

低コスト再造林実証事業 ドローン苗木運搬 実施手順書



目 次

1	はじめに	2
2	ドローン運搬を計画する場合の法令等	3
3	ドローン苗木運搬実証事業の成果について	6
4	ドローン苗木運搬実証地の詳細	7
5	ドローン運搬の効率的な使い方	9
6	ドローン苗木運搬の所要時間早見表	14



ドローン苗木運搬の実証 E 地区
令和4年 11 月 広島県山県郡安芸太田町松原

1 はじめに

広島県では、令和3年3月に策定した「2025 広島県農林水産業アクションプログラム」に基づき、再造林を確実に実施するための技術基盤の整備に取り組んでいます。

この技術基盤の整備に位置付けた「低コスト施業技術の推進」では、これまで取り組んできた低密度植栽や、主伐・再造林一貫作業システム等の普及に加えて、令和3年度から「低コスト再造林実証事業」によるドローン苗木運搬や、自走式下刈機などを利用した施業技術の実証を進めています。本書は、令和3、4年に実施した当事業のうち、ドローン苗木運搬について「実施手順書」としてとりまとめたものです。

昭和30年代から50年代にかけて、盛んに行われた拡大造林期の苗木運搬では人力運搬が中心であり、数キロの上り傾斜のある造林地を何時間もかけて人力で運ぶ事例も珍しくなく、作業者にとっては夏場の下刈り等とともに、労働負荷の高い過酷な作業の一つでした。

今回ドローン運搬を実証したことで、ドローン運搬は、人力運搬に比べて生産性が3.9倍（1.6～5.2倍）に向上することが確認できましたが、この実証によって、作業に係る人件費部分の作業効率だけでなく、人力による重労働からオペレータ操作に作業が変わることで「労働負荷」の部分が大幅に軽減されることが考えられます。

更に今回の実証では、ドローン苗木運搬の効果的な使い方や、運搬距離や苗木の荷姿から、作業の所要時間についても見当づけることが可能であるとわかりました。

つきましては、本書がドローン苗木運搬の導入や利用に活用していただければ幸いです。



図1 低コスト再造林実証事業 ドローン苗木運搬実証地位置図

2 ドローン苗木運搬を計画する場合の法令等

2-1 計画時の留意点

- ・ 地表又は水面から 150m以上の高さの空域でドローンを飛行させる場合には、許可申請の前に空域を管轄する管制機関との調整が必要になります。
- ・ 計画するドローン飛行経路において1人の操縦者（以降、「オペレータ」という。）では見通せない部分ができる場合、オペレータを追加し、いずれかのオペレータが見通しのできる状態でドローンを操縦できる体制をとる必要があります。

2-2 飛行手続きが必要な区域

ドローン苗木運搬を実施する場合で、図2のA～D区域に該当する場合、関係機関に対して許可申請が必要になります（表1）。一方、航空法第132条に定める「飛行禁止空域」に該当せず、航空法第132条の2に定める「飛行の方法」によらない飛行（目視外飛行等）を行わない場合、土地所有者の許可を得れば、特段の飛行手続き等は必要ありません。通常、皆伐地では「飛行禁止区域」に該当せず、見通しも確保できる場合が多いことから、目視内飛行を行うことが通例となっています。なお、今後、航空法などの最新情報に注意する必要があります。

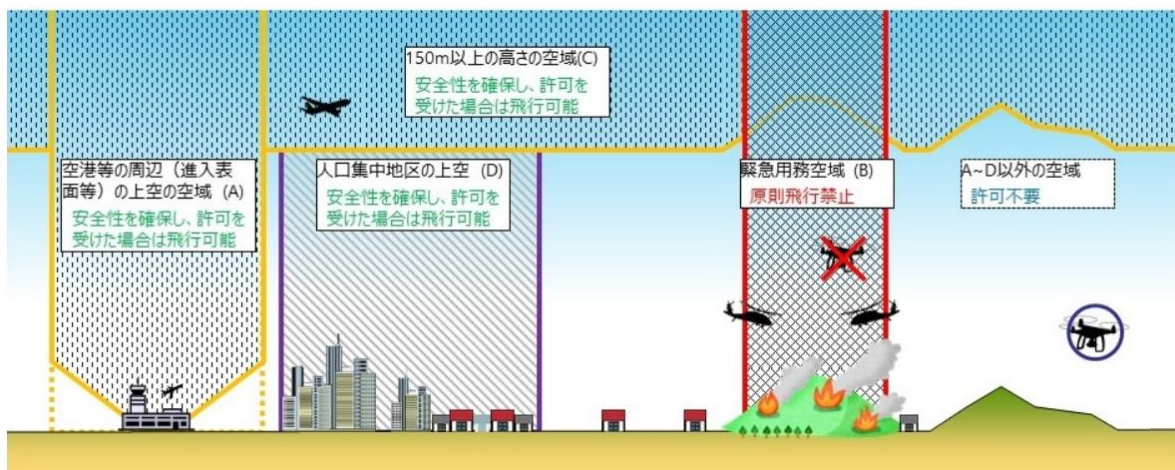


図2 飛行手続きが必要な区域※2

《飛行手続きが必要な区域とは》

A、B、Cの空域：航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域（法132条の85第1項第1号）

Dの空域：人または家屋の密集している地域の上空（法132条の85第1項第2号）

※空港等の周辺、150m以上の空域、人口集中地区（DID）上空の飛行許可（包括許可含む）があっても、緊急用務空域を飛行させることはできません。無人航空機を飛行する前には、飛行させる空域が緊急用務空域に設定されていないことを確認してください。

表 1 飛行許可・承認申請が必要になる場合※1

必要な届出等	確認の方法
・ 航空法第 132 条に定める「飛行禁止空域」及び「緊急用務空域」の飛行では、国土交通省及びその空域を管轄する空港事務所への許可申請が必要	・ 国土交通省 HP「無人航空機の飛行禁止空域と飛行の方法」 (https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000041.html)
・ 航空法第 132 条の2に定める「飛行の方法」によらない飛行として、特に、「目視外飛行」、「(人又は物件から)30m 未満の飛行」、「物件投下」などを行う場合は、国土交通省への承認申請が必要	・ 目視外飛行となる場合は承認申請が必要 ・ 荷下ろし時に物件を地面に接地させてから切り離す場合は「物件投下」にあたらないとされているが、今後の法改正等にも注意する

操縦体制	目視外飛行となる事例
1 オペレーション (1 人操縦体制)	・ 運搬距離が 500m 以上 ・ 飛行経路に尾根や障害物がある場合 ・ 目視内飛行ができる運搬距離の範囲内で見通しの良い荷下ろし地点を確保できない場合
2 オペレーション (2 人操縦体制)	・ 運搬距離が 1,000m 以上 ・ 目視内飛行ができる運搬距離の範囲内で発着地点と荷下ろし地点のオペレータがともに目視できる状態で操縦を切替えられる空域がない場合

※1 林野庁 令和4年(2022)3月「ドローンを活用した苗木等運搬マニュアル」より引用

※2 国土交通省 HP「無人航空機の飛行の許可が必要となる空域」https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000041.htmlより引用

2-3 ドローンを購入した際に必要な手続き ※1

ドローンを購入した際には、ドローン機体の登録などの手続きが必要です。安全にドローンを飛行させるため、「無人航空機(ドローン・ラジコン機等)」の飛行に関する最新情報を確認しましょう。

(1) 無人航空機の機体登録の義務

100g 以上(バッテリーのの重量を含む)の無人航空機の登録が義務付けられています。登録されていない無人航空機を飛行させることはできません。機体購入後、直ちに機体登録の申請をしましょう。登録の手順や最新情報については、「無人航空機登録ポータルサイト」等を確認しましょう。

(2) 登録記号の表示義務とリモート ID の搭載の義務

申請が承認され、登録記号の通知が届いたら、機体に登録記号を直接記載または貼り付けるとともに、登録された情報を発信する機器(リモート ID)を搭載しましょう。3 年ごとの更新登録も忘れずに行いましょう。

搭載免除の条件や最新情報については、「無人航空機登録ポータルサイト」等を確認しましょう。また、リモート ID 内蔵型のドローンも販売されているため、購入時に確認しましょう。

(3) 保険の加入

ドローンを操縦する上で、墜落や衝突などの事故発生リスクは避けられません。万一事故を起こした時に備え、ドローン保険に加入することが望ましいでしょう。

ドローン保険は大きく分けて 2 つあり、墜落などにより他人へ損害を与えてしまったときに支払う損害賠償を補償する「賠償責任保険」と、所有している機体が被る損害に備える「機体保険」などがあります。ドローン保険は、保険内容によって保険料の設定が異なることから、所有する機体の価格や業

務内容等を勘案して保険を選択しましょう。

※1 林野庁 令和5年(2023)3月「ドローンを活用した苗木等運搬マニュアル」より引用

2-4 運搬前日までの準備作業 ※1

事前の準備作業には、次の項目が想定されます。運搬前日までに、次のチェックリストの項目について、現地検討を実施しましょう。

- | | |
|---------------------|-----------------|
| (1) 発着地点の検討 | (6) 機体の準備・点検 |
| (2) 荷下ろし地点の検討 | (7) 荷造り |
| (3) 飛行ルート of 検討 | (8) 気象状況の確認 |
| (4) 作業中の立入り禁止エリアの検討 | (9) 非常時の連絡体制の確認 |
| (5) 飛行手続き | |

※1 林野庁 令和5年(2023)3月「ドローンを活用した苗木等運搬マニュアル」より引用

2-5 機体の管理

ドローンの機体は、飛行前に故障や破損などがないか確認を行い、定期的に専門業者によるメンテナンスなどを受ける必要があります。国土交通省の「無人航空機飛行マニュアル」によれば、「飛行前の点検」として、各機器の取付状況（ゆるみや脱落）、発動機やモーターの異音、機体の損傷やゆがみ、バッテリーの充電量、通信系統・推進系統・電源系統及び自動制御系統の作動状況などの確認、「飛行後の点検」として、ゴミ等の付着、各機器の取付状況（ゆるみや脱落）、機体の損傷やゆがみ、各機器の異常な発熱などの確認、さらに、20時間の飛行毎に、交換の必要な部品、各機器の取付状況（ゆるみや脱落）、機体の損傷やゆがみ、通信系統、推進系統、電源系統及び自動制御系統の作動などの点検が求められています。ドローンの運用に際しては、飛行記録とともに、毎回チェックリスト等により、機体の状態を確認、記録することが重要です。

2-6 バッテリーの管理

ドローンには高出力で軽量なリポバッテリーが用いられており、強い衝撃を与えると発火する危険性があることから、バッテリーの保管等には十分注意する必要があります。保管や運搬の際は、耐火性のある金属容器などに入れ、リポバッテリーのコネクター同士が接触してショートしないように、キャップ等を被せておく必要があります。また、保管温度は22～28度が適切とされています。なお、高温となる環境下では、リポバッテリーが膨張したり、発火したりする恐れがあります。充電に際しても、正しい方法や機材で行わないと発火などの事故が起こる恐れがあることから、充電器やリポバッテリーの仕様書等に定められた方法で行うとともに、充電中は、充電器及びリポバッテリーから離れないようにします。リポバッテリーは、フル充電の状態で保管すると劣化を早めることになるので、保管に際しては、容量の60%程度とすることが望ましいです。逆に完全に放電してしまうとバッテリー自体を壊してしまうことになるので、長期保管する場合は、自然放電等により過放電を起こしていないか、定期的にバッテリー容量のチェックが必要となります。

3 ドローン苗木運搬実証事業の成果について

表1のドローンを用いて、県内4地区でドローン運搬と、人力運搬を比較した結果、表2のとおり、ドローン運搬は、人力運搬に比べて生産性が3.9倍（1.6～5.3倍）に向上することが確認できました。

表1 実証で使したドローン

	機体情報の概要
	機種：森飛 morito15/：マゼックス社 運搬可能重量：約 10.4kg 最大飛行時間：30 分（無負荷時）
	特徴
・「自動開閉フック」荷下ろし地点で補助者の必要はありません ・荷掛け、荷下ろし地点に操縦者が各 1 人で作業可能です	

表2 低コスト再造林実証事業 ドローン苗木運搬成果

	地区	距離	地形	運搬手段	1000本当たり 運搬時間	時間縮 減効果
R4	庄原市 ②	短距離 (120m)	平坦	ドローン	32分	1.9 倍
				人力	1時間2分	
	安芸太 田町	中距離 (240m)	急	ドローン	1時間7分	5.1 倍
				人力	5時間40分	
R3	三次市	長距離 (550m)	平坦	ドローン	1時間	5.3 倍
				人力	5時間18分	
	庄原市 ①	短距離 (120m)	急	ドローン	48分	1.6 倍
				人力	1時間17分	
平均		—	—	ドローン	52分	3.9 倍
				人力	3時間19分	

また、これまでのドローン運搬の距離と往復の所要時間（バッテリー交換含む）の関係を調べたところ図3のとおり強い相関関係（ $R^2 = 0.8119$ ）が見られました。よって、ドローン発着場から植栽地までの直線距離を調べることで、苗木運搬に必要な所要時間を大まかに算出できることがわかりました（表3）。

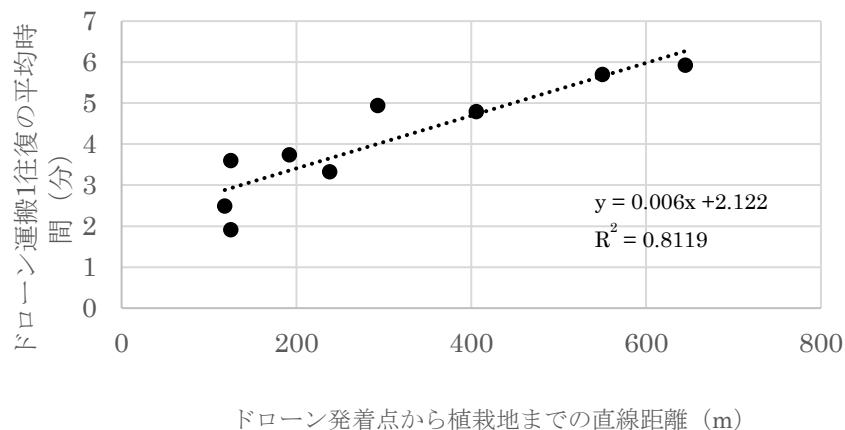


図3 ドローン苗木運搬1往復の平均時間とドローン発着点から植栽地までの直線距離の関係

表3 ドローン苗木運搬1往復の平均時間とドローン発着点から植栽地までの直線距離

運搬距離 (m)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
時間 (分)	2:25	2:43	3:01	3:19	3:37	3:55	4:13	4:31	4:49	5:07	5:25	5:43	6:01

4 ドローン苗木運搬実証地の詳細

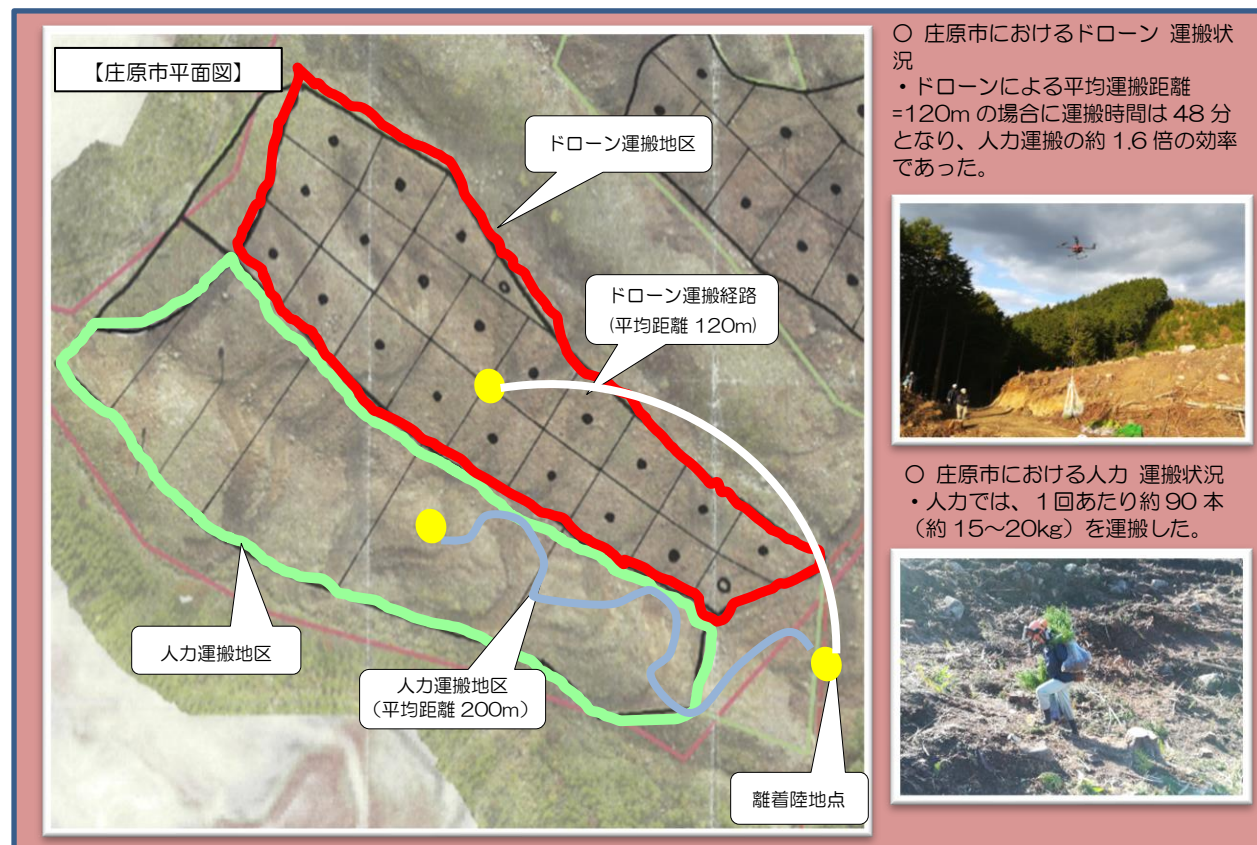


図 4 A 地区（庄原市東城町）の実証例



図 5 B 地区（三次市作木町）の実証例



図 6 E 地区（安芸太田町松原）の実証例



図 7 G 地区（庄原市東城町）の実証例

5 ドローン運搬の効率的な使い方

5-1 自動で荷卸し可能なフックの利用

- ・ ドローン苗木運搬作業は、苗木袋の荷卸しが自動でできるフック（写真1、図8）を使うことで、1名のオペレータのみで運搬作業（図-2）ができ効果的です。
- ・ ただし、1名の作業では目標地点までの見通しが良く、苗木設置場所の確認ができる必要があります。



写真1 自動で荷卸可能なフック

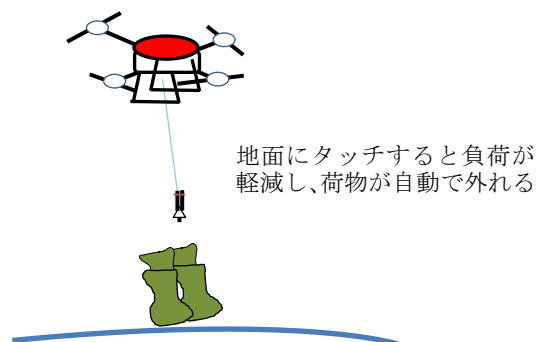


図8 使用イメージ

表4 ドローン苗木運搬に係る人数の変化と1人1時間当り運搬本数の比較

直線距離(m)	人数	1人1時間当り運搬本数(本)	1名/4名の比	調査地
240m程度	4	212	4.0	A-1②、B-1ドローン平均
	1	849		E-3ドローン

※1 平均運搬距離は、直線距離を示す

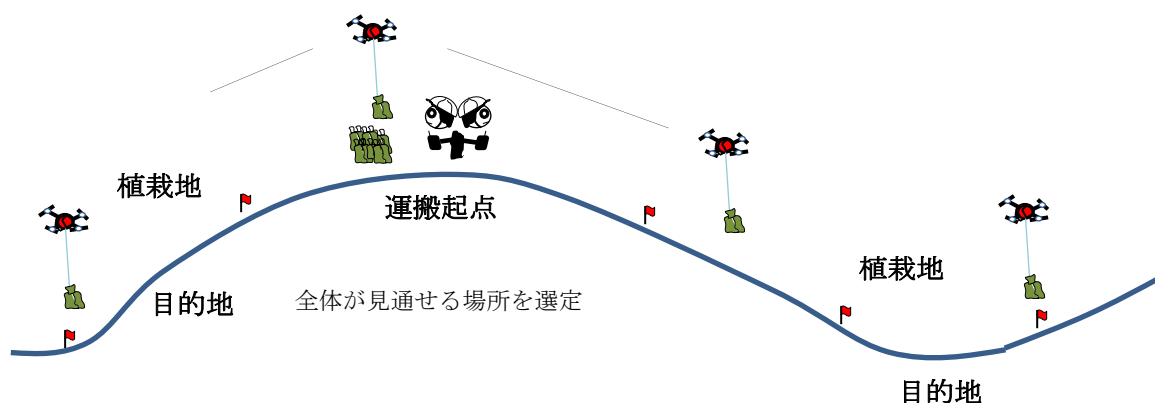


図9 ドローン苗木運搬のイメージ

5-2 長距離の運搬の場合2名のオペレータで運搬

運搬距離が長くなるに従い、見通しの悪い尾根越えや障害物で目的地が見通せない場合があります。そのような場合は、図10のとおり2名のオペレータで操作を行うことができます。

また、ドローンが谷越えするときは地上高150mを超える可能性があるので注意が必要です。

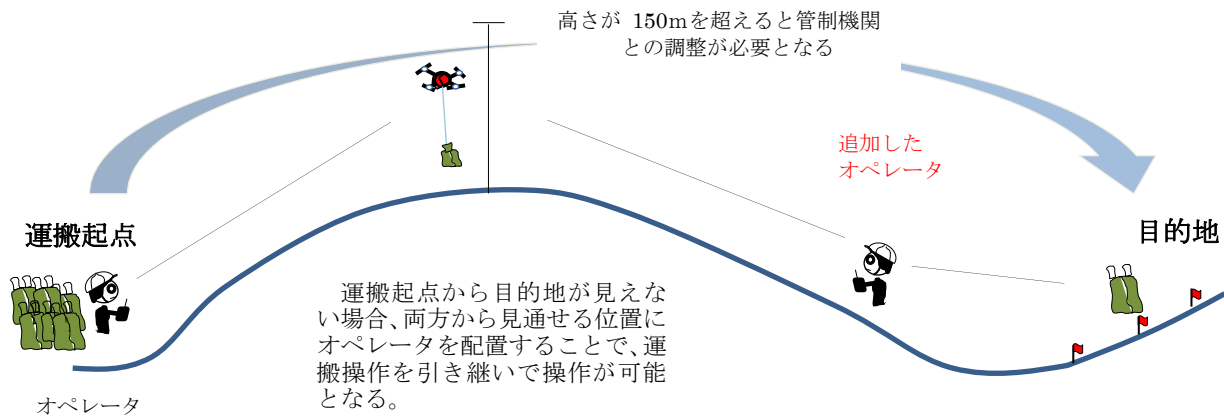


図10 運搬起点から目的地が見通せない場合

なお、2名のオペレータがドローンを見失う可能性がある場合は、オペレータの間に管理者を配置(図11)して、スムーズにオペレータ操作の交換ができるかを確認する必要があります。

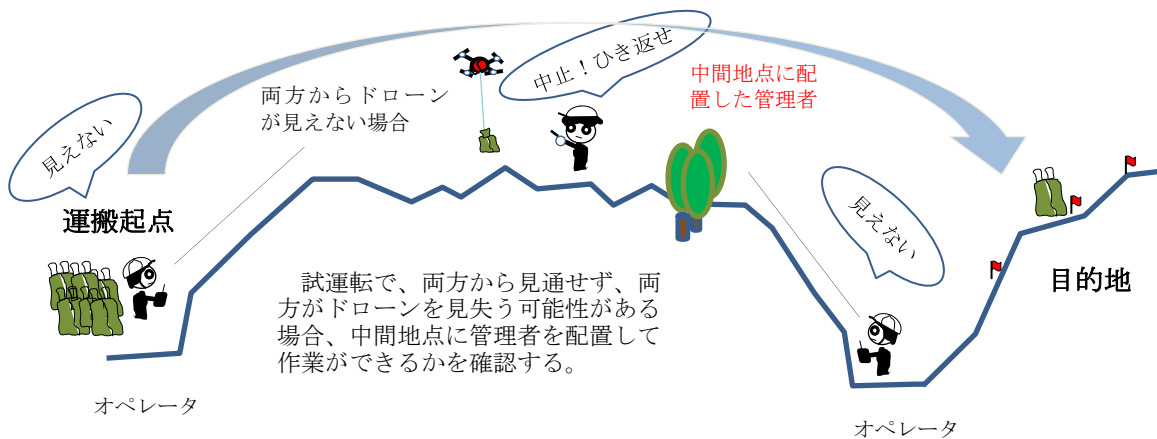


図11 両方のオペレータがドローンを見失う可能性がある場合

当実証事業では、A、B、E地区で4名の実証を行った結果、運搬距離に比例して、119～361本/時間・人の成果が得られました。

4名によるドローン運搬の実証では、オペレータ2名、中間管理作業員1名、目的地で荷下ろしを誘導する作業員1名を配置しました。ただし、写真1のフックを使用する場合は、荷下ろし地点の作業員の配置は不要です。

＝ ポイント① ＝

ドローン運搬ができる距離は、フル充電されたバッテリーの関係に、安全率を考
えて概ね 1,000m 程度が飛行可能です。フル充電されたバッテリーの運搬距離は、概
ね水平距離が 500m 程度では 2 回の飛行、概ね 300m 程度では 3 回飛行が可能とな
ります。ドローン運搬は基本的にこの範囲で計画します。

ドローン運搬とフォワーダ運搬の単体の調査では、フォワーダ運搬の方が 1 回の
運搬本数が多く運べて効率が良いため、作業道等が整備された場所では、可能な限
りフォワーダ等を利用し、フォワーダの荷下ろし地点から植栽地までの間で行われ
る人力運搬にドローン運搬を計画すると最も効果が高くなります。

5-3 人力での運搬距離が長い植栽地でドローンを活用

ドローン運搬は、人力運搬より速度が速いことから運搬距離が長くなる程、ドローン運搬が効果的と
なります。また、ドローン運搬は林内を走行しないことから、林地勾配の影響を受けにくい一方で、人
力運搬では勾配が急になればなるほど歩道を迂回する傾向があるため、この傾向は顕著になります。

表 5 ドローン運搬と人力運搬の比較

直線距離(m)	勾配(度)	平均運搬距 離(m)	運搬方法	1人1時間当り 運搬本数(本)	ドローン/人 力の比	調査地
120m程度	2° (4%)	120	人力	1,538	0.8	G人力
		120	ドローン	1,178		Gドローン 2名運搬
240m程度	10° (17%)	404	人力	176	4.8	E-3 人力
		238	ドローン	849		E-3ドローン 1名運搬

G地区の検証では、120m程度で、2名のオペレータのフラットな条件下で、直線距離に近いコース
をたどった人力運搬が可能となり、ドローンの効果がでにくい結果となりました。

人力運搬では、運搬距離が短い場合、1度に4袋（1袋 25 本）を運ぶ作業員もいたことから人力運
搬の方が効果的となりました。一方で、オペレータの聞き取りでは、120m程度では1名の作業が可能
であることから、2,000 本/時間・人の作業も可能でした。E地区で1名のオペレータによるドローン
運搬を実証した結果、人力運搬と比べて 4.8 倍と最も効果的な成果（表 5）を実証することができまし
た。1名運搬の場合のポイントとしては、5-1で説明したフックを利用することに加え、目的地に人
がいることで、苗木を運搬する先の目印となるということでした。運搬先の目印については、事前に図
面等で何処にどの程度運搬するかをイメージしておくといよいでしょう。

＝ ポイント② ＝

苗木運搬の目安	※数字はh a 当たり運搬箇所数、() はの数字は箇所当たりの面積	
ドローン運搬 1 回の本数	2,000 本植栽	3,000 本植栽
60 本 (30 本×2 袋)	34 箇所／ha (300 m ²)	50 箇所／ha (200 m ²)
75 本 (25 本×3 袋)	27 箇所／ha (375 m ²)	40 箇所／ha (250 m ²)

5-4 上り傾斜の運搬でドローンを活用

上り傾斜の人力運搬の場合、作業員の負担が大きく、休息しながら運搬したり、勾配を避けて迂回したりすること多いため、勾配の影響が少ないドローン運搬の効果が出やすい結果となりました。

表 6 登り斜面の運搬によるドローン運搬と人力運搬の比較 (20° 程度の登り傾斜)

平均運搬距離 (m)	運搬方法	1人1時間当り運 搬本数(本)	ドローン/人 力の比	調査地
130m程度	人力	138	1.8	A-1①人力
	ドローン	250		A-1①ドローン
200m程度	人力	178	1.4	A-1②人力
	ドローン	241		A-1②ドローン

※1 平均運搬距離は、直線距離を示す

※2 ドローン運搬は、オペレーター4名で作業した場合の1人1時間当りの運搬本数
オペレーター1名で運搬した場合、は更に効率が良くなることが考えられる。

5-5 運搬物の軽量化

実証事業で使用したタイプのドローンに限らず、現在、主流となっている荷物運搬用のドローンは、安全率を考慮し、1回の運搬が10kg程度となっています。苗木(150ccのコンテナ苗)の重量は1本が150g程度ですが、水分が大半を占めるために、出荷時に多少の水分を調整することで苗木が痛まない程度の軽量化を行うことで、1回当たりの運搬量を増やすことが可能です。

最も効果的な荷姿は、次のとおりです。

- ・コンテナ苗は(苗木が痛まない程度に)1本当たりが125gに水切り(乾燥)させる。
- ・荷姿は、1袋25本入りとして、ドローン運搬1回当たり3袋を運ぶと75本/回となり、最も多く運ぶことができ効率が良い(G地区で検証、表7)。

なお、ドローンのペイロード(運搬可能な重量)が15kgだった場合でも、安全のために1フライトあたりの運搬物の重量は10kg程度に抑えて運搬する事例が多いです。

表7 運搬物（150cc コンテナ苗）の軽量化の検討例

ドローン運搬 2袋/回のパターン			※総重量は10kg/回以内			
	25本/袋入りの場合			30本/袋入りの場合		
1本当りの重量(g)	125	150	175	125	150	175
1袋本数(本)	25	25	25	30	30	30
1回の運搬袋数(袋)	2	2	2	2	2	2
1回の総重量(kg)	6.3	7.5	8.8	7.5	9.0	10.5
1回の運搬本数(本/回)	50	50	50	60	60	60
×は重量オーバー ○ ○ ○ ○ ○ ×						

ドローン運搬 3袋/回のパターン			※総重量は10kg/回以内			
	25本/袋入りの場合			30本/袋入りの場合		
1本当りの重量(g)	125	150	175	125	150	175
1袋本数(本)	25	25	25	30	30	30
1回の運搬袋数(袋)	3	3	3	3	3	3
1回の総重量(kg)	9.4	11.3	13.1	11.3	13.5	15.8
1回の運搬本数(本/回)	75	75	75	90	90	90
重量オーバー ◎ × × × × ×						

5-6 バッテリー交換

バッテリーの充電に時間がかかり、充電待ちが発生すると作業効率が低下するので、効率よくドローン運搬を実施するためには工夫が必要です。例えば、発電機とバッテリーを十分な数用意し、充電しながらドローン運搬を行う、昼休みなどの休憩時間にも充電は継続して行うといったことです。

バッテリー残量が 60%程度になったら交換することが望ましいです。バッテリーを使い切った場合、充電に時間がかかるだけでなく、緊急時の対応が困難となる場合があるので注意が必要です。

冬期間の電圧が変化しない高性能バッテリーの使用によりバッテリー交換の頻度が少なくなり効率的となります（例えば、株式会社 mazex の 12S Li-HV バッテリー等）。

5-7 その他

植栽面積の広い造林地では、人力での運搬距離が長くなるため、当然、効果が大きくなることが考えられます。

荷づくりに時間をかけないように紐の工夫をしましょう。

苗木の梱包には時間がかかるので、苗木の出荷時にドローン運用しやすいように重量を考慮した上で苗木を袋にまとめてもらい、荷掛けひもは運搬中に切れたりほどけたりしないように準備してもらえると良いです。事前にその準備ができないようであれば、運搬作業の開始前にそれらの準備を済ませることが重要です。

6 ドローン苗木運搬の所要時間早見表

表8 ha当たりの運搬回数と所要時間（分）の目安

ha当たり運搬回数と所要時間(分)の目安					内の左側の数字は、ha当たり運搬回数、右側は所要時間（分）を示す。										
運搬距離(m)			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
時間(分)			2:25	2:43	3:01	3:19	3:37	3:55	4:13	4:31	4:49	5:07	5:25	5:43	6:01
(25本× 3袋)	75本/ha	20	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120
	2000本/ha	27	65	73	81	89	97	105	113	121	129	137	145	153	161
	3000本/ha	40	97	109	121	133	145	157	169	181	193	205	217	229	241
(30本× 2袋)	60本/ha	25	61	68	76	83	91	98	106	113	121	128	136	143	151
	2000本/ha	33	81	91	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201
	3000本/ha	50	121	136	151	166	181	196	211	226	241	256	271	286	301

令和5年3月発行

低コスト再造林実証事業 ドローン苗木運搬 実施手順書

発行 広島県農林水産局

〒730-8511 広島県広島市中区基町 10-52