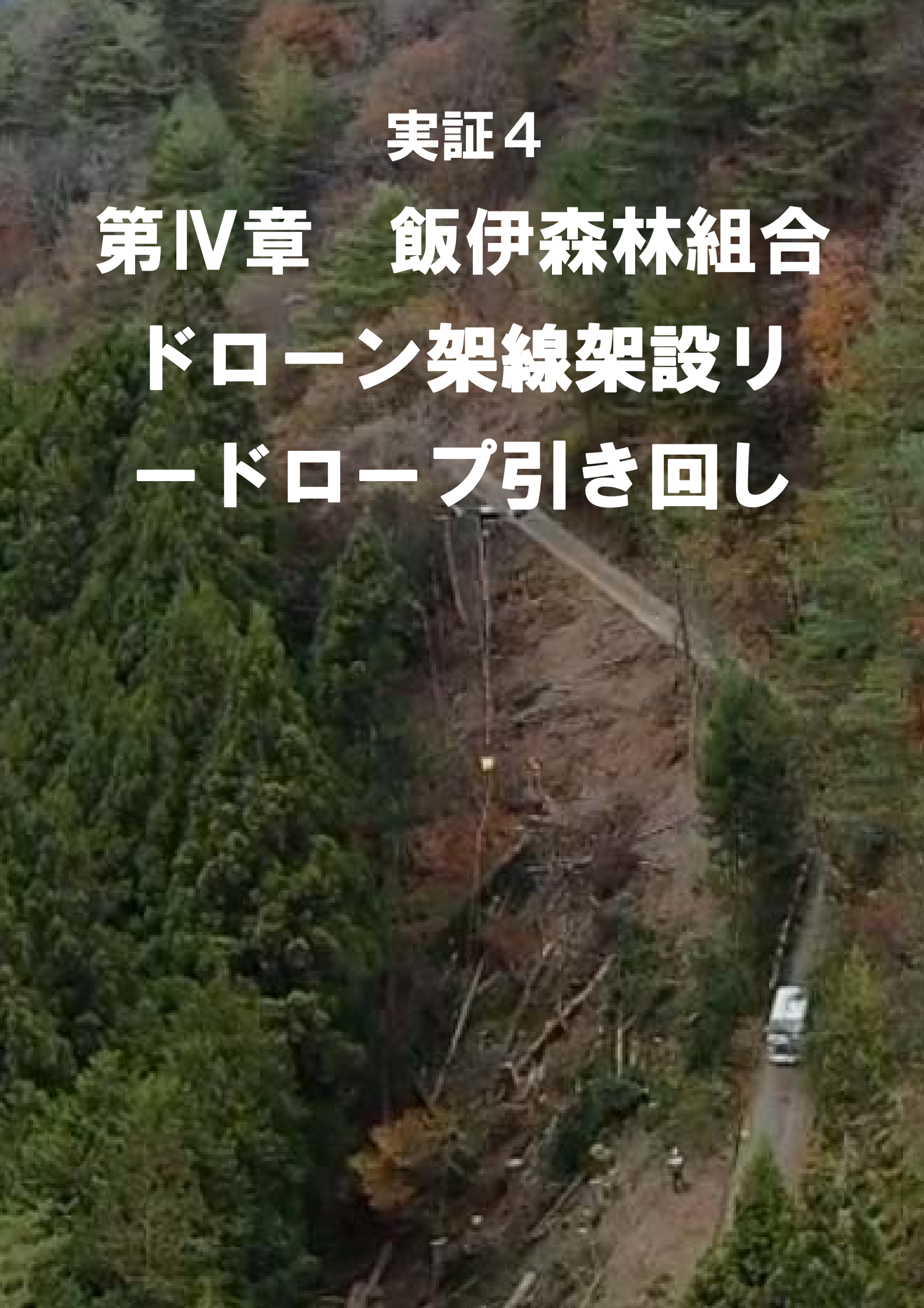


実証4

第IV章 飯伊森林組合

**ドローン架線架設リ
ードロープ引き回し**



ドローン架線架設リードロープ引き回し

実施事業体 : 飯伊森林組合
 事業名 : ドローンによる架線リードロープの引き回し作業効率実証事業
 先端技術 : 貨物運搬用ドローン架線架設リードロープ引き回し
 使用機械 : DJI Fly Cart 30 DJI 社 <https://www.dji.com/jp/flycart-30>
 飛行実施 : 株式会社ワイズ・パーソン 下伊那郡松川町上片桐 4278-20
 実施地 : 飯田市南信濃木沢 682-1 他

IV-1 ドローン

ドローンは、株式会社ワイズ・パーソンが所有する物流ドローン DJI Fly Cart 30（以下：「Fly Cart 30」）で（写真 4-1）、仕様（スペック）は表 4-1 である。

表 4-1 物流ドローン DJI Fly Cart 30 の主要スペック

重量	42.5 kg（バッテリー非搭載時）・65 kg（DB2000 バッテリー2 個搭載時）
最大離陸重量	95 kg（貨物含む、海拔高度）
サイズ	1590×1900×947 mm（長さ×幅×高さ）（アーム展開、プロペラ折りたたみ時） 2800×3085×947 mm（長さ×幅×高さ）（アーム&プロペラ展開時） 1115×760×1027 mm（長さ×幅×高さ）（アーム&プロペラ折りたたみ時）
バッテリー数	2
最大航続距離	最大重量、バッテリー容量最大時 16 km（重量負荷 30 kg、デュアルバッテリー モード） 8 km（重量負荷 40 kg、シングルバッテリー モード）
最大飛行時間	最大重量、バッテリー容量最大時 18 分（重量負荷 30 kg、デュアルバッテリー モード） 9 分（重量負荷 40 kg、シングルバッテリー モード）
動作環境温度	-20°C～45°C
最大飛行高度	6000 m（ペイロードなし）
最大風圧抵抗	12 m/s
最大水平速度	20 m/s

※DJI カタログ抜粋 <https://www.dji.com/jp/flycart-30>



写真 4-1 物流ドローン DJI Fly Cart 30

※DJI カタログ抜粋 <https://www.dji.com/jp/flycart-30>

IV-2 実証調査

2-1 実証調査概要

- 調査実施日 : 2025年11月21日(金)
- 調査機材 : ビデオカメラ(ソニー社 Handycam) 3台
: ドローン Matrice 300 RTK1 台 追尾用
- 作業 : 変更 運搬距離 250m(先柱方面林道 → 元柱方面林道)
: 当初 運搬距離 550m(元柱から先柱)
: 変更理由 安全が確保できない(飛行会社の強い意向)
- 作業量 : ナイロンロープ 4mm、500m(色グリーン) 運搬・引き回し → 引張破断
強度(強度:破断荷重) 0.37トン
: ナイロンリードロープ運搬、2飛行2本引き回し
: 同一飛行(離陸地点→着陸地点)
: 着陸地点から自動車による運搬(着陸地点からの飛行戻りなし)
- 経緯 : 林道から林道の区間の谷越え
※ 計画では元柱から先柱までの550mであったが、飛行の安全性を考慮し林道から林道の区間の谷越え250mの飛行引き回しを実施
谷渡し以外の元柱及び先柱までは人力でリードロープ架設
- 植生 : スギ林・線下伐採済
- 作業人員 : 操縦者2名(マスター側操縦とスレーブ側操縦)
外部委託株式会社ワイズ・パーソン(無人航空機操縦士)
: 作業員4名(離陸2名、着陸2名)
- 作業時間 : 9時00分(打合せ開始→離着陸台設置) ~ 11時9分第1回目飛行 →
軽トラックで着陸地点にドローン回収 → 離陸地点 → 11時47分第2
回目飛行 → 12時30分撤去終了
※ 1回目 10分49秒
※ 2回目 13分48秒

2-2 実施地

(1) 実証(実施)地

実施地は、飯田市南信濃支所から北東に3.9km、飯田市南信濃木沢682-1他に位置し、標高710~887m、林道川合線沿いで架線線下平均傾斜19度、最大傾斜36度のスギ皆伐計画地である(図4-1)。

(2) 架設計画

架設計画は元柱から先柱までの550mの谷渡し架線計画であった(図4-2)。

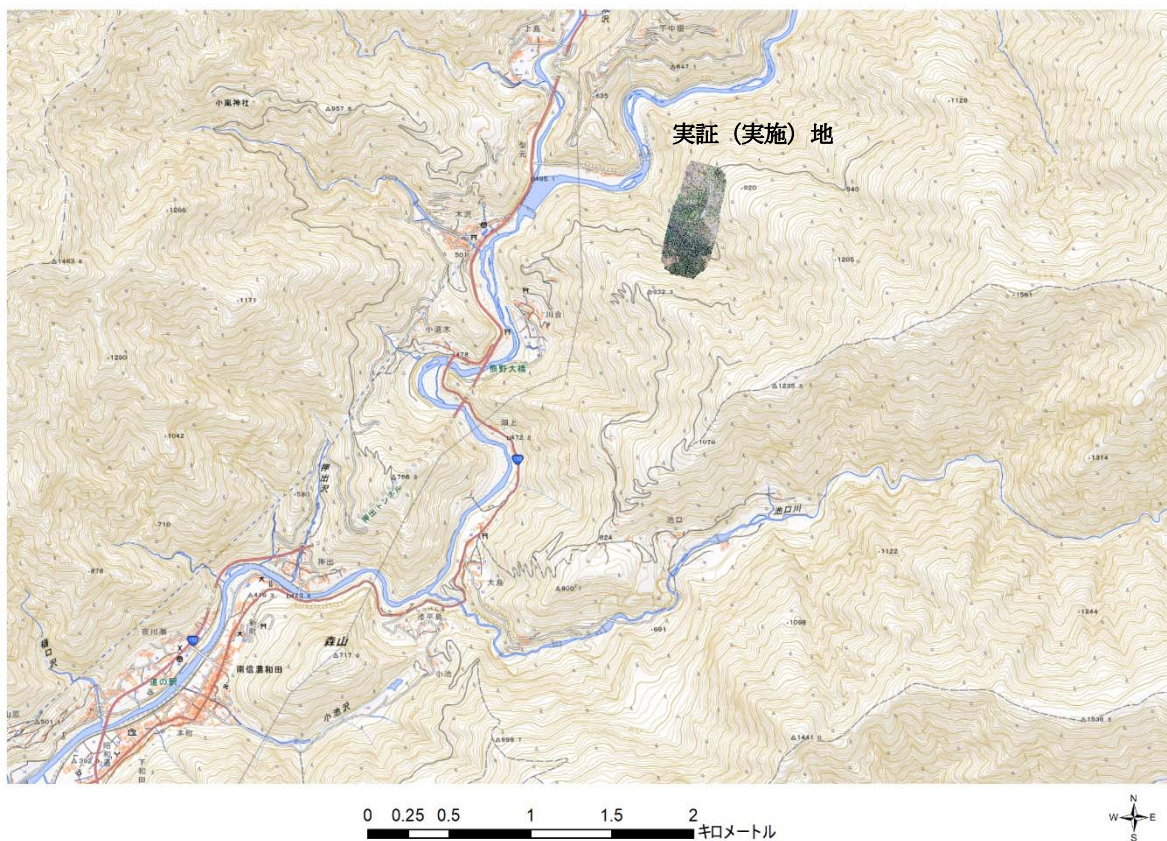


図 4-1 実証（実施）位置図（実証地はドローンオルソ画像）

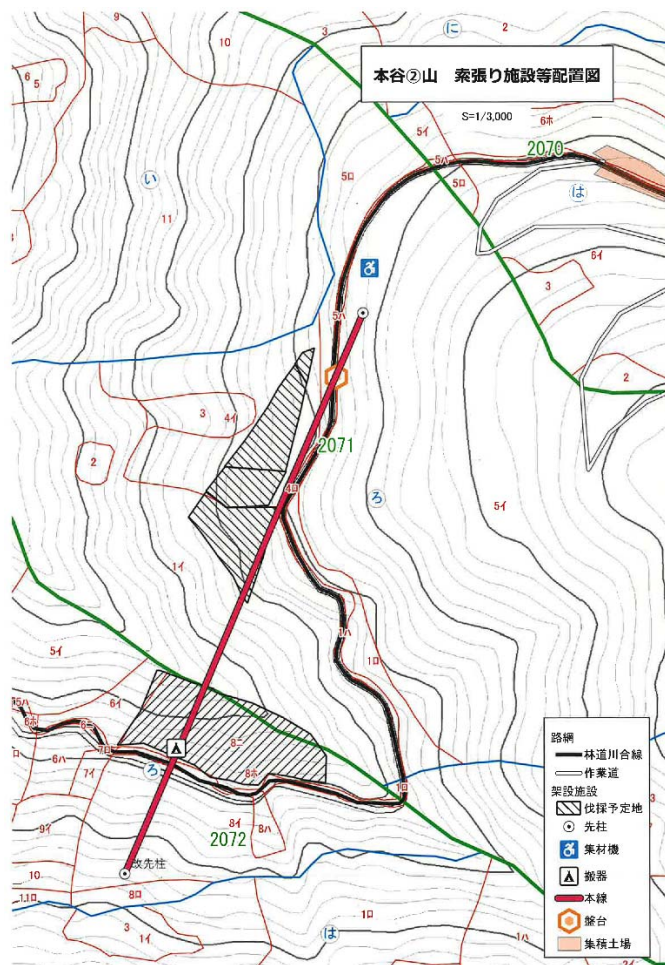


図 4-2 架設計画図（飯伊森林組作成）

2-3 実証調査方法

調査はビデオカメラ記録法を用いた。ビデオカメラ（ソニー社 Handycam）3 台のうち、1 台はドローン発着所、2 台は元柱側と先柱側に設置して記録するとともに、ドローン Matrice 300 RTK により Fly Cart 30 を追尾記録とした。

地形情報はドローン Matrice 300 RTK により空撮を行い、オルソ画像を作成した（図 4-3）。

なお、ドローン追尾調査を行うため航空法に基づき DIPS^{※4-1}（国土交通省ドローン情報基盤システム 2.0）に飛行通報を行った（図 4-4）。



図 4-3 実証地のオルソ画像



図 4-4 ドローン Matrice 300 RTK 追尾調査を行うための DIPS 通報画像

※4-1 DIPS（Drone Information Platform System：ドローン情報基盤システム）は国土交通省が運営するドローン情報基盤システムのことで、機体登録、飛行許可申請、飛行計画の通報などをオンラインで一元管理するシステム（DIPS2.0）<https://www.ossportal.dips.mlit.go.jp/portal/top/>

2-4 調査の実施

(1) 調査日

令和7年（2025年）11月21日（金）午前8時に Fly Cart 30 が現地に搬入され、9時から離着陸台の作成等の準備を始めたが、実際の飛行は11時9分からと11時47分の2回の飛行が行われ、12時30分まで記録を行った。

(2) 架設空域と離着陸地点

調査箇所はスギ皆伐計画地で、幅 10～15m 程度の架設線下伐採が完了していた（写真 4-2）。
離陸地点は、林道川合線の先柱側の林道アスファルト路面、着陸地点は元柱側の林道アスファルト路面であった（図 4-5）。



写真 4-2 架設空域の架設線下伐採状況（左：元柱方面、右：先柱方面）

2-5 分析

(1) 工程分解

Matrice 300 RTK の追尾記録動画から離着陸の時間を分解した。

(2) 生産性と費用

工程分解から森林組合の従来の実績工程との比較を行った。



図 4-5 ドローン離着陸地点

IV-3 結果

3-1 計画変更

当初計画では元柱から先柱までの550mのリードロープ運搬であったが、「安全が確保できない」との飛行会社の強い意向で、先柱方面の林道川合線から元柱方面林道川合線までの運搬距離250mとなった（前掲図4-5の赤線）。そのため谷渡し以外の元柱及び先柱までのリードロープ架設（ビデオ記録調査外）は組合技能職員による人力作業となった。

さらに、飛行会社の強い意向でバッテリーの容量等を考慮して離陸地点から着陸地点までの片道飛行（離陸地点→着陸地点）であった。復路飛行はなく着陸地点から自動車（軽トラック）による運搬で着陸地点に帰還した。

3-2 実施状況

(1) 準備

① 離陸地点

9時に組合職員、飛行会社の関係者が集まり9時28分までミーティングを行い準備が始まった。離陸地点では離着陸台の作成が行われたが（9時13分～9時48分）、1度作成された離着陸台を分解し（9時50分～9時51分）新たに2度の作成（9時52分～9時56分）が行われた。9時57分に作成された離着陸台にFly Cart 30が設置された（写真4-3）。その後、衛星受信機（写真4-4）やリードロープ等が離着陸台の周囲に配置された（写真4-5）。



写真4-3 離着陸台に設置されたFly Cart 30



写真4-4 衛星受信機



写真4-5 準備品

写真右の緑色ナイロンロープがリード用

② 着陸地点

9時58分に準備が開始され、10時1分着陸地点確認、10時18分から10時36分に着陸台が作成された。

(2) Fly Cart 30 の準備

Fly Cart 30 には投下フックが設置されている(写真4-6)。この投下フックに飛行時の機体バランスとリードロープ引き渡しの着陸面設置用の引き渡し用バケット(牽引バケット)を取付けた引き渡し用バケットは10kgに設定したかったようであるが、既定の10kgの重りではなく、現地の石を用いていた(写真4-7)。



写真4-6 DJI Fly Cart 30 投下フック

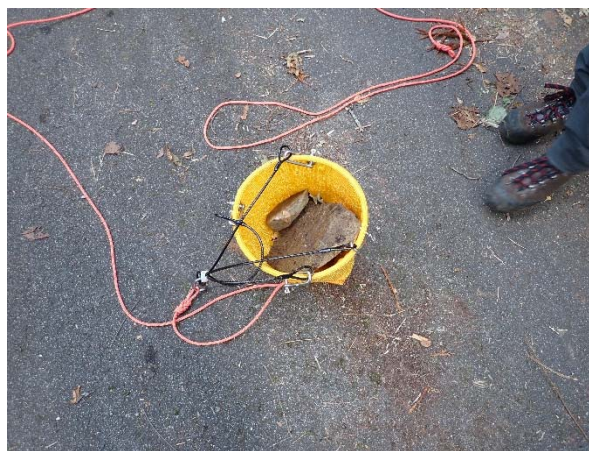


写真4-7 投下フックに取り付けた引き渡し用バケット

(3) オペレーター

Fly Cart 30 を所有している株式会社ワイズ・パーソンの職員がオペレーターで、離陸地点マスター及び着陸地点スレーブの2名が操縦を行い、補助者がそれぞれ1名、計4名が飛行に携わった(写真4-8)。

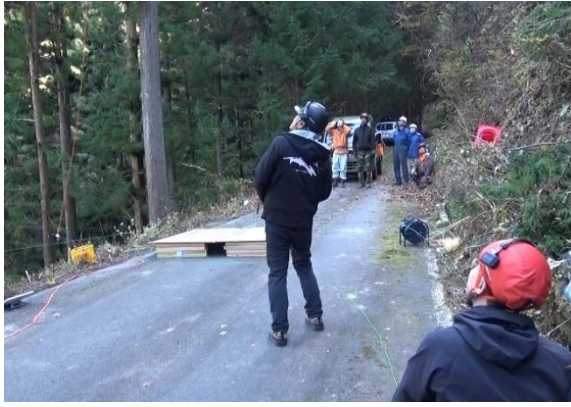


写真 4-8 離陸地点マスター（左）と着陸地点スレーブ（右）のオペレータ

（４）飛行

① 1回目飛行

11時12分に機体電源を入れ、プロペラ回転から第1回目の飛行が始まった（写真4-9～写真4-11）。離陸して牽引バケットを着地してリードロープを引き渡し、機体が着陸し停止するまで7分1秒であった（表4-2）。



写真 4-9 離陸地点（林道川合線）から元柱方（左）と先柱方面（右）

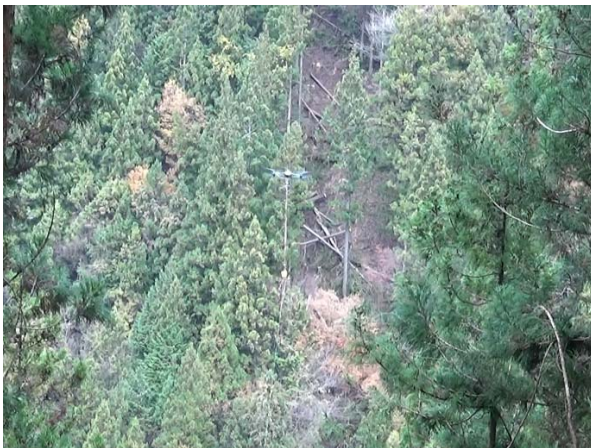


写真 4-10 第1回目飛行（左：先柱地点ビデオ画像、右：牽引バケット）
牽引バケット（10 kg：機体下黄色バケット）にナイロンロープ結束して飛行

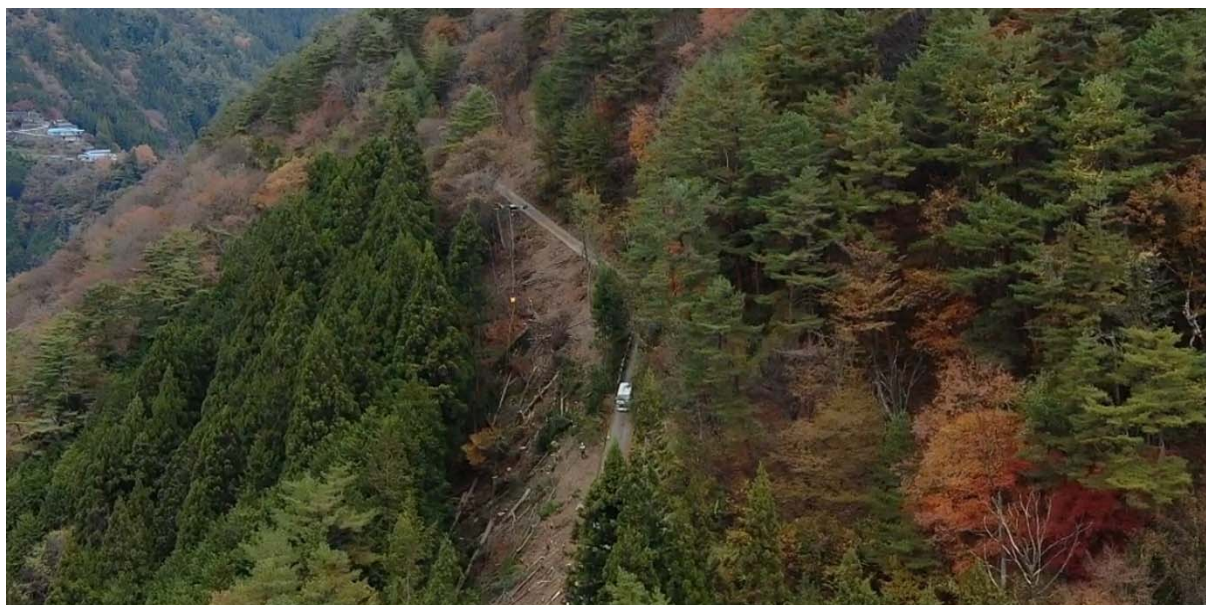


写真 4-11 ドローン追尾画像（着陸側）

表 4-2 ドローン飛行時間（準備工含まず）

飛行 No	時間	工程 time	内容	備考
1 回	11:12:31	0:00:03	機体電源	
	11:13:19	0:00:48	プロペラ回転始動	
	11:13:22	0:00:03	離陸	
	11:16:41	0:03:19	バケット着地	牽引バケット
	11:19:27	0:02:46	着陸	
	11:19:32	0:00:05	停止	元柱側林道
	計		0:07:01	
2 回	11:46:16	0:01:42	機体電源	
	11:47:28	0:01:12	バケットガイドロープ調整	
	11:47:28	0:00:00	プロペラ回転始動	先柱側林道
	11:47:32	0:00:04	離陸	
	11:51:53	0:04:21	バケット着地	牽引バケット
	11:53:14	0:01:21	着陸	
	11:53:18	0:00:04	停止	元柱側林道
計		0:07:02		

② 2回目飛行

1 回目の飛行後、着陸地点で機体を回収し自動車にて離陸地点に戻り、11 時 46 分に機体電源を入れるまでに 27 分 34 秒を要した。2 回目飛行は、プロペラ回転からはじまり（写真 4-12～写真 4-13）、離陸して牽引バケットを着地してリードロープを引き渡し、機体が着陸して停止するまで 7 分 02 秒であった（表 4-2）。



写真 4-12 第2回飛行ドローン追尾画像離陸側（左）と着陸側（右）



写真 4-13 第2回飛行着陸側画像（左：飛行状況、右：着陸状況スレブ操縦士）

（5）リードロープ

リードロープとして使用したナイロンロープは、グリーン色の $\phi 4\text{mm}$ 、巻延長 500m、引張破断強度（強度：破断荷重）0.37 トンであった。

リードロープは牽引バケットに装着し、Fly Cart 30 飛行と同時にロープのねじれや絡み合わないよう2～4名で引き出し作業を行った。オペレータは急速な高度上昇や高速飛行を避けて、ロープが真っ直ぐに牽引できるよう慎重な操縦を行った（写真 4-14）。



写真 4-14 リードロープ牽引バケット装着状況（左）とロープ引き出し作業（右）

第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

受取側は、上空に Fly Cart 30 が到着した段階で着陸地点スレーブに操縦を変え、Fly Cart 30 がホバリング状態として投下フックで牽引バケットを降下させ、牽引バケットに装着されたガイドロープを引き寄せて、Fly Cart 30 が着陸して停止した段階でリードロープを確保した（写真 4-15）。受け取り側はスレーブ操縦士 1 名、補助 1 名の 2 名で作業ができた。



写真 4-15 リードロープ受取状況（左）とロープ取り外し状況（右）

3-3 工程結果

(1) 工程の定義

表 4-3 ドローン架線架設リードロープ引き回し工程

飛行 No	時間	工程 time	内容
1 回	11:07:20		牽引バケット・リードロープ設置開始
	11:07:37	0:00:17	リードロープ設置
	11:09:06	0:01:29	バケットガイドロープ調整
	11:09:12	0:00:06	バケットガイドロープ調整終了
	11:11:53	0:01:18	バッテリー交換
	11:12:28	0:00:35	バッテリー交換終了
	11:12:31	0:00:03	機体電源
	11:13:19	0:00:48	プロペラ回転始動
	11:13:22	0:00:03	離陸
	11:15:17	0:01:55	牽引飛行
	11:16:41	0:01:24	着地点上空フバリング・投下ロープ降下バケット着地
	11:19:27	0:02:46	着陸
	11:19:32	0:00:05	停止
	計	0:10:49	
2 回	11:39:30		機体離陸台設置
	11:44:21	0:04:51	牽引バケット設置
	11:44:34	0:00:13	リードロープ設置
	11:46:16	0:01:42	機体電源
	11:47:28	0:01:12	バケットガイドロープ調整
	11:47:28	0:00:00	プロペラ回転始動
	11:47:32	0:00:04	離陸
	11:50:12	0:02:40	牽引飛行
	11:51:53	0:01:41	着地点上空フバリング・投下ロープ降下バケット着地
	11:53:14	0:01:21	着陸
	11:53:18	0:00:04	停止
	計	0:13:48	

第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

ドローン架線架設リードロープ引き回し作業は、打合せ開始から離着陸台の作成等の準備があったが、実際に Fly Cart 30 が飛行するまでに約 2 時間の空白時間が存在した。そこで、本事例では前掲表 4-2 に示した 2 回の飛行時間を基にリードロープを牽引バケットに設置してから Fly Cart 30 が飛行して着陸台に着地し機体が停止するまでの作業工程を整理し（表 4-3）、工程の作業種を表 4-4 と定義した。

表 4-4 ドローン架線架設リードロープ引き回し工程の作業種

作業種	作業種細分
リードロープ設置	リードロープ牽引バケット設置
調整	牽引ロープ調整、バッテリー交換
離陸	プロペラ始動・離陸
牽引飛行	飛行
リードロープ引き渡し	ホバリング・バケット着地
着陸停止	着地台に着陸・機体停止

(2) 工程分解時間

① 第 1 回飛行

第 1 回の飛行は 11 時 7 分～11 時 19 分の 10 分 49 秒であった。

作業工程の内訳は、リードロープ設置 2.6%、調整 39.9%、離陸 0.5%、牽引飛行 17.7%、リードロープ引き渡し 12.9%、着陸停止 26.3%であった（図 4-6）。

② 第 2 回飛行

第 2 回の飛行は 11 時 39 分～11 時 53 分の 13 分 48 秒であった。

作業工程の内訳は、リードロープ設置 1.6%、調整 56.2%、離陸 0.5%、牽引飛行 19.3%、リードロープ引き渡し 12.2%、着陸停止 10.3%であった（図 4-7）。

(3) 2 飛行の比較

① 2 飛行の平均

2 飛行の平均値（算術平均）による作業工程の内訳は、リードロープ設置 2.0%、調整 49.0%、離陸 0.5%、牽引飛行 18.6%、リードロープ引き渡し 12.5%、着陸停止 17.3%であった（図 4-8、図 4-9）。

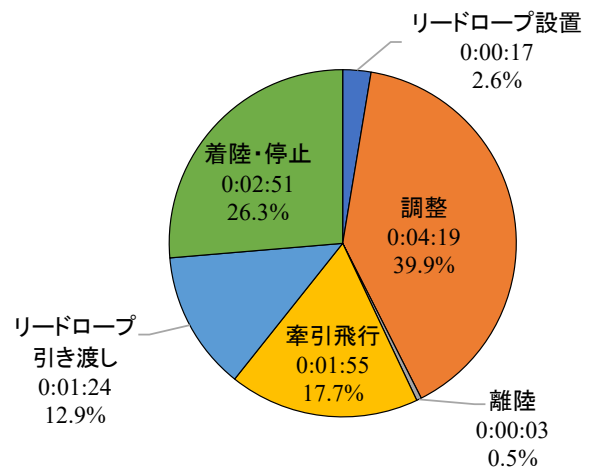


図 4-6 第 1 回飛行の作業区分別時間と割合
小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

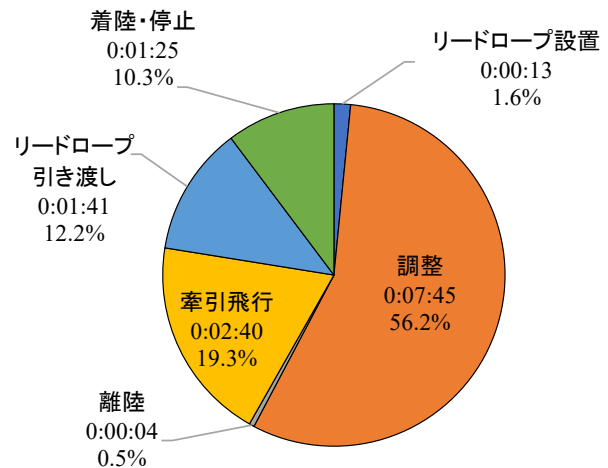


図 4-7 第 2 回飛行の作業区分別時間と割合
小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

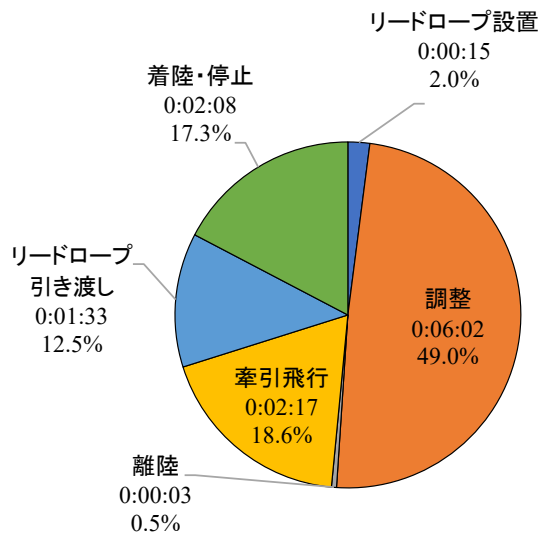


図 4-8 2 飛行の平均作業区分別時間と割合
 小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

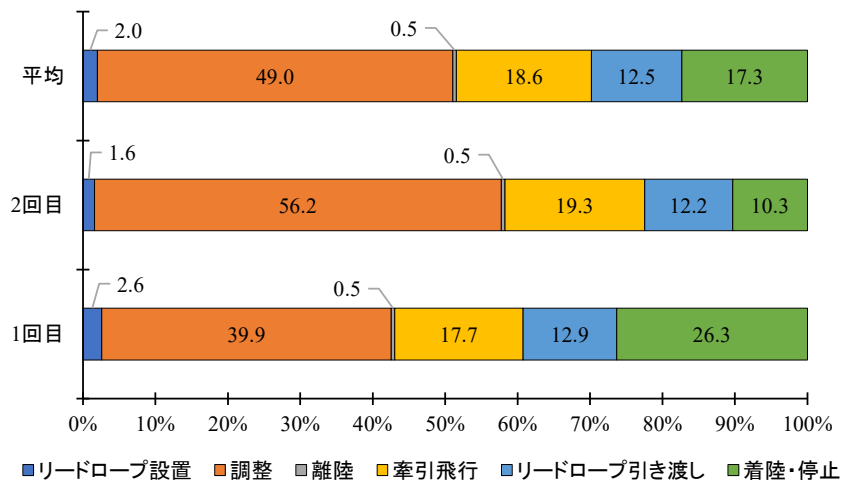


図 4-9 第 1 回飛行と第 2 回飛行及び平均の作業工程割合
 小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

② Fly Cart 30 飛行時間

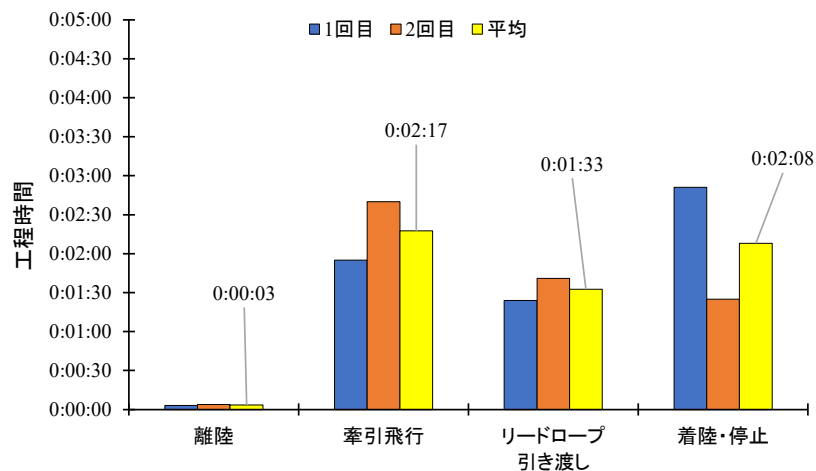


図 4-10 Fly Cart 30 飛行時間内の作業別時間

第1回飛行と第2回飛行及び平均時間の離陸から着陸・停止までの Fly Cart 30 飛行時間は図 4-10、飛行時間内の割合は図 4-11 となった。第1回目の飛行は秒速 2.17m/s（時速 7.8km/h）、第2回飛行は 1.56m/s（時速 5.6km/h）であった。

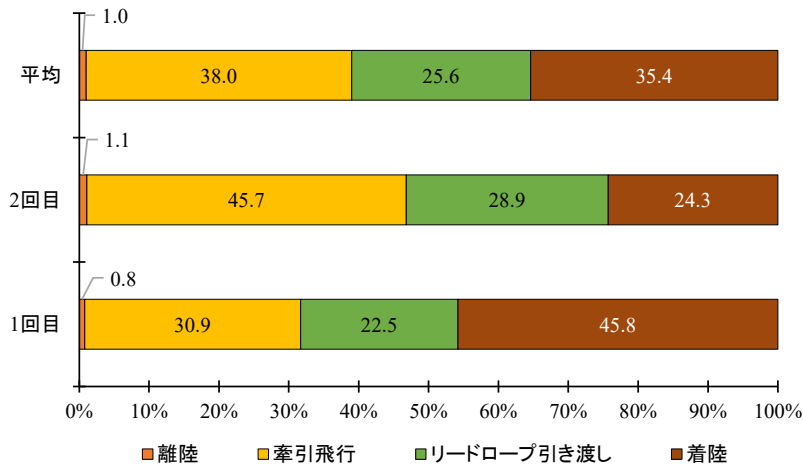


図 4-11 Fly Cart 30 飛行時間内の作業別時間の割合

③ 2 飛行の比較

第1回飛行と第2回飛行の作業時間を散布図で示すと図 4-12（左）となった。第1回飛行と第2回飛行の作業時間には原点 (0, 0) 直線回帰式において有意水準 5% で相関関係（両側検定 $p=0.021$ ）が認められる。第1回飛行に比べリードロープ設置と着陸・停止を除き第2回飛行の作業時間が大きい（傾き 1.3865）。

一方、離陸から着陸・停止までの Fly Cart 30 飛行時間を比較すると図 4-12（右）となった。Fly Cart 30 飛行時間 1回と2回では統計的有意差は認められない（両側検定 $p=0.351$ ）が、第1回飛行が第2回飛行より大きい傾き（0.8052）を示している。着陸・停止時間が大きく影響しているものと考えられる。

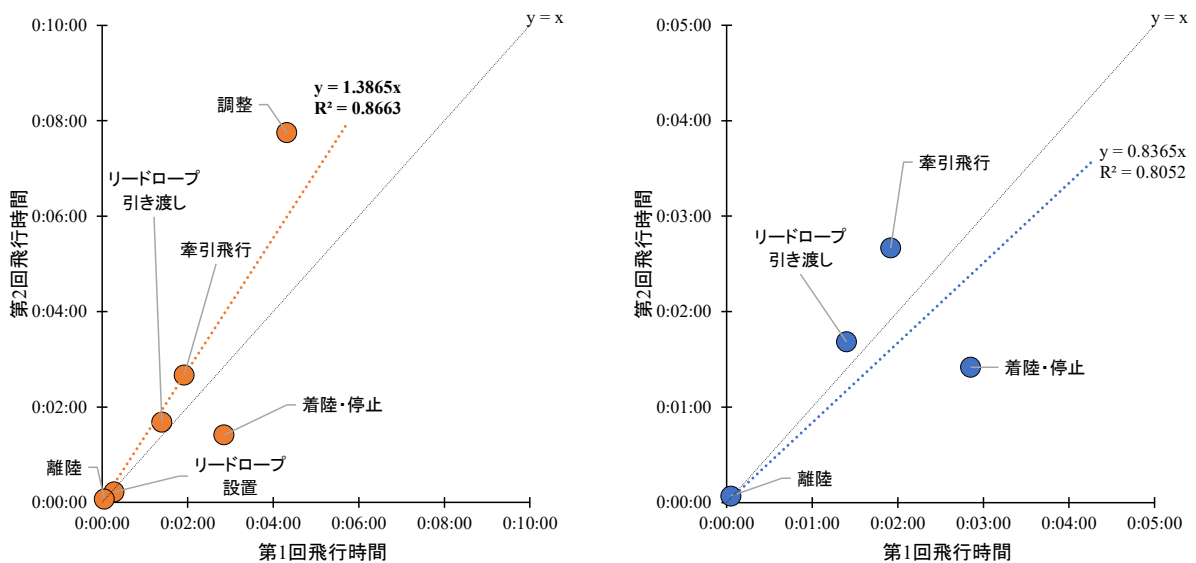


図 4-12 第1回と第2回の作業時間の関係（左：総作業時間、右：Fly Cart 30 飛行時間）

第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

2 飛行ともリードロープを牽引バケットに設置した後の調整に大きな時間を費やしている。第1回飛行時はプロポーショナル（操縦送信機）の飛行モードにしてからバッテリー残量が減っていたためバッテリー交換を行った。第2回飛行時は牽引バケット設置とバケットガイドロープ調整に時間を費やしている。

リードロープを牽引飛行した Fly Cart 30 が着地地点においてホバリングして投下ロープを降下させバケット着地してから着陸する工程も比較的時間を費やしている。第1回飛行の時間が大きいことからスレーブ操縦者の操作が順調でなかった可能性が考えられる。

IV-4 検証評価

本実証事例は図 4-13 の範囲について検証評価を行った。

4-1 作業工程

作業工程（順序立てて細かく区切った作業の段階やプロセス）には次の課題または検討すべき事項があった（表 4-5）。

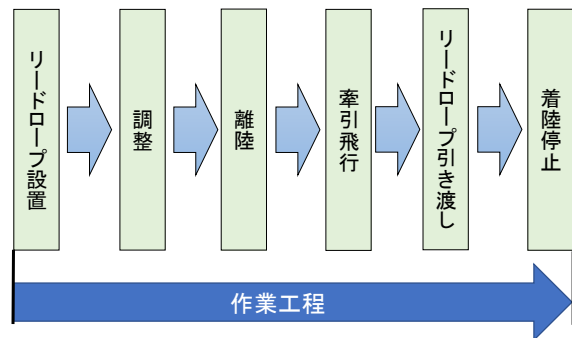


図 4-13 本事例検証作業工程

表 4-5 作業工程における課題

項目	内容	要因・検討事項
リードロープ設置後の時間ロス	プロポーショナル（操縦送信機）の飛行モードにしてからのバッテリー交換	気温・作業工程の認識不足
	牽引バケット設置とバケットガイドロープ調整	作業手順の不調性
離陸	大型産業用ドローンで機体が大きいため、離陸時に極めて慎重に上昇	架線下の伐採幅が狭い
牽引飛行	ロープのねじれや絡み合わないよう2～4名での引き出し作業	作業員の増加
	気温が低くバッテリーに対する不安が強く、250mの飛行で往復（引き渡し用のバケット 10 kgの復路飛行）を断念	気温・作業工程の認識不足
	着陸地点でドローンを回収し軽トラックで運搬した。往復飛行はしていない	ドローン使用効果の低減
着陸	ホバリングして投下ロープを降下させバケット着地してから着陸する工程が長い	マスターとスレーブ側の操作切り替え

本実証事例では、作業プロセスに事前調整及び打合せ不足が影響している。特に数回の現地検討、事前打合わせを行ったとのことであるが、午前9時の打合せから飛行まで2時間を要した。

第1回飛行においては、垂直離陸においてスギの樹冠を強く意識した操縦で低速上昇であった。架線下の伐採幅は立木間隔では6～8mを確保していたが、離陸地点は樹冠が覆う状態であったため慎重な操縦になっていた。この状態も事前打ち合わせで解消できた可能性がある。

着陸時もホバリングして投下ロープを降下させ牽引バケットを着地させてから、投下ウインチを巻上して着陸態勢に移行して着陸するまでに時間を要していた。離陸と着地における2パイロット機能(2オペ:マスター側操縦とスレーブ側操縦)の切り替えに時間を要した可能性も考えられる。

さらに、復路飛行が出来ないことはドローン活用にとって大きな損失であった。ドローン飛行においては風速や降雨だけでなく気温等の気象状況全般について十分な予測、観測を実施する必要がある。

本実証は、**実施する前の事前調整、準備及び飛行時の判断が非常に重要**であることを示す事例といえる。

4-2 施工性

本実証事例の施工性(作業のしやすさ)は、次の課題または検討すべき事項があった(表4-6)。

表4-6 施工性における課題

項目	内容	要因・検討事項
リードロープ	ナイロンロープ 4mm、500m (色グリーン) 運搬・引き回し → 引張破断強度 (強度: 破断荷重) 0.37 トン	リードロープとして使用したナイロンロープが適切か
	ロープの引き出しに4名	ロープの性質から引き出し時に絡みの発生
ドローン飛行	着陸ポイント(着陸台)の設置	往復飛行
ドローン選択	ドローンの機種	機種の選択

本実証事例では、リードロープの選択が適正であったか検討する必要がある。検討は素材、太さ、延長と考えられる。素材のナイロンロープは一般的であるが、長距離やロープの重さ及び強度を想定した場合に釣り糸テングス(8号程度)なども想定される。太さ4mmが適切であったか、素材が適切であったか等、今後太さ、素材の違うロープでの実証が必要と考えられる。当初計画において延長550mのスパンを引き回しする計画に対し、延長500mの巻式ナイロンロープであった。変更延長250mのため倍の延長を有していたが、第2回飛行に際しロープ延長の余裕がなく、慎重な引き出しになっていた。このこともあり発着側ではドローン操縦オペレータ、補助者2名に加え作業員2名が必要となった。**リードロープの選択については素材の変更等も含め検討が必要**である。

リードロープ受取側にドローン着陸台を設置したが、**通常ドローンは往復飛行することで施工性・効率性が高まる**。架設現場においては、本実証事例のように林道を離陸、着陸地点するケースは少ない。架線の元柱から先柱までリードロープの引き回しを想定するのであれば、**往復飛行を原則とすべきであり、本実証事例の致命的な課題**である。今後事例を増やして検証することが必要である。

第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

ドローンの選択については、短距離の牽引飛行であるならば航空法に抵触しない範囲で今回使用したドローンよりも小型の産業用ドローン^{※4-1}を検討することも必要である。これにより作業工程も効率性も高まる可能性がある。

※4-1 Fly Cart 30 と同社 DJI の Matrice 300 RTK (追尾撮影した機種) + CZI TH4 V2 投下フックであれば 2.7 kg 運搬可である。株式会社とされいほくでは DJI Inspire によりリードロープを引き回ししている動画が公開されている <https://www.youtube.com/watch?v=NPamwcoHtuw&t=11s>。

4-3 安全性

(1) ドローン飛行の安全性

本実証事例の安全性については、ドローン飛行の安全性とドローン引き回し等の作業に対する安全性に区分されるが、課題または検討すべき事項はなかった。

ドローン飛行の安全性は、ドローン専門事業者であることから航空法に抵触することなく(図 4-14)、事前の DIPS 飛行通知も行われ準備も適正に行われていた(図 4-15)、安全飛行の GPS 機能を維持するための衛星通信も備え、飛行の安全を最優先としていた。牽引飛行時もマスター側操縦とスレーブ側操縦がトランシーバ無線機により常に連絡を取り合い飛行の安全性に勤めていた。

オペレータ以外の作業員もドローン機体や牽引バケットの直下に立ち入ることはなく、ドローン引き回しに対する安全性も適正に作業が行われていた。

一点、オペレータは森林内で初めてのロープ牽引飛行であったことから、マスター側操縦者はスレーブ側操縦者との状況・情報共有に極めて敏感となっていて、心理的安全性 (Psychological Safety) に気を遣っていた。

本実証事例のドローンの安全性については、安全(危険が許容できるレベル)であると言える。

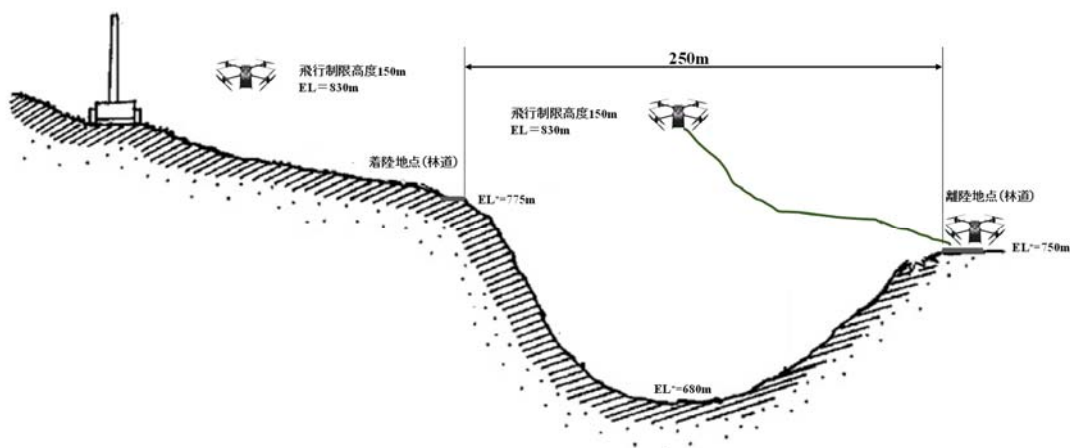


図 4-14 本事例の飛行高度制限図



図 4-15 正確に登録された本実証事例の DIPS 通報画像

(2) ドローン使用と従来リードロープ運搬の安全性比較

本実証事例の現場条件で、従来型の技能職員によるリード線運搬を行う場合、急傾斜の斜面を歩行して運搬することになり、転倒したりする危険性が存在する。ドローンの活用は労働災害防止、技能職員の安全性の向上に有効といえる。

4-4 労働生産性と経済性

(1) 労働力と経済性

① 労働力（人工数）

飯伊森林組合実績報告による値を基に労働力（人工数）について、従来作業と実証作業を比較すると、伐開作業はドローン飛行を想定して伐開平均幅 7.9m から 5.7m まで伐開規模を縮小（表 4-7）した結果、2.5 人の縮小であった（表 4-8）。

表 4-7 参考：実績報告値による単位作業量

単位作業量と人員区分	従来作業 (A)	実証 (B)	差 (A-B)
伐開幅 (m)	7.9	5.7	2.1
伐開作業 (面積/人)	564.7	583.3	△18.6
伐開作業 (人/ha)	17.7	17.1	0.6
架設延長 (m)	610	360	250.0
引き回し距離 (m/人)	50.8	105.9	△55.0
引き回し人員 (人/100m)	2.0	0.9	1.0

リードロープ引き回しは元柱から先柱間の 610m で従来作業であれば 12.0 人のところ、250m のドローン牽引により離陸ポイントから先柱間と着陸ポイントから元柱間の実質 360m となり 8.6 人の縮小であった（表 4-8）。

第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

労働力（人工数）は従来作業の20.5人に対し、実証作業では9.4人となり、合計で11.1人の縮小となった（表4-8、図4-16）。

表4-8 実績報告値による労働力生産性と経済性

比較区分		従来作業 (A)	実証 (B)	差 (A-B)	備考
作業規模	下線伐開 (m ²)	4,800	3,500	1,300	従来8m幅、実証6m幅
	架設延長 (m)	610	610	0	ドローン牽引250m
人員	伐開作業 (人)	8.5	6.0	2.5	
	引き回し (人)	12.0	3.4	8.6	実質360m
	技術者計 (人)	20.5	9.4	11.1	
費用	労務費 (円)	526,850	241,580	285,270	
	ドローン委託費 (円)		253,000	△253,000	消費税抜き
	費用計 (円)	526,850	494,580	32,270	

※ 飯伊森林組合実績報告による値

※ 人件費は特殊作業員と普通作業員の平均値25,700円/人を採用（令和7年度森林整備保全事業標準歩掛、森林整備：伐倒p725）

※ ドローン委託費は消費税抜きの金額

② 経済性

表4-8の労働力（人工数）を基に技術者単価（令和7年公共工事設計労務単価表）の特殊作業員と普通作業員の労務単価を用いて試算すると、従来作業20.5人では526,850円、実証9.4人では241,580円となり、労務費で285,270円の縮小となった。

本実証事例ではドローン飛行を委託して実施した。委託費は253,000円（消費税抜き）で、労務費にこの委託費を加算すると494,580円となり、従来作業労務費526,850円に対し32,270円の縮小となった（表4-8、図4-17）。

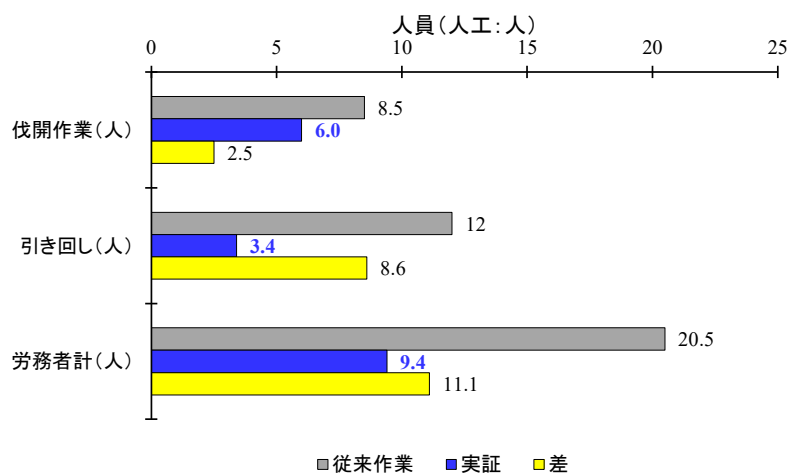


図4-16 実績報告値による労働力生産性

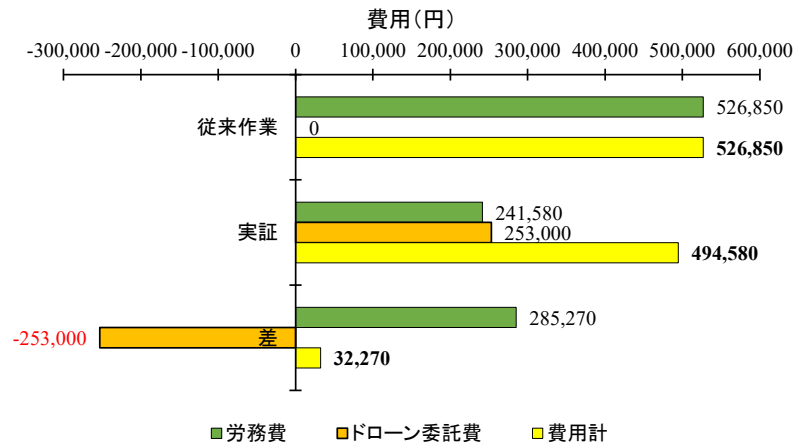


図 4-17 実績報告値による費用

(2) 購入した場合の費用

DJI Fly Cart 30 の本体価格は約 240 万円、バッテリー (6 基と仮定) や付属設備 (投下フック) を合わせると約 500 万円である。購入した場合について、次の条件を設定して試算した (表 4-9)。なお、試算の基準となる条件は全て仮定である。

表 4-9 コスト計算因子

項目	機械価格 (千円)	燃料消費量 Q (ℓ/h)	燃料価格 (円)	耐用時間 (時間)	耐用年数 法定 (年)	耐用年数 経済寿命 (年)	年間稼働日数 (日)	年間稼働時間 (時間)	実働時間 (時間)	償却費率 (残存率)	保守・修理費率	固定費 (円/時)
記号	A	Q	Tl	Ol	n	O	Nx	Nh	H	γ	εA + εB	P
項目	管理費率	機材消耗品費 (円/ha)	工期 (ha/時)	償却費 (円/時)	管理費 (円/時)	資本回収係数	資本利子 (円/時)	保守修理費 (円/時)	燃料油脂費 (円/時)	機材費 (円/時)	固定費 (資本利子除く) (円/時)	
記号	εc	D	C	B	W	i	V	X	T	R	P1	

全国林業改良普及協会編 (2001) 機械化のマネージメント p124~161

日本林業技士会 (2009) 低コスト作業システム構築事業 事業報告書 p17~19

DJI Fly Cart 30 セット (バッテリー6 基) の購入価格 500 万円、バッテリー充電費用 (15A×6 本、中部電力 15A 基本料金)、バッテリー6 基の飛行時間 1 時間 (18 分デュアルバッテリー モード×バッテリー3 セット : 54 分)、法定耐用年数 5 年、耐用年数は物流、宅配サービス及び荷物の輸送に該当するため『主な減価償却資産の耐用年数表 (国税庁)・機械装置の「運輸に附帯するサービス業用設備」』による 10 年、減価償却資産の償却率等表 (国税庁) による耐用年数 10 年の償却率 0.25、保守・修理費率及び管理費率は 15%、資本回収係は年利 4%、検証事例の 250m 牽引飛行を基準として飛行距離は 2,490m/時とした。

年間稼働日数を 10~260 日 (法定労働制限日数) で変動させて固定費 (円/日) 及び人件費 (オペレータ 2 名 : 2 オペ 1 時間) を加算したシステム費用 (円/日) を試算すると図 4-18、図 4-19 となった。バッテリー6 基で飛行できる時間は 1 時間であるため、1 日のシステムは 1 時間システムと読み替えることができる。

飯伊森林組合の従来リードロープ引き回しは 2 人/100m、労務費は 50,557 円/100m となり (前掲表 4-8)、本事例の 250m の引き回しとすると労務費は 126,393 円となる。

DJI Fly Cart 30 を購入した場合の年間 10 日間の固定費は 124,100 円/日、システム費用は 138,476 円/日である。年間 11 日稼働のシステム費用は 126,510 円となり、250m の引き回の労務費 126,393 円と近似する。

第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

本実証事例を基準とし DJI Fly Cart 30 セットを購入した場合は、耐用年数経済寿命 10 年としても、同様の作業が年間 11 日（11 施業地）以上ないとドローンの減価償却効果は表れない。

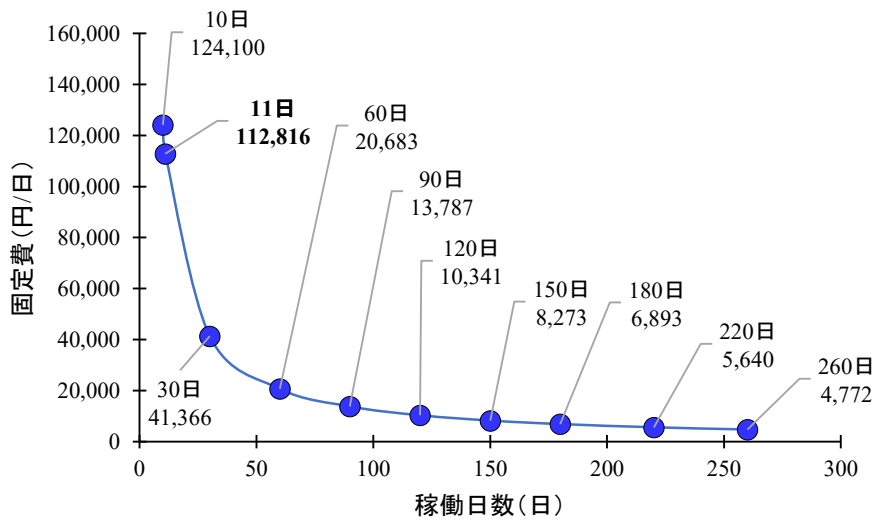


図 4-18 DJI Fly Cart 30 の固定費試算結果
※年間 1 日使用の固定費は 1,241,000 円

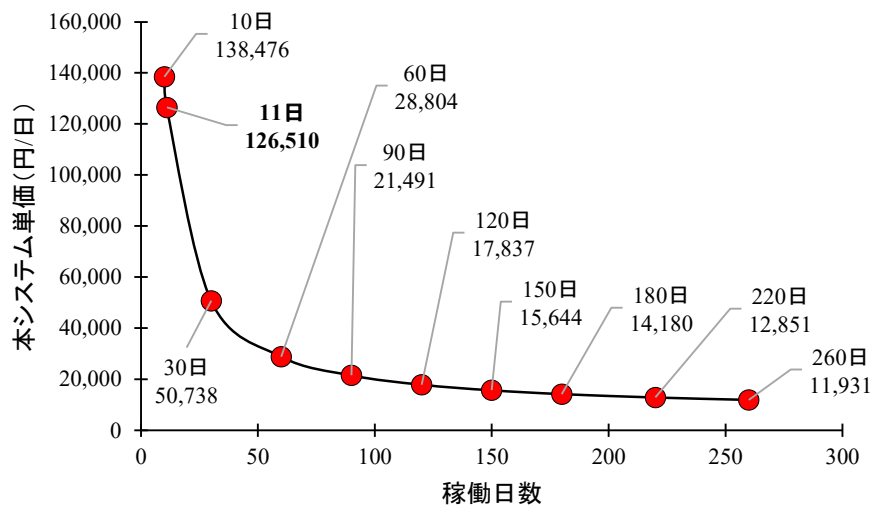


図 4-19 DJI Fly Cart 30 のシステム試算結果（オペレータ 2 名人件費含む）
※年間 1 日使用のシステム費は 1,322,927 円

（3）経済性の検証

本実証事例の経済性は、表 4-8 のとおり 労働力（人工数）と作業実施費用は共に縮小し、経済的に有効であったと評価 できる。

一方、本実証事例の リードロープ架設だけに同規模のドローンを購入しても償却できない可能性が高い。荷物輸送用ドローンの購入を検討する場合は、架設だけでなく苗木運び等併用利用も含め検討する必要がある。

4-5 総合評価

本実証事例のドローンによる架線のリードロープ引き回し（架設）の評価を「✖：不可」、「△：要検討」、「○：有効」及び「◎：有効技術推進」の4段階とした（表4-10）。

評価は、前述の結果から「作業工程：△」、「施工性：△」、「安全性：◎」、「労働生産性：◎」、「経済性：△」と判断し、総合評価は安全性、労働生産性、コスト縮減に効果があったが、作業工程、施工性が低調で要検討事項が多かったことから「総合評価：△」とした。

表 4-10 検証評価

評価項目	評価	課題・検討内容	備考
作業工程	△	リードロープ設置後の時間ロス 離陸：機体と架線下の伐採幅 牽引飛行：往復飛行なし 着陸：マスターとスレーブ側の操作切り替え	p112
施工性	△	リードロープの選択 ドローン飛行：往復飛行なし 機種選択	p113～114
安全性	◎	ドローン飛行安全 作業安全 心理的安全性 技能職員の労働災害軽減 → 安全	航空法に抵触なし p114～115
労働生産性	◎	労務人員は11.1人の縮小	p115～116
経済性	△	労務費にドローン飛行委託費を加算しても32,270円の縮小 購入の場合は年間11日（11施業地）以上の同規模作業が必要（減価償却が難しい）	p116～118
総合評価	△	安全性、労働生産性、コスト縮減に効果があったが、 作業工程、施工性が低調	

4-6 今後の展望

（1）ドローンの導入・実施方法

① 導入

ドローンによる架線のリードロープ引き回し（架設）作業を実施するには、運搬用ドローンを導入することが原則となる。導入にはドローンを独自購入、共同購入、専門業者に作業委託、レンタルといった4方法となる。

運搬用ドローンは撮影用ドローンと比較して機体が大型で高価である。また撮影用ドローンよりも高い操縦技術も必要であるため、導入・実施にあたっては、それぞれの導入方法別の特長と課題・検討事項をよく考慮して検討する必要がある（表4-11）。

第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

近年、電線等の架設にもドローンが活用されている。また本実証事例と同様な架設実験等（例：徳島県「林業架線におけるドローンを活用したリードロープ架設実験」<https://nakadrone.com>）も行われてきているため、導入にあたっては多くの事例・情報を収集して検討することが望ましい。

表4-11 ドローン導入における特徴と課題・検討事項（林業事業者側の視点）

方法	特長	課題・検討事項
独自購入	<ul style="list-style-type: none"> ✖ 自由に使える ✖ ドローンを活用する索張り現場が多い場合は、委託するよりもトータルコストを抑制できる ✖ 架設以外に苗木運搬や資材運搬する複合型運用が可能な場合は有利 	<ul style="list-style-type: none"> Ⓜ 適正な機種選定 Ⓜ 機体本体やバッテリーなどの導入経費のほか、保険料等の管理費、消耗部品費、維持修理費等がかかる Ⓜ 機材の保守点検（安全管理等）が必要 Ⓜ オペレータ（ドローン操縦技術者）の育成が必要（二等無人航空機操縦士は必須） Ⓜ 架設だけでなく苗木運搬等の複合型運用が必要
共同購入	<ul style="list-style-type: none"> ✖ 複数または地域事業者による共同購入で、必要な時に使える ✖ 導入コスト・維持管理コストを抑制できる ✖ 架設以外に苗木運搬や資材運搬する複合型運用が可能な場合は有利 	<ul style="list-style-type: none"> Ⓜ 固定資産・減価償却負担者の明確化 Ⓜ 導入経費、保険料等の管理費、消耗部品費、維持修理費等の分担 Ⓜ 保管先・機材の保守点検（安全管理等）の役割分担 Ⓜ オペレータ（ドローン操縦技術者）の育成が必要（二等無人航空機操縦士は必須） Ⓜ 架設だけでなく苗木運搬等の複合型運用が必要
委託	<ul style="list-style-type: none"> ✖ 導入コストや維持管理コストが抑制できる ✖ オペレータ（ドローン操縦技術者）の育成が必要ない ✖ ドローンを活用する索張り現場が少ない場合や単発的な事業の場合はコストを抑制できる 	<ul style="list-style-type: none"> Ⓜ 地域に委託できる会社があるか Ⓜ 委託業者との事前調整や現地での事前説明が必要 Ⓜ 業者の繁忙期にあたると日程調整が難しくなる Ⓜ 作業当日の天候が悪い場合、実施が延期となり委託費が追加になる可能性がある
レンタル	<ul style="list-style-type: none"> ✖ 初期コストや維持管理コストが抑制できる 	<ul style="list-style-type: none"> Ⓜ 地域にレンタル機があるか Ⓜ 適正な機種選定 Ⓜ オペレータ（ドローン操縦技術者）の育成が必要

② 適正な機種選定

ドローンを購入する場合は、適正な運搬用ドローンの機種選定をする必要がある。レンタルする場合は、事業地にあった機種を選定することと、ドローン操縦技術者が使いやすい機種を選定する必要がある。

林業分野では既に苗木運搬ドローン活用で林野庁「造林のためのドローン活用事例集～低コストで省力的な再生林を目指す～（令和3年3月）」、「ドローンを活用した苗木等運搬マニュアル 機種選定から操縦・運用まで（令和4年3月）」などによって事例が紹介され使用したドローンも記載されている。これらの事例を参考としつつ、運搬用ドローンも日進月歩で進化しているため、最新の情報を収集して機種を選定することが望ましい。

(2) 作業工程と歩掛

ドローンによる架線のリードロープ引き回し（架設）作業の汎用性が高まり、歩掛（ある作業を1単位行うのに、どれくらいの作業員が何時間“何人工”かかるかを数値化したもの）とするならば図4-20の工程が想定される。

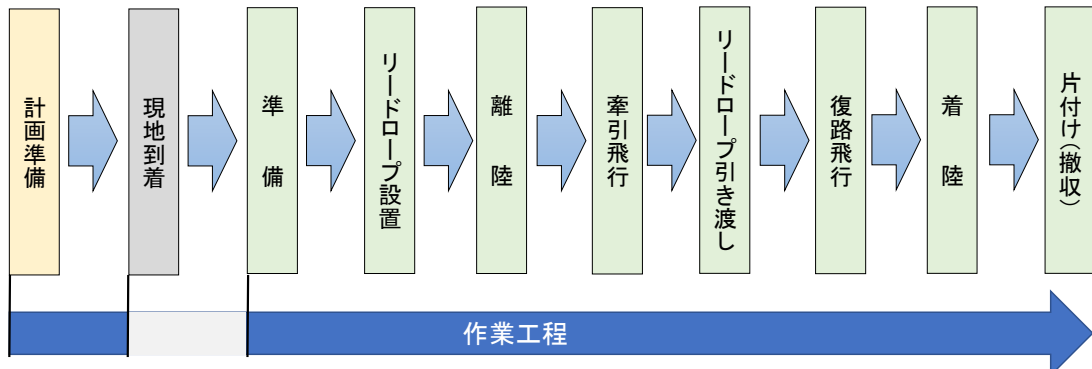


図4-20 想定されるドローンによる架線のリードロープ引き回し（架設）作業工程

① 計画準備

既に公共事業における UAV（ドローン）写真点群測量や UAV レーザ測量は歩掛^{※4.2}として示されている。これらの歩掛の単位は 100ha を基準としているためリードロープ引き回し（架設）作業の単位（距離：m）とは異なり、計測と運搬との作業内容も異なる。

しかし、本実証事例で明らかとなった「実施する前の事前調整、準備及び飛行時の判断が非常に重要である」ことから、図4-20に示す「計画準備」については作業工程に含めるべきである。「計画準備」に UAV（ドローン）写真点群測量では 1.3 人工、UAV レーザ測量では 3.1 人工となっており、作業面積に関わらず 1 業務として計上されている。

リードロープ引き回し（架設）作業においても地形情報取得、飛行経路の特定等の計画準備の時間と費用も想定して実施することが必要である。

※4.2 「令和7年度治山林道必携 調査・測量・設計編」 UAV 写真点群測量 p273-274、UAV レーザ測量 p277-278

② 飛行時の人員編成

公共事業における UAV（ドローン）写真点群測量の飛行作業は「UAV による空中撮影」とされ 3 人編成で 6.1 人工、UAV レーザ測量では「UAV レーザ観測」とされ 3 人編成で 8.0 人工とされている。

リードロープ引き回し（架設）作業の人員編成は、立地条件によって目視飛行が可能で監視者が不要となる場合もあるがマスターとスレーブ操縦者 2 名と監視者 1 名の 3 名またはリードロープ引き出し補助の 1 名、リードロープ受取者 1 名の計 5 人編成が必要と考えられる。

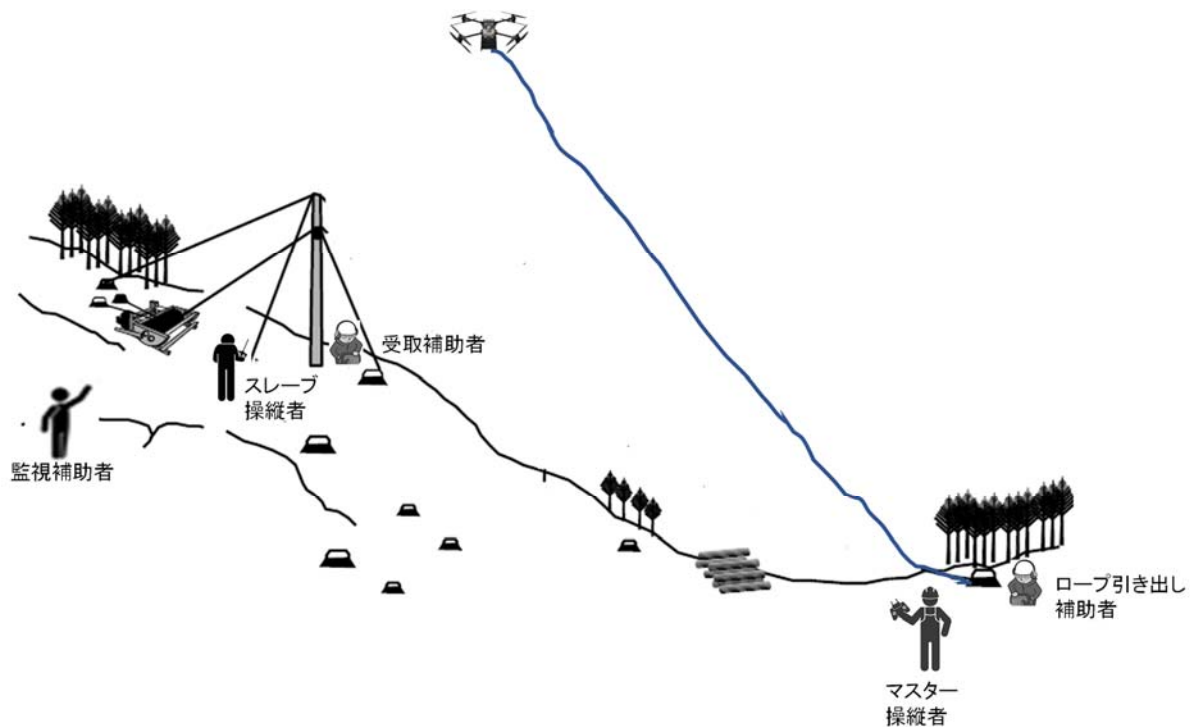


図 4-21 架線リードロープ引き回し作業の人員編成

(3) 今後の展望

本実証事例のドローンによる架線のリードロープ引き回し（架設）には課題や検討すべき事項が多い。

しかしながら初めての挑戦であり、回数を重ねることで、効率的な索張りに寄与する手法となることを期待したい。

