

林業成長産業化総合対策  
林業ドローン活用実証業務

業務報告書

令和3年2月

東光鉄工株式会社



# 目 次

第1章	業務概要	1
1.1	業務の目的	1
1.2	実施概要	1
第2章	コンテナ苗運搬の省力化実証（実証業務 I）	3
2.1	実施目的	3
2.2	ドローンの機体改造試験	3
2.3	コンテナ苗運搬の省力化実証試験	4
2.4	実証結果	8
2.5	導入に向けての課題・対策について	9
第3章	リモートセンシング技術の実証業務（実証業務 II）	10
3.1	実施目的	10
3.2	ドローン測量実証試験	10
3.3	画像解析	13
3.4	実証結果	15
3.5	導入に向けての課題・対策について	18

# 第1章 業務概要

---

## 1. 1 業務の目的

スマート林業<sup>1</sup>の実現に向け、ICT<sup>2</sup>等の先端技術を活用した施業の効率化・省力化等の実践的取組への支援を行うことを目的とする。

## 1. 2 実施概要

本業務の実施概要は次のとおりである。

### (1) 業務計画準備

受注者は、本業務の内容について作業方法や工程計画を詳細に検討し、業務実施計画書を作成するとともに、その実施計画について発注者との合意を形成する。

### (2) コンテナ苗運搬の省力化実証（実証業務Ⅰ）

今後増加する「主伐・再造林一貫作業システム<sup>3</sup>」による施業の低コスト化を図ることを目的に、ドローンによる苗木運搬の実証および従来方法（人力運搬）との比較検討を行うものとする。

- ① ドローン機体改造試験
- ② コンテナ苗運搬の省力化実証試験
- ③ 成果報告書作成
- ④ 検証結果及び導入に向けての課題・対策案の立案

### (3) リモートセンシング技術<sup>4</sup>の実証業務（実証業務Ⅱ）

従来のコンパス測量<sup>5</sup>等による森林調査や周囲測量の省力化を図ることを目的に、ドローンを用いた調査・測量の実証および従来方法との比較検討を行うものとする。

- ① ドローン測量実証試験
- ② 画像解析、積算
- ③ 成果報告書作成
- ④ 検証結果、導入に向けての課題・対策案の立案

---

<sup>1</sup> 林業の人材不足・担い手不足解消のため、情報通信技術やレーザー測量技術などの先端技術を活用して、生産性や安全性の向上、コスト削減や効率的な森林管理を目指すもの。

<sup>2</sup> 「Information and Communication Technology」の略称。情報技術（IT）を拡張した用語で、インターネットによる通信技術によって、様々な人やモノがつながる技術のこと。

<sup>3</sup> 立木の伐採、苗木の植栽を別々に実施していたものを、伐採から植栽までを一連の作業として実施する方法のこと。

<sup>4</sup> 「遠隔探査」の意で、「物を触らずに調べる」技術のこと。

<sup>5</sup> ポケットコンパスと巻き尺を用いて測量する方法のこと。

#### (4) 打合せ協議

- ① 業務の円滑な遂行にあたり、打ち合わせを行う。
- ② 必要に応じて電話やメールでの協議も有効とし、意思の疎通と作業進捗の共有に留意する。
- ③ 業務終了後は、貸与されたデータを受注者所有の資機材に記録・保存の無いようにすること。



コンテナ苗のドローン運搬（大館市岩瀬字繫沢）

## 第2章 コンテナ苗運搬の省力化実証（実証業務Ⅰ）

### 2.1 実施目的

今後増加する「主伐・再造林一貫作業システム」による施業の低コスト化を図ることを目的に、ドローンによる苗木運搬の実証および従来方法（人力運搬）との比較検討を行うものとする。

### 2.2 ドローンの機体改造試験

コンテナ苗運搬の実証試験用として、ドローン機体の改造試験を行い、飛行試験を行った。

#### (1) 使用機体（表-1）について

表-1 使用機体


<p>型式名：TSV-AH2（図-1） ※東光鉄工(株)製</p> <p>分類：農薬散布用ドローン</p> <p>寸法：1450(W)×1200(L)×750(H) 単位mm</p> <p>重量：14kg（積載無しの場合）</p> <p>最大積載重量：10kg</p> <p>最大飛行時間：約15分（積載無しの場合）</p> <p>ローター数：6</p>	
---	---

図-1 TSV-AH2

#### (2) 機体改造試験について

##### ① 機体改造

農薬散布用ドローンの散布装置を取り外し、ワイヤー、カラビナ、吊りベルト等で吊具を取り付け、安定した飛行条件を検討した。また、吊具も簡易リリースを行えるようフックを製作した（図-2）。

##### ② 飛行試験（デモフライト）

令和2年10月13日に東光鉄工(株)UAV事業部/雪沢教習施設（秋田県大館市雪沢字蒔ヶ岱地内）において、市担当職員立会いの下、土嚢袋に約7kgのウェイトを入れ、片道300mの飛行試験を行った（図-3）。機体の飛行状態は良好であったが、吊荷の揺れが大きく、本番では吊りベルトの長さを短くすることとした。





図-2

簡易リリースフック



図-3

飛行試験（デモフライト）

### 2.3 コンテナ苗運搬の省力化実証試験

2.2で改造したドローンを用いてコンテナ苗運搬の実証試験を行った。ドローン運搬との比較のため、人力運搬による計測も行った。ドローン実証試験には地元の林業関係者や行政関係者も参加した。実施場所を図-4、図-5に示す。



図-4

実施場所（出典：地図・空中写真閲覧サービス（国土地理院））





図—5

実施場所（出典：地図・空中写真閲覧サービス（国土地理院））

(1) 実証試験概要

令和2年11月11日の午前に人力運搬の計測、午後にドローン運搬の計測を実施した。

① 人力運搬

時 間：10:00～12:00

場 所：大館市岩瀬字繫沢 大館市有林

実施内容：スギコンテナ苗木10袋（50本／袋）の人力運搬



苗木規格：林齢2年生、苗長30cm以上（実測40～50cm）

運搬距離：約300m

運搬経路：図-6に示す。

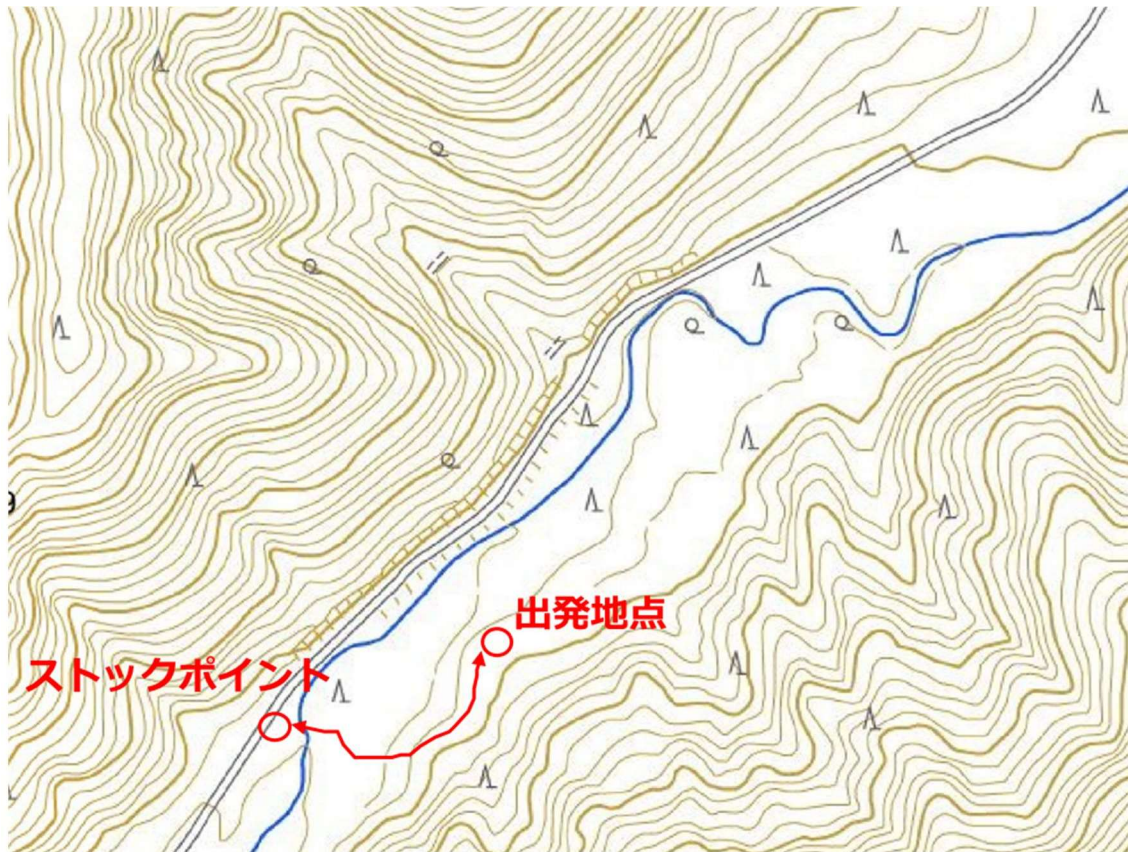


図-6

実施場所（出典：地図・空中写真閲覧サービス（国土地理院））



図-7 人力運搬



図-8 人力運搬



② ドローン運搬

時 間：13:00～15:00

場 所：大館市岩瀬字繫沢 大館市有林

実施内容：スギコンテナ苗木10袋（50本/袋、25本/袋を各5袋）のドローン運搬

苗木規格：林齢2年生、苗長30cm以上（実測40～50cm）

運搬距離：約250m

運搬経路：図-9に示す。



図-9 運搬ルート

(出典：地図・空中写真閲覧サービス（国土地理院）)



図-10 ドローン運搬



図-11 ドローン運搬

## 2. 4 実証結果

### (1) 実証結果

人力運搬及びドローン運搬の計測結果については次のとおり。

#### ① 人力運搬計測結果（表－2）

表－2 人力運搬計測結果

苗木袋No.	重量(kg)	往路所要時間	復路所要時間	往復時間
①	7.40	3分23秒	3分02秒	6分25秒
②	7.63	3分19秒	3分05秒	6分24秒
③	7.80	3分13秒	3分00秒	6分13秒
④	7.63	3分13秒	2分55秒	6分08秒
⑤	8.02	3分47秒	3分01秒	6分48秒
⑥	7.66	3分07秒	2分55秒	6分02秒
⑦	7.79	3分29秒	3分08秒	6分37秒
⑧	7.94	3分30秒	3分02秒	6分32秒
⑨	7.93	3分37秒	2分56秒	6分33秒
⑩	7.75	3分16秒	2分59秒	6分15秒
計		<b>32分34秒</b>	<b>28分43秒</b>	<b>62分37秒</b>

#### ② ドローン運搬計測結果（表－3）

表－3 ドローン運搬計測結果

運搬回数	苗木袋No.	重量(kg)	苗木本数	往路所要時間	復路所要時間	往復時間	備考
1回目	②	7.63	50本	2分26秒	1分56秒	4分22秒	
-	-		-	-	-	2分12秒	バッテリー交換
2回目	①	7.40	50本	1分51秒	1分37秒	3分28秒	
3回目	③	7.80	50本	1分53秒	1分45秒	3分38秒	
4回目	④	7.63	50本	1分33秒	1分27秒	3分00秒	
-	-		-	-	-	2分02秒	バッテリー交換
5回目	⑤	8.02	50本	1分56秒	1分22秒	3分18秒	
6回目	⑥	3.92	25本	1分42秒	1分22秒	3分04秒	
7回目	⑦	4.20	25本	2分08秒	1分50秒	3分58秒	
-	-		-	-	-	2分05秒	バッテリー交換
8回目	⑧	4.02	25本	1分57秒	1分17秒	3分14秒	
9回目	⑨	4.21	25本	1分37秒	1分15秒	2分52秒	
10回目	⑩	3.92	25本	1分32秒	1分21秒	2分53秒	
計				<b>15分95秒</b>	<b>13分12秒</b>	<b>38分06秒</b>	

## 2. 5 導入に向けての課題・対策について

人力による運搬時間は「6分27秒」、ドローンによる運搬時間は「38分06秒」となり、運搬時間としては約37%短縮された。しかし、ドローンの場合、最低2名での運用が必要なので実質は約22%の超過となる（今回の実証試験では4名配置）。実証試験の結果を踏まえ、次のとおり導入に向けての課題・対策（表-4）について示す。

表-4 導入に向けての課題・対策について

ポイント	課題・対策の内容
費用対効果・実施条件・他の資材等の運搬利用	<p>今回の実証業務ではトータルでは人力に比較して大きな効果は得られなかった。さらに機体や付属品の投資や発電機の投資（約200万円前後）、運転費用（年間約20万円前後）を考えると有効性は現段階では低いと思われる。</p> <p>しかし、もっと傾斜地や足場の悪い場所では時間的効果と安全性の向上が期待できる。また、苗木にかかわらず、機器や他の資材の運搬等にも活用が可能と思われる。</p>
荷下の課題	<p>今回、簡易リリースフックが10回中8回失敗した。着地場所の条件が悪く、吊荷の回転によってフックに紐が絡まったことが原因と思われる。</p> <p>今後はフックの形状やねじれ防止の対策が必要である。また、安全面を考えると自動キャッチ&amp;リリースが望ましいと思われる。</p>
運搬等技術向上	<p>今回はナビゲーターが必要であったため所要人数の面で不利であったがドローンの自動操縦機能やカメラの活用、着地まで下降せず安全高度でリリースし投下することによって大幅な時間短縮やオペレーターの負担を軽減できる可能性が高いと思われる（航空法上の許可取得が必要。農薬散布では概に実施済み）。自動操縦の場合、最短ルート、最短時間で飛行できるが荷揺れの検証、防止策が必要と思われる。</p>
ドローン性能向上	<p>参加者から雨の日も使用したいとの意見があったが、他の分野では防水ドローンも実用化されており不可能ではないと思われる。</p> <p>天候に左右されずに運搬作業を実施できることができれば防水化は有効であると思われるが、反面、コストアップや重量増加によるペイロード（運搬能力）の減少、飛行時間の減少などの課題解決が必要と思われる。</p>



## 第3章 リモートセンシング技術の実証業務（実証業務Ⅱ）

### 3.1 実施目的

従来のコンパス測量等による森林調査や周囲測量の省力化を図ることを目的に、ドローンを用いた調査・測量の実証および従来方法との比較検討を行うものとする。

### 3.2 ドローン測量実証試験

ドローン空撮写真の活用による面積測量を実施した。

(1) 使用機体（表-1）について

表-1 使用機体

型式名：INSPIRE 2（DJI製、図-1） 分類：空撮用ドローン 寸法：605（対角）／単位mm 重量：3.44kg（積載無しの場合） 最大積載重量：0.56kg 最大飛行時間：約25分（標準カメラ積載） ローター数：4	 <p>図-1 INSPIRE 2</p>
--	--

(2) 実証試験概要

令和2年11月5日午後にドローンを使用し、大館市有林の空撮を実施した。実施場所を図-2、図-3に示す。



図-2 実施場所（出典：地図・空中写真閲覧サービス（国土地理院））



図—3 実施場所（出典：地図・空中写真閲覧サービス（国土地理院））

① ドローン空撮

時 間：13:00～15:00

場 所：大館市岩瀬字内町口 地内

実施内容：GSPro（自動航行ソフト）を用い、事前飛行による高度確認と自動航行ミッションの調整及び自動航行ミッションによる空撮を実施。カメラの設定を変え2回の空撮を実施した。

設定条件：表—2に示す。

表—2 設定条件

ミッション名	岩瀬1001
ポイント数	24点
飛行経路長さ	894m
コース数	10ライン
飛行領域面積	1.3ha
飛行予測時間	5分5秒
撮影予定枚数	113枚
必要なバッテリー	1セット
撮影感覚距離	F：7m／S：21m



カメラ	Z e n m u s e X 5 S 3 0 m m
飛行速度	3 . 5 m / 秒
撮影間隔	2 秒
飛行高度	6 0 . 8 m
解像度	1 . 3 c m / ピクセル
オーバーラップ率	9 0 %
サイドラップ率	6 0 %

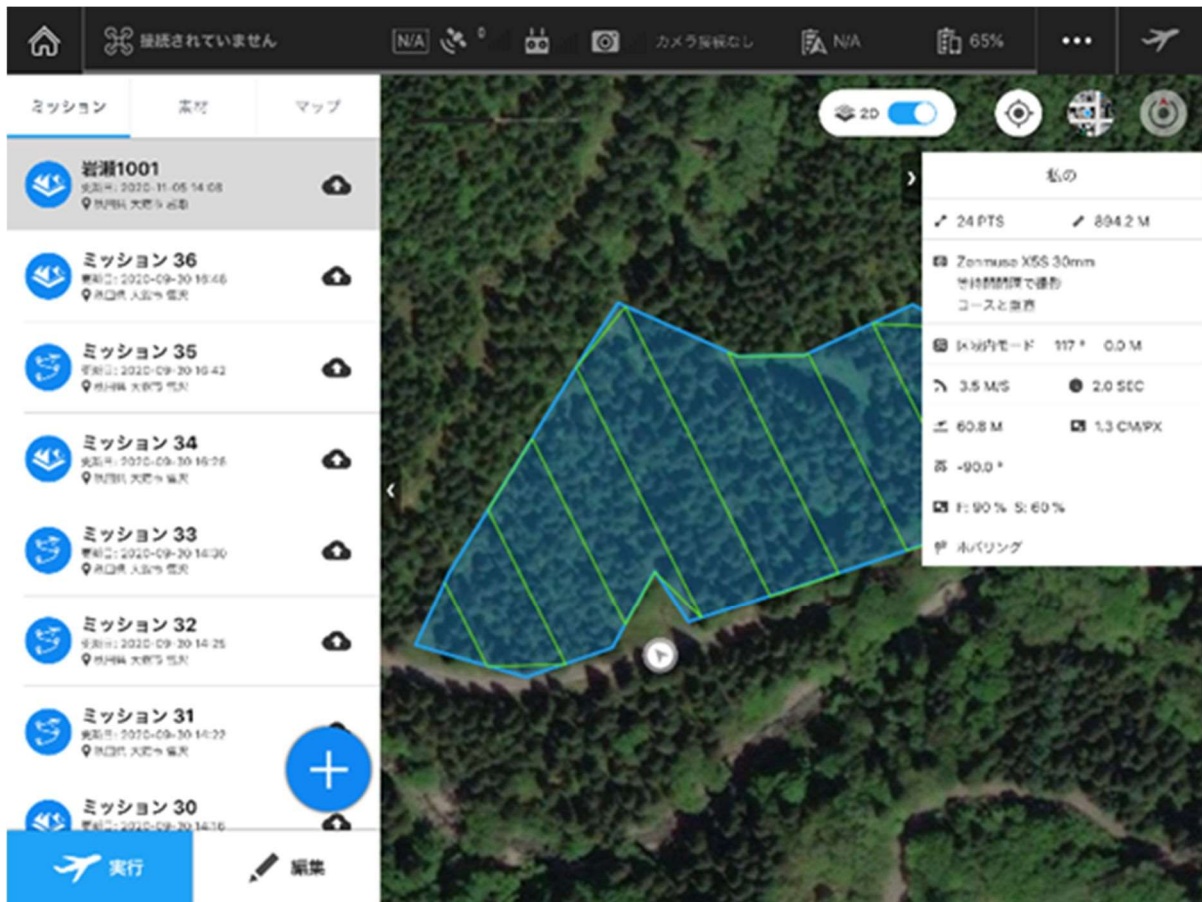


図-4 自動航行ミッション設定画面



図-5 実証試験の様子



図-6 実証試験の様子

実施結果：事前調査飛行2回と本番2回で正味空撮時間は20分強で完了した。現地状況にもよるが調査業務の労力の大幅な軽減が期待できる。

### 3.3 画像解析

3.2でドローン空撮した写真画像の解析を行った。

#### (1) 使用解析ソフト

名称：MetaShape

機能：空撮したデジタル画像から高精度DSMやオルソモザイク画像、3Dモデルを作成するソフト。

写真処理枚数：216枚

処理時間：20時間（うち画像処理作業時間：2時間）

#### (2) 使用PC仕様

OS：Windows 8.1 Pro

CPU：Intel Core i7-4790

メモリ：32GB

グラフィックボード：GeForce GTX960

#### (3) 作成画像

##### ① ドローン空撮写真（図-7）・オルソ画像（図-8）

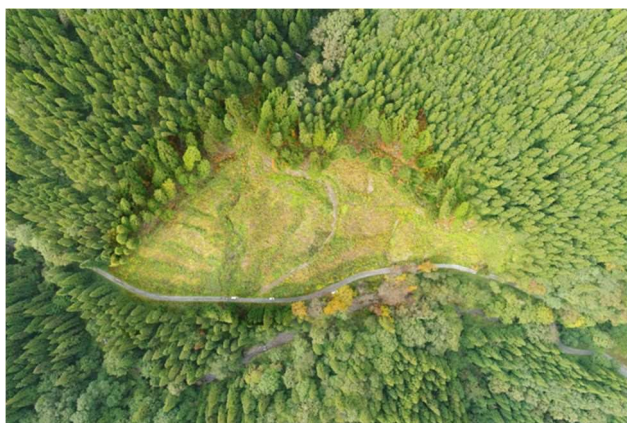


図-7 ドローン空撮写真  
※放射画像（周囲は斜めに見える画像）



図-8 オルソ画像  
※全て真上から見た正射画像



② 3D点群図（図-7）

立体的な点群画像を構築。色々な角度から見る事ができる。

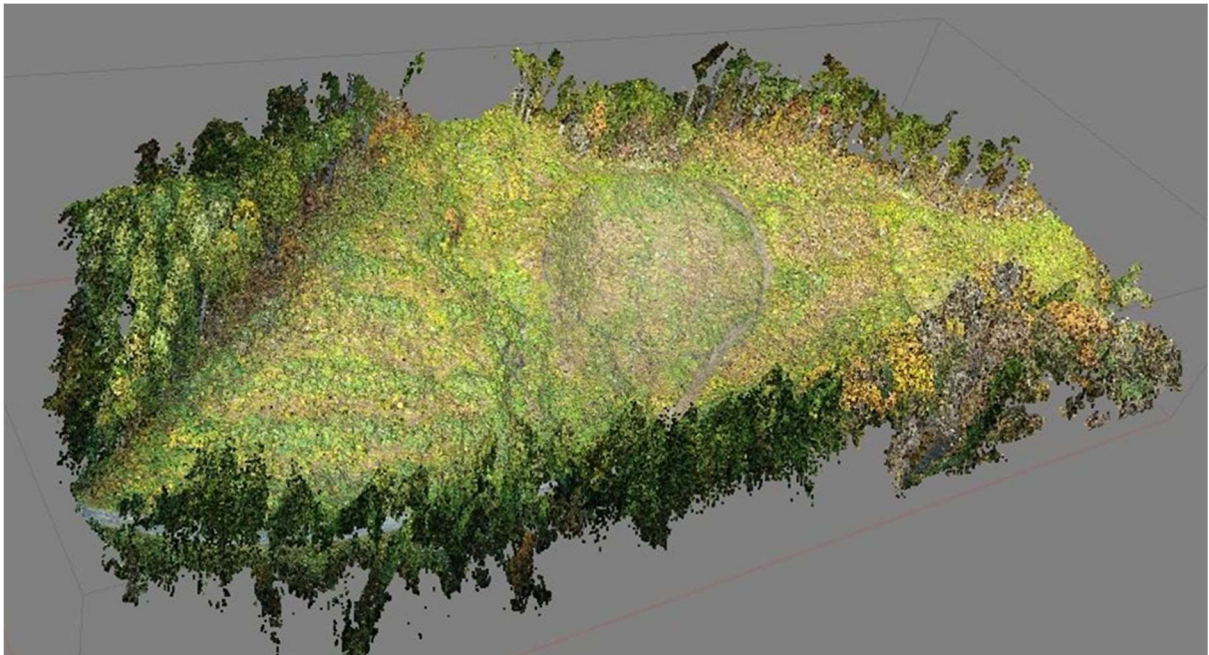


図-7 3D点群図

③ メッシュ画像（図-8）

地形の表面を格子状に頂点、辺、面で表現し、計算処理を簡略化する。

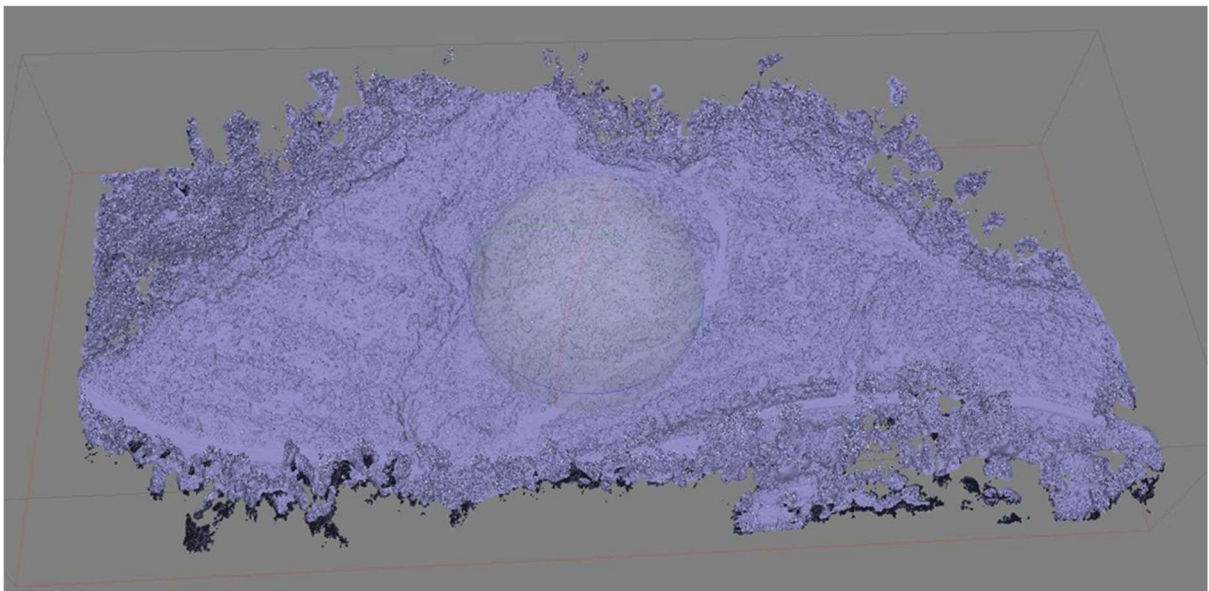


図-8 メッシュ画像

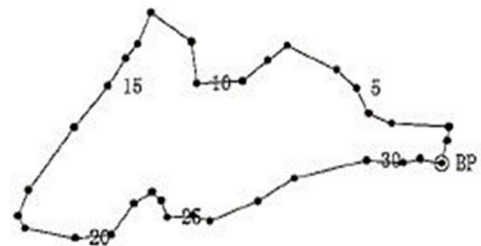
### 3. 4 実証結果

コンパス測量成果とドローン空撮写真の画像解析による測量成果の比較を行った。

(1) コンパス測量成果（表－3、図－9、大館市より提供※平成28年度測点成果）

表－3 コンパス測量成果

所在地		大館市岩瀬字内町口 大館市有林			
備考		平成28年度測量成果			
測点	視準点	方位角	高低角	斜距離 (m)	水平距離 (m)
BP	1	14.00	32.00	13.30	11.28
1	2	8.00	32.00	8.00	6.78
2	3	273.00	-7.00	30.00	29.78
3	4	291.00	-1.00	12.90	12.90
4	5	332.00	0.00	13.50	13.50
5	6	310.00	2.00	13.30	13.29
6	7	294.00	-1.00	28.10	28.10
7	8	236.00	-5.00	12.30	12.25
8	9	233.00	-10.00	16.60	116.35
9	10	267.00	-2.00	23.70	23.69
10	11	352.00	2.00	20.10	20.09
11	12	303.00	-2.00	25.00	24.98
12	13	222.00	-4.00	16.40	16.36
13	14	215.00	-1.00	9.10	9.10
14	15	215.00	-10.00	16.30	16.05
15	16	222.00	-7.00	26.30	26.10
16	17	218.00	-11.00	39.10	38.38
17	18	204.00	-10.00	13.60	13.39
18	19	148.00	1.00	7.00	7.00
19	20	100.00	0.00	26.30	26.30
20	21	84.30	-2.00	18.80	18.79
21	22	38.00	4.00	19.00	18.95
22	23	60.00	-1.00	10.90	10.90
23	24	130.00	1.00	6.10	6.10
24	25	157.00	-7.00	8.60	8.54
25	26	86.00	-1.00	13.10	13.10
26	27	106.00	-1.00	9.20	9.20
27	28	69.00	4.00	26.80	26.73
28	29	60.00	2.00	22.00	21.99
29	30	77.00	1.00	38.50	38.49
30	31	93.00	-16.00	19.90	19.13
31	32	78.00	9.00	9.10	8.99
32	BP	100.00	-3.00	11.50	11.48
累加距離：578.06m		面積；1.14ha			
閉合誤差：1.11m		閉合比：1/522			



図－9 コンパス測量図



(2) ドローン空撮写真の画像解析による測量成果の比較

① ドローン空撮写真とコンパス測量図の重ね合わせ (図-10)

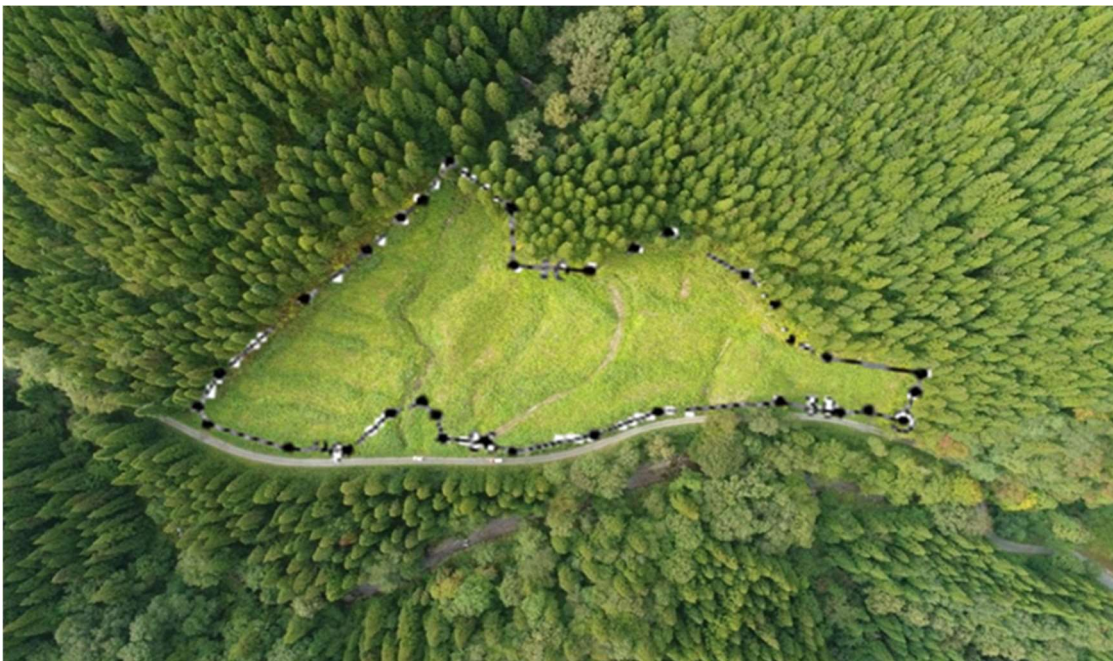


図-10 ドローン空撮写真とコンパス測量図の重ね合わせ

② 空撮設定領域とコンパス測量図の差異について (図-11)

空撮設定領域とコンパス測量図の測定ポイントにずれがあるため、ずれの大きい部分を修正した面積を算出した (正確に比較するためには測定点の標識の設置が必要)。



図-11 空撮設定領域とコンパス測量図の差異について

③ オルソ画像への領域修正図の重ね合わせ (図-12)



図-12 オルソ画像への領域修正図の重ね合わせ

(3) 比較結果

① 面積の比較結果 (表-4)

表-4

項目	面積 (h a)	コンパス測量との面積差 (h a)	備考
コンパス測量	1. 1 4	—	
ドローン測量 (補正無)	1. 3 0	0. 1 6	空撮写真のみで設定
ドローン測量 (補正有)	1. 2 7	0. 1 3	画像解析後に再設定

② 測量作業の比較結果 (表-5)

表-5

コンパス測量作業時間 (H28年度実績)	ドローン測量作業時間
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 区域調査：1人、4時間</li> <li>・ 伐開作業：1人、4時間</li> <li>・ 測量作業：2人、3時間</li> <li>・ 図面作成：1人、1時間</li> </ul> <p>【測量作業時間 延べ約15時間】</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 飛行時間 (1フライト)：1人、5分</li> <li>・ 準備、エリア設定時間：2人、1時間</li> <li>・ 画像処理作業時間：1人、2時間</li> </ul> <p>※PC画像処理時間18時間は除く。 【測量作業時間 延べ約4時間】</p>
<p>【結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンパス測量に比べ、延べ約11時間 (約74%) 短縮することができた。</li> <li>・ 測量時間と労力は大幅に改善でき、労働負荷の軽減、安全性の向上が期待される。</li> </ul>	



### 3. 5 導入に向けての課題・対策について

実証試験の結果を踏まえ、次のとおり導入に向けての課題・対策(表-6)について示す。

表-6 導入に向けての課題・対策について

ポイント	課題・対策の内容
測量精度の向上	<p>測量精度はエリア設定の精度に左右され、精度向上のための標識を測点に設置すると時間と労務負荷がかかるので効果は低くなってしまふ。しかしながら、コンパス測量では全測点に標識等は設置していないことから、ドローン活用による森林測量に求められる精度等について検証が必要と思われる。</p> <p>その他、RTK<sup>6</sup>方式やPPK<sup>7</sup>方式などを活用すれば、測定ポイントの高精度な位置データが取得可能であり、客観的な調査、評価の基盤になることから、今後の活用方法の一つとして一考に値すると思われる。</p>
処理時間の短縮	<p>画像処理作業時間は約2時間、PC処理時間は約1.8時間の計2.0時間を要するが、PC処理については、PCが占有されるものの作動させておけばよく、人は拘束されないことから労働負荷の軽減が期待できる。</p>
初期導入費用	<p>初期導入費用※が高価になることから、費用対効果を高めるため、次の活用例のように活用範囲を広げて有効に活用することが必要と思われる。</p> <p><b>【活用例】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材積調査 (DSM<sup>8</sup>測量：DEM<sup>9</sup>はレーザー測量が必要)</li> <li>・地籍調査 (緯度経度を記録することで客観性が保たれる)</li> <li>・定期パトロールや事前調査 (自動操縦が効果的)</li> <li>・森林所有者への空撮写真提供 (視覚的で判りやすい)</li> </ul> <p>※初期導入費用：約120万円以上(受注者試算)          機体関連約35万円、SfM<sup>10</sup>ソフト約47万円、高性能PC約40万円(PC推奨性能CPU:Corei7-8コア、メモリ:32GB以上、GPU:GTX2070)</p>
PC性能	<p>高精度処理で処理した影響もあるがPCの処理時間に想定以上の時間を要した。低精度でも許容できるのであればPCの性能を抑えても支障はないが、年々、PCの要求性能が高くなる傾向があることから、メモリの増設や定期的にPCの更新の検討やレンタル等を利用することで最新のPCを使用できる環境が望ましいと考えられる。また、最近クラウド処理※も可能になっていることから、使用頻度等に応じた環境整備が必要と思われる。</p> <p>※参考:Pix4Dcloud(利用料金:月額23千円～、年額222千円～)</p>



空撮中のドローン（大館市岩瀬字内町口）

---

<sup>6</sup> 「Real Time Kinematic」の略称。地上に設置した基準局からの位置情報データをリアルタイムに解析することによって、高い精度の測位（数センチ内の誤差）を実現する技術のこと。

<sup>7</sup> 「Post Processing Kinematic」の略称。衛星から位置情報データを電子基準点から提供される位置情報と組み合わせて後処理補正をかける技術のこと。

<sup>8</sup> 「Digital Surface Model」の略称。数値表層モデルといい建物や樹木の高さを含んだデータのこと。

<sup>9</sup> 「Digital Elevation Model」の略称。数値標高モデルといい建物や樹木の高さを取り除いた地表面だけの高さのデータのこと。

<sup>10</sup> 「Structure from Motion」の略称。複数の画像から、それらの撮影位置を推定し、同一地点に対するそれぞれ画像の視差から対象物全体を点群データとしての三次元モデルを生成するソフトのこと。





林業成長産業化総合対策 林業ドローン活用実証業務

業務報告書

令和3年2月

業務受託：東光鉄工株式会社

〒017-0012 秋田県大館市釈迦内字稻荷山下 19-1

TEL : 0186-48-3234