソ化や GIS を用いて管理等を行っている団体は非常に少ないと考えられる。

ところで林業現場においてドローンの利活用が進んでいない一方で、ドローンを用いることで効率化が図れると考えている団体は全体の約 70% に上り (質問 9)、特に測量や現場の状況把握で活用する期待が高い (質問 10)。

このように、多くの団体がドローンを用いるとことで効率化が図れると考えているにもかかわらず、未だ林業現場における利活用が進んでいない背景には、質問 14 の結果が示す課題や懸念事項が関係していると思われる。

3.4 研修内容への反映

全国の林業従事者向けアンケート結果を踏まえ、林業現場向けドローン研修に反映すべき内容について検討を行った。

まず質問 16 の結果を見ると研修開催のニーズは大きく、早急に実施することが望まれている。研修のメインのターゲットとしては 3.3 節で指摘したように多くの団体がドローンを未導入であり、数少ない導入済みの団体の多くも訓練時間が 1～10 時間と短いことから、ドローンを初めて用いる「初心者」をメインの対象とすることが適当である。

研修のカリキュラムとしては質問 17 のとおり、林業現場においてドローンを運用する上で必要な知識を万遍なく盛り込む必要があるが、特に初心者を対象とする際には、ドローン関連法規や機体構造について十分に時間をとって説明する必要がある。

また操縦技術については質問 14 の懸念を解消できるようドローンの飛行性能を正しく伝え、ドローンを実際に操縦して技術を習得できるカリキュラムにすべきである。

写真測量については、質問 8 の示すとおり、既に導入している団体も苦勞している部分であり、初心者が時間をかけて学ぶべき内容であるため、写真測量の基本原則を十分理解したうえで、林業現場に適したドローン写真測量を行うための飛行方法、解析方法を習得可能なカリキュラムにする必要がある。具体的には、林業現場においてドローンを飛行させて画像を取得し、SfM ソフトを実際に使いながら講習するのが最適と考えられる。

なお、使用するドローンについては、初心者にも取り扱いが容易で、かつ必要機能が備わっている Phantom 4 Pro や Mavic 2 Pro 等の DJI 製品を操縦技能訓練で用いるのが適しており、また既にドローンを導入している団体にとって、所有している機体と同じ機種で実技講習を受けられるほうが都合がよいと考えられる (質問 15)。SfM ソフトについても、操作が比較的容易で、既に SfM ソフトを導入している団体の中で最もシェアの高い (質問 12) Agisoft Metashape を用いて講習を行うのが適切である。

質問 14 の結果で費用面の懸念を感じている団体が一定数存在していることを踏まえて、複数のドローン機種・ソフトの価格と、それぞれの特徴や性能の概要も説明し、受講者が適切な機材を選定できるようにすることも必要である。

4. 林業現場でのリモートセンシング技術の検証

4.1 検証の概要

本項においては、森林整備事業でのリモートセンシング技術の導入・普及に向け、ドローン機種やオルソ化ソフトの選定、飛行高度や自動飛行の手法、オルソ画像の精度の確認など林業現場でのリモートセンシング技術の検証を行った。検証は、森林整備事業で件数が多く、省力化のニーズが高い植付、下刈り、間伐について行った。

また、本項での検証成果は、林業現場向けドローン研修のカリキュラムに反映されている。

4.2 検証実施箇所

林野庁、東京都及び東京都森林組合、土地所有者と協議・調整のうえ、植付・下刈り実施箇所の検証は東京都西多摩郡檜原村の民有林において、また、間伐実施箇所の検証は東京都日の出町の民有林においてそれぞれ実施した。

4.2.1 植付・下刈り実施箇所（植栽地）

植付・下刈り実施箇所の検証は、東京都西多摩郡檜原村の民有林において実施した。

表 4-1 調査地概要

面積	傾斜	樹種	伐採時期	植付時期	下刈り時期	植栽本数
1.04ha	30～40°	ヒキ、スギ	2020年秋 期	2020年4 月上旬～ 中旬	2020年6 月下旬	3,000本 /ha

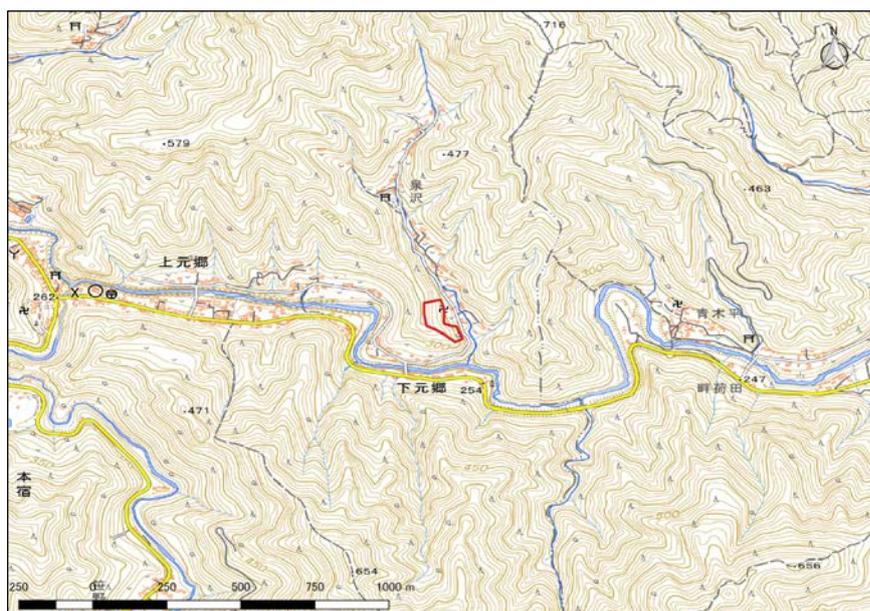


図 4-1 植付・下刈り検証箇所位置図



検証箇所遠望 1



検証箇所遠望 2



検証箇所からの見下ろし

写真 4-1 植付・下刈り検証箇所 現地写真

4.2.2 間伐実施箇所

間伐箇所の検証は、東京都西多摩郡日の出町の民有林において実施した。

表 4-2 調査地概要

面積	傾斜	樹種	間伐時期	間伐率	伐採前立木本数	伐採後立木本数
1.47ha	20～30°	ヒノキ、スギ	2020年7月中旬～下旬	30%	1,911本※	1,323本※

※：標準地法(10m×10m 2箇所)により算出した本数



図 4-2 間伐検証箇所位置図



検証箇所林況 1



検証箇所林況 2



尾根部登山道

写真 4-2 間伐検証箇所 現地写真

4.3 検証方法

4.3.1 植付・下刈り実施箇所（植栽地）の検証方法

植付・下刈り実施箇所（植栽地）の検証は、東京都西多摩郡檜原村の民有林で実施した。この事業地は、2019（令和元）年度に伐採後、2020（令和2年）度春先から苗木の植付、下刈り等を実施している。ドローンによる撮影は、事業体のスケジュールに合わせて、植付終了（2020（令和2）年4月17日）から約2週間後の2020（令和2）年4月30日～5月2日と、下刈り終了（2020（令和2）年6月29日）から約10日後の7月8日～7月10日に実施した。なお、トータルステーションによる測量は4月23日に実施した。

なお、後述するGNSS等による施業地の面積計測手法の比較検証は2020（令和2）年7月8日に実施した。

表 4-3 施業・検証内容日程

年月日	施業・検証内容
2020（令和2）年4月17日	植付終了
2020（令和2）年4月30日～5月2日	植付検証、施業地面積検証
2020（令和2）年6月29日	下刈り終了
2020（令和2）年7月8日	GNSS等による面積検証
2020（令和2）年7月8日～7月10日	下刈り検証

調査項目は以下のとおりである。

- ・トータルステーションによる面積検証用プロットの測量
- ・GNSS等^(注1)の各種測量機材による測量精度の検証
- ・面積精度を確認するためのドローンによる高高度の撮影（70-120m）
- ・植え付けた苗木を確認するためのドローンによる低高度撮影（5-20m）
- ・下刈り状況を確認するためのドローンによる低高度撮影（5-20m）

（注1 GNSSはGlobal Navigation Satellite Systemの略称。これまでの衛星測位システムは、アメリカが開発したGPS（Global Positioning System）のみを用いていたことから、機材等も含めGPSと総称してきたが、現在では、GPSに加え、ロシアのGLONASS、ヨーロッパのGalileoなど各国の衛星測位システムを用いていることから、GNSSと呼称するのが一般的となっている。

図 4-3 の模式図に示すように、この植付・下刈り実施箇所には、約 1 ha の面積検証用プロットとその内部に苗木本数検証用プロット約 20m×20m (0.04ha) を 2 箇所設置した。

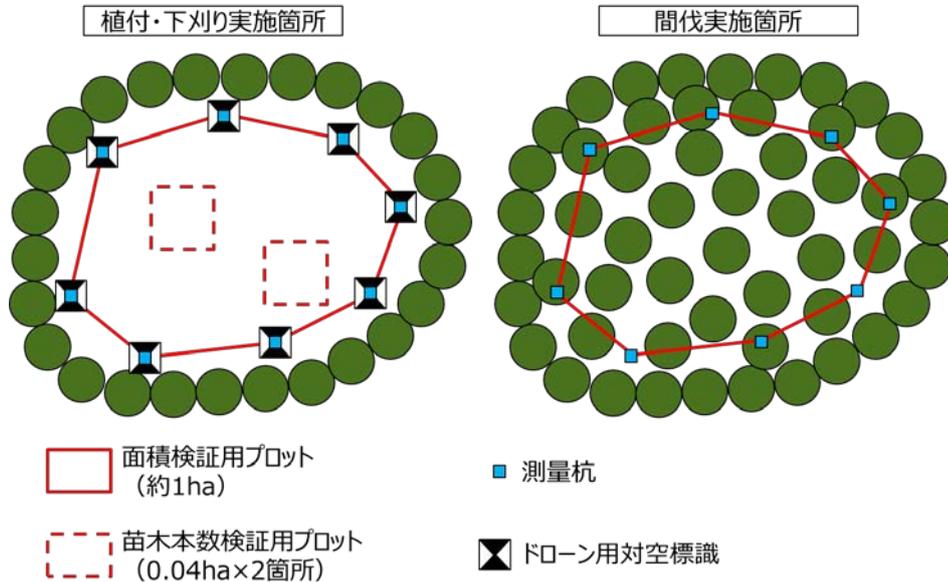


図 4-3 調査プロット模式図

4.3.2 間伐実施箇所の検証方法

間伐実施箇所の検証は、東京都西多摩郡日の出町の民有林で実施した。この事業地は、2020（令和2）年度に間伐を実施予定となっていたことから、事業者のスケジュールに合わせて、2020（令和2）年6月4日に間伐前の測量とドローン撮影を、また、7月30日に間伐後の測量を、8月5日と9月2日に間伐後のドローン撮影をそれぞれ行った。

表 4-4 施業・検証内容日程

年月日	施業・検証内容
2020（令和2）年6月4日	間伐実施前測量・ドローン撮影
2020（令和2）年6月26日	間伐終了
2020（令和2）年7月30日	測量
2020（令和2）年8月5日、9月2日	間伐実施後ドローン撮影

調査項目は以下のとおりである。

- ・面積検証用プロットの電子コンパスによる測量
- ・面積精度、間伐状況を確認するためのドローンによる高高度の撮影（70-120m）

図 4-3 の模式図に示すように、間伐実施箇所には、約 1 ha の面積検証用プロットを設置した。

4.4 自動飛行計画作成ソフトについて

オルソ画像を作成する際には自動飛行計画作成ソフトの使用が必須となる。これは、撮影する画像の重なり合い度合を示すオーバーラップ率やサイドラップ率がオルソ化には重要であるが、手動飛行ではこれらのラップ率を確実に確保することができず、オルソ化に失敗する可能性があるためである。このため、自動飛行計画作成ソフトを用いてオルソ化に必要なラップ率や高度を設定することとなる。

自動飛行計画作成ソフトには有償・無償を含めいくつかの種類があるが、林業現場向けのドローン研修に用いるドローンの販売会社であるDJI社が、「GS PRO」という名称の自動飛行用アプリを無償で提供していることから、本検証ではこれを用いることとする。

SfMソフトとして広く使われているAgisoft Metashapeは、ラップ率の推奨値として、オーバーラップ率・サイドラップ率ともに「60%」以上としている。また国土地理院作成の「UAVを用いた公共測量マニュアル」では「飛行経路上で80%(オーバーラップ率)、飛行経路間で60%(サイドラップ率)」をラップ率の目安として示している。以上のことから、画像のオーバーラップ率が80%、サイドラップ率が60%以上確保できていればオルソ化が可能と思われる。

なお、DJI GS Proは、一つの飛行計画内で複数の対地高度や複数のラップ率を設定できない仕様になっており、また、ラップ率は離陸地点からの比高を基準に自動計算される仕組となっている。林業現場においてDJI GS Proを用いて自動飛行計画を作成の際には、立木が存在する場所では立木の高さの分だけラップ率が低下することや、高低差のある場所では標高の高い部分でラップ率が低下することを考慮しなければならない。

例えば、樹高20mの立木がある場所において高度を80m・オーバーラップ率を80%・サイドラップ率を60%に設定して自動飛行を実行させた場合（図4-5(a)）、樹高分だけ対地高度が小さくなるため、実際に取得される画像のオーバーラップ率は76%、サイドラップ率は55%となる。このような現場で画像のオーバーラップ率とサイドラップ率をそれぞれ80%、60%確保するためには、自動飛行計画作成段階で両ラップ率をそれぞれ85%、68%に設定する必要がある（計算手法は後述）。また、離陸地点に対して高度が20m高い場所（図4-5(b)）において飛行させる際も同様である。

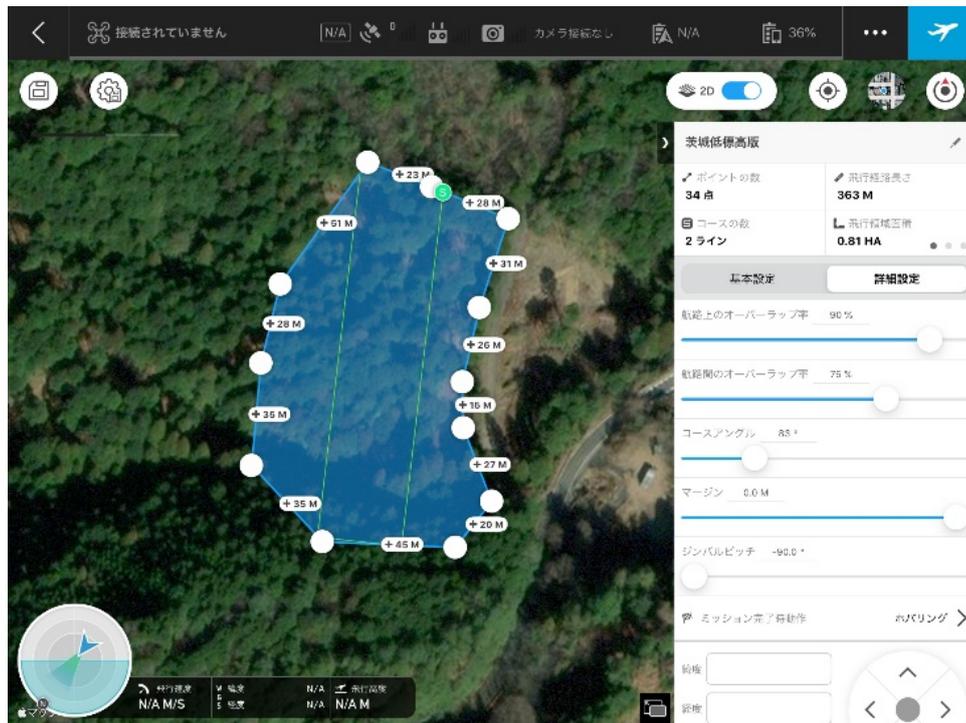
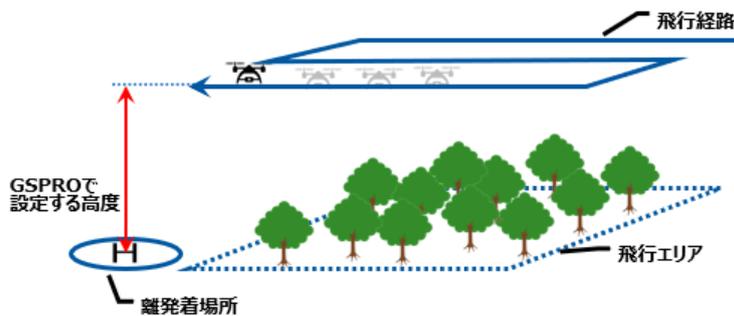


図 4-4 パラメータ設定画面（自動飛行計画作成時）

(a) 樹高を考慮した飛行高度設定



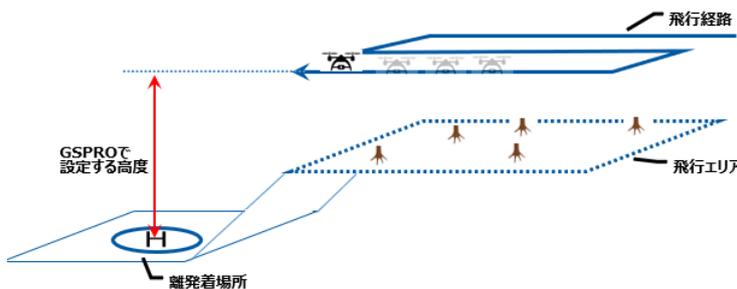
【自動飛行計画作成時のパラメータ例】

高度 80m
 オーバーラップ率 80%
 サイドラップ率 60%

【対応策】

高さ 20m の木の上 (先端付近) で
 オーバーラップを 80%、
 航路間のオーバーラップを 60% 確
 保する方法

(b) 離陸地点と計測面に高低差がある場合



(方法例)

ラップ率を高めにする
 例：高度 80m
 オーバーラップ 85%

図4-5 林業現場でラップ率の低下を起こす注意すべき環境

DJI GS Proの計算特性を踏まえてラップ率を計算する計算式は、次のとおりである。

図4-6は標高のせり上がりでDJI GS Proに入力するラップ率の関係を示す。

実際の林業現場では、図4-5に示したような単純な段差ではなく、樹高が場所によって異なる場合や傾斜に緩急がある場合など様々であり、自動飛行を実施するたびに(1)の式を用いてラップ率を逐一計算することは現実的ではない。

そこで、立木や高低差のある場所で飛行させる際は、設定した値よりも両ラップ率が低下することを踏まえ、あらかじめ両ラップ率を「高め」に設定する。具体的には、「UAVを用いた公共測量マニュアル」の推奨値よりもそれぞれ10%高い、オーバーラップ率90%前後、サイドラップ率70%前後とする。

なお、東京都檜原村の植栽地は、オルソ化するエリアが広範囲かつ高低差が大きかったことから、自動飛行計画を高標高域～低標高域にかけて段階的に分割して作成することでラップ率の低下を抑制し、オルソ化することが可能であることを確認した(図4-7)。

$$P = \left(1 - \frac{(1 - R)(h - H)}{h} \right)$$

- h : 当初の飛行対地高度 (m)
- R (0<R<1) : 要求されるラップ率
- H : 測量する面の標高のせり上がり (m)
ただし (h<H)
- P (0<P<1) : DJI GS Proに入力するラップ率

※標高一定(対地高度h)で飛行しているときに、地面の標高がHせり上がった場合に、それでも要求ラップ率Rを満たすための入力ラップ率をPは上式で表される。例として、当初の対地高度hが80m、要求されるラップ率が80%である場合の、入力すべきラップ率のグラフを図4-6に示す。地面が40mぶんせり上がった場合(つまりH=40)に要求ラップ率80%を確保するためには、DJI GS Proに90%と入力する。

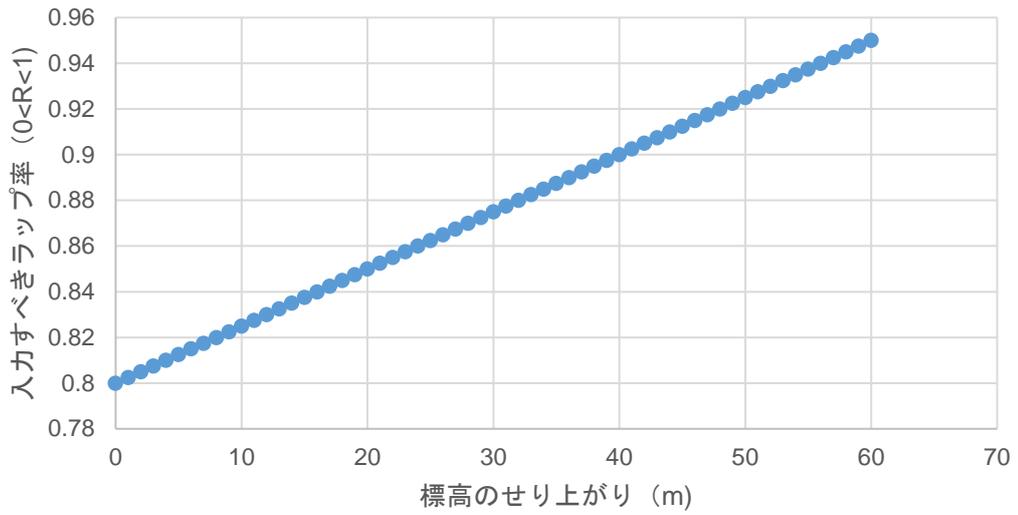
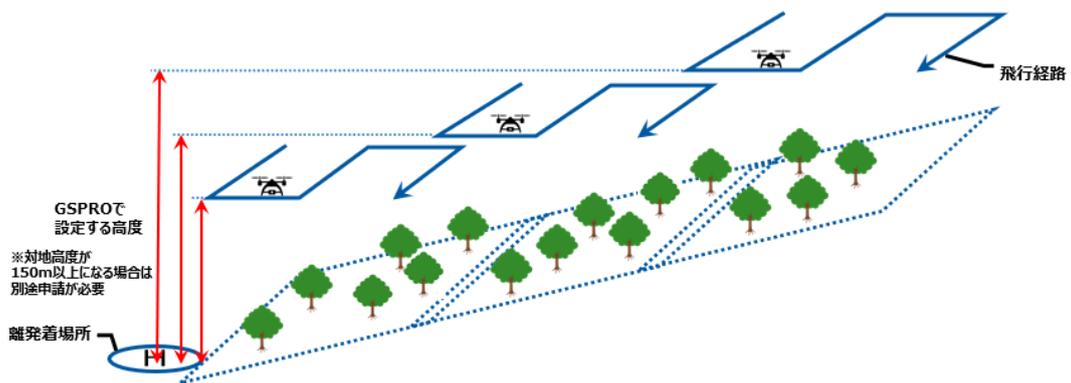


図4-6 標高のせり上がりとDJI GS Proに入力するラップ率の関係



■ 飛行計画を3つに分割した例

飛行経路を3分割して作成した三次元モデル (青が空撮位置)

各飛行計画

上段
中段
下段

図 4-7 自動飛行計画を複数回に分割した例

4.5 ドローン機種及びオルソ化ソフト等の選定

4.5.1 ドローン機種選定

ドローンは表 4-5 に示すように様々な機種が販売されている。本事業では、1 章で示したように、入手しやすさ、操作性、撮影時の安定性、画質、ズーム機能などから合計 5 機種を選定した。



Phantom 4 RTK



Mavic 2 Pro



INSPIRE 2



Phantom 4 Pro V2



Mavic 2 Zoom

図 4-8 選定したドローン

選定したドローンの大きさ、価格等を表 4-6 に示す。その他詳細については、<https://www.dji.com/jp>に掲載されている。

表 4-5 ドローン機種適性比較

発売元	機種名	面積検証	苗木本数検証	価格※1	飛行時間※2	風耐性	伝送距離	衝突防止機能	使用する操縦アプリとの互換性	画素数	ズーム機能
DJI	Phantom 4 PRO V2	○	○	○	◎	○	○	△	○	○	×
	Mavic 2 Pro	○	○	○	◎	○	○	○	○	○	×
	Mavic 2 Zoom	○	○	○	◎	○	○	○	○	△	○
	Phantom 4 RTK	○		△	◎	○	○	△	○	○	×
	INSPIRE 2	○		○	○～△	○	○	△	○	別売り※3	取替可※4
	Mavic Pro PLATINUM			○	○	○	○	△	○	△	×
	Mavic Air			○	△	○	△	△	○	△	×
	Mavic Mini			◎	×	×	×	×	×	△	×
	Spark			○	×	△	×	×	○	△	×
Parrot	ANAFI			◎	○	○	○	×	×	○	○
Holy Stone	HS720			◎	○	※5	×	×	×	×	×

※1：◎ ～99,999 円、○ 100,000～699,999 円、△ 700,000～円

※2：◎ 30分～、○ 29～25分、△ 24～20分、× ～19分 なお、INSPIRE 2は取り付けるカメラにより飛行時間が異なる

※3：INSPIRE 2は本体のみで販売しており、カメラは用途に応じて購入する必要がある

※4：購入するカメラの型によりレンズを取り替えられるものがある

※5：仕様に記載がなく不明

表 4-6 選定したドローンの大きさ、価格等

機種名	機体重量	サイズ	対角寸法	本体価格	バッテリー 単品価格
Mavic Pro	2 907g	たたんだ状態： 214×91×84 mm (L×W×H) たたんでいない状態： 322×242×84 mm (L×W×H)	354mm	189,000 円	16,500 円
Mavic Zoom	2 905g	たたんだ状態： 214×91×84 mm (L×W×H) たたんでいない状態： 322×242×84 mm (L×W×H)	354mm	162,000 円	16,500 円
Phantom Pro V2	4 1375g	289.5×289.5×196 mm(L×W×H)	350mm	207,680 円	20,360 円
Phantom RTK	4 1391g	289.5×289.5×196 mm(L×W×H)	350mm	733,410 円※	20,360 円
INSPIRE 2	3440g	427×425×317 mm(L×W×H)	605mm	396,110 円	19,250 円

※2020（令和2）年3月に購入した価格（モバイルステーション含む）

4.5.2 オルソ化ソフト又はサービスの選定

ドローンで撮影した写真をオルソ化するための SfM(Structure from Motion)ソフト(オルソ化ソフト)については、様々な利用ケースを想定し、有償ソフト、フリーソフト、オルソ化サービスなどから入手可能と考えられるもの5種類を選定した。

各種オルソ化ソフト、サービスの概要を表 4-7 (1) と表 4-7 (2) に示した。

表 4-7(1)各種オルソ化ソフト、サービスの概要

ソフト・サービス名	Metashape Professional	Pix4D mapper	OpenDrone Map	Drone Deploy	くみき	
開発元等	Agisoft (ロシア)	Pix4D (スイス)	オープンソース	Drone Deploy	株式会社スカイマティクス	
ソフト・サービス別	販売ソフト	販売ソフト	Free ソフト	サービス	サービス	
ソフトの目的・概要	高精度 DSM やオルソ画像等を作成するソフト。	ドローン等で撮影した画像情報をもとに、カメラ撮影位置を推定し、三次元形状を復元する。	オープンソースのドローン画像処理ソフト。ODM(コマンドライン)、WebODM(Web ベース)、CloudODM(クラウドベース)などがある。	ドローンの自動航行からデータ収集、そしてデータの分析をワンストップで行えるソフトウェアプラットフォーム。	ドローンで撮影した写真から簡単に測量・地形データを生成するクラウド型のソフトウェアサービス。	
動作環境	CPU	Intel Core i7 プロセッサ以降	Quad-core または Hexa-core Intel i7/Xeon 推奨	2010 年以降に製造された 64 ビット CPU(最小) ~最新世代 CPU(推奨)	記載なし	記載なし
	メモリ	16GB 以上	16GB-60GB	最小 4 GB。画像枚数が 100~200 を超える場合は 16GB 推奨。	記載なし	windows : 4 GB 以上 macOS : 8GB 以上
	推奨グラフィックカード	NVIDIA GeForce RTX 2080 相当	OpenGL 3.2 2GB RAM と互換性のある藻を推奨	グラフィックカードによる影響は無し。	記載なし	記載なし
	ソフトウェア環境	Windows 7/8/10 32bit/64bit Mac OS X Mountain Lion(10.8) 以降	Windows8/10 64bit	Windows7 以上 64bit macOS Sierra 10.12 以上 Linux (CentOS, Debian, Ubuntu(推奨), Fedora など)	記載なし	windows7/10 macOS Sierra 10.12.6 以上

表 4-7(2) 各種オルソ化ソフト、サービスの概要

ソフト・サービス名	Metashape Proffessional	Pix4D mapper	OpenDroneMap	Drone Deploy	くみき
解析可能項目	ポイントクラウド作成	○	○	○	○
	DEM作成	○	○	○	
	DTM/DSM作成	○	○	○	○
	オルソ作成	○	○	○	○
	GCP設定による位置精度の向上	○	○	○	
分解能 (DEM・オルソ) ※各オルソ画像の分解能は資料編参照	高分解能の写真を使用するほど高分解能	高分解能の写真を使用するほど高分解能	cm単位で設定可能(デフォルトは5cm)	下限が0.6in/px	0.99mm/pix ※ QGIS で M2P_5m 画像を計測
価格	512,050円	514,800円	無償	16万円/年	36,000円/年～
ライセンス形態	スタンドアロン(1ライセンス1PC)	スタンドアロン(1ライセンス1PC)	フリー	年間契約	年間/月間契約
マニュアル・説明資料の有無	日本語操作マニュアル有	説明書(日本語)有	各種ドキュメント有 (https://www.opendronemap.org/docs/)	サポートページ有 (https://support.dronedeploy.com/)	動画有 (https://youtu.be/Ix-_m_F02vo)
サポートの有無	Email、電話のサポートサービスを受けることができる	専用ホームページのフォーラム有	コミュニティフォーラムのWebサイト有	日本代理店によるサポート有	お問い合わせフォーム、電話等によるサポート有
参考 URL	http://www.vti.co.jp/metashape_top.html	https://www.pix4d.com/jp	https://www.opendronemap.org/	https://dronedeploy.com/	https://smx-kumiki.com/#

参考情報として、本調査において、Metashape Proffessional、Pix4D mapper、OpenDroneMap で使用した PC のスペックを以下に示す。一般的にオルソ化ソフトを稼働する場合、その機能を十分に発揮するためには高性能の PC が必要である。特に画像描写の計算処理を行う GPU は重要である。

 OS : Windows 10 Pro
 プロセッサ : Intel®Core(TM) i9-10900X CPU@3.70GHz (20CPUs)
 GPU : NVIDIA GeForce RTX2080Ti 11GB
 システムの種類 : 64 ビットオペレーティングシステム、x64 ベースプロセッサ
 実装メモリ (RAM) : 128GB
 C ドライブ ハードディスク容量 : 500GB
 D ドライブ ハードディスク容量 : 2.0TB

また、オルソ画像の作成に到るまでの主な過程は以下のとおりであり、オルソをエクスポートすることでオルソ画像となる。

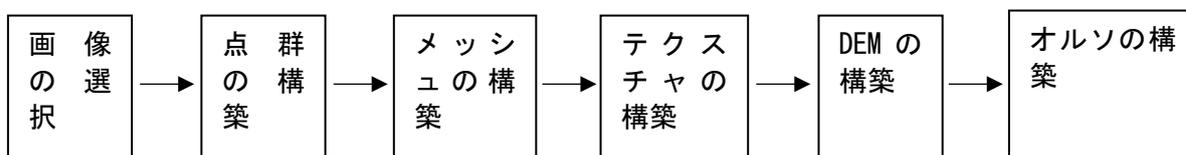


図 4-9 オルソ画像作成の主な過程

(1) オルソ画像を作成するためのソフト

オルソ画像を作成するためのオルソ化ソフトは、現在のところ、Agisoft Metashape Professional または Pix4D mapper が一般的である。

(a) Agisoft Metashape (<https://www.Drone Deploy.com/>)

Agisoft Metashape は、ドローンにより空撮（ステレオ撮影やオーバーラップ撮影）したデジタル画像から、高精度 DSM やオルソ画像、鳥瞰図、3D モデルを作成するソフトウェアである。手持ちでの近接撮影の場合は、オブジェクトの 3D モデルが作成できる。画像の位置合わせや 3D モデルの作成処理は自動化されており、簡単な操作で数千枚の画像の一括処理が可能であり、煩雑な操作は必要ないとされている。

Agisoft Metashape には、Standard 版と Professional 版がある。Standard 版ではポイントクラウド（点群）の作成、3D モデルメッシュの作成、鳥瞰図の作成が可能である。Professional 版は、Standard 版の機能に加え、オルソ画像の作成等が可能である。なお、30 日間トライアルライセンスにより、無料で Agisoft Metashape を試用することが可能である。

Agisoft Metashape は、不要な写真（自動飛行開始前及び終了後の写真）を一連のオルソ化処理前に選択して削除することができることが特徴となっており、データ処理時間の短縮に有効である。

また、作成されるオルソ画像の分解能は撮影写真の分解能に依存し、高分解能の写真を撮影すれば高分解能のオルソ画像ができる。そのため、低高度（高度 20m 以下）で撮影した写真を利用したオルソ画像は、Pix4D を除く他のソフト・サービスを利用して作成したオルソ画像より見た目が良く、植付・下刈りの検査に十分利用できると考えられた。

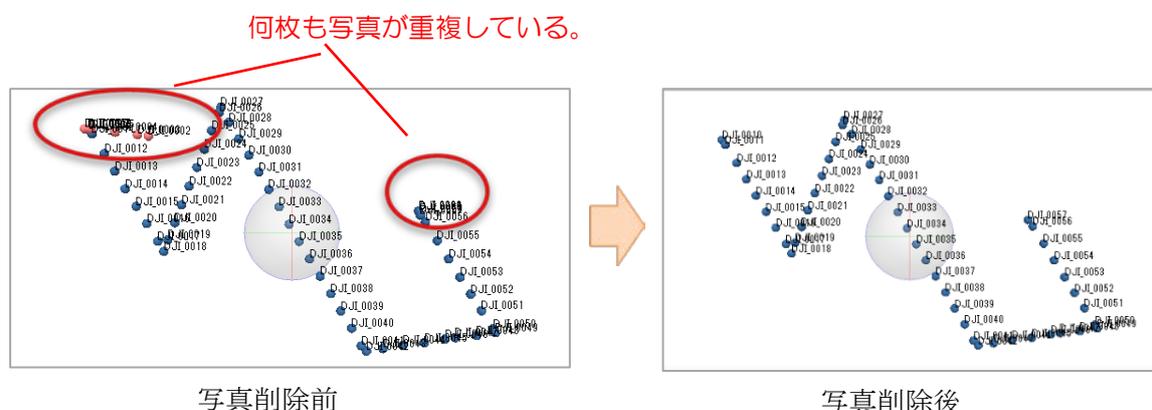


図 4-10 不要な写真の削除前後

表 4-8 に Agisoft Metashape のメリット、デメリットを整理した。

表 4-8 Agisoft Metashape のメリットとデメリット

メ リ ッ ト	<ul style="list-style-type: none"> ・ 仮想空間に表示した画像位置から余分な画像を省いてからオルソ化を進めることができ、効率的である。 ・ オルソ化前の設定で処理レベルを変更することができるため、時間短縮ができる。 ・ 対空標識を含む画像上でマーク表示すると他の画像にも反映される位置修正機能があり、便利である。 ・ 作成されるオルソ画像の分解能は撮影写真次第であり、高分解能の写真を撮影すれば高分解能のオルソ画像ができる。
デ メ リ ッ ト	<ul style="list-style-type: none"> ・ 値段が 50 万円以上する。 ・ 数百枚単位での処理の場合、高性能 PC がないとソフトの能力を発揮できず処理時間が長くなったり、処理が不完全に終わる場合がある。 ・ 画像枚数が多くなると処理時間が増大していく。 ・ 自動機能の詳細設定には、専門的な知識を必要とする場合がある。

(b) Pix4D mapper (<https://support.pix4d.com/hc/ja>)

Pix4D mapper は、ドローンにより空撮（ステレオ撮影やオーバラップ撮影）したデジタル画像から、高精度 DSM やオルソ画像、鳥瞰図、3D モデルを作成するソフトウェアである。

初期処理において画像ファイルから特徴点の検出した後、タイポイント（特徴点）を作成し、レンズ歪、焦点距離などのセルフキャリブレーション、調整計算の結果に基づく撮影位置の計算等を行う。作成したタイポイントをもとにして、高密度点群（3D Point Cloud）と 3D メッシュデータを作成する。作成した高密度点群をもとにして、数値標高データ（DEM）とオルソデータを作成するという流れにより、オルソ画像を作成する。

ライセンスは、表 4-9 のとおり、恒久ライセンス、年間ライセンス、月間ライセンスから構成されている（この他に教育関係者向けのライセンスもある）。

また、作成されるオルソ画像の分解能は撮影写真の分解能に依存し、高分解能の写真を撮影すれば高分解能のオルソ画像ができる。そのため、低高度（高度 20m 以下）で撮影した写真を利用したオルソ画像は、Agisoft Metashape を除いた他のソフト・サービスを利用して作成したオルソ画像より分解能が良く、植付・下刈りの検査に十分利用できると考えられた。

表 4-9 Pix4D mapper のライセンス

製品名	使用可能 デバイス数	内容
恒久ライセンス	1	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 ユーザー1 デバイス利用のライセンス。 ・ 利用開始日から 365 日間のサポート&アップグレードは無償*1*2*3
年間ライセンス	2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 365 日間利用のライセンス。 ・ サポート&アップグレードの費用は含まれている。 ・ 利用期間中はクラウドサービスも利用可能。*3
月間ライセンス	2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 30 日間利用のライセンス。 ・ サポート&アップグレードの費用は含まれている。 ・ 利用期間中はクラウドサービスも利用可能。*3

*1 2 年目以降は有償。

*2 クラウドサービスの利用には別途オプションサービスの加入が必要。

*3 クラウドサービスにおける処理は、写真枚数および処理数に制限がある。

(株式会社イメージワンの HP(<https://www.imageone.co.jp/satellite/pix4d/>) 引用一部改訂)

表 4-10 に Pix4D mapper のメリット、デメリットを整理した。

表 4-10 Pix4D mapper のメリットとデメリット

メ リ ッ ト	<ul style="list-style-type: none"> ・ 視認性の高いユーザーインターフェースのため、簡単な操作で画像処理や解析を行うことができる。 ・ オルソ画像作成においては、画像ファイル等をインポートした後、開始ボタンを押すことで自動生成できる。 ・ 作成されるオルソ画像の分解能は撮影写真次第であり、高分解能の写真を撮影すれば高分解能のオルソ画像ができる。
デ メ リ ッ ト	<ul style="list-style-type: none"> ・ 恒久ライセンスは値段が 50 万円以上する。 ・ 数百枚単位での処理の場合、高性能 PC がないとソフトの能力を發揮できず処理時間が長くなったり、処理が不完全に終わったりする場合がある。 ・ 自動機能は Agisoft Metashape のように詳細設定ができないため、調整が効かない。 ・ 画像枚数が多くなると処理時間が増大していく。

(2) OpenDroneMap (オープンソースソフトウェア)

OpenDroneMap (以下、ODM) は、ドローン撮影画像から地形の3次元モデルやオルソ画像、DEMデータを作成できるオープンソースソフトウェアで、GitHub¹上で開発が進められている。

ODMでは、Agisoft Metashapeなどのオルソ化ソフトと同様、SfM-MVS (Structure from MotionとMulti-View Stereo) と呼ばれる、画像群から3次元の物体を復元する技術が用いられている。ODMは、オープンソースソフトウェアとして開発されている特性上、処理のアルゴリズムがすべて公開されている点、ドローン撮影写真の処理に特化している点などが、他のオルソ化ソフトとは異なる特徴である。

1) OpenDroneMap プロジェクトのコンポーネント

OpenDroneMap プロジェクトは複数のコンポーネントで構成されている。

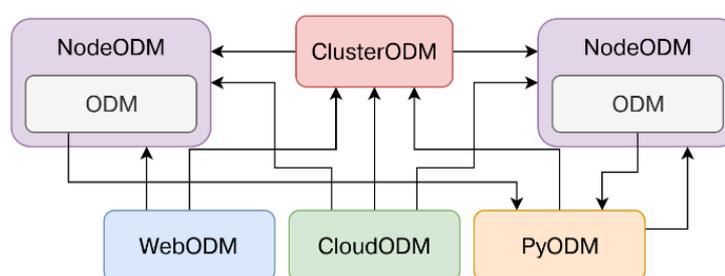


図 4-11 OpenDroneMap プロジェクトのコンポーネント²

基本コンポーネントである ODM は、コマンドラインベースの処理エンジンであり、入力した画像から点群、3D モデル、オルソ画像等を生成する。コマンド操作に慣れているユーザーは、このコンポーネントのみで画像処理を完結することも可能である。

WebODM は、ユーザ認証、マップ表示、3D 表示など、より高レベルな機能に対応した API (アプリケーション プログラム インタフェース) を ODM に付加したものであり、GUI ベースのインタフェースで直感的な操作が可能である。本調査においては、操作が比較的容易な WebODM を用いて検証を行った。

2) WebODM の導入

WebODM の実行には、Docker (Windows, MacOS, Linux) により OS レベルの仮想環境を構築した上で、Docker 上に WebODM をインストールして実行する方法が推奨されており、本調査においても「Docker for Windows」をインストールし、Docker を介して WebODM を実行する方法を選択した。

WebODM を動作させるための最小システム要件は、空きディスク容量が 20 GB 以上、メモリ容量が 4 GB 以上とされている。写真枚数が 100~200 枚以上と多数ある場合には、それぞれ 100GB 以上、16 GB 以上が推奨されている。

WebODM の導入後は、「http://localhost:8000」にアクセスすることで、WebODM のトップページである「Dashboard」ページが開く (図 4-12 参照)。このページ上に表示される、「Add Project」ボタンをクリックして、プロジェクト名を指定し、「Select Image and GCP」ボタンより画像ファイルの選択、各種オプションの設定をして、一連の画像処理を開始できる。

¹ ソフトウェア開発・ホスティング用のプラットフォーム, <https://github.com/OpenDroneMap/OpenDroneMap>

² OpenDroneMap: The Missing Guide, p214

3) WebODM による画像処理の実行

WebODM では、点群データ、3D モデル、DEM (DSM/DTM)、オルソ画像等の作成が可能である。オルソ画像、DSM/DTM に関しては Geo TIFF 形式でダウンロードすることができ、GIS ソフトによる解析が可能である。

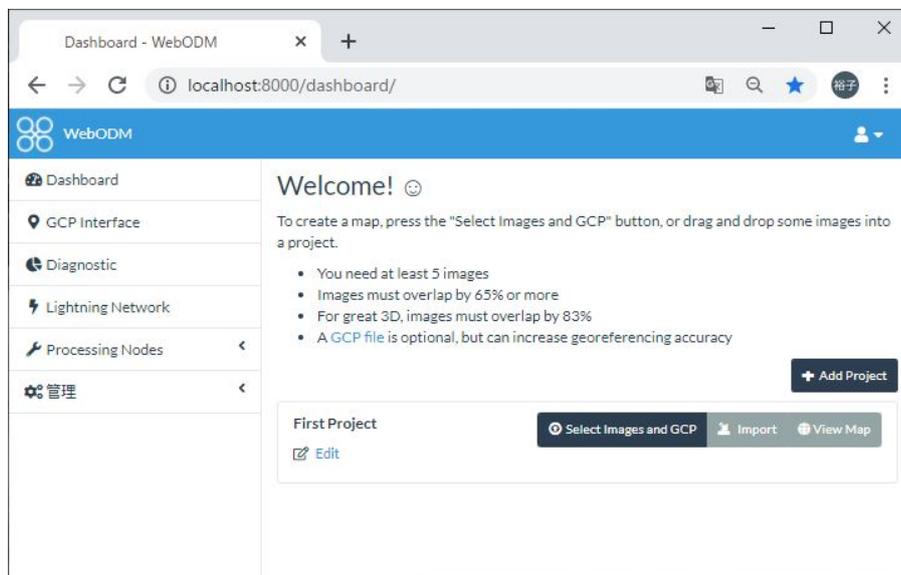


図 4-12 WebODM の Dashboard 画面

オルソ化には、最低5枚以上の画像が必要であり、これらは65%以上がオーバーラップしている必要がある(綿密な3Dを構築する場合は83%以上のオーバーラップが望ましいとされている)。「GCP Interface」ページでは、画像から対空標識等の地上基準点を抽出することができ、このデータを用いることにより位置精度を高めることが可能である。

4) 評価および課題

WebODM によって作成されたオルソ画像の例を、ドローン機種別、撮影高度別（20m、120m）に図 4-13 に示す。

	Mavic 2 Pro	Mavic 2 Zoom	Phantom 4 Pro V2
低高度 (20m)			
高高度 (120m)			

図 4-13 WebODM により作成されたオルソ画像の例

急傾斜地など、地形の変化が著しい箇所では、一部、写真のマッチングがうまくいかず、空白となる部分があり、その傾向は、Phantom 4 Pro V2 撮影による写真でやや多くみられた。

オルソ画像の分解能は、デフォルトで 5 cm と他のソフトに比べてかなり粗めであることから（より高分解能に設定するオプションもあるが、より多くの処理時間を要する）、そのままでは、植栽・下刈り作業実績などの判読は困難とみられるが（図 4-14）、高高度撮影写真から作成したオルソ画像による植栽地や間伐地の面積検証には十分活用可能である。

	Agisoft Metashape	WebODM
Mavic 2 Pro (高度 5m)	 <p>平均分解能：1.99mm</p>	 <p>分解能：50mm</p>

図 4-14 Agisoft Metashape と WebODM で作成したオルソ画像の比較

20m以下の低い高度で撮影した数百枚の画像をオルソ化した際には、7 時間以上の処理時間を要したケースや、長時間の処理の末、メモリーエラーにより処理が失敗するケースなども見られた。メモリ容量を増やす、画像枚数を絞り込む、画像の明度やコントラストを調整するなどの対応により失敗を回避できる可能性があるが、有料のソフトの Agisoft Metashape、Pix4D mapper 及びオルソ化サービスの Dorone Deploy、くみきではオルソ画像の作成は成功していることから、今のところ、WebODM の精度は有料のソフト・サービスの基準には達していないと考えられた。

表 4-11 に WebODM のメリットとデメリットについて整理した。

表 4-11 WebODM のメリットとデメリット

メ リ ッ ト	<ul style="list-style-type: none"> ・ソフトは無料で提供されている。 ・GUI ベースのインタフェースで操作が可能。 ・オープンソースのソフトウェアであるため、アルゴリズムが公開されており、処理の詳細をプログラムレベルで把握できる。 ・バグや新機能を直接開発者に報告、提案できる。
デ メ リ ッ ト	<ul style="list-style-type: none"> ・導入時には、Docker の設定やコマンドラインでのインストール作業に一定の専門知識が必要である（有料のインストーラーも存在する）。 ・最低システム要件として、メモリ 4GB 以上（写真枚数が 100 枚を超える場合は 16GB 以上）が推奨されているが、実際にはかなり高性能 PC でないと、処理が成功しないケースも考えられる。 ・他のオルソ化ソフトやサービスではオルソ画像が作成できた写真データであってもオルソ化できないことがあった。 ・操作画面のインタフェースやマニュアルは英語のみである。 ・質問や不具合に対する公式のサポートはなく、コミュニティフォーラム等へ質問投稿という形となり、迅速かつ適切な回答が得られるとは限らない。

(3) オルソ化するためのサービス

ドローンで撮影した写真からオルソ画像を作成するためには、高性能パソコンや高価なソフトが必要であり、また、処理の段階ごとに様々なパラメータを設定する必要もある（専門的な知識を要する）ことから、一般の者がオルソ画像の作成に取り組む際のハードルが高い。

そこで今回は、高性能パソコンを必要とせず、撮影写真をクラウド上にアップロードすることでオルソ画像を作成するクラウドサービス（以下、「オルソ化サービス」と記載）の検証も行った。

◆操作手順

オルソ化サービスにはいくつか種類があるが、オルソ画像を作成する手順は、概ね図 4-15 のとおりである。いずれも、撮影写真のアップロードや処理画像のダウンロードの際に多少の設定が必要であるものの、オルソ化ソフトと比較すると煩雑な操作が少なく、専門的な知識や技術がなくてもオルソ画像を作成することが可能である。

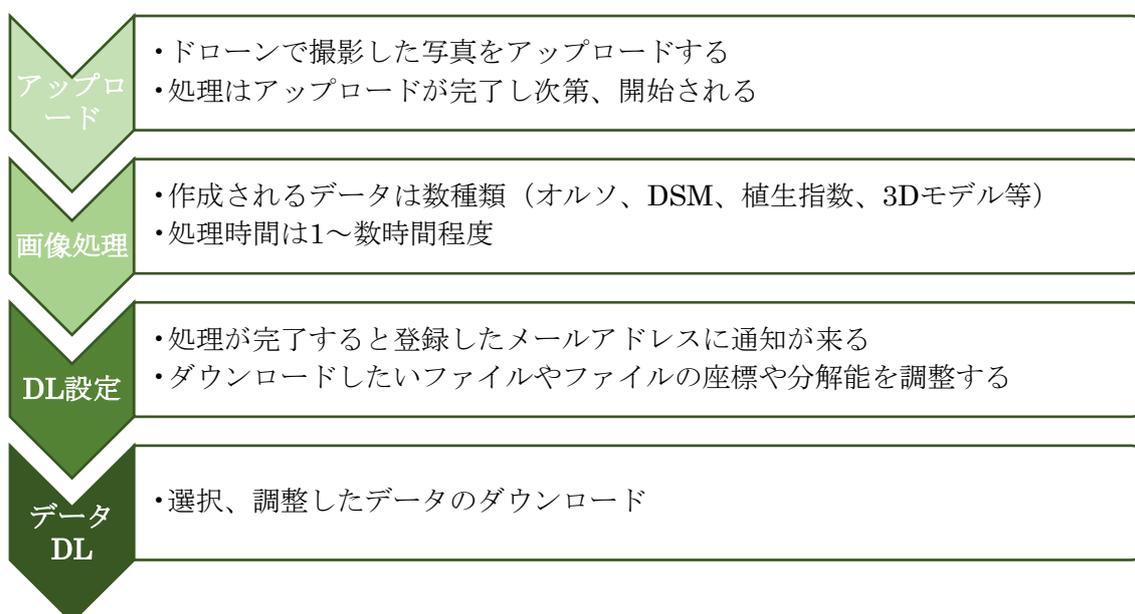


図 4-15 オルソ化サービスによる画像処理からダウンロードまでの流れの例

◆ 検証に使用するクラウドサービスの選定

今回の検証では、処理する写真の枚数と費用等を勘案し、『Drone Deploy』と『くみき』を用いることとした。

表 4-12 検証に使用するクラウドサービスの比較表

	Drone Deploy (Pro)	くみき (エンタープライズプラン)
最大写真枚数	1,000 枚	2,000 枚
想定費用 (税抜)	160,000	216,000
契約期間	年間	年間+月間
備考	最大写真枚数とオルソの分解能によってプランが変わる	独自の対空標記を貸し出すプランもある

※約 13,000 枚の写真を用いて計 56 枚のオルソ画像を作成する

※検証で作成するオルソ画像 1 枚当たりの最大処理枚数は 600 枚

※想定費用は、撮影写真の枚数と処理回数（オルソ画像の枚数）により算出した

(a) Drone Deploy (<https://www.Drone Deploy.com/>)

Drone Deploy はドローンの自動飛行からデータ収集、そしてデータ分析をワンストップで行えるソフトウェアプラットフォームで、利用契約は日本の代理店を通して行う。

Drone Deploy には利用プランが4パターン存在するが、林業事業体等が実際に使用する際の写真の処理枚数や価格を考慮し、今回の検証では『Pro』プラン（表 3-11 赤枠内）を使用することとした。

なお、画像の処理に必要な写真の重複度はオーバーラップが 60%以上、サイドラップが 60%以上とされている（農業の場合は 75%ずつとの記載有）。

表 4-13 Drone Deploy 利用プラン一覧

ご利用プラン	Explore	Pro	Business	Enterprise
価格（年間）	無料	160,000 円 （税抜）	500,000 円 （税抜）	要ご相談
最大写真数 /Map	500	1,000	3,000	5,000
2D Map 分解能	5 cm/pixel	2cm/pixel	1cm/pixel	1cm/pixel
Cloud 処理速度	+	++	+++	++++
サポート	なし	メール	メール	メール/電話

※日本代理店 HP から引用したものを一部改変
<https://dronebank.jp/dronedeploy/pricing.html>

表 4-14 に Drone Deploy のメリットとデメリットを整理した。

表 4-14 Drone Deploy のメリットとデメリット

メリット	<ul style="list-style-type: none"> 高性能 PC とソフトウェアの購入が不要で、普段使用している PC からオルソ画像を作成することができる。 画像処理のために必要な操作が少なく、オルソ画像の作成に専門的な知識を必要としない。 契約期間は一年間で、期間内であれば何度も画像処理が可能。 写真の処理枚数が多い時の画像処理時間が、オルソ化ソフトを用いたときに比べて短い。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 契約プランによって、画像処理のできる最大写真枚数が決められている。 契約プランによって、オルソ画像の最大分解能が決まっており、飛行高度によっては他のソフトやサービスに比べて画像の分解能が劣る。 運営がアメリカの企業であり、トラブル発生の際のやり取りは日本の代理店を通して行う必要があるため、解決までに時間がかかる。

Drone Deploy は作成されるオルソ画像の最大分解能が決まっており、飛行高度によっては撮影写真の分解能を大幅に低下させて画像処理が行われることがある。図 4-16 は植栽された苗木の判読のため、地上 5m を飛行し撮影したものであるが、分解能は 15.24 mm/pixel 程度であった。この分解能では植生の分布はわかるものの、苗木を判読することは困難であった。



※Mavic 2 Pro (飛行高度 5m) の撮影画像から作成したオルソ画像

図 4-16 Drone Deploy で作成したオルソ画像と拡大図

一方で、比較的高高度（高度 70m 以上）から撮影した画像は、それ自体の分解能が低くなるため、画像処理による分解能低下の影響を受けず、植栽の確認や間伐の施業確認等であれば問題なく活用できると考えられた。

Drone Deploy は、画像処理 1 回あたりの最大写真枚数は決まっているものの、処理回数等による制限は設けられていないため、一定の飛行高度以上（高度 70m 以上）の写真を用いたオルソ画像を多数作成したい場合に適していると考えられた。

(b) くみき (<https://smx-kumiki.com/>)

くみきは、オルソ画像や地形データを作成するクラウドサービスであり、株式会社スカイマティクスが運営している。くみきは、Drone Deploy と同様、撮影枚数に応じてプランを選択し、必要な分だけオルソ画像を作成できる。

くみきには複数の利用プランが存在するが、今回の検証では、撮影した写真の枚数を考慮して『基本契約+エンタープライズプラン（エンタープライズプランは 3 ライセンス契約）』（表 4-15 赤枠内）を使用することとした（契約は、『基本契約』をベースとしてオプションプラン（スタンダードプラン、エンタープライズプラン等）を追加する）。

なお、画像の処理には、オーバーラップが 85%以上、サイドラップが 75%以上で撮影した 4 枚以上の写真を含むコース（ラップ率を加味したドローンの飛行ルートの直線部分）が 3 コース分以上の写真が必要とされている。

表 4-15 くみき利用プラン一覧

料金プラン	基本契約	位置合わせ無し	位置合わせ無し
		スタンダードプラン	エンタープライズプラン
使用料	36,000 円/年	30,000 円/月	60,000 円/月
契約期間	1 年間	1 ヶ月	1 ヶ月
月間処理画像枚数	100 枚	+3,000 枚	+6,000 枚
プロジェクト処理最大枚数	100 枚	500 枚	2,000 枚
ストレージ上限	50GB	+50GB	+100GB
ユーザー数	1 アカウント	—	—

※くみき HP (<https://smx-kumiki.com/plan/>) から引用したものを一部改変

※記載したプランのほかに、『位置合わせ有り（くみき PRO：GNSS 内蔵型対空標識「くみきマーカー」を設置することで高精度な地形データを生成するサービス）』が存在する

表 4-16 にくみきのメリットとデメリットを整理した。

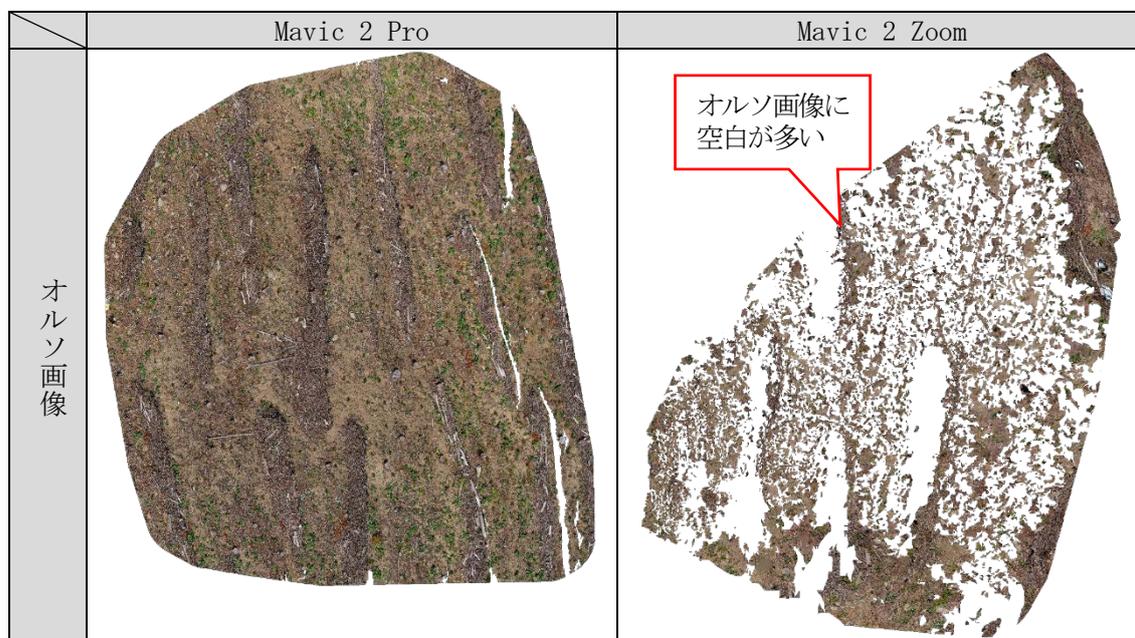
表 4-16 くみきのメリットとデメリット

メリット	<ul style="list-style-type: none"> 高性能 PC とソフトウェアの購入が不要で、普段使用している PC からオルソ画像を作成することができる（Windows：メモリ 4GB 以上、macOS：メモリ 8GB 以上）。 画像処理に必要な操作が少なく、オルソ画像の作成に専門的な知識を必要としない。 写真の処理枚数が多い時の画像処理時間がオルソ化ソフトに比べて短い。 作成されるオルソ画像の分解能は撮影写真の分解能次第であり、高分解能の写真を撮影すれば高分解能のオルソ画像ができる。 運営が日本の企業であり、トラブル発生の際の問い合わせやサポートが充実している。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 契約プランによって、画像処理のできる最大写真枚数や処理の合計写真枚数が決められている。 処理の写真の枚数が多いと、その都度、追加費用がかかる。そのため、処理に不要な写真を予め省いてからアップロードを行う必要がある。 処理に必要な画像の重複度の比率が高く（オーバーラップ：85%、サイドラップ：75%）、写真の枚数が嵩む。 機種や撮影高度によっては写真のマッチングがうまくいかず、不具合が発生することがある。

くみきは Drone Deploy とは異なり、オルソ画像の最大分解能が決まっていないため撮影高度によって高分解能のオルソ画像を作成することが可能であるが、低高度や被写体からの距離が極端に変わる場所（植栽地横の森林や急傾斜地）では撮影写真のマッチングがうまくいかず、作成データに不具合が生じることがある。

図 4-17 は植栽された苗木の判読のため、地上 10m を飛行し撮影したものである。Mavic 2 Pro では比較的うまく写真のマッチングがなされているが、Mavic 2 Zoom ではうまくいかずオルソ画像の空白や 3D 点群の大きなズレ等が確認された。このエラーは、他のオルソ化ソフトやオルソ化サービスでは見られなかった。原因として、①撮影した写真の位置座標の誤差、②撮影したカメラのレンズの歪み、③撮影範囲内の微地形により処理に必要な重複度の比率を得られない箇所があった、が考えられる。

また、間伐地等の急激な高低差がある地点（樹頂と地表が同時に見える場合等）では、オルソ画像が作成できても画像自体の精度が悪いという事例が確認された。これは、くみきのオルソ化アルゴリズムが、極端に高低差のある画像に対応しきれていないためと考えられる。そのため、くみきによるオルソ化は、高低差の急激な変化が少ない植栽地を高高度（高度 70m 以上）から撮影する場合には適していると考えられる。



※下刈り作業前（高度 10m）の撮影写真から作成したオルソ画像

図 4-17 くみきによる画像処理で発生した不具合

4.6 面積検証

各種ドローンを用いて、植付・下刈り箇所及び間伐実施箇所で自動飛行によるプログラム撮影を行い、撮影した単写真からオルソ画像を作成し、測量成果との面積精度の検証を行った。

4.6.1 植付・下刈り箇所での面積検証

植付・下刈り箇所をトータルステーションで測量して面積検証用プロットを作成し、各種ドローンで撮影・作成したオルソ画像との面積比較を行った。検証には Phantom 4 Pro V2、Mavic 2 Pro、Mavic 2 Zoom、Inspire2、Phantom 4 RTK の5機種を使用した。ドローンの撮影高度は 70m 及び 120m とし、いずれも、自動飛行によるプログラム撮影を実施した。検証に際しては、周囲の測点杭(13 点)上に 75×75cm の対空標識を設置し、オルソ画像上での目印とした。

面積検証については、まず、Agisoft Metashape Professional を用いて、ドローンの機種の違いによるオルソ画像上での面積の違いについて確認した。ここでの面積測定には、写真に写り込んでいる対空標識にポイントを設定することによりオルソ化と併せて面積測定を行うという Agisoft Metashape Professional の機能を用いた。結果は表 4-17 に示すとおり、各機種とも撮影高度 70m 及び 120m のいずれにおいても、±5%程度に収まる面積精度であった。

次に、オルソ化ソフトの違いについて、Mavic 2 Pro の 70m と 120m の画像を用いて検証を行った。ここでの面積測定は、オルソ画像を作成した後に、GIS の面積計測ツールを用いてオルソ画像の対空標識をつないだ範囲の面積を計測する手法を用いた。ただし、オルソ画像を作成する際、画像の合成により林縁部の対空標識が確認できなくなる箇所が発生したことから、林縁部で確認できた測点と、苗木検証用プロットの 4 隅の測点 3 点を含む計 12 点を結んだ範囲で面積検証を行った(従って、表 4-17 と表 4-18 とで面積が異なっている)。結果は表 4-18 に示すとおり、いずれのソフトでも概ね±5%程度の面積精度に収まった。



植栽地の状況



トータルステーション測量



対空標識の設置状況



トータルステーション測点と Mavic 2 Pro によるオルソ画像

※検証のため位置補正を行っていないことから、位置の誤差は大きいですが、面積精度は5%以内となっている。

写真 4-3 植栽実施箇所での面積検証の状況

表 4-17 植栽実施箇所でのドローンの違いによる面積検証

測量方法名、ドローン機種名	撮影高度	面積 (ha)	TS を 100% とした時の割合	誤差	分解能 (cm/pixel)
トータルステーション測量	-	1.046	100.0%	0.0%	-
Phantom 4 Pro V2	120	1.101	105.3%	5.3%	2.74
Phantom 4 Pro V2	70	1.042	99.6%	-0.4%	1.59
Mavic 2 Pro	120	1.055	100.9%	0.9%	2.43
Mavic 2 Pro	70	1.019	97.4%	-2.6%	1.40
Mavic 2 Zoom	120	1.020	97.5%	-2.5%	3.43
Mavic 2 Zoom	70	1.010	96.6%	-3.4%	1.99
Inspire 2	120	1.038	99.2%	-0.8%	2.12
Inspire 2	70	1.036	99.0%	-1.0%	1.36
Phantom 4 RTK	120	1.037	99.1%	-0.9%	2.83
Phantom 4 RTK	70	1.038	99.3%	-0.7%	1.81

※検証には Agisoft Metashape Professional を使用した。

表 4-18 植栽実施箇所でのオルソ化ソフトによる面積検証結果

測量方法名、オルソ化に使用したソフト名	撮影高度	面積 (ha)	TS を 100% とした時の割合	誤差
トータルステーション測量	-	0.768	100%	0.0%
Agisoft Metashape Professional	120	0.770	100.2%	0.2%
	70	0.748	97.4%	-2.6%
Pix4D mapper	120	0.774	100.8%	0.8%
	70	0.757	98.6%	-1.4%
OpenDroneMap	120	0.767	99.9%	-0.1%
	70	0.755	98.4%	-1.6%
DroneDeploy	120	0.804	105.2%	4.8%
	70	0.782	101.8%	1.8%
くみき	120	0.762	99.3%	-0.7%
	70	0.754	98.2%	-1.8%

※検証には Mavic 2 Pro で撮影した画像を使用した。

表 4-19、図 4-18 は、植栽検証箇所について GIS 上で境界の林相の違いを確認しながら境界線を引き、GIS の面積計測ツールを用いて面積を測定した結果である。トータルステーションの境界測量との比較では、いずれのオルソ画像でも概ね 10%以内の面積精度となった。今回の検証地では、林縁の樹冠が植栽地側に入り込んでいる箇所が多く、それに沿って境界線を引くことから、実際の測量面積よりやや過少に計測されることとなった。なお、判読作業は GIS を使用できる一般職員が実施した。

表 4-19 オルソ画像による植栽地の面積測定

機種	撮影高度	面積 (ha)	測量を 100% とした時の割合	誤差
トータルステーション測量	-	1.010	100%	
Phantom 4 Pro V2	70	1.051	95.5%	-4.5%
	120	1.078	98.0%	-2.0%
Mavic 2 Pro	70	0.99	90.0%	-10.0%
	120	1.054	95.8%	-4.2%
Mavic 2 Zoom	70	0.991	90.1%	-9.9%
	120	1.008	91.6%	-8.4%

	
Phantom 4 Pro V2(70m) の境界判読結果	Phantom 4 Pro V2(120m) の境界判読結果
	
Mavic 2 Pro(70m) の境界判読結果	Mavic 2 Pro(120m) の境界判読結果
	
Mavic 2 Zoom(70m) の境界判読結果	Mavic 2 Zoom(120m) の境界判読結果
 <p style="text-align: center;">トータルステーションの測量成果（面積検証用）</p>	

※トータルステーションの測量成果と重ねたオルソ画像には若干の位置ずれがある。
 ※当該一部、林相界以外が境界となっている箇所があることから、それらについては、対空標識の測点を用いることとした。

図 4-18 植栽植栽実施箇所における境界判読結果

4.6.2 間伐実施箇所での面積検証

間伐実施箇所に面積検証用プロットを作成し、電子コンパスで測量するとともに、各種ドローンで撮影・作成したオルソ画像による面積との比較を行った。

間伐前の撮影には、Phantom 4 Pro V2、Mavic 2 Pro、Mavic 2 Zoomの3機種を使用し、間伐後の撮影には、この3機に加えてPhantom 4 RTKを使用した。撮影高度は、森林の上空を撮影する場合に立木の高さを加味して安全に飛行できる最低高度と考えられる70mと、法定高度150mを超えないことを念頭に運用上ほぼ最高高度と考えられる120mとし、いずれも自動飛行によるプログラム撮影を行った。また、撮影写真のラップ率については、一般的にはオーバーラップ80%、サイドラップ60%が基本であるが、山間部の状況を勘案し、確実なオルソ化のためオーバーラップ90%、サイドラップ70%とした。

電子コンパスにおける測量成果とドローンで撮影したオルソ画像の面積比較のためには、植栽地と同様に、測量点に対空標識を設置して比較する必要がある。間伐実施後に境界測量を実施した際、上空が開けた個所に測量点が配置できるよう試みたが、全ての測量点のうち上空の樹冠が開け、ドローンで確認できると判断されるものは4箇所のみであった。この4点に75×75cmの対空標識を設置し、これらを結ぶ範囲を用いて測量成果とドローンで撮影したオルソ画像との面積比較を行うこととした。撮影画像は、いずれもオルソ化処理を行い、検証を行った。

なお、Phantom 4 RTKは間伐施業後のみ撮影を試みたが、送信機からの伝送が届かない距離(350m以上)に達するとフェールセーフ機構により自動帰還してしまったほか、十分な衛星数(10以上)が取得できないとプロペラのモータが起動しない等の問題が発生したことからオルソ化に必要な写真の撮影を行うことはできなかった。

電子コンパスによる測量成果とドローンによるオルソ画像の面積比較について、上空が開けた測量点4点に設置した対空標識については、オルソ化処理により画像が合成された関係から、対空標識が枝条に隠れてしまい、オルソ画像上で対空標識が確認できたのは1点のみであったことから、植栽地のような対空標識を用いた面積検証はできなかった。

列状間伐の場合、間伐列が一定の幅を持っていることから、間伐列に測量点が位置する箇所に対空標識を設置すれば、オルソ化に際しても明瞭に視認することができる。一方、劣勢木を中心に伐採する定性間伐は、列状間伐に比べて上層樹冠の開空割合は少ない。このため、対空標識を設置する場合には、上空から視認できるよう、対空標識を設置する測量点周辺の上層木を間伐対象としておくなどの必要がある。

今回は、面積検証を行うため、測量点に対空標識を設置したが、検査や申請など実務で用いる場合、対空標識設置の手間やオルソ化による画像の合成で対空標識が見えなくなってしまう結果を踏まえれば、間伐対象林分の面積確認のために対空標識を用いることは効率的ではない。そこで、GIS上で面積計測ツールを用いて、間伐前後のオルソ画像から林相の変化からオルソ画像上で間伐対象林分の境界を括り、面積の比較を行った。

表4-20、図4-19は、間伐対象林分について、間伐の実施状況と周囲との林相の違いを踏まえ、GIS上で境界線を引き、面積を測定した結果である。電子コンパスによる測量結果との比較では、Mavic2Proの1事例を除き面積精度は5%以内となった。Mavic2Proの誤差が-11.3%とやや悪かったのは、オルソ化された画像に歪みがあったことが原因であり、判読自体は適切に行われている。また、判読については、上空から見た間伐の状況や林相判読など、まったく経験のない職員には難しいと判断されたため、GISやリモートセンシング等の利用経験のある職員が実施した。



周囲測量の状況



間伐後の林況

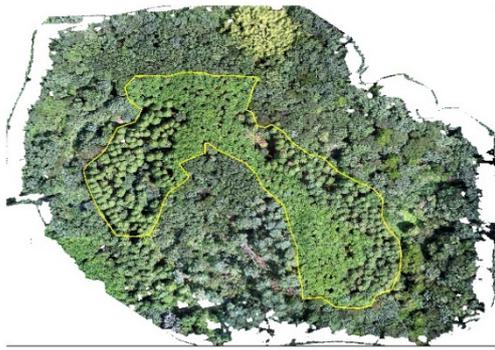


オルソで確認できた対空標識

写真 4-4 間伐地の状況

表 4-20 オルソ画像による間伐地の面積測定

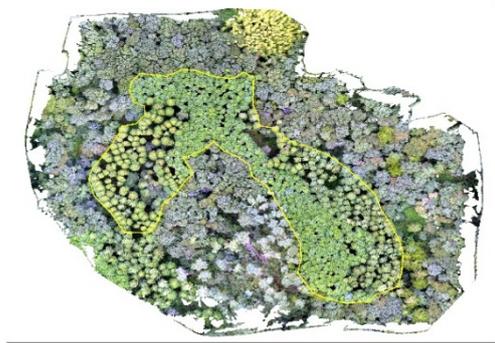
機種	撮影高度	面積 (ha)	測量を 100% とした時の割合	誤差
電子コンパス測量	-	1.409	100%	
Phantom 4 Pro V2	70	1.360	96.5%	-3.5%
	120	1.384	98.2%	-1.8%
Mavic 2 Pro	70	1.329	94.3%	-5.7%
	120	1.250	88.7%	-11.3%
Mavic 2 Zoom	70	1.367	97.0%	-3.0%
	120	1.333	94.6%	-5.4%



Phantom 4 Pro V2(70m) の境界判読結果



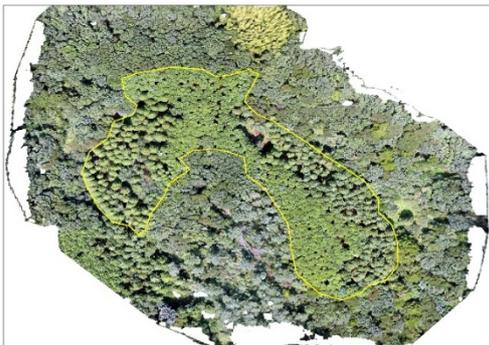
Phantom 4 Pro V2(120m) の境界判読結果



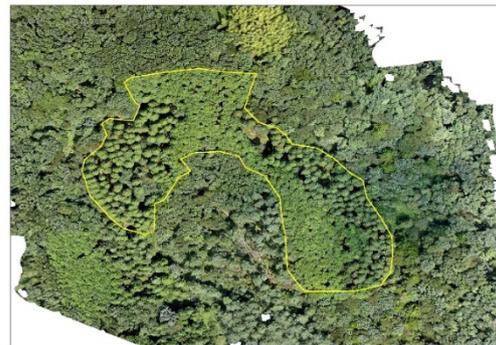
Mavic 2 Pro(70m) の境界判読結果



Mavic 2 Pro(120m) の境界判読結果



Mavic 2 Zoom(70m) の境界判読結果



Mavic 2 Zoom(120m) の境界判読結果



電子コンパスの測量成果

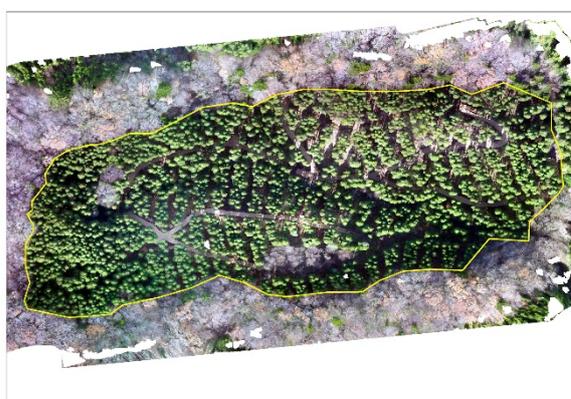
※電子コンパスの測量成果と重ねたオルソ画像には若干の位置ずれがある。

図 4-19 定性間伐実施箇所における境界判読結果

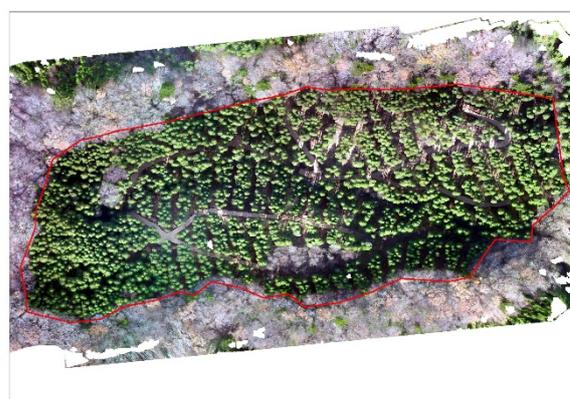
今回、間伐実施箇所での面積検証は、樹冠下の劣勢木を中心とした定性間伐であったことから対空標識が確認できないなど、植栽地と同様の検証はできず、間伐対象地の境界を林相判読しつつ、樹冠上から境界線を引き、測量成果との比較を行うこととなった。

そこで、福島県川内村で過去に撮影した列状間伐実施林分のオルソ画像を用いて、境界の確認状況について検証を行った。

図 4-20 は、福島県川内村で撮影したスギの列状間伐箇所を判読した結果である。列状間伐の箇所周辺が広葉樹であったことから、落葉期に撮影された間伐後の境界線は非常に明瞭となっている。ただし、列状間伐を行った林分は伐採列と保残列がオルソ画像で明瞭に確認することができることから、仮に隣接する林分が同じ林相であっても境界線を確認することは容易である。このオルソ画像では、対空標識を設置していなかったため GIS 上で面積計測ツールを用いてオルソ画像上での面積検証を行った。その結果、面積精度は 95.6% (誤差率 -4.3%) となり、植栽実施箇所での対空標識を用いた面積検証とほぼ同等の精度となった。



オルソ画像の境界判読結果



ポケットコンパスによる測量成果

図 4-20 列状間伐箇所における境界判読結果

4.6.3 面積検証の結果

植付・下刈り箇所（植栽後）と間伐実施箇所（間伐前後）の面積検証の結果は以下のとおりである。

（１）植付・下刈り箇所

植付・下刈り箇所については、前項で示したとおり、測量成果に対し、いずれのドローンで撮影したオルソデータも面積精度で5%以内に収まる精度となった。この結果から、ドローン撮影によるオルソ画像の面積精度は、林業分野で十分利用可能な精度であると考えられた。また、費用対効果を勘案すれば、RTK 測量が可能な Phantom 4 RTK でなくても、比較的安価な Phantom 4 Pro V2 や Mavic 2 Pro でも必要な精度が得られるものと考えられた。

GIS の面積計測ツールを用いてオルソ画像上で面積測定する場合は、基本的には対空標識などは用いず、林縁の林相境に沿って境界を引くことになる。トータルステーションの境界測量との比較では、いずれのオルソ画像でも概ね 10%以内の誤差率となった。今回の検証地では、林縁の樹冠が植栽地側に入り込んでいる箇所が多く、それに沿って境界線を引くことから、実際の測量面積よりやや過少に計測されることとなったが、境界の林相が明瞭であるため、比較的容易に実施することができる有効な手法と考えられる。

（２）間伐箇所

間伐実施箇所における面積検証では、間伐後に比較的上空が開けている測量点 4 点に対空標識を設置し、GIS の面積計測ツールを用いてオルソ画像上で面積を測定する予定であったが、オルソ化による画像の合成により 4 点中 3 点で対空標識に枝条が被る結果となった。

そこで、GIS 上でオルソ画像の林相を判読しつつ、間伐範囲の境に境界線を引き、面積の測定を行った。その結果、画像の歪みが影響した一部のデータを除き、誤差率は、ほぼ 5%程度に収まった。また、過去に撮影した列状間伐実施箇所のオルソ画像を用いて林相判読による面積測定を行った結果、誤差率はほぼ 5%以内となった。

間伐の実施箇所は、植栽地のように周囲との境界が明瞭ではない場合が多いことから、GIS 上でオルソ画像に地形図や林小班データ等を重ね合わせ、林相の違いや間伐の実施状況等を確認しつつ、境界を確定し、面積を測定する必要がある。

一方で、列状間伐や上層間伐など、間伐の状況が上空から明瞭に把握できる場合は、オルソ画像のみでも施業範囲を確定することが容易である。

4.7 施業の実施状況の検証

4.7.1 植付状況の検証

(1) 撮影・オルソ化

植栽地内に 20×20m のプロットを 2 箇所設置し、プロット内の植付状況について検証を行った。プロットの 4 隅に対空標識を設置し、オルソ画像上の目印とした。

検証には、Phantom 4 Pro V2、Mavic 2 Pro、Mavic 2 Zoom の 3 機種を使用した。撮影高度は、Phantom 4 Pro V2 と Mavic 2 Pro は、5m、10m、20m、Mavic 2 Zoom は、10m、20m とし、いずれも自動飛行によるプログラム撮影を行った。撮影画像は、いずれもオルソ化処理を行い、検証を行った。

ドローンによる撮影高度は、カメラの分解能と反比例の関係にあることから、撮影高度が高ければ苗木を明瞭に把握することはできず、逆に、高度を下げれば苗木を明瞭に把握することができるようになる。他方、ドローンによる撮影高度が高ければ撮影枚数は少なくて済むが、逆に撮影高度が低くなると、撮影枚数は多くなり撮影やオルソ化処理に時間がかかることとなる。

高度 20m の場合、Phantom 4 Pro V2 及び Mavic 2 Pro は地上分解能 0.5cm、Mavic 2 Zoom(望遠) は地上分解能 0.4cm であり、色調や形状、植栽配列などをもとに苗木の判読が可能と考えられた。

(2) 判読

撮影したオルソ画像を、①A3 サイズの用紙に打ち出して、紙媒体で苗木の判読を行う方法、②Windows10 に標準装備されているペイント 3D を用いて、PC 上で苗木の判読を行う方法の 2 とおりで実施した。

比較すると、PC 上での判読の方が紙媒体での判読よりも良い結果となった。これは、PC 上で苗木の判読を行うペイント 3D は、画像を拡大縮小することにより、広域な画像での植栽列の確認、拡大した画像による苗木の形状等の確認ができること、画面上のペイント機能を用いて確認した苗木にチェック(丸印など)を書き込むことが可能であることなどが要因と思われた。

具体的には、撮影高度 20m のオルソ画像の場合、ペイント 3D における正解率は 96~82%であったのに対し、紙媒体上での確認では 78~88%の正解率となった(表 4-21 参照)。ただし、撮影高度を 10m、5m と下げた場合は分解能が上がり、苗木が明瞭に確認できることから、ペイント 3D、紙媒体でも苗木判読の正解率は上がる傾向が見られた。

今回は、あえて判読経験のない一般の技術職員に行わせたが、地域の特性(苗木の大きさや植栽方法など)を熟知した者が判読を行えば解答率が向上すると考えられる。

表 4-21 オルソ画像を利用したヒノキ苗木植付状況の確認結果

NO.	作業媒体名	プロット	機種	高度 (m)	分解能 (mm/pixel)	植栽本数 (本)	判読正解本数 (本)	正解率 (%)	作業時間
1	紙	1	M2P	5	1.99	111	103	90.1%	7 : 12
2	紙	1	M2P	10	2.73	111	115	96.4%	8 : 33
3	紙	1	M2P	20	5.21	111	96	85.6%	7 : 06
4	紙	1	M2Z	10	2.04	111	101	90.1%	6 : 57
5	紙	1	M2Z	20	3.57	111	96	84.7%	6 : 48
6	紙	1	P4P	5	2.21	111	90	78.4%	6 : 04
7	紙	1	P4P	10	3.57	111	90	80.2%	5 : 53
8	紙	1	P4P	20	6.25	111	88	78.4%	6 : 23
9	紙	2	M2P	5	1.60	112	104	91.2%	5 : 58
10	紙	2	M2P	10	2.17	112	99	88.4%	9 : 06
11	紙	2	M2P	20	5.39	112	99	87.5%	6 : 12
12	紙	2	M2Z	10	2.54	112	107	90.2%	5 : 43
13	紙	2	M2Z	20	4.11	112	102	82.1%	6 : 05
14	紙	2	P4P	5	1.75	112	107	90.2%	6 : 13
15	紙	2	P4P	10	3.22	112	104	88.4%	6 : 07
16	紙	2	P4P	20	5.96	112	94	82.1%	7 : 03
17	ペイント 3D	1	M2P	5	1.99	111	110	94.6%	7 : 22
18	ペイント 3D	1	M2P	10	2.73	111	111	96.4%	16 : 50
19	ペイント 3D	1	M2P	20	5.21	111	109	96.4%	7 : 26
20	ペイント 3D	1	M2Z	10	2.04	111	110	96.4%	6 : 43
21	ペイント 3D	1	M2Z	20	3.57	111	109	96.4%	6 : 26
22	ペイント 3D	1	P4P	5	2.21	111	108	94.6%	6 : 14
23	ペイント 3D	1	P4P	10	3.57	111	104	92.8%	6 : 50
24	ペイント 3D	1	P4P	20	6.25	111	102	90.1%	7 : 08
25	ペイント 3D	2	M2P	5	1.60	112	107	92.0%	6 : 38
26	ペイント 3D	2	M2P	10	2.17	112	111	96.4%	17 : 25
27	ペイント 3D	2	M2P	20	5.39	112	95	84.8%	7 : 10
28	ペイント 3D	2	M2Z	10	2.54	112	107	92.9%	6 : 23
29	ペイント 3D	2	M2Z	20	4.11	112	100	86.6%	6 : 15
30	ペイント 3D	2	P4P	5	1.75	112	105	92.9%	6 : 13
31	ペイント 3D	2	P4P	10	3.22	112	101	88.4%	6 : 47
32	ペイント 3D	2	P4P	20	5.96	112	93	82.1%	7 : 31

※ プロット1内の苗木本数：ヒノキ111本、プロット2内の植栽本数：ヒノキ112本、スギ4本

※ 機種の略称は次のとおり。P4P：Phantom 4 PRO V2、M2P：Mavic 2 Pro、M2Z：Mavic 2 Zoom

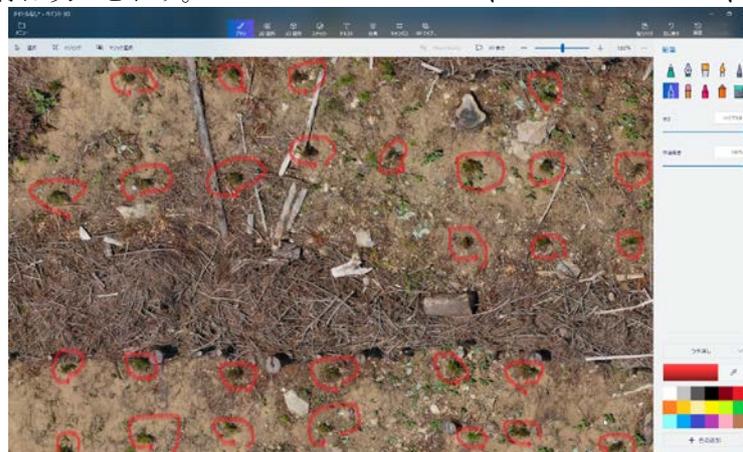


図 4-21 ペイント 3D を用いた苗木植付本数の検証 (Mavic 2 Pro 高度 20m)



高度 70m
(オルソ Mavic2Pro)



高度 20m
(オルソ Mavic2Pro)



高度 70m
(単写真 Mavic2Pro)



高度 20m
(単写真 Mavic2Pro)



高度 10m
(オルソ Mavic2Pro)



高度 5m
(オルソ Mavic2Pro)



高度 10m
(単写真 Mavic2Pro)



高度 5m
(単写真 Mavic2Pro)

図 4-22 撮影高度による苗木の分解能の違い

4.7.2 下刈り状況の検証

(1) 撮影・オルソ化

下刈り状況の検証には、高高度から撮影したオルソ画像を使用した。またこれに加え植栽された苗木の誤伐等を確認するため、植栽地内に設定した植付検証用のプロット（20×20m、2箇所）を用いた。

下刈りの状況については、70-120m 程度で撮影された下刈り前後のオルソ画像の比較により、刈り取られた草本の状況や色調の変化から確実な確認が可能であるが、今回の検証では、ドローンによる撮影回数を最小限にすること、下刈り直後であれば刈り払われた草本が明瞭に確認でき、新たな草本もまだ生育していないため下刈りの実施状況の確認は可能であると見込まれたことから、下刈り後のオルソ画像のみで検証を行った。

今回の検証では、ドローンでの撮影は下刈りから 10 日程度後に実施した。検証には、Phantom 4 Pro V2、Mavic 2 Pro、Mavic 2 Zoom の 3 機種を使用した。高高度での撮影は、3 機種とも 70m と 120m で行った。低高度での撮影は、Phantom 4 Pro V2 と Mavic 2 Pro は、5m、10m、20m、Mavic 2 Zoom は、10m、20m とした。撮影画像はオルソ化処理を行い、検証を行った。

(2) 判読

高高度（70-120m）で撮影したオルソ画像について、GIS 上で画像を拡大し、下刈りの状況の確認を行った。図 4-23 に各オルソ画像の拡大図を示した。Mavic2Pro(120m)は、天候とカメラの設定の関係で画像がややぶれているが、いずれの画像でも刈り払われた草本（白っぽく見えるもの）が確認できた。また、刈り払い後に生育したと思われる草本類が緑色に分布しているのも分かる。今回の検証では、70m、120m のいずれの画像でも下刈り後の様子が確認できた。

	
Phantom 4 Pro V2(70m、拡大画像)	Phantom 4 Pro V2(120m、拡大画像)
	
Mavic 2 Pro(70m、拡大画像)	Mavic 2 Pro(120m、拡大画像)
	
Mavic 2 Zoom(70m、拡大画像)	Mavic 2 Zoom(120m、拡大画像)

図 4-23 高高度のオルソ画像による下刈り状況の確認

苗木の誤伐率の把握のため、低高度（5-20m）で撮影したオルソ画像について、Windows10に標準装備されているペイント 3D を用いて、下刈り後の苗木本数の判読検証を行った。判読者は、リモートセンシング等の利用経験のない一般の技術職員が行った。

判読検証の結果、プロット1と2で判読の正解率に違いが見られた（表 4-22）。これは、正解率の低いプロット2では判読者がヒノキ苗の特徴からヒノキと確実に分かるものだけ選定した一方、正解率が高いプロット1では、判読者が、ヒノキの特徴に加え、植栽列の方向や植栽間隔を加味して判読したためであった。このように、判読の際、植栽列の方向や植栽間隔を意識する方が、苗木の正解率が上がる傾向が見られた。

下刈り後の植栽苗を、その色調や形状だけで判読しようとする、刈り払われた草本等の影響で解答率がかなり低くなる可能性がある。苗木を確実に判別するためには、まず明瞭にヒノキと確認できる苗木を判別した上で、そこから植栽列の方向と植栽間隔を基準にして苗木を探すとともに、ある程度苗木を判別した段階で、画像を広い範囲で確認し、チェックした苗木の植栽列の並びが抜けている箇所を中心に、植栽の有無を判断することが必要である（図 4-24）。

この他、単写真では確認できていた苗木が、オルソ化することによって、複数の写真画像が合成されてぼやけてしまい、かえって判読しにくくなる事例も見られたことから、オルソ化の手間も勘案すれば単写真での判読も有効と考えられる（図 4-25）。ただし、単写真を用いる場合は、オルソ画像のように画像上で面積や距離の計測ができないことから、現地にプロット等を事前に設置する必要がある。また、その際、撮影の角度を変え、下草と苗木の違いが分かるように斜め写真なども添付することが有効と考えられる。

表 4-22 オルソ画像を利用した下刈り後のヒノキ苗木の確認結果

NO.	作業媒体名	プロット	機種	高度 (m)	分解能 (mm/pixel)	植栽本数 (本)	判読正解本数 (本)	正解率 (%)	作業時間
1	ペイント3D	1	M2P	5	1.48	109	100	91.7%	20 : 40
2	ペイント3D	1	M2P	10	3.43	109	76	69.7%	9 : 00
3	ペイント3D	1	M2P	20	6.06	109	97	89.0%	7 : 48
4	ペイント3D	1	M2Z	10	1.68	109	105	96.3%	7 : 32
5	ペイント3D	1	M2Z	20	3.98	109	100	91.7%	6 : 20
6	ペイント3D	1	P4P	5	2.28	109	105	96.3%	10 : 09
7	ペイント3D	1	P4P	10	2.61	109	99	90.8%	6 : 23
8	ペイント3D	1	P4P	20	4.48	109	95	87.2%	6 : 22
9	ペイント3D	2	M2P	5	2.42	111	75	65.2%	7 : 35
10	ペイント3D	2	M2P	10	3.01	111	69	60.0%	6 : 13
11	ペイント3D	2	M2P	20	5.80	111	59	51.3%	5 : 03
12	ペイント3D	2	M2Z	10	2.23	111	65	56.5%	5 : 46
13	ペイント3D	2	M2Z	20	4.13	111	77	67.0%	6 : 13
14	ペイント3D	2	P4P	5	2.43	111	80	69.6%	5 : 52
15	ペイント3D	2	P4P	10	3.43	111	74	64.3%	5 : 28
16	ペイント3D	2	P4P	20	6.34	111	48	41.7%	5 : 14

※ プロット1内の苗木本数：ヒノキ109本、プロット2内の植栽本数：ヒノキ111本、スギ4本

※ 機種略称は次のとおり。P4P：Phantom 4 PRO V2、M2P：Mavic 2 Pro、M2Z：Mavic 2 Zoom



図 4-24 植栽列と植栽間隔を目安に苗木を判読する例



苗木(単写真、Mavic2Pro、高度 20m)



苗木(オルソ画像 Mavic2Pro、高度 20m)

図 4-25 単写真とオルソ画像の苗木の見え方の例

4.7.3 間伐状況の検証

(1) 撮影・オルソ化

間伐状況の検証には、測量データと間伐前後のオルソ画像を GIS 上で重ね合わせ、これらを判読するという方法で行った。具体的には、間伐箇所の中央部に 0.1ha のメッシュを設定し、間伐前と間伐後の立木本数を目視で計測した。林相判読は、写真判読の経験のない職員では困難と思われたことから、GIS やリモートセンシング等の利用経験がある職員が実施した。判読時間は、判読前画像が 23 分、間伐後の画像が 15 分を要した。判読時間は撮影時の明るさや樹木の色調に左右されると考えられる。

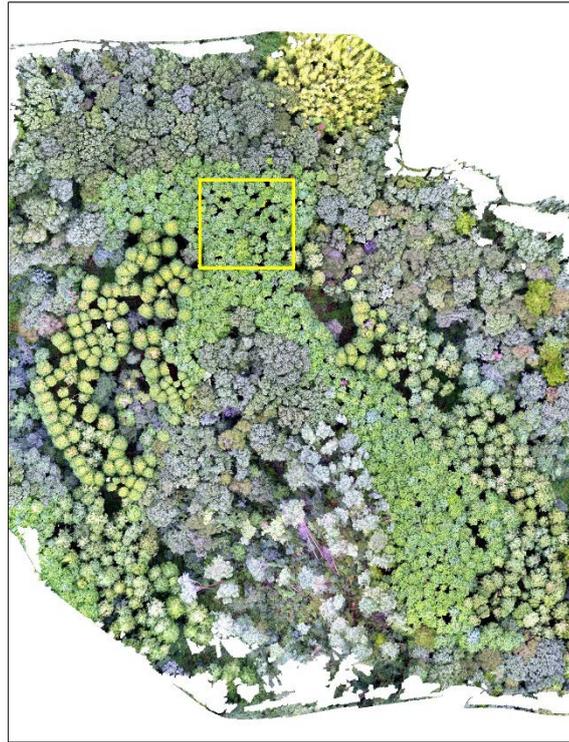
判読結果は、間伐前が 104 本、間伐後が 96 本、間伐率 7.7% という結果となった。実際の間伐率(本数)は 30% であり、樹冠下の劣勢木について上空から確認できなかったと考えられる。このようにオルソ画像だけでは間伐本数(間伐率)を把握できない場合には、林内での本数調査が必要となる。次項において、定性間伐における簡易な本数調査の提案を行った。

このように、樹冠下の劣勢木を中心とした定性間伐については、オルソ画像による間伐本数の確認が充分にはできなかったが、福島県川内村で過去に撮影した列状間伐実施林分のオルソ画像を用いて、本数や間伐列の判読の検証を行った。

図 4-27 に、列状間伐の状況を示した。列状間伐では、上層木を含めて機械的に伐採することから、上空からのオルソ画像でも容易に判読ができる。また、保残された列と伐採列を明瞭に視認できることから、それぞれの列数を数えることによって間伐率を確認することができる。

列状間伐林分の中央部に 0.6ha のメッシュを設定し、間伐前と間伐後の立木本数を目視で計測した。林相判読は、写真判読の経験のない職員では困難と思われたことから、GIS やリモートセンシングの利用経験がある職員が従事した。判読時間は、判読前画像が 5 分、間伐後の画像が 3 分 30 秒を要した。判読時間は撮影時の明るさや樹木の色調や樹種に左右される、今回は樹幹の明瞭なスギ林であることから、定性間伐のヒノキ林に比べ判読時間が短かった。

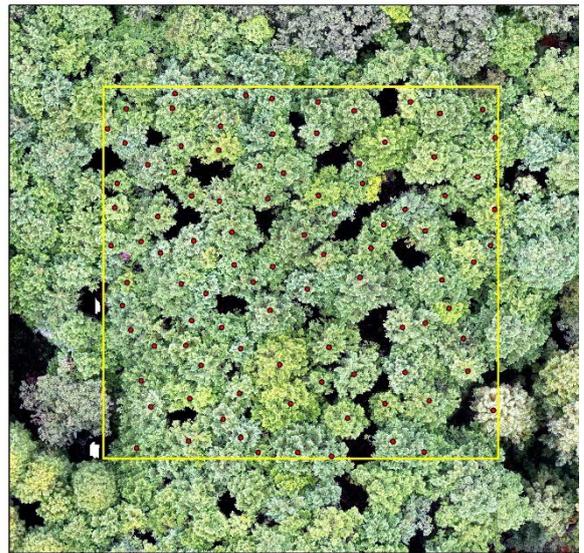
判読結果は、間伐前が 92 本、間伐後が 67 本、間伐率 27.1% という結果となった。当該現地は 2 伐 4 残で列状間伐が実施されており、間伐率は本数換算で 30% であることから、目視での判読の結果はほぼ実態に近い結果となった。



間伐本数計測用メッシュの設定箇所



間伐前プロット内の本数計測



間伐後プロット内の本数計測

図 4-26 定性間伐地における間伐本数の計測の試行

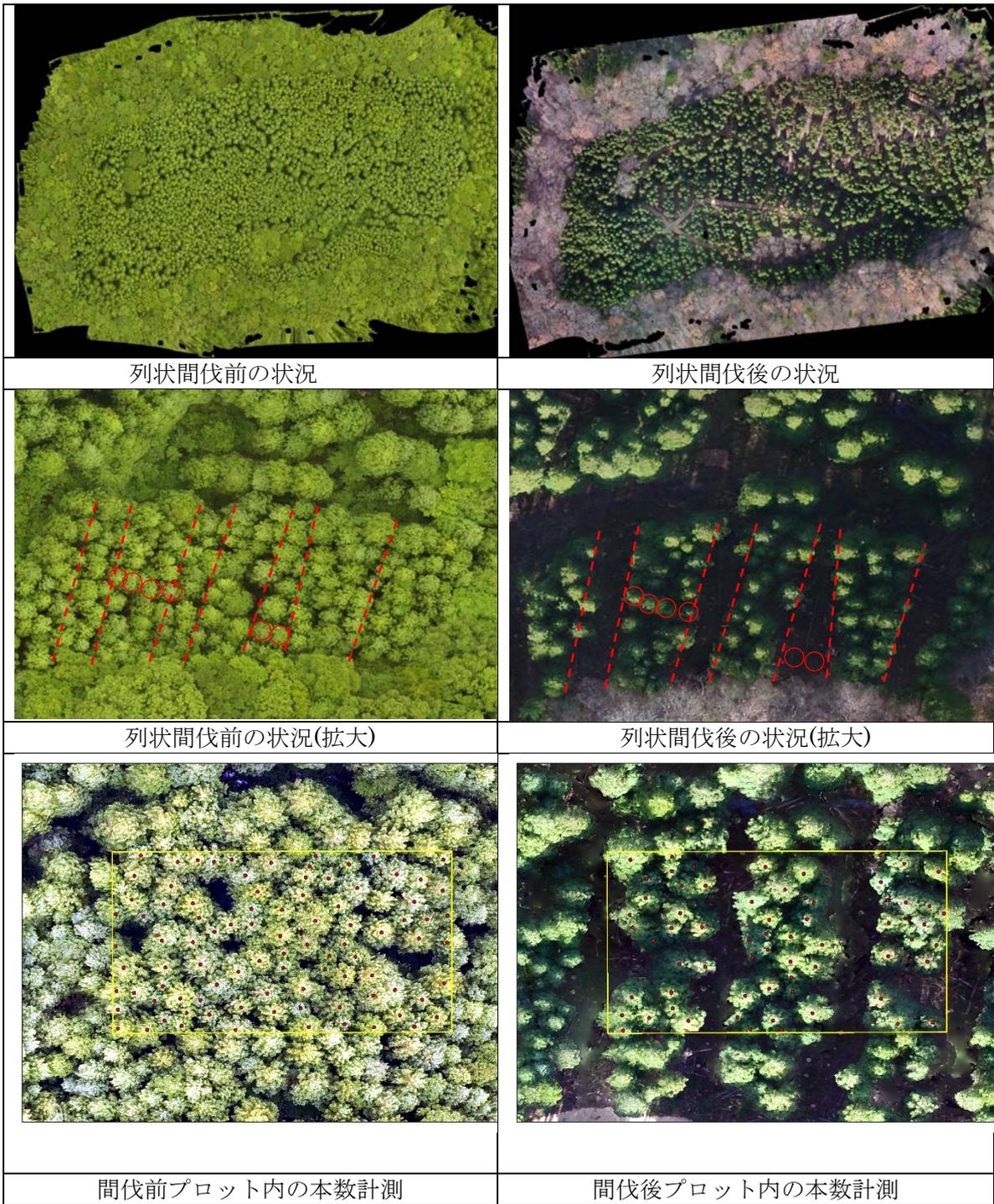


図 4-27 列状間伐における間伐前後の間伐列の状況

4.7.4 施業状況の検証方法

(1) 植栽の状況

植栽状況については、高度 20m 程度での撮影でも苗木を把握することが可能であった。なお、植栽列が明瞭な場合などは、今回よりも高い高度での判読も可能と考えられる(例えば、大分県の「ドローンによる造林事業地確認ガイドライン」では 30m 以下となっている)。

低高度での自動飛行によるプログラム撮影は、周辺の立木や斜面にドローンが接触する危険性が高いこと、撮影枚数が増えてオルソ化のためのコストがかかることなどから、現実的には難しい場合が多い。

現時点で考えられる効率的な手法としては、苗木検証用のプロットの周囲に測量テープ等を置き、苗木が判読できる高度でプロット全域をマニュアル操作で撮影する手法が考えられる。この場合、オルソ化処理は行わず、単写真に写った測量テープ等を目印にプロット内の苗木本数を計測することとなる。

なお、一般的に植栽木の検査で設定されるプロットは 10×10m (100 m²) の大きさであることから、これを 1 枚の単写真に入るように撮影するためには、Mavic 2 Pro を使用した場合で、概ね 15m 以上の高度が必要となる。

(2) 下刈りの状況

下刈りの状況については、下刈り後のオルソ画像のみで確認することができた。ただし、今回の検証では、下刈りから 10 日ほどしかたっていない段階で撮影したが、この時点で既に新たに繁茂した草本等が一部に見られたことから、下刈りの状況の確認のためには下刈り直後に撮影を行うことが必要である。

また、下刈り後の苗木の誤伐の判読にばらつきがあったが、これは、苗木周辺で刈り払われた草本等の量や新たに繁茂した草本等の生育度合いが要因となっていると考えられる。このため、苗木の確認においては、苗木だけで判読するのではなく、植栽列や植栽間隔を加味した確認が必要である。

また、下刈り後の誤伐の確認する場合は、苗木の植栽状況の確認と同様、低高度で撮影した単写真での確認が推奨される。

(3) 間伐の状況

間伐状況の把握については、列状間伐は伐採列・残存列などから間伐率等を把握することが可能であるが、樹冠下に位置する劣勢木が主に伐採対象となる定性間伐は、上空からでは間伐本数や間伐率を正確に把握することは容易ではない。地上調査等との組み合わせが必要となると考えられる。

4.8 検証結果のまとめ

表 4-23 に検証結果のまとめを示した。

表 4-23 検証結果のまとめ

項目	ドローン	撮影高度	ラップ率	オルソ化ソフト	検証結果	
面積検証	植栽 植付	Phantom4Pro Mavic2Pro Mavic2Zoom INSPIRE2 Phantom4Pro	70m 120m	90% -70%	Agisoft Metashape Professional Pix4Dmapper OpenDroneMap DroneDeploy	<ul style="list-style-type: none"> トータルステーションと、オルソ画像上の対空標識の位置による面積検証では、いずれのオルソ画像も±5%程度の誤差となった。 GISを用いたオルソ画像上での境界線の描画による面積検証においては、トータルステーションによる測量面積より、いずれのオルソ画像でも過少に計測され、平均6.5%程度の誤差となった。
	間伐	Phantom4Pro Mavic2Pro Mavic2Zoom	70m 120m	90% -70%	Agisoft Metashape Professional Pix4Dmapper OpenDroneMap DroneDeploy	<ul style="list-style-type: none"> 保育間伐については、測点上の対空標識が、画像の合成により確認できなくなったため、測量結果と対空標識による検証は実施できなかった。 GISを用いたオルソ画像上での境界線の描画による面積検証においては、電子コンパスによる測量面積より、いずれのオルソ画像でも過少に計測され、一部オルソ画像に歪みが生じた画像を除き5%程度の誤差となった。
		Phantom3Adv	70m	80% -60%	Agisoft Metashape Professional	<ul style="list-style-type: none"> 福島県川内村で過去に撮影された列状間伐のオルソ画像について、GISを用いたオルソ画像上での境界線の描画による面積検証を行った。ポケットコンパスによる測量面積よりやや少ない-4.5%の誤差となった。
施業状況等把握	植付	Phantom4Pro Mavic2Pro Mavic2Zoom	20m 10m 5m	90% -70%	Agisoft Metashape Professional Pix4Dmapper OpenDroneMap DroneDeploy	<ul style="list-style-type: none"> 植付直後の、苗木本数の確認では、オルソ画像を確認する手法(紙、ペイント3D)により確認精度に違いが生じた。撮影高度20mのオルソでは、紙での確認は78~88%の正解率、ペイント3Dでは82~96%の正解率となった。
	下刈り	Phantom4Pro Mavic2Pro Mavic2Zoom INSPIRE2 Phantom4Pro	70m 120m	90% -70%	Agisoft Metashape Professional Pix4Dmapper OpenDroneMap DroneDeploy	<ul style="list-style-type: none"> 下刈り後に撮影された70m、120mのいずれのオルソ画像でも、下刈り状況の確認ができた。 下刈り後の誤伐等の把握には、植栽列や植栽間隔を加味して、苗木を判読することが有効である。

4.9 ドローン測量と他の面積計測手法との比較検証

植付・下刈り実施箇所（植栽地）において、ドローンによる面積検証と並行して、GNSS等の各種簡易測量機材における面積精度の検証を行った。検証には、電子コンパス、GNSS（モバイルマップパー）、GNSS（Garmin64csx）、2周波GNSS(RTK)・(単独)を使用した。各機種の詳細については表4-24に示した。トータルステーションを真値とした場合の面積比較と測点ごとの精度比較を行った。



トータルステーション（ESシリーズ）



電子コンパス（TruPulse360R）



GNSS（モバイルマップパー120）



GNSS（Garmin GPSMAP64csx）



2周波GNSS（DG-PRO1RWS）

図4-28 各種測量機種の概要

表 4-24 各種測量機材の概要

測量機材名	概 要
トータルステーション (ES シリーズ)	<ul style="list-style-type: none"> ・区分：トータルステーション ・型番：ノンプリズム・E S ・メーカー：株式会社トプコム ・ノンプリズム測定で 30cm~500m まで測定可能。
電子コンパス (TruPulse360R)	<ul style="list-style-type: none"> ・区分：電子コンパス ・型番：MobileMapper 120 ・メーカー：Laser Technology 社 ・備考：測定可能距離 0~1000m。測定モード；直線距離、水平距離、垂直距離、傾斜角、目標物の高さ、方位角。
GNSS (モバイルマップパー 120)	<ul style="list-style-type: none"> ・区分：後処理型 GNSS 端末 ・型番：MobileMapper 120 ・メーカー：Spectra precision 社 ・対応衛星：GPS, GLONASS, L1 C/A, SBAS:WAAS/EGNOS/MSAS ・備考：GNSS 測位精度 (SBAS)：< 50 cm、(DGPS) < 30cm、(後処理) < 30cm~1cm
GNSS (Garmin64csx)	<ul style="list-style-type: none"> ・区分：ハンディ GNSS 端末 ・型番：GPSMAP 64csx ・メーカー：GARMIN 社 ・対応衛星：GPS、GLONASS、Galileo、みちびき (補完信号)
2 周波 GNSS	<ul style="list-style-type: none"> ・区分：2 周波 GNSS 受信機 ・型番：DG-PRO1RWS ・メーカー：ビズステーション株式会社 ・対応衛星：GPS (L1, L2) GLONASS、BeiDo、Galileo、みちびき (補完信号)、SBAS (補完信号) ・備考：u-blox 社 ZED-F9P 2 周波 RTK エンジン搭載。操作アプリ「Drogger-GPS」無償提供。Android 用スマホ及びタブレットで操作。価格 59,800 円 (メーカーWeb)

面積検証は、トータルステーションと同じ測点上で各測量機材の計測を行い、GIS 上で測点を繋いだ面積の比較を行った。

検証結果を表 4-25 に示した。いずれの測量機材もトータルステーション測量を基準とした面積比較で±2%以内と高い精度となった。

表 4-25 植栽実施箇所での各種測量機材による面積検証結果

測量機材名	面積 (ha)	TS を 100% とした時の 割合	誤差
トータルステーション (ES シーズ)	1.046	100.0%	0.0%
電子コンパス (TruPulse360R)	1.034	98.9%	-1.1%
GNSS (モバイルマップ - 120)	1.037	99.1%	-0.9%
GNSS (Garmin60csx)	1.047	100.1%	0.1%
2 周波 GNSS (単独)	1.025	98.0%	-2.0%
2 周波 GNSS (RTK)	1.044	99.8%	-0.2%

表 4-26 に、トータルステーション測定の測点毎に対する各測量機材の誤差を算出した結果を示した。

電子コンパスでは、誤差平均 1.14m (最小 0m~最大 1.86m)、MogileMapper120 では、誤差平均 1.08m (最小 0.01m~最大 2.44m)、Garmin60csx では、誤差平均 4.53m (最小 1.32m~9.74m)、2 周波 GNSS (単独) では 0.90 (最小 0.14~最大 1.54m)、2 周波 GNSS (RTK) では、誤差平均 0.20m (最小 0.09m~最大 0.37m) となった。

電子コンパス (TruPulse360R) は、林業事業体や森林調査会社などが実施する境界測量等で一般的に使用されている機材であり、トータルステーションとの比較では平均 1m 程度の誤差となっている。

MobileMapper120、Garmin60csx、2 周波 GNSS の 3 機種は、いずれも GNSS 機材である。MobileMapper120 は、測定後に補正情報を用いて測定データの位置補正を行うことができる。Garmin60csx は、みちびき衛星からの補正電波を受信することが可能である。2 周波 GNSS は、GPS 衛星からの 2 種類の電波 (L1, L2) を受信することにより、従来の 1 周波 (L1) のみを受信する機種よりも高い位置精度を得ることができるほか、2 台の機体を用いて RTK 測量を行うことができるなどの特徴がある。

MobileMapper120 と 2 周波 GNSS では、トータルステーション測量との比較で数十 cm~1m 程度の誤差精度であり、電子コンパス (TruPulse360R) の結果とも大きな相違はなく、境界測量に使える性能を持っていると考えられる。Garmin60csx については、その他の GNSS 機種と比べ、位置精度がやや低い結果となったが、4~5m の誤差が許容できる事業内容であれば、使用可能と思われる。

近年の GNSS 機材は、GPS 衛星のほかに、GLONASS や Galileo など多くの衛星を使うことが可能となり、また国内では、みちびき衛星による補正が行えることから、過去の GPS 機材に比べ、測位精度は大きく向上していると考えられる。

今回の検証結果では、必要な衛星数やみちびき衛星の電波が確保できる環境であれば、GNSS 機材は周囲測量などに使用可能と考えられた。特に、2 周波 GNSS においては、現地が携帯電波圏内であれば、安価で簡易に RTK 測量によって高い位置精度が得られることが分かった。

表 4-26 トータルステーション測量の測点毎に対する各種測量の誤差 (m)

トータルステーションの測点 No.	電子コンパス (TruPulse360R)	Mobile Mapper 120	Garmin 60csx	2 周波 GNSS (単独)	2 周波 GNSS (RTK)
0	0.00	2.44	6.53	1.38	0.28
3	0.45	0.19	4.36	0.14	0.14
10	1.19	0.48	2.57	0.59	0.18
12	1.25	0.78	4.11	0.77	0.13
14	1.28	0.64	2.67	0.89	0.16
17	1.67	1.13	4.45	1.32	0.16
20	1.85	2.10	7.76	0.76	0.17
23	1.86	0.01	2.39	1.13	0.09
25	1.62	2.43	9.74	1.03	0.18
27	1.36	1.12	2.45	0.69	0.21
29	1.17	0.40	3.88	1.54	0.25
31	0.78	0.36	6.62	0.53	0.37
34	0.29	1.94	1.32	0.89	0.31
平均	1.14	1.08	4.53	0.90	0.20

4.10 現地検証結果を踏まえた森林整備事業の申請・検査へのリモートセンシング技術の反映

4.10.1 調査目的・方法

本項では、オルソ画像の精度確認など現場での検証結果を踏まえ、各都道府県で実施している植付、下刈り、間伐等の森林整備の申請や検査に対し、ドローンで撮影したオルソ画像等がどの程度寄与することができるかを検証する。

具体的には、収集した各都道府県の検査内規の中からドローンで代替可能なもの、または効率化に寄与できるものを抽出する。さらに、ドローンで撮影したオルソ画像の申請資料への適応状況、検査の代替(効率化)の可能性についてモデル的・具体的に例示することとする。

4.10.2 森林整備補助事業申請及び検査規定におけるドローンで撮影したオルソ画像等の反映について

各都道府県の申請書類は、「森林環境保全整備事業実施要領」（林野庁、最終改正：2020（令和2）年3月31日）を踏まえて作成されるものである。

本要領の細部運用を定めた「森林環境保全整備事業実施要領の運用」（林野庁）は、2019（令和元）年度末に改正され、以下の記載が新たに盛り込まれた。

ア 補助金交付申請書の作成及び提出について

(カ) 施業地の位置、区域、面積、施業状況が分かるオルソ画像（中心投影や撮影方向、地形によって生じる画像の位置ズレを、三次元情報を基に位置補正した画像。正射投影画像ともいう。正射投影画像をつなぎ合わせたオルソ画像を含むものとする。以下同じ。）等を提出する場合は、(イ)から(オ)までの書類について省略することができるものとする。

このように、補助金交付申請においては、オルソデータ等の提出により、(イ) 施業箇所位置図、(ウ) 施業図、(エ) 森林作業道整備線形図、(オ) 現地写真の提出を行わなくてもよいこととなっている。現在のところ、各都道府県における各種の申請書は紙ベースでのやり取りがほとんどとなっているが、今後、新たな「森林環境保全整備事業実施要領の運用」を踏まえ、電子データによる申請も増加していくことが予想される。

また、「『造林補助事業竣工検査内規例について』の制定について」（林野庁、2020（令和2）年3月31日）においても、以下の記載が盛り込まれている。

第2章 検査

第1節 共通事項

(検査の趣旨)

第7条 途中略) 森林環境保全整備事業実施要領の運用6の(3)のアの(カ)の規定によるオルソ画像等が添付された申請の場合は、第9条から第12条まで及び第17条から第24条までに定める内容について、オルソ画像等で確認可能な場合は、現地での確認を省略できる。

上記の条項により、オルソ画像等の確認により、現地確認を省略できる可能性のある項目は以下のとおりである。

第9条（施業地の位置確認）	第19条（雪起こし及び倒木起こしの検査）
第10条（施業地の区域確認）	第20条（除・間伐等の検査）
第11条（除地）	第21条（保育間伐の検査）
第12条（測量成果・面積の確認）	第22条（付帯施設等整備の検査）
第17条（人工造林及び樹下植栽等の検査）	第23条（森林作業道の検査）
第18条（下刈りの検査）	第24条（林齢の検査）

本項ではこうした流れを受け、オルソ画像の精度確認など現場での検証の内容の申請書類や検査内規への反映について検討を行った。また、資料を収集した47都道府県の森林整備補助事業申請書類や検査規定の中から、事例的に検査事例を抽出し、ドローンデータの活用可能性について検証を行った。

使用したデータは、以下のとおりである。

- ・森林整備補助事業申請書（東京都）
- ・東京都森林整備補助事業等竣工検査内規【改正 H280401】

● 森林整備補助事業申請書におけるデータの活用

図 4-29 に、東京都の造林補助申請書類に記載されている補助金申請書に添付する書類の例を示した。

ドローンで撮影したオルソ画像等の活用により、造林補助申請手続きの効率化が期待できる項目は、「森林環境保全整備事業実施要領の運用」（林野庁、最終改正：2020（令和2）年 5 月 29 日）を踏まえれば、図 4-29 の「4 施業箇所総括位置図」、「5 施業図(実測図)」、「7 完了写真等」と考えられる。

○ 補助金申請書に添付する書類の例

H27 以降の申請	
1	申請書表紙
2	申請内訳表 <u>森林経営計画書の承認番号を備考欄に記入し、認定書と森林の現況並びに伐採計画及び造林計画の写しを添付する。</u>
3	各種契約書等写し ア 長期受委託契約書 イ 協定書 ウ 作業受委託（委任）契約書
4	施業箇所総括位置図（5万分の1等）
5	施業図（実測図）（5千分の1等）
6	測量野帳写
7	完了写真等 ア 間伐材の集積場所におけるはい積み状況及び運搬車両への積み込み状況がわかるもの イ その他作業の状況がわかるもの
8	搬出間伐材積集計表（出荷伝票の写しも添付）
9	作業従事に関する調査表 （作業従事者の社会保険等の加入状況調査表と社会保険等の加入を証明する書類の写し）
10	誓約書
11	印鑑証明（初回申請時）

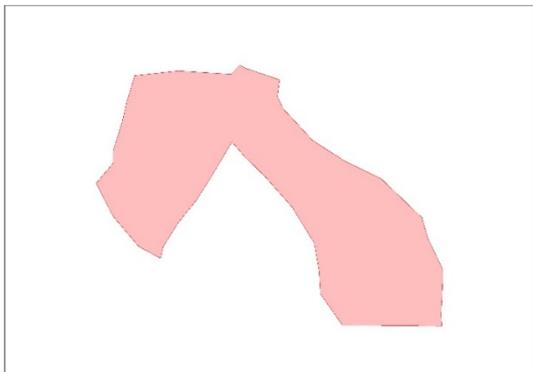
図 4-29 補助金申請書に添付する書類

申請書類をオルソ画像やシェープファイルで代替する場合、提出が必要となるデータは、施業範囲のシェープファイルとオルソ画像（植付・下刈りでは施業後、間伐では施業前後の画像）の2つである。

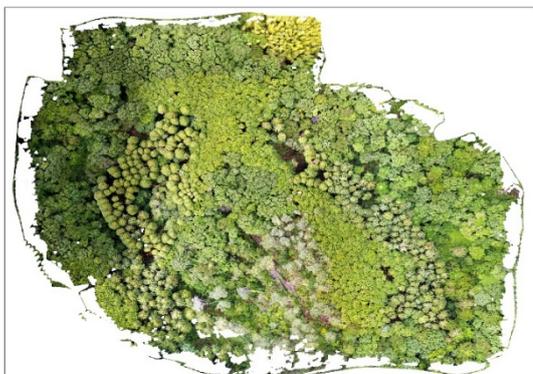
これらのデータについては、申請者と都道府県側でフォーマットの統一を行う必要があるが、現状では、QGIS（Free ソフト）の普及を勘案すれば、GIS で閲覧できるデータ形式でのやり取りが適切と考えられる。具体的には、施業範囲のデータは、GIS に対応したシェープファイル形式、オルソ画像は、GIS で確認できるよう位置情報を付加した GeoTIFF 形式での提出が必要となる。

表 4-27 申請時に提出するデジタルデータ

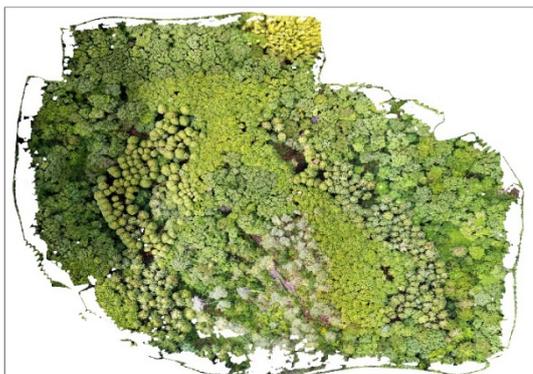
データ名	データ形式	用途等
施業範囲（ポリゴン）	シェープファイル形式	オルソ画像上での面積測定
オルソ画像（施業前）	GeoTIFF 形式	施業範囲の確認
オルソ画像（施業後）	GeoTIFF 形式	施業状況の確認



作業範囲 (ポリゴン)
(Shape ファイル)



オルソ画像 (作業前)
(GeoTIFF 形式)



オルソ画像 (作業前)
(GeoTIFF 形式)

図 4-30 申請時に提出するデジタルデータの例

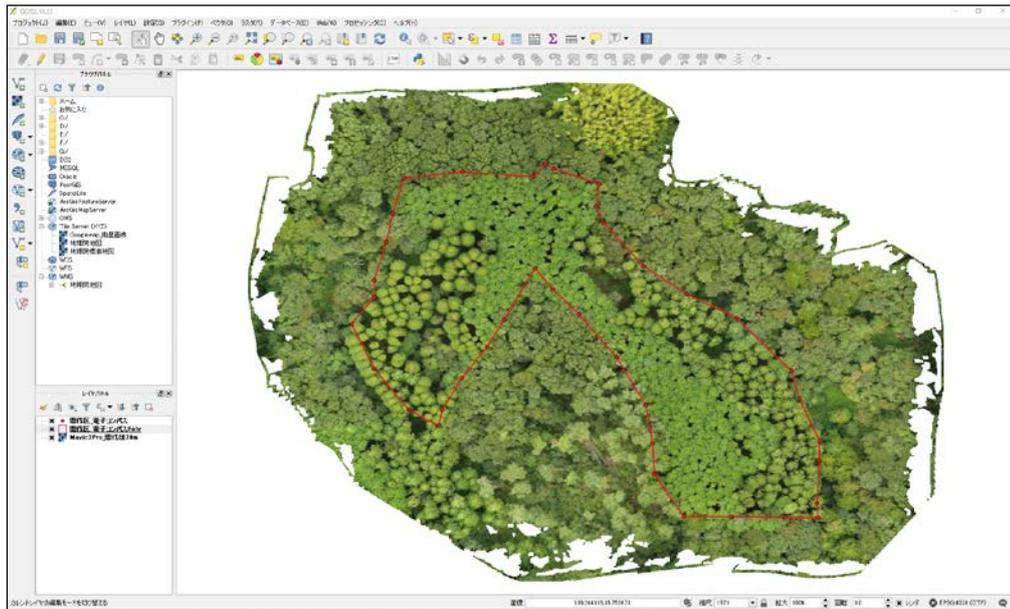


図 4-31 QGIS 画面上での確認状況の例

なお、申請者から提出されたデータについては、「森林環境保全整備事業実施要領の運用」の中で、以下のように取り扱うよう、規定されている。

(3) 補助金交付申請書の作成及び提出について

カ 知事は、本事業に係る補助金交付申請事務について、効率的に行えるように申請者を指導するとともに、当該申請者により受領し検査を行った施業地の情報等(位置、区域、面積等)について GIS 等で管理し、今後の検査等への活用に努めるものとする。

これを踏まえれば、申請者から都道府県に提出されたデジタルデータは、以後の検査等での活用を念頭に、森林クラウドシステム上等でのデータ管理が望ましいと考えられる。

4.10.3 東京都森林整備補助事業等竣工検査内規におけるドローンで撮影したオルソ画像等の活用

前項では、「森林環境保全整備事業実施要領の運用」の改正を踏まえ、将来的にオルソ画像やシェープファイルでの申請が行われた場合について検討を行った。

本項では、「造林補助事業竣工検査内規例について」の制定について（林野庁、2020（令和2）年3月31日）を踏まえ、「東京都森林整備補助事業等竣工検査内規」の項目のうち、オルソ画像等の活用により現地確認の効率化が可能な項目の検討を行った。

（1）面積の照査及び査定

第2章 書類検査 第10条（「東京都森林整備補助事業等竣工検査内規（東京都、最終改正：2016（平成28）年4月1日）」の項目による。以下同。）においては、「～面積の検査は、申請書面積と施業図（実測図）（以下「施業図」という。）を照査して行い、査定は、検査面積に従って行うものとする。」とされている。

前項で示したとおり、施業図に代わり、施業地のデータやオルソ画像等を提出する場合の面積の確認は、GISの面積計測ツールを用いて行うこととなる。

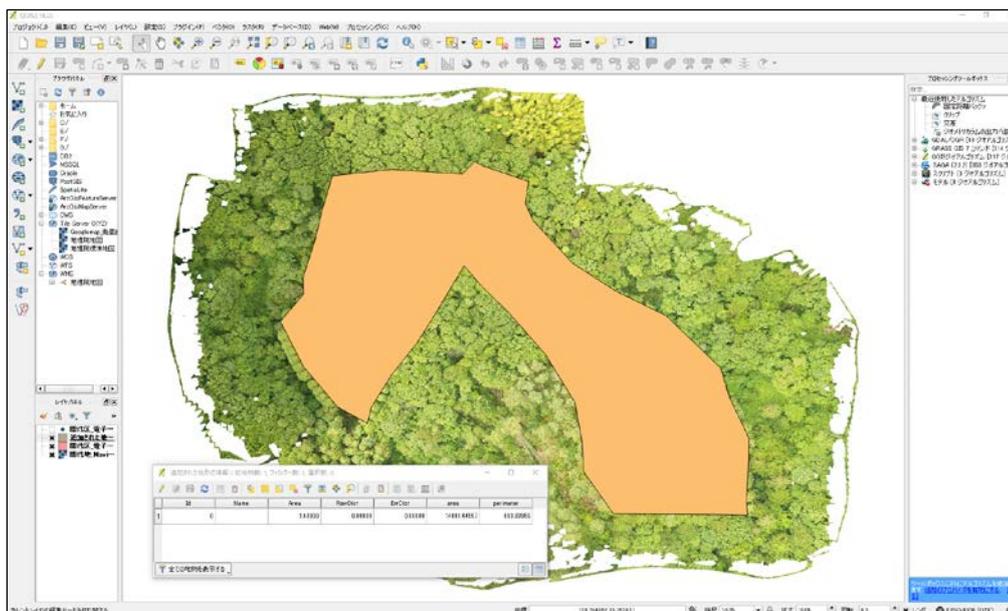


図 4-32 面積計測ツールを用いての計測事例

(2) 施業地の位置確認

第3章 現地検査 第17条においては、「施行地の位置が、申請書に示された当該施行地の位置と合致するか、森林計画図、GISS等で照合・確認するものとする。」とされている。

QGISに施業範囲のシェープファイルを表示すれば、カーソル位置の座標が画面下部に表示される。また、森林計画データや国土地理院地図データを重ね合わせることで、地図上で位置を確認することができる。(図4-33)

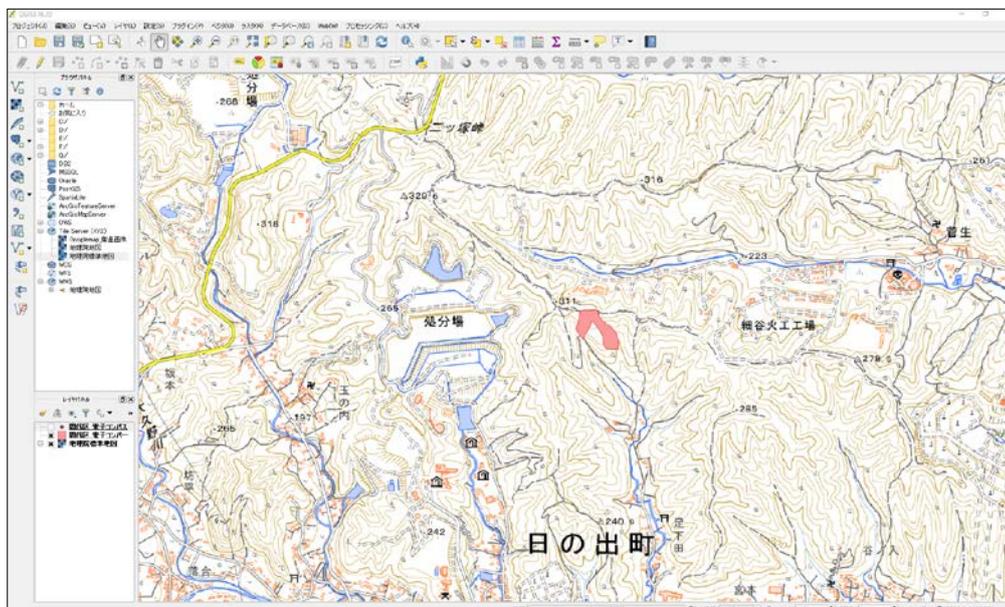


図4-33 施業地データと国土地理院地図の重ね合わせによる位置確認事例

(3) 施業地の境界

第3章 現地検査 第17条においては、「造林地として認める外周は、原則として地ごしらえが完了している区域とする。」とされている。

造林地内の地ごしらえの状況は、撮影高度 70-120m の高高度でも確認が可能である。GIS 上に施業範囲のシェープファイルとオルソ画像を表示し、境界内の地ごしらえ箇所を確認することで、施業地としての境界を確定することができる。

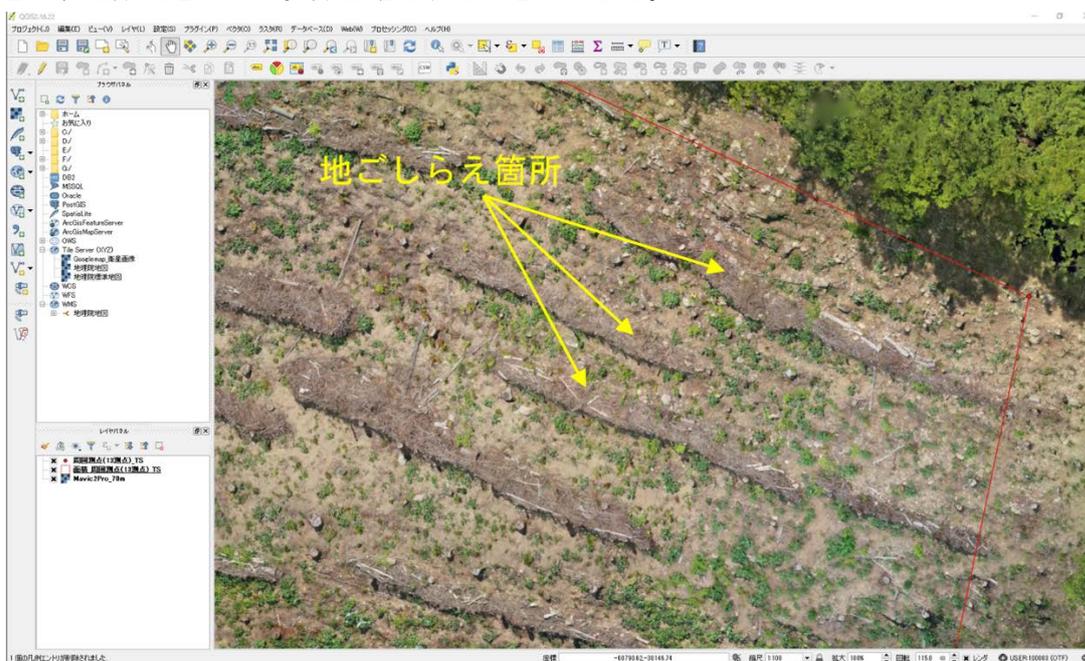


図 4-34 地ごしらえの状況と施業地境界の確定事例

(4) 除地

第3章 現地検査 第19条においては、「造林地内の林木の育成に利用できない林地であつて、1カ所の面積が0.01ha以上あるものは除地とし、造林面積からその面積を差し引くものとする。」とされている。

造林地内に0.1ha以上の除地が存在する場合、オルソ画像と施業範囲のシェープファイルに加えて、除地のシェープファイルを提出させ、オルソ画像で除地の状況を確認するとともに、面積計測ツールを用いて除地の面積を計測し、施業範囲のシェープファイルの面積から差し引くことができる。

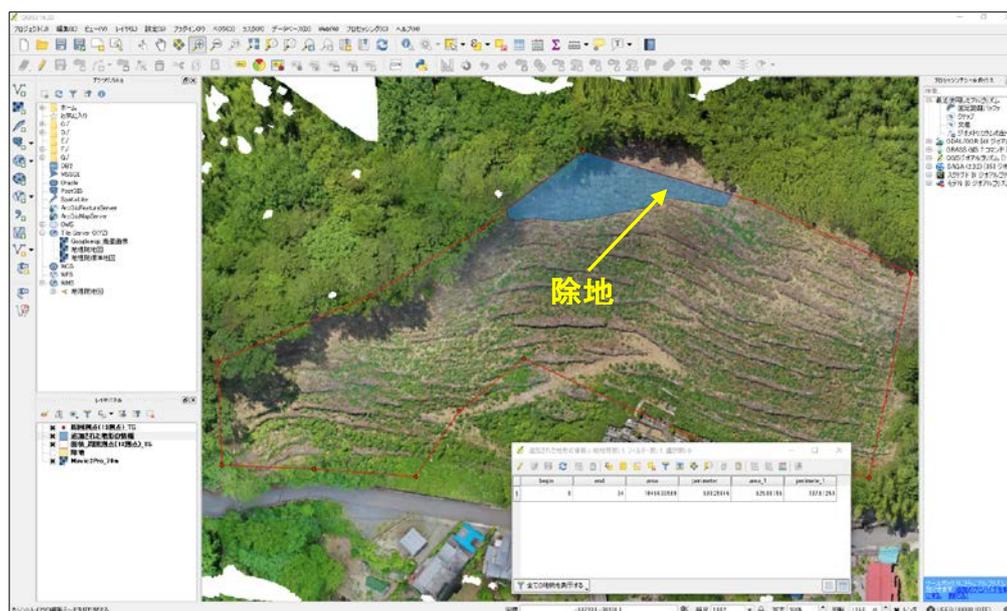


図 4-35 除地のシェープファイルの重ね合わせによる面積の計測事例

(5) 測量成果の照合

第3章 現地検査 第20条(2)においては、「2個以上の測線又は対角線並びに方位角及び高低角を実測し、施業図及び測量野帳等と照合するものとする。」とされている。

上記の規定によれば、現地での実測検査が必要と考えられるが、「『造林補助事業竣工検査内規例について』の制定について」第2章 検査 第12条(3)によれば、「オルソ画像等による場合は、提出されたオルソ画像とシェープファイルをGISとで比較し、施行地の位置等に差異がないことを目視で確認する。」とされていることから、これに沿った東京都規程の改正が行われれば、GIS上でオルソ画像と施業範囲のシェープファイルを用いて検査が可能となる。

(6) 植栽本数の検査

第3章 現地検査 第21条(2)においては、「施行地内の標準地とみなされる任意の場所に面積100平方メートルを基準として設定した区域(以下「標準地」という。)内の全植栽本数を計測する方法」とされている。

前項のドローン検証で示したとおり、植栽された苗木を確認するためには20m以下(大分県の「ドローンによる造林事業地確認ガイドライン」では30m以下)の高度で撮影することが必要である。しかし、低高度で植栽範囲の全域を撮影してオルソ化することは、膨大な写真を処理する必要があることに加え、低空での自動飛行が必要となるため、衝突等の危険を伴う。

また、単写真の利用により、オーバーラップ・サイドラップを減らし、撮影枚数とオルソ化の手間を減らすことも考えられるが、前述したとおり、低空での自動飛行は危険を伴う上、単写真の場合は、画像上で面積や距離を測ることができないことから、撮影前に現場で、プロット範囲に測量テープ等を設置する必要がある。

検査では検査員が任意の地点で検査することが必要となることから、低空で撮影したオルソ画像を用いない場合は、以下のような手法が考えられる。

- ①申請者は、苗木の植栽後に造林対象地の範囲を高高度(70-120m)で撮影し、オルソ化する。
- ②検査員にオルソ画像を送り、検査員はGIS上で検査箇所を指定する。
- ③申請者は、指定された箇所に水平距離で10×10mのプロットを設置し、周囲を測量テープ等で囲む。
- ④プロットの中心付近からドローンを飛ばし、プロット全域が確認できる高度15m程度(Mavic2Proの場合)まで上昇させ、単写真を撮影する。
- ⑤撮影した単写真のデータを検査員に送り、PC上でペイント3D(注1)を用いて植栽苗木の本数を計測して、プロット内の植栽本数を算出する。

(プロット内の植栽本数) × (造林面積) ÷ (プロット面積) で総植栽本数が算出できる。

注1: ペイント3Dは、Windows10に搭載されている画像ソフト。ドローン画像をこのソフトで開き、必要な大きさに拡大して、ペイントツールを用いて苗木にチェック(丸印など)をいれる。チェックがついた状態で画像保存できる。

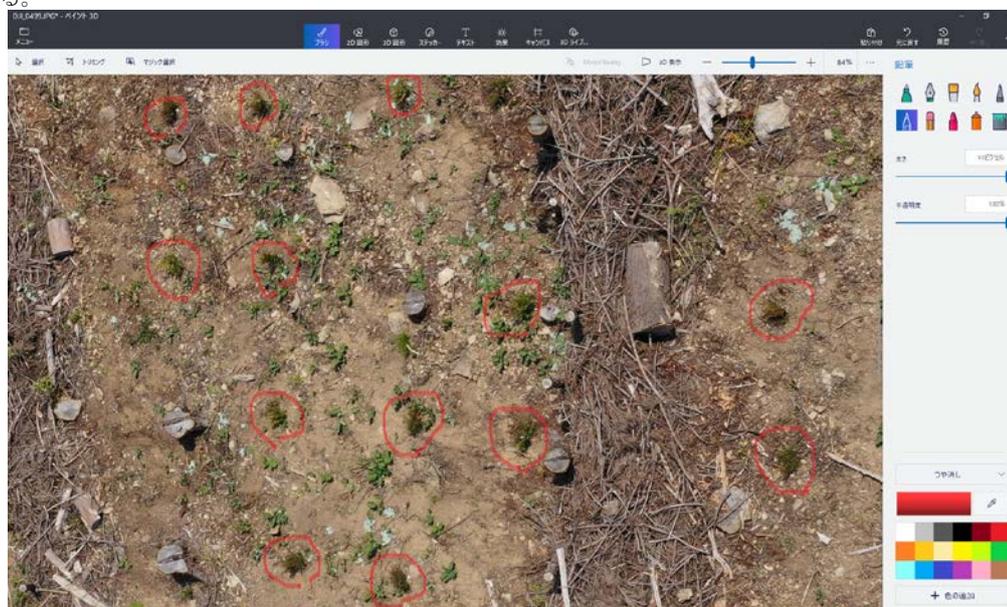


図4-36 ペイント3Dを用いた苗木本数確認の例(Mavic2Pro 高度20m単写真)

(7) 下刈りの検査

第3章 現地検査 第28条においては、「下刈りの検査は、2 齢級までの施行地であって、雑草木の刈払が植栽木の生育を促進するための適切な作業配慮をもって1 回以上の全刈又は坪刈がなされているかどうかを旨として行うものとする。」とされている。

下刈りについては、下刈りの実施状況の確認が求められており、高高度（70-120m）で撮影したオルソ画像でも、下刈り後の画像のみで下刈りの実施状況の確認が可能である。なお、オルソ画像が必要ない場合は、オーバーラップ・サイドラップを減らして、高高度で撮影した単写真でも確認下刈りの状況を確認することができる。

誤伐の確認については、基本的に植栽本数の検査と同様であり、単写真を用いる場合、以下のような手法となる。

- ① 申請者は、下刈り後に対象地の範囲を高高度（70-120m）で撮影し、オルソ化する。
- ② 検査員にオルソ画像を送り、検査員はGIS 上で検査箇所を指定する。
- ③ 申請者は、指定された箇所に水平距離で10×10m のプロットを設置し、周囲を測量テープ等で囲む。
- ③ プロットの中心付近からドローンを飛ばし、プロット全域が確認できる高度15m程度（Mavic2Pro の場合）まで上昇させ、単写真を撮影する。
- ④ 撮影した単写真のデータを検査員に送り、PC 上でペイント3D（注1）を用いて苗木の本数を計測して、プロット内の苗木本数を算出する。
(プロット内の苗木本数) × (造林面積) ÷ (プロット面積) で下刈り後の総苗木本数が算出できる。
(当初の総植栽本数) - (下刈り後の苗木本数) ÷ (当初の総植栽本数) × 100 で誤伐率が算出できる。

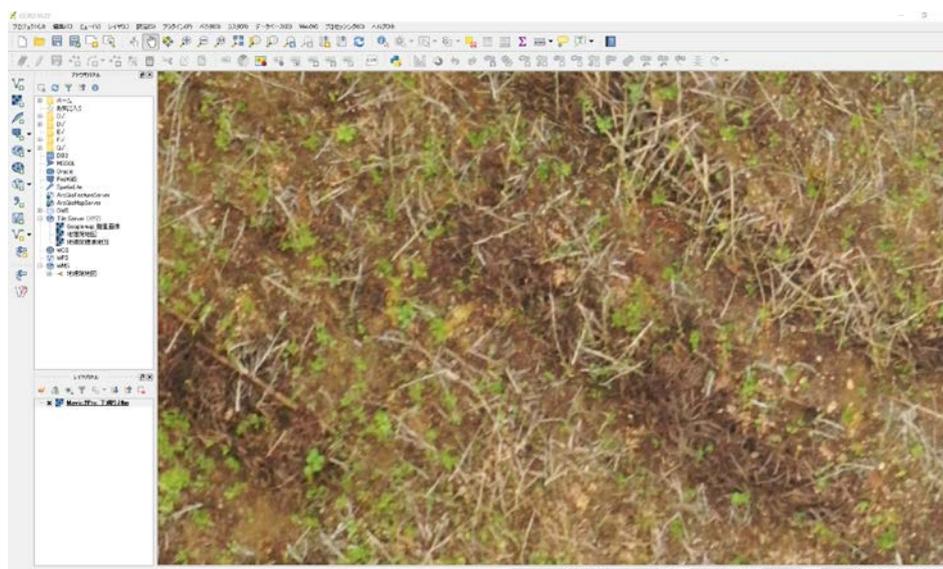


図 4-37 オルソ画像(下刈り後)による下刈り状況の確認(撮影高度 70m、拡大画像)

(8) 間伐の本数の検査

第3章 現地検査 第32条においては、「間伐にあつては、間伐木の淘汰の本数を本数検査法により検査し、間伐率（間伐本数／間伐前生立本数）は原則20%以上とする。」とされている。

間伐については、機械的に間伐列を設定する列状間伐や上層樹冠に達する立木を主に間伐する上層間伐などにおいては、伐採前後の変化が明瞭であることから、間伐本数（または間伐率）を画像上から把握することは可能と考えられる。

他方、保育間伐においては、上層樹冠を形成しない劣勢木が主な間伐対象となることから、上空から撮影した画像のみでは全ての間伐対象木を把握することはできず、現状では、現地でのプロット調査などによる間伐本数の確認が必要となる場合が多いと考えられる。将来的には、例えばドローンレーザーで安価に撮影できるようになれば、間伐前後のレーザー画像の比較から間伐本数の把握することが可能になると考えられる。

5. 林業現場向けドローン研修の暫定カリキュラム作成

5.1 カリキュラム構成の考え方

各都道府県の森林整備事業の申請・検査で必要とされているデータ項目、全国の林業従事者向けアンケートの実施結果、現場での検証を踏まえ、林業現場向けドローン研修の暫定カリキュラムを作成した。

5.2 林業現場においてドローンを飛行させる際の注意要素の抽出

カリキュラムを作成するにあたり、4章の林業現場でのリモートセンシング技術の検証結果等から、開けた場所（平らな場所、広大な敷地、海、川）とは異なる山間部（足場が悪い、木々等の障害物が多い等）でのドローン飛行における注意要素を抽出した。

5.2.1 飛行環境

(1) 境界の確認

① 注意点

第三者の所有する土地の上空を飛行させる場合には、土地の上空も民法で土地所有権の及ぶ範囲であることから、一般的なドローンの運用時でも他人の敷地に入ることになるため、すべての土地所有者から許可を得ることが必要となる。山間部での運用の場合は、境界が不明瞭である場合が多く、知らぬ間に第三者の所有する土地に入り込んでいる可能性もある。

② 対応策

第三者の所有する土地にドローンが侵入することを防止するため、事前に土地所有者にドローンを飛行させる旨を伝え、口頭または書面により許可を得る必要がある。

③ 研修への適用状況

飛行予定範囲等の事前調査を実施し、第三者の所有する土地にドローンが侵入するおそれがある場合には、事前に当該所有者から飛行の許可を得る必要があることを説明する。

(2) 飛行箇所及び離着陸場所の確認

① 注意点

事業実施予定箇所の撮影を行う場合、森林作業道等の整備前である可能性もあり、操縦者が測量範囲へ物理的に到達（特に自動車等を用いての機材運搬）することが困難なことも考えられる。このような場合は、測量範囲から大きく離隔した地点に離着陸場所を設けざるを得ず、バッテリー容量による飛行時間の上限のため、飛行回数を増やす必要が生じる。

② 対応策

綿密な図上による飛行計画の検討と及び現地調査が重要である。地図上で自動車の到達可能地点、離着陸場所の確認、駐車場から離着陸場所への徒歩でのルート確認、またトイレおよび水場等の確認も必要である。

なお、徒歩の移動が多くなる場合には、DJI Mavicシリーズ等の小型軽量機体は持ち運びに便利である。

③ 研修への適用状況

受講者が取りうる対応策として、「地図による飛行計画の検討と現地調査」の重要性について説明する。

(3) 電源の確保

① 注意点

山間部では、電源が取れる場所がなく、使用したバッテリー等の充電が出来る環境がない。

② 対応策

運用時は、太陽光パネル、ガソリン発電機又は自動車バッテリーから充電を行えるようにするほか、効率の良い飛行計画を作ることによりバッテリー本数を最小限にする必要がある。また、持ち運びや充電時のバッテリーの安全な取り扱い方法について説明する。

③ 研修への適用状況

山間部において飛行を行う際は、太陽光パネル等を活用して充電を行う必要があることについて説明する。また、自動飛行の際には、計画した飛行で使用するバッテリー本数の予測が自動飛行計画作成ソフトの中で可能であることについて説明する。

(4) 天候の確認

① 注意点

山間部では、突然の悪天候や強風、風向きの変化などが起こりうる。また、目視外や遠方、高所を飛行することが多く、急な帰還が難しいことが想定される。

② 対応策

こまめに天気予報や雨雲レーダーのチェックを行い、強風や降雨が予測できる場合には飛行の中止を決断する。また、雨天時にドローンがぬれることのないよう被せるためのビニールシートを準備しておく

③ 研修への適用状況

天候把握の重要性や飛行中止の判断基準、急な悪天候への対応策について説明する。

(5) GNSS取得状況の確認

① 問題点

林業現場でのリモートセンシング技術の検証中、GNSSの取得ができないため離陸ができない、離陸ができて不安定な飛行状態が続くといった現象が多く発生した(一般的なドローンの現場(開けた場所)であれば、GNSSの取得に手間取ることは少ない)。

② 対応策

事前調査時に機体を持参し、GNSSの取得状況の確認を行い、確実に取得可能な離着陸地点を探すことで対応が可能となる。

③ 研修への適用状況

受講者が取りうる対応策として、使用する機体の電源を実際に入れ、GNSSの取得状況を予め確認しておくことの重要性について説明する。

(6) 非GNSS環境下での飛行

① 注意点

離着陸地点の上空や周囲が木々で囲まれているため、GNSSの取得が少なくGNSS制御なしで離着陸を行うことが必要となる場所もある。なお、離陸時にGNSS制御がなく不安定な飛行であっても、上空に出てGNSSを取得することで安定した飛行になることが多い。

② 対応策

非GNSSモード*での手動操縦を実技に盛り込む。

③ 研修への適用状況

林業現場で安全に運用できるスキルの習得のため、GNSS制御なしを想定し、手動で上昇飛行を行う実技をカリキュラムに取り入れる。

※：ATTIモード：ドローンのフライトモードの一つで「GNSS」をドローンの機体位置の制御に使わない状態。機体が風の影響を受けやすい等、制御が難しいため、高度な操縦技術の取得が必要。

5.2.2 飛行計画

(1) 飛行高度の設定

① 注意点

飛行高度一定で飛行した場合、窪地や凹地において対地高度150mの法定制限を超えるおそれがある。

② 対応策

事前調査を綿密に行い、標高の変化をよく把握する。その上で対地高度150mを超えることのない飛行計画を作成する。対地高度150mを超えざるを得ない場合は、飛行申請を国土交通省に提出し、許可を得る。

③ 研修への適用状況

事前調査における標高及び地形確認の重要性、飛行申請の必要性について説明する。

(2) ラップ率の設定

① 注意点

一定の標高での飛行を行うと、凸上の地形では対地高度が低下して、ラップ率の低下が起こる。

② 対応策

ラップ率低下への対策は、4.2.1に別途詳述した。

③ 研修への適用状況

初心者向けの説明では、あえて数式を用いず、「高めのラップ率設定を行う」よう注意喚起をする。（4章参照）

(3) 離着陸場所の確保

① 注意点

一般的なドローンの現場では、安全な離着陸地点を容易に探すことができる。これに対し、林業現場は斜面が多く、平坦で整備された場所が少ない。不安定な地面への着陸は事故（機体損傷）に繋がる。

② 対応策

事前の現場確認時にGNSSの取得状況も含め、平らで開けた離着陸地点を探す。そのような場所がなければ、板等を敷き平らな面を作る。

③ 研修への適用状況

研修では、受講者が取りうる対応策として「事前調査と現地視察」の重要性を説明する。実際に使用する機体を持参し、GNSSの取得状況と共に離発着地の環境についても確認する旨を説明する。

(4) 監視員の配置

① 注意点

間伐地のような立木の多い場所では、操縦者のそばに配置される補助者だけでは機体を確認できないことがある（目視外飛行）。またドローンは撮影しながら移動するため、撮影状況を画面で把握する役割を負う補助者だけでは、機体を常に監視できる状態とは限らない。

② 対応策

監視員を計測領域周囲に配置する。位置と人数については、人間の視認可能距離を考慮し、計測領域の広さに応じた人数を確保する。

③ 研修への適用状況

目視外飛行の際に監視員を配置する旨を座学研修で説明する。

(5) 物件 30mへの配慮

① 注意点

Google earthを利用した事前調査では見えにくい「鉄塔」や「送電線」の存在に気付かないことがあり得る。これらの物件付近での飛行については、事前に航空局への飛行申請が必要である。ちなみに「物件」は「構造物」を指し、樹木などの「自然物」は「物件」には該当しないが（航空局「無人航空機に係る規制の運用における解釈について」）、樹木に対しても物件30mの申請が必要であるという誤解が生じる可能性がある。

② 対応策

1年間有効な包括飛行申請について説明し、物件30mの許可を取っておくことを推奨する。また、物件30mの詳細（「物件」の該当と非該当）を明確に説明する。

③ 研修への適用状況

包括申請、物件30mについては詳細に説明する。包括申請時は飛行実績を提出する必要があることや人または物件の解釈について説明する。

5.2.3 安全管理

(1) 操縦環境の確保

① 注意点

操縦中に操縦者に虫が寄ってくることにより、注意力が散漫になる危険があるだけでなく、実際に害虫に刺されることもあり得る。また、機体に寄ってきた虫をプロペラが切断してしまうこともあり、放置しておくこととプロペラの劣化につながる。

② 対応策

作業者が万が一害虫に刺された場合の薬も用意しておく。プロペラに関しては運用後にふき取りを行うなどして劣化を防ぐ。

③ 研修への適用状況

プロペラのメンテナンスに関して研修で説明する。メンテナンス前後のプロペラを実際に見せ、ウェットティッシュ等で拭き取る作業を伝える。

(2) 野鳥への注意

① 注意点

自動飛行中に野鳥が機体を攻撃してくる場合があり、墜落につながる可能性がある。

② 対応策

飛行箇所に縄張りの中や繁殖期の巣・卵がある場合には、基本的に飛行を中止する。仮に飛行してしまった場合は、すぐに離れるようにし、一定高度まで垂直に急上昇することで垂直に上昇できない野鳥から離れたり、刺激しないようにホバリングしたりするなどの対応をとる。

③ 研修への適用状況

手動操縦による高高度からの緊急降下研修を行い、リスクがある際に安全に素早く機体を降下できるよう研修を行う。

(3) 目視外飛行への対応

① 注意点

間伐実施箇所での検証では、ほとんど（自動飛行中）が目視外飛行となった一般的なドローンの飛行は、目視外飛行にならないよう運用することが基本となるが、間伐実施箇所では高い木々が多くあるため、目視外飛行になる可能性が非常に高かった。

② 対応策

目視外飛行に関する説明や飛行申請についての内容を座学研修に盛り込む必要がある。また、補助者の役割を研修において伝える必要がある。

③ 研修への適用状況

第5講「航空法と許可申請」において、目視外飛行について説明するとともに、飛行申請の記載例を説明する。

(4) 目視による機体の確認

① 注意点

林業現場でのドローンの飛行は高高度かつ遠方へ飛行させることが多かった。操縦者は、タブレットのパラメータや映像に気を取られ、機体を見失いがちであった。

② 対応策

操縦者は機体から目を逸らさず、安全運行管理者に情報を確認させつつ運用する必要がある。

③ 研修への適用状況

研修では、実技研修時に2人1組となり、それぞれの役割（操縦者と安全運行管理者）、機体を見失わずに運用することの重要性を説明する。

(5) 機体からの映像伝送状況の確認

① 注意点

間伐実施箇所においては木々が遮蔽物となり、機体からの映像伝送が途切れたため、機体の位置の特定ができない危険な状況があった。

② 対応策

iPadの伝送状況を常に確認し、自動飛行時はミッション終了時をゴーホーム、もしくは最初のウェイポイントに戻る設定になっているかを確認する。

③ 研修への適用状況

実技研修時にミッション終了時のドローン動作を設定する必要性について説明する。

(6) バッテリー残量の確認

① 注意点

林業現場でのドローンの飛行は高高度かつ遠方へ飛行させることが多かった。そのため、ドローンが帰還するための十分なバッテリーの残量を確保する必要がある。

② 対応策

機体を見失った際はゴーホームを実施する必要もあり最低でも50%を下回った際には離発着地点に戻す運用が必要になる。

③ 研修への適用状況

バッテリー残量については、運用時に意識するよう座学研修時にも実技研修時にも説明する。

5.2.4 アプリケーション

(1) GS PROの特性に関する問題

① 注意点

1回のフライト内で高度の変更ができないため、高低差がある山間部での利用では不便な場合がある。

② 対応策

解決策としては、サードパーティ製アプリ（litchi等）を使用する研修も考えられるが、設定等が複雑で上級者向けアプリであるため基礎講習を習得した後の追加講習などの形をとる方が適切と考える。また、サードパーティ製アプリの使用に関する検証も改めて必要である。

③ 研修への適用状況

本研修は初級者向けの講習であるため、引き続きDJI GS Proの利用を継続する。今後、上級者向けコースの設立を検討する。

5.2.5 データ解析

(1) データ形式の整理

① 注意点

補助金申請書類をデジタル化する上では、オープンソースソフトウェアのQGISなどが普及していることを踏まえ、GISソフトで閲覧できる形式でのやり取りが適切である。

② 対応策

QGISでの作業方法をテストする。具体的にはAgisoft Metashapeから出力したオルソ画像をQGISにインポートできることを確認する。

③ 研修への適用状況

試行研修ではオルソ写真のQGIS上へのインポート例について簡単に触れた。今後はQGISの操作方法等の研修を実施するためテキストに盛り込んでいく。

5.3 林業現場向けドローン研修の暫定カリキュラム

林業現場向けドローン研修の暫定カリキュラムを作成した。各研修の名称および時間配分を表 5-1 から表 5-3 に、および各 10 講座の詳細については表 5-4 から表 5-13 に示す。

表 5-1 暫定カリキュラム構成 (1 日目)

大項目	推奨授業時間	中項目	時間配分
オリエンテーション	9:00~9:20	全体説明 講習の流れ 本日の流れ 会社紹介	20
第1講 航空写真測量	9:20~10:35	1:航空写真測量とは 2:ドローン測量 3:ドローン測量の必要機材 4:カメラ概説 4. 5:ドローン測量における撮影設定 5:ドローン測量における飛行計画 6:成果物(実例) 7:ドローン測量に適さない対象	75
休憩	10:35~10:45	-	10
第2講 運用方法	10:45~11:00	1:マルチコプターの飛行方法 2:安全確保 3:禁止事項 4:ドローンの墜落	15
第3講 操縦編	11:00~11:20	1:確認事項(フライト前) 2:機体準備 3:電源オン 4:電源オフ 5:モーター起動 6:操縦方法 7:アプリ操作(DJI GO4) 8:ステータス確認 9:確認事項(フライト中) 10:確認事項(フライト後) 11:基本操縦の体験	20
操縦体験	11:20~12:00	屋内操縦	40
昼休み	12:00~13:00	-	60
第4講 無人航空機概論	13:00~13:30	1:無人航空機(UAV)とは? 2:飛行原理 3:ドローンの構造	30
第5講 航空法と許可申請	13:30~14:30	1:国内法 2:航空法・同法施行規則 3:小型無人機等飛行禁止法 4:その他国内法 5:今後の動向	60
休憩	14:30~14:40	-	10
第6講 自動飛行計画	14:40~16:10	1:自動飛行とは 2:自動飛行用アプリの種類 3:飛行計画作成(実習) 4:事前調査、現地視察 5:森林、山間地における飛行計画作成 6:2日目実習のための飛行計画作成	90
休憩	16:10~16:20	-	10
第7講 安全管理について	16:20~16:50	1:無人航空機とリスク 2:操縦時の注意点 3:リスク&トラブル事例紹介 4:安全対策 5:事故対策	30
翌日の説明	16:50~17:00	翌日のスケジュール、持ち物等の説明	10

表 5-2 カリキュラム構成 (2 日目)

	大項目	推奨授業時間	中項目	時間配分
第9講	飛行前確認(周囲)	9:00~9:20	安全な飛行体制か 天候・気温・風速が飛行に適切か 飛行予定空域の状況確認 第三者・物件が周囲にないか確認	20
	飛行前確認(機体)	9:20~9:40	プロペラの状態確認 プロペラガード・プロペラの取り付け方と確認 バッテリーの状態確認 プロボの状態確認と起動方法	20
	アプリ説明 (DJI Go 4)	9:40~10:00	各数値や表示の確認 コンパスキャリブレーション 送信機モード バッテリーの状態確認 フェイルセーフの確認 ジオフェンスの確認 センサー類の設定確認	20
	①基礎1(GPSあり) ★基礎1・2の意義:ドローンの基本的な 操作を学ぶ	10:00~11:00	テスト飛行(講師が一回実演する) 離陸-ホバリング-着陸 前後 ※推奨 T字[左右] 大小のスティック操作 ※推奨 スクエア(反時計) スクエア(時計) ※推奨 8の字 ※推奨	60
	②基礎2(GPSあり)	11:00~12:00	機首変えT字(反時計) 機首変えT字(時計) ※推奨 機首変えスクエア(反時計) ※推奨 機首変えスクエア(時計) ※推奨 機種変え8の字 ※推奨 RTH実演 高高度操縦訓練	60
	③基礎3(ATTI) ★基礎3・4の意義:GPSが入らなくなった 場合や、マルチパスを誤受信した場合の 対応のため、GPSを切ったATTIモードで の操縦を身に着ける	13:00~15:00	テスト飛行(講師が一回実演する) ホバリング T字[左右] スクエア(反時計)	120
	GSPProの事前使用説明	15:00~17:00	ジオフェンス機能について ミッション終了時の選択について ミッション飛行中の安全対策 作成した経路を呼び出す 設定内容に間違いがないか要確認 安全を確認し、転送する 適切な監視員の配置	120
	経路転送		伝達事項	
	監視員の配置		木々の間を通す飛行	
	間伐箇所自動飛行時の注意点		撮影データの確認	
データ確認	SDカードの残量確認			

表 5-3 カリキュラム構成（3日目）

大項目	推奨授業時間	中項目	時間配分
オリエンテーション	9:00～9:10	導入、質疑	5
		撮影成果物確認	5
第7講(続) 安全管理について	9:10～9:30	安全(模擬リスク対策)	20
第8講 写真解析	9:30-12:00 ※適宜休憩	今日の話の流れ	150
		Metashape概説	
		休憩	
		SfM、アラインメント	
		対空標識、GCP	
		高密度点群の計算	
		TINメッシュ作成、テクスチャ貼り付け	
		オルソモザイク画像の作成と出力	
		樹冠表面高モデル(DCSM)の作成と出力	
		面積計算	
		SfM解析と精度検証	
		応用分野	
3日間の振り返りと全体の質疑応答			

表 5-4 第 1 講

タイトル	①航空写真測量（座学）
受講者の到達目標	<p>(測量・機材)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローン測量で何ができるのかを理解する。 ・ドローン測量に必要な機材を知る。 <p>(飛行計画)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飛行計画作成の重要性について理解する。 ・飛行計画作成に必要な各種パラメータを理解する。 <p>(測量・解析ソフト)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローン測量および解析用ソフトの初歩的な原理を理解する。
本研修の必要性	
<p>受講者がドローン測量を行えるようになるためには、航空写真測量の原理（三角測量、SfM 等）について学び、一定のラップ率を満たした連続写真の撮影を習得することが必須である。また、解析ソフトにより、撮影成果物から被写体のデジタル三次元モデルを復元し、この三次元モデルからオルソ画像等の測量成果物を生成するまでの手順を理解・習得することも必須である。</p>	
内容	
<p>以下の内容について、スライドを用いた講義で説明する。</p> <p>(測量・機材)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・空撮測量の原理・特徴（大量・高速・広範囲）について説明する。 ・ドローン測量が一般に普及してきている理由について説明する。 ・ドローン測量に必要な機材のスペック、選択基準について説明する。 <p>(飛行計画)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飛行計画作成について説明する。 <p>(測量・解析ソフト)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・写真測量用解析ソフトウェア（SfM ソフト）について説明する。 <p>研修時間の目安【75 分】</p>	
ポイント	
<p>(測量・機材)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローン測量に必要な機材は一般に入手可能である。 <p>(飛行計画)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・測量現場の状況や成果物の仕様に応じ、測量方法を選択することが重要である。 <p>(測量・解析ソフト)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「複数の写真に同一点(特徴点)が写っていること」は写真測量の大原則である。 	
講師の注意点	
<p>(測量・機材)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローン測量の必要機材が一般に入手可能な民生機器であることを説明する。 ・ドローン測量だけが最良の手法であるような印象を与えないよう留意する。 ・写真測量やカメラについては目やメガネ等身の回りのものに例えながら説明する。 <p>(飛行計画)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・次講以降で DJI GS PRO の有効性の理解を深める観点から、飛行計画の作成には、各種のパラメータを考慮した計算作業が必要であることをよく説明する。 ・オーバーラップ率、サイドラップ率の重要性を説明する。 	

表 5-5 第 2 講

タイトル	②運用（座学）
受講者の到達目標	<p>(法律)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンの飛行に関しては、多数の規則や禁止事項があることを認識する。 次講以降の法律関係に関する基礎知識を習得する。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンの仕組みを知ることがきっかけとして、安全運航に必要なポイントを理解する。 過去の事故事例を各自確認し、対応方法を学ぶ。
本研修の必要性	
<p>初心者がドローン運用するにあたり必要となる基礎知識・用語解説、禁止事項等について解説する。この第 2 講は、基礎的な用語を知ること、以降の研修を理解しやすくする「入門編」と位置付けている。</p>	
内容	
<p>(法律)</p> <ul style="list-style-type: none"> マルチコプターの飛行方法の種別（マニュアル、自動飛行、FPV 等）について紹介する。 目視外飛行、ドローンの飛行場所、昨今の航空法改訂内容について、スライド資料を用いて説明する。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> 本研修で使用する機体の 1 つである「Mavic2 pro」のイメージ動画を放映する。 事故が起きた場合の対処方法について説明する。この中では、国交省 HP に掲載されている過去 6 年間のドローンの事故の事例について触れる。 事故事例（国土交通省）https://www.mlit.go.jp/common/001342842.pdf <p>研修時間の目安【15 分】</p>	
ポイント	
<p>(法律)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンは自律飛行のできる無人航空機であり、航空法の制約を受ける。 飛行方式には、手動操縦、自動飛行、FPV 飛行などがある。 ドローンは、ラジコンに比べて操作が簡単であり、一般に普及している汎用ドローンは比較的安価である。 一般の人々が使えるツールとなっており、様々な産業の現場で活用されている。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> 実際に起きたドローンの事故の一番多い原因は操縦者の操縦ミスである。 	
講師の注意点	
<p>(法律)</p> <ul style="list-style-type: none"> 実例を交えるなどしてイメージしやすく説明する。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> この第 2 講は、ドローン運用の導入編としての位置づけなので、運用の詳細については触れない(次講以降で説明)。 ドローンに対してポジティブなイメージを得ることができるよう説明する（操縦が容易である、過去に活用していた道具と比べて安価で便利であるなど）。 墜落に直結するような危険な行為や環境に関して繰り返し強調して説明する。 	

表 5-6 第 3 講

タイトル	③操縦（座学・体験）
受講者の到達目標	<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・必要機材一式を揃え、機体を正しく組み立てられる。 <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・機体を起動し飛行させることができる。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飛行前・中・後の安全確認ができる。
本研修の必要性	
<p>手動飛行、自動飛行に関わらずドローンを飛行させる際は、準備段階から飛行前後の作業に至るまで実践的な知識を網羅している必要がある。</p> <p>特に環境的に機体に異常が起きやすい林業現場においては、機体の安全チェックの知識を有している必要がある。</p>	
内容	
<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・必要機材の紹介と機体の組み立て方法を、実演及び動画で説明する。 <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・送信機の扱い方と起動方法、操縦方法をスライド資料や実物で説明する。 ・スライド資料を用いて、アプリ内設定画面、推奨設定値、飛行中のステータス、ステータスの異常値への対処方法を説明する。 ・トイドローンを使用して離着陸や基礎的な飛行操縦を受講者に体験させる。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・チェックリストを使って飛行前・中・後に行う安全確認の項目を学ぶ。 <p>研修時間の目安【座学 20 分、体験 40 分】</p>	
ポイント	
<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本研修では、送信機のスティック操作のモードをモード 2 で統一する。 <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサーによる自律飛行のできないトイドローンは ATTI モードの体験になる。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安全確認は、飛行前だけでなく、飛行中や飛行後にも行うべきことがある ・機体の警告音、ライトによって機体の状態を確認する。 	
講師の注意点	
<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・口頭やスライド資料だけでなく、実機やタブレット本体を見せることで（可能であれば触らせながら）具体的なイメージを伝える。動画等も併用する。 <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・トイドローンのスピード感を事前に実演して説明する。 ・屋内の操縦体験では、人に向けて飛行しないレイアウトにする。 ・トイドローン使用の可否を事前に施設に確認する。 ・トイドローン使用に際して施設に傷をつけない工夫をする。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・操縦者の挙動や操縦に気を配り、いつでもストップできる状態にする。 	

表 5-7 第 4 講

タイトル	④無人航空機概論（座学）
受講者の到達目標	<p>(ドローンの定義)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローン（無人航空機）の定義、法的位置づけを理解する。 <p>(ドローンの機能)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローン、特にマルチコプターの飛行原理を理解する。 ドローンの構造、各部品、および GNSS の役割を理解する。
本研修の必要性	
<p>ドローンの定義や法的位置づけに加え、一般に使用されているマルチコプターと呼ばれるタイプのドローンについて、飛行原理や構成パーツの役割を理解する。</p> <p>ドローンの仕組みを学ぶことで、変わりやすい天候、GNSS 衛星補足の困難さなど山間地特有の起伏の多い地形がドローンに及ぼす影響を理解することができる。</p>	
内容	
<p>(ドローンの定義) スライド資料により、以下の説明をする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 航空機の分類を説明し、分類ごとの利用方法を説明する。 航空法における無人航空機（ドローン）の定義を説明する。 マルチコプターの上昇下降、前後左右移動、回転移動の原理を説明する。 <p>(ドローンの機能) 実機を見せながら以下の説明をする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンの各パーツ構成を説明する。 自律飛行を実現するために各パーツが何の役割を担っているか説明する。 <p>研修時間の目安【30 分】</p>	
ポイント	
<p>(ドローンの定義)</p> <ul style="list-style-type: none"> 無人航空機は、一般的に「ドローン」と呼ばれている。 一般に普及しているドローンはマルチコプターである。 <p>(ドローンの機能)</p> <ul style="list-style-type: none"> 翼（マルチコプターではプロペラ）の揚力を利用して浮上している。 上下左右と回転の移動は、各プロペラの回転数に差をすることで行っている。 重力センサー、角加速度センサー、気圧センサー、ビジョンセンサー、超音波センサー、GNSS など、様々なセンサーを搭載している。 全センサーからの情報をもとに各プロペラの回転数を変化させ、ドローンの位置と姿勢を安定させている（センサーフュージョン）。 ある程度多くの GNSS 衛星からの信号を補足しなければ、GNSS は使えない。そのためには空が開けている必要がある。 	
講師の注意点	
<p>(ドローンの機能)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンを構成する各部品の役割のみならず、起こりうるエラーや異常についても触れ、受講者自身によりある程度のトラブルシューティングが可能になるように説明する。 GNSS のエラーについては、ドローン操縦研修において ATTI モードで練習を行う意義と結び付けて説明する。 	

表 5-8 第 5 講

タイトル	⑤航空法と許可申請（座学）
受講者の到達目標	<p>(法規)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・航空法はじめ国内のドローンに関する法令等を理解する。 ・林業の現場で注意すべき法令等を理解する。 <p>(許可申請方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・法令等に基づく航空局への申請手続きを自分で行えるようになる。
本研修の必要性	
<p>ドローンの飛行に関わる法令等は数多くあり、違法行為や事故につながらぬよう、それらを学ぶ必要がある。林業の現場では自動飛行を行うことが多いと考えられ、目視外飛行や対地高度 150m を超える飛行のための申請手続きを自身で行える必要がある。</p>	
内容	
<p>(法規)</p> <p>スライド資料により、以下の説明をする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローンに係る法律・規則・条例について（航空法・小型無人機等飛行禁止法・その他規則や条例）対象となる機体を明確にしつつ説明をする。 ・各法律にどのような罰則があるかについても触れる。 ・林業の現場で注意すべき法律・規則・条例について、飛行環境の特殊さと紐づけて説明をする。 <p>(許可申請方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・過去に申請が通らなかった例等に触れる。 ・林業の現場で申請する機会が多いと思われる目視外飛行については、包括申請と個別申請の手法の 2 つを、「無人航空機の飛行に関する許可・承認申請書（様式）」や申「請書記載例」等をスライド資料により説明する。 ・法律や申請に関しての今後の動向を、国交省ホームページ内「最新情報」よりピックアップしてスライド資料に反映し、受講者には都度最新の情報を説明する。 	
研修時間の目安【60 分】	
ポイント	
<p>(法規)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・受講者が作業のイメージをしやすいように、スライド資料の説明をするだけでなく、実際のオンライン申請入力画面を見せる、または国交省ホームページの「申請書類」内の必要書類や見本などの現物を配布する。 <p>(許可申請方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・林業現場でのリモートセンシング技術の検証では、山間地における地形の凹凸や立木（の樹高の）影響で、目視外飛行および対地高度 150m を超える飛行になる場面が頻出する知見が得られた。 <p>これを踏まえ、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・山間地での目視外飛行および申請方法について説明する。 ・山間地での高度制限の注意点および対地高度 150m 以上の飛行申請について説明する。 	
講師の注意点	
<p>(法規)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・法律的には安易な飛行が許されず、飛行禁止区域も広域にわたることを説明する。 ・逮捕される場合・例等を説明する。 <p>(許可申請方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国土交通省への飛行申請以外の許可申請についても説明する。 	

表 5-9 第 6 講

タイトル	⑥自動飛行計画作成（座学および実習）
受講者の到達目標	<p>（自動飛行概要）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動飛行について理解する。 ・林業の現場における DJI GS PRO の使い方を理解する。 ・事前調査の重要性と方法および調査ポイントを理解する。 ・現地視察の重要性と方法および調査ポイントを理解する。 <p>（実習）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動飛行用アプリ（DJI GS Pro）で飛行計画を作れるようになる。 ・ラップ率を決定する種々のパラメータを知り理解する。
本研修の必要性	
ドローン測量はマニュアル飛行では不可能であり、自動飛行をさせることが絶対必須である。飛行計画の考え方と、自動飛行用アプリを用いた実際の方法、林業の現場等に適したラップ率と飛行高度、DJI GS PRO を山間地で用いるための具体的な方法についても学ぶ必要がある。	
内容	
<p>（自動飛行概要） スライド資料により、以下の説明をする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動飛行とはなにか ・自動飛行用アプリ（DJI GS PRO）について ・測量のための飛行計画の形状、ラップ率及び飛行高度などの各種のパラメータについて学ぶ。 ・事前調査（地図やインターネット等で現地の情報を集める）と現地視察（事前にドローン飛行の観点から現地を視察）の重要性、方法、ポイントについて学ぶ。 ・森林・山間地における飛行計画作成。DJI GS PRO の特性を知り、山間地での DJI GS PRO を用いての計測方法を学ぶ。 <p>（実習） Apple 社製 iPad を用いた DJI GS PRO 操作体験</p> <ul style="list-style-type: none"> ・iPad 上で DJI GS PRO の操作体験 ・翌日の実際の飛行実習で使うための飛行計画作成 <p>研修時間の目安【90 分】</p>	
ポイント	
<p>（自動飛行概要）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カメラ仕様と飛行高度から撮影範囲が決まるため、カメラ仕様についても一定の知識が必要である。 ・撮影範囲とラップ率から飛行計画（飛行ルート）が決まる。 ・汎用性、市場でのシェア、ネットでの情報の得やすさ、ユーザーインターフェースのわかりやすさ、初心者にも扱いやすい DJI 製機体とその純正の自動飛行用アプリアプリ DJI GS Pro を用いる。 ・事前調査で調べる最重要ポイントは「地形」である。 ・ドローンの総合的な知識が、現地視察での有効な「気づき」につながる。 <p>（実習）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・DJI GS PRO の測量モードは一定高度の飛行計画しか作れない。 	
講師の注意点	
<p>（自動飛行概要）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際に自動飛行を行う場所の事前情報を把握しておき、講義で触れる。 <p>（実習）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・講師が操作する iPad の画面はスクリーンに投影し、大画面で見せる。 ・iPad を操作しながら解説する講師とは別に、受講者の座席を巡回し操作の補助や解説を行う人員も受講者の人数に応じて配置する。 ・フライト可能なエリアを伝えておく。 	

表 5-10 第 7 講

タイトル	⑦安全管理について（座学）
受講者の到達目標	<p>(リスクの種類)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローン飛行中に起こりうるリスクを理解する。 <p>(事故と対策)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事故の原因や予防対策、事故が起きた場合の対処方法が分かる。 <p>(3 日目安全講習)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・林業の現場でのリスクを理解する。
本研修の必要性	
ドローンの運用において安全管理は必須である。過去の事故データや想定しうるリスクを学び、異常発生時の対処方法や運用の可否判断等を習得する。対処方法を理解することで、万が一の事故の際にも被害を最小限に食い止めることが可能となる。	
内容	
<p>(リスクの種類) スライド資料により、以下を説明する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・天候や環境が要因のリスク、操縦や機体が要因のリスクをそれぞれ説明する。 <p>(事故と対策) スライド資料により、以下を説明する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国交省ホームページ内「事故情報等の一覧」をベースに、過去に起きた事故やトラブル事例を確認し、事故から学べることがないかを受講者と検討する。 ・過去の講師の体験談から事故の予防策を説明する。 ・事故を起こした場合の対処方法を説明する。 <p>(3 日目安全講習)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事前に用意していた事故が起こりそうな現場の見本写真をもとに、具体的な危険事項・安全対策についてどのような内容が想像できるか受講者同士で話し合い発表する。 ・2 日目に訓練現場を思い返し、各自が感じた危険事項・安全対策を受講者同士で話し合う、または発表の場を作る。 <p>研修時間の目安【30 分】 3 日目の研修時間の目安【20 分】</p>	
ポイント	
<p>(リスクの種類)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・他の講義と繰り返しになる内容も多いが、重要な内容であるため省略せずに講義する。 ・山間地は天候（気候）が変わりやすいため、ドローンの運用の支障となる風や雨には十分に注意が必要である。 ・目視外飛行となることが多いため、機体を見失った時の注意点を説明する。 <p>(事故と対策)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国交省ホームページ内に「事故情報等の一覧」が掲載されている。 <p>(3 日目の安全講習について)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・受講者が検討し、発言した「危険事項」については、すべて起こり得るので「正解」として良いが、単に「正解」を考えるのではなく、予測や想像をすることが大切である。 	
講師の注意点	
<p>(リスクの種類)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・講師が実際に過去体験したヒヤリハットなどを伝え、その時の対策方法や回避方法、反省点などを説明する。 <p>(事故と対策)</p> <p>「事故情報等の一覧」が掲載されている場所を伝え、過去の事例を確認するなどして自習することを促す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・適切な判断と使用方法をしなければ事故が起こる可能性があることを説明する。 ・事故が起きてしまった場合の適切な対処方法を説明する。 <p>(3 日目の安全講習について)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・受講者の意見をホワイトボードや投影画面に書き出し、意見を整理する。 	

表 5-12 第 8 講

タイトル	⑧解析研修（座学＋実習）
受講者の到達目標	(解析方法) ・ SfM ソフトの基本機能を理解し、扱えるようになる。
本研修の必要性	
ドローンで撮影した単写真を GIS 等で活用する際に必要となるオルソ化に関し SfM ソフト（本研修では Agisoft Metashape）の概要・操作方法について実践を通して学ぶ必要がある。	
内容	
<p>(解析方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ SfM ソフトの解析行程を下記の順を追って説明する。（受講者が同じサンプルファイル開きながら学ぶ方式とする。） 1) 写真の取り込み、および座標系の設定。 2) アライメント（特徴点抽出、タイポイント生成、カメラ位置推定）。 3) 対空標識に手動マーカを設置。対空標識の座標入力。 4) 手動マーカのパixel誤差補正を行い、カメラの最適化を実施。 5) アライメントされた 3D モデルを用いた高密度クラウド生成。 6) 高密度クラウドを基にメッシュ構築（点群データから面データへの変換） 7) 3D メッシュモデルをリアルな質感を持たせるテクスチャ構築。 8) DSM の構築。 8) オルソ画像の構築。 9) 成果物（オルソ画像）のファイル出力・保存。 ・ 林業の現場に関わるドローンを用いた他の活用方法について紹介する。 <p>研修時間の目安【150 分】</p>	
ポイント	
<p>(解析方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 点群の長所は 3 次元的に任意の方向からのオルソ画像が出力できるところにある。 ・ 画像の EXIF 情報やスマートフォンのアプリなど GNSS から得られる位置情報は世界測地系（WGS84）であるが、トータルステーションを用いた測量は日本平面直角座標系である。 	
講師の注意点	
<p>(解析方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 受講者全員が同じサンプルファイル開いていく形式ではあるが、受講者の理解や PC 操作の速度には時間差が生じるため、補助者を配置して机間巡視し、理解や操作の補助を行うこと。 ・ 実習班の数は補助者の数に合わせて検討すること。 ・ 質疑応答の時間を作ること。 	

表 5-13 第9講

タイトル	⑨ドローン手動操縦（実技）
受講者の到達目標	<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> 機体の組立を習得する。 <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> 手動操縦を習得する。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> 操縦サポートの方法を習得する。 安全を意識した運用を習得する。
本研修の必要性	
<p>主として自動飛行を行う林業現場であってもトラブル発生時は手動操縦を行うことになるため、操縦技術向上は必須である。</p>	
内容	
<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> 飛行前安全確認（周囲、機体）の実演を行い、それぞれの動作の意図を説明する。 機体の組み立てと解体を、実機を使いながら受講者に作業させる。 iPadの画面を見ながら、アプリ説明・設定（DJI Go4）を実演する。 <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> 手動操縦基礎訓練①（GNSS下） 離着陸、ホバリング、前後左右、T字、スクエア 手動操縦基礎訓練①（GNSS下） 機首変えT字、機首変えスクエア 手動操縦基礎訓練①（ATTIモード） ホバリング（受講者のレベルに合わせて前後左右、T字、スクエア、各種機種替えなどを行う） <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> 操縦者、補助者と安全運航管理者の役割を説明し体験する。（適切な配置の仕方や、互いの声掛けの重要性を説明する） <p>研修時間の目安【300分】</p>	
ポイント	
<p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> ATTIモードに切り替わりやすい、離着陸が困難な場合が多いなど、山間部特有の要注意ポイントがある。 事故防止のためATTIモードの訓練時においても離着陸はPモードで行うこと。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> セッティング、バッテリー交換等も重要なサポート作業であること。 一名での操縦の難しさ。 機体の距離感把握の難しさ。 	
講師の注意点	
<p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> 山間部特有の注意事項を伝え、操縦技術の向上が必須であることを受講者に理解させること。（ATTIモードに切り替わりやすい、離発着が困難な場合が多いなど） 現場の安全を第一に考え、ATTIモードが苦手な受講者に無理をさせない。 研修中は受講者には平等な訓練内容と時間で実施するように心がける。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> 全員が操縦者・補助者・安全運航管理者の役割を体験できるよう配慮する。 受講者の操縦が慣れてきても各ステップでの確認を怠らないようにする。 一名での操縦や機体の距離感把握の難しさをわかりやすく説明する。 	

表 5-14 第 10 講

タイトル	⑩ ドローン自動飛行（実技）
受講者の到達目標	（自動飛行） ・自動飛行を行うことができる。 ・自動飛行を用いて連続撮影を行うことができる。
本研修の必要性	
林業現場の写真測量に必要となる画像を撮影する際には、ドローンの自動飛行が必須となる。現場の状況に合わせて飛行経路やカメラの設定を現地で変更し、自分が求める精度の成果物を得る技術が必要であり、そのための研修を行う。	
内容	
受講者は実際の現場にて 2~3 人のグループに分かれ、各グループで、第 4 講で設定した自動飛行計画に沿った飛行を講師指導のもとで実際に行う。 （自動飛行） <ul style="list-style-type: none"> ・講師による自動飛行のデモンストレーション。 ・自動飛行用アプリ（DJI GS Pro）の使用方法を実演・説明する。 ・講師の指導のもと班ごとに自動飛行を実践する。（経路転送、離陸、自動飛行中の機体と画面確認、着陸） ・各班の要望や課題に合わせて、iPad のアプリ上で経路や設定値の調整と変更をしてもらい、講師の確認後に再度自動飛行を実践する ※十分な精度の撮影ができるまで繰り返す。 ・アクシデント発生時の飛行中止方法を説明する。 ・GNSS の誤差等により、着陸地点が離陸地点からずれる場合の手動着陸を説明する。 ・撮影した画像を PC で開き、画像にブレ、ボケ、白とびや黒つぶれ、明らかな撮影地点の飛び（不完全なラップ）等の不備がないか確認する必要について説明する。 研修時間の目安【2 時間】	
ポイント	
（自動飛行） <ul style="list-style-type: none"> ・目視外になる箇所以外は機体を見失わないようにする。 ・手動操縦時と同様、ルーティーンで全員が操縦者・補助者・安全運航管理者の役割を学ぶ。 ・SD カードが機体にセットされていることと空き容量を確認する。 	
講師の注意点	
（自動飛行） <ul style="list-style-type: none"> ・安全を第一に考える。 ・受講者に対して平等の内容で平等の時間で実施する。 ・時間・天候の変化を意識する。 ・各種確認を怠らない。 ・飛行前に必ず飛行計画を確認する。 	

6. 林業現場向けのドローン研修の試行

6.1 試行研修の開催場所

6.1.1 試行研修の開催場所の選定

① 試行研修場所の選定手順

試行研修の開催場所は、以下の流れで選定した。

- a 林業者事業者等向けの事前アンケートにおいて、会場提供の可否について「可能」と回答のあった自治体を抽出
- b 北海道、東北、関東、中部、近畿、中国・四国、九州・沖縄に分類
- c その中より、事業実施主体との繋がりが有る自治体やブルーイノベーションへアンケート結果を送付する際、メールにて研修開催を希望する内容の記載があった林業事業者等に協力を依頼。

② 試行研修場所（実技）の要件

- a 要件の順位度高（試行研修を実施する上で欠けてはならない）
 - ・ある程度の視野・視距が確保できる。
 - ・安全上、極端な急傾斜地ではない。
 - ・車道からの距離が近く、駐車（乗用車）スペースが少なくとも4台分ある。
 - ・土地所有者の許可がとりやすく、座学会場から近隣（1時間以内程度）
 - ・操縦訓練する場所については平らである又は離発着場所が平らにできるような場所がある。
 - ・上空や近隣に障害物や強い磁気を発生するような構造物がなく、GNSSが問題なく取得できる開けた場所。
- b 要件の順位度中（絶対ではないがあった方が研修をスムーズに進行できる）
 - ・植付を実施した場所、下刈り実施後の場所
 - ・ドローンのバッテリーや送信機、iPadなどの充電ができる設備とスペースが徒歩圏内にある。
 - ・航空法に抵触しない地域（抵触する場合は事前に飛行申請が必要）で、第三者等が容易に入ることができない。
 - ・雨天時は屋内での操縦訓練を実施することになるため、体育館などの広い屋内スペースが準備されている。
 - ・携帯電話が通じる。
- c 要件の順位度低（この条件がなくても試行研修は実施できる）
 - ・自動販売機や飲食物が購入出来る施設が車で10分圏内にある。

③ 座学会場の要件

- ・プロジェクター等の設備がある。
- ・コロナ対策のため、机1脚につき1名という形で連続して受講者が並ばないような座席配置が取れる広さがある。

④ 実技及び座学会場に共通する要件

- ・座学・実技会場は、公共交通機関または自動車アクセスできる場所で、トイレや手洗い場がある。
- ・研修用機材の搬入出が必要となるため駐車場が必須。
- ・1日通しての研修となるため食事をとるためのスペースか食堂などがあると理想的。

6.1.2 試行研修の開催場所

① 東京都

座学：東京都農林水産振興財団（東京都青梅市新町 6-7-1） ※20 名程度収容可

実技：檜原村（東京都西多摩郡檜原村字下元郷 5340 番 1 外）



図 6-1 東京都農林水産振興財団内座学会場



図 6-2 檜原村実技会場

選定の経緯：林業現場でのドローンを活用したリモートセンシング技術の精度検証実験の場所としても提供いただいていたため。

② 茨城県

座学：つくばねオートキャンプ場（茨城県石岡市小幡 2132-14）※15名程度収容可能

実技：つくばねオートキャンプ場（茨城県石岡市小幡 2132-14）



図 6-3 つくばねオートキャンプ場内座学会場



図 6-4 つくばねオートキャンプ場内実技会場

選定の経緯：業事業体より開催希望の申し出があったことと、オートキャンプ場が研修場所として適切と判断されたため。

③ 岐阜県

座学：飛騨流葉ドローンパーク（岐阜県飛騨市神岡町伏方 150）※10名程度収容可能

実技：飛騨流葉ドローンパーク（岐阜県飛騨市神岡町伏方 150）



図 6-5 飛騨流葉ドローンパーク内座学会場



図 6-6 飛騨流葉ドローンパーク内実技会場

選定の経緯：岐阜県森林整備課様より開催の申し出があったことと、提供施設が研修場所として適切と判断されたため。

6.2 林業現場向けドローン研修の試行実施

6.2.1 総論

林業現場向けドローン研修を3都県でそれぞれ3日間試行した。各試行研修の後、受講者にアンケートを実施し、課題となった点については次回の研修の際に改善した。また、運営面の課題についても洗い出しを行い、改善を図った。

6.2.2 東京都実施（第1回目）



図 6-7 ドローン操縦の練習風景

1) 概要

実施日時：2020（令和2）年8月4日（火）9:00～17:00（座学）
2020（令和2）年8月5日（水）9:00～18:00（実技）
2020（令和2）年8月6日（木）9:00～12:00（座学）
開催場所：座学：東京都農林水産振興財団（東京都青梅市新町 6-7-1）
実技：檜原村（東京都西多摩郡檜原村字下元郷 5340 番 1 外）
人数：モニター受講者 6 名

2) 内容：

5.3 の暫定カリキュラムにそって、研修を実施した。

3) 問題点

- ・実際にドローンを活用していくにあたり、飛行申請等を適切に実施できるか不安との意見が受講者からあった。
- ・ドローンの離着陸の際に建物にぶつかる心配がない実技会場を確保できなかったことから、ドローンを初めて操縦する受講者にとって必ずしも最適な環境とは言えなかった。

4) 受講者から出た意見

- ・機体が安定していて問題なく操縦できる。
- ・動物除けのネットの破損個所をドローンで点検できたら便利だ。
- ・1回の研修だけで飛行申請を実施するのは難しい。

5) 次回改善点

- ・飛行申請を自分で行う際に、申請書のどこにどのような内容を記載して提出すれば良いかを示すため、「無人航空機の飛行に関する許可・承認申請書」、「飛行申請見本_空港周辺、150m以上及び目視外飛行」、「飛行実績報告書」、「飛行マニュアル」の説明及びそれら資料の配布を次回以降の研修で行うこととした。
- ・実技会場において、ドローン基礎研修を行う場所は、平坦で広い場所を選定する。(目安としてドローン1機あたり20m×20m以上を確保する)。

※飛行申請用 参考資料 (次回より配布)

無人航空機の飛行に関する許可・承認申請書 (様式)

リンク : <https://www.mlit.go.jp/common/001220062.docx>

無人航空機飛行マニュアル (場所を特定した申請)

リンク : <https://www.mlit.go.jp/common/001218179.pdf>

無人航空機飛行マニュアル (場所を特定しない申請)

リンク : <https://www.mlit.go.jp/common/001218180.pdf>

飛行実績報告書の記載例

リンク : <https://www.mlit.go.jp/common/001121505.pdf>

空港周辺、地表又は水面から150m以上の高さの空域での飛行許可申請の申請書記載例

リンク : <https://www.mlit.go.jp/common/001218189.pdf>

目視外での飛行承認申請の申請書記載例リンク :

<https://www.mlit.go.jp/common/001218185.pdf>

無人航空機の空港周辺での飛行禁止空域の拡大について

リンク : https://www.mlit.go.jp/koku/content/notice_airspace.pdf

6.2.3 茨城県実施（第2回目）



図 6-8 皆伐地での自動飛行の様子

1) 概要

実施日時

2020（令和2）年8月19日（水）9:00～17:00（座学）

2020（令和2）年8月20日（木）9:00～18:00（実技）

2020（令和2）年8月21日（金）9:00～12:00（座学）

場所

座学：つくばねオートキャンプ場（茨城県石岡市小幡 2132-14）

実技：つくばねオートキャンプ場（茨城県石岡市小幡 2132-14）

人数：モニター受講者6名

2) 内容：

東京都開催（第一回目）の内容に加えて、飛行申請等について理解を深めるために「無人航空機の飛行に関する許可・承認申請書」、「飛行申請見本_空港周辺、150m以上及び目視外飛行」、「飛行実績報告書」、「飛行マニュアル」の説明も行った。

東京都での試行研修では、研修終了後に飛行申請ができると答えた研修生は1名に過ぎなかったが、茨城県での試行研修では飛行申請に関する内容を充実したことから、飛行申請ができそうであると回答した研修生は5名中4名となった。

3) 問題点

・実技研修において、非GNSS環境下での練習を行った際、機体の向きが分からなくなり操縦者が混乱して制御ができず大きく航路が外れてしまった。仮に間伐地であれば木に接触し墜落していたと思われる。そのため、非GNSS環境下での練習は機体が左右に大きく振れることなく安全にホバリングできるようになるまで入念に実施する必要があることが分かった。

・炎天下での飛行を長時間実施したことが原因となり、軽度の熱中症になった受講者がいたが、水分補給と休息を取り、受講者の熱中症は落ち着いた。

・実技研修中、アブに刺された受講者がいた。山奥での実施が基本となるため、スムーズかつ快適に受講させるためにも虫を寄せつけない工夫が必要である。

4) 受講者から出た意見

・林業現場は他人の山の敷地と隣接しているため、ドローンの飛行中、入ってしまう可能性があるが、許可は必要か。

・飛行経路を作成する前までの現地調査や視察が重要になる意味が分かったという声があ

った。

- ・間伐現場では狭い木々の間を通して上空に抜けていくため、運用は難しそうだ。
- ・QGIS で活用するために必要な出力設定方法を知りたい。

5) 次回改善点

・非 GNSS 環境下での練習の必要性について説明する必要がある。座学においても山の中では GNSS が取得しにくい旨の説明はするが、実技研修においても、GNSS が取得できない場合にドローンがどのような動きをするのか、どのような危険性があるのかなどについて改めて説明する。具体的には、GNSS の取得が弱いと自己位置推定が弱くなりホバリングすることができなくこと、この場合、風に流され木々に衝突してしまう危険性があること、これを防止するためには操縦者自身でホバリング制御できるようになることが必要であることなどを伝える。

・QGIS の活用方法について解析研修時に説明する。具体的にはオルソ画像のエクスポート方法の手順や、QGIS と他の地図情報とを組み合わせることで高度な解析が可能であることについて説明を加える。

・炎天下での研修実施時には、受講者に対して熱中症への注意喚起を行うとともに、飲料水を持参させ、操縦してない時には水分補給をするように伝える。

6.2.4 岐阜県実施（第3回目）

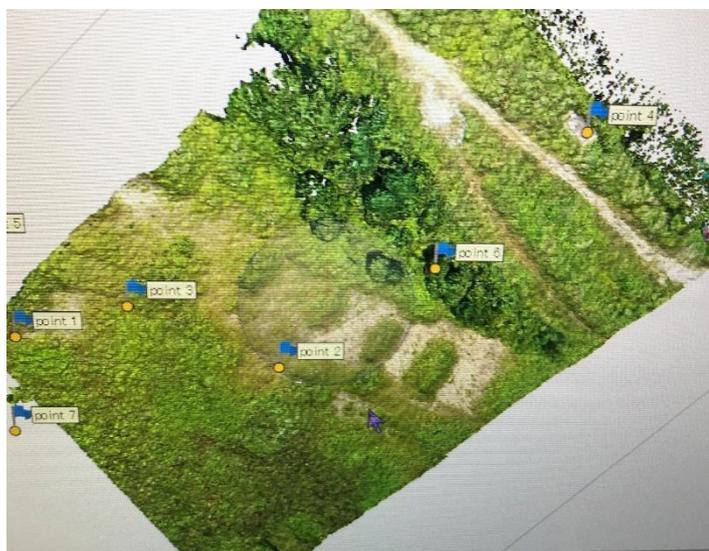


図 6-9 自動飛行で受講者が撮影したデータ

1) 概要

実施日

2020（令和2）年8月26日（水）9:00～17:00（座学）

2020（令和2）年8月27日（木）9:00～18:00（実技）

2020（令和2）年8月28日（金）9:00～12:00（座学）

場所

座学：飛騨流葉ドローンパーク（岐阜県飛騨市神岡町伏方 150）

実技：飛騨流葉ドローンパーク（岐阜県飛騨市神岡町伏方 150）

人数：モニター受講者5名

2) 内容

1日目の座学では、第2回の茨城での研修と同様、ドローン飛行許可に対する各申請方法の説明を行った。

実技では途中から雨が降り出す予報だったため、非GNSSモード（ドローンのフライトモードの一つで「GNSS」をドローンの機体位置の制御に使わない状態。機体が風の影響を受けやすい等、制御が難しいため、高度な操縦技術を取得するために使用される）の操縦練習よりも先に、各班それぞれ2回の自動飛行を行った。

その後、雨天となり、室内にてDJI Mavic miniを使用し、非GNSSモードでの操縦練習を行った。

第2回茨城開催で挙げたQGISで活用する方法について受講者に説明した。具体的にはオルソ画像のエクスポート方法の手順や、QGISと他の地図情報とを組み合わせることで高度な解析が可能であることについて触れ、樹高計測や経年変化の観測や高度な面積計測について応用できる可能性があることを説明した。

CONFIDENTIAL

GISへ応用

21
© 2020 Blue Innovator Co., Ltd.

CONFIDENTIAL

オルソモザイクのエキスポート方法①

ファイル > エクスポート > オルソモザイクをエキスポート > JPEG/TIFF/PNGをエキスポート

Blue innovation 22 © 2020 Blue Innovator Co., Ltd.

CONFIDENTIAL

オルソモザイクのエキスポート方法②

エキスポート設定時に
・GISで使用する座標系を選ぶ
・「Worldファイルを書き込む」にチェック

Blue innovation 23 © 2020 Blue Innovator Co., Ltd.

CONFIDENTIAL

オルソモザイクのエキスポート方法③

・エキスポート時に tif png等拡張子を選択
・tifを選んだ場合、「TIFファイル」と「TFWファイル」が作成される。
→ TIFファイルをGISで読み込み可能 ※「TFWファイル」も同じ階層で保存すること

Blue innovation 24 © 2020 Blue Innovator Co., Ltd.

CONFIDENTIAL

(例) QGIS

・フリーGISソフト「QGIS」で読み込んだ場合
※ベースマップは某様地図情報 (<https://gdg.qi.jp/download/mapGis.php>) より引用

GISを活用すると、他の地理情報と組み合わせることで高精度な解析が可能

- ・樹木計測
- ・経年変化の観測
- ・高度な地形計測
- 等

Blue innovation 25 © 2020 Blue Innovator Co., Ltd.

図 6-10 追加テキスト「QGIS への応用」

3) 問題点

- ・悪天候時の実技については、今回のように一部については屋内で対応できる場合もあるが、全日悪天候の場合は屋外での自動飛行訓練ができなくなる。このような場合の実技研修の開催をどうするのか検討する必要がある。
- ・今回は、屋内でのトイドローンの使用許可を得られ、かつトイドローンの使用に十分なスペースがある施設であったが、施設によっては許可が下りない場合や受講人数によってはスペースの都合上、十分な訓練が受けられない場合も想定される。

4) 受講者から出た意見

- ・現地測量は基本2名体制で実施しているため、3名体制となるとコストパフォーマンスが気になる。
- ・屋内用の機体やアプリ内のシミュレーターでの操縦訓練を行ったことで、今後の自主練習のイメージがついた。

5) 次回改善点

- ・森林整備事業の申請・検査でのオルソ画像の使い道や活用法を盛り込むなど、具体的な例や十分な時間を確保することを検討する。
- ・小さいデータでも構わないので、Agisoft Metashape を一通り体験できる研修とする。
- ・悪天候の場合に備えて、体育館など十分な屋内スペースを準備する。
- ・悪天候の場合は、事前に座学をオンラインにして実技の日程を調整するほか、予備日の設定を検討する。
- ・各団体がドローン導入を推進するために参考となる資料を作成する。具体的にドローンを運用する上で必要な備品と価格帯を明記したリスト等を作成しお渡しする。

6.3 効果検証（研修試行実施からのフィードバック）

研修の試行後に実施したアンケートの結果を分析すると以下のとおりである。

① 座学講師について（図 6-11）

座学に関しては6割を超える受講者が分かりやすかったとの回答であった。全般的には、研修カリキュラムや講師の説明・指導に受講者が満足していたことが伺える。しかし、分かりにくかったという回答者もあり、課題があることも分かった。

また、研修テキストの内容の一部について繰り返し説明がされていても不安である、飛行申も不安であるという受講者からの声もあったため、研修テキストの内容を再度精査すること、飛行申請サンプル等の参考資料等を活用することなどを検討する必要がある。

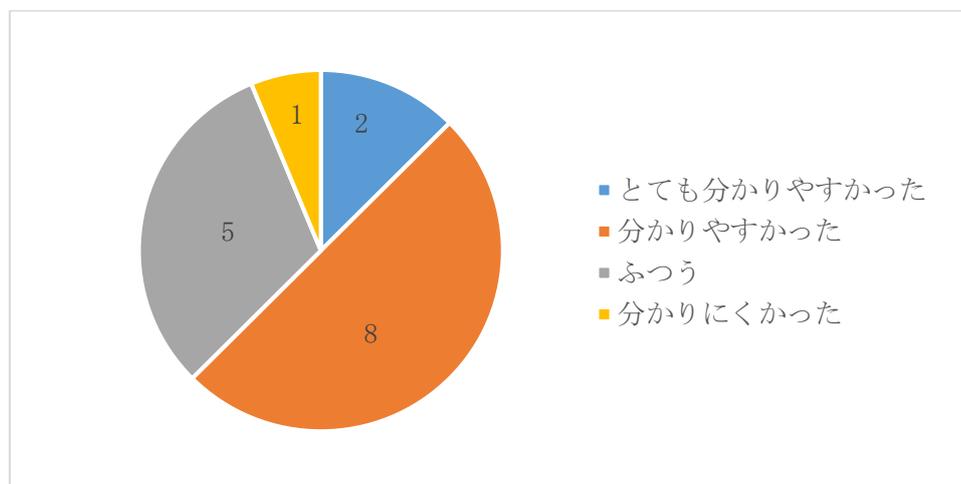


図 6-11 質問 5[座学講師の教え方はいかがでしたか？]

② 実技講師について（図 6-12）

実技に関しては9割を超える受講者が分かりやすかったとの回答であった。3名～4名の少人数に分けて研修を実施したため、個別にアドバイス等ができたことが良かった点であると考えられる。しかし、分かりにくかったという回答をされた方もいる点は今後の課題である。

例えば非GNSS環境下での操縦訓練をなぜ行う必要があるのかに関する説明が不足していたため、このような点が分かりにくい説明に繋がってのではないかと考える。林業現場向けドローン研修は、林業現場でドローンを活用させることを目標としている以上、分かりにくい説明があった場合、受講者にとって現場で活用していくうえで不安要素になる。今後はその操縦訓練の意図を伝えてから訓練を実施する必要がある。

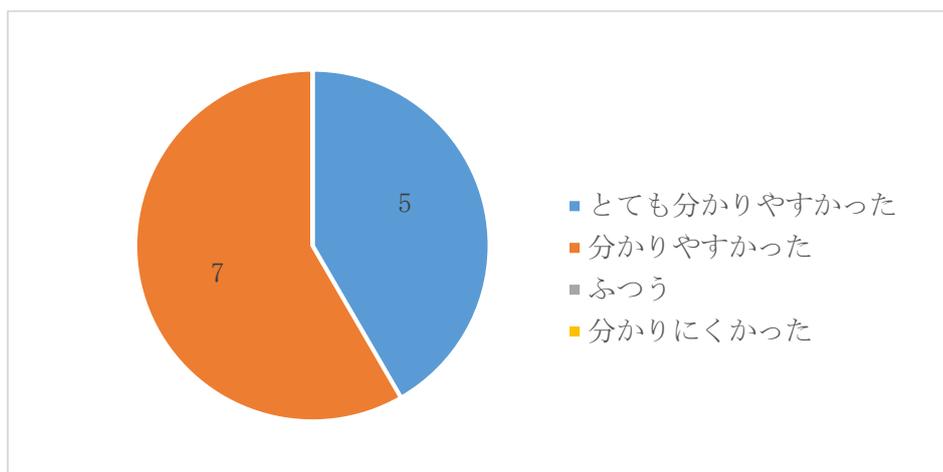


図 6-12 質問 8[実技講師の教え方はいかがでしたか?]

③ 手動操縦時間について (図 6-13)

手動操縦時間に対しては「ちょうどいい」という意見が約4割にとどまった。むしろ、手動操縦の時間が短いと印象を持った受講者が3割いるというのは今後の課題と考える。

緊急時や非 GNSS 環境下では手動操縦が必要となることから、全国研修時には手動操縦の研修時間を増やし、林業現場でも安心して運用ができるようにする。具体的にはた、飛行許可申請には、操縦者が最低 10 時間以上の飛行時間を有することが必要とされていることを踏まえ、10 時間の手動操縦を組み入れる。

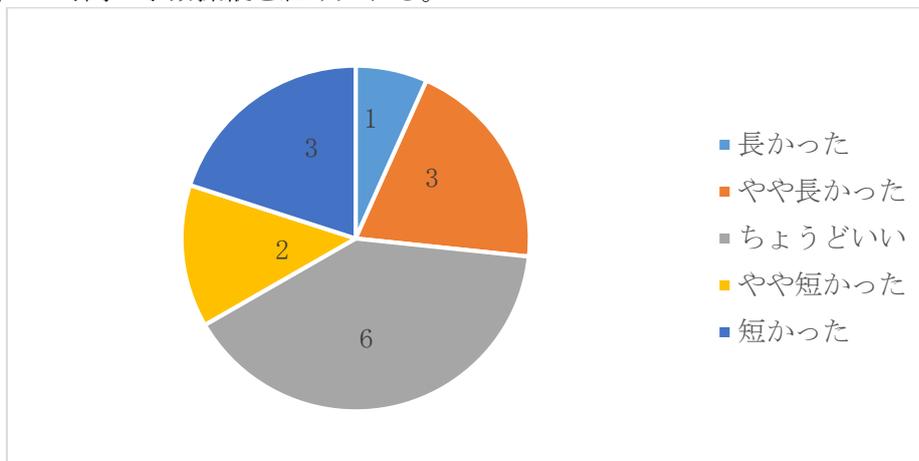


図 6-13 質問 6[2 日目の手動操縦訓練の時間について教えてください]

④ 今後の研修について(図 6-14, 図 6-15)

受講者の全てが、今後も継続して研修や運用サポートを希望した図 6-15 にあるとおり、サポートを希望する分野は「写真測量」がもっとも多く、次に「知識の更新」となっている。ドローンの技術や法律が目まぐるしく変化していることから、定期的に最新情報を知りたいとする受講者も見られた。将来的にはセミナー形式などで最新のドローン情報を林業事業体に提供していくことも検討する事が必要であると考ええる。

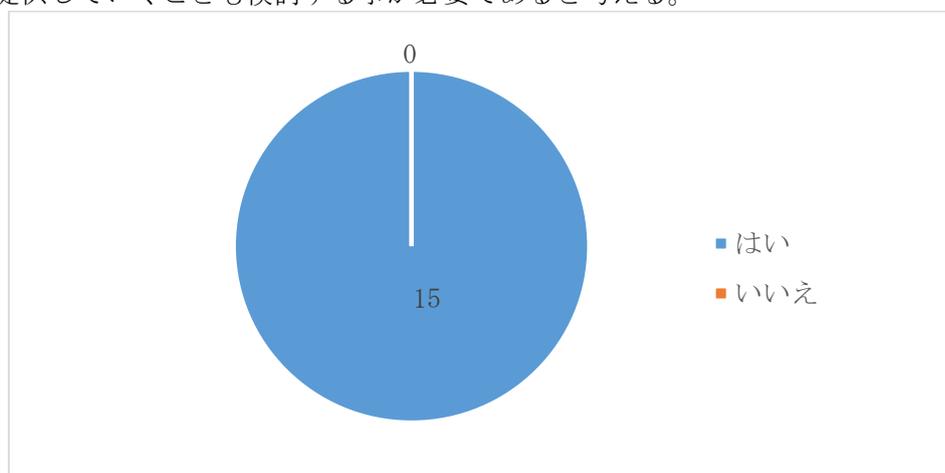


図 6-14 質問 14[ドローンの利活用に関して、今後も継続的な講習会や運用サポートを希望されますか?]

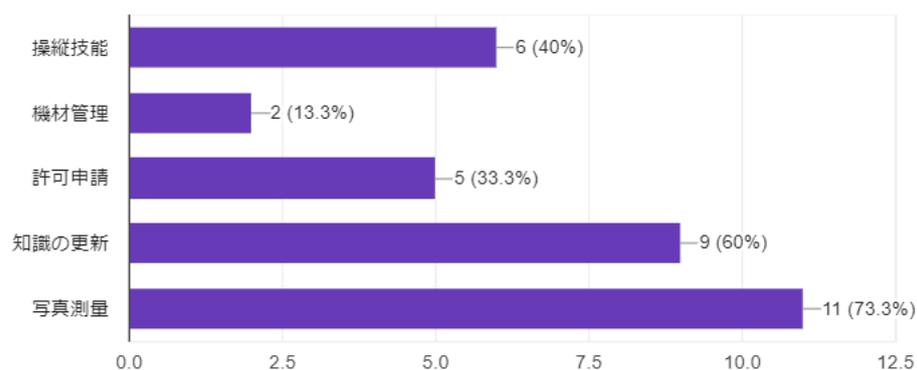


図 6-15 質問 15[「はい」の場合、希望分野]

7. 林業現場向けのドローン研修のカリキュラム

暫定カリキュラムによる試行研修で得た知見をもとに、林業現場でのドローン研修のカリキュラムを決定した。

暫定カリキュラムからの変更点は、

- 1) 研修日程を全4日間とする。
- 2) 林業ビジネス等へのドローン活用事例紹介を含める。(第1講)
- 3) 林業現場における航空法での「物件」の具体例、DIPS および FISS の紹介、法令の小テスト、申請書、飛行実績報告の書類記入実習を含める。(第2講)
- 4) 機体の組立解体、電源投入手順、アプリ起動手順、ステータス確認、チェックリストを用いた実際の確認作業実習を含める。(第4講)
- 5) 屋内操縦実習の機体をトイドローンから DJI Mavic Mini に変更する。(第4講)
- 6) ATTI モードの基礎的実技講習の復習、木々に囲まれた離発着場を想定した垂直上昇実技講習、苗木撮影を想定した水平飛行連続撮影実技講習を含める。(第9講)
- 7) 全国アンケートの結果を含める(第3講)
- 8) 撮影に失敗した写真例の紹介を含める。(第3講)
- 9) ラップ率の低さによるモデリング失敗例を含める(第4講)
- 10) DJI GS PRO を使うときに、計測場所の標高が離陸地点よりも高い場合の、「高めのラップ率設定」について、参考となる具体的な数値例を含める。(第7講)
- 11) 以下の各実技講習(周辺現場確認、安全な離発着の確認、着陸場所設置、機体の組立、監視員の配置確認、メンテナンス飛行)を含める。(第10講)
- 11) 間伐箇所での離着陸を手動で行う場合に、離発着地点の周囲に立木が迫っている場合を想定した、実際に狭い場所で行う垂直離着陸訓練を含める(第10講)
- 12) 検証で用いた Agisoft Metashape 以外の Sfm ソフトの検証結果、及び全国アンケートで調査した各種 Sfm ソフトの使用割合を含める。(第8講)
- 13) ラップ率を意図的に下げたオルソ画像作成失敗例の紹介を含める。(第8講)
- 14) 検証実験の結果から、林業現場でのドローン計測利用に役に立つ情報を紹介する。(第8講)
- 15) 林業現場でのドローンの活用における将来性への言及を含める。(第8講)
- 16) 全国アンケートから判明した各種 GIS ソフトの使用割合、QGIS へのオルソ画像インポート方法、従来の造林申請と今後の造林申請についての言及を含める。(第8講)

以上16点である。

特に1)により、受講者は ATTI モードの操縦訓練を暫定カリキュラム時より長時間行うことができ、ドローンの基礎的な操縦訓練を積むことができる。また全国研修のみで10時間の訓練時間を達成できることから、国土交通省への飛行申請も可能になる。

また、2)により、受講者は森林整備事業の申請・検査に提出が必要となる QGIS データ(シェープファイル)の作成方法を学ぶことが可能となる。以上2点は大きな改善点である。

林業現場向けドローン研修については、当面、変更後のカリキュラムを用いることとし、研修を実施する中で明らかになった課題については、随時、カリキュラムにフィードバックさせ、カリキュラムの継続的な向上を図っていく。林業現場向けドローン研修のカリキュラムの概要を表7-1から表7-4に、また、各課程の詳細内容を表7-5から表7-14にそれぞれ示した。

表 7-1 カリキュラム構成 (1 日目)

大項目	推奨研修時間	中項目	時間配分(分)
オリエンテーション	9:00~9:30	全体説明 会社紹介 本日の流れ Tello 体験 講習の流れ	30
第 1 講 無人航空機概論 (座学)	9:30~10:20	1: 無人航空機 (UAV) とは? 2: 飛行原理 3: ドローンの構造 4: ドローンビジネス紹介	50
休憩	10:20~10:30	-	10
第 2 講 航空法と許可申請 (座学)	10:30~12:00	1: 国内法 2: 航空法・同法施行規則 3: 小型無人機等飛行禁止法 4: その他国内法 5: 今後の動向 6: 山に特有の具体的な物件例 7: DIPS 8: FISS 9: 小テスト	90
昼休み	12:00~13:00	-	60
第 2 講 航空法と許可申請 (座学+実習)	13:00~13:40	10: 申請書記入練習 11: 飛行実績報告記入練習	40
第 3 講 運用 (座学)	13:40~13:55	1: マルチコプターの飛行方法 2: 安全確保 3: 禁止事項 4: ドローンの墜落	15
休憩	13:55~14:10	-	15
第 4 講 操縦編 (座学+実習)	14:10~15:15	1: 確認事項 (フライト前) 2: 機体準備 3: 電源オン 4: 電源オフ 5: モーター起動 6: 操縦方法 7: アプリ操作 (DJI GO4) 8: ステータス確認 9: 確認事項 (フライト中) 10: 確認事項 (フライト後) 11: 基本操縦の体験 12: 組立、解体 13: 電源投入 14: アプリ起動 15: ステータス確認 16: チェックリスト確認	45
休憩	15:15~15:30	-	
第 4 講 操縦編 (座学)	15:30~16:10	屋内操縦実習 (DJI Mavic Mini)	40
休憩	16:10~16:20	-	15
第 5 講 安全管理について (座学)	16:20~16:50	1: 無人航空機とリスク 2: 操縦時の注意点 3: リスク&トラブル事例紹介 4: 安全対策 5: 事故対策	30
翌日の説明	16:50~17:00	翌日のスケジュール、持ち物等の説明	10

7-2 カリキュラム構成 (2日目)

大項目	推奨研修時間	中項目	時間配分(分)	
第9講 ドローン 手動操縦 (実技)	飛行前確認 (周囲)	9:00~9:30	安全な飛行体制か 天候・気温・風速が飛行に適切か 飛行予定空域の状況確認 第三者・物件が周囲にないか確認	30
	飛行前確認 (機体)	9:30~10:00	プロペラの状態確認 プロペラガード・プロペラの取り付け方と確認 バッテリーの状態確認 プロポの状態確認と起動方法	30
	アプリ説明 (DJI Go 4)	10:00~10:30	各数値や表示の確認 コンパスキャリブレーション 送信機モード バッテリーの状態確認 フェイルセーフの確認 ジオフェンスの確認 センサー類の設定確認	30
	①基礎1(GNSSあり) ★基礎1・2の意義：ドローンの基本的な操作を学ぶ	10:30~12:00 ※適宜休憩	テスト飛行(講師が一回実演する) 離陸-ホバリング-着陸 前後 ※推奨 T字[左右] 大小のスティック操作 ※推奨 スクエア (反時計) スクエア (時計) ※推奨 8の字 ※推奨	90
	昼休み	12:00~13:00	-	60
	②基礎2(GNSSあり)	13:00~15:30 ※適宜休憩	機首変えT字(反時計) 機首変えT字(時計) ※推奨 機首変えスクエア(反時計) ※推奨 機首変えスクエア(時計) ※推奨 機種変え8の字 ※推奨 RTH実演 高高度操縦訓練	120
	③基礎3(ATTI) ★基礎3・4の意義：GNSSが入らなくなった場合や、マルチパスを誤受信した場合の対応のため、GNSSを切ったATTIモードでの操縦を身につける。	15:30~17:00 ※適宜休憩	テスト飛行(講師が一回実演する) ホバリング T字[左右] スクエア (反時計)	120

表 7-3 カリキュラム構成 (3 日目)

大項目		推奨研修時間	中項目	時間配分(分)
第 9 講 ドローン 手動操縦 (実技)	③基礎3(ATTI) ★基礎3・4の意義： GNSSが入らなくなっ た場合や、マルチパス を誤受信した場合の対 応のため、GNSSを 切ったATTIモードで の操縦を身につける。	9:00~12:00 ※適宜休憩	ホバリング(復習)	180
			T字[左右](復習)	
			スクエア (反時計) (復習)	
			狭い隙間を抜ける手動操縦訓練	
			苗木撮影練習	
休憩・移動		12:00~13:30	-	90
第 6 講 航空写真測量 (座学)		13:30~14:45	1 : 航空写真測量とは	75
			2 : ドローン測量	
			3 : ドローン測量の必要機材	
			4 : (1) カメラ概説	
			4 : (2) ドローン測量における撮影 設定	
			5 : ドローン測量における飛行計 画	
			6 : 成果物 (実例)	
7 : ドローン測量に適さない対象				
休憩		14:45~14:55	-	10
第 7 講 自動飛行計画 (座学)		14:55~16:30	1 : 自動飛行とは	95
			2 : 自動飛行用アプリの種類	
			3 : 飛行計画作成 (実習)	
			4 : 事前調査、現地視察	
			5 : 森林、山間地における飛行計 画作成	
			6 : 4 日目実習のための飛行計画 作成	

表 7-4 カリキュラム構成（4 日目）

大項目	推奨研修時間	中項目	時間配分(口分)
第10講 ドローン自動飛行 (実技)	9:00~10:00	1: 周辺現場確認 2: 安全な離発着の確認 3: 着陸場所設置 4: 機体の組立 5: 監視員の配置確認 6: メンテナンス飛行	60
休憩	10:00~10:10	-	10
第10講 ドローン自動飛行 (実技)	10:10~12:00	ジオフェンス機能について ミッション終了時の選択について ミッション飛行中の安全対策 作成した経路を呼び出す 設定内容に間違いがないか要確認 安全を確認し、転送する 適切な監視員の配置 伝達事項 木々の間を通す飛行 撮影データの確認 SDカードの残量確認 模擬飛行	110
休憩・移動	12:00~13:30	-	90
第5講 安全管理について (座学)	13:30~13:50	安全（模擬リスク対策）	20
休憩	13:50~14:00	-	10
第8講 解析研修 (座学+実習)	14:00~15:30	今日の話の流れ Agisoft Metashape 概説 休憩 SFM、アラインメント 対空標識、GCP 高密度点群の計算 TINメッシュ作成、テクスチャ貼り付け オルソモザイク画像の作成と出力	90
	15:30~16:10	樹冠表面高モデル（DCSM）の作成と出力 面積計算 実証実験結果からわかること 応用分野	40
	16:10~16:50	QGISと申請	40
4日間の振り返り	16:50~17:00	4日間の振り返り	10

表 7-5 第 1 講

タイトル	①無人航空機概論（座学）
受講者の到達目標	<p>(ドローンの定義)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローン（無人航空機）の定義、法的位置づけを理解する。 <p>(ドローンの機能)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローン、特にマルチコプターの飛行原理を理解する。 ドローンの構造、各部品、および GNSS の役割を理解する。 <u>・実業におけるドローンの応用例を知る。</u>
本研修の必要性	
<p>ドローンの定義や法的位置づけに加え、一般に使用されているマルチコプターと呼ばれるタイプのドローンについて、飛行原理や構成パーツの役割を理解する。</p> <p>ドローンの仕組みを学ぶことで、変わりやすい天候、GNSS 衛星補足の困難さなど山間地特有の起伏の多い地形がドローンに及ぼす影響を理解することができる。</p>	
内容	
<p>(ドローンの定義) スライド資料により、以下の説明をする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 航空機の分類を説明し、分類ごとの利用方法を説明する。 航空法における無人航空機（ドローン）の定義を説明する。 マルチコプターの上昇下降、前後左右移動、回転移動の原理を説明する。 <p>(ドローンの機能) 実機を見せながら以下の説明をする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンの各パーツ構成を説明する。 自律飛行を実現するために各パーツが何の役割を担っているか説明する。 <p>(実業におけるドローン)</p> <ul style="list-style-type: none"> <u>・実業におけるドローンの応用例を説明する。</u> 	
研修時間の目安 【50分】	
ポイント	
<p>(ドローンの定義)</p> <ul style="list-style-type: none"> 無人航空機は、一般的に「ドローン」と呼ばれている。 一般に普及しているドローンはマルチコプターである。 <p>(ドローンの機能)</p> <ul style="list-style-type: none"> 翼（マルチコプターではプロペラ）の揚力を利用して浮上している。 上下左右と回転の移動は、各プロペラの回転数に差を作ることで行っている。 重力センサー、角加速度センサー、気圧センサー、ビジョンセンサー、超音波センサー、GNSS など、様々なセンサーを搭載している。 全センサーからの情報をもとに各プロペラの回転数を変化させ、ドローンの位置と姿勢を安定させている（センサーフュージョン）。 ある程度多くの GNSS 衛星からの信号を補足しなければ、GNSS は使えない。そのためには空が開けている必要がある。 	
講師の注意点	
<p>(ドローンの機能)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンを構成する各部品の役割のみならず、起こりうるエラーや異常についても触れ、受講者自身によりある程度のトラブルシューティングが可能になるように説明する。 GNSS のエラーについては、ドローン操縦研修において ATTI モードで練習を行う意義と結び付けて説明する。 	

表 7-6 第 2 講

タイトル	②航空法と許可申請（座学および実習）
受講者の到達目標	<p>(法規)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 航空法はじめ国内のドローンに関する法令等を理解する。 ・ 林業の現場で注意すべき法令等を理解する。 <p>(許可申請方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 法令等に基づく航空局への申請手続きを自分で行えるようになる。
本研修の必要性	
ドローンの飛行に関わる法令等は数多くあり、違法行為や事故につながらぬよう、それらを学ぶ必要がある。林業の現場では自動飛行を行うことが多いと考えられ、目視外飛行や、対地高度 150m 以上の飛行のための申請手続きを自身で行える必要がある。	
内容	
<p>(法規)</p> <p>スライド資料により、以下の説明をする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ドローンに関係する法律・規則・条例について（航空法・小型無人機等飛行禁止法・その他規則や条例）対象となる機体を明確にしつつ説明をする。 ・ 各法律にどのような罰則があるかについても触れる。 ・ 林業の現場で注意すべき法律・規則・条例や<u>林業現場でよくみられる「物件」について</u>、飛行環境の特殊さと紐づけて説明する。 <u>小テストにより、法規の理解をチェックする。</u> <p>(許可申請方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>インターネットによる、DIPS での申請入力、FISS での飛行情報共有入力について投影画面で説明する。</u> ・ <u>書類での飛行申請について実際にフォーマットに記入する練習を行う。</u> ・ <u>目視外飛行については、包括申請と個別申請の 2 種類を説明する。</u> ・ <u>高度 150m 以上の飛行申請を説明する。</u> ・ 法律や申請に関しての今後の動向を、国交省ホームページ内「最新情報」よりピックアップしてスライド資料に反映し、受講者には都度最新の情報を説明する。 <p>研修時間の目安 【130 分】</p>	
ポイント	
<p>(法規)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 航空法以外にもドローンがかかわる法律は数多く存在する。 <p>(許可申請方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 林業現場での検証では、山間地における地形の凹凸や立木（の樹高の）影響で、目視外飛行および対地高度 150m を超える飛行になる場面が頻出する知見が得られた。 	
講師の注意点	
<p>(法規)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 法律的には安易な飛行が許されず、飛行禁止区域も広域にわたることを説明する。 ・ 逮捕される場合・例等を説明する。 <p>(許可申請方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 国土交通省への飛行申請以外の許可申請についても説明する。 	

表 7-7 第 3 講

タイトル	③運用（座学）
受講者の到達目標	<p>(法律)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンの飛行に関しては、多数の規則や禁止事項があることを認識する。 次講以降の法律関係に関する基礎知識を習得する。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンの仕組みを知ることがきっかけとして、安全運航に必要なポイントを理解する。 過去の事故事例を各自確認し、対応方法を学ぶ。
本研修の必要性	
<p>初心者がドローンを運用するにあたり必要となる基礎知識・用語解説、禁止事項等について解説する。この第 2 講は、基礎的な用語を知ることによって、以降の研修を理解しやすくする「入門編」と位置付けている。</p>	
内容	
<p>(法律)</p> <ul style="list-style-type: none"> マルチコプターの飛行方法の種別（マニュアル、自動飛行、FPV 等）について紹介する。 目視外飛行、ドローンの飛行場所、昨今の航空法改訂内容について、スライド資料を用いて説明する。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> 本研修で使用する機体の 1 つである「Mavic2 pro」のイメージ動画を放映する。 事故が起きた場合の対処方法について説明する。この中では、国交省 HP に掲載されている過去 6 年間のドローンの事故の事例について触れる。 <p>事故事例（国土交通省）https://www.mlit.go.jp/common/001342842.pdf</p> <p>研修時間の目安 【15 分】</p>	
ポイント	
<p>(法律)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンは自律飛行のできる無人航空機であり、航空法の制約を受ける。 飛行方式には、手動操縦、自動飛行、FPV 飛行などがある。 ドローンは、ラジコンに比べて操作が簡単であり、一般に普及している汎用ドローンは比較的安価である。 一般の人々が使えるツールとなっており、様々な産業の現場で活用されている。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> 実際に起きたドローンの事故の一番多い原因は操縦者の操縦ミスである。 	
講師の注意点	
<p>(法律)</p> <ul style="list-style-type: none"> 事例を交えるなどしてイメージしやすく説明する。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> この第 2 講は、ドローン運用の導入編としての位置づけなので、運用の詳細については触れない（次講以降で説明）。 ドローンに対してポジティブなイメージを得ることができるよう説明する（操縦が容易である、過去に活用していた道具と比べて安価で便利であるなど）。 墜落に直結するような危険な行為や環境に関して繰り返し強調して説明する。 	

表 7-8 第 4 講

タイトル	④操縦（座学および実習）
受講者の到達目標	<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・必要機材一式を揃え、機体を正しく組み立てられる。 <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・機体を起動し飛行させることができる。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飛行前・中・後の安全確認ができる。
本研修の必要性	
<p>手動飛行、自動飛行に関わらずドローンを飛行させる際は、準備段階から飛行前後の作業に至るまで実践的な知識を網羅している必要がある。</p> <p>特に環境的に機体に異常が起きやすい林業現場においては、機体の安全チェックの知識を有している必要がある。</p>	
内容	
<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・必要機材の紹介と機体の組み立て方法を、実演、動画で説明し、<u>実習を行う。</u> <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・送信機の扱い方と起動方法、操縦方法をスライド資料や実物で説明し、<u>実習を行う。</u> ・スライド資料を用いて、アプリ内設定画面、推奨設定値、飛行中のステータス、ステータスの異常値への対処方法を説明し、<u>実習を行う。</u> ・<u>DJI Mavic Mini</u> を使用して離着陸や基礎的な飛行操縦を受講者に体験させる。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・チェックリストを使って飛行前・中・後に行う安全確認の項目を学ぶ。 <p>研修時間の目安【座学 45 分、体験 40 分】</p>	
ポイント	
<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本研修では、送信機のスティック操作のモードをモード 2 で統一する。 <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>DJI Mavic Mini</u> を用いて ATTI モードを体験する。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安全確認は、飛行前だけでなく、飛行中や飛行後にも行うべきことがある。 ・機体の警告音、ライトによって機体の状態を確認する。 	
講師の注意点	
<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>実習により、組立、解体、電源投入、アプリ起動およびステータス確認を受講者が独力で行えるようにする。</u> <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>DJI Mavic Mini</u> のスピード感を事前に実演して説明する。 ・屋内の操縦体験では、人に向けて飛行しないレイアウトにする。 ・<u>DJI Mavic Mini</u> 使用の可否を事前に施設に確認する。 ・<u>DJI Mavic Mini</u> 使用に際して施設に傷をつけない工夫をする。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・操縦者の挙動や操縦に気を配り、いつでもストップできる状態にする。 	

表 7-9 第 5 講

タイトル	⑤安全管理について（座学）
受講者の到達目標	<p>(リスクの種類)</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローン飛行中に起こりうるリスクを理解する。 <p>(事故と対策)</p> <ul style="list-style-type: none"> 事故の原因や予防対策、事故が起きた場合の対処方法が分かる。(3 日目安全講習) 林業の現場でのリスクを理解する。
本研修の必要性	
ドローンの運用において安全管理は必須である。過去の事故データや想定しうるリスクを学び、異常発生時の対処方法や運用の可否判断等を習得する。対処方法を理解することで、万が一の事故の際にも被害を最小限に食い止めることが可能となる。	
内容	
<p>(リスクの種類) スライド資料により、以下を説明する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 天候や環境が要因のリスク、操縦や機体が要因のリスクをそれぞれ説明する。 <p>(事故と対策) スライド資料により、以下を説明する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 国交省ホームページ内「事故情報等の一覧」をベースに、過去に起きた事故やトラブル事例を確認し、事故から学べることがないかを受講者と検討する。 過去の講師の体験談から事故の予防策を説明する。 事故を起こした場合の対処方法を説明する。 <p>(3 日目安全講習)</p> <ul style="list-style-type: none"> 事前に用意していた事故が起こりそうな現場の見本写真をもとに、具体的な危険事項・安全対策についてどのような内容が想像できるか受講者同士で話し合い発表する。 2 日目に訓練現場を思い返し、各自が感じた危険事項・安全対策を受講者同士で話し合う、または発表の場を作る。 <p>1 日目の研修時間の目安【30 分】 3 日目の研修時間の目安【20 分】</p>	
ポイント	
<p>(リスクの種類)</p> <ul style="list-style-type: none"> 他の講義と繰り返しになる内容も多いが、重要な内容であるため省略せずに講義する。 山間地は天候（気候）が変わりやすいため、ドローンの運用の支障となる風や雨には十分に注意が必要である。 目視外飛行となることが多いため、機体を見失った時の注意点を説明する。 <p>(事故と対策)</p> <ul style="list-style-type: none"> 国交省ホームページ内に「事故情報等の一覧」が掲載されている。 <p>(3 日目の安全講習について)</p> <ul style="list-style-type: none"> 受講者が検討し、発言した「危険事項」については、すべて起こり得るので「正解」として良いが、単に「正解」を考えるのではなく、予測や想像をすることが大切である。 	
講師の注意点	
<p>(リスクの種類)</p> <ul style="list-style-type: none"> 講師が実際に過去体験したヒヤリハットなどを伝え、その時の対策方法や回避方法、反省点などを説明する。 <p>(事故と対策)</p> <p>「事故情報等の一覧」が掲載されている場所を伝え、過去の事例を確認するなどして自習することを促す。</p> <ul style="list-style-type: none"> 適切な判断と使用方法をしなければ事故が起こる可能性があることを説明する。 事故が起きてしまった場合の適切な対処方法を説明する。 <p>(3 日目の安全講習について)</p> <ul style="list-style-type: none"> 受講者の意見をホワイトボードや投影画面に書き出し、意見を整理する。 	

表 7-10 第 6 講

タイトル	⑥航空写真測量（座学）
受講者の到達目標	<p>(測量・機材)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローン測量で何ができるのかを理解する。 ・ドローン測量に必要な機材を知る。 <p>(飛行計画)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飛行計画作成の重要性について理解する。 ・飛行計画作成に必要な各種パラメータを理解する。 <p>(測量・解析ソフト)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローン測量および解析用ソフトの初歩的な原理を理解する。
本研修の必要性	
<p>受講者がドローン測量を行えるようになるためには、航空写真測量の原理（三角測量、SfM等）について学び、一定のラップ率を満たした連続写真の撮影を習得することが必須である。また、解析ソフトにより、撮影成果物から被写体のデジタル三次元モデルを復元し、この三次元モデルからオルソ画像等の測量成果物を生成するまでの手順を理解・習得することも必須である。</p>	
内容	
<p>以下の内容について、スライドを用いた講義で説明する。</p> <p>(測量・機材)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・空撮測量の原理・特徴（大量・高速・広範囲）について説明する。 ・ドローン測量が一般に普及してきている理由について説明する。 ・ドローン測量に必要な機材のスペック、選択基準について説明する。 <p>(飛行計画)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・飛行計画作成について説明する。 <p>(測量・解析ソフト)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・写真測量用解析ソフトウェア（SfMソフト）について説明する。 ・<u>検証実験で用いたソフトを中心に数種類紹介する。また全国アンケートをもとに全国の森林組合で使用しているソフトのシェアの現状を説明する。</u> <p>研修時間の目安【75分】</p>	
ポイント	
<p>(測量・機材)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローン測量に必要な機材は一般に入手可能である。 <p>(飛行計画)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・測量現場の状況や成果物の仕様に応じ、測量方法を選択することが重要である。 <p>(測量・解析ソフト)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「複数の写真に同一点(特徴点)が写っていること」は写真測量の大原則である。 	
講師の注意点	
<p>(測量・機材)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローン測量の必要機材が一般に入手可能な民生機器であることを説明する。 ・ドローン測量だけが最良の手法であるような印象を与えないよう留意する。 ・写真測量やカメラについては目やメガネ等身の回りのものに例えながら説明する。 <p>(飛行計画)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・次講以降で DJI GS PRO の有効性の理解を深める観点から、飛行計画の作成には、各種のパラメータを考慮した計算作業が必要であることをよく説明する。 ・オーバーラップ率、サイドラップ率の重要性を説明する。 ・<u>失敗した写真や成功した写真の例を紹介し、オーバーラップ率、サイドラップ率の重要性を説明する</u> 	

表 7-11 第 7 講

タイトル	⑦自動飛行計画作成（座学および実習）
受講者の到達目標	<p>（自動飛行概要）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動飛行について理解する。 ・林業の現場における DJI GS PRO の使い方を理解する。 ・事前調査の重要性と方法および調査ポイントを理解する。 ・現地視察の重要性と方法および調査ポイントを理解する。 <p>（実習）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動飛行用アプリ（DJI GS Pro）で飛行計画を作れるようになる。 ・ラップ率を決定する種々のパラメータを知り理解する。
本研修の必要性	
<p>ドローン測量はマニュアル飛行では不可能であり、自動飛行をさせることが絶対必須である。飛行計画の考え方と、自動飛行計画作成ソフトを用いた実際の方法、林業の現場等に適したラップ率と飛行高度、DJI GS Pro を山間地で用いるための具体的な方法についても学ぶ必要がある。</p>	
内容	
<p>（自動飛行概要） スライド資料により、以下の説明をする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動飛行とはなにか ・自動飛行用アプリ（DJI GS Pro）について ・測量のための飛行計画の形状、ラップ率及び飛行高度などの各種のパラメータについて学ぶ。 ・事前調査（地図やインターネット等で現地の情報を集める）と現地視察（事前にドローン飛行の観点から現地を視察）の重要性、方法、ポイントについて学ぶ。 ・森林・山間地における飛行計画作成。DJI GS Pro の特性を知り、山間地での DJI GS Pro を用いての計測方法を学ぶ。 <p>（実習） Apple 社製 iPad を用いた DJI GS Pro 操作体験</p> <ul style="list-style-type: none"> ・iPad 上で DJI GS PRO の操作体験 ・翌日の実際の飛行実習で使うための飛行計画作成 <p>研修時間の目安 【95 分】</p>	
ポイント	
<p>（自動飛行概要）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カメラ仕様と飛行高度から撮影範囲が決まるため、カメラ仕様についても一定の知識が必要である。 ・撮影範囲とラップ率から飛行計画（飛行ルート）が決まる。 ・汎用性、市場でのシェア、ネットでの情報の得やすさ、ユーザーインターフェースのわかりやすさ、初心者にも扱いやすい DJI 製機体とその純正の自動飛行用アプリアプリ DJI GS Pro を用いる。 ・事前調査で調べる最重要ポイントは「地形」である。 ・ドローンの総合的な知識が、現地視察での有効な「気づき」につながる。 ・<u>斜面で飛行させる際には、標高差と樹高を想定してラップ率を設定することを説明する。</u> <p>（実習）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・DJI GS Pro の測量モードは一定高度の飛行計画しか作れない。 	
講師の注意点	
<p>（自動飛行概要）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際に自動飛行を行う場所の事前情報を把握しておき、講義で触れる。 <p>（実習）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・講師が操作する iPad の画面はスクリーンに投影し、大画面で見せる。 ・iPad を操作しながら解説する講師とは別に、受講者の座席を巡回し操作の補助や解説を行う人員も受講者の人数に応じて配置する。 ・フライト可能なエリアを伝えておく。 	

表 7-12 第 8 講

タイトル	⑧解析研修（座学および実習）
受講者の到達目標	<p>(解析方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ SfM ソフトの基本機能を理解し、扱えるようになる。 <p>(成果物の応用)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>オルソ画像が QGIS にインポートできることを理解する。</u> ・ <u>提出用の造林申請書類を作成できるようになる</u>
本研修の必要性	
ドローンで撮影した単写真を GIS 等で活用する際に必要となるオルソ化に関し SfM ソフト（本研修では Agisoft Metashape）の概要・操作方法について実践を通して学ぶ必要がある。	
内容	
<p>(解析方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ SfM ソフトの解析行程を下記の順を追って説明する。（受講者が同じサンプルファイル開きながら学ぶ方式とする。） 1) 写真の取り込み、および座標系の設定。 2) アライメント（特徴点抽出、タイポイント生成、カメラ位置推定）。 3) 対空標識に手動マーカーを設置。対空標識の座標入力。 4) 手動マーカーのピクセル誤差補正を行い、カメラの最適化を実施。 5) アライメントされた 3D モデルを用いた高密度クラウド生成。 6) 高密度クラウドを基にメッシュ構築（点群データから面データへの変換） 7) 3D メッシュモデルをリアルな質感を持たせるテクスチャ構築。 8) DSM の構築。 8) オルソ画像の構築。 9) 成果物（オルソ画像）のファイル出力・保存。 ・ 林業の現場に関わるドローンを用いた他の活用方法について紹介する。 <p>(成果物の応用)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>QGIS への成果物インポートについて説明する。</u> ・ <u>造林現場に関わるドローンを用いた他の活用方法について紹介する。</u> ・ <u>造林申請の書き方について投影資料で記載例を見せながら紹介する</u> <p>研修時間の目安【170 分】</p>	
ポイント	
<p>(解析方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 点群の長所は 3 次元的に任意の方向からのオルソ画像が出力できるところにある。 ・ 画像の EXIF 情報やスマートフォンのアプリなど GNSS から得られる位置情報は世界測地系（WGS84）であるが、トータルステーションを用いた測量は日本平面直角座標系である。 <p>(成果物の応用)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>座標を表す X-Y が、ソフトによっては経度-緯度、緯度-経度の両方がある。</u> 	
講師の注意点	
<p>(解析方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 受講者全員が同じサンプルファイル開いていく形式ではあるが、受講者の理解や PC 操作の速度には時間差が生じるため、補助者を配置して机間巡視し、理解や操作の補助を行うこと。 ・ 実習班の数は補助者の数に合わせて検討すること。 ・ 質疑応答の時間を作ること。 	

表 7-13 第9講

タイトル	⑨ドローン手動操縦（実技）
受講者の到達目標	<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> 機体の組立を習得する。 <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> 手動操縦を習得する。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> 操縦サポートの方法を習得する。 安全を意識した運用を習得する。
本研修の必要性	
<p>主として自動飛行を行う林業現場であってもトラブル発生時は手動操縦を行うことになるため、操縦技術向上は必須である。</p>	
内容	
<p>(機材準備・取扱い)</p> <ul style="list-style-type: none"> 飛行前安全確認（周囲、機体）の実演を行い、それぞれの動作の意図を説明する。 機体の組み立てと解体を、実機を使いながら受講者に作業させる。 iPadの画面を見ながら、アプリ説明・設定（DJI Go4）を実演する。 <p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> 手動操縦基礎訓練①（GNSS 下） 離着陸、ホバリング、前後左右、T字、スクエア 手動操縦基礎訓練①（GNSS 下） 機首変えT字、機首変えスクエア 手動操縦基礎訓練①（ATTI モード） ホバリング（受講者のレベルに合わせて前後左右、T字、スクエア、各種機種替えなどを行う） <u>木々に囲まれた離着陸地点を想定した垂直上昇練習を行う。</u> <u>苗木撮影を想定した、水平に飛行しながら地上物を撮影する練習を行う。</u> <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> 操縦者、補助者と安全運航管理者の役割を説明し体験する。（適切な配置の仕方や、互いの声掛けの重要性を説明する） <p>研修時間の目安【660分】（●休憩の時間が入っているので600分では？）</p>	
ポイント	
<p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> ATTIモードに切り替わりやすい、離着陸が困難な場合が多いなど、山間部特有の要注意ポイントがある。 事故防止のためATTIモードの訓練時においても離着陸はPモードで行うこと。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> セッティング、バッテリー交換等も重要なサポート作業であること。 一名での操縦の難しさ。 機体の距離感把握の難しさ。 	
講師の注意点	
<p>(操縦)</p> <ul style="list-style-type: none"> 山間部特有の注意事項を伝え、操縦技術の向上が必須であることを受講者に理解させること。（ATTIモードに切り替わりやすい、離発着が困難な場合が多いなど） 現場の安全を第一に考え、ATTIモードが苦手な受講者に無理をさせない。 研修中は受講者には平等な訓練内容と時間で実施するように心がける。 <p>(安全)</p> <ul style="list-style-type: none"> 全員が操縦者・補助者・安全運航管理者の役割を体験できるよう配慮する。 受講者の操縦が慣れてきても各ステップでの確認を怠らないようにする。 一名での操縦や機体の距離感把握の難しさをわかりやすく説明する。 	

表 7-14 第 10 講

タイトル	⑩ ドローン自動飛行（実技）
受講者の到達目標	（自動飛行） <ul style="list-style-type: none"> ・自動飛行を行うことができる。 ・自動飛行を用いて連続撮影を行うことができる。
本研修の必要性	
<p>林業現場の写真測量に必要となる画像を撮影する際には、ドローンの自動飛行が必須となる。現場の状況に合わせて飛行経路やカメラの設定を現地で変更し、自分が求める精度の成果物を得る技術が必要であり、そのための研修を行う。</p>	
内容	
<p>受講者は実際の現場にて 2~3 人のグループに分かれ、各グループで、第 4 講で設定した自動飛行計画に沿った飛行を講師指導のもとで実際に行う。</p> <p>（自動飛行）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・講師による自動飛行のデモンストレーション。 ・自動飛行用アプリ（DJI GS Pro）の使用方法を実演・説明する。 ・講師の指導のもと班ごとに自動飛行を実践する。（経路転送、離陸、自動飛行中の機体と画面確認、着陸） ・各班の要望や課題に合わせて、iPad のアプリ上で経路や設定値の調整と変更をしてもらい、講師の確認後に再度自動飛行を実践する ※十分な精度の撮影ができるまで繰り返す。 ・アクシデント発生時の飛行中止方法を説明する。 ・GNSS の誤差等により、着陸地点が離陸地点からずれる場合の手動着陸を説明する。 ・撮影した画像を PC で開き、画像にブレ、ボケ、白とびや黒つぶれ、明らかな撮影地点の飛び（不完全なラップ）等の不備がないか確認する必要について説明する。 ・<u>自動から手動に切り替えての垂直離着陸を練習する。</u> <p>研修時間の目安【110 分】</p>	
ポイント	
<p>（自動飛行）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・目視外になる箇所以外は機体を見失わないようにする。 ・手動操縦時と同様、ルーティーンで全員が操縦者・補助者・安全運航管理者の役割を学ぶ。 ・SD カードが機体にセットされていることと空き容量を確認する。 	
講師の注意点	
<p>（自動飛行）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安全を第一に考える。 ・受講者に対して平等の内容で平等の時間で実施する。 ・時間・天候の変化を意識する。 ・各種確認を怠らない。 ・飛行前に必ず飛行計画を確認する。 	

8. まとめ

8.1 林業現場向けのドローン研修の全国での開催

林業現場向けドローン研修の全国展開時は、座学カリキュラムおよび実技カリキュラムの内容を見直した4日間の研修を想定している。しかし、林業従事者の予定を4日間拘束する事は、本業への影響と参加人数の減少に繋がるため、2日間+2日間の合計4日間にて実施する事が理想的と考える。具体的な実施内容は以下を想定する。

1日目：ドローンの基礎知識習得（座学）と基礎操縦技術の習得（実技）

ドローンについての基礎的な概論、法律、申請、安全面等の基礎知識の習得とドローンの組立、アプリの設定方法等や飛行前の安全確認に関する講義及び実習を行う。

試行研修時に比べ、各種の実習を追加したことで、実作業習得の向上を図っている。

2日目：応用操縦技術の習得（実技）

2日目の研修は基礎的な手動操縦の練習を実施する。機体の事前点検、機体の組立、アプリ設定、離着陸等の基礎的な準備・操縦が講師なしでもできるようになることが目的となる。特に離発着時の操縦については、事前の周辺の安全確認、離着陸面の安定性の確認を徹底させ、なぜ徹底した確認が必要なのか、その理由まで述べる。

林業現場でのドローンの活用では、非GNSS環境下での手動操縦技術の習得が重要である。初心者が非GNSS環境下で手動操縦を実施することは容易ではないため、非GNSS環境下での機体の挙動、機体のホバリング方法、木々との接触の危険性など周囲点について説明する。その上で、機体の向きがどの方向を向いても冷静に判断・操縦できるようになるよう非GNSS環境下での手動操縦の実技の時間を増やす。

3日目：林業特化型現場研修（実技、座学）

3日目の午前中も2日目の基礎的な操縦技術実技に続き、手動操縦を実施する。特に非GNSS環境での飛行の練習に注力し、さらなる手動操縦の訓練を行う。受講者は本研修だけで、飛行申請に必要な飛行経験として国土交通省が定める最小総飛行時間10時間を満たすことができる。

午後は自動飛行経路作成等を含めた航空写真測量と自動飛行計画の座学研修となる。

4日目：オルソ画像作成と活用研修（実習、座学）

実際の林業現場において、事前の現場確認、飛行経路作成、自動飛行実行の一通りの実作業を実施し、現場で独力での操作・活用ができるような習得を目指す。周辺に多くの障害物（木々や電線）がある中での飛行、天候が変わりやすい中での安全対策等を研修する。

オルソ画像作成における注意点と実際のオルソ画像作成研修を行う。オルソ画像作成後に造林等申請時の活用方法等を習得し、今後の申請時に活かす研修とする。

8.2 今後の展開

林業現場向けドローン研修の今後の実施にあたっては、「全国的な展開」および「最新の技術動向を取り入れた継続的な研修の提供」が重要と考える。

事業者の1人であるブルーイノベーション株式会社は、ドローンの教育を全国的に普及・啓蒙活動の事業者である一般社団法人日本UAS産業振興協議会（JUADA）の設立と事務局を務めている。JUADAは、ドローン産業の健全な発展のために、無人航空機運航上の安全に関わる知識と、高い操縦技能を有する人材の養成を行っており、2019年12月時点で、全国に220校以上のドローン教育を提供する認定校があり、今までに10,000人以上の操縦士を輩出するなどUAS産業を牽引している。

林業現場向けドローン研修を全国に普及させていくためには、それらの教育を一定の技術・教育水準で行う仕組みが必要であると考えられる。この点、JUADAの認定校および講師・操縦士は、研修を提供する側として有効に活用できると考えられる。また、研修を受けた林業従事者は、ドローンを活用している中で機体やドローの航空法律に疑問点等がある場合いつでも質問ができ即サポート可能な協力会社が地元に行き届くことになるため、より積極的にドローンを活用するきっかけになると考える。このようにJUADA認定校と林業事業体にとって有効的な展開となるのが森林整備事業でのドローンを用いたリモートセンシング技術等の導入・普及に向けた研修となる。

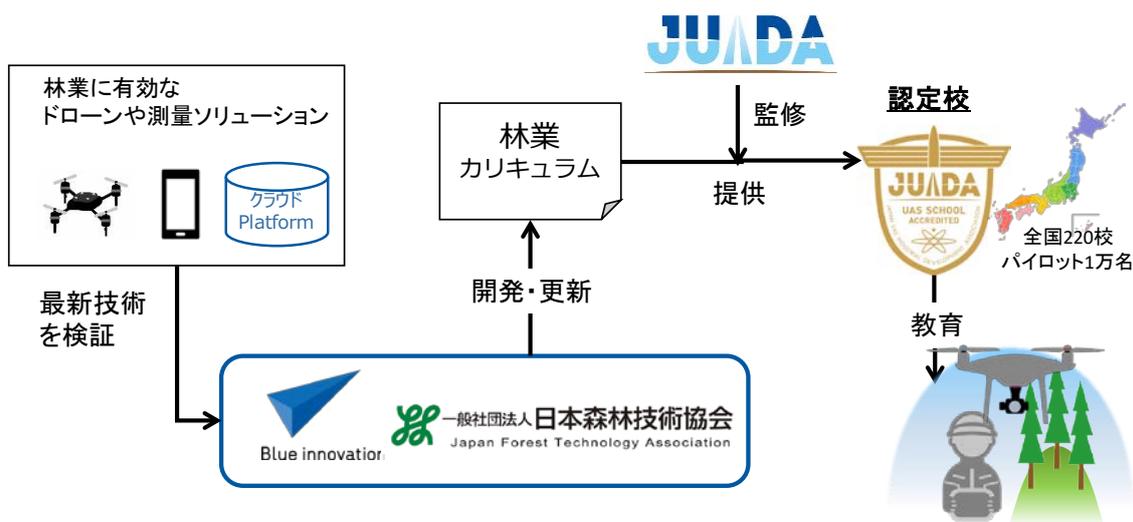


図 8-2 本事業成果の普及のイメージ

参考文献

1. 事業の概要

- 1) 諏訪実：森林整備事業の申請・検査におけるリモートセンシング技術等の活用について、日本リモートセンシング学会誌、40 (1)、pp. 26-31、2020.
- 2) 林野庁：平成 29 年度森林整備事業実績（民有林補助）、
http://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sinrin_seibi/attach/pdf/index-26.pdf (2019. 12. 23)

4. 林業現場でのリモートセンシング技術の検証

- 1) 林野庁(2018) 平成 30 年度「国有林における収穫調査等の効率化手法実践体制構築委託事業」 UAV 立木調査マニュアル 平成 31 年(2018 年)3 月
- 2) 大分県森林組合連合会(2018) 森林調査におけるドローン測量マニュアル 平成 31 年(2018 年)9 月
- 3) 内山庄一郎(2018) RTKLIB による解析 2018/7/29 JGU 夏の学校 2018 in 北海道「UAS (ドローン) 地形計測のさらなる進化」
https://hdttopography.github.io/learning/book/GNSS/RTKLIB_uchiyama_20180729v3s.pdf
- 4) 林野庁 整備課 造林間伐対策室 (2019) 全国森林組合連合会全国代表者会議 森林整備事業の申請と検査のあり方 令和元年(2019 年)9 月
- 5) 青木千咲・米康充(2019) 造林地における UAV を用いた測量誤差の評価 Journal of The Remote Sensing Society of Japan 40(1) 令和元年(2019 年)12 月
- 6) Takasu T. (2019) RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning
<http://www.rtklib.com/>
- 7) 坂本利弘・岩崎亘典・石塚直樹・デイビット・S・スプレイグ(2019) 小型 GNSS 受信機を用いた高精度測位マニュアル(ドローン用対空標識編)
https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/drone_GNSS.pdf
- 8) 諏訪実(2020) 森林整備事業の申請・検査におけるリモートセンシング技術等の活用について Journal of The Remote Sensing Society of Japan 40 (1)
- 9) 小林裕之 (2020) 撮影高度と DTM の違いが UAV-SfM による森林計測に及ぼす影響 森林計画誌 53(2) 令和 2 年(2020 年)3 月
- 10) 富山県農林水産総合技術センター森林研究所(2020) ドローンによる空撮と画像解析のやり方 - 施業計画の立案や資源量把握のために - 令和 2 年(2020 年)1 月
- 11) 小林裕之(2020) 低コスト 2 周波 GNSS 受信機による開空間での静止測位と後処理解析の事例報告 森林利用誌 35(3)
- 12) 林野庁 HP 森林整備事業の申請・検査について (ドローン等の活用)、
https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sinrin_seibi/sinsei_kensa.html

5. 林業向けドローン研修の暫定カリキュラム作成

- 1) 林野庁：UAV立木調査マニュアル(平成 30 年度)、
https://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/gijutu/attach/pdf/syuukaku_kourituka-2.pdf
- 2) DJI GS PRO 公式マニュアル、
https://dl.djicdn.com/downloads/groundstation_pro/JP/GS_Pro_User_Manual_JP_V2.0.pdf