

# 林業用ドローンによる苗木等の運搬方法の検討

2020 年度～2021 年度

藏屋健治

## 要 旨

森林資源の循環利用を推進していく中で伐採後の再生林に係る費用の増加が問題となっており、再生林を行うための資材等の運搬に係る労働負荷の軽減や低コスト化が望まれている。これらを解消するため、県内の植栽地において林業用ドローンによる苗木等の運搬を試みた。その結果、ドローンによる運搬は、1人日当たり約 500～750kg の運搬能力を有しており、人力運搬に比べて約 2.5～2.8 倍の運搬量があることが分かった。また、資材 1kg 当たりの運搬経費（人件費のみ）は、人力運搬では約 83 円に対しドローン運搬では約 31 円となり、約 50 円の経費節減につながることも分かった。また、今回の実証結果から、ドローンの往復に係る飛行時間は、100m 延長するごとに約 35 秒伸びること、運搬距離に関係なく下り運搬が上り運搬に比べて約 30 秒多く掛かることも分かった。

## I はじめに

愛知県では、森林資源を持続的に活用していくために、森林資源の循環利用を推進している。しかし、木材価格の低迷や、伐採後の再生林に係る費用の増加が問題となっており、主伐・再生林が進みにくい状況となっている（林野庁 2021）。また、コンテナ苗などの再生林に必要な資材等の重量が重くなる傾向にあるため、資材運搬に係る労働負荷も大きくなる傾向となっている。このため、再生林を行うための資材等の運搬に係る経費の低コスト化や労働負荷の軽減が望まれている。

これらのことから、本研究では林業における資材等の運搬コストの低減及び就労者の労働負荷の軽減を目指すため、林業用ドローン（以下、ドローン）を用いた資材等の運搬について実証を行い、その効果について検証した。

## II 方法

### 1. 実証地の概要

今回、ドローンを用いた資材等の運搬の実証を行った場所は、豊田市神殿町山ノ入、豊田市神殿町中切及び北設楽郡豊根村上黒川字久羅沢の 3 ヲ

所である（図-1）。

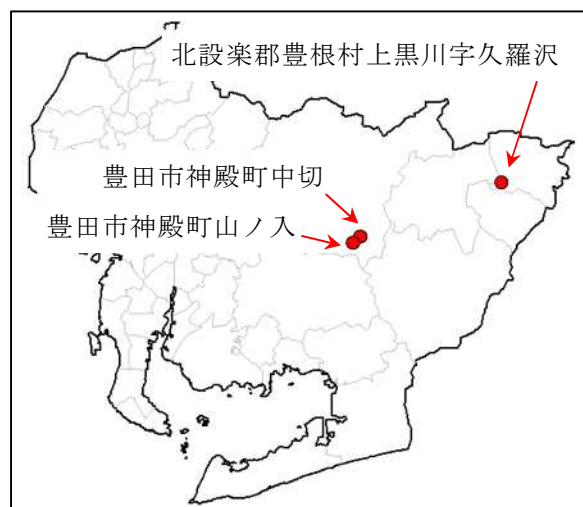


図-1 各実証地の位置

まず、豊田市神殿町山ノ入の実証地の概要は、植栽面積が 1.34ha、運搬した資材はコナラコンテナ苗 1800 本、運搬距離は水平距離で 29～145m、高低差が 10～60m である。1 フライト当たりの運搬量は、コナラコンテナ苗が平均 7.5kg/回であった。この実証地では、ドローンの発着位置を植栽地の下部に設置し、上げ荷で苗木の運搬を行い、合計 58 回の往復時間で検証を行った（図-2）。



図-2 実証地の位置図（豊田市神殿町山ノ入）  
（図上の赤点は苗木等の荷下ろし地点）

次に、豊田市神殿町中切の実証地の概要は、植栽面積が 0.40ha、運搬した資材はコナラコンテナ苗 480 本と単木保護資材 480 本、運搬距離は水平距離で 15~100m、高低差が-48~10m である。1フライト当たりの運搬量は、コナラコンテナ苗が平均 7.5kg/回、単木保護資材が平均 9.5kg/回であった。この実証地では、ドローンの発着位置を、植栽地を横断する林道に設置し、上部に 2ヶ所、下部に 14ヶ所運搬した。運搬した資材は、苗木と単木保護資材で、道路の下部に運搬した 44 回分の往復時間で検証を行った（図-3）。

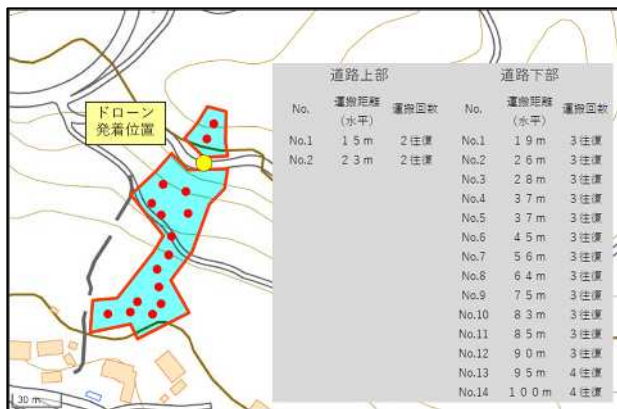


図-3 実証地の位置図（豊田市神殿町中切）

最後に、北設楽郡豊根村上黒川字久羅沢の実証地の概要は、植栽面積が 0.40ha、運搬した資材は

スギコンテナ苗 600 本、コナラコンテナ苗 150 本と獣害防止柵資材 467m 分で、運搬距離は水平距離で 90~231m、高低差が 25~95m である。1フライト当たりの運搬量は、スギコンテナ苗が平均 10.2kg/回、コナラコンテナ苗が平均 8.2kg/回、獣害防止柵が平均 8.5kg/回であった。この実証地では、最初に獣害防止柵を運搬し、設置した後、苗木の運搬を行った。ドローンの発着位置は、獣害防止柵の運搬と苗木の運搬で同じ位置とし、実証地に隣接する林道で全体が確認できる位置とし、獣害防止柵の運搬で 58 回、苗木の運搬で 10 回の往復時間で検証を行った（図-4、図-5）。

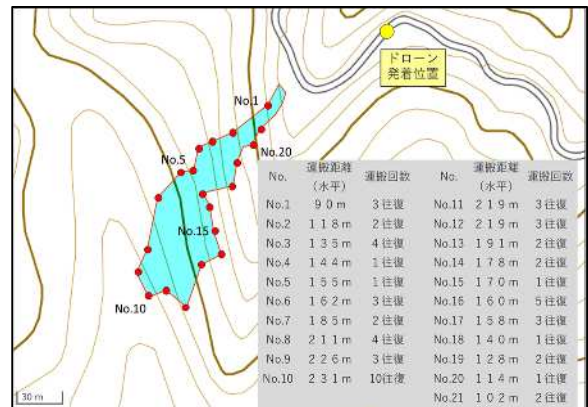


図-4 実証地の位置図 獣害防止柵資材運搬  
（豊根村上黒川字久羅沢）

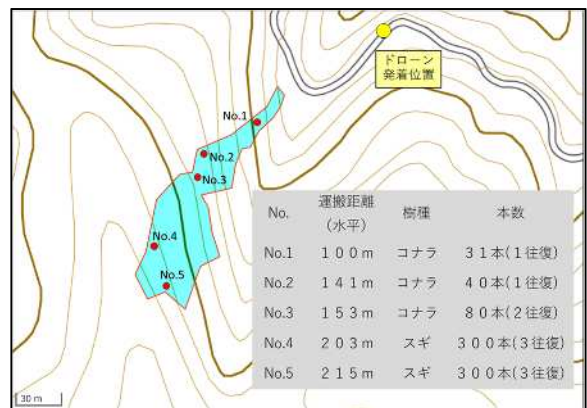


図-5 実証地の位置図 苗木運搬  
（豊根村上黒川字久羅沢）

## 2. 使用したドローンと計測方法

### (1) 使用したドローン

今回、使用したドローンは、株式会社マゼック製の「森飛」で、全長・全幅がともに980mm、全高が752mm、バッテリーを含まない機体重量は10.7kgである。この機体の飛行能力は、最大飛行時間は30分、最大飛行速度は通常モードで30km/h、高速モードで58 km/hである（写真－1）。



写真－1 使用したドローンと荷掛けフック

このドローンに付属している荷掛けフックには大きな特徴があり、荷物の重量がかかっているときはロックがかかっているが、荷物が地面に接地し、テンションがなくなると自動的にフックが開き、荷物を開放するというシステムとなっている。これにより、荷受け地点でフックを外すための作業がいらなくなるという利点がある。

このドローンを使用した運搬の方法は、事前に設定された飛行ルートを航行する自動飛行を主体とし、オペレータが1人で操作する1オペレーション型（以下、1オペ型）と、出発地点と荷下ろし地点にそれぞれオペレータを配置しドローンの操作を手動で行う2オペレーション型（以下、2オペ型）の2種類がある。1オペ型の特徴は、ドローンに電動ウインチが搭載してあり、荷下ろしの際、ドローンの高度を下げることなく、ウインチを使用してワイヤを下げることで積荷を切り離すことが出来ることである。また、すべての操作を1で行う

ことが出来るため、人件費の抑制につながることも特徴の一つである。これに対し、2オペ型の特徴は、荷下ろし地点にオペレータを配置することで、荷下ろし地点を細かく配置することが出来ることである。また、ウインチを搭載していないため、運搬量を大きくすることができるのも特徴である（表－1）。

今回は、県内での運用実績の多い2オペ型で実証を行った。

表－1 使用したドローンの運用方法

| 項目      | 自動飛行&ウインチ型<br>(1オペ型)       | 2オペ型                            |
|---------|----------------------------|---------------------------------|
| 運搬方法    | 出発点に操縦者を1名配置して、自動飛行        | 出発点と荷下ろし地点にそれぞれ操縦者を配置(2名)して手動飛行 |
| 運搬可能量   | 8.0kg<br>(ウインチの限界値)        | 10.4kg                          |
| 荷下ろしの方法 | ウインチによりワイヤを下げて地面に設置させて切り離す | 操縦により飛行高度を下げて地面に設置させ切り離す        |
| メリット    | 操縦者1名で運行可能なため人件費の抑制に繋がる    | ウインチが非搭載のため、運搬可能量が多くなる          |

### (2) 時間計測項目

今回の実証で調査した計測項目は、豊田市の2実証地では、ドローンが離陸してから苗木等を下して発着位置まで戻ってくるまでの時間と、着陸してから荷掛け等を行い離陸するまでの時間を計測した。豊根村の実証地では、ドローンが離陸してから苗木等を下ろすまでの時間、下ろしてから発着位置まで戻ってくるまでの時間、着陸してから荷掛け等を行い離陸するまでの時間を計測した。

## III 結果と考察

### 1. 運搬能力の検証

各実証地の時間計測の結果を表-2から表-5に示す。

表-2 時間計測の結果  
(豊田市神殿町山ノ入)

| 運搬項目 | 調査項目                                      | 平均時間  |
|------|---|-------|
| 苗木運搬 | 往路+荷下ろし+復路(A)                             | 1分39秒 |
|      | 荷掛け(B)                                    | 40秒   |
|      | 荷掛け+バッテリー交換(C)                            | 1分37秒 |
|      | 1フライト当たりの合計<br>$A + (6 \times B + C) / 7$ | 2分27秒 |
|      | ※ 平均運搬距離(水平)は86m<br>※ 7フライトに1回バッテリーを交換    |       |

表-3 時間計測の結果  
(豊田市神殿町中切)

| 運搬項目    | 調査項目                                      | 平均時間  |
|---------|---|-------|
| 苗木保護材運搬 | 往路+荷下ろし+復路(A)                             | 2分 2秒 |
|         | 荷掛け(B)                                    | 29秒   |
|         | 荷掛け+バッテリー交換(C)                            | 1分27秒 |
|         | 1フライト当たりの合計<br>$A + (4 \times B + C) / 5$ | 2分43秒 |
|         | ※ 平均運搬距離(水平)は62m<br>※ 5フライトに1回バッテリーを交換    |       |

表-4 時間計測の結果  
(豊根村上黒川・苗木運搬)

| 運搬項目                                    | 調査項目  | 平均時間  |
|---|---|-------|
| 苗木運搬                                    | 往路+荷下ろし(A)                                    | 1分 5秒 |
|   | 復路(B)   | 49秒   |
|   | 荷掛け(C)  | 1分29秒 |
|   | 荷掛け+バッテリー交換(D)                                | 2分17秒 |
|   | 1フライト当たりの合計<br>$A + B + (2 \times C + D) / 3$ | 3分39秒 |
| ※ 平均運搬距離(水平)は185m<br>※ 3フライトに1回バッテリーを交換 |   |       |

表-5 時間計測の結果  
(豊根村上黒川・獣害防止柵運搬)

| 運搬項目                                    | 調査項目  | 平均時間  |
|---|---|-------|
| 獣害防止柵運搬                                 | 往路+荷下ろし(A)                                    | 1分10秒 |
|   | 復路(B)   | 1分 3秒 |
|   | 荷掛け(C)  | 1分 6秒 |
|   | 荷掛け+バッテリー交換(D)                                | 1分43秒 |
|   | 1フライト当たりの合計<br>$A + B + (2 \times C + D) / 3$ | 3分31秒 |
| ※ 平均運搬距離(水平)は176m<br>※ 3フライトに1回バッテリーを交換 |   |       |

各実証地での1フライト当たりの合計時間は、豊田市神殿町山ノ入で2分27秒、豊田市神殿町中切で2分43秒、豊根村上黒川の苗木運搬が3分39秒、獣害防止柵資材運搬が3分31秒という結果になった。

今回の検証では、各実証地とも人力運搬を実施していないが、林業事業者からの聞き取り調査を基に、人力運搬で行った場合の往復時間を豊田市の2実証地では、1往復平均20分、豊根村の実証地は1往復平均30分と仮定し、1日当たりの実労働時間を6.4時間として計算すると、各実証地の1日当たりの運搬回数は表-6のとおりとなった。

表-6 各実証地の1日当たり運搬回数

| 実証項目                     | ドローン運搬  | 人力運搬(推定値) |
|--------------------------|---------|-----------|
| 豊田市神殿町山ノ入<br>(苗木運搬)      | 157回/2人 | 19回/1人    |
| 豊田市神殿町中切<br>(苗木・単木保護材運搬) | 141回/2人 | 19回/1人    |
| 豊根村上黒川<br>(苗木運搬)         | 105回/2人 | 13回/1人    |
| 豊根村上黒川<br>(獣害防止柵運搬)      | 109回/2人 | 13回/1人    |

また、ドローンでの運搬を 10kg/回、人力運搬を 15kg/回と仮定すると、各実証地の 1 日当たりの運搬量は表-7 のとおりとなった。

表-7 各実証地の 1 日当たり運搬量

| 実証項目                     | ドローン運搬    | 人力運搬<br>(推定値) |
|--------------------------|-----------|---------------|
| 豊田市神殿町山ノ入<br>(苗木運搬)      | 1570kg/2人 | 285kg/1人      |
| 豊田市神殿町中切<br>(苗木・単木保護材運搬) | 1410kg/2人 | 285kg/1人      |
| 豊根村上黒川<br>(苗木運搬)         | 1050kg/2人 | 195kg/1人      |
| 豊根村上黒川<br>(獣害防止柵運搬)      | 1090kg/2人 | 195kg/1人      |

なお、今回の実証においてドローン運搬を 2 オペ型で行ったため、1 日の作業で 2 人工が必要となってくる。

これらの結果から、1 人 1 日当たりの運搬量を計算すると表-8 のとおりとなった。

表-8 各実証地の 1 人 1 日当たり運搬量

| 実証項目                     | ドローン運搬 | 人力運搬<br>(推定値) |
|--------------------------|--------|---------------|
| 豊田市神殿町山ノ入<br>(苗木運搬)      | 785kg  | 285kg         |
| 豊田市神殿町中切<br>(苗木・単木保護材運搬) | 705kg  | 285kg         |
| 豊根村上黒川<br>(苗木運搬)         | 525kg  | 195kg         |
| 豊根村上黒川<br>(獣害防止柵運搬)      | 545kg  | 195kg         |

この表から、運搬距離の差があるものの、ドローンの運搬能力は、1 人 1 日当たり約 500~750kg あり、人力運搬と比べると 2.5~2.8 倍の差があることが分かった。

これらの結果を基に、運搬に係る経費について考察する。ドローンの操作を林業事業体の作業員が行うと仮定し、ドローン操作の person 費と人力運

搬の person 費が同額の 1 日当たり 2 万円と設定すると表-9 のような結果が得られる。

表-9 1 人日当たり運搬量と運搬経費

| 項目   | 1 人日当たり運搬量 |       | 1kg 当たり運搬経費   |      |
|------|------------|-------|---------------|------|
| ドローン | 山ノ入        | 785kg |               | 25円  |
|      | 中切         | 705kg | 640kg<br>(平均) | 28円  |
|      | 上黒川        | 525kg |               | 38円  |
|      | 上黒川        | 545kg | 37円           |      |
| 人力   | 山ノ入        | 285kg |               | 70円  |
|      | 中切         | 285kg | 240kg<br>(平均) | 70円  |
|      | 上黒川        | 195kg |               | 103円 |
|      | 上黒川        | 195kg | 103円          |      |

※ 運搬経費は労務のみで算出しており、ドローン本体等の経費等は含まない

この結果から、1kg 当たりの運搬経費は、ドローン運搬では 31 円、人力運搬では 83 円となり、ドローンを活用することで運搬経費を抑えることが可能であると考えられた。

## 2. 運搬距離と飛行時間

ドローンの往復時間が運搬距離によってどのように変化するかを検証するため、各地点の水平距離とその地点での往復時間の関係を検証した (図-6、図-7)。

豊田市神殿町山ノ入と豊根村の実証地では、ドローンの発着位置より標高の高い位置に運搬したため「上り運搬」、豊田市神殿町中切はドローンの発着位置より低い位置に運搬したため「下り運搬」として検証を行った。

これらの結果から、ドローンによる運搬は、上り運搬、下り運搬ともに運搬距離と往復時間には正の相関関係があることが分かった。また、回帰式にあるように、上り運搬、下り運搬ともに傾きが 0.35 となっているため、ドローンによる運搬は、

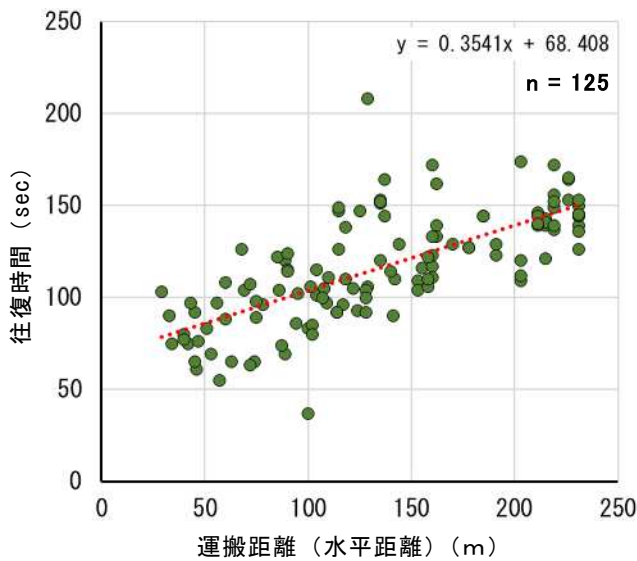


図-6 運搬距離と往復時間（上り運搬）

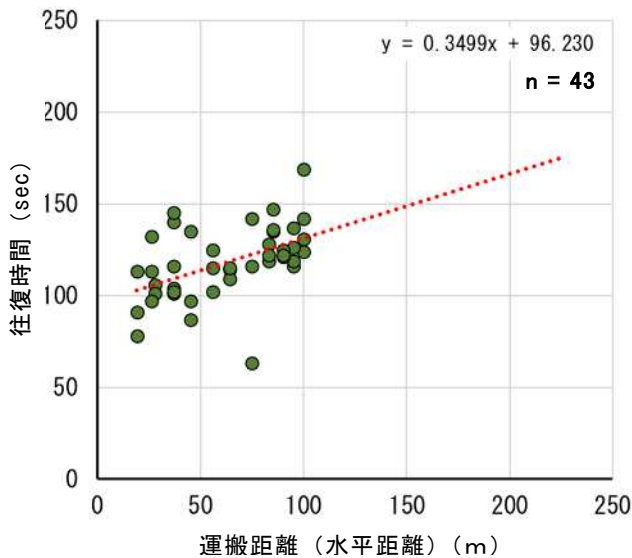


図-7 運搬距離と往復時間（下り運搬）

運搬距離 100m毎に約 35 秒長くなることが分かった。また運搬距離に関係なく、上り運搬と下り運搬では、約 30 秒の運搬時間の差があることも分かった。この理由として、上り運搬の場合は、ドローンを離陸させながら運搬が開始出来るが、下り運搬の場合、離陸が完了してから運搬を開始しなければならないため、その差が表れたと考えられた。

以上の結果から、ドローンによる苗木等の運搬について、距離が 200m未満の場合は、1日当たり約 1000~1500kg 運搬が可能であり、1人当たりの運搬量は、人力運搬に比べて約 2.5~2.8 倍多いことが分かった。また、作業員の労務費だけで計算した 1kg 当たりの運搬経費は、人力運搬では約 83 円に対しドローン運搬では約 31 円であり、ドローンを活用することで 1 kg 当たり約 50 円の経費節減につながることも分かった。また、ドローンの往復に係る飛行時間は、100m延長するごとに約 35 秒伸びること、運搬距離に関係なく下り運搬が上り運搬に比べて約 30 秒多く掛かることも分かった。

#### 引用文献

- 林野庁（2021）森林・林業白書．林野庁
- 林野庁（2021）造林のためのドローン活用事例集．林野庁
- 林野庁（2021）ドローンを活用した新たな造林技術の実証・調査事業．林野庁