

## 傾斜地用簡易ドローンポートの開発および

### これを用いた架設器具の撤収に係る工程調査結果

川元 裕\*・田戸 裕之\*\*・有國 秀頼\*\*\*・福本 太一\*\*\*\*

Removal of Scaffolding Equipment on Sloping Terrain Using Simple Drone Port

KAWAMOTO Yutaka, TADO Hiroyuki, ARIKUNI Hideyori and FUKUMOTO Taichi

Abstract: This study investigated the use of drones for transporting installation equipment used in cable yarding. To create a temporary flat area in the forest where a drone can take off and land when installation equipment is removed, a drone port with a simple, sturdy structure, lightweight, and easy to handle was developed. We showed that the drone could replace and transport almost all installation equipment. Therefore, this study demonstrated that the drone can be used to effectively transport installation equipment, thereby significantly improving work efficiency and reducing workload.

Keywords: drone, transportation, cable yarding, workload

キーワード: ドローン、運搬、架線集材、作業負荷

## 緒言

架線集材は、林業における木材の搬出方法の一つで、山中にワイヤロープを張り、そのロープを使って伐採した木材を運び出す技術である。林道等の開設が困難で重機が入れないような急斜面や複雑な地形でも効率的に搬出できるため、森林への影響を最小限に抑えることができる。

しかし、架設作業は、土場付近を除き基本的に人力に依存し、急峻な地形での作業、重量物の取り扱い、高所作業など作業者にとって危険な重労働であることから、山口県農林総合技術センターは架設器具の運搬の人力依存度を低減することを目的として、2024年～2025年にドローン運搬へ転換する方法をドローンによる測量、運搬等を事業展開している株式会社キン

シュウおよび架線集材主体の林業事業体であるスオウ架線株式会社と共同研究した<sup>注1)</sup>。

ドローンを用いた荷揚げは2020年あたりから実証研究の成果を目にするようになったが、これは主な運搬物資が苗木やシカ柵といった「森林に設置する資材」であるため、ドローン運搬が平地（土場、作業道等）から傾斜地への言わば「一方通行」であった（林野庁, 2023、新井・立崎, 2021）。一方、本研究で取り上げる架線集材は、使用した資器材を撤収して再利用するため、「ドローンで持ち帰る」という新たな発想が生まれた。そのようなドローンの活用事例は見当たらないが、その理由として、「ドローンは平坦地（離着陸場所）がないと使えない」という弱点を抱えていることと考へ、本研究では「傾斜地に平坦地をつくる」を核心課題として取り組んだ。

\*現 下関農林事務所 \*\*現 森林企画課 \*\*\*株式会社キンシュウ  
\*\*\*\*スオウ架線株式会社

その結果、簡易な傾斜地用ドローンポート（以下、「ドローンポート」とする。）を開発<sup>注2)</sup>するとともに、工程調査を実施し、その効果を明らかにしたので報告する。

本研究の動機と実行に多くの示唆を与えてくれた架線系集材事業者およびドローン事業者の方々にお礼申し上げます。

注1) ドローンによる運搬については、「国土交通省 ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン ver. 4.0」を参考にした。

注2) 特許登録「可搬式ドローンポート及び可搬式連結ドローンポートの運搬方法」、登録日；2025年9月10日、特許番号 第7742065号

## 材料および方法

### 1 ドローンポートの開発

#### 1) 本体の規格・構造

ドローンはペイロード<sup>注3)</sup> 25 kgを使用した（第1図）。

ドローンポートは、天板1枚の大きさを1,800 mm×900 mm×50 mmとし、展開時はこれを蝶番で2枚をつないで、1,800 mm×1,800 mm×50 mmの広さの離着陸場所を想定した。各天板は4本（計8本）の直径30 mmの支柱で支える簡易な構造とし、天板は軽量かつ強固であること、さらに、総重量は25 kg以内であることとした（第2図）。

注3) ドローンが安全に運ぶことができる荷物や機材の最大重量

#### 2) 対応傾斜度



第1図 使用ドローン（mazex 森飛 morito25）

おおむね30度以下を想定した。その理由は結果および考察の項で述べる。

### 3) 組立難易度

現場で容易に組み立てられるように、天板に支柱を通し、簡易な工具で支柱を固定する単純な構造とした（第3図）。

### 4) 荷掛け方法

元柱・先柱（後述）にはドローンポートを設置し、運搬物資の荷掛けの際にはドローンを着陸させた上で行った（第4図）。

これは飛行中のドローン直下での作業が原則禁止されていることに加え、ドローンの不意の墜落等から作業者の安全を確保した上で荷掛け作業をするためであり、傾斜地用ドローンポート開発の重要なポイントであった。

### 2 ドローンポートの実証試験

#### 1) 林地条件（第5、6、7図）

山口市の皆伐跡地で実施した。当該エリアの斜面傾斜は平均で30～40度程度である。ここでは架線集材時に元柱・先柱とした立木付近をそれぞれ元柱（第5図のA、第6図）・先柱（同B、第7図）、原木の集積をした付近を土場（同C、第8図）と記す。

第5図において、実線はドローンの飛行コース、破線はドローンの迂回コース、点線および長二点鎖線は人の歩行コースである。また、実線で囲んだエリアは伐採跡地である。

土場（C）は、谷底付近に開設された林道の起点に当たり、一帯では唯一の平坦地であるため、山土場と



第2図 簡易ドローンポート\*外観

注) 支柱で天板が平坦になるよう調整  
画像は実証試験と別箇所撮影



第3図 容易な組み立て

注) 天板に挿した支柱を金具で締める



第4図 安全な荷掛け

注) ドローンを着陸させて荷掛けする



【実証型】 ← →					
場所	経由	水平距離 m	高低差 m	平均傾斜 度	備考
C - A	直線	65	45	35	伐跡
C - B	直線	225	60	15	尾根越え
C - B	沢迂回	245	60	14	沢筋沿い

【従来型】 ← →					
場所	経由	水平距離 m	高低差 m	平均傾斜 度	備考
C - A	直線	65	45	35	急傾斜・残渣
	尾根迂回	110		22	造林地境界
C - B	直線	225	60	15	急傾斜・残渣
	作業道迂回	830	90	6	橋流失

第5図 位置図

注) 元柱 (A)、先柱 (B) に残置した架設器具を土場 (C) に運搬 実証型の場合は直線的なルートだが、C-B (直線) の中間に尾根があるため、風速等を考慮し沢筋を迂回したこともあった (破線) 従来型は、C-A間は被験者の歩行のし易さを考慮し、尾根沿いの歩道を、C-B間は尾根の東端が急傾斜の岩石地で重量物を背負った下り歩行は危険と判断し、安全な迂回ルートである森林作業道 (長二点鎖線) と歩道 (点線) を使用 なお、森林作業道はC付近の橋が流失し、車両は通行できない

して使用された。ここを起点として北方に林道、西方に森林作業道が伸びている。

元柱(A)・先柱(B)は皆伐実施後約1年が経過して0.5 m程度のかん木が立ち、直径数十cmの切株が散在し、先柱付近では隣接地からモウソウチクが侵入していた。かん木はドローンポートの設置にはほとんど影響はないが、スムーズな荷掛け作業の支障となるため、あらかじめ鉋で大まかに刈り払った。竹はドローン飛行の支障となるため、ドローンポート設置予定地およびドローン進路上のものは全て手鋸で除去した。これらのエリアの中から、局地的に比較的傾斜が緩い20~25度程度の場所にドローンポートを設置した。

## 2) 気象条件

工程調査を実施した2025年2月13日の現地の天候は曇り時々雪。林地には5 cm程度の積雪があり、気温は2℃前後、地上の風速は2~3 m/s程度だが、ドローンが飛行した上空100 mは5~6 m/s程度あった

と推測された(第9図)。

## 3) 運搬コース

試験では主索等の撤収時に元柱(A)・先柱(B)に残置した滑車及びワイヤを土場(C)まで運搬した(第5図)。

運搬コースは元柱・土場(A・C)間と先柱・土場(B・C)間の2コースとし、ドローンで物資を吊って運搬する実証型試験と人が物資を担いで運搬する従来型試験を実施した(第5, 10, 11図)。

A・C間は、水平距離65 m、高低差45 m、平均傾斜35度の起伏が少なく見通しのよい伐採跡地である。ドローンは直線状に飛行(第5図:実線)できるが、人は隣接する植栽地との境界線を辿った(同:点線)。

B・C間は水平距離225 m、高低差60 m、平均傾斜15度で、その中間に西から尾根が張り出しているなど、岩石地で地形が複雑である。ドローンの飛行コースは尾根を飛び越えて直線状(同:実線)とするか、



第6図 ドローンポート設置場所(元柱)  
注) 元柱から先柱(画像中央)と土場(同右下)を望む



第7図 ドローンポート設置場所(先柱)  
注) 先柱から元柱(画像中央)を望む(土場は尾根の陰となって望めない)



第8図 土場  
注) 平地にコンパネを敷いて離着陸場所とした



第9図 実証当日の現場状況(風・雪)  
注) 風が強く、断続的に降雪あり

谷筋に沿って迂回（同：破線）する二つのコースの選択を、風の影響を考慮して、その局面におけるオペレータの判断に委ねた。一方、人の歩行は、重量物の運搬のため安全を考慮して、Cから西へ延びる森林作業道を使い、大きく迂回するコース（同：点線および長二点鎖線）とした。なお、このコースの距離の3割程度は、踏み跡による道又は獣道である。

#### 4) 被験者・実施体制

実証型試験（以下「実証型」とする。）では、土場と元柱・先柱にそれぞれドローン操縦者を配置し、2人のオペレータによるドローン操作とともに補助者が付き、計4人体制で実施した（第1表）。なお、オペレータおよび補助者は、実証試験に使用したドローンを保有、共同研究を行った企業のドローン操縦や一連の運搬作業に精通した職員が担当した。

従来型試験（以下「従来型」とする。）では、元柱・先柱で操縦を担当したオペレータが荷物を入れた籠を担いで土場まで下山した。

試験は、①A⇒C（実証型）、②A⇒C（従来型）、③B⇒C（実証型）、④B⇒C（従来型）の順に実施した。

#### 5) 使用機材の諸元

試験に使用した主な機材は第2表のとおり。

ドローンは、住友林業株式会社と株式会社 mazex が共同開発した「森飛 morito25」（第1図）を使用した。本機は植栽地での苗木運搬を目的として開発された林業用運搬ドローンである。両社のホームページによると、ペイロードは25 kgで、2オペレーション機構や着陸不要の自動切り離しフック、特許取得の共振防

止装置を搭載したことで作業を効率よく進めることができる。主な運搬物資である滑車が1個当たり20 kg以下であることから、共同研究者が運搬用に購入したものである。

#### 6) 運搬物資

実証型（ドローン運搬）では4種類の滑車計8個とワイヤロープ2巻で合計162.5 kgを9回で、従来型（人肩運搬）では滑車2個とワイヤロープ1巻で合計33 kgを2回で元柱・先柱から荷下げした（第12図）。1回分の重量は使用するドローンのペイロードと先行研究の結果から20 kg前後以下とした（第3表）。

#### 7) 試験の内容

実証型と従来型について、それぞれに要した時間と運搬重量を計測した。なお、土場と元柱・先柱にビデオカメラを設置して作業状況を録画し、要素作業ごとの作業時間を求めた。

実証型は、土場へ25 kg以内に小分けした運搬物資を9往復で合計162.5 kg運搬した。これに先立ってドローンポートをドローンで元柱または先柱へ運搬して設置するとともに、物資運搬終了後はドローンでドローンポートをそのまま吊り上げて撤収し土場へ運搬した。土場と元柱・先柱の間の双方から見通しの良い中間点でドローンの操縦権を相手に渡すため、その間ドローンは滞空した。

なお、ドローンによる運搬時間は、運搬物資の有無にかかわらず土場と元柱・先柱の間の飛行時間を含めた。以降、物資を運搬しない飛行を「空荷」と称する。一方、従来型は、元柱・先柱からそれぞれ1回分（20 kg以内を目安）の物資を背負い、土場までの所要時間



第10図 実証型運搬（ドローン）

注）荷を吊るワイヤの長さは5m



第11図 従来型運搬（人力）の様子

注）籠に荷を入れて運ぶ（画像奥）  
画像手前は記録者

第1表 実証型試験の被験者・実施体制および内容

ドローン所在	工程・作業	土場オペ(1) 補助者(1)	元柱・先柱オペ(1) 補助者(1)
		土場 (C)	荷掛け、バッテリー セット、離陸
元柱 (A)・先柱 (B)	D P 荷揚げ ・設営	実飛行 (D P 運搬 : 2回)	
		運搬準備	荷外し (自動フック)
土場 (C)	荷下げ (繰り返し)	空飛行 (空荷)	
元柱 (A)・先柱 (B)		着陸	D P 設営、荷掛け準備
土場 (C)	D P 撤収	バッテリー交換、離陸 ※1	撤収準備
元柱 (A)・先柱 (B)		空飛行 (空荷)	
土場 (C)	D P 撤収	バッテリー充電	着陸、荷掛け、離陸
元柱 (A)・先柱 (B)		実飛行 (物資運搬)	
土場 (C)	D P 撤収	着陸※1	撤収準備
元柱 (A)・先柱 (B)		バッテリー交換、離陸	
土場 (C)	D P 撤収	空飛行 (空荷)	
元柱 (A)・先柱 (B)		バッテリー充電	着陸、D P 荷掛け、離陸
土場 (C)	D P 撤収	実飛行 (D P 運搬)	
元柱 (A)・先柱 (B)		着陸※	片付け、下山

※1) D P (ドローンポート)

※2) バッテリー残量によっては着陸、バッテリー交換、離陸を省略

※3) 実飛行・空飛行中にオペの操縦権を授受する。

第2表 使用機材の諸元

名称	重量 (kg)	規格 (mm)	備考
傾斜地用簡易ドローンポート	25	1,800×1,800 ×50	規格は展開時、重量は支柱等付属品込み
林業用運搬ドローン森飛morito25	18	1,985×1,985 ×650	付属装置含む <a href="https://sfc.jp/treecycle/value/drone.html">https://sfc.jp/treecycle/value/drone.html</a> <a href="https://mazex.jp/product/2030">https://mazex.jp/product/2030</a>



第12図 運搬物資 (荷下げ後)

注) 人肩運搬は除く

第3表 運搬物資と運搬回数

名称	名称	個数	回数	1回当たり重量		備考
				計	kg	
ドローン運搬 (実証型)	滑車	3	3	17.5	52.5	
		1	1	15.5	15.5	
		2	2	18.0	36.0	
		2	1	20.5	20.5	2個一纏め・個別重量不明
	ワイヤ	2	2	19.0	38.0	
	計	10	9		162.5	
人肩運搬 (従来型)	滑車	1	1	13.0	13.0	
	滑車+ワイヤ	2	1	20.0	20.0	2個一纏め・個別重量不明
	計	3	2		33.0	

※ ドローンポートは含まない。

を計測した。

## 結果および考察

### 1 ドローンポートの開発

#### 1) 本体の規格・構造等

ドローンポートの総重量は、想定するドローンのペイロード未満で、かつ、傾斜・凹凸・切株など、条件の異なる森林での使用を考え、次の条件を満たす仕様とした。

天板は、軽量で丈夫なハニカム構造の特殊素材をアルミ板で挟み、これを2枚蝶番で繋ぎ、カーボン樹脂製補強器具で固定することで、総重量は21 kgとなった。

支柱は長さが1,310 mm・1,000 mm・310 mmの3種類各4本を用意し、カーボン樹脂製とすることで、総重量は4 kgとなった。したがって、ドローンポートの

総重量はペイロード以内の25 kgとなった。

これらの根拠は、ドローンの離着陸のほかに、ドローンが故障等した場合に点検できるように一人が乗って安全に作業できる強度を有し、かつ、作業の最終段階でドローンポートをドローンで直接吊って荷下げすることを想定したためである。

#### 2) 対応傾斜度

想定した傾斜度の根拠は著者の経験則であるが、林地の傾斜は一定でなく、凹凸や緩急があり、局地的にたいてい30度以下の場所が見つかるとともに、それ以上は支柱が長くなり設置時の不安定さが増すと考えたからである。実際、人工林は急傾斜地（地域森林計画でいう30度以上）に造成されることは少なく、山口県の地域森林計画樹立データを集計したところ、平均傾斜度30度を超える人工林は8%しかない（第4表）。

#### 3) 組立・収納

天板2枚を蝶番でつなぎ、使用時は展開して支柱を

第4表 山口県の地域別平均傾斜度別人工林面積とその割合 (ha、%)

地域	0 - 15度		15 - 30度		30度以上		総計	
	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合
岩国	200	1	7,331	35	13,146	64	20,676	100
柳井	1,184	10	10,331	86	452	4	11,967	100
周南	7,948	29	19,314	71	0	0	27,262	100
山口	4,781	14	30,552	86	37	0	35,370	100
美祢	4,947	23	16,585	77	0	0	21,532	100
下関	8,529	50	8,484	50	0	0	17,013	100
長門	5,491	43	7,172	57	0	0	12,663	100
萩	2,757	12	20,511	86	686	3	23,953	100
全県	35,836	21	120,278	71	14,321	8	170,435	100

注) 地域森林計画樹立データの“林種1～6”“人工林”の面積を平均傾斜度別に集計

通し、収納時は折りたたむつくりとした。支柱を通して固定する際に使用する工具はドライバ 1 本とした。意図は、なるべく工具の持ち運びを避けることと足場が悪い場所でも組み立てを容易にするためである。加えて、現場まで軽トラックや軽バンでも輸送可能なサイズであることも重要な規格として考慮した(第 13 図)。

## 2 ドローンポートの実証試験

### 1) 総作業時間

実証型の運搬物質と運搬回数は第 3 表のとおり、9 回の空輸を行った。その状況を土場において撮影したビデオカメラ動画から作業工程ごとの時間を計測し、総観測時間のうちタイムロスを除く 112.2 分を対象



第 13 図 簡易ドローンポート (折り畳み時)

注) 現場まではこの状態で運搬する  
画像は実証試験とは別箇所のもの

(=総作業時間) として以下の分析を行った(第 14 図)。

### 2) 要素作業別の時間

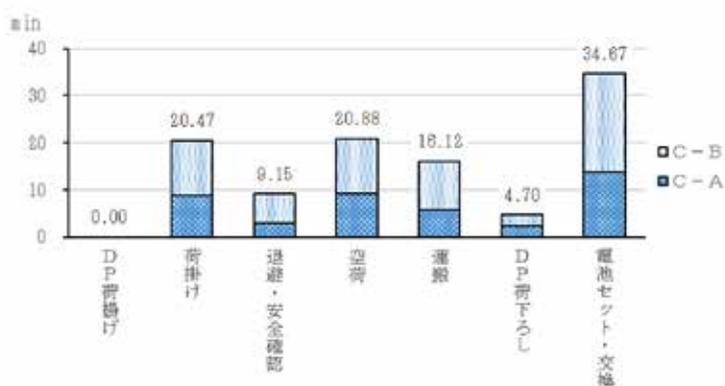
#### (1) ドローン運搬

通常の飛行(運搬+空荷、ドローンポート運搬を含まない。)に要する時間が最も多く、全体の 33%を占めた。次に、バッテリーのセット・交換に要する時間が 31%と飛行時間と同等に多く、ドローンポートの荷揚げ・荷下げは 10%であった(第 15 図)。なお、ドローンポートの設置や荷掛け準備は元柱・先柱の作業者 2 名が待機時間に行うためこの中に含まない。

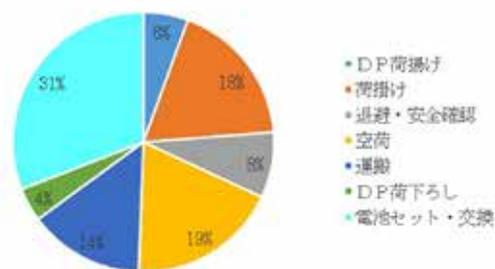
本研究は労働安全や負荷軽減を主眼とするため、作業効率の向上への取組は今後の研究に委ねる。しかし、それ故にあえて言及すると、今後、飛行や荷掛けの時間は修練によりさらに短縮する余地があるが、飛行回数は多くないため、作業全体に大きな影響は及ぼさないと考えられることから、安全面を重視して安易な作業省略は避けるべきである。

#### (2) 元柱・先柱作業員の状況

元柱・先柱のオペレータおよび補助者は、ドローンの操縦権を受けてから着陸・荷掛・退避・離陸を経て操縦権を譲るまでが主な作業で、次の作業までの待機時間が 50%を占めた(第 16 図)。彼らはこの間をじっと待つのではなく、次の荷掛の準備(物資の小運搬、重量計測等)を行った。なお、本パートのみ、元柱・先柱における総作業時間数で分析しており、土場での観測値とは総作業時間が異なる(第 17 図)。



第 14 図 土場におけるオペレータおよび補助員の作業内容と時間  
注) DP: ドローンポート



第 15 図 運搬作業時間の要素作業別の割合

### 3) ドローンポート組立時間

元柱・先柱へドローンポートを運搬後、オペレータと補助者による組立時間を計測した結果、平均で 8.7 分であった (第 5 表)。天板を足場の良い平坦地 (土場) であらかじめ展開して荷揚げしたため、想定より早かった。また、2 回目 (B) は 1 回目 (A) と比較して 2 分以上短縮しており、慣れによって作業時間はさらに短縮されると考えられる。

### 4) 実証型と従来型の運搬効率の比較

計測結果を基に、運搬速度のほか 1 往復当たりの平均運搬重量、同平均運搬時間、1 日当たりの運搬重量、1 人当たりの運搬重量、単位重量当たりの運搬時間について試算した (第 6 表)。

実証型では、第 3 表に挙げた物資およびドローンポートの併せて 262.5 kg を運搬した。運搬にかかった総距離 (往復) は 4,830m (1 回当たり加重平均で 322 m) であり、15 回飛行した。その内訳は、物資運搬 9 回のほか、空荷 (荷揚げ後に土場に戻る、荷下げ後に元柱・先柱へ戻る) やドローンポートの荷揚げ 2 回およびその荷下げ 1 回の飛行を含む。荷掛けを含む運搬時間は 112.2 分であった。なお、ドローンポートの

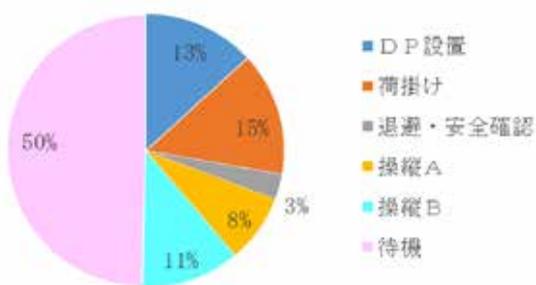
荷揚げに 2 回を要する理由は、元柱・先柱で荷外ししやすいように、天板と支柱等を別々に運搬したためである。

従来型では、第 3 表に挙げた物資およびドローンポートを併せて 33.0 kg を運搬した。運搬にかかった総距離 (往復) は 1,880 m (1 回当たり加重平均で 940 m) を一人で運搬した。運搬時間は土場から元柱・先柱へ向かう際の空荷の歩行時間を含め 58.9 分であった。荷物を背負っても下りのほうが短時間で移動できた (第 6、7 表)。

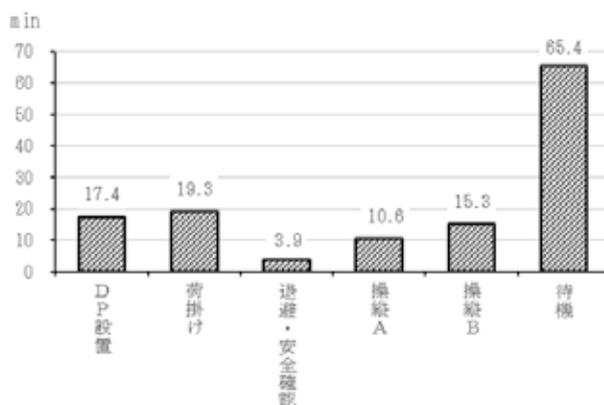
試算の結果、ドローンの能力の観点で見ると、運搬速度 (m/分) は人力の 1.4 倍、1 往復当たり運搬重量 (kg/回) は従来型 (人肩) とほぼ同等であった。

しかし、1 往復当たり運搬時間 (分/回) および単位重量当たり運搬時間 (分/kg) では従来型 (人肩) の 1/4 倍と作業効率は格段に向上した。

ドローンの運搬速度は飛行時間だけでなく、その準備作業等も含むため、飛行速度の割に時間を必要とするが、それでも格段に早く作業を済ませることが明らかとなった。このことは、荷揚げを実証した先行研究の結果 (石川・糸魚川, 2021, 山口県森林組合連合会、



第 16 図 元柱・先柱作業時間の要素作業別の割合



第 17 図 元柱・先柱作業時間の要素作業別の時間

注) 元柱・先柱におけるオペレータおよび補助員の作業内容と合計時間 DP: ドローンポート

第 5 表 ドローンポート組立時間 (二人体制)

区分		元柱	先柱	平均	差引 (A-B)	備考
		A (時:分:秒)	B (時:分:秒)	(時:分:秒)	(時:分:秒)	
組立開始時刻	a	10:50:21	12:30:41			天板は展開済みから組立開始
組立完了時刻	b	11:00:13	12:38:10			〃
差引	b-a	0:09:52	0:07:29	0:08:40	0:02:23	

注) 元柱・先柱の 2 地点において、オペレータと補助者の二人一組でドローンポートを組み立てた

第6表 実証型と従来型の運搬効率の比較

計測・算出項目	単位	運搬方式		比 ①/②	
		実証型 (ドローン)	従来型 (人肩)		
平均運搬距離 (往復・加重平均)	a	m	322.0	940.0	0.34
総重量 (DP・支柱込み)	b	kg	262.5	33.0	7.95
回数	c	回	15.0	2.0	7.50
(うちDP除く)		回	9.0	2.0	4.50
運搬 (移動) 時間 (荷掛け等を含む：往復)	d	分	112.2	58.9	1.91
時間 (飛行のみ：往復)	e	分	47.9	58.9	0.81
総距離 (往復)	f	m	4,830.0	1,880.0	2.57
作業人員数	g	人	4.0	1.0	4.00
速度 運搬速度	$h=f/d$	m/分	43.0	31.9	1.35
飛行速度 (上昇・下降・滞空時間を含む)	$i=f/e$	m/分	100.8	31.9	3.16
1往復当たりの平均運搬重量	$j=b/c$	kg/回	17.5	16.5	1.06
1往復当たりの平均運搬時間	$k=d/c$	分/回	7.5	29.4	0.25
1日当たりの運搬重量	$l=8*60*b/g$	kg/日	1,122.8	269.1	4.17
1人日当たりの運搬重量	$m=l/g$	kg/人日	280.7	269.1	1.04
単位重量当たりの運搬時間	$n=d/b$	分/kg	0.4	1.8	0.24

第7表 従来型運搬時間の計測結果

移動	出発時刻	到着時刻	時間	運搬物資	運搬重量 (kg)
C⇒A	10:25:05	10:34:13	0:09:08		
A⇒C	11:37:31	11:44:34	0:07:03	滑車	13.0
C⇒B	11:51:14	12:16:45	0:25:31		
B⇒C	13:38:38	13:55:48	0:17:10	滑車+ワイヤ	20.0
計			0:58:52	滑車+ワイヤ	

注) 移動行程は第5図を参照

2022)とも符合し、荷下げも同等の結果を得ることができた。

また、1日当たりの運搬重量は従来型(人肩)の4.2倍となった。従来型(人肩)では荷を背負っても山を上るよりも下るほうが短時間で済んだが、これは試験が1回だけであったからである。歩行、特に下りは回数を重ねるごとに疲労による作業能率の低下や転倒等による負傷リスクが高まるため、1日の運搬回数・重量は限られることから、作業負荷の観点からもドローン運搬のメリットは大きいと考える。

##### 5) 実証型と従来型の作業コストの比較

使用したドローンおよび関連費用等から単位時間当たりのコストシミュレーションを行い、実証型と従来型のコストを比較した(第8表)。

実証型の場合、費用の因子は、機械経費、人件費とした。ドローン運搬の日数は、共同研究事業者における年間使用想定日数とした。これには架線集材のほか、苗木運搬等架線集材以外での使用も含めた。運搬は実際の作業時間が丸1日を要するか否かにかかわらず、1現場1日とした。機械経費は、本機購入費、ドローン講習費用(2人分)および保険料(機体+賠償責任)とし、1年当たりの減価償却費を算出した。本機購入費は試験実施時の定価(メーカーホームページ掲載)とし、保険料は共同研究者からの提供値(概算)を採用した。ドローン講習費用は導入初期にのみ必要な経費であるため、ここでは本機と同様の扱いとした。本ドローンポート導入費、バッテリー(買替え)および電気代(発電機+燃料)、オペレータ・補助員の移動

費等も想定されるが、ここでは考慮しなかった。人件費は実施体制（2 オペレータ+2 補助員）4 人分の日当を計上した。

従来型の場合、1 回当たりの運搬重量がドローンと同等であったことから、実証型と従来型の合計運搬回数に要する人員数を計上した。これには1 人1 日4 往復を想定したが、その理由は重量物を背負っての歩行は身体への負荷が大きく、疲労の蓄積が転倒等のリスクを増大させていくことから、著者の経験<sup>注4)</sup>上の想定値とした。

以上の条件でシミュレーションした結果、1 日（1 回）当たり費用は実証型 151 千円に対し、従来型は 36

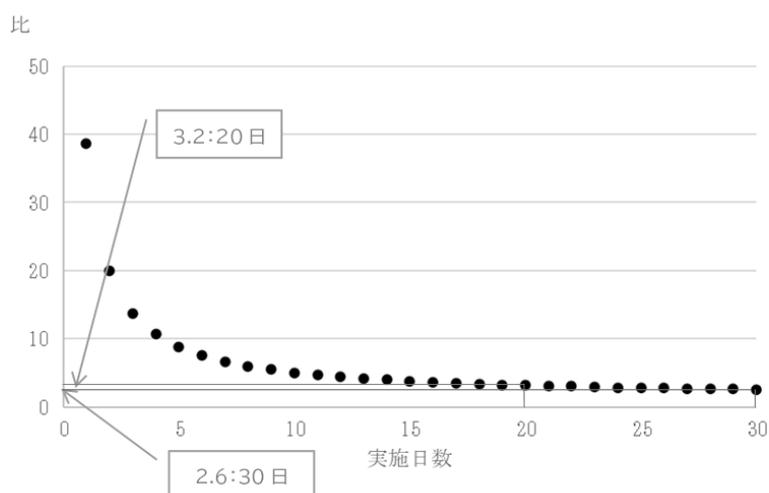
千円と、4.2 倍の差がついた。最大の要因はドローンの導入費用が大きいためである。なお、実証型と同様の運搬作業を他事業者に業務委託する場合、これに諸経費やオペレータ等の移動費も発生するため、少なくとも 300 千円以上が見込まれ、ドローン運搬の実用化に向けた最初の壁となる。

これは実施日数（回数）を増やすことで軽減することが理論上可能であるが、仮に実施日数（回数）が 20 日で 3.2 倍、30 日で 2.6 倍と、むやみに実施日数（回数）を増やしても効果はすぐに頭打ちになることがわかる（第 18 図）。また、本業の事業量を急激に伸ばすことは人的資源の観点から現実には困難である。ま

第 8 表 運搬作業コストシミュレーション

事項	単位	運搬方式		比	
		実証型（ドローン）	従来型（人肩）		
		①	②	①/②	
1 日当たり費用	$o=v/(y+z)+w*x$	円/日	151,333	36,000	4.20
単位時間当たり費用	$p=o/8/60$	円/分	315	75	
シミュレーション因子					
ドローン 本機購入費（税抜）	q	円/台	2,630,000	-	非開示
初期費用 初期ドローン講習費用（2人分）	r	円/人		-	
費用計	$s=q+r$	円/日		-	
ドローン 1年当たり減価償却費（3年）	$t=s/3$	円/年		-	非開示
年間費用 保険料（税込：機体+賠償責任）	u	円/年		-	
費用計	$v=t+u$	円/日		-	
オペレータ日当	w	円/人日	非開示		
作業員数（ドローン：2機 <sup>注</sup> +補助員、人力：4往復/日）	x	人/日	4	3	
年間ドローン運搬実施日数（架線集材での使用日数）	y	日/年	10	-	
年間ドローン運搬実施日数（架線集材以外での使用日数）	z	日/年	3	-	

注) 企業秘密の部分は非開示としている



第 18 図 実証型／従来型の実施日数ごとのコスト比

注) 1 日（回）当たり費用の実証型／従来型の比を日数ごとに計算した

ずは、他の林業事業者の苗木運搬や土木建設事業者の資器材運搬等を受注して別途事業収入を得ることで、ある程度収支の改善を図ることができる。

なお、共同研究者の一人が運搬用ドローンを導入した目的は、将来に向けた投資として、過酷な架線集材作業員の負荷軽減や新規就業希望者の関心を引くことを主眼としており、直近のコスト・パフォーマンスの重要度はあまり高くない。ドローンに限らず林業の機械化推進のネックは高額な機械経費の償却であるが、筆者は、このようにコストだけにとらわれず、作業負荷の軽減効果を重視し、コストは別の方策で賄うという考え方が、就業者確保の観点から今後は必要だと考える。

注4) 一日中重労働をするのではなく、合間に軽作業を混ぜ、単位時間当たりの負荷を抑えながら全体の作業を進める方法

## 6) 作業負荷について

20 kg/回もの器具を背負って急勾配の山道を何往復も運搬することは、屈強な架線集材作業員であっても、その身体に大きな負担をかけている。これをドローン運搬に置き換えることにより身体的負荷が軽減されることは自明であるため、このたびの実証では心拍数等のデータは取らなかった。

しかし、従来の作業効率とコストによる比較だけでは、コストを重視した場合に作業負荷が相対的に軽減され、結果として機械化が進まず、労働生産性の向上を妨げる結果を招くこととなる。実際、コスト面だけで見るとドローンよりも人力がはるかに優位であることから、作業負荷にかかる定量的評価が今後の課題である

## 摘 要

筆者らは、架線集材に使用する架設器具の運搬方法としてドローンの採用を検討した。架設器具の撤収の際には山林内にドローンが離着陸する平坦地を仮設する必要があることから、簡易で丈夫な構造で、軽量かつ取り扱いが容易なドローンポートを開発するとともに、架設器具の運搬のほぼすべてをドローンに置き換えることができるドローン運搬システムを考案し、実証した。その結果、ドローンによる架設器具の運搬は、作業効率の大幅な向上と作業負荷の軽減に向けて大きな効果を発揮することが明らかとなった。

## 引用文献

- 新井一司・立崎祥子. 2021. 東京都森林組合における運搬用ドローンの活用 : 東京都多摩地域の急傾斜地におけるドローンによるシカ柵資材の運搬. 森林技術. 945 : p24-27.
- 石川智代・糸魚川学. 2021. ドローンによる単木獣害防護柵用資材の運搬の試み. 森利誌. 36 : p27-30.
- 国土交通省. 2023. ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン ver.4.0.  
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001601194.pdf> (2025年8月14日現在)
- 林野庁. 2023. ドローンを活用した苗木等運搬マニュアル. pp105.  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/houkokusho/attach/pdf/doron-10.pdf> (2025年8月14日現在)
- 山口県. 2022. やまぐち森林情報公開システム.  
[https://forestgis.pref.yamaguchi.lg.jp/shinrintop/index\\_public.html](https://forestgis.pref.yamaguchi.lg.jp/shinrintop/index_public.html) (2025年10月10日現在)
- 山口県森林組合連合会. 2022. 「魅力ある林業経営体」育成対策業務成果報告書. 令和3年度魅力ある林業経営体育成対策事業成果報告書. p28.