

令和2年度

ドローンを活用した新たな造林技術の実証・調査事業

報 告 書

令和3（2021）年3月

林野庁

## 目次

<b>1. 事業の概要</b> .....	<b>1</b>
1.1. 事業名 .....	1
1.2. 事業目的 .....	1
1.3. 事業内容 .....	1
1.3.1. 検討委員会の設置・運営 .....	1
1.3.2. 全体計画の作成 .....	1
1.3.3. ドローンを活用した造林技術の調査・分析 .....	1
1.3.4. ドローンを活用した苗木等運搬（手動飛行）の実証 .....	2
1.3.5. ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等 .....	2
1.3.6. 事例集（パンフレット）の作成 .....	3
<b>2. 事業成果要約</b> .....	<b>4</b>
2.1. 検討委員会の設置・運営 .....	4
2.2. 全体計画の作成 .....	4
2.3. ドローンを活用した造林技術の事例調査・分析 .....	5
2.3.1. 情報収集調査結果 .....	5
2.3.2. 活用・普及の実現可能性についての分析結果 .....	5
2.4. ドローンを活用した苗木等運搬（手動飛行）の実証 .....	5
2.5. ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等 .....	7
2.6. 事例集（パンフレット）の作成 .....	7
<b>3. 検討委員会の設置・運営</b> .....	<b>8</b>
3.1. 検討委員会の設置 .....	8
3.2. 検討委員会の運営 .....	8
<b>4. 全体計画の作成</b> .....	<b>10</b>
<b>5. ドローンを活用した造林技術の事例調査・分析</b> .....	<b>12</b>
5.1. 調査・分析方法 .....	12
5.2. 事例調査結果 .....	13
5.2.1. 国内・海外におけるドローンを活用した造林技術の事例 .....	13
(1) 文献調査結果概要 .....	13
(2) ヒアリング調査結果概要 .....	15
(3) 各テーマ（①～⑥）別の調査結果と課題の整理 .....	17
① 苗木等運搬 .....	17
② 植栽穴の自動マーキング（植栽準備） .....	34
③ ピンポイント苗木配置 .....	41
④ 薬剤等散布 .....	42
⑤ 荒廃地への播種・吹付による緑化 .....	52
⑥ ドローン運用管理システム .....	56
⑦ その他の造林技術 .....	58
5.2.2. 農林水産業や関連他産業からみたドローンの活用の現況・課題等 .....	65

(1) 現場実装における一般的な課題 .....	65
① 体制や環境の構築 .....	65
② 実運用コストの見通し .....	65
③ リスク管理 .....	65
④ 人材確保 .....	65
(2) 農林水産業や関連他産業における現況、課題、展望等 .....	66
① 農林水産業 .....	66
② 土木・建設 .....	69
③ 点検 .....	70
④ 公共 .....	70
⑤ 運搬 .....	71
⑥ その他 .....	71
5.3. 国内の造林現場での活用・普及の可能性の分析 .....	72
5.3.1. 苗木等運搬 .....	72
(1) ドローンの活用が目指す内容 .....	72
(2) 分析結果 .....	72
① 費用（購入費・維持管理費等） .....	72
② ドローンの最大運搬重量（ペイロード） .....	73
③ バッテリー .....	73
④ 機体の操縦技術等 .....	73
5.3.2. 植栽穴の自動マーキング（植栽準備） .....	74
(1) ドローンの活用が目指す内容 .....	74
(2) 分析結果 .....	74
① 必要性 .....	74
② 技術的可能性や環境による制約 .....	74
③ 将来性 .....	74
5.3.3. ピンポイント苗木配置 .....	75
(1) ドローンの活用が目指す内容 .....	75
(2) 分析結果 .....	75
① 必要性 .....	75
② 技術的可能性や環境による制約 .....	75
③ 将来性 .....	75
5.3.4. 薬剤等散布 .....	76
(1) ドローンの活用が目指す内容 .....	76
(2) 分析結果 .....	76
① 必要性 .....	76
② 技術的可能性や環境による制約等 .....	76
③ 将来性 .....	76
5.3.5. 荒廃地への播種・吹付による緑化 .....	77
(1) ドローンの活用が目指す内容 .....	77

(2) 分析結果 .....	77
① 必要性 .....	77
② 技術的可能性や環境による制約等 .....	77
③ 将来性 .....	77
5.3.6. ドローン運用管理システム .....	78
(1) ドローンの活用が目指す内容 .....	78
① 各種アプリケーションの統合及びデータ管理・共有のためのクラウド .....	78
② ドローンの運用体制、人材育成 .....	78
(2) 分析結果 .....	78
① 各種アプリケーションの統合及びデータ管理・共有のためのクラウド .....	78
② ドローンの運用体制、人材育成 .....	79
5.3.7. ドローンの活用・普及に向けて次年度以降取り組むテーマの選定 .....	80
(1) 植栽穴の自動マーキング (②) .....	80
(2) ピンポイント苗木配置 (③) .....	80
(3) 薬剤等散布 (④) .....	80
(4) 荒廃地への播種・吹付による緑化 (⑤) .....	80
(5) ドローン運用管理システム (⑥) .....	80
5.4. 事例集 (パンフレット) の作成 .....	83
<b>6. ドローンを活用した苗木等運搬の実証 .....</b>	<b>101</b>
6.1. 実証地と実証に用いたドローン .....	101
6.2. 苗木等運搬の実証のための調査方法の検討 .....	102
6.2.1. 現地調査 (歩掛調査) 方法 .....	102
6.2.2. ドローン運搬による苗木への影響評価と運搬および調査用植栽プロットの設定 ...	103
6.2.3. 人力運搬との比較分析方法 .....	103
6.3. 実証地詳細および調査結果 .....	104
6.3.1. 茨城県大子町 (実証 No.1) .....	104
(1) 実証地の概要 .....	104
(2) 調査結果 .....	105
① 使用したドローン等 .....	106
② ドローン運搬とクローラ運搬との比較 .....	106
(3) ドローン運搬による苗木への影響 .....	107
6.3.2. 群馬県東吾妻町 (実証 No.2, No.3) .....	110
(1) 実証地の概要 .....	110
(2) 調査結果 .....	111
① 使用したドローン等 .....	112
② ドローン運搬とクローラ運搬との比較 .....	112
(3) ドローン運搬による苗木への影響 .....	113
6.3.3. 兵庫県神河町 (実証 No.4) .....	116
(1) 実証地の概要 .....	116
(2) 調査結果 .....	118



① 使用したドローン等 .....	118
② ドローン運搬とクローラ運搬との比較 .....	118
(3) ドローン運搬による苗木への影響 .....	119
6.3.4. 和歌山県日高川町（実証 No.5, No.6） .....	122
(1) 実証地の概要 .....	122
(2) 調査結果 .....	123
① 使用したドローン等 .....	124
② ドローン運搬と人力運搬との比較 .....	125
(3) ドローン運搬による苗木への影響 .....	125
6.3.5. 和歌山県田辺市（実証 No.7） .....	126
(1) 実証地の概要 .....	126
(2) 調査結果 .....	127
① 使用したドローン等 .....	127
② ドローン運搬と人力運搬との比較 .....	128
6.3.6. 山口県山口市（実証 No.8） .....	129
(1) 実証地の概要 .....	129
(2) 調査結果 .....	130
① 使用したドローン等 .....	130
② ドローン運搬と人力運搬との比較 .....	131
(3) ドローン運搬による苗木への影響 .....	132
6.3.7. 宮崎県延岡市（実証 No.9） .....	135
(1) 実証地の概要 .....	135
(2) 調査結果 .....	136
① 使用したドローン等 .....	136
② ドローン運搬とクローラ運搬との比較 .....	137
(3) ドローン運搬による苗木への影響 .....	137
6.4. 各実証地のドローンの機種、操作方法・体制、実施状況等の整理と比較 .....	138
6.5. 人力運搬との比較分析結果 .....	141
6.5.1. 1人日あたりの運搬本数の比較分析結果 .....	141
6.5.2. 1人日あたりの運搬から植栽までにかかる人工数の比較分析結果 .....	143
(1) 植栽地までの運搬時間からみた「運搬+植栽人工数」のドローンとクローラの比較 .....	146
(2) 植栽地までの距離からみた「運搬+植栽人工数」のドローンとクローラの比較 .....	147
(3) 植栽地までの標高差からみた「運搬+植栽人工数」のドローンとクローラの比較 .....	148
(4) 植栽地までの運搬時間からみた「運搬+植栽人工数」のドローンと人力の比較 .....	149
(5) 植栽地までの距離からみた「運搬+植栽人工数」のドローンと人力の比較 .....	150
(6) 植栽地までの標高差からみた「運搬+植栽人工数」のドローンと人力の比較 .....	151
6.6. まとめ .....	152
6.6.1. ドローンの操縦方式・苗木荷下ろし方式・その他の留意点等 .....	152
(1) 1 オペ、2 オペ機種の選定 .....	152

(2) 苗木荷下ろし方式（手動・自動） .....	152
(3) バッテリー交換 .....	152
6.6.2. ドローンにより効率が図れる環境条件の特徴と考察 .....	152
6.6.3. 今後の課題 .....	153
(1) 苗木等の運搬に適した条件の分析 .....	153
(2) 最適な運搬手法の検討 .....	153
(3) 省力・低コスト化への寄与度の評価 .....	153
(4) 効率的な運用方法 .....	153
(5) 安全管理 .....	153
(6) ドローン技術に合わせた造林方法の検討 .....	153
<b>7. ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等 .....</b>	<b>154</b>
7.1. 植栽穴の自動マーキング .....	154
7.2. 播種・吹付による緑化 .....	155
7.3. ドローン運用管理システム .....	156
<b>8. 巻末資料 .....</b>	<b>157</b>
8.1. 文献調査結果 .....	157
8.2. ヒアリング結果 .....	165
8.3. ドローンを活用した苗木等運搬の実証調査計算表 .....	187
8.4. 検討委員会議事概要 .....	191
8.4.1. 第1回検討委員会議事概要 .....	191
8.4.2. 第2回検討委員会議事概要 .....	195
8.4.3. 第3回検討委員会議事概要 .....	198

# 1. 事業の概要

## 1.1. 事業名

令和2年度ドローンを活用した新たな造林技術の実証・調査事業

## 1.2. 事業目的

戦後造成された人工林が主伐期を迎える中、森林資源の循環利用の確立と公益的機能の維持・向上のため、その後の再造林の確保が課題となっていることに加え、近年多発する地震、台風等による裸地化した森林の再生も課題となっている。

一方で、日本の森林の大半は急傾斜地にあり、造林作業は高コストのみならず労働強度の高い状況となっており、担い手不足の深刻化も懸念されている。

そのため、急傾斜地である日本の森林に対応した、ドローンを活用した低コスト・省力的な造林技術の実証・調査を実施した。

## 1.3. 事業内容

### 1.3.1. 検討委員会の設置・運営

事業の実施に当たっては検討委員会を設置し、技術的指導や助言を受けた。検討委員会は3回開催とし、開催時期等については林野庁担当職員と調整のうえ決定した。

- (第1回) 全体計画、調査方法、事業実施に当たっての留意事項の検討等
- (第2回) 現地調査結果の報告、得られた知見の整理
- (第3回) 分析結果の報告

委員は5名とし、学識経験者や業界団体等がバランス良く含まれるよう配慮し林野庁担当職員と調整のうえ決定した。なお、検討委員会における審議により事業内容について変更があり得るものとした。

### 1.3.2. 全体計画の作成

本事業の実施期間は令和2年度から5年間を予定していることから、5年間の全体計画を作成した。全体計画はあらかじめ提案された素案を元に業務着手後に林野庁担当職員と協議のうえ全体計画案を作成し、第1回検討委員会において全体計画案の内容を検討したうえで全体計画として決定した。

### 1.3.3. ドローンを活用した造林技術の調査・分析

ドローンを活用した国内・海外の造林技術等について、情報収集調査・分析等を行った。対象とする作業は以下によるものとした。

#### 【作業内容】

- ・植栽準備（植栽穴の自動マーキング）
- ・苗木等運搬（苗木、獣害対策資材、架線集材のリードロープ等）

- ・薬剤等散布
- ・荒廃地への播種・吹付による緑化
- ・ピンポイント苗木配置
- ・ドローン運用管理システム

#### ア 国内外の先行事例についての調査

国内・海外の林業の現場におけるドローンを活用した先行事例の技術情報を収集した。

#### イ 他産業の先行事例についての調査

他産業（農業、建設業等）における、造林に応用できる可能性のあるドローン等を活用した先行事例について、技術情報を収集した。

#### ウ 文献調査

ドローンを活用した造林技術について、学術論文等から現状における技術体系や課題に関する情報を収集した。

#### エ 分析

ア～ウの調査により把握された造林技術や先行事例等について、日本国内の造林現場での活用・普及の実現可能性について分析を行った。

### 1.3.4. ドローンを活用した苗木等運搬（手動飛行）の実証

ドローンを用いた植栽時の苗木等運搬のうち、ドローンを手動で操縦し、苗木等をひとまとまりとして運搬する場合について1.3.3の結果を踏まえ下記の通り実証等を行った。実証等はあらかじめ林野庁担当者と手法について協議のうえ実施した。

#### ア 苗木等運搬に適したドローンの選定、アタッチメント等の規格の検討

#### イ ドローンによる苗木等運搬の実証

#### ウ ドローン運搬による苗木の生育への影響評価・省力化・低コスト化への寄与度の評価を行うためのプロットの設定

#### エ 歩掛調査および人力運搬との比較分析

### 1.3.5. ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等

1.3.3.エにより、ドローンを活用した新たな造林技術としてピンポイント薬剤散布、荒廃地への播種・吹付による緑化、植栽穴の自動マーキング、ピンポイント苗木配置、ドローン運用管理システムの実現可能性を調査・分析し、活用・普及に向けて実現可能性が高いと判断された3テーマについて次年度に向けた開発計画を策定した。

### 1.3.6. 事例集（パンフレット）の作成

1.3.3 の調査結果および 1.3.4 の実証結果をもとに、優良事例や調査・分析結果についてパンフレットを作成した。

## 2. 事業成果要約

令和2(2020)年度における本事業の成果を以下に要約した。

### 2.1. 検討委員会の設置・運営

検討委員会は、委員を5名とし、令和2(2020)年8月31日、12月22日、令和3(2021)年2月17日の計3回実施した。

第1回検討委員会では、本事業の計画や、調査・分析内容、次年度以降の検討テーマ候補、文献調査結果、苗木等運搬実証調査結果(1箇所)について報告した。

第2回検討委員会では、苗木等運搬の実証調査結果(3箇所)やヒアリングによる情報収集結果、事例集(パンフレット)の素案のほか、次年度以降検討すべきドローンを活用した新たな造林技術のテーマの検討案を報告した。その結果、「植栽穴の自動マーキング」、「荒廃地への播種・吹付」、「造林技術の運用管理システム」について次年度以降、開発・検討することが承認された。

第3回検討委員会では、苗木等運搬の実証調査結果(3箇所)とその課題整理、次年度以降の検討テーマの開発計画案、事例集(パンフレット)案について報告し、技術的助言等がなされた。

### 2.2. 全体計画の作成

本事業は5年間を予定していることから、5年間の全体計画を作成し、第1回検討委員会において内容を提示し、検討委員から承認を得た。

その後、第2回検討委員会において、「ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等」に係るテーマとして、③荒廃地への播種・吹付、④植栽穴の自動マーキング、⑥ドローン運用管理システム、の3つを提案し、承認された。このため、第3回検討委員会において、再度全体計画を整理し、提示した(表2-1)。

表 2-1 テーマ選定後の全体計画

実施内容		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
ドローンを活用した造林技術の調査・分析		情報収集調査、分析、可能性の明確化、事例集(パンフレット)の作成	(必要に応じ、ドローンが活用できる下記以外の造林技術についての情報を収集)			
○ドローンを活用した苗木等運搬		事例調査、現地実証	現地検証、工程の最適化、マニュアル作成		技術の向上や現場での意見等から、必要に応じて工程やマニュアルを部分改良	
ドローンを活用した新たな造林技術の開発	① 植栽穴の自動マーキング ② 荒廃地への播種・吹付	ドローン活用の実現に向けた作業・開発計画の作成	実施手法、アタッチメント等の検討、技術協力先の選定、既存機種での現地実証	アタッチメント、飛行プログラムの開発	開発機種での現地実証、効果の検証、改良、マニュアル作成	
	③ ドローン運用管理システム		コスト分析、共有システムの概略設計、情報共有基盤の開発、森林クラウドとの連携の検討、一部実証	現地実証、森林クラウドとの連動実証、マニュアル作成、普及啓発		

## 2.3. ドローンを活用した造林技術の事例調査・分析

ドローンを活用した国内・海外の造林技術等について、①国内外の先行事例、②他産業の先行事例、③文献情報を収集し、日本国内の造林現場での活用・普及の実現可能性について分析を行った。また、優良事例や後述の苗木等運搬の実証事例について紹介する事例集（パンフレット）を作成した。

### 2.3.1. 情報収集調査結果

情報収集については、本事業の検討テーマである、①植栽穴の自動マーキング、②苗木等運搬、③薬剤等散布、④荒廃地への播種・吹付による緑化、⑤ピンポイント苗木配置、⑥ドローン運用管理システムについて主に着目し、文献調査とヒアリング調査により実施した。

文献調査については、主に①～⑤に関するドローンの活用の国内外の事例について資料収集を行い、概要を整理した。

ヒアリング調査については、ドローン開発・販売会社や林業事業者等に①～⑥についてヒアリングを実施し、国内の造林現場での活用・普及について意見を聴取した。

### 2.3.2. 活用・普及の実現可能性についての分析結果

前述の情報収集結果を踏まえ、国内の造林現場での①～⑥に関するドローンの活用・普及について、必要性、実現性、将来性の点から検討した。その結果、「植栽穴の自動マーキング」、「荒廃地への播種・吹付」、「造林技術の運用管理システム」を今後、ドローンを活用・普及していくべきテーマとして選定し、第2回検討委員会において承認された。

## 2.4. ドローンを活用した苗木等運搬（手動飛行）の実証

ドローンを用いた苗木等運搬について、実証調査を設計し、実施した。

実証にあたっては、①実証地・実証に用いるドローンの機種・ドローンを操縦する事業者の選定、②苗木等運搬の実証・規格の最適化のための調査方法の検討、③ドローン運搬による苗木の生育への影響評価・省力化・低コスト化への寄与度の評価を行うための植栽プロットや苗木運搬プロットの設定、④歩掛調査および人力運搬との比較分析を行った。

①実証地、使用ドローン、業者の選定等については、発注者と相談し、次のとおりとした（表 2-2）。

表 2-2 実証地および運搬業者等

実証地	所有形態	操縦	運搬業者	機種 (メーカー)	運搬 可能量	実証調査 時期	実証 No.
茨城県 大子町	国有林	2 オペ	(株)ストーンモリス (ドローン関連会社)	M1000 (mazex)	10.4kg	10/6-7	1
群馬県 東吾妻町	国有林	2 オペ	(株)DroneWorkSystem (DWS) (ドローン関連会社)	EAGLE15 (DWS)	15kg	11/10-11	2
				EAGLE24 (DWS)	24kg	11/10-11	3
兵庫県 神河町	社有林	1 オペ	住友林業(株) (林業事業者)	森飛ウインチ運搬 型 (mazex)	8kg	11/16-18	4

実証地	所有形態	操縦	運搬業者	機種 (メーカー)	運搬 可能量	実証調査 時期	実証 No.
和歌山県 日高川町	社有林	1 オペ	円陣(株) (ドローン関連会社)	森飛 ウィンチ運搬 型 (mazex)	8kg	7/28-29	5
		2 オペ	東洋エンジニア(株) (ドローン関連会社)	森飛 2 オペ運搬型 (mazex)	10.4kg	7/28-29	6
和歌山県 田辺市	社有林	2 オペ	(株)中川 (林業事業体)	いたきそ (上道キカイ)	15kg	9/9	7
山口県 山口市	国有林	2 オペ	(株)中川 (林業事業体)	いたきそ (上道キカイ)	15kg	11/11-13	8
宮崎県 延岡市	民有林	1 オペ	延岡空撮 (ドローン関連会社)	E616 (ARRIS)	約 10kg	12/16-18	9

②苗木等運搬の実証・規格の最適化のための調査方法については、各実証の比較ができるよう、ドローンでの苗木運搬の往復時間や運搬後の植栽時間の計測を行ったほか、ドローンでの苗木設置方式等、運搬方法の特徴の記録をとった（表 2-3）。

表 2-3 各実証でのドローン運搬における操縦・苗木設置方式、平均運搬本数、運搬時間等

実証 No.	実証試験地	機種	操縦・ 苗木設置方式	総作業 人数	1日あたりの平均運搬	
					本数	往復時間(分)
1	茨城県大子町	M1000	2ハ°・自動	3	75	6.72
2	群馬県東吾妻町	EAGLE15	2ハ°・手動	5	50	3.66
3		EAGLE24	2ハ°・手動	5	100	3.66
4	兵庫県神河町	森飛(ウィンチ)	1ハ°・自動	1	60	5.84
5	和歌山県日高川町	森飛(ウィンチ)	1ハ°・自動	2	60	6.02
6		森飛(2ハ°)	2ハ°・自動	2	60	5.19
7	和歌山県田辺市	いたきそ	2ハ°・手動	5	10	2.15
8	山口県山口市	いたきそ	2ハ°・手動	5	100	2.20
9	宮崎県延岡市	E616	1ハ°・自動	3	55	7.08

③ドローン運搬による苗木の生育への影響評価・省力化・低コスト化への寄与度の評価を行うための植栽プロットや苗木運搬プロットの設定について、植栽プロットに関しては各実証地の植栽エリアに「ドローン運搬した植栽木の植栽プロット」と「人力またはクローラ運搬した植栽プロット」（それぞれ6×6=36本植栽）を設定し、植栽事業者が通常通りの方法で植栽した。

苗木運搬プロットに関しては、現地の実証地の環境を考慮し、植栽事業者と相談の上、植栽事業者が一番植栽しやすい配置とした。

④歩掛調査および人力運搬との比較分析については、ドローンによる運搬人工と運搬から3,000本植栽までにかかる人工（運搬+植栽人工）を算出し、人力運搬等と比較した。なお、各実証地では、通常の運搬として、人力による運搬またはクローラによる運搬が行われていた。このため、各実証地の通常の運搬方式を考慮し、ドローン運搬での人工と人力運搬での人工またはクローラ運搬での人工を比較した（表 2-4）。



表 2-4 各実証でのドローンおよび人力またはクローラによる運搬人工等

実証 No.	都道府県	機種	苗木 設置 方式	3,000 本あたりの人工数(人日/3,000 本)								集材 方式
				ドローン		人力		クローラ		クローラ+人力		
				運搬	運搬+植栽	運搬	運搬+植栽	運搬	運搬+植栽	運搬	運搬+植栽	
1	茨城県	M1000	自動	3.1	16.3	—	—	0.7	13.9	—	—	車両系
2	群馬県	EAGLE15	手動	4.3	13.8	—	—	0.1	9.6	—	—	車両系
3		EAGLE24	手動	3.0	12.5	—	—	0.1	9.6	—	—	車両系
4	兵庫県	森飛 (ウインチ)	自動	1.4	14.3	—	—	—	—	3.1	37.5	架線系
5	和歌山県	森飛 (ウインチ)	自動	2.1	14.8	6.7	18.8	使用不可		—	—	架線系
6		森飛 (2本 <sup>*</sup> )	自動	1.8	14.5	6.7	18.8	使用不可		—	—	架線系
7	和歌山県	いたきそ	手動	—(資材運搬)		—(資材運搬)		使用不可		—	—	—
8	山口県	いたきそ	手動	3.2	13.5	0.9	12.5	使用不可		—	—	車両系
9	宮崎県	E616	自動	3.4	13.4	1.9	12.5	使用不可		—	—	架線系

※太字は最も効率が良かった（人工数が少なかった）部分を示す。

## 2.5. ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等

2.3.2 において今後、ドローンを活用・普及していくべきテーマとして選定した「植栽穴の自動マーキング」、「荒廃地への播種・吹付」、「造林技術の運用管理システム」について次年度以降に向けたロードマップを作成した。

## 2.6. 事例集（パンフレット）の作成

前述の情報収集結果や後述の苗木等運搬の実証調査結果を踏まえ、造林分野へのドローンの活用の優良事例や、今後更なる開発や普及が期待される事例を紹介する事例集（パンフレット）を作成した。

### 3. 検討委員会の設置・運営

#### 3.1. 検討委員会の設置

本事業の実施において、「ドローンを活用した新たな造林技術の実証・調査検討委員会」を設置した。

検討委員会は、森林経営、低コスト育林、ドローン技術、農業等に関する学識経験者5名の構成とした。検討委員会の委員を次に示す（表 3-1）。

表 3-1 検討委員会の構成(五十音順・敬称略)

検討委員	所属・役職等
岩瀬 将美	東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 教授
児玉 和久	和歌山県 農林水産部 森林・林業局 森林整備課 課長
杉浦 綾	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業情報研究センター 画像認識チーム長
寺岡 行雄	鹿児島大学 農学系農林環境科学科 教授
山川 博美	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 九州支所 森林生態系研究グループ 主任研究員

#### 3.2. 検討委員会の運営

検討委員会は、令和2(2020)年8月31日、12月22日、令和3(2021)年2月17日の計3回実施した。実施方式は、新型コロナウイルス感染防止対策としてWEB会議方式とした。検討委員会では、調査方法やデータ分析の技術的指導および助言がなされたほか、調査結果や成果の取りまとめ等について検討した。検討委員会の実施日および議事を示す（表 3-2）。なお、議事概要については巻末に掲載した。

表 3-2 検討委員会の実施日と議事

検討委員会実施日	議事
第1回検討委員会 (令和2(2020)年8月31日)	(1) 5年間計画について (2) ドローンを活用した造林技術の調査・分析について (3) ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等について (4) ドローンを活用した苗木等運搬について (5) その他
第2回検討委員会 (令和2(2020)年12月22日)	(1) ドローンを活用した苗木等運搬の実証結果について (2) ドローンを活用した造林技術の情報収集結果および新たな造林技術のテーマ選定について (3) 事例集(パンフレット)の素案について (4) その他

検討委員会実施日	議事
第3回検討委員会 (令和3(2021)年2月17日)	(1) ドローンを活用した苗木等運搬の実証結果とその課題整理について (2) ドローンを活用した新たな造林技術(植栽穴の自動マーキング、荒廃地への播種・吹付による緑化、ドローン運用管理システム)の実用化に向けた作業・開発計画(案)について (3) 事例集(パンフレット)案について (4) その他

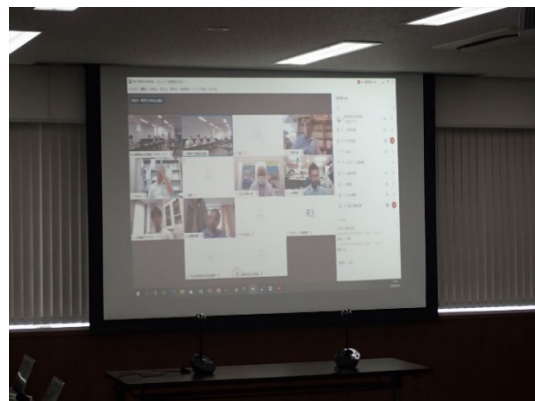


写真 3-1 第1回検討委員会

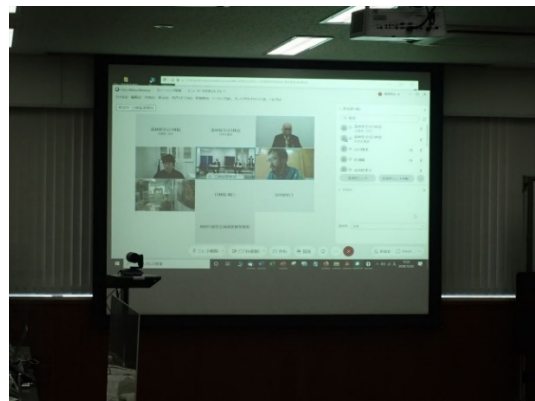


写真 3-2 第2回検討委員会

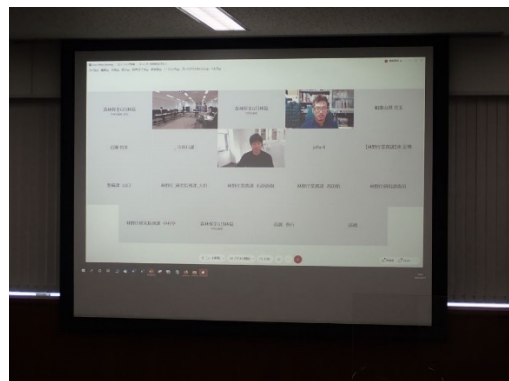


写真 3-3 第3回検討委員会

## 4. 全体計画の作成

本事業は5年間で予定していることから、5年間の全体計画を作成し、第1回検討委員会において内容を提示し、検討委員から承認を得た（表 4-1）。

表 4-1 第1回検討委員会で提示した全体計画

実施内容	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
ドローンを活用した造林技術の調査・分析	調査、分析、可能性の明確化等、事例集（パンフレット）の作成	（必要に応じ、補足的に追加実施）			
①ドローンを活用した苗木等運搬（手動飛行）の実証	事例調査、現地実証	現地検証、工程の最適化、マニュアル作成		必要に応じ部分改良	
ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等 ② 植栽穴の自動マーキング ③ ピンポイント苗木配置 ④ ピンポイント薬剤等散布 ⑤ 荒地地への播種・吹付	事例調査 ↓ 実現可能性の判断 ↓ 項目選定	解析手法の開発、アタッチメント機構の開発		現地実証、効果の検証、改良	
⑥ドローン運用管理システム		要求スペックの検討、システムの概略設計	システム開発	現地実証、各作業に適応するための試行、改良	
ドローンをフル活用した造林事業のマニュアル作成（順次更新）					

その後、第2回検討委員会において、苗木等運搬の実証等を今後も継続すること、「ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等」に係るテーマとして、③荒地地への播種・吹付、④植栽穴の自動マーキング、⑥ドローン運用管理システム、の3つを提案し、承認された。

このため、第3回検討委員会において、再度全体計画を整理した（表 4-2）。

表 4-2 テーマ選定後の全体計画

実施内容		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
ドローンを活用した造林技術の調査・分析		情報収集調査、分析、可能性の明確化、事例集（パンフレット）の作成	（必要に応じ、ドローンが活用できる下記以外の造林技術についての情報を収集）			
○ドローンを活用した苗木等運搬		事例調査、現地実証	現地検証、工程の最適化、マニュアル作成		技術の向上や現場での意見等から、必要に応じて工程やマニュアルを部分改良	
ドローンを活用した新たな造林技術の開発	① 植栽穴の自動マーキング ② 荒廃地への播種・吹付	ドローン活用の実現に向けた作業・開発計画の作成	実施手法、アタッチメント等の検討、技術協力先の選定、既存機種での現地実証	アタッチメント、飛行プログラムの開発	開発機種での現地実証、効果の検証、改良、マニュアル作成	
	③ ドローン運用管理システム		コスト分析、共有システムの概略設計、情報共有基盤の開発、森林クラウドとの連携の検討、一部実証	現地実証、森林クラウドとの連動実証、マニュアル作成、普及啓発		

## 5. ドローンを活用した造林技術の事例調査・分析

### 5.1. 調査・分析方法

ドローンを活用した造林技術の調査・分析に当たっては、ドローンの活用が期待される造林技術を①苗木等運搬、②植栽穴の自動マーキング（植栽準備）、③ピンポイント苗木配置、④薬剤等散布、⑤荒地地への播種・吹付による緑化、⑥ドローン運用管理システムの6テーマに分け、事例調査やそれぞれの課題の整理を行い、国内の造林現場での活用・普及の可能性について分析した（図 5-1）。



図 5-1 ドローンの活用が期待される造林技術（第1回検討委員会資料を一部修正して抜粋）

事例調査については、主に文献調査、ヒアリング調査により、国内・海外における①～⑥の造林技術のテーマに関するドローンの活用の先行事例や各テーマに応用可能な他産業におけるドローンの活用の先行事例についての情報を収集し、事例の内容や課題を整理した。さらに、ドローンビジネスの現状を整理した報告書である「ドローンビジネス調査報告書 2020」（株式会社インプレス）から農林水産業や関連他産業・他分野からみたドローンの現場実装にあたっての現況・課題について整理した。

国内の造林現場での活用・普及の実現可能性については、次年度以降取り組むべきテーマの選定を目的として、以上の結果をもとに、各テーマ別に必要性（需要）、実現性（技術・環境条件）、将来性、応用可能性等を整理・分析した。なお、①の苗木等運搬については、既に各地で活用が始まっており、次年度以降は現状の課題を踏まえ、運搬工程の最適化や運搬に適したドローンの規格等について検討することとしたため、実現可能性の整理・分析からは除外した。

## 5.2. 事例調査結果

### 5.2.1. 国内・海外におけるドローンを活用した造林技術の事例

国内・海外におけるドローンを活用した造林技術の事例調査結果については、まず文献調査結果概要とヒアリング調査結果概要を説明した後、テーマ別の調査結果と課題について詳細を整理して報告する。

#### (1) 文献調査結果概要

造林へのドローンの活用については、近年始まったばかりであり、学術的な情報が少ないため、主に WEB 上から情報を収集し、先行事例や最新動向を把握した。情報収集にあたっては、日本語、英語、フランス語、スペイン語でドローン造林に関する記事等を検索し、農業等、関連他産業における造林に応用可能なドローンの活用技術についても情報を収集した。また、記事内にあった社名については、別途社名で検索し、追加・補足情報を収集したほか、国内における造林へのドローンの活用事例について都道府県へ照会を行い、情報を収集した。

以上の結果、収集した情報を、①苗木等運搬、②植栽穴の自動マーキング（植栽準備）、③ピンポイント苗木配置、④薬剤等散布、⑤荒廃地への播種・吹付による緑化、⑥ドローン運用管理システム、のテーマ別に分類すると次のとおりであった（表 5-1）。

なお、②と③は両方の内容を含む場合があったため、統合して集計し、①～⑥に分類できないものの、造林技術に関する活用事例については、「⑦その他」として集計した。他分野からの情報としては、農業分野でドローンを活用した農薬散布の情報が得られたため、④に分類した。

表 5-1 文献調査結果一覧

事例の種類	件数 (重複あり)	内訳(重複あり)		
		国内(林業)	国内(その他)	海外
①苗木等運搬	23	22	1	0
②植栽穴の自動マーキング等(植栽準備)	4	1	0	3
③ピンポイント苗木配置				
④薬剤等散布	8	4	4	1
⑤荒廃地への播種・吹付による緑化	8	1	0	7
⑦その他	13	9	0	4

※収集した文献の詳細については、巻末に掲載した。

収集した文献については、①苗木等運搬が 23 件、②植栽穴の自動マーキング等（植栽準備）および③ピンポイント苗木配置が 4 件、④薬剤等散布が 8 件、⑤荒廃地への播種・吹付による緑化が 8 件、⑦その他が 13 件（それぞれ重複含む）であった。⑥ドローン運用管理システムについては、情報が得られなかった。

収集文献を国内と海外に分けると、国内では①苗木等運搬の情報が際立って多かったため、国内でのドローンを活用した造林技術は、苗木等運搬が主流であることがわかった。一方、海外では⑤荒廃地への播種・吹付による緑化の情報が多かったため、苗木等運搬よりも播種・吹付による緑化の方が主流であると考えられる。

国内で苗木等運搬の情報が多かったことについては、既に苗木等運搬の取組が国内各地で始まっていることによると考えられる。また国内で 2 番目に事例の多かった②薬剤等散布については、

農業分野で農薬散布にドローンが活用されており、その技術が森林での薬剤散布にも応用されていることによると考えられる。

なお、⑦その他については、森林全体の三次元計測や、毎木調査、施業状況や獣害ネットの状況の確認、架線設置、森林内の樹種の分類、森林の健全性の監視等の内容であった。



## (2) ヒアリング調査結果概要

ヒアリング調査については、前述の文献調査や本事業の検討委員からの情報等により明らかとなった、既にドローンを活用した造林を行っている事業者・研究機関や、関連他産業においてドローンを活用している事業者に対してヒアリング（聞き取り）を行い、実際の実施事例の詳細や今後の課題に関する情報を収集した。

情報収集先（ヒアリング先）一覧を①～⑥の各テーマ別に示す（表 5-2）。

表 5-2 情報収集先一覧

内容	情報収集先	実施日
①苗木等運搬	マゼックス(株)・カタログ【機体情報】	2020年9月11日
	(株)中川、和歌山県、田辺市【活用事例】 上道キカイ(株)、円陣(株)【機体情報】	2020年9-10月
	ciRobotics(株)	2020年12月14日
	(株)井川林業【活用事例】 延岡空撮【機体情報】	2020年12月16-18日
	(株)DroneWorkSystem・カタログ	2020年11月6,10日
②植栽穴の自動マーキング等（植栽準備）	(株)中川	2020年9月8日
	森林総合研究所北海道支所	2020年11月26日
	ルーチェサーチ(株)	2020年12月11日
③ピンポイント苗木配置	(株)中川	2020年9月8日
	(株)オプティム	2020年10月29日
	森林総合研究所北海道支所	2020年11月26日
	ルーチェサーチ(株)	2020年12月11日
④薬剤等散布	(株)中川	2020年9月8日
	ヤマハ発動機(株)	2020年10月26日
	(株)オプティム	2020年10月29日
	茨城森林管理署	2020年1月20日
⑤荒廃地への播種・吹付による緑化	(株)オプティム	2020年10月29日
	森林総合研究所北海道支所	2020年11月26日
⑥ドローン運用管理システム、その他(物資運搬、計測等)	ブルーイノベーション(株)	2020年9月3日、12月1日
	(株)オプティム	2020年10月29日
	森林総合研究所北海道支所	2020年11月26日
	(株)AileLinX	2020年12月4日
	ルーチェサーチ(株)	2020年12月11日

※ヒアリング結果の詳細については、巻末に掲載した。

①苗木等運搬については、実際にドローンを用いた苗木等運搬を行っている林業事業者や地方自治体、林業用ドローン開発業者に対してヒアリングを実施し、ドローンの活用にあたってのメ

リットや課題、今後の展望についての意見や情報を入手した。なお、苗木等運搬のヒアリングを実施した造林業者やドローン開発業者、地方自治体については、後述の現地実証においても協力頂いた。

②植栽準備（植栽穴の自動マーキング）については、既にマーキングの実証を行っている森林総合研究所北海道支所とドローンによる苗木等運搬を実施している林業事業体に対してヒアリングを実施し、実施事例や実施上のメリット、課題等についての意見や情報を入手した。

③ピンポイント苗木配置については、造林プランニングシステムや立木位置情報管理システムを開発している森林総合研究所北海道支所やピンポイント農薬散布の技術を有するシステム開発業者、ドローンによる苗木等運搬を実施している林業事業体に対してヒアリングを実施し、実施上のメリットや課題等についての意見や情報を入手した。

④薬剤等散布については、既に森林で薬剤散布の実証を行っている行政機関や事業者のほか、関連分野として農業において農薬散布等の実績がある事業者、ドローンによる苗木等運搬を実施している林業事業体に対してヒアリングを実施し、実施事例や実施上のメリット、課題等についての意見や情報を入手した。

⑤荒廃地への播種・吹付による緑化については、文献調査でも国内では一事例しか見つからず、実証経験のある業者・団体等にはヒアリングできなかったが、自動マーキングの実績のある森林総合研究所北海道支所や水田での播種技術を有するシステム開発業者に対してヒアリングを実施し、実施上のメリット、課題や実施の可能性についての意見や情報を入手した。

⑥ドローン運用管理システムについては、造林プランニングシステムや立木位置情報管理システムを開発している森林総合研究所北海道支所やシステム開発業者等に対してヒアリングを実施し、実用が望まれるシステムや実施上の課題についての意見や情報を入手した。

また、ヒアリング情報のみからドローンの活用事例についての詳細や専門的な情報の整理を行うのが難しい部分もあったため、以下の機関・企業については、原稿執筆依頼を別途行い、ドローンの活用の先行事例について詳しく整理した（表 5-3）。また、執筆頂いた原稿については後述のパンフレット作成にも活用した。

表 5-3 原稿執筆依頼先一覧

No.	執筆依頼機関・企業	主な内容	備考
1	住友林業株式会社	ドローンによる苗木等資材運搬の事例	民間企業
2	株式会社井川林業	ドローンによる苗木等資材運搬の事例	民間企業
3	株式会社 DroneWorkSystem	ドローンによる苗木等資材運搬の事例 ドローンによる農薬散布の現況	民間企業
4	シーアイロボティクス株式会社	ドローンによる苗木運搬等にかかるシステム開発技術	民間企業
5	ヤマハ発動機株式会社	ドローンによる薬剤散布技術	民間企業
6	森林総合研究所北海道支所 北方林管理研究グループ長 古家 直行 氏	ドローンによる造林プランニングおよび立木位置管理システム等	研究機関
7	ルーチェサーチ株式会社	林業に係るドローンのシステム開発事例	民間企業

### (3) 各テーマ(①～⑥)別の調査結果と課題の整理

#### ① 苗木等運搬

ドローンによる苗木等運搬について、文献によりドローンの活用事例を収集したほか、後述の現地実証においてドローンによる運搬を行った事業者や開発会社に対してヒアリングおよび原稿執筆依頼を行い、実施事例や実施上のメリット、課題等についての意見や情報を入手した。

#### 1) 文献調査

文献調査においては、苗木等運搬に係るドローンの活用事例を次のとおり 23 件収集した(表 5-4)。

表 5-4 ドローンによる苗木等運搬に係る活用事例の概要(2020 年時点)

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
1	林業	北海道	ドローンを導入し、運用に向けて検討	王子木材緑化(株)	—
2	林業	岩手県	県による苗木運搬の実証実験が行われ、人力より約 4 倍効率的な運搬を実証	岩手県	—
3	林業	秋田県	市による造林作業の省力化を目的とした苗木運搬の実証試験を実施	秋田県大館市	
4	林業	東京都	委託先との共同作業により索道先行ロープ、シカ柵資材、苗木を運搬	東京都森林組合 (株)ストーンモリス	M1000
5	林業	東京都	苗木運搬・鹿柵の資材運搬	立山産業株式会社	森飛
6	林業	東京都	ドローンを購入し、テスト運搬	(株)山恵	森飛
7	配送	長野県	目視外自律飛行による配送サービスを実施	(株)プロドローン	PD6B-Type3
8	林業	岐阜県	造林資材(裸苗、ツリーシェルター、支柱)の運搬実験を実施	岐阜県森林技術開発・普及コンソーシアム 郡上市森林組合 SAITOTEC	KATANA および YOROI
9	林業	三重県	委託事業として架線集材や再造林に必要な資材の運搬を実施	上道キカイ	
10	林業	兵庫県	ドローンによる苗木運搬研修会の開催	DJI	Matrice600
11	林業	和歌山県	特大ドローンによる 20kg 程度の資材運搬	和歌山県 上道キカイ(株)	
12	林業	和歌山県	大型ドローンによる 3 kg 程度の資材運搬		

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
13	林業	和歌山県	苗木・獣害防止ネットを運搬し、人工数を約44~67%省力化	上道キカイ	UNM3
14	林業	和歌山県	スギコンテナ苗約12,000本を運搬	和歌山県 株式会社マゼックス 株式会社住友林業	森飛
15	林業	和歌山県	人工造林地において運搬試験を実施	上道キカイ(株)	UKNシリーズ
16	林業	和歌山県	基本的に自社で行う人工造林においては、ドローンによる運搬を実施	株式会社中川	UKNシリーズ
17	林業	徳島県	ドローンによる苗木運搬のデモを実施	木頭森林組合	森飛
18	林業	徳島県	委託でドローンによる苗木運搬を実施	三好東部森林組合	森飛
19	林業	徳島県	苗木運搬用ドローンの自社試験を実施	D-PLAN(株)	
20	林業	高知県	植栽現場で苗木運搬を実施	大豊町森林組合	Matrice600pro
21	林業	大分県	スギ苗木とシカ食害防止ネットを運搬、苗木もネットも人力より効率的な運搬を実施	シーアイロボティクス(株) 佐伯広域森林組合	
22	林業	宮崎県	低コスト化に向けたドローンによる実証試験を実施	県中部農林振興局	
23	林業	宮崎県	デモを実施	株式会社明光社	AGR16

苗木等運搬の実施地域については、特に和歌山県が多かった。和歌山県には、林業用ドローンを開発している上道キカイ(株)や、自社でドローンを購入・活用している株式会社中川が所在していることによると考えられる。

また、活用事例については、実証試験等も多かった。苗木運搬におけるドローンの活用は、まだ始まった段階の地域も多いと考えられる。苗木等運搬の実証・実施については、自社で行っている場合と委託の場合があった。苗木運搬用ドローンは小型ドローンよりも高度な操作技術が必要であり、価格も高いため、ドローン導入にあたっては年間の稼働率や購入・維持コストを考慮して購入か委託かを検討する必要があると考えられる。

## 2) ヒアリング調査

ヒアリングや原稿執筆依頼は苗木等運搬用ドローンの開発または販売や、ドローンによる苗木等運搬を実際に行っている事業者等(マゼックス(株)、株式会社中川、上道キカイ(株)、円陣(株)、ciRobotics(株)、株式会社井川林業、延岡空撮、株式会社DroneWorkSystem)に対して行った。

ヒアリング調査結果(カタログ内容、原稿執筆内容含む)から、ドローンの活用の判断基準や

効果、活用上の工夫や留意点、今後の可能性や課題、展望等について次の情報が得られた(表 5-5、表 5-6、表 5-7)。

表 5-5 苗木等運搬に係るドローンの活用の判断基準・効果

ドローンの活用の判断基準	ドローンの活用による効果
<p>&lt;維持管理面&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 維持管理費用は、保険やメンテナンス含め、年間約 200 万円かかるため、業務委託を 1 日約 30 万円とすると、年 7 回業務委託した場合(7 日×30 万=210 万)と、維持管理費用が同等程度となる。</li> </ul> <p>&lt;植栽地の環境&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 土場から植栽地までの高度差が 50m 超かどうかをドローンの活用の基準としている。</li> </ul>	<p>&lt;コスト面等&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 年間 30ha 植栽した時(裸苗: 15ha【4,000 本/ha】、コンテナ苗 15ha【2,500 本/ha】、運搬距離 200m、傾斜 35 度)の、1 年あたりの効果額は、1,246,342 円(人力運搬の年間労務費 2,836,130 円ードローン運搬の年間労務費 1,589,788 円)であった。また、初期投資価格(機体本体価格)は、3,050,000 円、年間維持管理経費は 500,000 円で、耐用年数を 5 年とすると、投資利益率は 112%{1,246,342 円÷(3,050,000 円÷5+500,000 円)}であった。</li> <li>▶ 苗木(コンテナ苗)運搬と資材運搬について人力と比較の実証を行ったところ、苗木運搬については、人力で 1 ha あたり 7 人日かるところをドローンの活用により 4 人日で運搬できたため、42.9%{(7-4) 人日÷7 人日}の省力化、資材運搬については、13 人日かかるところを 3 人日で運搬できたため、76.9%{(13-10) 人日÷13 人日}の省力化を達成した。</li> </ul> <p>&lt;体力面、その他&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 腰痛等の労災リスクがなくなったほか、怪我や体力の問題があった人が運搬作業に従事できるようになった。</li> <li>▶ 体力を必要とする作業をドローンに置き換えることで男女間の差がなくなり、女性従業員の雇用にもつながった。</li> <li>▶ ドローン操作技術等を社員同士が教えあうことにより社員間の交流が進んだ。</li> </ul>

表 5-6 苗木等運搬に係るドローンの活用の工夫・留意点等

ドローンの活用の工夫	ドローンの活用の留意点等
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 最大のペイロードで運搬するとバッテリーの消耗が激しくなるため、余裕を持たせた重量(最大重量の 7 割程度)で運搬している。</li> <li>▶ 苗木等を吊るすワイヤーは操作性や作業者の安全等に配慮し、5m と 6m を用意し、傾斜 30° 未満は 5m、30° 以上は 6m を使用している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 機体は防水加工しているため、小雨なら実行可能だが、ステーション、発電機は防水ではないため、ビニールをかぶせるなり屋根の下に置くなどして雨を避ける必要がある。</li> <li>▶ 前日に、バッテリー充電およびその他必要な持ち物等をチェックする。</li> <li>▶ 業務用ドローンの通常の保険に加入が必要。</li> <li>▶ バッテリーの消耗を防ぐため、運搬重量が 15kg の機体でも 10kg 程度の重量物を運搬するようにしている。</li> </ul>

ドローンの活用の工夫	ドローンの活用の留意点等
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ バッテリーは万が一落下しても衝撃を吸収し、発火しづらいハードケースに入れたまま使用している。</li> <li>▶ 飛行の安定性を高めるため、GPSを5つ搭載している（通常は2つ程度）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 運搬時間に大きく影響するのは、運搬距離よりもオペレーターの操縦技術や現場の状況。荷掛け、荷下ろし地点へスムーズにドローンを誘導できるか、またその時の風速、ドローンの異常な動き等の見極めが重要。</li> <li>▶ 上（空）を見ながら操縦することになり、太陽に対する目への負担が大きいため、サングラスが必要。</li> </ul>

表 5-7 苗木等運搬に係るドローンの活用の課題、今後の可能性・展望等

ドローンの活用の課題
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 事前の準備やバッテリー交換が課題。発電機や、バッテリーの充電、交換に関する技術が進歩すればさらに効率的になる。</li> <li>▶ 機体の操縦には熟練した技術が必要であり、オペレーターの養成においてサポートを強化していくことが課題。また、作業の安全性の確保のための管理体制構築も課題。</li> <li>▶ 山地でのドローンの活用が熟練したオペレーターにしかできないのであれば普及は難しいため、低コストで安全機能も確保されたユーザーフレンドリーな機体づくりが必要。</li> <li>▶ （通常のサングラスでは代用できるのでは？できないのであるならば、特殊事情を追記の上、イキ）</li> <li>▶ 防鹿柵は部材単位（ネット）で15kg程度あるため、ドローンの運搬最大重量の向上が課題。また、機体が揺れたり対象物が細かったりする場合は障害物センサが反応しづらい場合があるため、センサの精度向上が課題。</li> </ul>
今後の可能性・展望等
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 今後は生分解性のヘキサチューブの中に種子を混ぜ込んだ泥団子をドローンで運搬できるようになるとよい。</li> <li>▶ 苗木以外にも獣害対策資材や架線集材用資材の運搬をしたいとの要望が多く、より汎用性が高く、あらゆる現場に対応が可能なドローンの開発が求められる。</li> </ul>

以上より、ドローンによる苗木等運搬は実用が始まっているものの、各地でそれぞれ工夫しながら活用している現状が明らかとなった。また、バッテリー交換や操縦技術、運搬重量等の課題も多いことがわかった。

なお、本年度は、これらの情報収集結果に加え、苗木等運搬の実証調査を行っているため、後述の6章で報告する。

以下に、苗木等運搬を先行実施している事業体に執筆頂いた技術情報や実証事例に関する原稿を掲載する。

## 林業用苗木運搬ドローン「森飛ーmoritoー」

住友林業株式会社  
資源環境事業本部 山林部  
新居浜山林事業所 宮城 正明

### 1. 技術概要

日本の山林は主伐期を迎えており、2019年には山林の管理を積極的に行うため新たな森林管理法が施行された。山林の循環利用が求められている中で、主伐面積増加に伴う植栽面積の増加が考えられる。一方、林業従事者数は長期的に減少傾向で推移しており、特に植栽を含む育林従事者は減少しており、従事者の高齢化も伴い担い手不足が問題となっている。加えて、植栽現場では、1年を通じて生産できるコンテナ苗の普及が拡大しているが、裸苗と比べ、根鉢がある分重量が増し、人力での運搬可能本数に限りがある。また、急峻な植栽現場では車両運搬ができず、人力運搬となるだけではなく、高低差があるため強度の労働が強いられる。

そこで、近年様々な分野で活用・普及が進む「ドローン」に着目し、林業における植栽の省力化・効率化の実現を目指し、住友林業株式会社と株式会社マゼックス（農林水産航空協会認定国内ドローンメーカー）が共同で林業用苗木運搬ドローンの開発に取り組んだ。両社は、実際にドローンを必要とする山林の現場での実証試験を繰り返すことで、山林の厳しい気候や地形にも対応できるドローンを開発し、2020年2月にマゼックスより販売を開始した。

### 2. 技術内容

#### (1) 苗木運搬ドローンの特徴

- 特徴1

重労働であった苗木運搬を、ドローンで効率的に実施。1フライトで8kg（コンテナ苗40本～80本程度）の運搬が可能。ドローン苗木運搬は1人で操作可能であり、1時間で500本程度の運搬ができる。



図-1. 運搬イメージ

- 特徴 2

苗木の昇降は機体に取り付けられたウインチによる上下作業によって実施。傾斜地や斜面に囲まれた山林では、機体が斜面に接触する恐れがあるが、ウインチの上下動作によって、機体は安全な位置でホバリングした状態で苗木を降下できる。

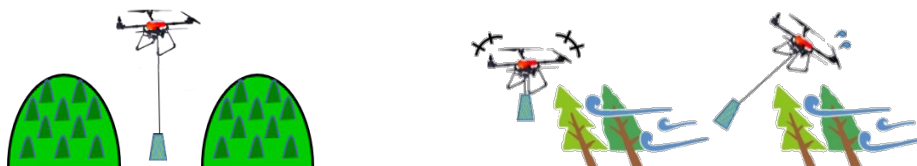


図-2. 傾斜地に囲まれた場所で苗木を下ろすイメージと風に吹かれた時のイメージ

- 特徴 3

植栽現場に到達し、苗木が着地したとき、専用フックにより、苗木の離脱を自動化。作業労務の軽減および作業者の安全性を確保。



図-3. 専用フックと苗木離脱の様子

- 特徴 4

苗木運搬ルートを確認させ自動飛行することでさらなる省力化を実現。専用のソフトに出発地と目的地の情報を登録することで、離陸と着陸以外の飛行については、ボタン一つで自動的に行うことが可能。苗木の運搬作業は、同じ場所に繰り返し荷下ろしを行うため、この機能を使うことで、省力的かつストレスフリーな飛行を実現できる。



図-4. 自動飛行イメージ

- 特徴 5

荷下ろし状態は、モニターで確認しながら作業可能。1人で苗木運搬作業を行う際、ドローンに搭載したカメラで荷下ろしの状態を確認することによって、離れた目的地での確実な荷下ろしをサポート。



図-5. 荷下ろし状況を確認

- 特徴 6

安全安心のために、手動操作による緊急帰還や、機体を見失った事態を想定した備えがある。1つ目は、機体の色およびLEDライトの色を機体本体の前後で変えることで機体方向の把握が容易にできる。2つ目は専用ソフトで機体の現在位置が表示できる。

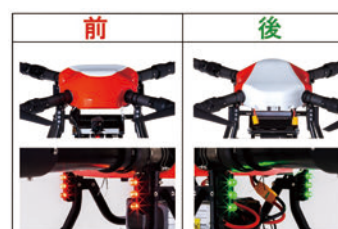


図-6. 機体前後の色



## (2) 実証試験

- (3) 主に2019年3月以降、住友林業四国社有林における皆伐後のコンテナ苗植栽現場にて、約60,000本の苗木運搬を行い、機能の改良と運搬能力の実証とを繰り返し行ってきた。
- (4) 人力による運搬と苗木運搬ドローンによる運搬能力の比較についても行った。使用した苗木はスギおよびヒノキのコンテナ苗で、1袋30~40本の苗が収納されているネットをそれぞれ丸1日運んだ。実施した結果を表-1に示す。ただし、特に人力による運搬は施業地の形状や歩行ルート状況により結果が異なると推測されるため、参考値として示す。

表-1. 試験結果

運搬方法	運搬時間 (分)	運搬重量 (kg/回)	運搬重量 (kg/時間)
人力運搬	<b>78.0</b>	<b>13.5</b>	<b>10.4</b>
苗木運搬ドローン	<b>5.0</b>	<b>7.5</b>	<b>90.0</b>

※現場条件：上荷作業（最大高低差150m）、最大水平距離400m（直線距離）

※運搬方法：【人力運搬】6名（1日6時間・休憩含む）

【苗木運搬ドローン】1名（苗木取付け含む）

表-1より、時間当たりの運搬重量を人力運搬と苗木運搬ドローンとで比較すると、上げ荷作業では、苗木運搬ドローンの方が、約8倍の運搬能力があることが示された。同様に下げ荷作業を行った場合、この差は4倍になったことから、上げ荷の場合に、特にドローンの運搬効果を発揮できるものと考えられる。

## 3. 山地でのドローン活用の課題と今後の展望

### (1) 2オペレーションシステム

安全性と運搬コストの削減を第一に考えて開発を進めてきた苗木運搬ドローンだが、起伏の激しい山林では、尾根越しなど、オペレーター1人だと目視が困難な場所もある。そのような場所で荷下ろしを可能にするのが、オペレーター2人が1台のドローン进行操作する2オペレーションシステムである。

具体的には、荷掛け場でドローン进行操作するオペレーターと荷下し場で操作する2人のオペレーターがいて、飛行経路の中間地点辺りで操縦権の受け渡しを行い、それぞれが操作する方法である。この方法もマゼックスが産業用ドローンでは国内で初めて採用した方式で、森飛（-morito-）の2オペレーションバージョンとして同時販売している。自動飛行機能がないため完全手動操作となることや、常時2人のオペレーターを必要とする一方で、10.4kgの荷物を吊り上げ、あらゆる地点への荷下しを可能にするというメリットを持ち合わせている。

### (2) 今後の展望

植栽事業における苗木運搬の課題を解決するために、これまで、住友林業とマゼックスとが共同で実証試験を繰り返すことによって、苗木運搬ドローンの開発に取り組んできた。2020年2月のマゼックスによる販売開始以降、様々な普及活動の中で見えてきたものは、苗木以外にも獣害対策資材などの営林事業に必要とする資材や、架線集材用資材など収穫事業に必

要とする資材を運搬したいという要望が数多くあるということだ。今後は、それらに対応できる積載能力を有する林業用のドローン開発と、より汎用性が高くあらゆる現場に対応が可能なドローンの開発が急がれると感じている。

#### 4. 商品に関する詳細・問合せ先

- 商品名 : 森飛 (morito) ウインチ型
- 発売日 : 2020年2月10日
- スペック
  - 機体寸法 : 全長 980×全幅 980×全高 572mm
  - 総重量 : 10.7kg (バッテリー含まず)
  - 動力源 : リポバッテリー (フライト時 1セット使用)
  - 最大搭載重量 : 8kg (ウインチ限界値)
  - 最大飛行時間 : 30分
  - 最大飛行距離 : 2,000m
  - 最大飛行速度 : 58km/h (Sモード) 30 km/h (Pモード)
  - 最大使用風速 : 7m/s
- 本体価格 : 268万円
- 参考HP : 株式会社マゼックス HP (<https://mazex.jp/product/2030>)
- 問合せ先
  - <製造・販売>
  - 株式会社マゼックス 電話 : 072-960-3221 mail : sp@matuzx.com
  - <共同開発>
  - 住友林業株式会社 資源環境事業本部 山林部 新居浜山林事業所
  - 電話 : 0897-37-2017

## 事例2 「ドローンによる苗木等資材運搬 (No. 2)」

# ドローンを活用した苗木運搬作業

株式会社 井川林業

### (1) ドローンを活用するに至る経緯

日本では、高齢化社会が進み少子化による働き手が不足していることから察しの通り林業界でも若者の労働力不足が深刻な問題である。中でも宮崎県では造林作業に従事する者が少なく、高齢であることから造林作業者の確保が困難となっている。そのため、中長期的に考えると今後も作業員の確保がさらに困難になることが予想される。そこで少しでも作業効率の改善や省力化を図るべく次世代の技術を取り入れようと今回ドローンを活用する取組を行った。

ドローンを使用するにあたり地元でも付き合いのある延岡空撮に作業依頼をお願いした。延岡空撮は農業用の農薬散布や架線系の現場でのリードロープの配線などドローン活用の実績があるため、そのノウハウを活かしドローンによる苗木運搬を依頼したことがあった。その際は本格的な苗木運搬作業には至らずドローンを使つての苗木運搬の状況を試験的に行うものであった。そのような経験から実際に活躍できる現場を探していた。

### (2) ドローンを活用できる現場

当社では、伐採跡地であればどこでも植林するのではなく、後世に保育管理しやすい現場・山林を選択し植林をすることを条件としている。しかしながら条件が良い現場だけでは労働現場の確保が難しいことから急傾斜地でも植林をせざるえない状況の中で、少しでも労働力の削減を図れないかと現場でのドローンの活用を試みた。今回の取組は、当社における初の施行現場における本格実施である。

作業現場は、宮崎県延岡市内にある契約民有林である（詳細な場所は非公開）。架線集材後の跡地であり、高低差 200m、頂上までの直線距離約 500m。全域が見渡せる場所があり、下から上に運搬する条件なため、ドローン操作もしやすいと判断した（図 1）。



図 1. 施行地全景

●がドローンによる苗木の運搬予定地

現場の面積は 4.54ha 植栽本数は 7,500 本と事業量としても大きく、また急傾斜地な為人力による作業よりもドローンを活用して労働力の軽減を実現できる条件が揃っている。従来の人力による苗木運搬ではかなりの重労働となる。通常の植栽作業は、午前植える苗木を現場に運び植栽作業を行い、昼休憩時に駐車位置まで戻り、午後に植栽する苗木を再び現場まで運び作業を行い 1 日に 300 本程度植栽する。現場の状況にもよるがベテランの作業員で一度に 100 本～150 本運搬するという時もあるが若手の作業員ではなかなかそうはいかず、厳しい労働環境を強いることとなる。ドローンでの運搬ならば機械的に運搬作業ができるため体力的な心配がない。

延岡空撮ではドローン操縦側に 2 人、荷受け側に 1 人の 3 人体制での運用となる。操縦側では 1 人はドローンを操縦し、もう 1 人がカメラにて周囲の状況を伝えドローンの誘導や苗木の荷掛け、バッテリーの交換等前後の段取りを行う。荷受け側ではドローンの誘導や荷の切り離しの無線合図等を行う。荷受け側の細かい無線指示が安全に運搬する要でもある。また事前に荷下ろし位置の選定も必要となってくる。



図 2. ドローン操縦側の操作風景



図 3. 荷受け側の指示（写真左）による荷物の切り離し

### (3) 今後のドローン実用化に向けた展望

今回、苗木運搬のみをドローンで行ったが宮崎県北部の植林地では、ほぼすべての現場で防鹿ネットを敷設することが施業条件の一つである。そのため、防鹿ネット資材を運搬できるようにドローンの大型化とそれが実行できる運用コストが最大の課題であると思われる。また造林作業員の減少、不足から下刈り作業に代わる農薬散布等も視野に入れて活躍の場を考えていきたい。それが可能となれば、ドローンを活用した造林現場の普及率ははるかに高まると思われる。

今回の事業地では防鹿柵の運搬及び設置に約 40 人工かかり運搬作業も人力によりかなりの労働力が求められた。ドローンを活用できればはるかに人工を抑えることができる。防鹿柵の部材単位の最大重量は約 15 kg (ネット)。今回使用したドローンの許容運搬重量は約 10 kgであったため防鹿柵の運搬は断念した。しかしドローンの大型化が実現できれば一回の運搬量も増えることからドローンの稼働時間も減らすことができ、作業人工も減らせるのではないかと期待できる。

## 搬送用ドローン EAGLE15/24 における事例

株式会社 DroneWorkSystem

弊社の搬送用ドローン EAGLE15/24 はともに 15 kg、24 kg までの物資を搬送できる機体として主に林業分野にて実証実験、苗木や防獣柵運搬に活躍してきた。機体販売実績はない。

2 オペレーターによる操縦切換え機能、ドローン用搬送投下ユニット（特許第 6763578 号）が標準装備され、荷揺れ防止に関しても独自のフライトコントローラの味付けによりピタリと抑える能力を持つ。公的機関にもその実力は認められ、和歌山県橋本市に導入され、普段は農業散布、非常時には物資搬送用として「嵯峨谷 縁の会」にて所有されている。

現在までの実証例はすべて 2 オペレーターが山頂付近に来た機体を目視、操縦を切り替えて作業を行う 2 オペ方式である。全国各地でのデモや社内実証を含めば数多くあるが、主なところでは宮崎県山中において「ドローンによる苗木搬送実証実験」、三重県山中にて「防獣柵運搬事業」、そしてこの度、群馬県東吾妻町にて「林野庁 令和 2 年度ドローンを活用した新たな造林技術の実証・調査事業」に参加。

今回の事業ではアカマツの苗木 1 梱包 50 本あたり約 9.2~10.2 kg の土のう袋を水平距離約 200 m 高低差約 70m の区間を搬送。AM9:00~PM15:00 の作業時間（昼休み 1 時間あり）で 3,000 本ほどに及ぶ苗木を指定された位置へピンポイントで搬送した。1 回の搬送量は EAGLE15 で 50 本、重さ約 10 kg 程、1 往復に要した時間は 2 分 30 秒ほどだった。EAGLE24 は作業お披露目的に後半、3 フライトほどしたが、1 往復のフライト時間はほぼ同様であり、1 回のフライトで運ぶ量は EAGLE15 の 2 倍であった。

機体の操縦には熟練した技術も必要であり、この機体を量産する体制は出来ているものの、オペレーターの指導、習熟においてはサポートを強くしていくことも 1 つの課題である。

今後の展望として、より多くのペイロード、飛行時間といったものを更に進化させていくことを念頭において開発に携わっている。またハイブリットエンジン機（エンジン動力にて発電し、電力をバッテリーに供給、モーターを回す。）の開発も進み、以前のモデルより一新し来春以降の発売を検討中である。それによってペイロードはエンジンの重量もあり、8 kg 程度にはなるが 40 分以上の長時間作業、また燃料がバッテリーではなく混合ガソリンとなるので多くのバッテリーを山中に持ち込まなくても済むようになる。





搬送用ドローン EAGLE (上) セット内容によるが価格は 15 で 300 万円程、24 で 360 万円程 (いずれもセット価格)

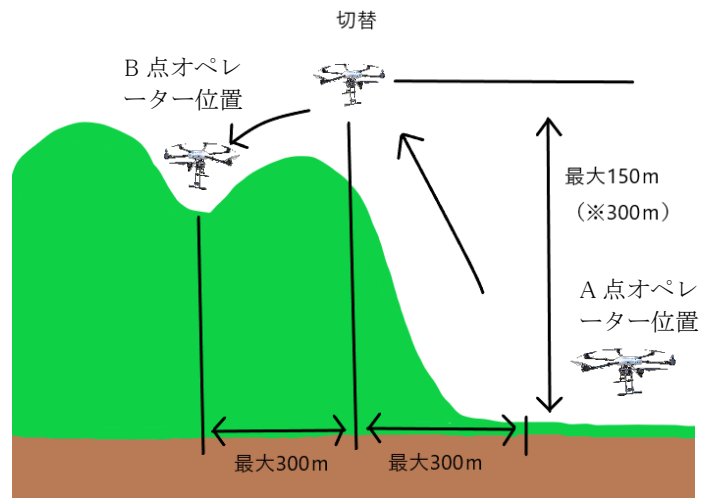


鉄ホイールのタイヤを吊って飛ぶ EAGLE24 (重量 23 kg)



搬送用ハイブリットドローン EAGLE HV (上)

2 オペ搬送の手順 (下)



## 苗木運搬等に係るドローンのシステム開発技術について

ciRobotics 株式会社

### I. 技術概要

今回弊社で開発を行った苗木運搬用ドローンの技術概要について記載する。この機体の特徴として大きく挙げられるポイントは大きく分けて8つある。

#### 特徴1. ウインチシステムを用いた重量物の運搬

今回開発を行った機体は、ウインチシステムを用いることによって航空法に抵触する、物件投下に該当することなく資材を運搬・荷下ろしを行うことができる。この仕組みのメリットとしては航空法で定められている、操縦者の物件投下毎に飛行記録を取り、国交省に飛行実績として提出を行うという手間を省略することができる。ウインチを巻き上げた状態で機体の下部に資材を搭載した状態で所定の位置まで飛行させ、一定高度下で荷下ろしを始める。このシステムについては釣りで使用する電動リールのノウハウを活用したものを採用している。荷下ろしの際はモーターの逆回転を使用せず、ドラッグブレーキを使用することで機体に瞬間的な重力がかかることを防ぐようにしている。また、資材が地面に着いた後はその資材を切り離す必要があるため専用のクランプシステムを開発した。このクランプについては、90度開閉型の電動リトラクトサーボを使用することで万が一通電が停止してもクランプが開かないフェールセーフ機能を有しているものを使用した。さらに既存の釣り用のリールには搭載されていない、遠隔制御が可能なPWMの信号をインプットできるようにするための基板開発も行った。これらの操作は専用の送信機で行う。機体を操作するパイロットの送信機にこの機能を搭載しない理由は安全性である。1人で機体の操縦を行いながら荷下ろしの操作を同時に行うことは安全観点上非常に危険である。上記の理由から機体操作と荷降ろし操作の2オペレータ仕様での設計にしている。

#### 特徴2. 重量物搬送

資材運搬に際して、この機体では最大15kgの資材を積んで飛行させることができる。これは1フライトで約80本～150本ほどのコンテナ苗を運搬できることになり、1フライト10分程度の経路であれば1時間で900本ほどの運搬が可能である。

#### 特徴3. 自動飛行による作業の省力化

事前に経路設定を行うことによって自動飛行が可能となっている。この機能を使用すれば同一のルートを何度も飛行させることができ、作業の効率化につなげることができる。

#### 特徴4. カメラによる安全確認

安全確認のために機体には 360 度可動するカメラを搭載してある。このカメラを使用することによって、飛行中は周囲状況の安全確認、荷下ろし時は真俯瞰映像によってポイントが適切かどうかの確認が容易にできる。

#### 特徴5. 障害物センサを搭載したことによる墜落予防策

カメラ映像の確認だけでは死角の木や壁の認知ができずに衝突する可能性があり安全対策は不足していると考えられる。さらに荷下ろしポイントで適切な高度を保たないと高度が高すぎると搭載リールの長さ以上になってしまい搭載ロープが外れ資材を落下させてしまう。また、高度が低すぎると周囲の木に接触する可能性がある。そこで前方および下方に距離を計測できるセンサを搭載したことによってそのようなリスクを事前に回避できるようなシステム構築を行った。



図1. 前方及び下方の距離センサの表示画面イメージ

#### 特徴6. 資材のロック機構

万が一強風などで機体が大きく傾いても資材が落ちないようにワイヤーで資材を下から抑えるような仕組みを搭載している。様々なサイズの資材に対応できるようにワイヤーの長さ調整が容易にできるように設計をしている。ワイヤーロック解除は荷下ろし用の送信機のボタン1つで行うことができ運用も容易である。

#### 特徴7. 運搬・準備のしやすさ

重量物を運ぶ関係でどうしても機体が大型化してしまうが、機材を搬送する際はアームを折りたたむことができ、軽トラックや商用バンに容易に搭載することができる。

#### 特徴8. 防水性能

万が一雨天時での運用がある際でも対応可能なように専用のシェルを開発し、機体に取り付けている。モーターも防水仕様であるので雨天時での運用が可能である。



## II. 開発したシステムの実証

今回開発したシステムを大分県佐伯市の佐伯広域森林組合と共同で佐伯市にある私有林にて資材搬送の試験を2020年の3月3日に行った。今回の実証では苗木だけではなく、防鹿ネットや約2mある支柱など再造林を行うために必要な資材搬送まで行えるかの実証を行った（写真1から3）。実証現場の条件は斜距離218メートル、高低差110メートル、水平距離189メートル、傾斜角度30.2度であった。結果としては、すべての資材を運搬することができた。コンテナ苗運搬では人力では1ヘクタール当たり7人（日）かかるところ、ドローンを用いることによって4人で行うことができ42.9%の省力化を達成できた。また防鹿ネット・支柱については人力で13人かかるところを3人で運用することができ、76.9%の省力化に成功した。何より人が重量物を担いで山を登るといった肉体的負荷をゼロにできたことがこの実証結果では大きな成果だったのではないかと考えられる。これらの結果より苗木やその他資材運搬において、ドローンを活用するメリットは大いにあるという見解が得られた。

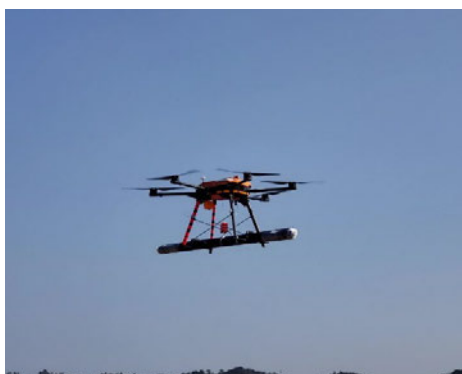


写真1.ポール運搬中のドローン



写真2.防鹿ネット運搬中のドローン



写真3.苗木運搬中のドローン

### Ⅲ. 開発したシステムを搭載したドローンの製品名・スペック

ドローン製品名：ciDrone\_type-F

開発中のため、販売額等未定。

表 1. ciDrone\_type-F スペック表

項目	数値		備考
重量	23	kg	バッテリー無し、サポート有り
全長(モーター間)	173	cm	
全長(プロペラ先端間)	255	cm	32.5 インチの場合
全長(アーム折り畳み時)	107	cm	
高さ	87	cm	GPS アンテナなし
高さ	93	cm	GPS アンテナあり
最大運搬重量	15	kg	運用上の安全重量
運搬時間	15	分程度	諸条件により変動
モーター数	6	個	
プロペラ数	6	組	
運用に必要な人数	2	名	
操縦可能範囲	2000	m	諸条件により変動
操縦可能風速	10	m/s	諸条件により変動

#### IV. 山地でのドローン活用の課題、今後の展望

今回開発したシステムを実際に実証実験で活用した際に生じた課題については2点挙げられる。まずセンサの挙動に関する問題である。センサにより前方障害物との距離がある程度把握することができ衝突のリスクの低減に繋がったが、機体が揺れたり、センサが細い物体には反応しづらかったりといった影響によって障害物との実際の距離把握が難しい場面が何度か見られた。ドローン飛行に慣れているパイロットであれば状況把握によるリスク回避は可能であるが、今後の実用化を想定した場合ドローン操作に不慣れたパイロットが運用する場合、イレギュラーなセンサの数値が表示された場合に対応が難しい可能性がある。このセンサシステムの向上は山地でのドローン活用には不可欠だと考えられる。

次に先ほど述べた内容にも繋がるが、熟練したパイロットでしかこの山地でのドローン活用ができないのであれば普及は難しいと考えられる。そこで、より様々な機能を簡易的に取り扱うことができ、安全機能もしっかりしている、いわゆるユーザーフレンドリーな機体作りが必要だと考える。

今後の展望としては山地でのドローン活用を広げるべく、低コストで運用をしやすい機体作成を行うことである。さらに、活用を広げるためにはそれを扱うことができるパイロットの育成は不可欠である。販売だけでなく、運用ができるようになるための講習を積極的に行っていき、今後の林業分野における問題を少しでも解決していきけるような体制づくりを行っていきたい。

## ② 植栽穴の自動マーキング（植栽準備）

植栽穴の自動マーキング等の植栽準備について、文献によりドローンの活用事例を収集したほか、ヒアリング調査を行い、実施事例や実施上のメリット、課題等についての意見や情報を入手した。

### 1) 文献調査

文献調査においては、植栽穴の自動マーキング等の植栽準備に係るドローンの活用事例を4件収集した（表 5-8）。

表 5-8 ドローンによる植栽穴の自動マーキング等の植栽準備に係る活用事例の概要（2020年時点）

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
1	林業	イギリス	ドローンを使用して地形をマッピングし、植栽計画を立案	BioCarbon Engineering 英国	—
2	林業	スペイン	ドローンで被害状況を評価し、植林箇所を特定、150万本/年の植栽を計画	Parque Natural de Alcoroches (en Guadalajara, España)	—
3	林業	カナダ（トロント、ブリティッシュコロンビア）	マッピングドローンを使って、土壌や現在の植生に基づいて植林に適した場所を特定	Flash Forest	—
4	林業	北海道	皆伐跡地をドローンで空撮し、機械学習による画像認識技術により現場の3Dマップを作成、これをもとに機械化に適した植栽計画をプランニング	森林総合研究所 株式会社フォテック	—

植栽穴の自動マーキング等の植栽準備については、ドローンの活用事例は少なく、国内では1件のみであった。植栽穴の自動マーキング等は苗木等運搬や薬剤散布等と異なり、現状では実用化に至っていないため、情報が少なかったと考えられる。

国内事例の1件は林野庁令和2年度「林業イノベーション推進総合対策」のうち「省力化機械開発推進対策（作業の軽労化・効率化に向けたソフト開発事業）」において「ICTを活用した伐採・造林のムダなし一貫作業システムの構築」のテーマで国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所と株式会社フォテック（札幌）が共同で取り組んでいるシステム開発事例であった。

その事例では、①丸太情報管理システム、②造林プランニングシステム、③立木位置管理システム、の3つのシステムを開発し、ドローンが活用されているのは主に②造林プランニングシステム、であった。そのシステムは、皆伐跡地（植栽地）をドローンで空撮し、機械学習による画像認識技術を活用して現場の3Dマップを作成し、現場を歩きまわることなく植栽地を区画分けし、区画ごとに植栽列を自動で発生させるものである。ドローン空撮と機械学習を活用することで、現場の複雑な地形の把握や、枝条や伐根などの障害物判定が迅速に行えるようになることのであった。

本事例はドローンの空撮および画像認識技術の活用で、自動マーキングに関わるものではないが、ドローンの画像認識技術にドローンによる薬剤散布の技術や自動飛行の技術を組み合わせれば、植栽穴の自動マーキング等も可能になると考えられる。

## 2) ヒアリング調査

植栽穴の自動マーキング等、植栽準備に係るドローンの活用事例は少なかったため、実際にドローンを活用した造林プランニングシステムの開発を行っている森林総合研究所北海道支所にヒアリング及び原稿執筆依頼を行ったほか、実証事例がないものの苗木等運搬の経験が豊富な林業事業体や開発に力を入れている事業者等（㈱中川、ルーチェサーチ㈱）に対して今後の可能性や課題、展望等について情報や意見を聴取した。

また、森林総合研究所北海道支所にヒアリングした際、自動飛行による植栽穴のマーキングを過去に実証していたことがわかった。

以下に「造林プランニング」と「植栽穴の自動マーキング」に分けて、ドローンの活用の効果、活用上の工夫や留意点、今後の可能性や課題、展望等についてヒアリング結果を整理する（表 5-9、表 5-10、表 5-11）。

表 5-9 造林プランニングに係るドローンの活用の効果と工夫・留意点

ドローンの活用の効果	工夫・留意点
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 事前空撮に基づき現場環境に応じた適切な植栽計画を迅速に立案できる。</li> <li>▶ 最大傾斜方向に植栽列を配置することで、保育作業での機械の導入を促進し、等高線方向にも植栽列の配置を可能にすることで、急傾斜地での作業員の作業負担を軽減する。</li> <li>▶ 事前の植栽位置決め作業を省力できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 植栽列については基本的な考え方として、今後の更なる機械導入を考慮し、機械の安全走行に配慮した最大斜面傾斜方向（縦方向）に向けて決定する。</li> <li>▶ 造林プランニングの後、植栽位置への直接的なナビも想定しているため、絶対位置精度を持つ LiDAR によるデータもしくは Phantom4RTK 等の測量用ドローンによる撮影データが必要。測量用ドローン以外の機種を用いるのであれば GCP の設置により絶対位置精度を持たせることが必要。</li> <li>▶ 直接的な誘導を必要としない、植栽計画の立案については、最低限必要なのは地形データだけなので、5mDEM で代用することも可能とする予定である。</li> <li>▶ 飛行高度は 50m～70m で斜面に沿って飛行させている、1.5～2cm/pix 位の解像度になるよう撮影している。この設定であれば、1 フライトで 8 ha 位を撮影できる。撮影時のカメラの角度は真下（90 度）を向けている。</li> </ul>

表 5-10 造林プランニングに係るドローンの活用の課題、今後の可能性・展望等

ドローンの活用の課題	今後の可能性・展望等
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 地拵え後の植栽地の事前空撮に基づき植栽地の計画を立案しているが、林内作業道の設置状況などは伐採時の作業状況に影響を受ける。</li> <li>▶ 山間部でのドローンの活用の課題としては、ドローンの空撮成果に正確な位置精度を与える方法が課題である。</li> <li>▶ 安価な高精度 GNSS が利用可能となってきたことから、測量用のドローンの普及が今後進むと考えられるが、リアルタイムでの RTK-GNSS 方式を活用するには、森林・林業の現場では、通信環境の不備が課題となる場合が多い。</li> <li>▶ 日本のような地殻活動が活発な地域においては、高精度の GNSS で取得した絶対座標ですら、森林・林業といった長時間の時間スケールの中では移動してしまう。</li> <li>▶ 通信環境の不備は、今後益々都市部で発展していくと思われるリアルタイム作業や無人化作業の、将来的な森林・林業における活用を阻む大きな制約となる可能性もあり、重要な課題である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 枝条を集める場所（排根線の位置など）も、植栽計画立案には制約条件となる。このため、植栽計画立案を前倒しし、作業道の設置や枝条の処理方法・場所などを考慮することができれば、より適切な計画を立案できる。</li> <li>▶ 測量用ドローンを活用する場合には PPK（後処理キネマティック）と呼ばれる後処理方法の活用も有効である。</li> <li>▶ RTK-GNSS 技術を活用するために、植栽現場ごとに基準局の設置場所を確保・維持し、作業ごとに、決まった位置に基準局を設置するという方向性もあり得る。</li> </ul>

表 5-11 植栽穴の自動マーキングに係るドローンの活用の課題、今後の可能性・展望等

ドローンの活用の課題	今後の可能性・展望等
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 当時は自動飛行により飛行させたが、機体の位置制御の精度が低かったため、飛行高度が低く地面にすって墜落させたこともあった。</li> <li>▶ AI により切株を判読するが、AI への学習データとして事前に千から万のオーダーでの学習データを読み込む必要がある。</li> <li>▶ マーキングが難しい。3次元斜面にマーキングする際、噴霧方式にしても距離が近いと斜面に機体がぶつかる危険性が高まる。上から落とす方式だと、きちんと目的の場所に落とせるか難しい。</li> <li>▶ 苗木植栽の障害になる石は、地表面に出ているものはレーザ測量で避けることができるが、地下に埋まっているものに対しては難しい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 既にドローンによるマーキングを実施しており、地上 2m 位で飛行させ、ノズルでピンク色の液体を噴出させる試験を行っているため、技術的に可能である。</li> <li>▶ 風による飛行影響と噴出物の飛散が課題と思われるが、飛散について低空飛行およびノズル噴出により制御できている。</li> </ul>

ドローンの活用の課題	今後の可能性・展望等
<p>➤ 植栽穴については、植栽者自身の経験により適切な植栽箇所を決めるのが重要であり、マーキングをしてしまうとマーキング位置に気をとられ経験に基づいた状況判断に影響する可能性がある。</p>	

以上のとおり、ドローンによる植栽準備に係る事例は苗木等運搬と比べると少なかったが、ヒアリングにより国内での自動マーキングについていろいろと意見や情報が得られた。効果としては植栽計画や植栽位置決め作業を省力化できる点が挙げられ、課題としては、位置精度の問題や通信環境の不備が挙げられたほか、特に自動マーキングについては切株の判読や噴霧方式等の課題が挙げられた。また、林業事業者からはマーキングがない方がよいとの意見もあった。

以下に、植栽準備として、造林プランニングシステムを開発している研究機関の担当者に執筆頂いた技術情報や実証事例に関する原稿を掲載する。

## ドローン事前空撮を活用した「造林プランニングシステム」

### および「位置情報管理システム」の開発

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所  
北海道支所 北方林管理研究グループ長 古家直行

#### (1) 技術概要

林野庁令和2年度「林業イノベーション推進総合対策」のうち「省力化機械開発推進対策（作業の軽労化・効率化に向けたソフト開発事業）」において「ICTを活用した伐採・造林のムダなし一貫作業システムの構築」（国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所と株式会社フォテック（札幌）の共同研究）に取り組んでいる。この事業の中で、造林作業の改善点として、1. 経験者の勘に頼っている植栽のプランニング、2. 人工を要する植栽作業時の位置決め作業を取り上げ、これらの作業を改善するシステムの開発に取り組んでいる。植栽列の配置は以後の造林作業における機械の導入や安全作業などを制約する重要な作業であるが、現場作業に任せられ、現状では将来作業について十分に配慮されていない。また、事前の植栽位置の位置決め作業は、斜面における上下作業を伴い、負担が大きい。

開発システムは、1. ドローンによる事前空撮データによる地形・地物判定（植栽の障壁となる切り株など）に基づく植栽計画の立案（「造林プランニングシステム」）、2. 植栽計画位置に誘導するとともに植栽位置を正確に記録するデバイス（「立木位置情報管理システム（植付ナビ）」）から構成される。

「造林プランニングシステム」については、植栽地の事前空撮データに基づき、現場を歩きまわることなく植栽地を区画分けし、区画ごとに植栽列を自動で発生させる。誰でも利用できるように、ユーザー側が入力する項目は、植栽間隔（苗間、列間）、刈幅・置幅の有無やその幅などのシンプルな設定のみとして、植栽計画の立案を可能としている。植栽列の配置については、保育や間伐などにおける機械の安全走行に考慮して最大傾斜方向への配置を基本としながら、傾斜地における作業員の作業の負担軽減のための等高線方向への配置についても考慮可能である。また、切り株などの地物については、造林現場への機械導入を妨げる要因として効率的な処理が望まれ、ドローン事前空撮画像への深層学習の適用による地物判定に取り組んでいる。

「立木位置情報管理システム」は、「造林プランニングシステム」で作成した植栽計画を実現するために、高精度のGNSSを活用することで作業員を誘導する装置（デバイス）である。高精度GNSSにより作業員の位置を把握し植栽計画位置までの距離や方角を瞬時に計算し、作業員を植栽計画位置まで誘導する。また、実際の植栽位置を正確に記録し、その位置情報を管理することで、将来の下刈りなどの保育作業などにおいても活用できるようにする。



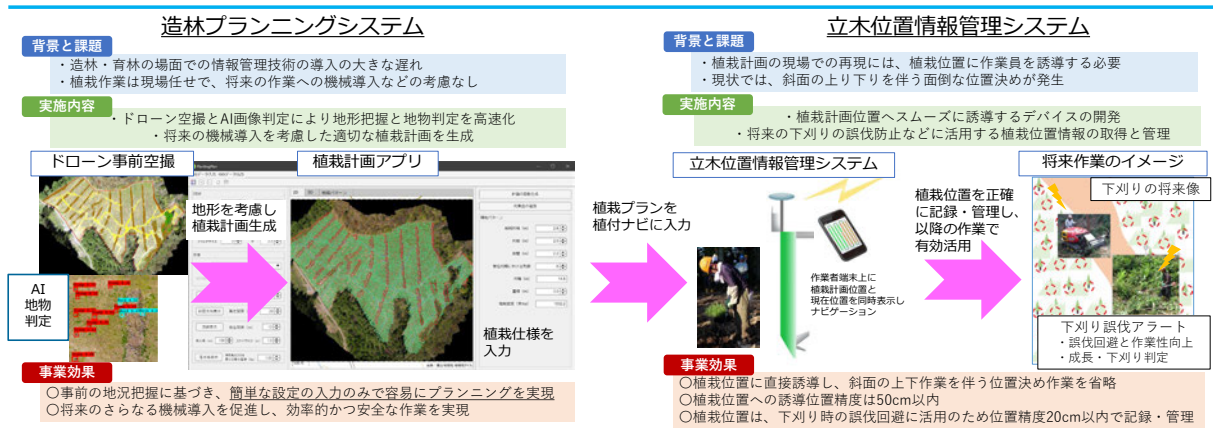


図. 「造林プランニングシステム」と「立木位置情報管理システム」の全体の流れ

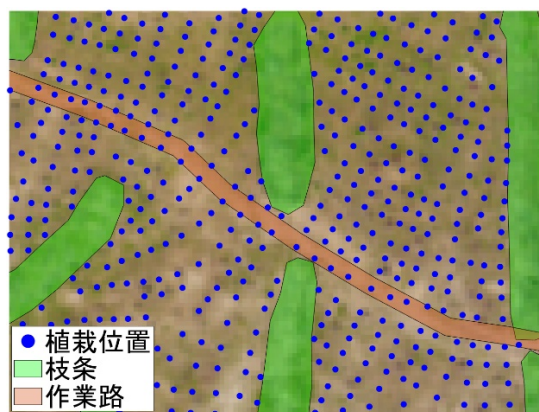


図. 植栽現場の地形に応じた植栽列の自動生成の例

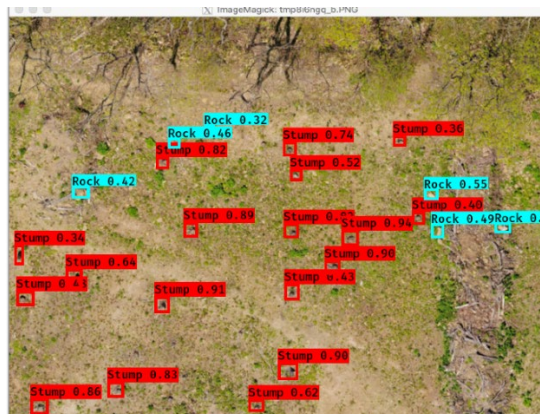


図. 深層学習による切り株判定の例

(2) 開発したシステムの特徴・期待できる効果

- ・事前空撮に基づき現場環境に応じた適切な植栽計画を迅速に立案できる。
- ・最大傾斜方向に植栽列を配置することで、保育作業での機械の導入を促進し、等高線方向にも植栽列の配置を可能にすることで、急傾斜地での作業員の作業負担を軽減する。
- ・事前の植栽位置決め作業を省力できる。
- ・植栽位置の位置情報の管理を可能にする。

### (3) 空撮に活用したドローンの製品名・スペック（仕様）等

植栽地の事前空撮は、現状では、植え付け作業を行う直前の地拵後の空撮を想定している。特定の機種に限られることのないようドローンの機種については、一般に普及しているドローンやその搭載カメラが使用可能として開発を進めている。

深層学習による地物の判定においては、判別しようとする地物を詳細に捉える解像度で撮影を行うことが必要である。例えば、地物として切り株を想定する場合に、伐採時の切り株のサイズは直径 30-50cm などと想定される。この場合に 5cm といった解像度での撮影では、切り株は数画素×数画素で表現されることとなり、判別に不十分な解像度と考えられる。そこで、解像度が 1-2cm 程度となる設定で飛行させることを想定した。これは一般的な DJI 社の Phantom4 などの機体では、対地高度 50m 程度に設定した撮影となる。この場合、ドローン空撮画像を用いて三次元モデルを作成するのに適切な重複率を確保した上で、数ヘクタールといった一般的な民有林の伐採区画を一度のフライトで撮影できると想定される。

植栽計画の単純な立案のみならず、植栽位置への誘導も一体として予定する場合には、少なくとも、植栽現場に設置する基準点との相対位置座標が正確に分かることが望ましく、座標の分かる地上基準点(GCP)を設置した上で空撮を行い、処理データに正確な座標を与えるか、今後普及が進むと思われる測量用ドローンの活用により空撮時のカメラ位置座標を正確に記録することで、処理データに正確な座標を与えることが必要である。

### (4) 山地でのドローン活用の課題、今後の展望

本事業では、地拵後の植栽地の事前空撮に基づき植栽地の計画を立案しているが、林内作業道の設置状況などは伐採時の作業状況に影響を受ける。また、枝条を集める場所（排根線の位置など）も、植栽計画立案には制約条件となる。このため、植栽計画立案を前倒しし、作業道の設置や枝条の処理方法・場所などを考慮することができれば、より適切な計画を立案できると思われる。

山間部でのドローン活用の課題としては、ドローンの空撮成果に正確な位置精度を与える方法が課題である。安価な高精度 GNSS が利用可能となってきたことから、測量用のドローンの普及が今後進むと考えられるが、リアルタイムでの RTK-GNSS 方式を活用するには、森林・林業の現場では、通信環境の不備が課題となる場合が多い。測量用ドローンを活用する場合には PPK（後処理キネマティック）と呼ばれる後処理方法の活用も有効であろう。また、日本のような地殻活動が活発な地域においては、高精度の GNSS で取得した絶対座標ですら、森林・林業といった長時間の時間スケールの中では移動してしまう。RTK-GNSS 技術を活用するために、植栽現場ごとに基準局の設置場所を確保・維持し、作業ごとに、決まった位置に基準局を設置するという方向性もあり得る。これらの現実的な対応方法が考えられる一方で、通信環境の不備は、今後益々都市部で発展していくであろうリアルタイム作業や無人化作業の、将来的な森林・林業における活用を阻む大きな制約となる可能性もあり、重要な課題である。

### ③ ピンポイント苗木配置

ピンポイント苗木配置について、文献によりドローンの活用事例を収集したほか、ヒアリング調査を行い、実施事例や実施上のメリット、課題等についての意見や情報を入手した。

#### 1) 文献調査

文献調査において、ドローンが苗木をピンポイントで配置する実証事例の情報を得ることができなかったが、関連するものとしては、前述②の植栽穴の自動マーキング等（植栽準備）事例4件である。その概要等は前述のとおりである。

#### 2) ヒアリング調査

ピンポイント苗木配置については、関連する造林技術の開発や実証を行っている森林総合研究所北海道支所と苗木等運搬の経験が豊富な林業事業者や開発に力を入れている事業者（(株)中川、(株)オプティム）に対して今後の可能性や課題、展望等について情報や意見を聴取した。

以下にヒアリング結果を整理する（表 5-12）。

表 5-12 ピンポイント苗木配置に係るドローンの活用の課題と今後の可能性・展望等

ドローンの活用の課題	今後の可能性・展望等
<ul style="list-style-type: none"><li>▶ ピンポイントで配置するためには、事前調査費用もかかるため、必要性が疑問である。</li><li>▶ ピンポイント苗木配置を実施するには、マーキングが必須であるが、マーキングが難しい。3次元斜面にマーキングする際、噴霧方式にするにしても距離が近すぎると斜面に機体がぶつかる危険性が高まる。上から落とす方式であると、きちんと目的の場所に落とせるか難しい。苗木の植栽の障害になる石は、地表面に出ているものはレーザ測量で避けることができるが、地下に埋まっているものに対しては難しい。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ 農水省主催のドローンの活用のコンペで、ドバイで乾燥地にドローンで苗木を打ち込むという発表を見たことがあるため、苗木配置だけでなくドローンによる植栽も技術的には不可能ではない。</li><li>▶ ドローン自体を開発するだけでなく、例えば、コンテナ苗を直接地面に植栽できるよう、地面に刺さるような形状の苗の入れ物（生分解性）の開発をすることで、播種や植栽におけるドローンの利活用の可能性が広がる。</li></ul>

以上のとおり、ドローンによるピンポイント苗木配置については、技術的には可能であるとの情報が得られた一方、林業事業者からは必要性は高くないとの意見が得られた。また、ドローンのシステム開発事業者からはドローン自体ではなく、苗木の入れ物の方も開発する必要があるとの意見が得られた。

#### ④ 薬剤等散布

薬剤等散布については、苗木等運搬と同様、林業分野において幾つかの地域で実証が行われており、文献によりドローンの活用事例やその機種の特徴を収集したほか、ヒアリング調査および原稿執筆依頼を行い、実施事例や実施上のメリット、課題等についての意見や情報を入手した。

##### 1) 文献調査

文献調査においては、薬剤等散布に係るドローンの活用事例を9件収集した（表 5-13）。

表 5-13 ドローンによる薬剤等散布に係る活用事例の概要（2020年時点）

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
1	林業	宮崎県	2018年11月に無人ヘリからの薬剤散布試験を宮崎大学の演習林で実施。使用薬剤は「ザイトロンフレノック微粒剤」。 環境保護団体の意見に配慮し一時中断。	ヤマハ 発動機㈱	— (無人ヘリコプター)
2	林業	茨城県	つる切り作業の省力化・効率化に向け、林地除草剤の散布について人力とドローンの比較実証。使用除草剤は「ザイトロンフレノック微粒材」。 ドローンの方が人力より作業効率が向上するが、コストはかかるとの試算。	茨城森林 管理署	AGRAS MG-1
3	農業	愛媛県	急傾斜地にあるミカン園へのドローンによる農薬散布。 愛媛県の事業により、研修会や実演フライトセミナーの開催、薬剤の適用拡大に向けた試験を開始。ドローン3機種による防除実演フライトセミナーも実施。	愛媛県	P20  TA408  AGRAS MG-1
4	林業	佐賀県	2020年度から事前入力したルート内で除草剤を散布する試験を行い、2022年度までに実用化の可否を模索。		—
5	農業	日本	正確に地形を認識、作物との距離を一定に保持。農地の起伏に合わせて飛行し、ユーザーの操縦を補助。最大5リットルのタンクにより、一度のフライトで0.5ha相当の薬剤を搭載し、散布可能。通常散布、回転散布、局所散布対応。自動散布アプリケーション有り。		エアロスプレーヤー AS5Ⅱ（農業用）
6	農業	日本	1haの農地を液剤なら10分、粒剤なら5分で散布可能。取り外し不要の折りたたみ式プロペラ、バッテリー交換が簡易な開閉式新キャノピーを採用。送信機はFutabaの「ENROUTE TX2」。		AC1500

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
7	農業	日本	agFMS (Agriculture flight management system) により、自動生成された散布ルートを実際に飛行、散布。 オペレーターはモニターでの確認のみ。RTK 制御による誤差数センチの位置把握が高精度な散布を実現。 散布途中で薬剤がなくなった場合にその位置を正確に把握し、補給後の再散布でのムダを排除。 散布中の粒剤切れや粒剤の嚙込（詰まり）等による回転不能を LED 警告灯で通知。 勾配 10% までの斜面に対応。		YMR-08AP
8	農業	日本 中国他	液体の農薬、肥料および除草剤の様々な散布を高精度に適正な割合で行うために設計し、農業分野で効率性と管理能力が向上。 折りたたみ式の MG-1 は 10kg の液体を搭載することが可能。		AGRAS MG-1

薬剤散布の事例は、国内での事例がほとんどで、林業分野で3件、農業分野で5件の事例を収集した。林業分野では無人ヘリコプターの使用が1例あったほかは、全てマルチロータータイプのドローンであった。なお、農業分野については、無人ヘリコプターによる農薬散布は以前から行われているが、苗木運搬等で用いられているマルチロータードローンの方が持ち運びサイズや費用から造林地での実用化・普及がより進みやすいと考えられる。このため、農業分野の事例については、マルチロータードローンの活用情報を収集した（無人ヘリコプターとマルチロータードローンの違いについては、後述の事例参照）。

また、造林地においては、薬剤として「ザイトロンフレノック微粒剤」を散布している例が多く、環境への影響について懸念の声があり、一部中断した一方、農地では、起伏に合わせた自動飛行や自動散布による薬剤散布技術が既にできている状況が明らかとなった。

造林地は農地と比較し、地形が険しく、合意形成などの課題もあるが、農業分野で先行している技術は造林地でのドローンの活用において参考になると考えられる。

## 2) ヒアリング調査

ヒアリングについては、文献調査により実際に造林地で薬剤散布を行った実績のあるヤマハ発動機(株)や茨城森林管理署に対して無人ヘリコプターも含め行ったほか、ヤマハ発動機(株)については農業分野での薬剤散布の実績も豊富であるため、原稿執筆依頼を行った。また、農地においてピンポイントで農薬散布の実績がある(株)オプティムに対してもヒアリングを実施した。そのほか、実際の林業従事者の意見も聞くことが重要と考えたため、苗木等運搬でドローンの活用の実績がある(株)中川に対してもヒアリングを実施した。

以下に造林地での薬剤散布におけるドローンの活用の現状、課題、可能性と農地でのピンポイント薬剤散布技術の現状と造林地への適用可能性についてそれぞれヒアリング結果を整理する（表 5-14、表 5-15）。

表 5-14 造林地における薬剤散布に係るドローンの活用の現状・課題と今後の可能性

ドローンの活用の現状・課題	今後の可能性
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 宮崎大学演習林で無人ヘリによる除草剤散布を実施し、川下側における水質調査において薬剤成分の検出なし。</li> <li>▶ 薬剤としてよく使われるザイトロンフレノックは粉に近い粒状であるため、風があると飛散して使用できない。山林で散布が許可されている除草剤の種類が少なく、ドローン技術よりも薬剤の形状（液状・大粒状等）の開発が必要である。</li> <li>▶ ザイトロンフレノックはクズやササに効くとされているが、朝露で葉が濡れているときに撒かないと効果が出ず、散布時間が朝方の1、2時間に限られる。</li> <li>▶ 薬剤を山に撒くことに抵抗がある。</li> <li>▶ 下刈りの省力化は重要だが、苗木の生育状況を見ながら現場を歩くことも重要である。</li> <li>▶ 茨城県では、ドローンによる空中散布により、作業効率が人力刈払の約13.3倍となる一方、空中散布の費用は人力刈払の約3.7倍かかるという試算結果になった。散布後の薬剤成分の検出は基準値以下であった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 無人ヘリはエンジン付きで広い面積（30ha～50ha程度）を短い時間で散布できるが採算性に課題がある。ただし、操縦技術については無人ヘリもマルチロータードローンもほとんど差がない。</li> <li>▶ マルチロータードローンは大規模に散布ができないが、小回りが利き、数haレベルの山林ではより活躍できる。</li> <li>▶ 自動飛行には現地レーザ計測等、事前計画に労力がかかるためマニュアル飛行が現実的と考えられる。</li> <li>▶ まずは、山林で薬剤散布できる環境づくり」が普及の第一歩である。</li> </ul>

表 5-15 農地でのドローンによるピンポイント薬剤散布技術の現状と造林地への適用可能性

農地でのピンポイント薬剤散布技術の現状	造林地への適用可能性
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 農地においては、画像解析によりピンポイントで農薬、除草剤、肥料を散布できるシステムが開発されている（①ドローンが圃場を撮影、②ピンポイント散布する地点(病害虫発生地点等)を判定、③ピンポイントで農薬等を散布、というシステム）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 教師データの抽出、蓄積が必要であり、その後の運用を踏まえると撮影方法や前提条件を統一することが大切である。</li> <li>▶ 画像解析してピンポイント散布するよりも操縦者がタブレット画面でカメラ画像を見ながら手動で行った方が早くて楽であると考えられる。</li> </ul>

以上のとおり、造林地において既にドローンを活用した薬剤散布の実証事例があることがわかったが、現状の薬剤が散布できる条件（時間帯、風の有無）が限られていることや、実際に薬剤が検出されなくても環境への懸念の声があること、人力刈払よりも効率はよいものの、費用は多くかかること等の課題があることがわかった。また、農地で開発されているピンポイント薬剤散布技術を造林地に適用するには、教師データの抽出と蓄積が必要であり、撮影方法等の前提条件

を整えることが必要であり、ドローンを活用する場合には、手動で行うのとどちらが効率的かを検討する必要があると考えられる。

以下に、農業用ではあるが、薬剤散布用ドローンを開発している事業者の担当者に執筆頂いた技術情報や実証事例に関する原稿を掲載する。

## ヤマハ発動機株式会社における 薬剤散布に係るドローン活用技術について

ヤマハ発動機株式会社

### 1. 技術概要

ヤマハ発動機株式会社（以後ヤマハ）のドローン開発の歴史は1980年に遡る。農林省（現：農林水産省）の許可を得て発足した「社団法人農林水産航空協会（現：一般社団法人農林水産航空協会）」は、新しい農薬散布方法の研究に取り組んでおり、RCASS（Remote Control Aerial Spraying System）という二重反転ローター式の無人ヘリコプターの開発をヤマハに打診した。本機は当時の先進的な形態のドローンではあったが、制御システムの構造、コストなどに課題が多く、実用化は見送られた。

以後ヤマハは、一般的なヘリコプター同様のシングルメインローターとテールローターを持つ形式の開発へ移行した。

無人ヘリコプターによる散布は、人が歩いて噴霧する従来の方式と比較して高い防除効果、作業の効率化を図ることができ、現在では、全国で約2,800機が稼働、同時に10,000人以上のオペレーター（パイロット）が作業に従事している。

使用目的は、農業用途の薬剤散布が中心であったが、2000年ごろからは自動飛行機能を追加した観測用途機の開発も並行してきた。昨今では、自動飛行機能を追加機種にLiDAR（レーザー計測器）を搭載した森林計測や、高地への資材搬送などの事業化も進めている。

### 2. 実用、実証事例

薬剤散布事例の説明を以下に行う。

#### 1. 水稲圃場等における散布（1987年～、日本各地）

散布作業目的は、主に防虫、殺菌等の液剤散布と粒剤散布であり、専用の散布装置が適用される。主に農作物の栽培期間である6月～9月に液剤散布装置を用いて目視内で運用される。稲作用途が最も多く、全国で行われる散布の36%ほどを占める。年間の散布総面積は、無人ヘリ形式で約90万ヘクタール、マルチローター形式で約2万ヘクタールである。散布効率は両者とも1ヘクタールあたり10分で、人による散布（160分）、乗用機による散布（約60分）といった従来方法に対して8倍～16倍の作業効率である。

その他、施肥、種もみの直播等、稲作に関連した粒剤散布も実施される。

これらの圃場は、基本的に平坦地で見通しが良く、オペレーターが歩くための道も確保しやすいため、フライトは基本的に目視内で行われる。



## II. 松くい虫防除実証試験（2016年～2018年、静岡県御前崎市防風林地帯）

目的は、松くい虫防除のための殺虫剤散布実証試験である。

有人航空機にて長く実施されて来たが、近年は隣地農地への薬剤飛散の軽減要求が高まり、低高度（樹冠表面から3～5m高）での精密散布可能な無人機での散布要求が生じた。

フライトは、稲作圃場のようなオペレーターがヘリコプターを見ながら進める環境ではない。したがって、自動飛行機能を使い、事前に作成したフライトプログラムに沿って飛行させる方法をとった。

また、目視内飛行での運用を行う上で、バックアップパイロット（緊急時にマニュアル操縦に切り替え対処する機能を持つ）が常にヘリコプターを視認する。従って、背の高い松の木の樹冠表面を見渡せる高所作業車上でのオペレーションが必須となる。

試験の結果として、無人ヘリコプターによる散布は有人機と同等以上の農薬効果や飛散の少なさが確認された。

### 3. ドローンの製品紹介

現在ヤマハが販売しているドローンは大きく分けて、シングルメインローター（回転翼）とテールローターをエンジンで稼働する無人ヘリコプター“FAZER”（図1）と、8枚のローターを持ち、電気で稼働するマルチコプター“YMR-08”（図2）の2機種がある。

FAZERは、薬剤散布を主目的としたマニュアル操縦機、“FAZER R”と、自動飛行機能を搭載し測量・物流など多目的に活用可能な上位機種”FAZER R G2”に分けられる。

“YMR-08”も同様にマニュアル操縦の“YMR-08”と、自動飛行機能を搭載する“YMR-08AP”をラインナップに持つ。以下、FAZER RとYMR-08それぞれのマニュアル機の簡易諸元を記す。

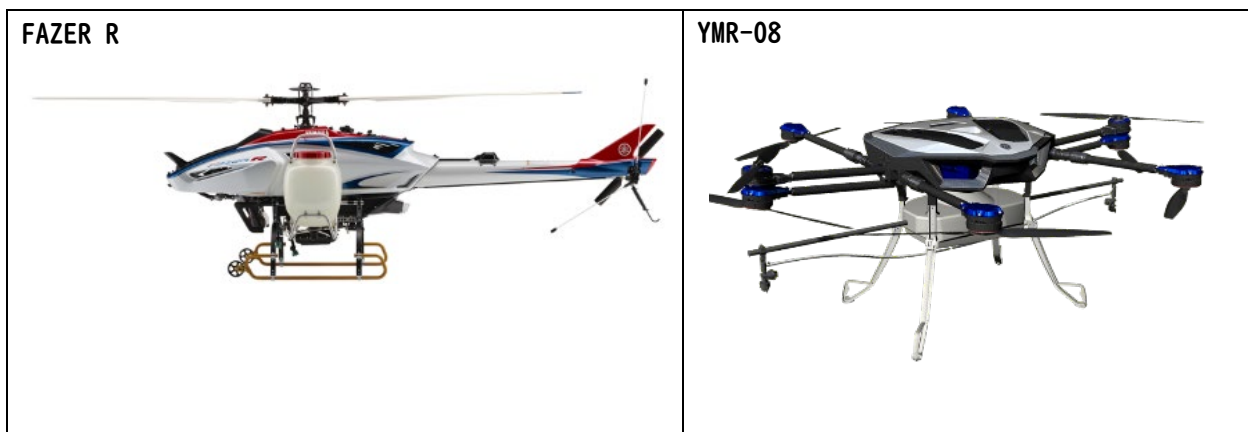


表1. FAZER R 諸元

FAZER R (図 1)	
機体	
全長 (ローター含む)	3,665mm
メインローター径	3,115mm
全幅	770mm
全高	1,078mm
動力	
種類	4 サイクルエンジン
排気量	390CC
出力	20.6kw
燃料タンク容量	5.8L
燃料種類	ガソリン
重量	
機体重量 (燃料と散布装置を含む)	71kg
離陸最大重量	110kg
性能	
最大積載重量 (パイロット)	32kg
航続時間	60 分
機体販売価格 (2020 年)	11,900,000 円

表2. YMR-08 諸元

YMR-08 (図 2)	
機体	
全長 (ローター含む)	2,181mm
メインローター径	26 インチ
全幅	1,923mm
全高	669mm
動力	
種類	電動モーター
モーター個数	8 個
消費電力	2.5kw
バッテリー種類	Li-Po
バッテリー容量	852wh
重量	
機体重量 (バッテリーと散布装置を含む)	15kg
離陸最大重量	25kg
性能	
最大積載重量 (パイロット)	10kg
航続時間	15 分
機体販売価格 (2020 年) ※バッテリー別売	1,575,000 円

#### 4. 山地でのドローン活用の課題、今後の展望

現在、ヤマハにおける薬剤散布飛行の 90%以上が、平坦で障害物の少ない稲作地帯を中心とした目視内のマニュアル操縦で行われている。

対する山地中心の森林地帯のフライトでは、平坦な稲作地帯とは異なる特徴があり、いくつかの課題が挙げられる。

##### 1. 電波の到達

現在の無人ヘリの規定では遠隔操縦で無ければならないため、自律飛行は行っていない。つまり、電波によるヘリコプターと地上局の相互通信が成り立っていない。現在の通信装置では見通せる範囲のみ飛行可能であるが、実際、山地においては峰の向こう側の斜面等での飛行要求が生じる。

現在の電波の特性上見通しが無いと通信できない。それを解決するために、携帯電話端末を使った通信や、さらには衛星通信を使っていくことなどでこの問題を解決する必要がある。

## II. 障害物回避

山地での散布や計測においては樹木の上方3m~70mを飛行するが、特に低高度の飛行においては樹冠に対して突出した障害物に衝突しないような飛行能力が必要となる。

現在は、自動操縦装置付き機体限定ではあるが、現場のマップ（DEM：数値地図）を入手し、そのデータをベースに自動航行時のウェイポイント（通過点）を設定し、実際の飛行においては搭載のリアルタイムビデオカメラで確認しながら飛ぶ。しかし、DEMは木々を差し引いた表面データであり、精密なフライトをするには情報不足である。

これに対し、LiDARを使って、樹木と障害物を含めた現場のマップを作成し、その精密地図を使い、ヘリコプターが自動的に安全距離を保って追従飛行するシステムを開発している。

今後は、さらに障害物センサ等を追加して、自動回避システムを開発する予定である。

## III. 耐風性能

山地は、地形の影響から、上昇風、下降風、乱気流の発生頻度が高い。これらに対して、より安定した飛行状態を保てる飛行制御システム開発を進めている。

ヤマハは現在、無人ヘリを用いた森林計測の事業化に取り組んでいる。

林業経営の課題解決や森林環境保全への貢献のため、2019年から無人ヘリの特性を活用した森林の計測事業に着手している。計測からデータの処理、解析まで一貫して行っており、下記の特徴を有する。

### ・計測エリア全面を単木単位で幹まで計測

長時間の飛行能力に加え、独自の計測手法（特許出願中）により、林内の3次元情報をエリア全体で取得

### ・複数センサの同時計測

32kgのペイロードにより、LiDARを用いた3次元計測、RGBカメラ及びマルチスペクトルカメラ撮影が同時に可能。

### ・解析条件に合わせた飛行

独自の解析ノウハウに基づいたフィードバックを自動飛行プログラムに反映し、効率的な計測が可能。

ヤマハは今後もドローン技術の活用を通じ、農林業の発展に寄与することで、新たな感動と豊かな生活を提供していく。

## 搬送用ドローン EAGLE15/24 における事例

株式会社 DroneWorkSystem

弊社の散布用ドローン AGR は 16L と 24L の 2 タイプを主力商品として打ち出している。主に水稲農業に力を発揮し東北地方及び中部地方のユーザーに好評いただいている。

最近目立ち始めている例にラジコンヘリコプター（以後ラジヘリ）による防除からの転向である。

特に広い圃場を有したユーザーに多い。以前は一反あたり 1200 円くらいから 2200 円程。

地域でラジヘリを保有している法人などへ依頼し圃場の防除、追肥などを頼んでいた農業者は単純計算で 50 町歩の水田を保有している場合（秋田、庄内、新潟では小さい圃場に入る）散布委託をお願いする度の支払は 1 回ごとに 900,000 円（1 反あたり 1800 円として）にのぼる。もちろん年 1 回では済まない。単純に 4～5 月に除草剤散布、6 月に追肥散布、7～8 月にカメムシ等の防虫剤散布などを考えても年に 3 回は依頼しなければならず、合計 270 万円ほどの経費がそのために係る。

弊社の機体はその金額以下で十分購入できる価格設定であり、その上、これからの資格ともいえるドローンのライセンス（国土交通省認定）も保持でき、さらに、秋の収穫の際には稲穂についた朝露を強力なダウンウォッシュにより上部を通過させるだけできれいに吹き飛ばすことが出来るため、早朝からコンバイン等を使用した稲刈り作業が可能であることも弊社機体保有者から多数喜びの声として出ている。また使用すればするほど操縦、機体の熟知が進み、同時にコスト面でもヘリ防除に頼っていた時よりも出費が抑えられていく。

ユーザーの中には 150 町歩ほどの圃場防除を約 5 日間で終了させる熟練者もあり、1 日 5 つのバッテリーを用いて 30 町歩ずつ作業を終わらせるといった形で圃場整備を進めている。もちろんこのユーザーは以前自身でラジヘリを操縦、保有していたので操縦、作業スピードは熟練しているためホバリング状態がほとんど無く、バッテリーの消費も初心者に比べれば格段の開きがある。しかし、このユーザーも経済的にラジヘリの価格（買い替え費用や維持費）がネックとなっていた。ただ、ラジヘリの散布幅 7.5m、操縦性、保有タンク L 数に対してその時に対峙できるドローンが見当たらなかったため諦めていたが、弊社のドローンが性能的に全て補っていると判断、価格もラジヘリの約 1/4 程度の為、AGR の購入を決めた経緯がある。

また液剤以外にも粒状薬剤（大体 3～7mm が多い）だけではなく、より粒径の大きな肥料粒（乾燥ペレットなど）も散布できるところが AGR の選ばれる理由の一つである。粒剤が散布できる機体は他メーカーにもあるが、大粒の肥料や麦となると散布が難しくなる。

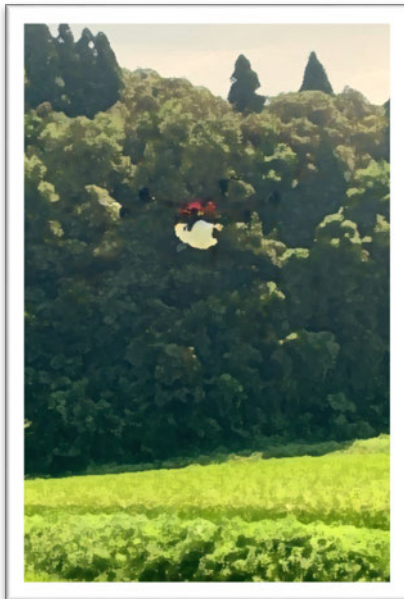
現在、東北地方を中心に約 60 機の弊社機体が 4～11 月の間、全国の圃場を飛び回っている。



AGR24A（左）と AGR16A（右）

16L はセットで平均 168 万円ほどで推移。24L は 250 万円程で販売されている（オープン価格のため販売店により多少違いがある）

富山県小矢部市の圃場にて作業中の AGR16A



スペック表

モデル	AGR16A	AGR24A
搬送時寸法	全幅 1100×全長 1000×640mm	全幅 1100×全長 1100×740mm
モーター軸間	1600mm	1700mm
重量	17.9kg (バッテリー込み)	20.8kg (バッテリー込み)
動力源	12 セルバッテリー 16000mAh×1	12 セルバッテリー 22000mAh×1
最大離陸重量	42 kg	51 kg
液剤最大散布量 (1 分間あたり)	4L	4L
粒剤最大散布量 (1 分間あたり)	7~8 kg	7~8 kg
散布飛行速度	20km/h	20km/h
最大ホバリング時間	20 分 (無積載時)	20 分 (無積載時)
散布幅	7.5m (作物からの高度 2mで散布)	7.5m (作物からの高度 2mで散布)
搭載容量	16L	24L
粒剤ユニット	肥料粒形 12mm 対応。カートリッジ式切替装備。	

### ⑤ 荒廃地への播種・吹付による緑化

荒廃地への播種・吹付による緑化については、文献によりドローンの活用事例を収集したほか、ヒアリング調査を行い、実施事例や実施上のメリット、課題等についての意見や情報を入力した。

#### 1) 文献調査

文献調査においては、播種・吹付による緑化に係るドローンの活用事例を9件収集した（表5-16）。

表 5-16 ドローンによる薬剤等散布に係る活用事例の概要(2020年時点)

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
1	林業 (緑化)	広島県	ルート設定による自動飛行機能や、緑化用種子や肥料等を効率的に散布する機能を持つオリジナルドローンに加え、ドローンの安全管理を行う操縦士の派遣など必要な要素をパッケージ化したソリューションを提供	(株)A.L.I. Technologies 広島県呉市 DRONE BUSINESS ACADEMY	—
2	林業	愛媛県	伐採跡地に、コーティング(ゲル被膜)したスギ、ヒノキの種子を、粒上散布装置を持ったドローンを用いて播種した。(伐採:平成28(2016)年11月、播種:平成29(2017)年3月)平成29(2017)年6月末時点で、発芽を確認できていない。	愛媛県	—
3	林業	イギリス	AIとドローンを使用して、2060年までに5000億本分の木の播種を行う計画。 ドローンは1分間に120本分の木の播種ができる。 毎年100億本分の木の播種を行うために、1チーム当たり2人のドローンパイロット+10台のドローンを400チーム組織する。		—
4	林業	アメリカ	ドローンに搭載したカメラで上空から植林用地を撮影し、画像データと地理情報を集約した三次元マップを作成。 樹種や土壌などから樹木が生育しやすい場所をセンチ単位で精緻に特定したうえで、ドローンが自律飛行し、種子に肥料、病害虫防除剤を混ぜた特殊カプセルを上空から撒く仕組み。		—

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
5	林業	オーストラリア	毎秒 150～300mの速度で 2 つの種子を吐き出すことができる。 人間が植えることができる平均よりも 10 倍速い8,000 の種子を1日で地上に発射できる空気圧式発砲モジュールを構築した。 種子のボールは黒いペイントボールの弾丸のようなもの。軽量で、重量はわずか 5g。		—
6	林業	米国 (シアトル)	森林火災跡地の植林。 種子は有機繊維と肥料を混ぜたパック (puck) と呼ばれる加工をして活着率を高めて直播する。大規模の森林火災後は苗木が不足するので、このパックを散布する。ドローンは 57 ポンド (約 26kg) のパックを運搬可能で、3D マッピングに基づきパックをドローンで植栽箇所に散布する。	DroneSeed	—
7	林業	イギリス	①ドローンを使用して地形をマッピングし、植栽計画を立案 ②圧縮空気砲を備えたドローンプランターが自動的にコースをたどり、発芽した種子を発射。  発芽済種子は、衝撃を吸収し、植物の初期成長を助ける栄養ゲルでコーティングされている。 ドローンは、斜面に適応したバランスの取れた配置を植栽計画に従って、地表から 1～2 メートルで飛行。各ドローンは 300 の種子を運搬可能。	BioCarbon Engineering 英国	—
8	林業	スペイン	2012 年の 1200ha 森林火災跡地の植林。 ドローンで被害状況を評価し、植林する箇所を特定する。 生分解性の松のコーティング種子を播種。150 万本/年の植栽を計画。900 本/分で播種する。	Parque Natural de Alcoroches (en Guadalajara, España)	—

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
9	林業	カナダ (トロント、ブリティッシュコロンビア)	マッピングドローンを使って、土壌や現在の植生に基づいて植林に適した場所を特定する。その後、無人偵察機がコーティング種子（通常より発芽が早く、湿度を保つ）をフィールドに正確に落下させる。このコーティング種子を使うことで、生存率を高めるとともに、乾燥する時期にも種子を成熟させることができる。	Flash Forest	—

播種・吹付による緑化については、国内事例は少なく、海外事例が多いという状況であった。国内では雑草木の繁茂により発芽・生育が難しいこと、海外では早急に緑化が必要な荒地や山火事跡地も多く、需要が大きいことが考えられる。また、播種については既にヘリコプターによる航空実播の技術があり、吹付については既に植生基材吹付工の技術があるため、ドローンが活躍する条件等も検討する必要があると考えられる。

国内事例の2件のうち、1件は豪雨による災害跡地を緑化するプロジェクトによる実証実験であり、もう1件は伐採跡地に実際に播種をした事例であった。伐採跡地の播種については、発芽は確認できていない状況であった。海外事例も含め、種子はゲル等でコーティングすることが多いことがわかった。

## 2) ヒアリング調査

ヒアリングについては、水田でのドローンによる籾の直播技術に詳しい(株)オプティムおよびドローンによる造林技術に詳しい森林総合研究所北海道支所に対して、国内での播種・吹付による緑化の可能性等について情報や意見を聴取した。

以下にヒアリング結果を整理する（表 5-17）。

表 5-17 国内でのドローンを活用した播種・吹付等による緑化の課題と可能性

課題	可能性
<p>➤ ドローンによる水田への播種は技術が進み、作付に成功しているが、林地では地面が硬く、水田のように種を打ち込めない点が課題である。対策として、ゲルで包んで地面に落とす等の対応が考えられる。</p>	<p>➤ 北海道では、天然更新でカンバ類等の有用樹種が発芽し、生育しているため、ドローンによる播種も可能性はあり、播種により計画的に有用樹種を育林することも可能と考えられる。</p>

以上のとおり、播種・吹付による緑化について、現時点で実績のある確実な方法の情報は得られなかった。播種については、文献情報にもあったとおり、実施はできるものの、その後の発芽・生育が課題であると考えられる。ヒアリングでは、北海道においてカンバ類等であれば可能性があるとの意見も得られたが、雑草木の生育が旺盛な本州以南において、伐採地でスギ・ヒノキ・カラマツ等の育林を目的として播種することは難しいと考えられる。このため、木材



生産目的の育林に限定せず、豪雨や地震等による崩壊跡の裸地面への広葉樹のピンポイント緑化や、シカの食害激害地への生物多様性保全を目的としたピンポイント緑化を目指す方が現実的と考えられる。また、吹付については、ヘリコプターでは行えておらず、文献においても事例が確認できていない。このため、ドローンに植生基材吹付装置を搭載するのではなく、液状粘着剤散布用ドローンと種子散布用ドローンを用意し、液状粘着剤の散布直後に種子散布用ドローンで正確に近接散布する方法が考えられる。

## ⑥ ドローン運用管理システム

ドローン運用管理システムについては、文献ではドローンの活用事例を収集できなかったため、ブルーイノベーション(株)や(株)オプティム、森林総合研究所北海道支所、(株)AileLinux に対して、林業分野のほか、他分野におけるドローンの運用管理に関するヒアリング調査を行い、実施事例や実施上のメリット、課題等についての意見や情報を入手した。

林業分野における運搬等ドローンの活用に関する課題としては、高性能・高額なドローンを保有し運用管理する体制の構築、ドローン撮影画像も含めた電子申請の仕組みの構築があげられる。運搬用ドローンなど高性能なドローンは高額であること、現地でバッテリー充電を行うための発電機等周辺機材の整備にも費用が掛かること、操作に熟練が必要であることから、単独の事業体での所有・管理では費用対効果が得られない可能性が考えられる。複数の林業事業体での共有や、物流など他分野におけるドローンとの協働を検討するため、他分野でのドローンの稼働状況をヒアリングにより調査した。

以下にヒアリング結果を整理する（表 5-18）。

表 5-18 他分野におけるドローンの稼働状況に関するヒアリング結果と林業への適用可能性

分野	現状と課題	林業への適用可能性
物流	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 物流分野での実証実験は、離島山間地など航空法の規制のゆるい場所で行われている。航空法の規制の関係で、ドローンを飛ばせる場所は過疎地域が多く、ビジネスとして採算が取れるかが課題となっている。</li> <li>➤トラック、ヘリ等との差別化が課題。ドローンには安さが期待されるが、安ければ利用頻度を上げないとビジネスとして成立しない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 中山間地域での物流分野と林業分野で運搬用ドローンを共有し、稼働率を上げることで採算をとれる可能性がある。</li> </ul>
農業	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 農業用の薬剤散布無人ヘリは夏の2カ月程度しか稼働していない。</li> <li>➤ 薬剤散布用の無人ヘリやマルチロータードローンもアタッチメントを変えることで運搬用にすることが可能である。</li> <li>➤ 複数事業体も含めた年間の植栽計画に基づきドローンでの苗木運搬の年間受注ができると、見積も安くできる可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 農業用の薬剤散布ドローン（無人ヘリ、マルチローター）は夏季繁忙期を除けば林業分野での運搬用に活用できる可能性がある。</li> <li>➤ 地域全体の林業事業体で年間計画を策定し、効率的に発注すれば費用も抑えられる。</li> </ul>

林業分野におけるドローン撮影画像の利用上の課題としては、森林整備事業の補助金申請にドローン撮影によるオルソ画像を使用できるよう制度は整ったものの、オルソ画像の提出はハードディスクなどのメディアが必要であり、電子申請の導入が遅れていることがあげられる。また、林業の業務実行上に必要な申請手続きには森林整備事業のほか、伐採および伐採後の造林の届出等も必要であるが、行政側の担当部署が異なると届出情報は共有されない。伐採届は、既存の森林クラウドに電子申請の仕組み（紙書類と併用）が実装されており、今後は合法性証明のため原木市場や需要者と情報共有するなど木材流通上も重要になってくる可能性が考え

られる。伐採後の造林の届出と森林整備事業の補助金申請がクラウド上で共有できれば、必要な情報を共有し、届出を併用できる可能性もあると考えられる。

電子申請により収集されたオルソ画像は、ビッグデータとして AI 解析の教師などに活用できる可能性がある。活用先としては、オルソ画像による検査作業の自動化や植栽穴マーキング等の技術開発に必要な画像解析が想定される。

このようにドローン撮影画像を用いた申請・検査を効率的に実施し、届出情報を行政及び関係者間で共有することにより適正な森林管理を進めるため、ドローン撮影画像の管理と電子申請の機能を有し、既存の森林クラウドとも連携するシステム（図 5-2）が必要と考えられる。その参考とするため、他分野でのドローンデータのクラウド共有等の状況についてヒアリングにより調査した（表 5-19）。

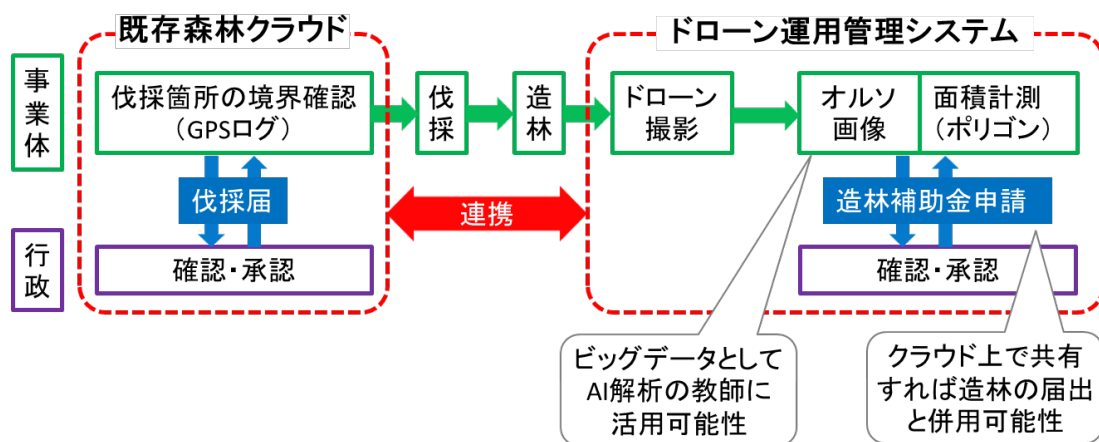


図 5-2 ドローン運用管理システムのイメージ

表 5-19 ドローンデータクラウド共有等に関するヒアリング結果と林業への適用可能性

現状	林業への適用可能性
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 飛行支援サービス（飛行禁止エリア地図表示機能、操縦者管理、機体情報管理など）やデータをアップロードして管理するシステムはすでに実用化されている。</li> <li>➤ 飛行ログの管理やデータのアップロード、オルソ化、データ管理、電子申請など様々な技術パーツは開発されており、各業界向けにカスタマイズし、利用されている（鉄塔、橋脚、発電所などでインフラチェックをするためのシステムとして利用されている）。</li> <li>➤ 今後は、複数のドローン・ロボットを協調・連携させて複雑な業務を達成させるためのソフトウェアプラットフォームなども実用化され、ドローン・ロボットを活用する利用者が効率の高い業務を遂行できるようになるといわれている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 技術パーツを利用すれば林業分野に必要なシステムの構築は可能である。</li> <li>➤ 申請・検査に利用する場合、データ改ざんへの対応として、飛行ログの管理機能も必要と考えられる。</li> </ul>

## ⑦ その他の造林技術

その他の造林技術に係る活用事例については、文献によりドローンの活用事例を収集したほか、ヒアリング調査および原稿執筆依頼を行い、実施事例や実施上のメリット、課題等についての意見や情報を入手した。

### 1) 文献調査

文献調査においては、薬剤等散布に係るドローンの活用事例を13件収集した（表 5-20）。

表 5-20 ドローンによるその他林業に係る活用事例の概要(2020年8月時点)

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
1	林業	東京都	距離センサを搭載したドローンによる森林調査。 本業務の検討委員である岩瀬教授らのグループで開発したエンジン駆動型マルチコプターに森林内を飛行させ、森林全体の三次元計測データを作成した。	岩瀬教授等	
2	林業	東京都	LiDARを搭載したドローンによる森林毎木調査 森林計測システムの有効性の検証を行った	岩瀬教授等	
3	林業	宮城県	適切な時期や場所での下刈り実施のため、ドローンにより雑草木の繁茂の様子等を把握。 下刈り後に撮影した地表面と、植生が繁茂した時期に撮影した画像から植生表面の3次元モデルを作成し、その差分によって植生の高さを推定。5つの地点で、最小30cm程度の誤差で植生高を推定。	森林総合研究所 関西支所	—
4	林業	東京都ほか	植付、下刈り、間伐等の施業確認（検査におけるドローンの活用）の検証及びそれに適した機種を選定、撮影画像のオルソ化ソフトの比較の実施。 各地域、事業者におけるドローンの活用の現状と意向調査、林業地におけるドローン飛行の普及・研修の実施。	ブルーイノベーション株式会社  日本森林技術協会	
5	林業	山梨県	林業用架線設置のための市販ドローンの活用	山梨森林総合研究所 (講師：山口県周南森林組合)	Phantomシリーズ

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
6	林業	長野県	ドローンレーザ計測と毎木調査による比較による精度の検証及び収穫調査以外でのドローンレーザの活用方法についての検証	中信森林管理署 信州大学山岳科学研究所 株式会社 Ace-1	
7	林業	和歌山県	小型ドローンによる、森林調査、獣害ネットの状況確認、架線の予備線架設、治山施設の点検、造林下刈り調査（面的に確認）	和歌山県 上道キカイ(株)	
8	運搬 ソフトウェア 点検	日本	日本で初めて、Level 3（補助者なし目視外飛行）を日本郵便と2018年11月に実現。ドローンを使った郵便局間の輸送を実施中。自動制御技術分野で世界をリードすべくグローバルに展開（欧米、中国、南アジア等）。世界で初めて上場したドローン専門メーカー（株式会社自立制御システム研究所[ACSL]）。屋内外での点検、災害調査、倉庫内在庫管理等の幅広いニーズに対応する機体「Mini」を開発。	日本郵政	Mini
9	インベントリー	日本	ドローン搭載用ライダー。レーザが草木の隙間を通り抜けて地上に到達するため、写真計測では不可能だった地面から木の高さまで、センチメートル単位の正確性で測定できる。データ分析・加工ソフトウェア「LiDAR 360」と共に用いれば、測定データをビジュアル化し、様々な分野で有効活用可能。		LiAirV-E
10	林業	チリ	天然林の管理と維持。具体的には樹種の分類、森林と自然地域の健康状態の監視、火災前後のサポート及び高精度林業に使用している。民間航空総局で訓練を受けた技術者を擁している。使用するドローンは、マルチスペクトル、サーモグラフィ、高解像度可視画像を撮影する機能を持つ。オルソモザイク画像やNDVI画像にも対応している。	INFOR (国家森林院)	Stardust II
11	輸送・医薬品緊急搬送、広範囲の測量	ドイツ他	ドイツ製のVTOL型固定翼機。通常のドローンよりも飛行距離や積載効率に優れ、高解像度カメラなどと組み合わせた広範囲インフラの点検や写真測量、また物資輸送などの産業分野でも活用が期待されている。	Wingcopter, GIZ、DHL	percelcopter / Wingcopter 178 Heavy Lift

No.	活用分野	地域	活用事例の概要	実証・実施団体等	使用ドローン
12	医療	ザンビア	ANA ホールディングス株式会社と、エアロセンス株式会社、国立研究開発法人国立国際医療研究センター）は、ザンビア共和国の地上交通インフラが未発達な地域において、中央病院や郡病院等と農村部にあるヘルスセンターなどの間で、ドローンによる血液検体等の輸送を行っている。ドローン物流を活用し、検体回収から診断、治療も含めた保健医療サービス全体の所要期間を短縮することや輸送品質の向上により検査の質の向上を図る目的。ANAHD は国際協力機構（以下 JICA）の実施する 2019 年度第一回「中小企業・SDGs ビジネス支援事業」（SDGs ビジネス支援型）に採択された。	ANA ホールディングス株式会社、JICA	AS-MC03-T
13	マッピング、建設、環境モニタリング、農業等	米国、欧州（スイス他）	WingtraOne は、VTOL 機である。滑走路が不要、かつマルチコプタードローンに比して航続距離が長いことが特徴で、Phantom4 PRO に比してより広範囲を短時間で調査可能である。林業、工業、建設業、農業等の導入実績が豊富である。		WingtraOne

## 2) ヒアリング調査

ヒアリングについては、当事業の検討委員会座長の寺岡委員から紹介のあったルーチェサーチ（株）に対して林業に係るドローンのシステム開発技術等について聞き取りを行ったほか、原稿執筆依頼を行った。

以下に林業に係るドローンのシステム開発技術の開発内容と成果等についてヒアリング結果を整理する（表 5-21）。

表 5-21 林業に係るドローンのシステム開発技術の現状と課題

開発内容	成果等
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 林地内は GNSS 通信電波が到達しにくい環境にあるため、機体に Lidar-SLAM 機構を持たせ、障害物への接触・衝突を回避することにより自動飛行し、移動する間にリアルタイムで 3次元点群を取得し、その成果を現地作業中に確認できるシステムを完成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 実証試験では、飛行対象エリアは 300 m<sup>2</sup>、飛行時間 12 分で点群データをリアルタイムで取得し、数分後に 3次元データを算出した。</li> <li>▶ 現場準備、飛行、合成時間等含めて 2 時間で 3次元データを算出し、地上レーザ（16 時間）の 1/8 の時間でできた。</li> <li>▶ 離着陸場所として 2m×2m の平地が必要。</li> </ul>

次に、林業に係るドローンのシステム開発を行っている事業者の担当者に執筆頂いた技術情報や実証事例に関する原稿を掲載する。

## 林業に係るドローンのシステム開発事例

2021-1-26 現在

### —搭載した小型レーザによる取得点群を利用した森林計測—

ルーチェサーチ株式会社 渡辺 豊

#### 1. 技術概要

森林作業は急峻な斜面などで行わなければならないこともあり、他産業以上に従事者は長期的に減少傾向にあり、その上に従事者の高齢化にともない担当者不足が問題になっている。こうした背景の中で当社は、森林作業のロボット化推進としてドローンを活用することが貢献できるのではないかと考えた。

主伐、高齢級抜伐りなどの作業計画にあたり、森林計測結果が重要な役割を果たしている。この森林計測では、現地調査と結果まとめの省力化と効率化のために、地上型3次元レーザスキャンが用いられ、地形・立木位置図・樹高などが作成されている。ただし、その作業効率は現地までのアクセス時間、対象区域の地形、下層植生の繁茂状況、立木の密度などに影響される。

そこで、地上型レーザ計測に代わる方法として、小型レーザ装置を搭載したドローンが森林内部を飛行し、点群を取得するシステムを構築した。しかしながら林地内を従来のドローンが飛行する場合、木立との接触・衝突が避けられず、操縦者の高度な操作技術が必要となることが大きな課題となった。そもそもドローンは安全飛行のために、GNSSを利用した自動飛行（自律飛行）が望ましいが、林地内はGPS通信電波が到達しにくい環境にある。これを解決するために、機体に Lidar-SLAM 機構を持たせ、障害物への接触・衝突を回避することにより自動飛行し、移動する間にリアルタイムで3次元点群を取得し、その成果を現地作業中に確認できるシステムを完成させた。

#### 2. Lidar-SLAM 機構を搭載したドローン

ドローンを飛行させる作業では、計画ルートに忠実な飛行、構造物との衝突回避、安全配慮などから自動（自律）飛行を基本としている。この場合、平面位置座標を定義する基本は、全地球測位システム GPS(Global Positioning System)などの衛星測位システム GNSS(Global Navigational Satellite System)の位置情報であり、高度位置座標は気圧センサによる気圧変化情報である。ところが林地内飛行の場合、隣接する山岳・樹木・建造物などに遮られるためにGPS衛星電波の獲得個数が5~6個と少なく、自動飛行を実行できない場所が殆どである。従って、こうした非GNSS環境では手動飛行となり、もっぱら操縦者の飛行操作技能に依存することになり、操縦者への負担となる。

非GNSS環境でも自動飛行を実現させるため、様々な制御技術を比較検討した後、自己位置推定と環境地図作成を同時に行うことができるSLAM機構を導入した。ここで採用したSLAMは、レーザの測距によるLiDAR-SLAM(Light Detection and Ranging-Simultaneous Localization and Mapping)である。LiDARは、カメラ画像のように明暗に左右されることが少ないため、森林内部の明暗の差にも対応が可能である。また、高密度3次元点群データが取得できることから、枝や架線とい

った線状物も検知できる。

図-1 に示す当社の機体 (SPIDER-ST) は上下 2 枚計 8 枚のロータで、飛行時間 15~20 分、自動操縦が可能である。表-1 に機体の仕様を示す。機体の上部に搭載した LiDAR SLAM・センサ (図-2) は TOPAZ (NEAR EARTH AUTONOMY 社製) で、その仕様を表-2 に示す。



図-1 機体 SPIDER-ST



図-2 LiDAR SLAM・センサ

表-1 機体の仕様

機体名称	SPIDER-ST
外形寸法	900x900x450mm
駆動	モータ駆動 (8 個 : オクタ)
機体総重量	11.0kg (バッテリー含む)

表-2 LiDAR SLAM・センサの仕様

レーザシステム名称	全方位 3D-LiDAR センサ (TOPAZ)
外形寸法	165x120x139mm
電源	19V、最大 100W
重量	1.4kg
測定点数	300,000 点/秒
測定範囲	水平 360° 全方位、垂直 30° (±15°)
レーザの測定距離	0.5~100m

技術面の特徴を整理すると、LiDAR SLAM はまず、自己位置推定と周辺地図の作成を同時に行うことができること、そして、この SLAM 機構を搭載したドローン SPIDER-ST 機では、移動しながらリアルタイムに 3 次元計測ができ、さらに同時に、GNSS が捕捉できない環境で、自律飛行し、障害物を回避することができることである。

### 3. 実証試験

#### 3. 1 現場でのレーザ計測と結果確認

2019 年 10 月、広島県東広島市の図-3 の林道内で SPIDER-ST 機を飛行させ、システムの有効性を確認した。飛行対象エリアは 300 m<sup>2</sup>、飛行時間は 12 分であった。この飛行時にリアルタイムで取得した点群が図-4 である。このように計測中に点群を確認でき、なおかつ着陸数分後には 3 次元データが算出されているので、事務所に持ち帰ってから思わぬ計測ミスを発見し、再度計測し



直すといった手戻りを防ぐことができる。また、SPIDER-ST では飛行中に統合解析（マッチング）が自動的に行われることで、無駄なデータが蓄積されず、さらに連続面から逸脱した点群をノイズと判断し自動的に消去することから、データサイズを最小限に留めることができる。この結果、計測後の事務所でのデータ合成作業の削減にも大きく寄与する。このような特徴は、3次元モデルを構築する解析ソフトを所有せずとも、またそうした技能・経験技術者が社内でノイズ処理や種々の解析に数日にわたり作業する時間も必要としないことと同様に、利点と考えられる。



図-3 林道内での障害物回避



図-4 飛行時に取得した点群

### 3. 2 3次元データ算出までに要する時間

通常地上レーザであれば、森林内では死角が多いため、現場計測作業中に機械を据えかえることになる。このため取得したレーザ点群量も膨大となり、ノイズ処理とその後の合成作業が必要である。3. 1の対象エリアで、3次元データ算出までに要する時間を比較してみる。地上レーザでは、計測に4時間、その後の解析に12時間、合計16時間となる。一方ST機の場合は、現場準備・飛行と飛行中の合成時間を含め2時間となり、結果として8分の1となり大幅な作業効率の向上ができる。

### 3. 3 森林計測結果の解析

レーザ計測データ（図-5）から立木位置、樹高、本数などが求められる。また、胸高直径はこの3次元モデルを利用して、地盤より1.2m位置の各樹木の断面寸法で求められる。（図-6 参照）



図-5 レーザ計測データ

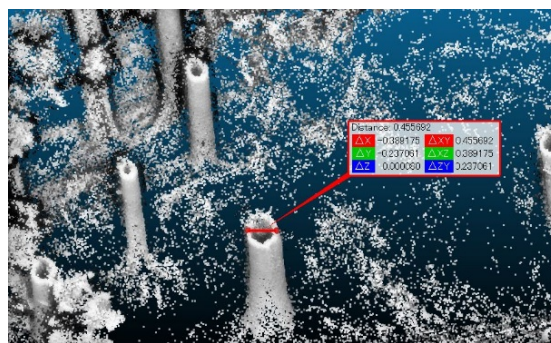


図-6 胸高直径算出結果

#### 4. 山地でのドローンの活用の課題、今後の展望

ドローンは車で現場近くまで輸送、離陸場所まではハンドキャリー可能な重量となっている。離着陸場所として、2mx2m の広さの平地があればよい。なお、林地の樹木が繁茂してドローンの飛行コースが確保できない場合は、図-7 に示すように LiDAR SLAM・センサを手持ち（ハンドヘルド方式）するか、図-8 に示すように背中に保持（バックパック方式）でも点群は同様に取得できる。また、ドローンで飛行した点群データとの統合も可能である。



図-7 ハンドヘルド方式



図-8 バックパック方式

このほか、ドローンの飛行ルートは保存されるため、時間が経過しても同じルートを飛行することができる。また、3次元モデルも同様に保存されることから、同じ林地内での経年変化状況把握にも貢献できる。

#### 5. 製品名・価格

製品名：機体 SPIDER-ST、LiDAR SLAM・センサ（TOPAZ）

価格：製造販売元（ルーチェサーチ株式会社）へ問合せ

〒731-0152 広島市安佐南区毘沙門台 4-16-21

電話 082-209-0230

MAIL [info@luce-s.jp](mailto:info@luce-s.jp) URL <https://luce-s.net>

#### 【参考資料】

「3次元地理空間情報による自動飛行システム」（渡辺豊、建設マネジメント技術, 2020年5月号, pp.34-38, 2020.）

## 5.2.2. 農林水産業や関連他産業からみたドローンの活用の現況・課題等

造林事業にドローンを活用する上での現場実装の課題や、農林水産業や関連他産業での現況、課題、展望等の情報収集を行うため、「ドローンビジネス調査報告書 2020」(株式会社インプレス)を購入し、関係部分の内容を整理した。

「ドローンビジネス調査報告書」では、①ドローンビジネス市場分析、②産業分野別ドローンビジネスの現状と課題、③各省庁の動向、④企業動向、の4章からなっている。そのうち、①においては、ドローン業界の課題として現場実装の課題についての解説があり、②においては、農林水産業、土木・建設、点検、空撮、搬送・物流、計測・観測、公共、運搬等、造林に関連または応用可能性のある分野について、現況、メリット、ビジネスモデル、課題、市場成長性、今後の展望等についての解説がある。

このため、①現場実装における一般的な課題、②農林水産業や関連他産業における現況、課題、今後の展望等の内容について以下に整理した。

### (1) 現場実装における一般的な課題

ドローンの活用について実証実験から現場実装に移行するに当たり、企業が留意すべき主な点は次のとおりである。

#### ① 体制や環境の構築

ドローンで何ができるかを確認する実証実験段階と、実際の現場でドローンを活用する実装段階との間にはギャップがあり、それを埋めるための十分な体制作りが必要となる。

実装段階では、現場でのオペレーション、各種許可申請、事前調整、機体を含む関連機器の管理などに加え、取得した各種データの管理も必要になり、体制作りは広範囲に及ぶ。実装に向けて、業務フローの再構築、作業マニュアルの作成、トレーニングコンテンツの作成、トレーニングの実施などが必要である。

#### ② 実運用コストの見通し

実際の運用コストは実証実験段階での想定金額より上がるケースが多い。費用対効果の算出に当たっては、単年度の取り組みではなく、複数年度にわたる取り組みを対象にすることが重要である。

#### ③ リスク管理

実運用に向けた体制整備の一環として、リスク管理を徹底する必要がある。法令遵守（コンプライアンス）、住民感情への配慮、セキュリティ面などの多岐にわたる要件について、リスクアセスメントを行い、どのような対策をとるかを決めておく必要がある。

#### ④ 人材確保

ドローンの技術人材をいかに確保するのが重大な課題になる。ドローンの活用が空撮や農薬散布だけでなく、インフラ・構造物点検、精密農業、土木測量、災害調査などの様々な分野に拡大するに伴い、オペレーター（操縦や管理）だけではなく、ソフトウェアエンジニアやハードウェアエンジニアの確保が、より重要になってくる。

## (2) 農林水産業や関連他産業における現況、課題、展望等

ドローンを活用できる分野は多岐にわたっているが、農林水産業や、関連他産業におけるドローンの活用の現状、課題、今後の展望等について整理した。

### ① 農林水産業

農業分野では、農薬散布、精密農業、鳥獣害対策等においてドローンの活用が考えられる。これらは造林における下刈り対策や、シカ、ノネズミ、ノウサギ等の林業における獣害防止対策にも活用できる内容であるため、参考になる。農薬散布における活用は、近年急速に普及しており、2019年度の規制緩和によって、さらに加速している。農薬散布以外の活用は、未だ実証実験の段階に留まっている。

#### 1) 農薬散布(肥料散布、種まき等含む)

##### ■現状

2016年4月に農林水産省がドローンによる農薬散布ガイドラインを定め、ドローンによる農薬散布が本格的に始まった。2019年7月に規制緩和の一環で同ガイドラインが廃止され、農薬散布向けの航空局標準マニュアルが適用されることになり、オペレーターの認定、農薬散布に使用する機器の選定、農薬濃度をドローンに適したものに変更する登録申請等でも、規制緩和が行われた結果、農薬散布におけるドローンの活用は急速に普及した。

現在、農薬散布サービスを行う事業者が増加し、利用が進んでいる。これまで、ドローンによる農薬散布はもっぱら水稻に対するものであったが、畑作、果樹、施設園芸、林業等における利用に向けた技術開発が進められている。

##### ■課題

技術的な課題としては、次のものが考えられる。

- ・「農薬を下に吹き付けるダウンウォッシュの弱さ」：作物の根元まで薬剤が届きにくい他、所定の圃場以外に農薬が飛散してしまう可能性がある。
- ・「正確性」：自動航行による均一な散布が期待される一方で、GPS精度の限界による航路のズレ、風やその他外乱の影響に対する対処等の課題がある。
- ・「手法」：カンキツ類をはじめとした急傾斜地の散布には高度な飛行技術が要求される。また、果樹の葉裏への農薬付着率を向上させる吹付け技術が確立されていない。
- ・「ドローン散布に適した薬剤」：ドローンのペイロードは小さく、地上散布を前提とした希釈倍数では効率的な散布ができないため、高濃度・少量で効果がある農薬の普及が求められる。
- ・「肥料」：肥料は粒剤が多く、粒剤散布装置が必要である。今後、生育不良箇所のみ施肥することが求められるため、生育情報と連携できるドローン及び施肥装置の開発が必要である。

##### ■今後の展望

農薬散布は比較的参入障壁が低いため、ドローンサービス事業者数の増加に伴う農薬散布サービスのメニュー化と価格の低下が予想され、利用者が増加すると考えられる。

また、農薬散布に加え、肥料散布や種の散布にもドローン利用が広がっていくことが見込まれている。

## 2) 精密農業

### ■現状

耕作地面積が広くない日本では、人工衛星のリモートセンシングによる精密農業は積極的に取り組まれてこなかったが、ドローンによる精密農業は、収量拡大、品質安定、農業従事者への具体的な指示等ができるメリットを考え、10ha 以上の中規模農家で利用が始まっている。

ドローンのリモートセンシング手法は、機体にマルチスペクトルカメラを搭載して圃場のデータを取得して、植生の分布状況や活性度の指標となる NDVI 値を解析する方法が主流であるが、NDRE や VARI 等のデータを取得・解析するケースもある。

### ■課題

分野特有の課題として、一般的に費用対効果が見合わないため、農家だけではなく、農協、各地方自治体の農政部、損害保険会社、レストラン、スーパー等の関係者でコストをシェアする仕組みが必要である。

技術的な課題としては、個々の作物及び成長ステージによってセンシング手法が異なるため、作物ごとに方法を整理する必要があること、果樹管理における作物の水平方向のセンシング技術の確立、非 GPS 環境であるハウス内での安定的な飛行技術の確立等がある。

社会的な課題として、圃場の状態の「見える化」により、農作物情報（収穫時期、収穫量、品質等）が事前に適切な形式で、食品加工会社、レストラン、スーパー、商社等の情報システムで利用できるようにすることが求められる。

### ■今後の展望

日本政府が公開した「空の産業革命に向けたロードマップ 2019」において、2021 年度から作付作物、圃場境界等の確認のためのソフトウェアを開発・改良し、2022 年度から野菜の生育状況・病虫害発生状況を把握し、圃場ごとに生育予測・生育診断できるアプリを実装することが目標になっている。

## 3) 鳥獣害対策

### ■現状

鳥獣害対策におけるドローンの活用は、カワウのアユ等の食害対策を水産庁が委託事業として技術開発した事例がある他、クマ、イノシシ、シカ等の被害対策においても、ドローンによる生態把握の実証実験が行われている。

### ■課題

サーマルカメラを利用する獣の生態把握では、昼は獣の体温と樹木の表面温度に差がなく判別が難しいこと、害獣を発見して追う払う一連の流れを、無人で行う技術開発が必要であること、山間地において一定の高度で飛行することが困難であるため、取得データの解像度に差異が出てしまうこと等が考えられる。

#### ■今後の展望

安価なサーマルカメラ搭載ドローンが開発されたため、今後、現場での活用機会が増えるとともに、単発的な実証実験から日常的・定期的な観察が可能になると予想される。

### 4) 林業

#### ■現状

樹木の本数の把握、マツ枯れ対策のための調査・薬剤散布、山林における除草剤散布等におけるドローンの活用について多くの実証実験が行われ、サービス化に向けた検討がなされている。また、架線架設時のリードロープの運搬、苗木の運搬等の専用機が製品化されている。

#### ■課題

分野特有の課題として、エリアが広域であるため、効率とデータの実効性のバランスがとれたデータ取得手法の確立が必要であること、樹木といった飛行の障害物が多い山間部やGPS衛星からの電波を受信しづらい深い谷間等があり、自動航行が困難であること等がある。

技術的な課題としては、斜面が多く一定の高度で飛行することが困難で、取得データの解像度が均一にならないこと、広域のデータ取得に適した固定翼ドローンが日本でほとんど普及していないこと、障害物が多い環境のため、衝突回避機能を強化すること、荷物運搬に実用的なペイロードが不足していること等がある。

社会的な課題として、第三者の上空飛行に係るルール策定、通過時間や航路等の有人機との調整、ドローンやセンシングに関する知識、技能を持った林業従事者の育成等が必要であることが考えられる。

#### ■今後の展望

森林環境税を財源として林業におけるドローンの活用が進むことが期待される中、「空の産業革命に向けたロードマップ2019」では、2022年度までに、全都道府県・全森林管理局において山腹崩壊、病虫害、気象害等の森林被害の把握等にドローンを利活用することが明記され、林野庁でも、ドローン実装に向けた様々なテーマを掲げたプロジェクトを、2020年度から2028年度にかけて取り組んでいくことを示している。

## ② 土木・建設

土木・建設分野では、もっぱら測量と、その派生である工事進捗、及び資材等の運搬においてドローンの活用が考えられる。測量技術や工事の進捗管理は、造林計画や造林の低コスト化に向けた効率的効果的な人員配置、林業機械利用等を検討していく上で参考となる。

### 1) 工事進捗

#### ■現状

ドローンによる空撮で工事進捗を確認するツールが開発され、地上での写真撮影による状況把握よりも容易に全体把握ができるようになった。上空から日常的に撮影し、適正な土量変化率を算出したり、人員、建設機械、資材の適正配置を図り、作業の効率化やコスト削減に寄与したりするソリューションがある。

#### ■課題

空撮を行うことが多い工事現場作業者に対する、飛行操縦や安全に関するトレーニング等を行うとともに、ヒューマンエラーをなくすための自動空撮技術の開発を進める必要がある。

#### ■今後の展望

投資対効果が見えやすい分野であるため、今後のドローン利活用の普及が見込まれる。

### 2) 測量

#### ■現状

政府の i-Construction の取り組みのもと、多くのマニュアルや要領が示され、ドローンによる測量の普及が進んでいる。

#### ■課題

測量データを生産性の向上や維持管理・更新に有効利用するため、オープンデータ化、セキュリティの確保、データ所有権の明確化、官民連携によるデータ管理の確立等が求められている。

図面、測量、施工、管理のそれぞれの段階でデータを三次元化することでメリットが生じるため、統一的に ICT を導入する必要がある。

#### ■今後の展望

近年は災害時の復旧工事で、被災現場の測量を迅速かつ安全に実施することが求められており、ドローンを活用した測量の機会が増えている。

### ③ 点検

公共のインフラ点検や民間の設備点検において、ドローンによる作業代替、効率化、コスト削減といった効果が認められ、その活用が進んでいる。これらは造林地での獣害防止対策の点検や植栽木の生育状況のモニタリングに応用できる可能性がある。

#### 1) 基地局鉄塔の点検

##### ■現状

通信インフラの1つである携帯電話の基地局が全国に約80万局あり、各携帯電話事業者やその委託を受けた通信建設企業、エンジニアリング企業が定期的な点検や保守メンテナンスを行っているが、2017年頃からドローンを活用する取り組みが開始された。ドローンが撮影した映像からAIが鉄塔のサビを検出する高度な点検ソリューション等が確立されている。

##### ■課題

基地局の鉄塔は複雑な構造物であるため、死角等を回避しながらの自律航行やカメラの角度変更等の撮影方法への対応が必要である。

#### 2) ソーラーパネル点検

##### ■現状

ドローンを活用した太陽光発電所の点検は、太陽光パネルの上空に赤外線カメラを搭載したドローンを飛ばして写真や動画を撮影し、データを解析して異常を見つけ出すものである。一般的に自動航行で行うため難易度が低く、参入ハードルが低い。そのため、ドローンの活用は、測量分野と並んで普及が進んでいる。

##### ■課題

赤外線カメラで太陽光パネルの異常発熱を捉えるため、点検作業は晴天時に限られる。赤外線カメラの画像・映像から異常発熱を判別できるが、その原因はわからない。また、現時点では、赤外線カメラ使用時の位置情報の特定が難しいため、異常個所の特定は人手に頼る部分が多い。今後のAI活用による自動化、効率化に期待される。

### ④ 公共

##### ■現状

警察、消防、遭難救助、災害調査等の行政機関の活動においてドローンの活用が始まっている。消防では、主に火災現場の状況把握や要救助者の探索などに利用している。また、地震や水災といった自然災害時には、災害状況把握などを通じて早期に復旧を行うため、ドローンの空撮調査が効果的であるという認識が広がり、多くの自治体が地域のドローン事業者や災害に特化したドローン団体との災害時連携協定を結んでいる。

##### ■課題

二次被害を起こさないための安全対策として、どのタイミングでドローンを利用すべきかを定めたルールや活動体制などに係る十分な検討が必要である。

また、的確かつ安全にドローンを活用するための人材育成が急務である。ドローンの操作技術



だけではなく、ドローンで得た情報をどのように活動に活かすかという情報リテラシー教育も今後より重要になる。

## ⑤ 運搬

### ■現状

不定形のルートを自律的に走行できる UGV（陸上型ドローン／無人搬送ロボット）や UAV（飛行型ドローン）を利用した運搬は、山間部、河川といった屋外での材料や資材、農産物等を運ぶ場合があり、特に UAV は林業や渡河におけるニーズが高い。

UAV は UGV に比べてペイロードが小さいが、河川や谷間を横断するといった、短距離ながら地上移動が困難なケースで有効であり、林業の索道用ガイドロープの運搬といった軽い物資の運搬で既に実用化されている。2020 年 2 月には、苗木運搬ドローン「森飛-morito-」の販売が開始された。このドローンは、1 フライトで約 8 kg のコンテナ苗 80 本程度を、機体に吊り下げる形で運搬できる。

### ■課題

ドローンに習熟していない作業員でも扱える簡易な操作性、雨や風などの天候に左右されない耐候性を改良する必要があるほか、より大きなペイロードを持つ機体の開発や、一度に長時間作業できるバッテリーの開発が期待される。ペイロードが大きな機体は続々と開発され、ドラム缶、木材、土嚢といった資材を運搬する実証実験が行われている。

### ■今後の展望

今後、UGV の自律性や UAV のペイロードの拡大が進めば、ドローンの活用ニーズは大きく広がる。

## ⑥ その他

### ■作付確認

2018 年 7 月に、佐賀県白石町の山地を除く全域約 8,500ha において、固定翼ドローンを用いた麦の作付確認を行い、調査員が現地に出向いて調査するのに比べ、圧倒的な時間短縮を実現した。

### ■ドローンの活用によるデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進

土木・建設や農業の分野では、DX を進めるための重要な情報（工事の進捗状況、農地や作物の状況等）をデジタル化することが困難であったが、ドローンの空撮によって画像データを収集できるようになった。収集したデジタル情報を SCM（サプライチェーンマネジメント）に活用したり、予測につなげたりすることができるため、これまで人的な労力やアナログな処理に頼っていた「勘と経験」の作業の圧倒的な効率化や生産性の向上を期待できる。

### 5.3. 国内の造林現場での活用・普及の可能性の分析

前述の文献調査やヒアリング調査等による情報収集結果、および第1回検討委員会での意見をもとに①苗木等運搬、②植栽穴の自動マーキング（植栽準備）、③ピンポイント苗木配置、④薬剤等散布、⑤荒廃地への播種・吹付による緑化、⑥ドローン運用管理システムの6テーマについてドローンの活用が目指す内容をそれぞれ整理し、実際に日本国内の造林現場でのドローンの活用・普及の実現可能性について分析を行った。

①苗木等運搬については、課題があるものの、既に幾つかの地域または事業者で少しずつ始まっているため、今後、よりドローンの活用・普及が進んでいくために必要と考えられる点を整理・分析した。

②～⑥のテーマについては、苗木等運搬に比べると事例が少ない。今後、ドローンの活用・普及が実現できるか不確定な部分が多く、また必要性についても意見が得られたため、それぞれのテーマの活用・普及について、必要性、技術的可能性、環境による制約、将来性等を整理した。

また、②～⑥の整理結果から今後の活用・普及を目指して取り組むテーマの優先順位を検討し、優先順位の高かったものを次年度以降取り組むべきテーマとし、後述7章の「ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等」の対象とした。

#### 5.3.1. 苗木等運搬

苗木等運搬について、ドローンの活用が目指す内容と分析結果を以下に整理した。

##### (1) ドローンの活用が目指す内容

車輛で持ち込まれた苗木は、架線運搬または人力で植栽エリアまで担ぎ上げられ一時集積、さらにその場から植栽ポイントまでは手持ちで小運搬していた。この工程をドローン運搬に置き換えることで、労力軽減につなげることを目指す。

##### (2) 分析結果

苗木等運搬については、事例調査により、既に幾つかの地域でドローンを活用した取組が少しずつ始まっている状況であることがわかった。しかしながら、維持管理や費用、バッテリー、最大運搬重量等の課題もあることがわかった。これらの課題を分析し、解決していくことにより、今後、苗木等運搬作業にドローンをより活用・普及させていくことができると考えられる。

以下、それぞれの課題を分析し、苗木等運搬においてドローンをより活用・普及させるために必要な点について整理する。

##### ① 費用（購入費・維持管理費等）

苗木等運搬に用いるドローンについては、後述の事例集でも紹介するように現状では200万円以上かかるものが多く、また維持管理についても保険やメンテナンス含め200万円程度かかるとの情報が得られた。つまり、ドローンを購入する場合、その減価償却期間において人力運搬した場合の労務費とドローン運搬した場合の労務費の差が購入費+維持管理費より大きくなる程度の活用頻度が必要と考えられる。一方、苗木運搬や資材運搬はほとんど植栽時に限定されるため、造林面積や造林箇所が少ない林業事業者にとってはドローンの活用頻度は多くないと考えられる。

このため、そうした事業者においては、地域で共同購入することや、ドローンの開発・販売会

社等に苗木等運搬を委託することでドローンを活用することができると考えられる。また、苗木等運搬へのドローンの活用が進み、ドローンの生産量が増加すれば購入価格も低下していくと考えられる。

## ② ドローンの最大運搬重量（ペイロード）

苗木等運搬に用いられるドローンの最大運搬重量は20kg以上のものもあるが、通常8kg～15kg程度のもが多く、15kgとされているものについてもバッテリーの消耗等を考慮し、実際には10kg程度の重量物を運搬している状況であることがわかった。苗木については1束（袋）あたりの量を調整することにより運搬重量を軽くできるが、獣害防止柵等の資材については、部材単位で15kg程度のももある。

このため、今後、最大運搬重量の大きいドローンがもっと開発される必要があり、苗木だけでなく資材や架線等の運搬にも活用していくことにより普及がより進むと考えられる。

## ③ バッテリー

現状では1回のバッテリー充電に30分程度かかり、植栽地まで2～3往復ごとにバッテリー交換をする必要があるため、複数のバッテリーが必要なこととバッテリー交換に時間がとられることが課題として挙げられる。またバッテリーへの衝撃がドローンの発火の原因となることも多いため、慎重な取り扱いが必要なこと、バッテリー自体の重さでドローンの最大運搬量を下げてしまう等の課題もある。

このため、ドローンによる運搬効率向上のためには、複数のバッテリーを用意して充電待ちの時間をなくし、効率よくバッテリー交換を行うことが必要である。こうした工夫により運搬効率が上がればドローンの活用のメリットも大きくなると考えられる。また、今後は軽量で安全なバッテリーの開発が望まれる。

## ④ 機体の操縦技術等

現状では、苗木等運搬等に用いるドローンは写真撮影用のドローンよりも大型で操縦に技術も必要である。また、操縦者はほとんど上空を見ているため、太陽による目の負担が大きい。このため、安全作業に向けた管理体制や人材育成等が必要であると同時に、操縦の簡易化も求められる。なお、人材育成等が難しい場合は①費用で説明したように外部委託する方法も考えられる。

### 5.3.2. 植栽穴の自動マーキング（植栽準備）

植栽穴の自動マーキング（植栽準備）について、ドローンの活用が目指す内容と分析結果を以下に整理した。

#### (1) ドローンの活用が目指す内容

従来、3,000本/ha（1.8m間隔）の植栽で、植栽者は尺棒と鍬を持ち、植穴の位置を決めながら苗木を植栽していた。近年、1,000～1,500本/ha（2.5～3.0m間隔）の低密度植栽が実証・導入され始め、植栽者にとっては不慣れな間隔で植栽位置決めにより労力を要するようになっている。このため、ドローンにより、植栽位置を自動マーキングすることで、適切な間隔で効率的な植栽につながる技術開発を目指す。

#### (2) 分析結果

植栽穴の自動マーキングについて、必要性、技術的可能性や環境条件による制約、将来性の点について下記に整理する。

##### ① 必要性

植栽穴の自動マーキングについては、自身で植栽箇所を判断する方が大事との意見も林業事業者から一部あった。しかし、今後、低コスト化の一貫として、低密度植栽が広く普及し、植栽間隔が広がり、これまでのように尺棒や唐鍬等で距離が測れなくなった場合、熟練の植栽者にとっても有用な技術となる。また、経験の少ない方が植栽を行う場合、植栽位置が事前にマーキングされている方が、現地で植栽位置を測りながら植栽穴を掘るよりも、示された位置に移動して掘るだけなので、効率化につながると考えられる。このため、全体的には自動マーキングの必要性はあると考えられる。

##### ② 技術的可能性や環境による制約

植栽位置へ自動飛行し、目印となる石灰や有色の液体等を噴射する技術については、過去に宮崎県で実施していた事例があることが森林総合研究所北海道支所へのヒアリング調査でわかり、技術や環境条件についての問題はあまりないと考えられた。ただし、伐根や障害物を判別して自動で避ける技術については未実証であり、それらを自動判別するには環境の異なる教師データを大量に集める必要がある。このため、自動判別技術については課題が残るものの、一部実証事例があることから、技術的可能性はある程度見込めると考えられる。なお、実用化にあたっては、過去の実施結果を参考にしつつ、改めて実証を行い、ドローンのアタッチメントやプログラムを開発・改良していくことが必要と考えられる。

##### ③ 将来性

必要性でも述べたとおり、今後、低コスト化の一貫として、低密度植栽が広く普及し、植栽間隔がこれまでより広がった場合、熟練の植栽者にとっても有用な技術となる。さらに、技術や経験の必要な部分がドローンを活用した技術で代替されることにより、人手不足の林業への新規参入も促されると考えられる。このため、将来性は高いと考えられる。

### 5.3.3. ピンポイント苗木配置

ピンポイント苗木配置について、ドローンの活用が目指す内容と分析結果を以下に整理した。

#### (1) ドローンの活用が目指す内容

苗木運搬の労力を最小化するため、苗木を植栽位置までピンポイントで運搬する技術を開発する。これにより、植栽間隔を人力で確認する作業や、苗木を植栽位置まで移動させる労力の削減を目指す。

#### (2) 分析結果

ピンポイント苗木配置について、必要性、技術的可能性や環境条件による制約、将来性の点について下記に整理する。

##### ① 必要性

ドローンにより苗木を植穴まで運ぶことで、苗木を運ぶ労力は削減できるものの、全植栽箇所に1苗ずつ配置していくと運搬箇所が非常に多くなり、機体の上昇、下降にかかる時間やドローンにより作業している間の植栽者の待ち時間など、苗木運搬の効率が悪くなると考えられる。このため、必要性は高くないと考えられる。

##### ② 技術的可能性や環境による制約

ピンポイント苗木運搬について、前述の植栽穴の位置が決まってしまうと、画像からの自動判別等を必要としないため、技術的可能性は高いと考えられる。ただし、植栽地が傾斜地の場合、置いた苗木が転がってしまう。例えばコンテナ苗の根鉢の形状を変え、地面に一部埋め込むように配置するなど、苗木側の工夫が必要と考えられる。このため、技術的可能性はあるが、環境条件による制約が考えられる。

##### ③ 将来性

現状では人力で植栽を行っているため、植栽自体も機械化し、ドローンと連動して低コストで実施できない限り将来性は低いと考えられる。なお、ドローン自体で植栽穴を掘って植栽まで行うのは他のテーマの技術より複雑で困難であると考えられる。

#### 5.3.4. 薬剤等散布

薬剤等散布について、ドローンの活用が目指す内容と分析結果を以下に整理した。

##### (1) ドローンの活用が目指す内容

獣害対策や下刈りにかかる労力とコストを削減するため、忌避剤、除草剤のドローンからのピンポイント散布を目指す。必要な箇所にピンポイントで散布することで薬剤の量を最小限にとどめ、コスト面、環境面に配慮する。

##### (2) 分析結果

薬剤散布については、国内事例が多いのに対し、海外事例は少なかった。

ドローンによる薬剤散布について、必要性、技術的可能性や環境による制約等、将来性の点について下記に整理する。

##### ① 必要性

下刈りや獣害対策にコストがかかる現状がある。薬剤散布により、それらの対策ができ、低コスト化・省力化ができれば有用であり、必要性はあると考えられる。

##### ② 技術的可能性や環境による制約等

複数機関により、ドローン（無人ヘリも含む）による森林内での薬剤散布の実証が行われている。農業分野ではピンポイント散布技術が開発されているため、技術的实现可能性は比較的高いと考えられる。なお、散布方式として自動散布と手動方式が考えられるが、ピンポイント散布を行う場合、現状ではタブレット画面を見ながら手動で行った方が確実に現実的であるという意見がヒアリングで得られている。

一方、環境による制約等が多い。例えば、現在林業で用いられている薬剤は、朝露で葉が濡れているときに撒かないと効果が出ず、散布時間が朝方の1、2時間に限られる。また、林業用の薬剤は種類が少なく、風で飛散しやすい剤形のため、環境への影響が懸念される山林での散布に適さないこと等が挙げられる。ドローン技術よりも薬剤の形状の開発が必要との意見もあり、技術的には可能なものの、環境による制約が大きいと考えられる。

##### ③ 将来性

画像解析技術の向上により農業分野で既に行われているピンポイントでの薬剤散布が造林地でもできれば、周辺環境への影響が低減でき、獣害対策のための忌避剤塗布にも活用できる。一方、ピンポイントの薬剤散布でも環境影響への懸念が出るようであれば、十分な調整が必要となる。

### 5.3.5. 荒廃地への播種・吹付による緑化

荒廃地への播種・吹付による緑化について、ドローンの活用が目指す内容と分析結果を以下に整理した。

#### (1) ドローンの活用が目指す内容

大面積の緑化には人力や有人ヘリコプターによる緑化が行われているが、山中に点在する崩壊地の緑化にはより低コスト、効率的な手法が求められている。そのため、ドローンからの播種等による緑化技術の確立を目指す。

#### (2) 分析結果

播種・吹付による緑化については、国内事例は少なかったものの、海外事例は比較的多かった。海外事例については、近年米国や欧州で問題となっている大規模森林火災後の荒廃地復旧を目的とする事例が目立つが、ドローンのアタッチメントや播種等のメカニズムについては参考になるものがあると考えられる。

##### ① 必要性

近年の異常気象に伴い頻発する土砂災害による小規模崩壊地やアプローチが困難な急傾斜地等において簡易な植生回復の技術が求められており、必要性はあると考えられる。

##### ② 技術的可能性や環境による制約等

木材生産目的での育林については難しいと考えられるが、地震豪雨による山地荒廃後の裸地や、シカ食害激害地等への緊急かつ精密な緑化という目的に関しては、今後の可能性が広がると考えられる。

また、使用する種子については、文献調査やヒアリング結果にもあるとおり、ゲル状物質でコーティングする方法が考えられる。テーマ別の調査結果と課題の整理で前述したとおり、精密地形図を作成し侵食防止剤を兼ねた液状粘着剤を散布するドローンと種子散布用ドローンを用意し、液状粘着剤の散布直後に種子散布用ドローンで近接散布する等により、散布の正確性と確実性が確保されることが考えられる。

##### ③ 将来性

種子を播種するというだけでなく、播種前の地形把握による播種位置特定から播種後の保育（施肥、灌水等）や生育状況のモニタリング等も一連でドローンを用いて行うようにすれば、有用性が広がると考えられる。

### 5.3.6. ドローン運用管理システム

ドローン運用管理システムについて、ドローンの活用が目指す内容と分析結果を以下に整理した。

#### (1) ドローンの活用が目指す内容

##### ① 各種アプリケーションの統合及びデータ管理・共有のためのクラウド

各技術においてそれぞれ開発する飛行・アタッチメント作動プログラムを、苗木運搬用プログラム、薬剤散布用プログラムのように個別ではなく、統合して一貫操作が可能なシステムの構築を目指す。プログラムだけでなく、機体についても年間を通じて様々な作業に使える機体と仕組みが必要である。

また、ドローンによるオルソ画像に基づく補助金申請・検査が制度として整ってきたなかで、データ管理・共有及び電子申請のためのクラウドシステムの開発を目指す。

##### ② ドローンの運用体制、人材育成

苗木運搬、薬剤散布等を行うドローンは積載量が大きい中～大型・高額な機体が必要になると想定される。年間稼働日数と費用対効果を検討し、所有・運用方法の検討を行う必要がある。

このため、研修会実施や操作マニュアル作成等を行い、操作者の人材育成（林業事業体に限らず、建設・農業分野のドローン業者も視野）等を目指す。

#### (2) 分析結果

ドローン運用管理システムについて、基本方針の①、②ごとに必要性や可能性、実現にあたって検討すべき点等を以下に整理する。

##### ① 各種アプリケーションの統合及びデータ管理・共有のためのクラウド

アプリケーションの統合については、苗木運搬については既存の飛行計画作成ソフトや飛行ソフトを用いており、薬剤散布については農業分野の既存ソフトを応用することになると考えられる。これらを統合するシステムは、技術的には可能と考えられる。委員会では、統合システムや使いやすいソフト（傾斜地での飛行計画作成などが簡単にできる）への要望が委員からあげられたことから、ニーズは高いと考えられる。ただし、運搬については様々な地形条件に対応しつつ安全に配慮した飛行計画、人員配置を行う必要があり、計画、操縦には柔軟な対応が求められることが実証から明らかとなった。これを実現しつつ操作は単純なシステムの開発は難しい可能性がある。薬剤散布も同様の可能性が考えられる。

データ管理・共有のためのクラウドについては、すでに他分野で実利用されており、林業用の開発は技術的には可能と考えられる。制度に対し電子申請の仕組みづくりが遅れている状況であり、ニーズは高いと考えられる。将来的にはクラウドで収集したデータを可能な範囲でオープンデータ化し、AI 教師データとして解析精度の向上に活用するなどの波及効果が期待できる。実現に向けては、すでに林野行政で稼働している森林クラウドとの連携方法を検討する必要がある。データと作業の流れを明確に定めれば、技術的には実装できると考えられる。



## ② ドローンの運用体制、人材育成

苗木運搬、薬剤散布等を行うドローンは積載量が大きい中～大型・高額な機体が必要になると、現地でバッテリー充電を行うための発電機等周辺機材の整備にも費用が掛かること、操作に熟練が必要であることから、単独の事業体での所有・管理では費用対効果が得られない可能性が考えられる。物流分野においても航空法の規制上、中山間地での導入に限られる可能性があり、人口が少ない地域での稼働率を上げるための工夫が必要となっている。農業分野においても高額な無人ヘリとその操縦者が多く活用されているが夏季以外はほとんど稼働してしていない。このように中山間地域においては、物流・農業・林業の各分野を横断的に運用し、高性能なドローンの稼働率を地域全体で上げていくことが必要となっている。物流・農業分野のドローン操縦者が林業に参入することも考えられるが、難易度が高い傾斜地でのドローン操縦に長けた林業分野の操縦者が他分野に参入できる可能性もある。体制づくりについては、モデル地域などを設定し、他分野も含めた実証が必要と考えられる。

このように他分野とも協働するドローンの運用体制を構築するにあたっては、各分野における年間の稼働計画を作成することが必要になる。林業分野においては苗木運搬の場合、年間の運搬本数、植栽面積、稼働時期などの計画が必要になる。また、業者に委託する場合でも年間の作業量で委託した方がコストを抑えることができる。

周辺機材も含めたドローンの導入・維持経費を算定し、費用対効果が見込める年間稼働率（苗木運搬本数、植栽面積など）を求め、林業分野単独または地域全体での運用など複数のパターンで運用体制を検討することが必要である。

### 5.3.7. ドローンの活用・普及に向けて次年度以降取り組むテーマの選定

造林現場でのドローンの活用に関する各テーマについて、①苗木等運搬については、既に各地で取組が始まっている段階であるため、次年度以降もドローンの活用による省力化や低コスト化への寄与度の評価を行い、運搬工程の最適化の検討やマニュアルの作成を行うこととする。

一方、②植栽穴の自動マーキング（植栽準備）、③ピンポイント苗木配置、④薬剤等散布、⑤荒廃地への播種・吹付による緑化、⑥ドローン運用管理システムの5テーマについては、苗木等運搬に比べると事例が少なく、今後、ドローンの活用・普及が実現できるか不確定な部分が多いため、取組の優先性を評価し、次年度以降取り組むべきテーマを選定した。

以下に②～⑥の各テーマ別に取組の優先性を整理する。

#### (1) 植栽穴の自動マーキング(②)

植栽穴の自動マーキングについては、自身で植栽箇所を判断する方が大事との意見もあったものの、全体的には必要性も高く、また、実証事例もあり技術的可能性もある程度見込め、将来性も高いことから、取組の優先性は高いと考えられる。

また、この技術は後述の(4)荒廃地への播種・吹付による緑化にも応用できるテーマでもある。

#### (2) ピンポイント苗木配置(③)

ピンポイント苗木配置については、技術的可能性は高いものの、ドローンを使って全植栽箇所に1苗ずつ配置していくのは効率が悪い。将来性も植栽自体がドローンで行うようにならない限り低いという状況であるため、取組の優先性は低いと考えられる。

#### (3) 薬剤等散布(④)

薬剤等散布については、下刈りや獣害対策によるコストの低減が期待される等、必要性があり、造林地での実証事例もあるため、技術的可能性も比較的高い。しかし、散布時間や風の有無等、環境条件に左右されるほか、合意形成の点でも課題があり、実証事例でも一時事業が中断するなどの報告がある。このため、必要性や技術的可能性は高いものの、現段階では 取組の優先性は低いテーマであると考えられる。

#### (4) 荒廃地への播種・吹付による緑化(⑤)

荒廃地への播種・吹付による緑化については、木材生産目的の林業においては必要性が低いものの、災害地での植生回復やアクセス困難地においては必要性がある。海外での実証事例は比較的多く、環境条件によっては可能と考えられる。将来的な可能性はあり、(1)植栽穴の自動マーキングの技術も一部応用可能と考えられるため、取組に挑戦する価値のあるテーマと考えられる。

#### (5) ドローン運用管理システム(⑥)

ドローン運用管理システムについては、ドローンの飛行・アタッチメント作動に伴う各種プログラムの統合が求められているほか、運用方法の提案によりドローンの活用の普及を促す上でも必要性の高いテーマであり、ドローンによるオルソ画像に基づく補助金申請・検査が制度として整ってきたなかで、データ管理・共有及び電子申請のためのクラウドシステム将来的に記載され、現状において 最も取り組むべきテーマと考えられる。

以上より、植栽穴の自動マーキング、荒廃地への播種・吹付による緑化、ドローン運用管理システムの3テーマを次年度以降取り組むテーマとして選定した。この結果を本事業の第2回検討委員会で報告し、委員からも了承を得ることができた。

②～⑥の各テーマの必要性、技術的可能性・環境による制約等、将来性および総合評価についてマトリクス表は次のとおりである（表 5-22）。

表 5-22 「ドローンを活用した新たな造林技術のテーマ」の整理表

テーマ	必要性	技術的可能性・環境条件による制約等	将来性	総合評価
植栽穴の自動マーキング	<p>△～○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・低密度植栽では植栽間隔も広くなるため、マーキングがあると植栽箇所を判断しやすい</li> <li>・通常の植栽密度でも、経験の少ない植栽者はマーキングがあるとやりやすいと考えられる</li> </ul> <p>※経験のある植栽者は自身で尺棒や唐鍬等で距離をはかり、植栽箇所を判断した方がよい</p>	<p>△～○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・森林総合研究所等の実施事業で、着色液体噴出による自動マーキングが実証されており、精度もよい</li> </ul> <p>※当時の実証では低空飛行がやや課題だったが現在の技術では解決出来ると考えられる</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・伐根や障害物を外しての自動化は未実証で教師データは大量に集める必要がある</li> </ul>	<p>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・低密度植栽では植栽間隔が広くなり距離を把握しづらくなるため、画像解析技術の向上により伐根や障害物を外してマーキングできるようになれば、現場での作業が行いやすくなる。</li> <li>・植付けの自動化ができるようになると、連動して効率化が図れる</li> </ul>	<p>○</p> <p>(実証例もあり、画像解析や連動可能な周辺技術も今後発展していくと考えられ、ピンポイント薬剤散布等、他のテーマに応用できる)</p>
ピンポイント苗木配置	<p>△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローンによる運搬箇所が多くなると運搬効率が悪い。</li> <li>・運搬当日に植栽できなかった苗木は現場に残置されるため、分散しているとシートを被せる等の対応がしづらい</li> <li>・現状ではピンポイントで配置できたとしても結局植栽は人力で行うため効率化されない。</li> </ul>	<p>△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ピンポイントの運搬は可能だが、植栽地が傾斜地の場合、置いた苗木が転がってしまうため、設置に工夫が必要となる(むしろコンテナ苗の形状の開発が必要かもしれない)</li> </ul>	<p>△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・植栽も人力でなくドローンで行うようになれば将来性はあるかもしれないが、そうでない限り必要性は低い。</li> </ul>	<p>△</p>
薬剤等散布	<p>△～○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・下刈りや獣害対策にコストがかかる現状があり、薬剤散布によりそれらの対策ができ、低コスト化・省力化できれば有用である</li> <li>・ピンポイント散布するには、現状では自動飛行、自動散布よりもタブレット画面を見ながら手動で行った方が確実に現実的である</li> </ul>	<p>△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・複数機関で実証済である</li> <li>・林業用の薬剤は種類が少なく、風で飛散しやすい剤形のため、環境への影響が懸念される山林でのドローンによる散布に適さない</li> </ul>	<p>△～○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像解析技術の向上によりピンポイントで薬剤散布できれば、周辺環境への影響が低減でき、獣害対策のための忌避剤塗布にも活用できる</li> <li>・ドローンでの散布に適した剤形(液体等)の薬剤の開発が必要である</li> <li>・技術開発がされたとしても環境影響への懸念は今後も続く可能性がある</li> </ul>	<p>△</p>
荒廃地への播種・吹付による緑化	<p>△～○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・近年の異常気象による土砂災害地での植生回復や、アプローチが困難な急傾斜地での緑化技術が求められているため、ドローンが活用できれば有用である</li> <li>・林業上は播種より苗木を植えた方が確実に現実的である</li> </ul>	<p>△～○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・技術的には海外でドローンからのコーティング種子の射出が実証されている</li> <li>・日本では、水田での散布は実用化されている。林業地では傾斜で流れたり、地面が固く打ち込めない場合があるため、ゲルに包み込んだり、地表面に固着させる技術が必要である</li> <li>・本州以南では種子のみの吹付では雑草木との競争により発芽・生育が困難だが北海道では計画的な育林も可能である</li> </ul>	<p>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・粒剤・液剤の地表への近接散布技術を発展させ、加工した緑化用種子を液状粘着剤散布直後に正確に散布する技術を確認させられれば、従来困難であった急傾斜地での播種技術を開発できる可能性がある</li> <li>・GPS 精度の向上や地形測量技術の向上により、自動飛行プログラムによる精密播種も可能となる。</li> </ul>	<p>○</p> <p>(種子の散布方法の工夫や測量等の技術の向上により、将来的な可能性はある)</p>
ドローン運用管理システム	<p>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローンを活用した低コスト・省力的な造林を進めていくためには、作業項目別にドローンを活用するよりも一貫作業が可能な(年間を通じて様々な作業に使える)システムを構築した方がよい</li> <li>・制度上は造林補助金の申請・検査にドローンオルソ画像が利用できるが、データをメディアで提出するのであれば紙書類提出と大差なく、申請・確認がクラウド上で完結するような電子申請システムが必要である</li> <li>・ドローンの適用分野によっては機体及び周辺機材の整備が高額であり、操作技術を要するため、年間通した稼働率の向上と専従者の育成等、効率的な運用体制の検討が必要である</li> </ul>	<p>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・アタッチメントを付け替えることで多用途に活用できるドローンもある</li> <li>・ドローンの機体及び周辺機材の導入費用等に対し必要な稼働率(苗木運搬本数=植栽面積)などが算定でき、費用対効果が見込める運用規模を算定できる</li> </ul>	<p>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローンの稼働率を上げるため、林業分野でのドローン会社設立、他分野も含めた地域でのドローン運用などの可能性がある。</li> <li>・森林クラウドでの伐採届電子申請、他分野でのドローン撮影画像アップロード→オルソ化→データ確認などのシステムが実用化できる可能性がある</li> <li>・クラウド上でデータ管理・申請等が実現すれば、ビッグデータとして AI の教師データなどに活用でき、森林・林業分野での解析技術の向上に寄与する</li> </ul>	<p>○</p> <p>(森林クラウドとドローン運用管理システムを連携すると効果的、ドローン運用管理で収集したオルソ画像等をビッグデータとして植栽穴の自動マーキングのための画像解析技術に活用できる)</p>

(令和2年度第2回検討委員会資料を一部修正して抜粋)

#### 5.4. 事例集（パンフレット）の作成

前述の情報収集調査・分析結果や後述の苗木等運搬の実証調査結果を踏まえ、造林分野へのドローンの活用の優良事例や、今後更なる開発や普及が期待される事例として、ドローンを活用した苗木等運搬（林業用資材運搬含む）を4事例、薬剤散布を1事例、先駆的な造林技術開発を1事例紹介する事例集（パンフレット）を作成した。

また、苗木等運搬事例紹介については、それぞれの異なる機種ドローンを使用した事例を紹介し、各ドローンの特徴や、それぞれの苗木等運搬の成果から、林業関係者がドローン導入に関心を持ってもらえる内容となるよう心がけた。

作成した事例集（パンフレット）は次のとおりである。





# 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造林を目指す～





## はじめに

我が国の再造林面積は年間約3万haであり、主伐面積に対する再造林の割合は3～4割程度にとどまっている。このように再造林が進まない理由としては、主伐によって得られる収入に比べて再造林に要する費用が多いことや、造林に携わる林業就業者が減少していることなどが要因として挙げられます。今後、国内の労働人口は減少することが予測されている中で、主伐後の再造林面積を確保していくためには、再造林の低コスト化・省力化が重要となっています。そのような背景の中で、急傾斜・不整地での再造林の省力化に貢献する取り組みとして、ドローンによる苗木を運搬する取り組みが徐々に進展しています。

本書では、造林に携わる方々が、ドローンによる苗木運搬の導入を検討する際の参考になるよう、全国の様々な運搬用ドローンの機種とその事例を紹介します。

### ドローンによる苗木運搬のポイント

- ・ 架線集材を実施するような急傾斜地において効果が発揮される。
- ・ フォワーダ等の車両が植栽地近くまで進入できる場合でも、苗木の集積地からの運搬距離が長い場合はドローンによる運搬の効果が期待できる。
- ・ 運搬用ドローンは比較的高額であり、操縦にも熟練を要するため、林業事業体で所有する場合は年間植栽面積が少ないと費用対効果が発揮できない。  
(急傾斜地が多い和歌山県の林業事業体では年間約90haを植栽し、費用対効果を発揮している。)
- ・ 林業事業体単独で事業量が確保できない場合、複数林業事業体での共有や農業用ドローン業者(繁忙期が夏のみ)への委託などにより効率的に利用できる可能性がある。

また、造林分野でドローンが活用できる運搬以外の作業として、ドローン撮影画像による植栽位置決めや、農業分野で実用化されている薬剤散布を紹介します。

### 目次

はじめに .....	1
苗木運搬の各事例で使用されたドローンの特徴 .....	2
事例1-1 ～ 事例1-4 ドローンによる苗木運搬 .....	3
事例2 ドローンによる先駆的な造林技術開発 .....	11
事例3 ドローンによる薬剤散布 .....	13



## 本パンフレットで紹介する苗木運搬の各事例で使用された ドローンの特徴

### ■ 各機種の概要及び運搬体制

事例	機種名	運搬可能重量	最大飛行時間 (無負荷時)	本体価格	操縦者	補助者※1
I-1	いたきそ	約 15kg	50 分	650 万円	2 名	2 ~ 3 名
I-2	EAGLE24	約 24kg	20 分	360 万円	2 名	2 ~ 3 名
	EAGLE15	約 15kg	20 分	300 万円	2 名	2 ~ 3 名
I-3	森飛 (2 オペ型)	約 10kg	30 分	168 万円	2 名	0 ~ 1 名
	森飛 (ウインチ型)	約 8 kg	30 分	268 万円	1 名	0 ~ 2 名
I-4	E616	約 10kg	15 分	210 万円	1 名	1 ~ 2 名

### ■ 各機種の特徴

事例	機体情報の概要 運搬体制	特徴
I-1	機種：いたきそ メーカー：上道キカイ※2 運搬可能重量：約15kg 最大飛行時間：50分（無負荷時） 本体価格：650万円 操縦者/補助者：2名/3名	<ul style="list-style-type: none"> <li>・素早い脱着が可能な「簡易フック」を使用しているため作業速度が向上。</li> <li>・「2オペ型」のため、ドローン出発点から荷下ろし地点が見えない場所で有効。</li> <li>・GPSを5つ搭載しているため安定性が高い</li> <li>・苗木だけでなく林業用資材の運搬実績がある。</li> </ul>
I-2	機種：EAGLE24/EAGLE15 メーカー：DroneWorkSystem 運搬可能重量：約24kg/約15kg 最大飛行時間：20分（無負荷時） 本体価格：360万円/約300万円 操縦者/補助者：2名/2名～3名	<ul style="list-style-type: none"> <li>・独自開発したフライトコントローラにより安定性が高い。</li> <li>・「2オペ型」のため、ドローン出発点から荷下ろし地点が見えない場所で有効。</li> <li>・EAGLE24は最大積載量24kgと搬送能力が大きい。</li> </ul>
I-3	機種：森飛 (morito) 2オペ型 メーカー：マゼックス 運搬可能重量：約10.4kg 最大飛行時間：30分（無負荷時） 本体価格：168万円 操縦者/補助者：1名/0名～1名	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「自動開閉フック」により、荷下ろし地点で補助者が必要なく、荷掛け・荷下ろし地点に操縦者各1人で作業可能。</li> <li>・「2オペ型」のため、ドローン出発点から荷下ろし地点が見えない場所で有効。</li> <li>・森飛 (ウインチ型) よりも飛行可能距離が長い。</li> </ul>
	機種：森飛 (morito) ウインチ型 メーカー：マゼックス 運搬可能重量：約8kg 最大飛行時間：30分（無負荷時） 本体価格：268万円 操縦者/補助者：1名/0名～2名	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「自動開閉フック」と「ウインチ」により荷下ろし地点で補助者が必要なく操縦者1人（1オペ）で作業可能。</li> <li>・離陸地点と着陸地点の飛行経路は登録することで自動飛行が可能。</li> </ul>
I-4	機種：E616 (ARRIS) メーカー：ARRIS 運搬可能重量：約10.4kg 最大飛行時間：15分（無負荷時） 本体価格：約210万円 操縦者/補助者：1名/1名～2名	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「1オペ型」のため、荷下ろし地点に操縦者は不要。</li> <li>・農業散布用の機種（本事例では運搬事業者がアタッチメント部分を独自に開発して苗木運搬に活用）</li> </ul>

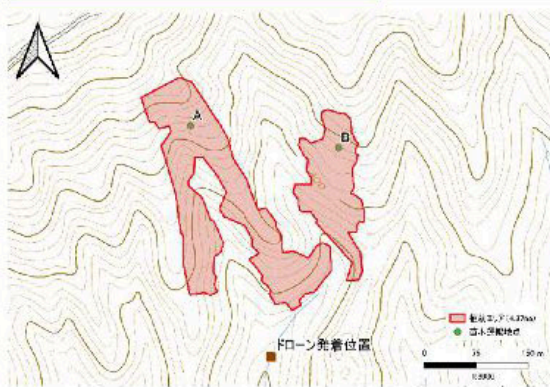
※1 荷掛け、荷下ろし、バッテリー交換等雑務全般、安全確認等。

※2 現在は、開発や保守管理には携わっていない。

## 事例1-1：和歌山県田辺市「いたきそ」による苗木運搬

### ■現地の状況

場所	和歌山県田辺市 株式会社中川社有林
傾斜	約 30°
運搬先までの比高	133～164m
運搬先までの水平距離	316～358m
現地での伐出方法	架線集材
苗木運搬箇所数	2箇所 (A,B 地点)
備考	植栽面積 4.37ha のうち、約 2.70ha 分、ドローンにより運搬 (残りは人力により運搬)



### ■運搬結果

**ヒノキのコンテナ苗を 173 分で 6,000～7,500 本(607.2kg)運搬<sup>1)</sup>**

運搬量：ヒノキのコンテナ苗 60 束 (607.2kg)

1 回当たり 1 束 (100 本または 125 本：約 10kg) を運搬

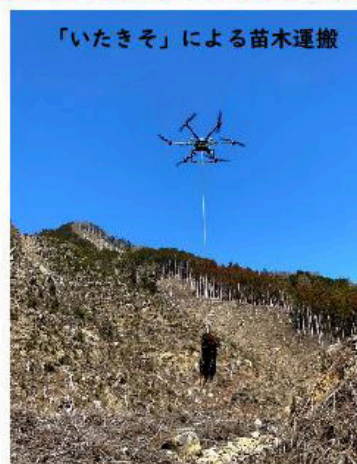
- ・ A 地点に 32 束 (318.3kg) 運搬
  - ・ B 地点に 28 束 (288.9kg) 運搬
- (合計 60 束×100～125 本=6,000～7,500 本運搬)

時間：173 分

- ・ 飛行時間 149 分 (60 往復) (荷掛け含む)
- ・ バッテリー交換 22 分 (7 回)
- ・ その他 (点検) 2 分

### その他、利点等

- ・ 植栽地が土場から近いとドローンによる効率化が見込めないため、土場から植栽地までの高度が 50m 超かどうかをドローン活用の基準としている。
- ・ 腰痛等の労災リスクがなくなり、体力を要しないため、怪我をしている人や老若男女を問わず様々な人が運搬作業に従事できる。



<sup>1)</sup> 「いたきそ」による資材運搬動画 (和歌山県田辺市)  
(事例では苗木運搬を紹介しているが、動画は資材運搬の例)

<https://www.youtube.com/watch?v=Uf88n51pPWA>

動画の二次元バーコード





■機体情報と運用事例

**簡易フックにより機体を着陸させることなく荷掛け、荷下ろしを素早く行うため、作業効率の良さが特徴**

機種名	UKN5（いたきそ）高性能仕様
機体価格	650万円（税抜本体価格） ※その他専用バッテリー18万、充電器12万円
販売店	円陣株式会社
飛行方法	手動（操縦者2人：2オペレーションシステム）
大きさ	約173.0(108)cm×約173.0(108)cm×約53.0(同)cm（括弧内は収納時）
機体重量	約10kg（バッテリー除く）
運搬可能量	約15kg
最高時速	約30km/h
電波到達距離	電波到達距離約2km/使用周波数帯2.4GHz
最大使用可能時間	無負荷時約50分/（5kg積載時約25分）
アタッチメントの特徴	作業速度向上のため、素早い脱着が確実なフックを使用。
機体の特徴	6枚羽による安定飛行、15kgまでの運搬が可能
本事例での運用方法	林業事業体自身で当機種を導入し、活用（当機種の開発にも関わる）
本事例での運用上の工夫や留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業効率を良くするため、ホバリング中に人力で荷掛け、荷下ろしを実施。</li> <li>安全面等を考慮し、苗木を吊り下げるワイヤーの長さを5～6mとし、作業体制も5人と充実させている。</li> <li>運搬可能量最大で飛行するとバッテリー消費が激しいため、実際には10kg程度を運搬。バッテリーは30分で高速充電でき、5個用意。また、万一落下しても衝撃を吸収し、発火しづらいハードケースに入れたまま使用。</li> <li>荷下ろし地点は植栽のしやすさを考慮し、植栽地に2箇所設置。</li> </ul>
本事例での作業人数	基本5人（オペレーター2人、荷掛け1人、荷下ろし1人、バッテリー交換等雑務全般1人） 



機体：6枚羽による安定飛行が可能

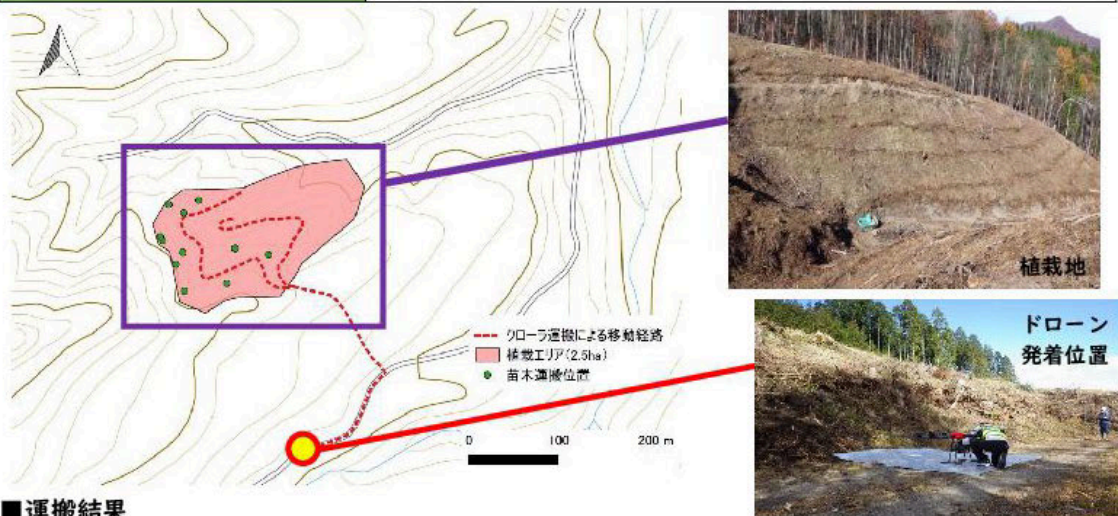


アタッチメント：簡易フックを使用

## 事例 1-2 : 群馬県東吾妻町 「EAGLE」 による苗木運搬

### ■現地の状況

場所	群馬県東吾妻町 国有林
傾斜	約 35°
運搬先までの比高	25~50m
運搬先までの水平距離	210~320m
現地での伐出方法	フォワーダ集材
苗木運搬箇所数	11箇所
備考	植栽面積 2.5ha



### ■運搬結果

**EAGLE15 ではカラマツコンテナ苗を 198 分で 2,750 本(521.1kg) 運搬、EAGLE24 では同じ時間でその倍の運搬が可能<sup>2</sup>**

**運搬量：【EAGLE15】カラマツのコンテナ苗 55 束 (約 521.1kg)、【EAGLE24】 8 束 (75.9kg)**

- EAGLE15：1回当たり1束(50本：約9.5kg)を運搬
  - ・計10箇所にそれぞれ5~6束、合計55束2,750本(521.1kg)を運搬
- EAGLE24：1回当たり2束(100本：約19kg)を運搬
  - ・1箇所に8束(約76kg)を運搬

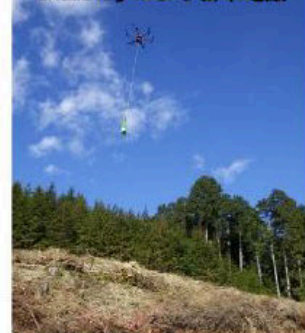
**時間：198分(EAGLE15)**

- ・飛行時間162.5分(55往復)
- ・バッテリー交換24分(24回)、荷掛け11.5分  
(EAGLE24は4往復のフライトで、平均往復時間はEAGLE15と同程度)

**その他、利点等**

- ・実証当日は枝先が揺れる風が吹いていたが、フライトコントローラの性能がよく、風に影響されない飛行ができていた。
- ・EAGLE24と合わせて3,150本の苗木が運搬でき、計10人日で植栽を完了した。

「EAGLE15」による苗木運搬



<sup>2</sup> 「EAGLE15」による苗木運搬動画(群馬県東吾妻町)  
<https://www.youtube.com/watch?v=dhmyo0JoifA>

動画の二次元バーコード

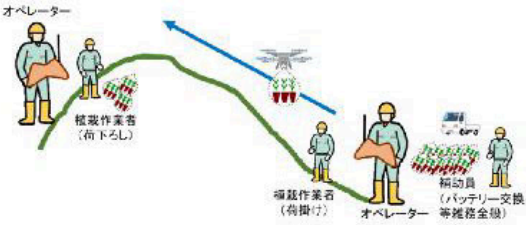




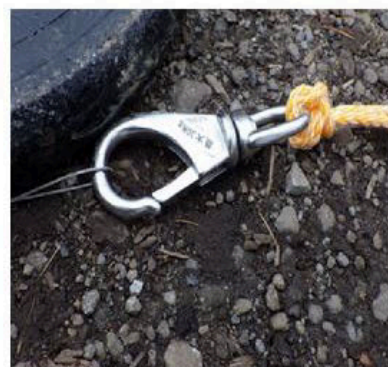
■機体情報と運用事例

**風に強く、フックにより機体を着陸させることなく荷掛け、荷下ろしを行うため、作業効率の良さが特徴**

機種名	EAGLE15	EAGLE24
機体価格	約 300 万円 (税抜セット価格)	約 360 万円 (税抜セット価格)
販売店	株式会社 DroneWorkSystem	
飛行方法	手動 (2オペレーションシステム)	
大きさ	約 100.0cm×約 110.0cm ×約 64.0cm	約 110.0cm×約 110.0cm ×約 74.0cm
機体重量	約 17.9kg (バッテリー含む)	約 20.8kg (バッテリー含む)
運搬可能量	EAGLE15 : 15kg	EAGLE24 : 24kg
最高時速	20km/h	
最大使用可能時間	20 分	
アタッチメントの特徴	作業速度向上のため、素早い脱着が可能で、かつ途中で苗木が落ちないようにレバー付のフックを使用	
機体の特徴	フライトコントローラから独自開発し、機体が風向・風力等を判断、風による影響を低減。6 枚羽。	
本事例での運用方法	ドローン開発・サービス会社に委託して実施	
本事例での運用上の工夫や留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業効率を良くするため、ホバリング中に人力で荷掛け、荷下ろしを実施。</li> <li>安全面等を考慮し、苗木を吊り下げるロープの長さを 5m 程度とし、作業体制も 5 人 (うち荷掛けと荷下ろしは植栽作業者に依頼) と充実させている。</li> <li>運搬可能量最大で飛行するとバッテリー消耗が激しいため、実際には EAGLE15 で 10kg 程度、EAGLE24 で 20kg 程度を運搬。</li> <li>バッテリーは 30 分程度で充電できるが、1 日飛ばす場合、10 台以上用意。</li> <li>荷下ろし地点は植栽のやすさを考慮し、植栽地に 11 箇所設置。</li> </ul>	
本事例での作業人数	基本 5 人 (オペレーター 2 人、荷掛け 1 人、荷下ろし 1 人、バッテリー交換等雑務全般 1 人)	



機体：フライトコントローラを独自開発し、風に強い

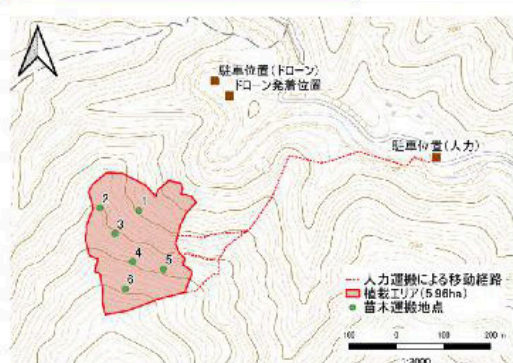


アタッチメント：レバー付のフック

## 事例1-3：和歌山県日高川町「森飛」による苗木運搬

### ■現地の状況

場所	和歌山県日高川町 住友林業株式会社社有林
傾斜	約 35°
運搬先までの比高	113~251m
運搬先までの水平距離	350~540m
現地での伐出方法	架線集材
苗木運搬箇所数	6箇所
備考	植栽面積 5.96ha



### ■運搬結果

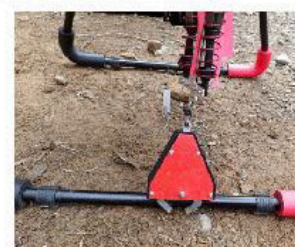
**スギのコンテナ苗をウインチ型では 227 分で 2,340 本(約 304kg) 運搬、2 オペ型では 161 分で 2,280 本(約 296kg)運搬<sup>3</sup>**

**運搬量：【ウインチ型】スギのコンテナ苗 117 束 (約 304kg)、【2 オペ型】 114 束 (約 296kg)**

- ウインチ型：1 回当たり通常 3 束 (60 本：約 7.8kg) を運搬
  - ・計 3 箇所にそれぞれ 36~43 束、合計 117 束 2,340 本 (約 304kg) を運搬
- 2 オペ型：1 回当たり 3~4 束 (60~80 本：約 7.8~10.4kg) を運搬
  - ・計 3 箇所にそれぞれ 23~47 束、合計 114 束 2,280 本 (約 296kg) を運搬

**時間：【ウインチ型】 227 分、【2 オペ型】 161 分**

- ウインチ型：飛行時間 188 分 (40 往復)・バッテリー交換 23 分 (14 回)
- 2 オペ型：飛行時間 132 分 (33 往復)・バッテリー交換 16 分 (10 回)  
(バッテリー交換には荷掛けを含む)



自動フックにより荷下ろしに係る作業員が必要ない

### その他、利点等

- ・自動フックのため、苗木の荷下ろしに補助員が要らず、操縦者だけでスムーズに運搬できる。
- ・ウインチ型では、自動飛行機能があり、操縦者 1 人のため、作業人数を減らせる。見通しがきかない場所は 2 オペ型の使用が必要であるが、運搬量や距離はウインチ型に勝る。
- ・ドローンで運搬された苗木については、計 50.5 人日で植栽を完了した。

<sup>3</sup> 「森飛」による苗木運搬動画 (和歌山県日高川町)  
(動画の前半は森飛 2 オペ型、動画の後半は森飛ウインチ型)  
[https://www.youtube.com/watch?v=36\\_2KQ2CVoc](https://www.youtube.com/watch?v=36_2KQ2CVoc)

動画の二次元バーコード





■機体情報と運用事例

**ウインチ型⇒自動操縦による人件費、スケジューリングの削減**

**2オペ型⇒運搬可能量・距離に優れ、正確な作業が可能**

機種名	森飛（-morito-）ウインチ型	森飛（-morito-）2オペ型
機体価格	268万円（税抜本体価格）	168万円（税抜本体価格）
販売店	株式会社マゼックス	
飛行方法	自動（1オペレーションシステム）	手動（2オペレーションシステム）
大きさ	約98.0cm×約98.0cm×約57.2cm	
機体重量	約10.7kg（バッテリー除く）	
運搬可能量	約8kg（ウインチ限界値）	約10.4kg
最高時速	30 km/h（P mode）、58km/h（S mode） ※P modeは通常モードで、S modeは速度優先モード	
電波到達距離	2000m	1000m
最大使用可能時間・風速	30分（使用可能時間）、7m/s（最大使用風速）	
アタッチメントの特徴	自動開閉フックとウインチを装着。ドローン発着（荷掛）地点の操縦者がカメラ画像を見ながらウインチを巻き上げて荷下ろしを行う。安全に吊り下げ運搬を行うために独自開発した共振防止装置を標準装備。	自動開閉フックを装着。荷下ろし地点の操縦者が高度を下げて荷下ろしを行う。安全に吊り下げ運搬を行うために独自開発した共振防止装置を標準装備。
機体の特徴	操縦者が1人であり、人件費の削減、実施計画が容易。自動飛行のため、飛行ルートが最短となる。	運搬可能量が1オペに勝る。オペレーターが2人いるため運搬可能距離が長く、尾根を挟んでも目視内で飛行可能。
本事例での運用方法	林業用ドローンを含む林業機械の販売・修理店に委託して実施。	ドローン販売・サービス会社に委託して実施。
本事例での運用上の工夫や留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウインチ型については、運搬実施前に荷下ろし地点の位置をGPSで記録。</li> <li>機体に防塵・防滴機能はあるものの、雨天時には運搬を控え、機体が濡れないよう、パイプテント内に移動。</li> <li>バッテリーの充電時間が40分かかり、最小限バッテリー3本、充電器2個、発電機1個が必要。荷掛け時は毎回ドローンを着地。</li> <li>荷下ろし地点は植栽のしやすさを考慮し、植栽地に6箇所設置。</li> </ul>	
本事例での作業人数	出発点に操縦者と補助者を各1人の計2人配置して自動飛行	出発点に操縦者と補助者を各1人、荷下ろし点に操縦者を1人の計3人配置して手動飛行

※同一機体でのウインチ型と2オペ型の使い分けはできない



森飛（-morito-）ウインチ型



森飛（-morito-）2オペ型



## 事例1-4：宮崎県延岡市「E616」による苗木運搬

### ■現地の状況

場所	宮崎県延岡市 民有林
傾斜	30° ~45°
運搬先までの比高	180m
運搬先までの水平距離	440m
現地での伐出方法	架線集材
苗木運搬箇所数	1箇所
備考	植栽面積 4.54ha



### ■運搬結果

## スギコンテナ苗を 137 分で 1,030 本運搬<sup>4</sup>

運搬量：スギのコンテナ 21 束 (1,030 本)

- ARRIS E616：1回当たり1束  
(40~60本：約7~10kg) を運搬
- ・1箇所に合計21束 1,030本運搬

時間：137分

- ・飛行時間 68分 (21往復)
- ・バッテリー交換 50分 (7回) (荷掛け含む)
- ・荷掛けのみ 19分

その他・利点等

- ・現場は 4.54 ha、植栽本数 7,500 本と事業量としても大きく、急傾斜地な為、ドローンを活用して労働力の軽減を実現できる条件が揃っている



<sup>4</sup> 「E616」による苗木運搬動画 (宮崎県延岡市)  
<https://www.youtube.com/watch?v=3D89soImpW8>

動画の二次元バーコード

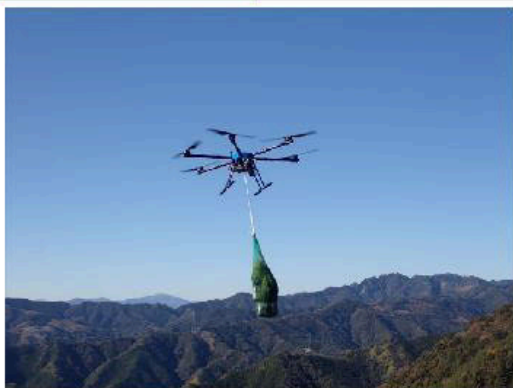




■機体情報と運用事例

**自動取り外し機能により機体を着陸させることなく荷下ろしを行うため、作業効率の良さが特徴**

機種名	E616
機体価格（税抜）	180～240万（付属オプションによる）
販売店	ARRIS
飛行方法	手動（1オペレーションシステム）
大きさ	約100.0cm×約95.0cm×約60.0cm
機体重量	約19.5kg（バッテリー含む）
運搬可能量	約10.4kg
最高時速	40km/h（リミッターをつけて飛行速度を制限）
最大使用可能時間	約15分
アタッチメントの特徴	作業速度向上のため、素早い脱着が確実なリングを使用。苗木をつるす紐先にリングをつけ、遠隔操作でリングごとドローンから切り離す。
機体の特徴	農業散布用の機種を苗木運搬に活用（本事例では運搬事業者がアタッチメント部分を独自に開発）、6枚羽。
本事例での運用方法	林業事業者が空撮会社に委託して共同実施
本事例での運用上の工夫や留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業速度向上と人件費削減のため、苗木をつるす紐先にリングをつけ、遠隔操作でリングごとドローンから切り離す装置を独自開発。</li> <li>荷下ろし地点の補助者が切り離すタイミングを操縦者に無線連絡。荷掛け時は毎回ドローンを着地</li> </ul>
本事例での作業人数	<p>出発点に操縦者1人と補助員（荷掛け、雑務）1人、荷下ろし地点に補助員（無線連絡）1人の計3人配置して手動飛行。</p> 



機体：6枚羽で安定した飛行を実現



苗木をつるす紐先のリング

## 事例 2：ドローンによる先駆的な造林技術開発

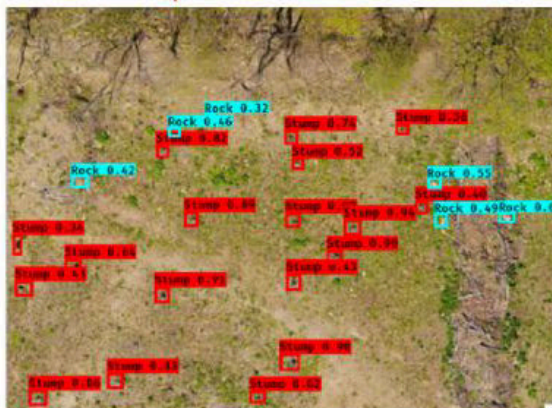
林野庁の令和2年度林業イノベーション推進総合対策のうち「省力化機械開発推進対策（作業の軽労化・効率化に向けたソフト開発事業）」では、「ICT を活用した伐採・造林のムダなし一貫作業システムの構築」（国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所と株式会社フォテックの共同研究）に取り組んでいる。

この事業では、造林作業の改善点として、1. 経験者の勘に頼っている植栽のプランニング、2. 人工を要する植栽作業時の位置決め作業を取り上げ、これらの作業を改善するシステムとして「造林プランニングシステム」と「立木位置情報管理システム」を開発している。

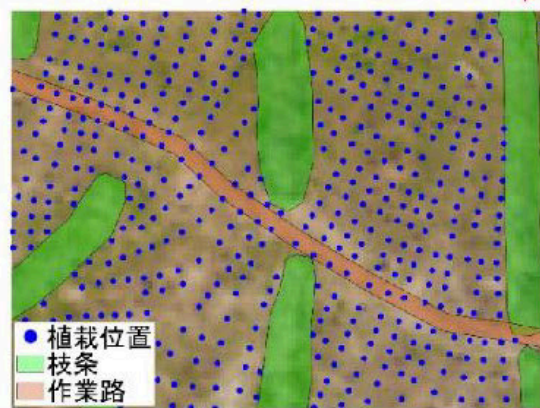
以下に、各システムについて紹介する。

### ■造林プランニングシステム

背景と課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・造林、育林での情報管理技術導入の大きな遅れ</li> <li>・植栽作業は現場任せで、将来の作業への機械導入等の考慮なし</li> </ul>
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローン空撮と AI 画像判定により地形把握と地物判定を高速化</li> <li>・将来の機械導入を考慮した植栽計画を生成</li> </ul>
事業効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事前の地況把握に基づき、簡単な設定の入力でプランニングを容易に実現</li> <li>・将来の更なる機械導入を促進し、効率のかつ安全な作業を実現</li> </ul>



深層学習による切り株判定の例



現場地形に応じた植栽列自動生成の例



### ■空撮の方法等

植栽地の事前空撮は、現状では、植え付け作業を行う直前の地拵え後を想定している。撮影用ドローンについては、特定の機種に限られることのないよう、一般に普及している機種やその搭載カメラが使用できるよう開発を進めている。

深層学習による地物の判定においては、判別しようとする地物を詳細に捉える解像度で撮影を行うことが必要である。例えば、5cmといった解像度での撮影では、切り株は数画素×数画素で表現され、判別に不十分な解像度と考えられる。そこで、解像度が1-2cm程度となる設定で飛行させることを想定している。これは一般的な機体では、対地高度50m程度に設定した撮影となる。この場合、ドローン空撮画像を用いて三次元モデルを作成するのに適切な重複率を確保した上で、数haといった一般的な民有林の伐採区画を一度のフライトで撮影できる。

植栽計画の単純な立案のみならず、植栽位置への誘導も一体として予定する場合は、植栽現場に設置する基準点との相対位置座標が正確に分かることが望ましく、座標の分かる地上基準点(GCP)を設置した上で空撮を行うか、今後普及が期待される測量用ドローンの活用により空撮時のカメラ位置座標を正確に記録し、処理データに正確な座標を与えることが必要である。

### ■立木位置情報管理システム

背景と課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 植栽計画の現場での再現には、植栽位置に作業員を誘導する必要</li> <li>・ 現状、斜面の上り下りを伴う面倒な位置決めが発生</li> </ul>
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 植栽計画位置へ迅速に誘導するデバイスの開発</li> <li>・ 将来の下刈りの誤伐防止等に活用する植栽位置情報の取得と管理</li> </ul> <div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">立体位置情報管理システム</p> <p style="text-align: center;">将来作業のイメージ</p> <p style="text-align: center;">下刈の将来像</p> <p style="text-align: center;">下刈誤伐アラート</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 誤伐回避と作業性向上</li> <li>・ 成長、下刈り判定</li> </ul> </div>
事業効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 植栽位置に直接誘導し、斜面の上下作業を伴う位置決め作業を省略</li> <li>・ 植栽位置への誘導位置精度 50cm 以内</li> <li>・ 植栽位置は下刈り時の誤伐回避に活用する為位置精度 20cm 以内で記録、管理</li> </ul>

### ■山地での課題

山間部でのドローン活用の課題は、ドローンの空撮成果に正確な位置精度を与える方法である。安価な高精度 GNSS が利用可能となってきたことから、測量用ドローンの普及が今後進むと考えられるが、リアルタイムでの RTK-GNSS 方式を活用するには、森林・林業の現場では、通信環境の不備が課題となる場合が多い。測量用ドローンを活用する場合には PPK（後処理キネマティック）と呼ばれる後処理方法の活用も有効となる可能性がある。

## 事例3：ドローンによる薬剤散布

### ■農業分野での活用状況

### 無人ヘリコプターによる効率的な薬剤散布

1980年代から無人ヘリコプター（一般的なヘリコプター同様のシングルメインローターとテールローターを持つ形式）の開発が進み、人が歩いて噴霧する従来の方式と比較して高い防除効果、作業の効率化を実現している。現在では、全国で約2,800機が稼働、同時に10,000人以上のオペレーター（パイロット）が作業に従事している。

散布作業目的は、主に防虫、殺菌等の液剤散布と粒剤散布であり、農作物の栽培期間である6月～9月に目視内で運用される。稲作用途が最も多く、全国で行われる散布の36%ほどを占める。年間の散布総面積は、無人ヘリ形式で約90万ヘクタール、マルチローター形式で約2万ヘクタールである。散布効率は両者とも1ヘクタールあたり約10分で、人による散布、乗用機による散布といった従来方法に対して6倍～8倍の作業効率である。

その他、施肥、種もみの直播等、稲作に関連した粒剤散布も実施される。

圃場は、基本的に平坦地で見通しが良く、オペレーターが歩くための道も確保しやすいため、フライトは基本的に目視内で行われる。



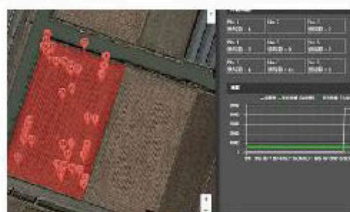
写真提供：ヤマハ発動機株式会社

### マルチロータードローンによるピンポイント薬剤散布で省農薬化

近年のドローン技術や、AIによる画像解析技術の発達により、ドローンが撮影した圃場の画像から病虫害の発生地点を特定し、発生地点にてピンポイントで行う農薬散布も実施されている。こうした技術により、株式会社オプティムは農薬使用量が少ない「スマート黒枝豆」や残留農薬不検出の「スマート米」の生産・販売を実現している。

株式会社オプティムのピンポイント農薬散布は以下の流れで実施されている。

① ドローンが圃場を撮影し病虫害発生地点を判定



② 対象が検出された地点へドローンが移動



③ ピンポイントで農薬を散布



※出典：株式会社オプティム ホームページ



■無人ヘリコプターとマルチローターの違い

マルチローター（一般的なドローン）と比較すると、無人ヘリは、動力がガソリンエンジンであり、搭載量・航続時間も大きいという特徴がある。高性能であり、実作業の効率が高いが、高額でもある。後述するように、林業分野での活用には工夫が必要である。例としてヤマハ発動機株式会社の農業用薬剤散布を主目的とする2機種を示す。

農業分野と林業分野で連携し、効率的な運用を

農業用の薬剤散布無人ヘリコプターは全国で多数稼働しているが、6月～9月に稼働が集中し、それ以外の時期は閑散期となっている。積載重量が大きい無人ヘリを森林域での運搬等に活用できれば、農業分野、林業分野双方にメリットがある。地域での効率的な運用が期待される。

機種	FAZER R	YMR-08
		
全長	3,665mm (ローター含む)	2,181mm (ローター含む)
全幅	770mm	1,923mm
全高	1,078mm	669mm
機体重量	71kg (燃料と散布装置を含む)	15kg (バッテリーと散布装置を含む)
動力	4 サイクルエンジン (ガソリン)	電動モーター
最大積載重量	32kg	10kg
航続時間	60 分	15 分
機体販売価格 (2020年)	11,900,000 円	1,575,000 円 (バッテリー別売)

■森林地域での薬剤散布の可能性

林業における薬剤散布の用途	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 病虫害防除のための薬剤散布</li> <li>・ 下刈り効率化のための除草剤散布</li> <li>・ 獣害防除のための忌避剤散布</li> </ul>
---------------	---

松くい虫防除のための殺虫剤散布と下刈り効率化のための除草剤散布については実証実験の事例もある。実証の結果、指摘された課題等を以下にまとめる。

林業における薬剤散布の課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 薬剤の安全性                     <p>水源地域での薬剤散布に関して、地域住民の不安を払拭する必要がある。</p> </li> <li>・ ドローン散布に適した薬剤                     <p>農業分野に比べ林業用の薬剤は種類が少ない。少量で効果を発揮し、ドローン散布に適した液状・粒状の薬剤の開発が必要。</p> </li> <li>・ 森林域に適した散布手法の選定                     <p>広範囲に効率的に散布する無人ヘリ、画像解析も用いてピンポイントに散布するマルチロータードローンのどちらの特性が対象とする森林域での薬剤散布により適しているか検討が必要。</p> </li> </ul>
---------------	--



**<造林のためのドローン活用事例集>**

(発行) 令和3(2021)年3月 林野庁  
(作成) 一般社団法人 日本森林技術協会  
TEL (03) 3261-5281 (代表)  
FAX (03) 3261-5393  
<http://www.jafta.or.jp>

## 6. ドローンを活用した苗木等運搬の実証

苗木等運搬については、国内の造林現場において、既にドローンの活用が行われている地域もある。このため、既にドローンの活用が行われている現地で苗木等運搬に立ち会い、情報収集や各作業に係る時間計測等の実証を行った。また、国有林の現場においても、苗木等運搬が可能なドローンを用いて、同様に苗木運搬や時間計測等を実施し、実証を行った。

実証にあたっては、①実証地および実証に用いるドローンやその操縦を行う林業事業者・ドローンサービス事業者の選定、②苗木等運搬の実証のための調査方法の検討を行った後、③各実証地で実証調査を実施し、④歩掛調査および人力運搬との比較分析を行った。

### 6.1. 実証地と実証に用いたドローン

実証地については、前述の情報収集結果により、既にドローンによる苗木等運搬を行う予定のあった地域として住友林業(株)の社有林（兵庫県神河町、和歌山県日高川町）や(株)中川の社有林（和歌山県田辺市）、宮崎県延岡市の民有林を選定したほか、本年度に伐採地での苗木植栽が予定され、かつドローンによる苗木等運搬の協力が得られた国有林（茨城県大子町、群馬県東吾妻町、山口県山口市）の7箇所を選定した。

苗木等運搬の実施業者、使用するドローンの機種について、元々ドローンによる苗木等運搬が行われる社有林や民有林においては、元々予定されていた運搬事業者、機種とし、国有林においては、近隣のドローンサービス事業者を選定し、機種についてはその事業者が所有する苗木・林業用資材運搬用に開発された機種から選定した。

選定した実証地、使用したドローン、運搬実施業者等は次のとおりである（表 6-1）。

表 6-1 実証地一覧

実証地	所有形態	機種 (メーカー)	運搬 可能量	操縦 人数	運搬実施業者	実証調査 時期	実証 No.
茨城県 大子町	国有林	M1000 (mazex)	10.4kg	2	(株)ストーンモリス (ドローン関連会社)	10/6-7	1
群馬県 東吾妻町	国有林	EAGLE15 (DWS)	15kg	2	(株)DroneWorkSystem (DWS) (ドローン関連会社)	11/10-11	2
		EAGLE24 (DWS)	24kg			11/10-11	3
兵庫県 神河町	社有林	森飛ウインチ運 搬型 (mazex)	8kg	1	住友林業(株) (林業事業体)	11/16-18	4
和歌山県 日高川町	社有林	森飛ウインチ運 搬型 (mazex)	8kg	1	円陣(株) (ドローン関連会社)	7/28-29	5
		森飛 2 オベ運搬 型 (mazex)	10.4kg	2	東洋エンジニア(株) (ドローン関連会社)	7/28-29	6
和歌山県 田辺市	社有林	いたきそ (上道キカイ)	15kg	2	(株)中川 (林業事業体) <資材運搬>	9/9	7
山口県 山口市	国有林	いたきそ (上道キカイ)	15kg	2	(株)中川 (林業事業体)	11/11-13	8
宮崎県 延岡市	民有林	E616 (ARRIS)	約 10kg	1	延岡空撮 (ドローン関連会社)	12/16-18	9

## 6.2. 苗木等運搬の実証のための調査方法の検討

### 6.2.1. 現地調査（歩掛調査）方法

現地調査については、ドローンと人力による運搬本数、運搬時間、および運搬後の植栽時間の計測を行った。

運搬本数については、1往復あたりの運搬本数（または運搬重量）を計測した。

運搬時間については、それぞれの運搬開始地点(荷掛け地点)から荷下ろし地点までの往復時間を計測した。特にドローンによる運搬については、その特徴を詳細に把握するため、往路、荷下ろし、復路、バッテリー交換、荷掛けにかかる時間を詳細に計測した。

なお、実証地によって通常の苗木運搬を人力ではなくクローラで行っている地域もあったため、それらの地域についてはクローラによる運搬時間・運搬本数を計測した。

植栽については、苗木運搬を実施した実証地において、植栽者から日報を提出してもらい、苗木運搬後の植栽にかかった人工数を算出した。

調査項目は以下に整理する（表 6-2）。なお、それぞれの作業は連続で行われ、区切りが難しい部分があったため、以下のとおり幾つかの調査項目は統合して計測した。

表 6-2 ドローン運搬と人力運搬の現地調査項目

区分	調査項目	詳細
ドローン による苗木運搬	運搬本数（運搬重量）	1往復あたりの運搬本数（運搬重量）
	往路+荷下ろし	離陸から苗木を下ろすまで
	復路	苗木を下ろしてから着陸まで
	バッテリー交換+荷掛	着陸から各作業を経て離陸まで
	荷掛のみ	着陸から荷掛を経て離陸まで
人力（クローラ） による苗木運搬	運搬本数（運搬重量）	1往復あたりの運搬本数（運搬重量）
	駐車位置～植栽エリアまでの往復	植栽者が実際にかかった時間
植栽	植栽にかかった人工数	植栽者からの日報を基に算出



### 6.2.2. ドローン運搬による苗木への影響評価と運搬および調査用植栽プロットの設定

ドローン運搬による苗木の生育への影響評価として、ドローンによる運搬前と運搬後の苗木の変化等を現地において確認した。

また、植栽後の生育への影響の違いを見るため、4箇所の実証地（茨城県大子町国有林、群馬県東吾妻町国有林、兵庫県神河町住友林業社有林、山口県山口市国有林）において、ドローンにより運搬された苗木の調査用植栽プロットと人力（またはクローラ）により運搬された苗木の調査用植栽プロットをそれぞれ1箇所ずつ設定した。

調査用植栽プロットにはそれぞれ苗木を36本ずつ植栽し、植栽時間を計測した。なお、植栽密度についてその植栽地の通常植栽密度に合わせた。4箇所の実証地のうち積雪の少ない2箇所（茨城県大子町、群馬県東吾妻町の国有林）については、それぞれの活着・生存状況を年度内に確認した。

### 6.2.3. 人力運搬との比較分析方法

人力運搬との比較分析のため、ドローン運搬および人力運搬の際の1人日あたり運搬本数、運搬にかかる人工数を算出した。また、運搬だけでなく、植栽時間を含めての比較も重要と考えたため、運搬からの植栽までの人工数を算出した。なお、通常の苗木運搬を人力ではなくクローラで行っている地域については、人力運搬の代わりにクローラ運搬での数値をそれぞれ算出した。

詳細な算出方法については、後述6.4の人力運搬との比較分析結果で示す。

## 6.3. 実証地詳細および調査結果

### 6.3.1. 茨城県大子町（実証 No.1）

#### (1) 実証地の概要

実証地は茨城県大子町の国有林（八溝多賀森林計画区）における 2.85ha の植栽予定地とし、スギおよびヒノキのコンテナ苗をドローンで運搬する実証調査を行った。

実証地の概要を次に示す（表 6-3）。

表 6-3 実証地の概要

実証地	茨城県大子町の国有林（八溝多賀森林計画区）
植栽面積	2.85ha
植栽密度	2,000 本/ha
植栽本数	5,700 本
運搬物	コンテナ苗（スギ・ヒノキ）
傾斜	29°
水平距離	513 ～606m（平均 560m）
比高（標高差）	75～85m（平均 82m）
標高（ドローン発着位置）	589m
標高（苗木運搬地点）	664～673m
集材方式	車両系（フォワーダ）
クローラ運搬による移動距離	840m
クローラ運搬による累積標高差	115m

※累積標高差については、現地で取得した GPS のトラックデータの標高からフリーソフトのカシミール 3D で算出した。（以下、同。）

ドローンによる苗木の運搬地点数は現地の環境および運搬後の植栽作業のしやすさから 3 地点とした。また、本実証地は作業道が発達し、苗木運搬にクローラが活用できる環境であるため、ドローンによる苗木運搬のほか、クローラによる苗木運搬を実施し、それぞれの 1 往復あたりの運搬本数、運搬時間を計測し、比較分析を行った。

実証地の概略図とドローン発着位置の状況はそれぞれ、図 6-1、図 6-2 に示す。

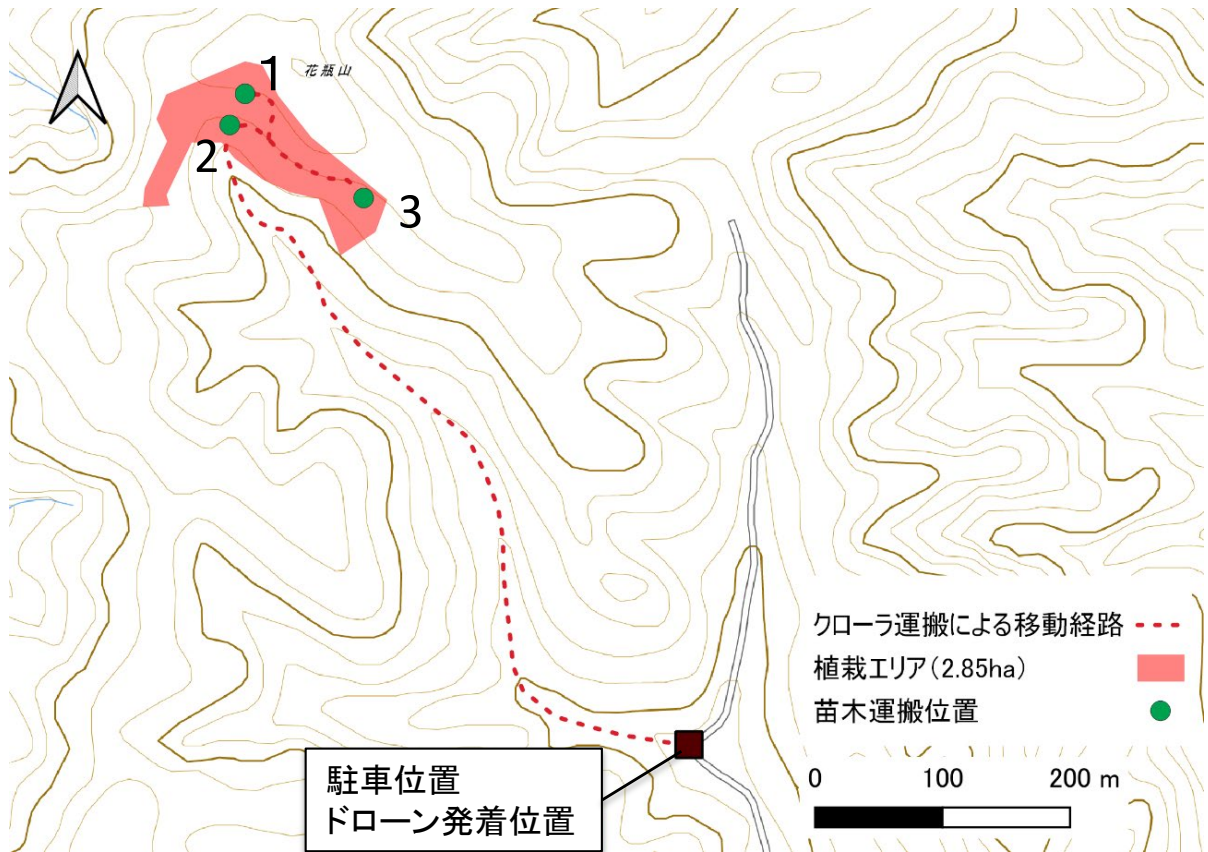


図 6-1 茨城県大子町の実証地



図 6-2 ドローン発着位置の状況


(2) 調査結果

実証については、実証地の現地確認等の下見を令和2(2020)年9月25日に運搬業者とともに実施し、令和2(2020)年10月6日、7日に苗木運搬の実証調査を実施した。

### ① 使用したドローン等

苗木運搬に使用したドローンは林業用に開発された mazex 社の M1000 とし、運搬業者は M1000 を用いた苗木運搬の実績のある株式会社ストーンモリスに依頼した。操縦者は出発点と荷下ろし地点に各 1 人必要であり、その他、苗木を梱包する補助員が出発点に 1 人必要であったため、総作業人数は 3 人であった。アタッチメントについては、運搬物を接地して、吊り下げ部分に重力による張力がなくなると自動的にフックが外れる自動フック方式で、荷下ろしに係る補助員は必要としなかった。使用したドローンの詳細については、次のとおりである（表 6-4）。

表 6-4 使用したドローンの詳細

機種名/メーカー	M1000 / mazex（「森飛」の前の型番）
概要	操縦者は、出発点に1人、荷下ろし点に1人の計 <b>2人配置</b> して <b>手動飛行</b> 補助員は、苗木を梱包する補助員として出発点に1人配置
運搬可能量	10.4kg
苗木の荷掛、荷下ろし	荷掛:ドローンを着陸させ、停止状態で荷掛を行う 荷下ろし:操縦により <b>飛行高度を下げて</b> 、苗木を地面に接地させて苗木を切り離す
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>機体のスペックは「森飛」と同じ アタッチメントのみ独自開発</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>アタッチメントは、接地すると自動的にフックが外れる仕組み</p> </div> </div>

### ② ドローン運搬とクローラ運搬との比較

本実証地は車両走行できる作業道が発達しているため、ドローンによる荷下ろし地点と同じくらい植栽地に隣接した場所にアクセスできるため、実情に合わせ、人力運搬ではなく、通常のクローラ運搬との比較を行った。

ドローンおよびクローラによる苗木運搬における 1 往復あたりの運搬本数、運搬時間等は次のとおりであった（表 6-5）。

表 6-5 茨城県大子町におけるドローンおよびクローラによる1往復あたりの運搬本数・時間

計測・算出項目	運搬方式	
	ドローン	クローラ
作業人員数	3 人	1 人
1 往復あたりの平均運搬本数	75 本	600 本
1 往復あたりの平均運搬時間	6.72 分	57 分
1 日あたりの運搬本数（運搬重量）	4,353 本（623kg）	4,105 本（587kg）
1 人日あたりの運搬本数（運搬重量）	1,451 本（208kg）	4,105 本（587kg）



ドローン運搬とクローラ運搬を比較すると、運搬本数についてはドローンがクローラの 1/8 とかなり少なかった一方、往復時間はドローンがクローラの 1/8 以下とにかなり短かった。

このため、1日あたりの運搬本数は、ドローンの方が少し多かったが、ドローン運搬には、3人の作業人員を要したため、1人日あたりの運搬本数はクローラの方が多く、効率的との結果となった。

### (3) ドローン運搬による苗木への影響

ドローンで運搬した苗木について、実証当日は、荷下ろしの際、ドローンから落下させることなく、地面へ静かに接地した後、自動フックによる切り離しが行われたため、コンテナ苗の根鉢の崩れ等はなく苗木への影響は見られなかった。



運搬前の苗木（ヒノキコンテナ苗）の状況



ドローンにより苗木を荷下ろしする様子

また、クローラ運搬した苗木とドローン運搬した苗木の調査プロットを設け、各調査プロット内には運搬直後のヒノキコンテナ苗を36本ずつ植栽した。植栽木については、令和2(2020)年10月7日にナンバリングと地際径、樹高の計測を行い、令和3(2021)年1月20日に活着状況調査を行った(表6-6、表6-7)。

その結果、両プロットともほとんどの植栽木について活着が確認できた。健全な活着が確認できなかったのは、人力運搬の植栽プロットで36本中1本(消失)、ドローン運搬の植栽プロットでは36本中2本(1本が半枯れ、1本がノウサギによる食害)のみであった。



ドローン運搬直後に植栽した苗木（ヒノキ）



ノウサギによる食害

表 6-6 クローラ運搬調査プロット内の植栽木情報

計測日:令和2(2020)年10月7日、活着確認日:令和3(2021)年1月20日					
No.	テープNo.	樹種	地際径(cm)	樹高(cm)	活着状況
1	431	ヒノキ	0.4	49.5	良好
2	432	ヒノキ	0.4	45.4	良好
3	433	ヒノキ	0.4	51.1	良好
4	434	ヒノキ	0.4	55.2	良好
5	435	ヒノキ	0.4	46.7	消失
6	436	ヒノキ	0.4	49.7	良好
7	437	ヒノキ	0.4	42.4	良好
8	438	ヒノキ	0.4	46.3	良好
9	439	ヒノキ	0.4	49.0	良好
10	440	ヒノキ	0.4	48.5	良好
11	441	ヒノキ	0.4	60.4	良好
12	442	ヒノキ	0.4	61.9	良好
13	443	ヒノキ	0.4	52.2	良好
14	444	ヒノキ	0.4	56.7	良好
15	445	ヒノキ	0.4	49.9	良好
16	446	ヒノキ	0.4	62.2	良好
17	447	ヒノキ	0.4	50.8	良好
18	448	ヒノキ	0.4	50.8	良好
19	449	ヒノキ	0.4	49.2	良好
20	450	ヒノキ	0.5	44.3	良好
21	451	ヒノキ	0.4	55.1	良好
22	452	ヒノキ	0.4	56.7	良好
23	453	ヒノキ	0.4	57.4	良好
24	454	ヒノキ	0.4	52.4	良好
25	455	ヒノキ	0.3	56.1	良好
26	456	ヒノキ	0.4	46.7	良好
27	457	ヒノキ	0.5	54.4	良好
28	458	ヒノキ	0.4	37.8	良好
29	459	ヒノキ	0.4	52.9	良好
30	460	ヒノキ	0.3	49.1	良好
31	461	ヒノキ	0.4	50.5	良好
32	462	ヒノキ	0.4	51.0	良好
33	463	ヒノキ	0.4	44.4	良好
34	464	ヒノキ	0.4	54.5	良好
35	465	ヒノキ	0.5	51.3	良好
36	466	ヒノキ	0.5	59.7	良好

表 6-7 ドローン運搬調査プロット内の植栽木情報

計測日:令和2(2020)年10月7日、活着確認日:令和3(2021)年1月20日					
No.	テープNo.	樹種	地際径(cm)	樹高(cm)	活着状況
1	471	ヒノキ	0.4	46.8	良好
2	472	ヒノキ	0.4	50.2	良好
3	473	ヒノキ	0.3	43.1	良好
4	474	ヒノキ	0.4	46.7	良好
5	475	ヒノキ	0.4	40.4	良好
6	476	ヒノキ	0.4	48.3	良好
7	477	ヒノキ	0.4	48.2	良好
8	478	ヒノキ	0.4	46.7	良好
9	479	ヒノキ	0.4	46.1	良好
10	480	ヒノキ	0.3	40.6	良好
11	481	ヒノキ	0.4	44.5	良好
12	482	ヒノキ	0.4	46.6	良好
13	483	ヒノキ	0.4	50.2	良好
14	484	ヒノキ	0.3	41.2	良好
15	485	ヒノキ	0.4	45.8	良好
16	486	ヒノキ	0.4	45.7	良好
17	487	ヒノキ	0.4	51.6	良好
18	488	ヒノキ	0.4	48.5	良好
19	489	ヒノキ	0.4	39.8	半枯れ
20	490	ヒノキ	0.4	45.1	良好
21	491	ヒノキ	0.4	46.6	良好
22	492	ヒノキ	0.4	49.5	良好
23	493	ヒノキ	0.4	48.2	良好
24	494	ヒノキ	0.4	37.5	良好
25	495	ヒノキ	0.4	42.5	良好
26	496	ヒノキ	0.4	39.9	良好
27	497	ヒノキ	0.4	34.2	良好
28	498	ヒノキ	0.4	46.9	良好
29	499	ヒノキ	0.4	42.3	良好
30	500	ヒノキ	0.4	34.7	良好
31	501	ヒノキ	0.4	38.9	良好
32	502	ヒノキ	0.3	36.6	良好
33	503	ヒノキ	0.4	40.5	良好
34	504	ヒノキ	0.4	43.1	良好
35	505	ヒノキ	0.3	37.8	ノウサギ食害
36	506	ヒノキ	0.4	41.9	良好

### 6.3.2. 群馬県東吾妻町（実証 No.2, No.3）

#### (1) 実証地の概要

実証地は群馬県東吾妻町の国有林における 2.5ha の植栽予定地とし、カラマツのコンテナ苗をドローンで運搬する実証調査を行った。

実証地の概要を次に示す（表 6-8）。

表 6-8 実証地の概要

実証地	群馬県東吾妻町
植栽面積	2.5ha
植栽密度	2,400 本/ha
植栽本数	6,000 本
運搬物	コンテナ苗（カラマツ）
傾斜	35°
水平距離	210～320m（平均 265m）
比高（標高差）	25～50m（平均 38m） ※ドローン発着地と荷下ろし点の間に樹林地あり
標高（ドローン発着位置）	905m
標高（苗木運搬地点）	930～960m（平均 945m）
集材方式	車両系（フォワーダ）
クローラ運搬による移動距離	485m
クローラ運搬による累積標高差	55m

ドローンによる苗木の運搬地点数は現地の環境および運搬後の植栽作業のしやすさから 11 地点とした。また、本実証地は作業道が発達し、苗木運搬にクローラが活用できる環境であるため、ドローンによる苗木運搬のほか、クローラによる苗木運搬を実施し、それぞれの 1 往復あたりの運搬本数、運搬時間を計測し、比較分析を行った。

実証地の概略図とドローン発着位置の状況はそれぞれ、図 6-3、図 6-4 に示す。



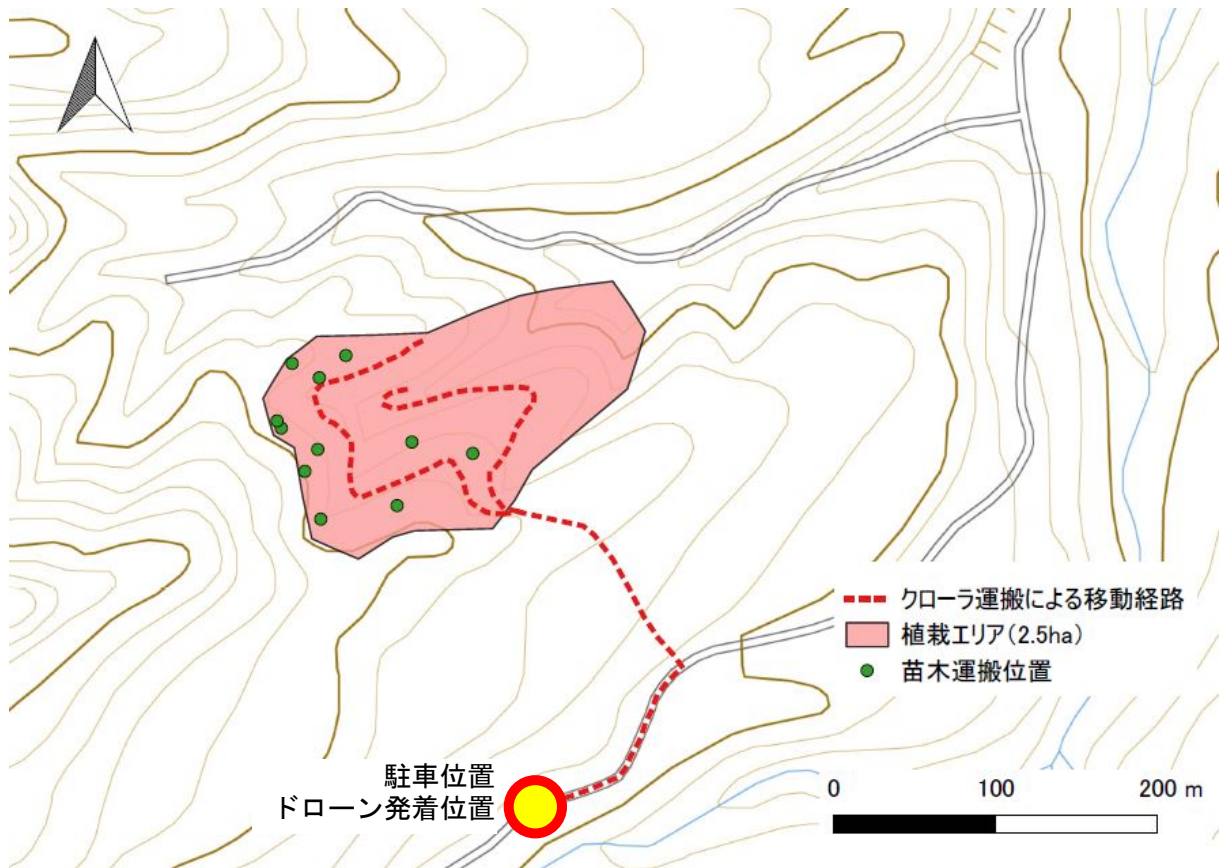


図 6-3 群馬県東吾妻町の実証地



図 6-4 ドローン発着位置の状況

## (2) 調査結果



実証については、実証地の現地確認等の下見を令和2(2020)年10月9日に運搬業者とともに実施し、令和2(2020)年11月10日、11日に苗木運搬の実証調査を実施した。

### ① 使用したドローン等

苗木運搬に使用したドローンは林業用に開発された株式会社 DroneWorkSystem (DWS) 社の EAGLE15 と EAGLE24 の 2 つを用いて、運搬業者も同社に依頼した。操縦者は出発点と荷下ろし点に各 1 人必要であり、その他、出発点に 2 人 (バッテリー交換等全体雑務 1 人、荷掛 1 人)、荷下ろし点に 1 人の補助員が必要であったため、総作業人数は 5 人であった。アタッチメントについては、簡易なフックを用いて、荷掛時は飛行高度を下げ、補助員にドローンを近づけ、ホバリング中に補助員が苗木をフックに掛け、荷下ろし時は荷掛時と同様に、ホバリング中に補助員が苗木をフックから取ることで行った。

使用したドローンの詳細については、次のとおりである (表 6-9)。

表 6-9 使用したドローンの詳細

機種名/メーカー	EAGLE15・EAGLE24 / DroneWorkSystem
概要	操縦者は、出発点に1人、荷下ろし点に1人の計 <b>2人配置して手動飛行</b> 補助員は、出発点に2人(バッテリー交換等全体雑務1人、荷掛1人)、荷下ろし点に1人(荷下ろし1人)の計3人配置
運搬可能量	EAGLE15: 15kg、EAGLE24: 24kg(今回はそれぞれ約10kg、約20kgの苗木を運搬)
苗木の荷掛、荷下ろし	荷掛: 操縦により <b>飛行高度を下げて</b> 、補助員にドローンを近づけ、ホバリングさせている間に補助員が苗木をフックに掛ける。 荷下ろし: 上記と同様、ホバリング中に補助員が苗木をフックから取る。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>機体は風に強く、 フライトコントローラを独自開発</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>アタッチメントは簡易なフック</p> </div> </div>

### ② ドローン運搬とクローラ運搬との比較

本実証地は車両走行できる作業道が発達しているため、ドローンによる荷下ろし地点と同じくらい植栽地に隣接した場所にアクセスできるため、実状に合わせ、人力運搬ではなく、通常のクローラ運搬との比較を行った。

ドローンおよびクローラによる苗木運搬における 1 往復あたりの運搬本数、運搬時間等は次のとおりであった (表 6-10)。



表 6-10 群馬県東吾妻町におけるドローンおよびクローラによる1往復あたりの運搬本数・時間

計測・算出項目	運搬方式		
	EAGLE15	EAGLE24	クローラ
作業人員数	5人	5人	1人
1往復あたりの平均運搬本数	50本	100本	1500本
1往復あたりの平均運搬時間	3.66分	3.66分	17.5分
1日あたりの運搬本数 (運搬重量)	5321本 (1,010kg)	10,641本 (2,015kg)	33,429本 (6,336kg)
1人日あたりの運搬本数 (運搬重量)	1,064本 (202kg)	2,128本 (403kg)	33,429本 (6,336kg)

ドローン運搬とクローラ運搬を比較すると、運搬本数についてはクローラと比較してEAGLE15とEAGLE24の両方でかなり少なかった一方、往復時間はドローンがクローラの1/5以下とかなり短かった。また1日あたりの運搬本数と、1人日あたりの運搬本数の両方でクローラの方がかなり多く、効率的との結果となった。

### (3) ドローン運搬による苗木への影響

ドローンで運搬した苗木について、実証当日は、荷下ろしの際、ドローンから落下させることなく、ホバリング中に補助員が苗木をフックから取ることで行われたため、コンテナ苗の根鉢の崩れ等はなく苗木への影響は見られなかった。



運搬前の苗木（カラマツコンテナ苗）の状況



ドローンにより苗木を荷下ろしする様子

また、クローラ運搬した苗木とドローン運搬した苗木の調査プロットを設け、各調査プロット内には運搬直後のヒノキコンテナ苗を36本ずつ植栽した。植栽木については、令和2(2020)年11月11日にナンバリングと地際径、樹高の計測を行い、令和2(2020)年12月25日に活着状況調査を行った(表6-11、表6-12)。その結果、両プロットとも全ての植栽木について活着が確認できた。



ドローン運搬直後に植栽した苗木（カラマツ）

表 6-11 クローラ運搬調査プロット内の植栽木情報

計測日:令和2(2020)年 11 月 11 日、活着確認日:令和2(2020)年 12 月 25 日					
No.	テープ No.	樹種	地際径 (cm)	樹高 (cm)	活着状況
1	C561	カラマツ	6.7	51.0	良好
2	C562	カラマツ	4.5	54.4	良好
3	C563	カラマツ	6.6	63.8	良好
4	C564	カラマツ	6.9	53.2	良好
5	C565	カラマツ	5.7	62.1	良好
6	C566	カラマツ	7.4	53.7	良好
7	C567	カラマツ	7.3	64.0	良好
8	C568	カラマツ	7.6	51.8	良好
9	C569	カラマツ	6.8	65.7	良好
10	C570	カラマツ	5.7	51.1	良好
11	C571	カラマツ	5.3	53.0	良好
12	C572	カラマツ	6.2	52.7	良好
13	C573	カラマツ	6.2	48.6	良好
14	C574	カラマツ	7.3	54.3	良好
15	C575	カラマツ	3.9	45.2	良好
16	C576	カラマツ	5.3	47.5	良好
17	C577	カラマツ	5.6	48.4	良好
18	C578	カラマツ	6.2	48.3	良好
19	C579	カラマツ	7.7	47.9	良好
20	C580	カラマツ	8.0	54.7	良好
21	C581	カラマツ	6.8	70.4	良好
22	C582	カラマツ	5.0	52.8	良好
23	C583	カラマツ	8.5	75.7	良好
24	C584	カラマツ	5.9	75.5	良好
25	C585	カラマツ	7.5	72.3	良好
26	C586	カラマツ	8.0	58.0	良好
27	C587	カラマツ	7.5	66.7	良好
28	C588	カラマツ	7.5	60.7	良好
29	C589	カラマツ	6.9	47.6	良好
30	C590	カラマツ	6.2	50.8	良好
31	C591	カラマツ	5.6	64.6	良好
32	C592	カラマツ	6.3	79.0	良好
33	C593	カラマツ	5.9	79.7	良好
34	C594	カラマツ	5.6	72.5	良好
35	C595	カラマツ	5.4	63.1	良好
36	C596	カラマツ	5.4	59.4	良好

表 6-12 ドローン運搬調査プロット内の植栽木情報

計測日:令和2(2020)年 11 月 11 日、活着確認日:令和2(2020)年 12 月 25 日					
No.	テープ No.	樹種	地際径 (cm)	樹高 (cm)	活着状況
1	C601	カラマツ	7.0	63.0	良好
2	C602	カラマツ	6.6	52.8	良好
3	C603	カラマツ	5.0	64.2	良好
4	C604	カラマツ	5.5	64.4	良好
5	C605	カラマツ	5.8	63.6	良好
6	C606	カラマツ	6.3	57.4	良好
7	C607	カラマツ	5.0	48.7	良好
8	C608	カラマツ	8.2	51.2	良好
9	C609	カラマツ	5.4	55.7	良好
10	C610	カラマツ	7.6	48.0	良好
11	C611	カラマツ	6.2	52.1	良好
12	C612	カラマツ	5.3	62.4	良好
13	C613	カラマツ	8.6	50.9	良好
14	C614	カラマツ	5.8	61.9	良好
15	C615	カラマツ	7.8	50.1	良好
16	C616	カラマツ	6.6	52.5	良好
17	C617	カラマツ	7.7	50.7	良好
18	C618	カラマツ	7.2	69.8	良好
19	C619	カラマツ	6.7	70.0	良好
20	C620	カラマツ	6.0	70.4	良好
21	C621	カラマツ	5.1	63.5	良好
22	C622	カラマツ	4.5	49.7	良好
23	C623	カラマツ	6.5	65.0	良好
24	C624	カラマツ	6.3	76.1	良好
25	C625	カラマツ	5.7	52.0	良好
26	C626	カラマツ	5.4	54.9	良好
27	C627	カラマツ	5.5	64.5	良好
28	C628	カラマツ	6.0	64.1	良好
29	C629	カラマツ	7.2	46.3	良好
30	C630	カラマツ	6.4	65.5	良好
31	C631	カラマツ	6.4	49.1	良好
32	C632	カラマツ	4.9	61.2	良好
33	C633	カラマツ	5.8	71.1	良好
34	C634	カラマツ	5.3	70.4	良好
35	C635	カラマツ	4.8	66.2	良好
36	C636	カラマツ	5.4	48.4	良好

### 6.3.3. 兵庫県神河町（実証 No.4）

#### (1) 実証地の概要

実証地は兵庫県神河町の住友林業の社有林における 1.55ha の植栽予定地とし、スギのコンテナ苗をドローンで運搬する実証調査を行った。

実証地の概要を次に示す（表 6-13）。

表 6-13 実証地の概要

実証地	兵庫県神河町（住友林業社有林）
植栽面積	1.55ha
植栽密度	3,000 本/ha
植栽本数	4,650 本
運搬物	コンテナ苗（スギ）
傾斜	35°
水平距離	300～460m（平均 380m）
比高（標高差）	50～110m（平均 80m）
標高（ドローン発着位置）	610m
標高（クローラ発着位置）	530m
標高（苗木運搬地点）	660～720m
集材方式	架線
クローラ+人力運搬による移動距離	-
クローラ+人力運搬による累積標高差	169m

ドローンによる苗木の運搬地点数は現地の環境および運搬後の植栽作業のしやすさから 3 地点とした。また、本実証地は作業道が発達し、苗木運搬にクローラが活用できる環境であるため、ドローンによる苗木運搬のほか、クローラ+人力による苗木運搬を実施し、それぞれの 1 往復あたりの運搬本数、運搬時間を計測し、比較分析を行った。

実証地の概略図とドローン発着位置の状況はそれぞれ、図 6-5、図 6-6 に示す。



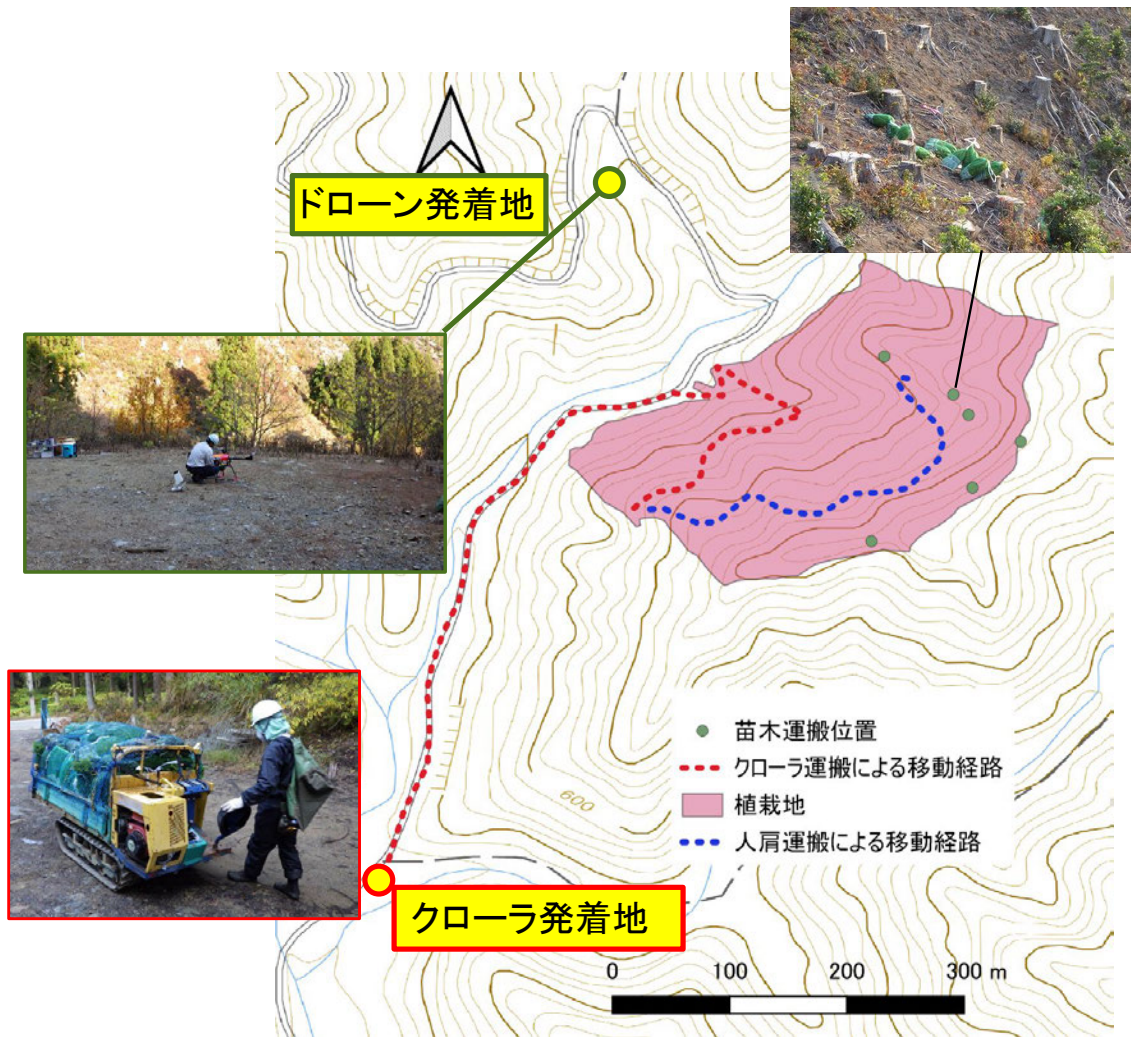


図 6-5 兵庫県神河町の実証地

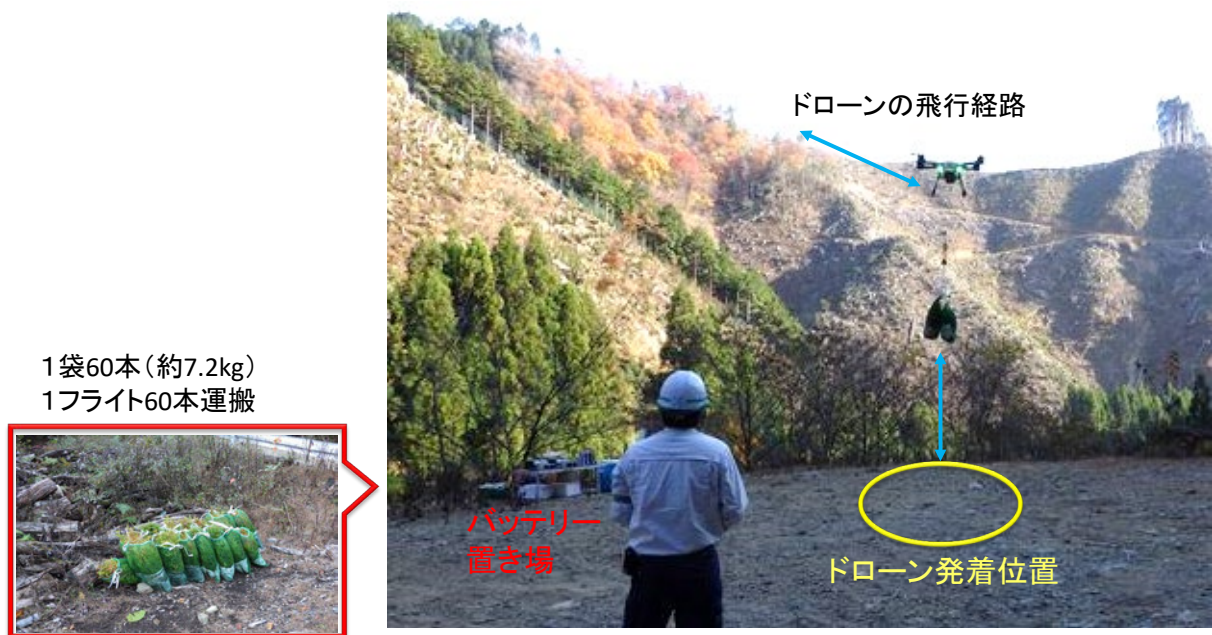


図 6-6 ドローン発着位置の状況

## (2) 調査結果



令和2(2020)年11月16日、17日、18日に苗木運搬の実証調査を実施した。

### ① 使用したドローン等

苗木運搬に使用したドローンは住友林業と mazex 社で共同開発された森飛ウインチ運搬型とし、運搬業者は社有林を所有している林業事業体の住友林業株式会社に依頼した。操縦者は出発点に1人必要であり、苗木の取り付けも操縦者が実施したため、総作業人数は1人であった。ただし、荷下ろし地点が尾根から離れた斜面等の場合、最初のフライトのみ安全確認のために補助員が荷下ろし地点に1人必要であった。アタッチメントについては、運搬物を接地して、吊り下げ部分に重力による張力がなくなると自動的にフックが外れる自動フック方式で、荷下ろしに係る補助員は必要としなかった。

使用したドローンの詳細については、次のとおりである（表 6-14）。

表 6-14 使用したドローンの詳細

機種名/メーカー	森飛1オペ(ウインチ)タイプ / mazex
概要	操縦者は、出発点に <b>1人</b> 、苗木の取付も操縦者が実施 荷下ろし地点が尾根から離れた斜面等の場合、最初のフライトのみ安全確認のため補助員を1人荷下ろし地点に配置
運搬可能量	8kg
苗木の荷掛、荷下ろし	荷掛:ドローンを着陸させ、停止状態で荷掛を行う 荷下ろし:ウインチにより <b>ワイヤを下げて</b> 、苗木を地面に接地させて切り離し
写真	  <p>機体は住友林業とマゼックスとの共同開発</p> <p>アタッチメントは、接地すると自動的にフックが外れる仕組み</p>

### ② ドローン運搬とクローラ運搬との比較

本実証地は車両走行できる作業道が発達しているため、ドローンによる荷下ろし地点と同じくらい植栽地に隣接した場所にアクセスできるため、実状に合わせ、クローラ+人力運搬との比較を行った。

ドローンおよびクローラ+人力による苗木運搬における1往復あたりの運搬本数、運搬時間等は次のとおりであった（表 6-15）。



表 6-15 兵庫県神河町におけるドローンおよびクローラ+人力による1往復あたりの運搬本数・時間

計測・算出項目	運搬方式	
	ドローン	クローラ+人力
作業人員数	1人	1人
1往復あたりの平均運搬本数	60本	クローラ：1,500本 人力：80本
1往復あたりの平均運搬時間	5.84分	97.5分
1日あたりの運搬本数（運搬重量）	4,007本（480kg）	960本（115kg）
1人日あたりの運搬本数（運搬重量）	4,007本（480kg）	960本（115kg）

ドローン運搬とクローラ+人力運搬を比較すると、運搬本数についてはドローンがクローラ+人力と比較してかなり少なかった一方、往復時間はドローンがクローラ+人力と比較してかなり短かった。

また、1日あたりの運搬本数と、1人日あたりの運搬本数の両方でドローンの方がかなり多く、効率的との結果となった。

### (3) ドローン運搬による苗木への影響

ドローンで運搬した苗木について、実証当日は、荷下ろしの際、ドローンから落下させることなく、地面へ接地した後、自動フックによる切り離しが行われたため、コンテナ苗の根鉢の崩れ等はなく苗木への影響は見られなかった。



運搬前の苗木（スギコンテナ苗）の状況



ドローンにより苗木を荷下ろしする様子

また、クローラ運搬した苗木とドローン運搬した苗木の調査プロットを設け、各調査プロット内には運搬直後のスギコンテナ苗を36本ずつ植栽した。植栽木については、令和2(2020)年11月18日にナンバリングと地際径、樹高の計測を行った（表6-16、表6-17）。



ドローン運搬直後に植栽した苗木（スギ）

表 6-16 クローラ運搬調査プロット内の植栽木情報

計測日:令和2(2020)年 11 月 18 日				
No.	テープ No.	樹種	地際径 (cm)	樹高 (cm)
1	C681	スギ	3.7	36.6
2	C682	スギ	4.3	40.5
3	C683	スギ	3.1	28.5
4	C684	スギ	4.5	28.2
5	C685	スギ	4.2	39.4
6	C686	スギ	3.7	35.5
7	C687	スギ	4.0	32.9
8	C688	スギ	4.2	38.6
9	C689	スギ	3.4	31.8
10	C690	スギ	3.1	31.1
11	C691	スギ	4.0	38.5
12	C692	スギ	3.8	41.0
13	C693	スギ	3.6	24.1
14	C694	スギ	3.5	36.5
15	C695	スギ	4.9	49.6
16	C696	スギ	4.5	39.0
17	C697	スギ	3.3	23.7
18	C698	スギ	3.8	38.8
19	C699	スギ	3.5	26.1
20	C700	スギ	4.5	46.8
21	C701	スギ	4.0	42.5
22	C702	スギ	4.1	42.0
23	C703	スギ	4.0	37.4
24	C704	スギ	3.7	45.3
25	C705	スギ	3.2	39.0
26	C706	スギ	3.0	28.3
27	C707	スギ	4.7	42.5
28	C708	スギ	4.9	38.5
29	C709	スギ	4.5	40.2
30	C710	スギ	3.5	38.5
31	C711	スギ	4.3	32.6
32	C712	スギ	3.4	37.8
33	C713	スギ	3.5	22.3
34	C714	スギ	4.5	42.3
35	C715	スギ	4.0	27.7
36	C716	スギ	3.0	26.4

表 6-17 ドローン運搬調査プロット内の植栽木情報

計測日:令和2(2020)年 11 月 18 日				
No.	テープ No.	樹種	地際径 (cm)	樹高 (cm)
1	C641	スギ	4.4	36.8
2	C642	スギ	3.6	32.9
3	C643	スギ	4.0	33.7
4	C644	スギ	6.0	42.1
5	C645	スギ	4.5	35.6
6	C646	スギ	5.6	26.0
7	C647	スギ	3.7	48.2
8	C648	スギ	3.0	33.3
9	C649	スギ	4.6	42.5
10	C650	スギ	3.8	36.9
11	C651	スギ	3.8	32.7
12	C652	スギ	3.7	39.0
13	C653	スギ	4.0	38.1
14	C654	スギ	4.9	41.8
15	C655	スギ	3.9	38.1
16	C656	スギ	4.3	29.2
17	C657	スギ	3.7	44.0
18	C658	スギ	4.0	35.2
19	C659	スギ	4.5	27.8
20	C660	スギ	4.0	42.0
21	C661	スギ	5.0	44.9
22	C662	スギ	4.7	36.4
23	C663	スギ	3.0	25.4
24	C664	スギ	5.0	31.1
25	C665	スギ	5.4	51.9
26	C666	スギ	5.8	34.6
27	C667	スギ	5.0	46.0
28	C668	スギ	5.2	45.5
29	C669	スギ	3.5	24.5
30	C670	スギ	4.9	30.9
31	C671	スギ	4.6	40.0
32	C672	スギ	3.1	38.2
33	C673	スギ	5.5	31.1
34	C674	スギ	4.2	43.7
35	C675	スギ	4.3	36.1
36	C676	スギ	4.1	35.0

#### 6.3.4. 和歌山県日高川町（実証 No.5, No.6）

##### (1) 実証地の概要

和歌山県日高川町の実証地の様子を表 7-11、図 7-7、図 7-8 に示す。

令和 2（2020）年 7 月 29 日、駐車位置から水平距離 350～540m、比高 113～251m の植栽地へスギのコンテナ苗をドローンで運搬するとともに、植栽を実施した。

なお、本実証地における苗木運搬は、先進的造林技術推進事業の一環で行われたものであり、1 オペレーションおよび 2 オペレーションの 2 通りの方法で実施された。

実証地の概要を次に示す（表 6-18）。

表 6-18 実証地の概要

実証地	和歌山県日高川町（住友林業株式会社社有林）
植栽面積	5.96ha
植栽密度	2,000 本/ha
植栽本数	11,920 本
運搬物	コンテナ苗（スギ）
傾斜	35°
水平距離	350～540m（平均 445m）
比高	113～251m（平均 182m）
標高（ドローン発着位置）	608m
標高（苗木運搬地点）	721～859m（平均 790m）
集材方式	架線
人力運搬による移動距離	-
人力運搬による累積標高差	359m

ドローンの苗木の運搬地点数は現地の環境および運搬後の植栽作業のしやすさから 6 地点とした。また、本実証地ではドローンによる苗木運搬のほか、人力による苗木運搬を実施し、それぞれの 1 往復あたりの運搬本数、運搬時間を計算し、比較分析を行った。



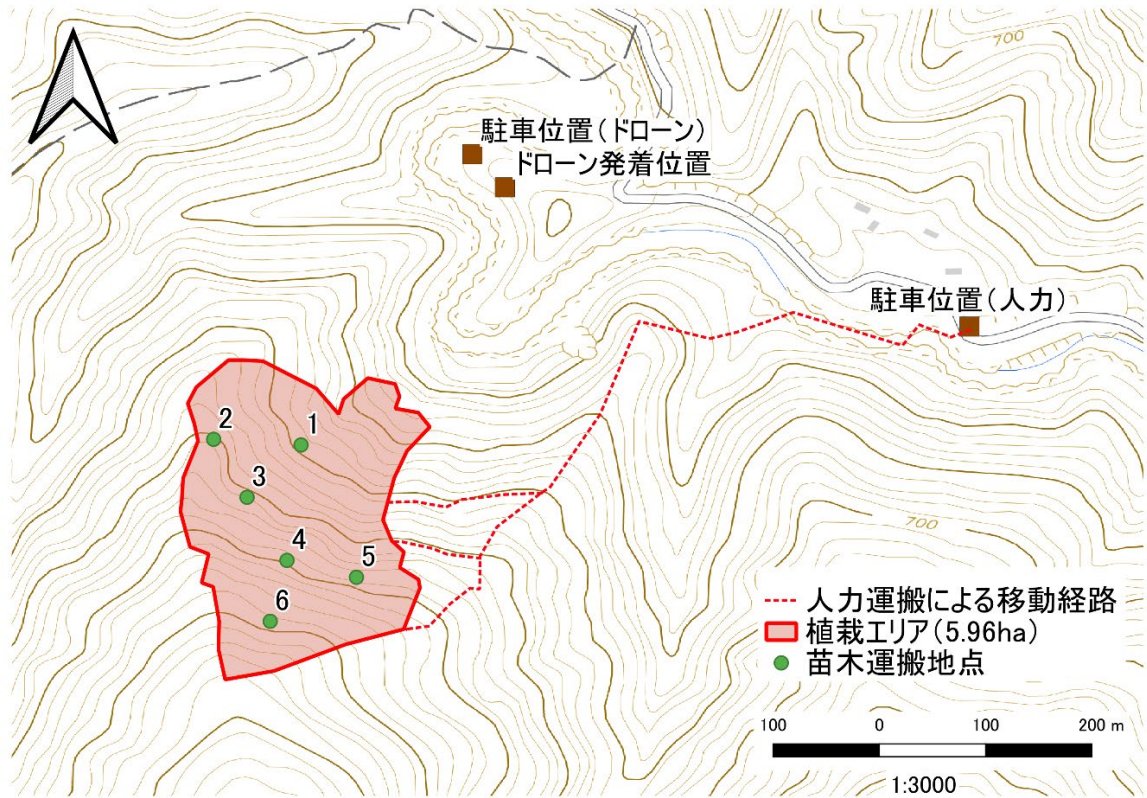


図 6-7 和歌山県日高川町の実証地

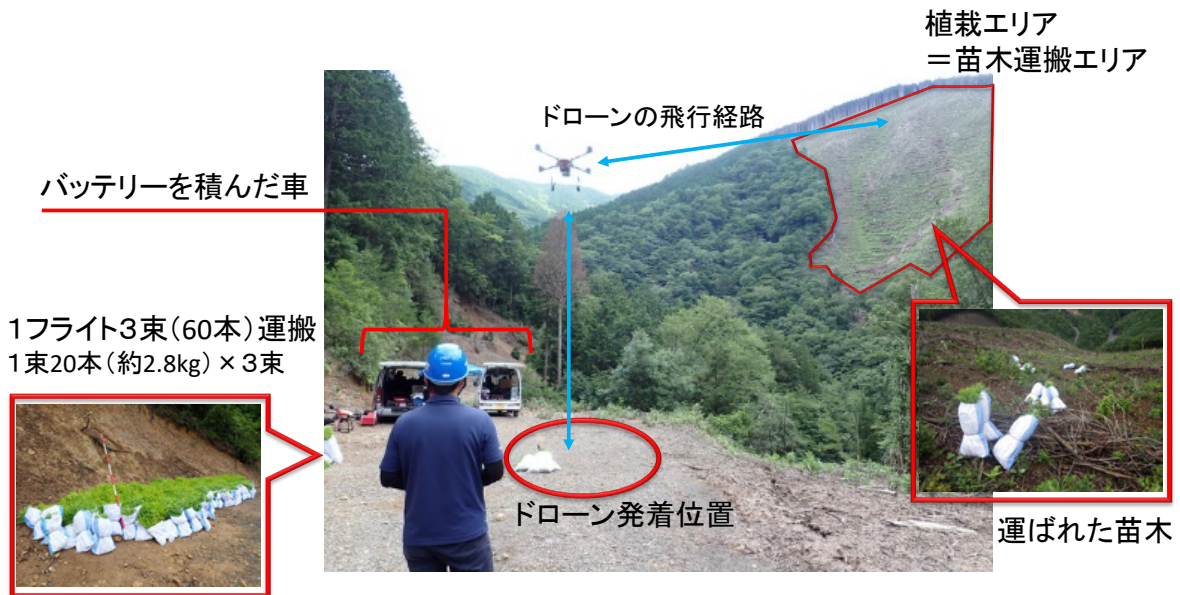


図 6-8 ドローン発着位置の状況

## (2) 調査結果



実証については、実証地の現地確認等の下見を令和2(2020)年9月25日に運搬業者とともに実施し、令和2(2020)年7月28日、29日に苗木運搬の実証調査を実施した。

### ① 使用したドローン等

苗木運搬に使用したドローンは林業用に開発された mazex 社の森飛-morito-自動飛行&ウインチ Ver (1 オペ) と 2 オペレーション Ver の 2 つである。運搬業者は自動飛行&ウインチ Ver (1 オペ) をドローン関連会社である円陣株式会社に、2 オペレーション Ver をドローン関連会社である東洋エンジニア株式会社に依頼した。自動飛行&ウインチ Ver (1 オペ) の場合、操縦者は出発点に 1 人必要であり、その他、苗木を梱包する補助員が出発点に 1 人必要であったため、総作業人数は 2 人であった。2 オペレーション Ver の場合、操縦者は出発点と荷下ろし地点に各 1 人必要であったため、総作業人数は 2 人であった。アタッチメントについては、運搬物を接地して、吊り下げ部分に重力による張力がなくなると自動的にフックが外れる自動フック方式で、荷下ろしに係る補助員は必要としなかった。

使用したドローンの詳細については以下の通りである (表 6-19)。

表 6-19 使用したドローンの詳細

森飛- morito -	自動飛行&ウインチVer(1オペ)	2オペレーションVer
概要	出発点に操縦者 <b>1人配置</b> して <b>自動飛行</b> (実証時は+補助1人)	出発点に操縦者1人、荷下ろし点に操縦者1人の計 <b>2人配置</b> して <b>手動飛行</b>
運搬可能量	8kg	10.4kg
荷下ろし地点における苗木の切り離し	ウインチにより <b>ワイヤを下げて</b> 、苗木を地面に接地させて切り離し	操縦により <b>飛行高度を下げて</b> 、苗木を地面に接地させて切り離し
メリット	操縦者一人で運搬可能⇒人件費の削減、スケジューリングが容易 自動飛行⇒飛行ルートが最短となる	ウインチの重量制限がないため運搬可能量が1オペに勝る 二人で操縦⇒運搬可能距離が長い、尾根等を挟んでも目視内で飛行可能
写真  注)同一機体で1オペと2オペを使い分けることはできない		



## ② ドローン運搬と人力運搬との比較

本実証地では人力運搬との比較を行った。ドローンおよび人力による苗木運搬における1往復あたりの運搬本数、運搬時間等は次のとおりであった（表 6-20）。

表 6-20 和歌山県日高川町におけるドローンおよび人力による1往復あたりの運搬本数・時間

計測・算出項目	運搬方式		
	森飛（1 オペ）	森飛（2 オペ）	人力
作業人員数	2 人	2 人	1 人
1 往復あたりの平均運搬本数	60 本	60 本	80 本
1 往復あたりの平均運搬時間	6.02 分	5.19 分	70 分
1 日あたりの運搬本数 (運搬重量)	3887 本 (506kg)	4,509 本 (586kg)	446 本 (58kg)
1 人日あたりの運搬本数 (運搬重量)	1,944 本 (253kg)	2,255 本 (293kg)	446 本 (58kg)

ドローン運搬と人力運搬を比較すると、運搬本数についてはドローンが人力と比較して少なかった一方、往復時間は1オペ型、2オペ型ともに人力と比較してかなり短かった。

このため、1日あたりの運搬本数と、1人日あたりの運搬本数の両方で、ドローンの方がかなり多く、効率的との結果となった。

また、本実証地における運搬から植栽完了までにかかる人工数は、ドローンにより植栽木を運搬し、人力により植栽した場合は58.5人日となり、計算によって出した人力による運搬の場合では74.5人日となり、およそ16人日の削減が期待できる事が分かった。

## (3) ドローン運搬による苗木への影響

ドローンで運搬した苗木について、実証当日は、荷下ろしの際、ドローンから落下させることなく、地面へ接地した後、自動フックによる切り離しが行われたため、コンテナ苗の根鉢の崩れ等はなく苗木への影響は見られなかった。

### 6.3.5. 和歌山県田辺市（実証 No.7）

#### (1) 実証地の概要

実証地は和歌山県田辺市の株式会社中川の社有林における 1.42ha の植栽予定地とし、獣害防止資材（支柱、ネット、杭）をドローンで運搬する実証調査を行った。

実証地の概要を次に示す（表 6-21）。

表 6-21 実証地の概要

実証地	和歌山県田辺市（株式会社中川社有林）
植栽面積	1.42ha
植栽密度	190 本/ha
植栽本数	270 本
運搬物	獣害防止資材（支柱、ネット、杭）
傾斜	25°
水平距離	117～237m（平均 177m）
比高	54～114m（平均 84m）
標高（ドローン発着位置）	325m
標高（苗木運搬地点）	379～439m（平均 409m）
集材方式	架線
人力運搬による移動距離	-
人力運搬による累積標高差	75m

ドローンによる苗木の運搬地点数は現地の環境および運搬後の植栽作業のしやすさから 3 地点とした。また、本実証地ではドローンによる苗木運搬のほか、人力による苗木運搬を実施し、それぞれの 1 往復あたりの運搬本数、運搬時間を計測し、比較分析を行った。

実証地の概略図とドローン発着位置の状況はそれぞれ、図 6-9、図 6-10 に示す。

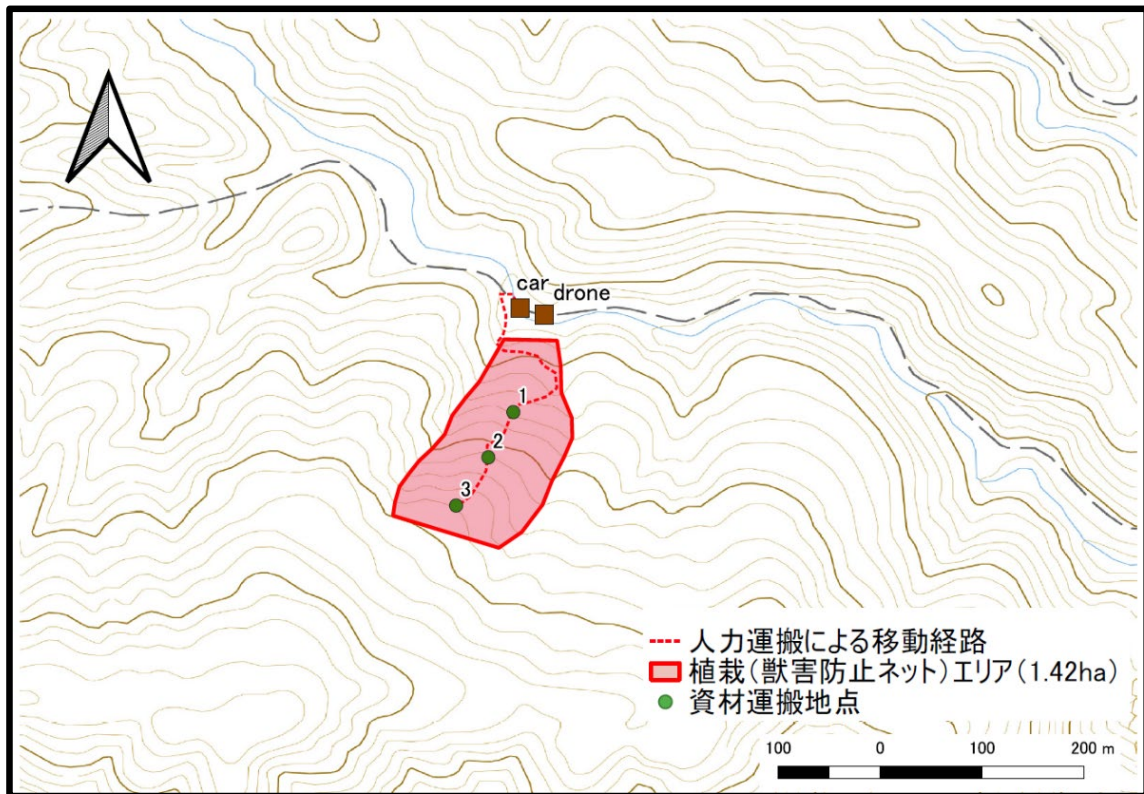


図 6-9 和歌山県田辺市の実証地



図 6-10 ドローン発着位置の状況

## (2) 調査結果

令和 2 (2020)年 9 月 9 日に獣害防止資材運搬の実証調査を実施した。



### ① 使用したドローン等

獣害防止資材運搬に使用したドローンは林業用に開発された上道キカイ社の UKN5(いたきそ)とし、運搬業者は社有林を所有している林業事業体の株式会社中川に依頼した。操縦者は、出発

点に1人、荷下ろし点に1人の計2人配置して手動飛行し、補助員は、出発点に2人（バッテリー交換等全体雑務1人、荷掛1人）、荷下ろし点に1人（荷下ろし1人）の計3人配置し、総作業人数は5人であった。アタッチメントについては簡易フックを利用し、荷掛では操縦により飛行高度を下げて、補助員にドローンを近づけ、ホバリングさせている間に補助員が資材をフックに掛け、荷下ろしでは同様に、ホバリング中に補助員が資材をフックから取って行った。

使用したドローンの詳細については、次のとおりである（表 6-22）。

表 6-22 使用したドローンの詳細

機種名/メーカー	UKN5(いたきそ) / 上道キカイ
概要	操縦者は、出発点に1人、荷下ろし点に1人の計2人配置して手動飛行 補助員は、出発点に2人(バッテリー交換等全体雑務1人、荷掛1人)、荷下ろし点に1人(荷下ろし1人)の計3人配置
運搬可能量	15kg
苗木の荷掛、荷下ろし	荷掛: 操縦により飛行高度を下げて、補助員にドローンを近づけ、ホバリングさせている間に補助員が苗木をフックに掛ける。 荷下ろし: 上記と同様、ホバリング中に補助員が苗木をフックから取る。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>6枚羽で安定した飛行を実現</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>アタッチメントは簡易なフック</p> </div> </div>

## ② ドローン運搬と人力運搬との比較

本実証地では人力運搬との比較を行った。ドローンおよび人力による資材運搬における1往復あたりの運搬重量、運搬時間等は次のとおりであった（表 6-23）。

表 6-23 和歌山県田辺市におけるドローンおよび人力による1往復あたりの運搬本数・時間

計測・算出項目	運搬方式	
	ドローン	人力
作業人員数	5人	1人
1往復あたりの平均運搬本数	1束(約10kg)	1束(約10kg)
1往復あたりの平均運搬時間	2.15分	12.6分
1日あたりの運搬重量	1,814kg	311kg
1人日あたりの運搬重量	363kg	311kg

ドローン運搬と人力運搬を比較すると、往復時間はドローンが人力よりも圧倒的に短かった。このため、1日あたりの運搬重量はドローンの方が多かったが、ドローン運搬には、5人の作業人員を要したため、1人日あたりの運搬重量を比較すると、ドローンの方が多く効率的との結果となった。

### 6.3.6. 山口県山口市（実証 No.8）

#### (1) 実証地の概要

実証地は山口県山口市の国有林における 2.85ha の植栽予定地とし、スギ、ヒノキのコンテナ苗をドローンで運搬する実証調査を行った。

実証地の概要を次に示す（表 6-24）。

表 6-24 実証地の概要

実証地	山口県山口市の国有林
植栽面積	1.17ha
植栽密度	2,000 本/ha
植栽本数	2,340 本
運搬物	裸苗（スギ）
傾斜	38°
水平距離	100～145m（平均 123m）
比高（標高差）	40～60m（平均 50m）
標高（ドローン発着位置）	610m
標高（苗木運搬地点）	650～670m（平均 660m）
集材方式	車両系（グラップル）
人力運搬による移動距離	-
人力運搬による累積標高差	79m

ドローンによる苗木の運搬地点数は現地の環境および運搬後の植栽作業のしやすさから 3 地点とした。また、ドローンによる苗木運搬のほか、人力による苗木運搬を実施し、それぞれの 1 往復あたりの運搬本数、運搬時間を計測し、比較分析を行った。

実証地の概略図とドローン発着位置の状況はそれぞれ、図 6-11、図 6-12 に示す。



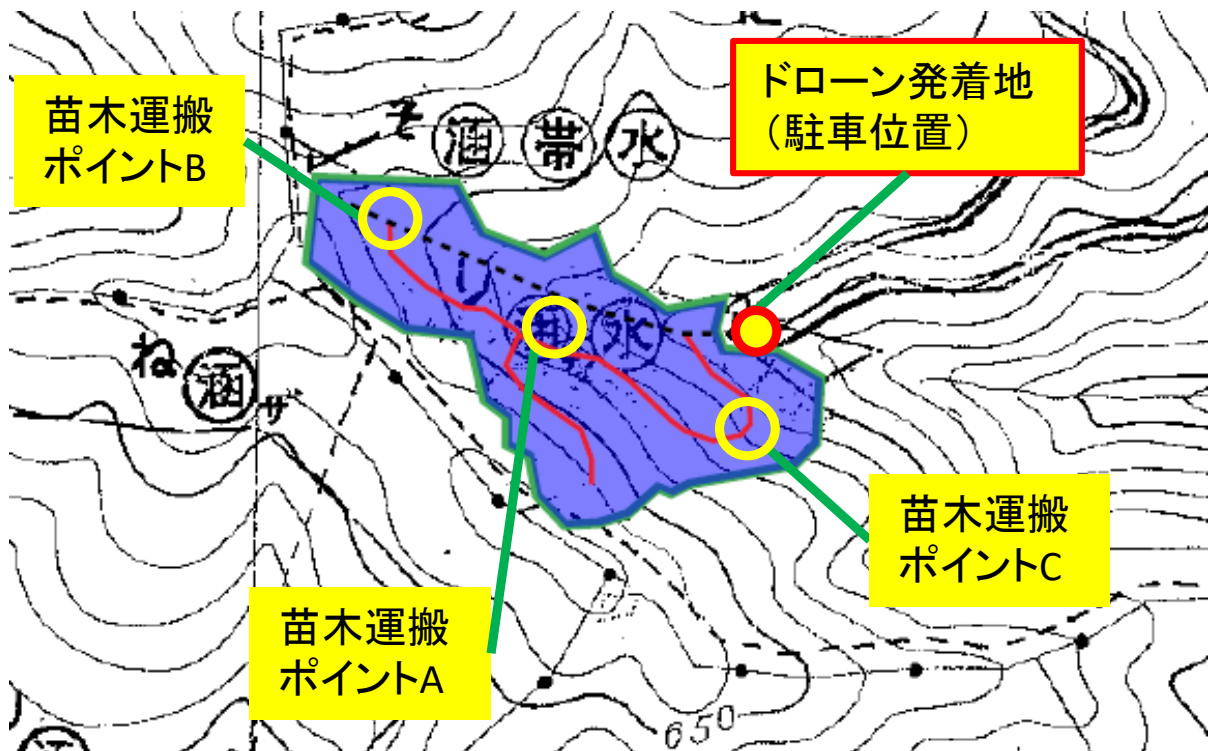


図 6-11 山口県山口市の実証地



図 6-12 ドローン発着位置の状況

## (2) 調査結果

実証については、実証地の現地確認等の下見を令和2(2020)年9月28日に運搬業者とともに実施し、令和2(2020)年11月11日、12日、13日に苗木運搬の実証調査を実施した。

### ① 使用したドローン等

苗木運搬に使用したドローンは林業用に開発された上道キカイのいたきそとし、運搬業者はいたきそを用いた苗木運搬の実績のある林業事業者の株式会社中川に依頼した。操縦者は、出発点



と荷下ろし点に各1人必要でありその他、補助員が出発点に2人（バッテリー交換等全体雑務1人、荷掛1人）、荷下ろし点に1人（荷下ろし1人）の計3人が必要であったため、総作業人数は5人であった。アタッチメントについては簡易フックを利用し、荷掛では操縦により飛行高度を下げて、補助員にドローンを近づけ、ホバリングさせている間に補助員が苗木をフックに掛け、荷下ろしでは荷掛時と同様に、ホバリング中に補助員が苗木をフックから取って行った。

使用したドローンの詳細については、次のとおりである（表 6-25）。

表 6-25 使用したドローンの詳細

機種名/メーカー	UKN5(いたきそ) / 上道キカイ
概要	操縦者は、出発点に1人、荷下ろし点に1人の計2人配置して <b>手動</b> 飛行 補助員は、出発点に2人(バッテリー交換等全体雑務1人、荷掛1人)、荷下ろし点に1人(荷下ろし1人)の計3人配置
運搬可能量	15kg
苗木の荷掛、荷下ろし	荷掛: 操縦により <b>飛行高度を下げて</b> 、補助員にドローンを近づけ、ホバリングさせている間に補助員が苗木をフックに掛ける。 荷下ろし: 上記と同様、ホバリング中に補助員が苗木をフックから取る。
写真	  <p>6枚羽で安定した飛行を実現      アタッチメントは簡易なフック</p>

## ② ドローン運搬と人力運搬との比較

本実証地では人力運搬との比較を行った。ドローンおよび人力による苗木運搬における1往復あたりの運搬本数、運搬時間等は次のとおりであった（表 6-26）。

表 6-26 山口県山口市におけるドローンおよび人力による1往復あたりの運搬本数・時間

計測・算出項目	運搬方式	
	ドローン	人力
作業人員数	5人	1人
1往復あたりの平均運搬本数	100本	80本
1往復あたりの平均運搬時間	2.20分	9.80分
1日あたりの運搬本数（運搬重量）	17,718本（1,845kg）	3,184本（331kg）
1人日あたりの運搬本数（運搬重量）	3,544本（369kg）	3,184本（331kg）

ドローン運搬と人力運搬を比較すると、運搬本数についてはドローンの方が人力と比較して多く、往復時間もドローンの方が人力の1/4以下と短かった。

このため、1日あたりの運搬本数は、ドローンの方がかなり多かったが、ドローン運搬には、

5人の作業人員を要したため、1人日あたりの運搬本数を比較すると、ドローンの方がわずかに多く効率的との結果となった。

### (3)ドローン運搬による苗木への影響

ドローンで運搬した苗木について、実証当日は、荷下ろしの際、ドローンから落下させることなく、地面へ接地した後、自動フックによる切り離しが行われたため、コンテナ苗の根鉢の崩れ等はなく苗木への影響は見られなかった。



運搬前の苗木（スギコンテナ苗）の状況



ドローンにより苗木を荷下ろしする様子

また、クローラ運搬した苗木とドローン運搬した苗木の調査プロットを設け、各調査プロット内には運搬直後のスギコンテナ苗を36本ずつ植栽した。植栽木については、令和2(2020)年11月13日にナンバリングと地際径、樹高の計測を行った（表 6-27 表 6-16、表 6-28）。



ドローン運搬直後に植栽した苗木（スギ）

表 6-27 クローラ運搬調査プロット内の植栽木情報

計測日:令和2(2020)年 11 月 13 日				
No.	テープ No.	樹種	地際径 (cm)	樹高 (cm)
1	C551	スギ	0.70	35.2
2	C552	スギ	0.79	48.5
3	C553	スギ	0.54	34.0
4	C554	スギ	0.65	50.9
5	C555	スギ	0.66	42.0
6	C556	スギ	0.69	41.9
7	C557	スギ	0.60	44.4
8	C558	スギ	0.65	41.6
9	C559	スギ	0.50	35.5
10	C560	スギ	0.75	49.5
11	C561	スギ	0.72	44.9
12	C562	スギ	0.60	41.6
13	C563	スギ		
14	C564	スギ		
15	C565	スギ	0.80	38.9
16	C566	スギ	0.60	42.4
17	C567	スギ		
18	C568	スギ	0.58	36.8
19	C569	スギ	0.70	50.0
20	C570	スギ	0.63	34.5
21	C571	スギ	0.83	41.7
22	C572	スギ	0.60	40.0
23	C573	スギ	0.71	48.4
24	C574	スギ	0.70	45.0
25	C575	スギ	0.80	53.3
26	C576	スギ	0.72	34.9
27	C577	スギ	0.90	48.4
28	C578	スギ	0.85	43.0
29	C579	スギ	0.65	42.9
30	C580	スギ	0.69	43.4
31	C581	スギ	0.70	51.4
32	C582	スギ	1.00	46.0
33	C583	スギ	1.00	45.4
34	C584	スギ	0.66	43.3
35	C585	スギ	0.73	42.5
36	C586	スギ	0.82	36.5

※斜線部は誤測定したもの

表 6-28 ドローン運搬調査プロット内の植栽木情報

計測日:令和2(2020)年 11 月 13 日				
No.	テープ No.	樹種	地際径 (cm)	樹高 (cm)
1	C511	スギ	0.90	39.8
2	C512	スギ	0.90	52.3
3	C513	スギ	0.70	37.9
4	C514	スギ	0.77	46.7
5	C515	スギ	0.55	32.0
6	C516	スギ	0.50	31.5
7	C517	スギ	0.73	47.3
8	C518	スギ	0.61	46.9
9	C519	スギ	0.60	51.0
10	C520	スギ	0.95	49.2
11	C521	スギ	0.61	34.7
12	C522	スギ	0.80	46.2
13	C523	スギ	0.75	40.9
14	C524	スギ	0.72	48.7
15	C525	スギ	0.90	51.1
16	C526	スギ	0.80	43.0
17	C527	スギ	0.58	40.6
18	C528	スギ	0.84	32.3
19	C529	スギ	0.65	39.8
20	C530	スギ	0.81	34.0
21	C531	スギ	0.83	52.2
22	C532	スギ	0.90	50.0
23	C533	スギ	0.76	45.6
24	C534	スギ	0.80	44.4
25	C535	スギ	0.61	41.5
26	C536	スギ	0.75	45.3
27	C537	スギ	0.81	39.4
28	C538	スギ	0.70	43.7
29	C539	スギ	0.70	40.8
30	C540	スギ	0.62	44.5
31	C541	スギ	0.68	40.5
32	C542	スギ	0.80	49.3
33	C543	スギ	0.65	45.1
34	C544	スギ	0.78	43.1
35	C545	スギ	0.61	42.6
36	C546	スギ	0.62	40.8

### 6.3.7. 宮崎県延岡市（実証 No.9）

#### (1) 実証地の概要

実証地は宮崎県延岡市の民有林における 4.54ha の植栽予定地とし、スギのコンテナ苗をドローンで運搬する実証調査を行った。

実証地の概要を次に示す（表 6-29）。

表 6-29 実証地の概要

実証地	宮崎県延岡市の民有林
植栽面積	4.54ha
植栽密度	1,651 本/ha
植栽本数	7,500 本
運搬物	コンテナ苗（スギ）
傾斜	-
水平距離	440m
比高（標高差）	182m
標高（ドローン発着位置）	310m
標高（苗木運搬地点）	492m
集材方式	架線
人力運搬による移動距離	376m
人力運搬による累積標高差	90m

ドローンによる苗木の運搬地点数は現地の環境および運搬後の植栽作業のしやすさから 1 地点とした。また、本実証地では人力による苗木運搬を実施し、それぞれの 1 往復あたりの運搬本数、運搬時間を計測し、比較分析を行った。

実証地の概略図とドローン発着位置の状況はそれぞれ、図 6-13、図 6-14 に示す。

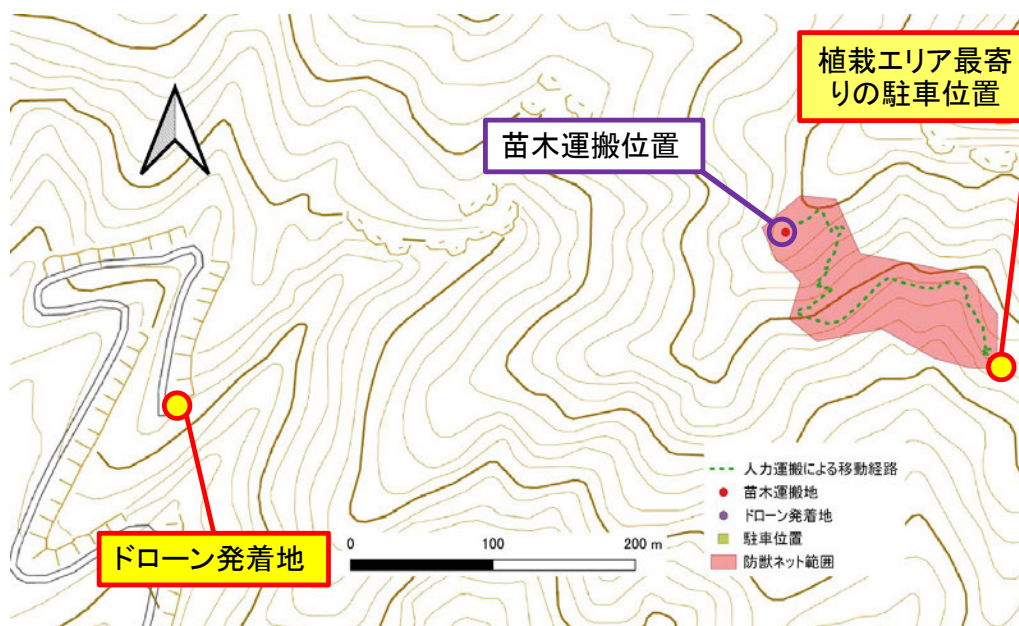


図 6-13 宮崎県延岡市の実証地





図 6-14 ドローン発着位置の状況

## (2) 調査結果



実証については、実証地の現地確認等の下見を令和2(2020)年9月25日に運搬業者とともに実施し、令和2(2020)年12月16日、17日、18日に苗木運搬の実証調査を実施した。

### ① 使用したドローン等

苗木運搬に使用したドローンは林業用に開発されたARRIS社のE616とし、運搬業者はE616を用いた苗木運搬の実績のある延岡空撮に依頼した。操縦者は出発点に1人必要であり、その他、補助員が出発点に1人(荷掛、雑務)、荷下ろし点に1人(無線連絡)必要であったため、総作業人数は3人であった。アタッチメントについては、苗木をつるす紐先にリングをつけ、荷掛では操縦により飛行高度を下げて、補助員にドローンを近づけ、ホバリングさせている間に補助員が苗木をフックに掛け、荷下ろしでは苗木を地面に接地させ、操縦者の遠隔操作によってドローンから切り離す方式であった。

使用したドローンの詳細については、次のとおりである(表6-30)。

表 6-30 使用したドローンの詳細

機種名/メーカー	ARRIS E616 / ARRIS
概要	操縦者は、出発点に <b>1人配置して手動飛行</b> 補助員は、出発点に1人(荷掛、雑務)と荷下ろし地点に1人(無線連絡)の計3人配置
運搬可能量	10.4kg
苗木の荷掛、荷下ろし	荷掛: 操縦により <b>飛行高度を下げて</b> 、補助員にドローンを近づけ、ホバリングさせている間に補助員が苗木をフックに掛ける。 荷下ろし: 操縦により <b>飛行高度を下げて</b> 、苗木を地面に設置させ、操縦者による遠隔操作により苗木をドローンから切り離す。
写真	  <p>6枚羽で安定した飛行を実現</p> <p>苗木を吊るす紐先にリングをつけ、遠隔操作でリングごとドローンから切り離す</p>

## ② ドローン運搬とクローラ運搬との比較

本実証地では人力運搬との比較を行った。ドローンおよび人力による苗木運搬における1往復あたりの運搬本数、運搬時間等は次のとおりであった(表 6-31)。

表 6-31 宮崎県延岡市におけるドローンおよび人力による1往復あたりの運搬本数・時間

計測・算出項目	運搬方式	
	ドローン	人力
作業人員数	3	1
1往復あたりの平均運搬本数	55	80
1往復あたりの平均運搬時間(分)	7.08	20
1日あたりの運搬本数(運搬重量)	3,030 (516kg)	1,560 (265kg)
1人日あたりの運搬本数(運搬重量)	1,010 (172kg)	1,560 (265kg)

ドローン運搬とクローラ運搬を比較すると、運搬本数についてはドローンが人力よりも少なかった一方、往復時間はドローンの方が人力と比較して短かった。

このため、1日あたりの運搬本数は、ドローンの方が2倍近く多かったが、ドローン運搬には、3人の作業人員を要したため、1人日あたりの運搬本数は人力の方が多く、効率的との結果となった。

## (3) ドローン運搬による苗木への影響

ドローンで運搬した苗木について、実証当日は、荷下ろしの際、ドローンから落下させることなく、地面へ接地後に、フックによる切り離しが行われたため、コンテナ苗の根鉢の崩れ等はなく苗木への影響は見られなかった。

#### 6.4. 各実証地のドローンの機種、操作方法・体制、実施状況等の整理と比較

本年度は7地域において9つの実証試験を行うことができた。

以下にそれぞれの実証で使用されたドローンの機種（メーカー）、操作方法・体制（操縦方式、苗木荷下ろし方式、荷掛け時のドローンの状況、総作業人数）、実施状況等（ドローン発着地点から植栽地までの平均運搬距離、平均運搬本数、平均往復時間）を整理した（表 6-32）。

表 6-32 各実証地で使用されたドローンの機種や操作方法・体制、実施状況等

実証 No.	実証地	機種（メーカー）	操縦・苗木荷下ろし方式（自動/手動）	荷掛け時のドローンの状況	総作業人数	植栽地までの平均運搬		
						距離（m）	本数/1往復	往復時間（分）
1	茨城県 大子町	M1000（mazex） （「森飛2オペ型」の先行機）	2ホ°・自動	着陸	3	560	75	6.72
2	群馬県 東吾妻町	EAGLE15（DWS）	2ホ°・手動	ホバリング	5	265	50	3.66
3		EAGLE24（DWS）		ホバリング	5	265	100	3.66
4	兵庫県 神河町	森飛ウインチ型 （mazex）	1ホ°・自動	着陸	1	375	60	5.84
5	和歌山県 日高川町	森飛ウインチ型 （mazex）	1ホ°・自動	着陸	2	445	60	6.02
6		森飛2オペ型 （mazex）	2ホ°・自動	着陸	2	445	60	5.19
7	和歌山県 田辺市	いたきそ （上道キカイ）	2ホ°・手動	ホバリング	5	177	— （10kg）	2.15
8	山口県 山口市	いたきそ （上道キカイ）	2ホ°・手動	ホバリング	5	123	100	2.20
9	宮崎県 延岡市	E616（ARRIS）	1ホ°・自動	着陸	3	440	55	7.08

ドローンの機種については、合計7種類の機種での9つの実証を行うことができた。このうち操縦者が1人の1オペレーションタイプ（1オペ型）は3つの実証（No.4, 5, 9）、操縦者が2人の2オペレーションタイプ（2オペ型）は6つの実証（No.1-3, 6-8）において確認することができた。

運搬箇所への苗木の荷下ろし方式については、自動フックを使ったドローン操作による自動荷下ろしは5つの実証（No.1, 4-6, 9）、作業者のフック取り外し作業による手動荷下ろしは4つの実証（No.2, 3, 7, 8）において確認することができた。

荷掛け時のドローンの状況については、5つの実証地（No.1, 4-6, 9）においてドローンを着陸させて荷掛けを行い、4つの実証地（No.2, 3, 7, 8）ではホバリングしたまま荷掛けを行っていた。ホバリングをしたまま荷掛けを行うと、着陸に伴う時間を短縮することができるため、作業を効

率化することができると考えられる。ただし、ホバリングしたまま荷掛けを行う実証地では総作業人数が多くなっており、荷掛け時に上空にドローンがある状況のため、安全に配慮し、人数を多くしている状況であった。

ドローンによる運搬の総作業人数については1～5人と実証地ごとに異なり、1オペ型の機種で1～3人、2オペ型の機種で2～5人と、1オペ型の機種の方が操縦者の少ない分、総作業人数も減る傾向が見られたがそれぞればらつきがあった。

各植栽地の実施状況についても実証地ごとに異なり、植栽地までの平均運搬距離については、123～560m、1往復あたりの平均運搬本数については、50～100本、平均往復時間は約2～7分であった。

ここで、環境条件とドローンによる運搬成果の関係を把握するため、ドローン発着地点から植栽地までの平均運搬距離と平均運搬往復時間の関係を分析した(図 6-15)。なお、植栽地までの平均運搬本数については、環境条件に左右されず、ドローンの最大運搬重量によるものと考えられるため、分析から除外した。

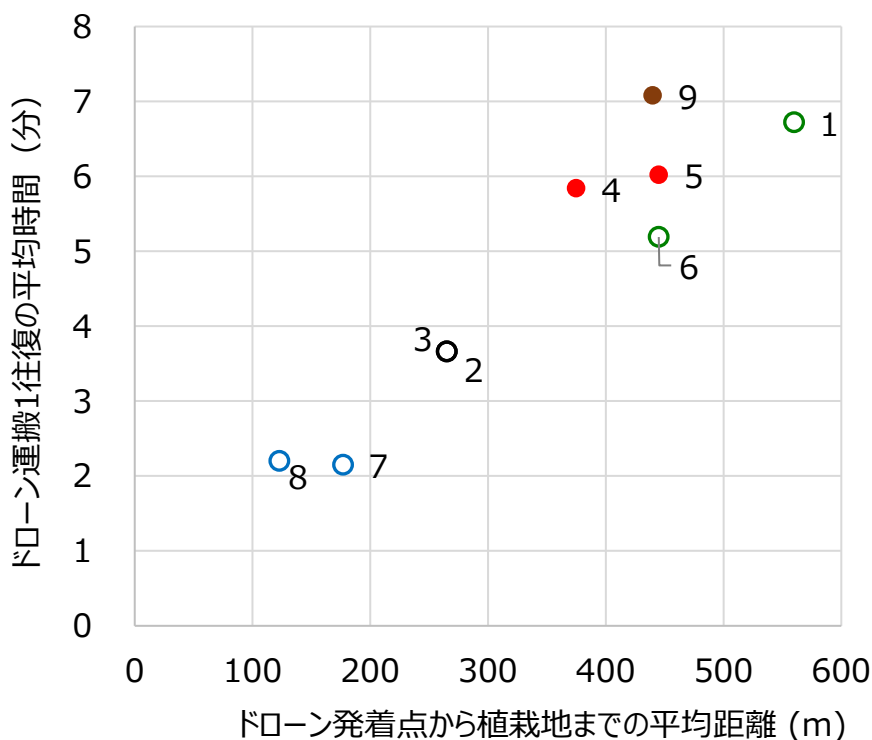


図 6-15 各実証でのドローンによる苗木運搬距離と往復時間の関係

※散布図の各点に振られた番号は実証地 No を示す  
 ※塗潰しは 1 オペ機種、色抜きは 2 オペ機種を示す  
 ※同色は同じ機種を示す (No.1 (M1000) は No.6 (森飛 2 オペ型) の先行機で仕様が近いため、同色で示した)

上に示したドローンによる苗木運搬距離と往復時間の散布図を見ると、各ドローンの仕様や操縦方式等が異なるにもかかわらず、往復にかかる時間は概ね距離に比例する状況であることがわかった。また、1オペ型の機種を使用した実証 (No.4, 5, 9) では2オペ型よりも往復時間が少しかかる傾向が見られた。1オペ型の機種は苗木の荷下ろしの際、ドローン操縦装置 (プロポ) のタブレット画像を操縦者自身が確認しながら行うため、慎重になり時間がかかるものと考えられ

る。なお、実証 No.9 の往復時間が長いのは他の実証と比べバッテリー交換に時間を要したためであった。



## 6.5. 人力運搬との比較分析結果

人力運搬との比較分析のため、ドローン運搬と人力運搬およびクローラ運搬の際の1人日あたり運搬本数、運搬にかかる人工数、運搬から植栽までにかかる人工数をそれぞれ算出した。以下にそれぞれの比較分析結果を示す。

### 6.5.1. 1人日あたりの運搬本数の比較分析結果

運搬方法については、ドローンによる運搬と人力による運搬、クローラによる運搬があるが、それぞれ運搬に必要な人数が異なるため、運搬方法別に1人日あたりの運搬本数を比較した。

運搬方法別の1人日あたり運搬本数の算出方法を以下に示す（表 6-33）。

表 6-33 運搬方法別の1人日あたり運搬本数の算出方法

運搬方法	1人日あたり運搬本数の算出方法
ドローン	$1人日あたり運搬本数 = 往復回数 \times 1回の運搬本数 (50 \sim 100本) \div 作業者数$ $往復回数 = 1日の実働時間 6.5時間 \div 時間計測による平均1往復時間$
人力 (実証)	$1人日あたり運搬本数 = 往復回数 \times 1回の運搬本数 (80本) \div 1人$ $往復回数 = 1日の実働時間 6.5時間 \div 時間計測による1往復時間$ ※ 運搬作業のみに従事したとする。実際には、運搬→植栽→運搬の繰り返し。
クローラ	$1人日あたり運搬本数 = 往復回数 \times 1回の運搬本数 (600 \sim 1500本) \div 1人$ $往復回数 = 1日の実働時間 6.5時間 \div 時間計測による1往復時間$

※1日の実労働時間は6.5時間とした。

この方法に従い、各実証において1人日あたりの運搬本数を算出したところ、以下のとおりとなった（表 6-34）。なお、実証 No.4 のドローン以外の運搬方法については、最初にクローラでアクセスできるところまで大量に運搬し、そこから人力で植栽地まで運搬する方法であったため、「クローラ+人力」として運搬本数を算出した。また、苗木については実証地によってサイズの異なるコンテナ苗や裸苗を運搬しており、それぞれの1本あたりの重量も異なったため、運搬重量も整理した。

表 6-34 各実証における1人日あたりの運搬本数・運搬重量・運搬距離

実証 NO.	都道府県	機種	苗木 設置 方式	1人日運搬本数（運搬重量）				片道運搬距離(m)		集材 方式
				ドローン	人力	クローラ	クローラ +人力	ドローン	ドローン 以外	
1	茨城県	M1000 (2ホ°)	自動	1,451 (208kg)	—	<b>4,105</b> <b>(587 kg)</b>	—	560	840	車両系
2	群馬県	EAGLE15 (2ホ°)	手動	1,064 (202 kg)	—	<b>33,429</b> <b>(6,336 kg)</b>	—	265	485	車両系
3		EAGLE24 (2ホ°)	手動	2,128 (403 kg)	—	<b>33,429</b> <b>(6,336 kg)</b>	—	265	485	車両系
4	兵庫県	森飛 (1ホ°)	自動	<b>4,007</b> <b>(480 kg)</b>	—	—	960 (115kg)	375	1,330	架線系
5	和歌山県	森飛 (1ホ°)	自動	<b>1,944</b> <b>(253 kg)</b>	446 (58kg)	使用不可	—	445	660	架線系
6		森飛 (2ホ°)	自動	<b>2,255</b> <b>(293 kg)</b>	446 (58kg)	使用不可	—	445	660	架線系
7	和歌山県	いたきそ (2ホ°)	手動	<b>(363 kg)</b>	(311kg)	使用不可	—	177	360	架線系
8	山口県	いたきそ (2ホ°)	手動	<b>3,544</b> <b>(369 kg)</b>	3,184 (331kg)	使用不可	—	123	250	車両系
9	宮崎県*2	E616 (1ホ°)	自動	1,010 (172 kg)	<b>1,560</b> <b>(265kg)</b>	使用不可	—	440	376	架線系

※太字は各運搬方法の中で最も運搬本数（運搬重量）が多かったものを示す。

※各実証の計算結果の詳細については巻末に示す。

各実証における1人日あたりの運搬本数をドローン、人力、クローラ（クローラ+人力）で比較すると、5つの実証（No.4-8）でドローンでの運搬本数（運搬重量）が最も多く、3つの実証地（No.1-3）ではクローラでの運搬本数、1つの実証地（No.9）では人力での運搬本数が最も多いとの結果になった。また、ドローンは直線距離で苗木運搬できるため、いずれの実証地もドローン活用により運搬距離を短くすることができた。

ドローン以外の運搬方式が人力かクローラかに留意して考察すると、人力で運搬している実証地ではドローンの方が多く苗木を運搬でき、クローラで運搬している実証地では、クローラの方がドローンよりも多くの苗木を運搬できる傾向があることがわかった。

しかしながら、クローラ運搬をしている実証地でもクローラ運搬後に人力運搬が必要となり、ドローンで一気に運んだ方が多く運べる実証（No.4）や、人力運搬をしている実証地でも人力の方が多く運べる実証（No.9）もあった。

これらの理由については、後述 6.5.2 で考察する。

ドローン以外の運搬方式については、概ね主伐時の集材（搬出）方式と対応しており、架線集材を行っている実証地では、人力運搬を行っており、車両集材を行っている実証地では、クローラ運搬を行っている傾向があることがわかった。

### 6.5.2. 1人日あたりの運搬から植栽までにかかる人工数の比較分析結果

前述の運搬本数については、運搬実施日の実証結果をもとに算出したが、実際にドローンで苗木等の運搬を行う際には、運搬実施前に運搬箇所の状況確認や、ドローンやバッテリーのチェック等の準備作業を行う必要がある。このため、これらの準備作業を含めた運搬にかかる人工を算出し、比較する必要がある。

また、人力運搬やクローラ運搬については、植栽者自身が苗木を運搬し、そのまま植栽するが、ドローンで苗木運搬を行った場合、運搬後の苗木を荷下ろし地点にいる植栽者が植栽することになるため、植栽者の運搬労力が低減するとともに苗木の荷造りや積み込み作業がなくなるなど、植栽者の動きも少し異なってくる。このため、運搬から植栽までにかかる人工も算出し、比較する必要がある。

以上より、各実証地において、準備作業も含めた運搬に係る人工と運搬から植栽にかかる人工をそれぞれ算出し、比較した。なお、実証地ごとに苗木の運搬本数が異なったため、実証地別でも比較できるよう、運搬する苗木の本数を3,000本に統一してそれぞれ人工数を算出した。

以下に、運搬方法別に3,000本の苗木の運搬にかかる人工、植栽にかかる人工、および運搬から植栽までの人工の算出方法をそれぞれ示す（表 6-35）。

表 6-35 苗木 3,000 本あたりの運搬および植栽にかかる運搬方法別の人工数

運搬方法	運搬にかかる人工/3,000 本	植栽にかかる人工/3,000 本	運搬から植栽までの人工/3,000 本
ドローン	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドローン運搬にかかる人工/3,000 本 (A) = 3,000 本 ÷ ドローン事前準備を含めた 1 人日あたり運搬本数 {3,000 本 ÷ (総運搬本数 ÷ 事前準備含めた運搬総日数)}</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>植栽にかかる人工/3,000 本 (B) = 3,000 本 ÷ 1 人日で植栽可能な本数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドローン運搬から植栽までにかかる人工/3,000 本 = ドローン運搬にかかる人工/3,000 本 (A) + ドローン植栽にかかる人工/3,000 本 (B)</li> </ul>
人力(実証)	<ul style="list-style-type: none"> <li>人力運搬にかかる人工/3,000 本 (C) = 3,000 ÷ 1 人日あたりの運搬本数</li> <li>※運搬作業のみに従事した場合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>植栽にかかる人工/3,000 本 (D) = 3,000 本 ÷ (運搬とセットでの) 1 人日で植栽可能な本数</li> <li>※(人力運搬とセットでの) 1 日に植栽可能な本数 = 運搬 → 植栽 → 運搬 → (繰り返し) という作業行程を組んだときの 1 日に往復可能な回数 × 1 往復に運搬可能な本数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人力運搬から植栽までにかかる人工/3,000 本 = 人力植栽にかかる人工/3,000 本 (D)</li> <li>※左記のとおり植栽は人力運搬とセットで行っており、運搬人工を含んでいるため、左記と同じ。</li> </ul>
クローラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>クローラ運搬にかかる人工/3,000 本 (E) = 3,000 本 ÷ 1 人日あたりの運搬本数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>植栽にかかる人工/3,000 本 (F) = 3,000 本 ÷ 1 人日で植栽可能な本数</li> <li>※植栽現場近くに集積してから植栽するため、ドローンの人工と同じ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>クローラ運搬から植栽までにかかる人工/3,000 本 = クローラ運搬にかかる人工/3,000 本 (E) + クローラ植栽にかかる人工/3,000 本 (F)</li> </ul>

この方法に従い、各実証において1人日あたりの運搬本数を算出したところ、以下のとおりとなった（表 6-36）。

表 6-36 苗木 3,000 本あたりの「運搬」および「運搬+植栽」にかかる実証別人工数

実証 NO.	都道 府県	機種	苗木 設置 方式	3,000 本あたりの人工数 (人日/3,000 本)								集材 方式
				ドローン		人力		クローラ		クローラ+人力		
				運搬	運搬 +植栽	運搬	運搬 +植栽	運搬	運搬 +植栽	運搬	運搬 +植栽	
1	茨 城 県	M1000 (2ホ <sup>°</sup> )	自動 フック	3.1	16.3	—	—	0.7	13.9	—	—	車両系
2	群 馬 県	EAGLE15 (2ホ <sup>°</sup> )	補助員 手動	4.3	13.8	—	—	0.1	9.6	—	—	車両系
3		EAGLE24 (2ホ <sup>°</sup> )	補助員 手動	3.0	12.5	—	—	0.1	9.6	—	—	車両系
4	兵 庫 県	森飛 (1ホ <sup>°</sup> )	自動 フック	1.4	14.3	—	—	—	—	3.1	37.5	架線系
5	和 歌 山 県	森飛 (1ホ <sup>°</sup> )	自動 フック	2.1	14.8	6.7	18.8	使用不可	—	—	—	660
6		森飛 (2ホ <sup>°</sup> )	自動 フック	1.8	14.5	6.7	18.8	使用不可	—	—	—	660
7	和 歌 山 県	いたきそ (2ホ <sup>°</sup> )	補助員 手動	—(資材)		—(資材)		使用不可	—	—	—	177
8	山 口 県	いたきそ (2ホ <sup>°</sup> )	補助員 手動	3.2	13.5	0.9	12.5	使用不可	—	—	—	250
9	宮 崎 県	E616 (1ホ <sup>°</sup> )	自動 フック	3.4	13.4	1.9	12.5	使用不可	—	—	—	376

※太字は各運搬方法の中で最も人工数が少なかった（効率的だった）ものを示す。

※実証地 No.9（宮崎県）の植栽部分は実測できなかったため推定値を使用

※各実証の計算結果の詳細については巻末に示す。

植栽準備も含めた、苗木 3,000 本あたりの運搬にかかる人工数、運搬から植栽までにかかる人工数をドローン、人力、クローラ（クローラ+人力）で比較すると、3つの実証（No.4-6）でドローン運搬した場合が最も効率がよく（人工数が少なく）、3つの実証地（No.1-3）でクローラ運搬した場合、2つの実証地（No.8, 9）で人力運搬した場合が最も効率がよい（人工数が少ない）との結果になった。なお、実証 No.5 については資材運搬のため、算出はできていない。

前述の1人日あたりの運搬本数の時と比較すると、実証 No.8 において最も効率がよくなったのが、ドローン運搬から人力運搬に変わった。ドローン使用前の事前準備にかかる人工が影響しているものと考えられる。

なお、ドローンの効率が最もよかった実証地（No.4-6）は植栽地までの距離が遠く、人力運搬の効率が最もよかった実証地（No.8, 9）は人力運搬開始箇所から植栽地までの距離が近いという

特徴があり、それぞれの実証地の環境条件の違いが効率のよい運搬方法に関係している可能性が考えられる。

このため、各実証地のドローン、人力、クローラ（クローラ＋人力）運搬における「環境条件」と「苗木 3,000 本あたりの運搬から植栽までにかかる人工数」との関係を次頁以降、分析し、どのような環境条件の場合にドローン運搬が効率的になるのかを考察した。

なお、分析にあたって、クローラが使用できる実証地と使用できない実証地で状況が異なってくると考えられるため、ドローン運搬との比較対象として人力運搬とクローラ運搬を分けて分析した。



### (1) 植栽地までの運搬時間からみた「運搬+植栽人工数」のドローンとクローラの比較

土場から植栽地までの運搬往復時間と苗木 3,000 本あたりの運搬から植栽までの人工についての散布図を作成したところ、次のとおりとなった (図 6-16)。

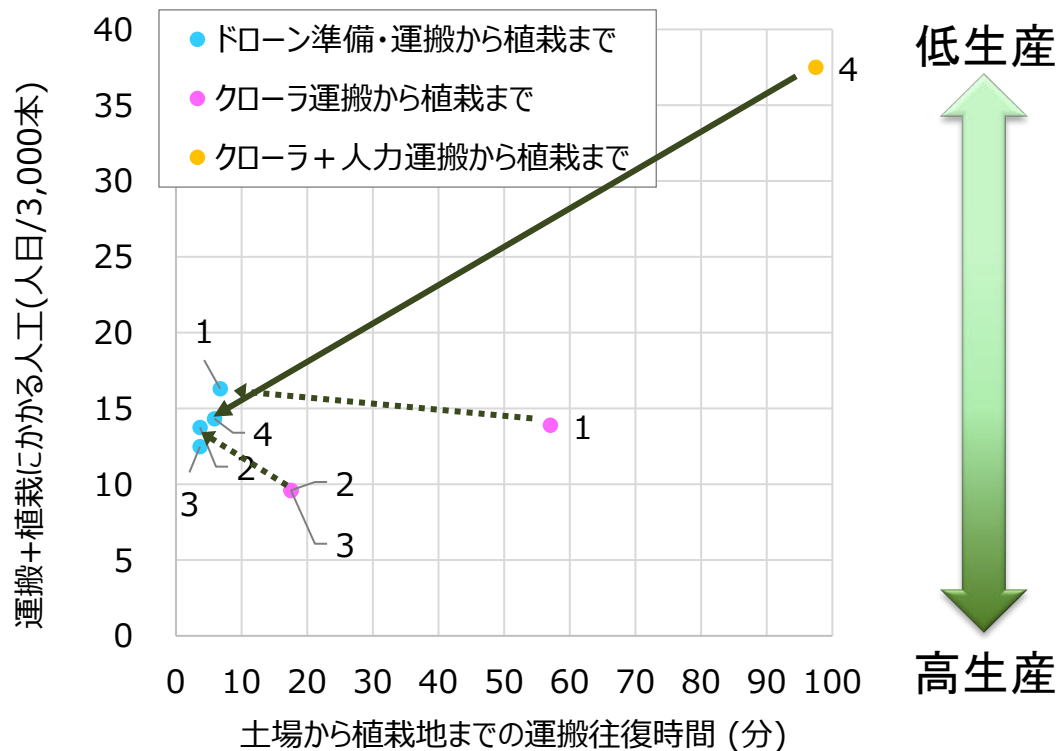


図 6-16 ドローン・クローラによる「運搬時間」と「運搬から植栽にかかる人工」の関係

※散布図の各点に振られた番号は実証地 No を示す (以下、同)

※矢印は同じ実証地を結ぶもので、ドローン運搬に変わると環境条件や生産性 (効率) がどう変わるのかを示す (以下、同)

散布図より、土場から植栽地までの運搬往復時間と苗木 3,000 本あたりの運搬から植栽までの人工について、以下の特徴がわかった。

- 運搬往復時間を見ると、全実証地でドローンの活用により時間を削減できた。
- 運搬から植栽までの人工を見ると、多くの実証地で人工の削減は見られなかった。(クローラが活用できる場所の多くで人工の削減ができないのは1回当たりの運搬可能本数が少ないためと考えられる[ドローン: 50~100 本/回、クローラ 600~1,500 本/回])
- 人工の削減が見られたクローラ運搬と人力運搬がセットの実証地 (No.4) では、運搬往復時間が他の実証地と比べ、かなり長いという特徴がある。

以上より、ドローンによる往復時間削減効果は大きいため、クローラを使用できても運搬時間が長い場所ならドローンにより効率化できる可能性があると考えられる。

なお、運搬時間は運搬から植栽までにかかる人工数の算出の一部に用いている。

## (2) 植栽地までの距離からみた「運搬+植栽人工数」のドローンとクローラの比較

土場から植栽地までの距離と苗木 3,000 本あたりの運搬から植栽までの人工についての散布図を作成したところ、次のとおりとなった（図 6-17）。

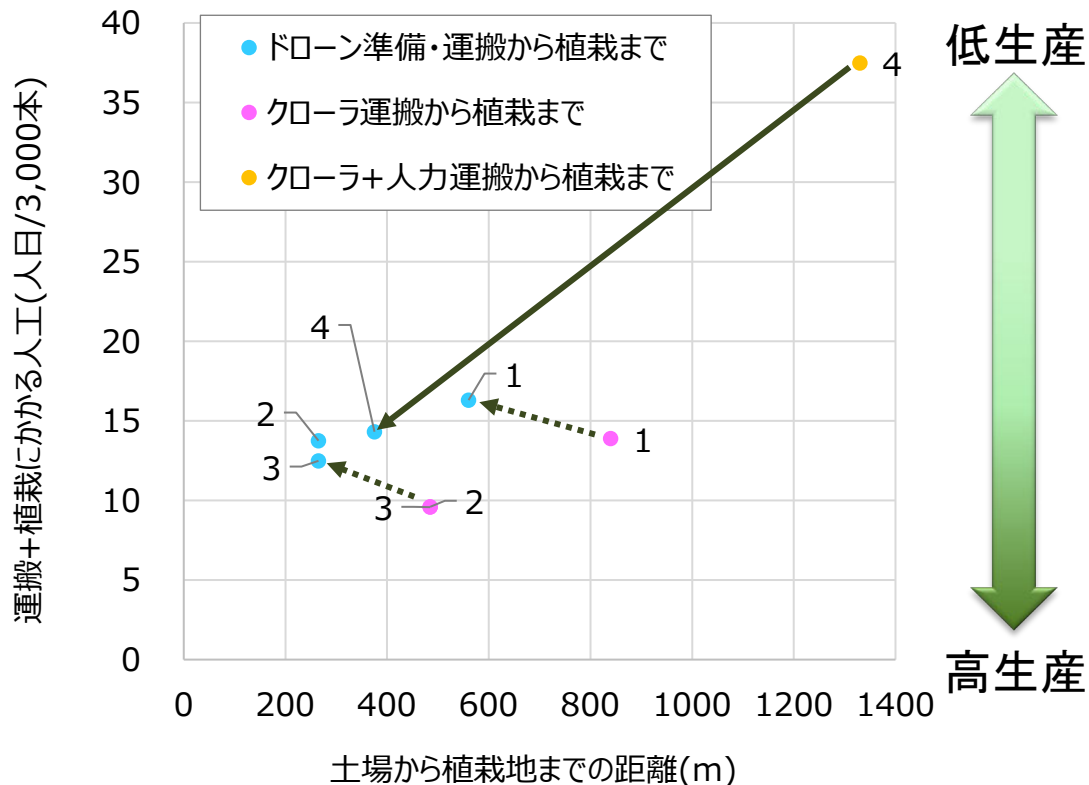


図 6-17 ドローン・クローラによる「植栽地までの距離」と「運搬から植栽にかかる人工」の関係

散布図より、土場から植栽地までの距離と苗木 3,000 本あたりの運搬から植栽までの人工について、以下の特徴がわかった。

- 運搬距離を見ると、全実証地でドローンの活用により距離を短くできた。
- 運搬から植栽までの人工を見ると、多くの実証地で人工の削減は見られなかった。
- 人工の削減が見られたクローラ運搬と人力運搬がセットの実証地（No.4）では、土場から植栽地までの距離が他の実証地と比べ、かなり長いという特徴がある。

また、距離の長さは運搬時間に関係し、距離の長い場所ならクローラが使用可能な場所でもドローンにより効率化できる可能性がある。

### (3) 植栽地までの標高差からみた「運搬+植栽人工数」のドローンとクローラの比較

土場から植栽地までの標高差と苗木3,000本あたりの運搬から植栽までの人工についての散布図を作成したところ、次のとおりとなった（図 6-18）。

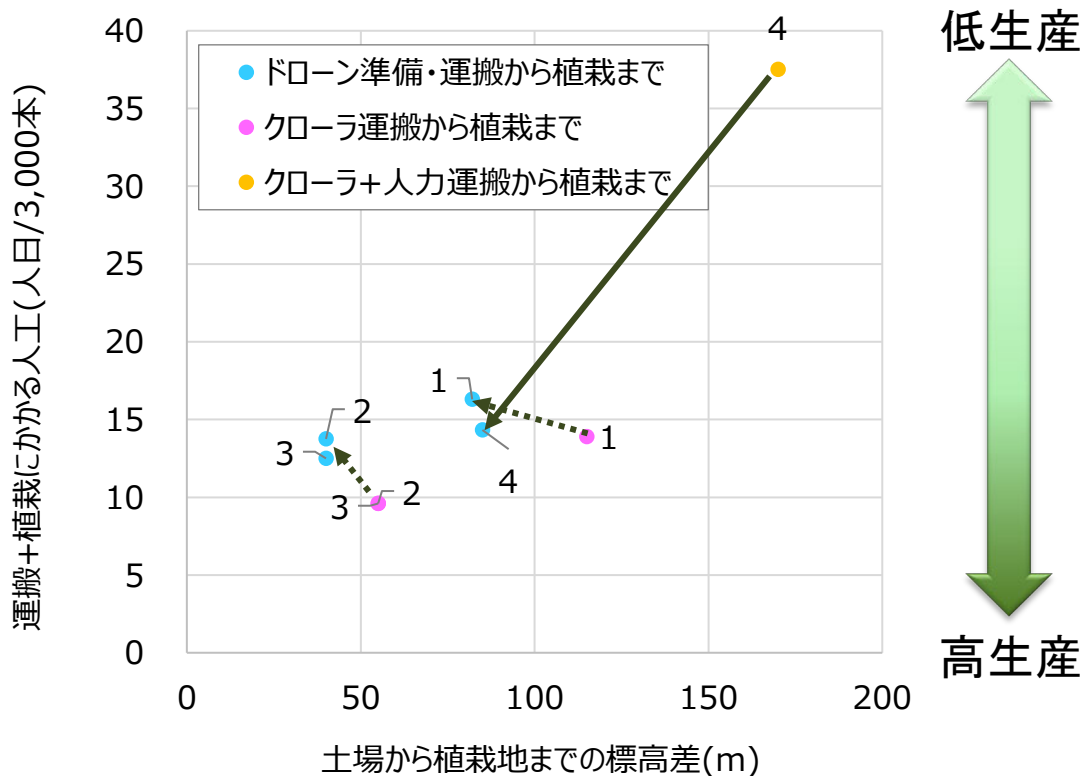


図 6-18 ドローン・クローラによる「植栽地までの標高差」と「運搬から植栽にかかる人工」の関係

※クローラ (+人力) 運搬の標高差は GPS データからの累積標高差を用いた。

散布図より、土場から植栽地までの標高差と苗木3,000本あたりの運搬から植栽までの人工について、以下の特徴がわかった。

- 標高差を見ると、ドローンの活用により上り下りの部分がなくなり、全実証地で差を小さくできた。
- 運搬から植栽までの人工を見ると、多くの実証地で人工の削減は見られなかった。
- 人工の削減が見られたクローラ運搬と人力運搬がセットの実証地 (No.4) では、土場から植栽地までの標高差が他の実証地と比べ、かなり大きいという特徴がある。

また、標高差は往復時間に関係し、標高差の大きい場所ならクローラが使用可能な場所でもドローンにより効率化できる可能性があると考えられる。

(4) 植栽地までの運搬時間からみた「運搬+植栽人工数」のドローンと人力の比較

土場から植栽地までの運搬往復時間と苗木 3,000 本あたりの運搬から植栽までの人工についての散布図を作成したところ、次のとおりとなった (図 6-19)。

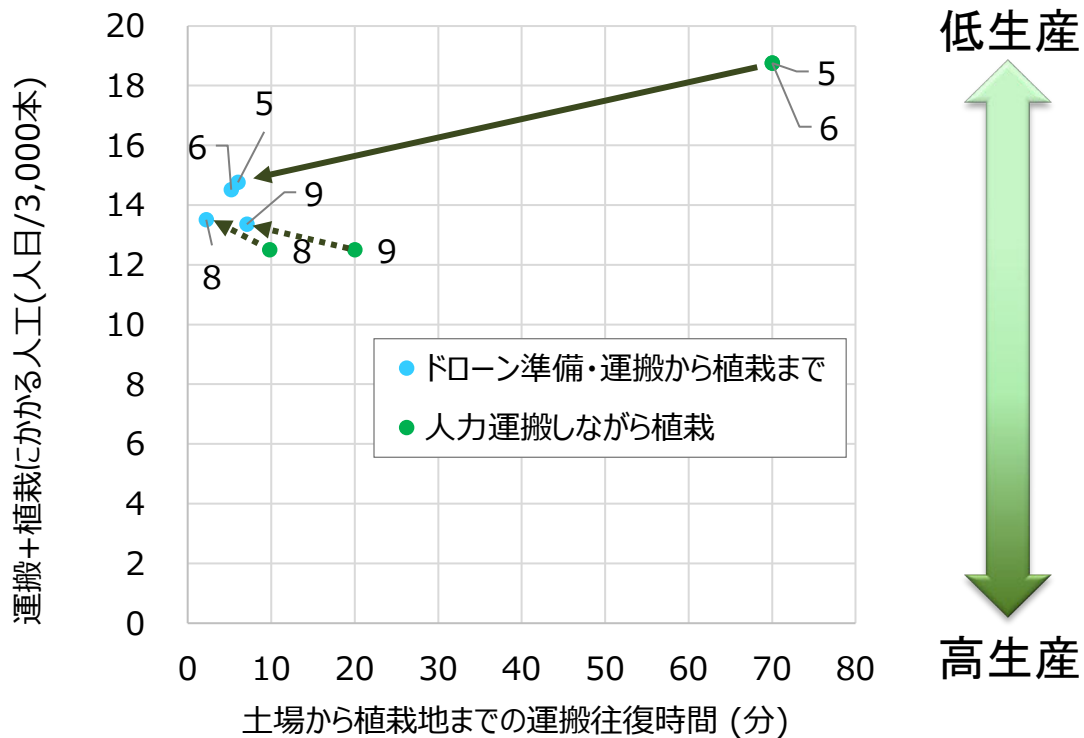


図 6-19 ドローン・人力による「運搬時間」と「運搬から植栽にかかる人工」の関係

散布図より、土場から植栽地までの運搬往復時間と苗木 3,000 本あたりの運搬から植栽までの人工について、以下の特徴がわかった。

- 運搬往復時間を見ると、全実証地でドローンの活用により時間を削減できた。
- 運搬から植栽までの人工を見ると、人工の削減が見られた実証地 (No.5,6) では人力での運搬往復時間が長いという特徴があった。
- ドローンの活用により人工の削減ができなかった実証地 (No.8,9) については、植栽地の手前まで車両でアクセスできる箇所であった。

以上より、ドローンによる往復時間削減効果は大きいため、往復時間が長い場所はドローンにより効率化できると考えられる。一方、植栽地手前まで車両でアクセスできる場所など元々人力での往復時間が短い場所は、ドローン運搬にしても効率化できない場合もあると考えられる。

(5) 植栽地までの距離からみた「運搬+植栽人工数」のドローンと人力の比較

土場から植栽地までの距離と苗木 3,000 本あたりの運搬から植栽までの人工についての散布図を作成したところ、次のとおりとなった (図 6-20)。

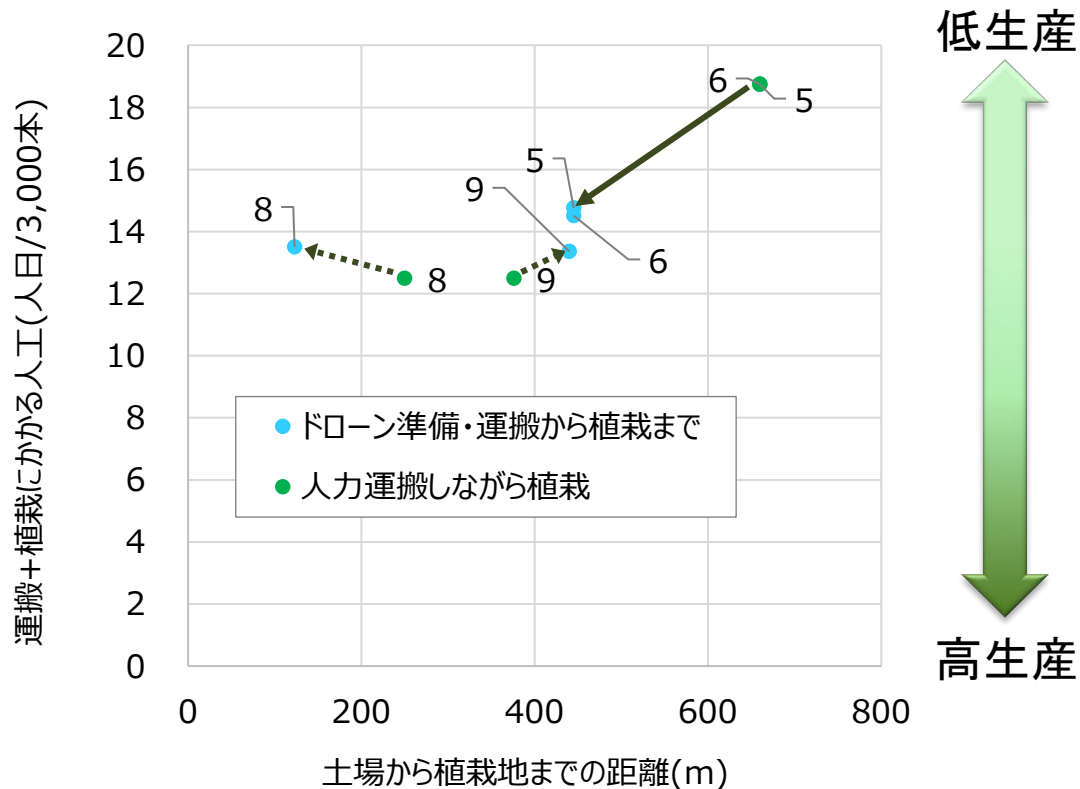


図 6-20 ドローン・人力による「植栽地までの距離」と「運搬から植栽にかかる人工」の関係

散布図より、土場から植栽地までの距離と苗木 3,000 本あたりの運搬から植栽までの人工について、以下の特徴がわかった。

- 運搬距離を見ると、多くの実証地でドローンの活用により距離を短くできたが、逆に長くなった実証地 (No.9) もあった。
- 運搬から植栽までの人工を見ると、人工の削減が見られた実証地 (No.5,6) では、土場から植栽地までの距離が他の実証地と比べてかなり大きいという特徴がある。
- ドローンの活用により人工の削減ができなかった実証地 (No.8,9) については、植栽地の手前まで車両でアクセスできる箇所であり、宮崎県の実証地 (No.9) についてはドローン発着点が車両アクセス可能箇所よりかなり手前のため、ドローン運搬の方が植栽地までの距離が長くなってしまった状況であった。

また、距離の長さは往復時間に関係し、距離の短い場所では人力運搬からドローン運搬にしても効率化できない場合もあると考えられる。

### (6) 植栽地までの標高差からみた「運搬+植栽人工数」のドローンと人力の比較

土場から植栽地までの標高差と苗木3,000本あたりの運搬から植栽までの人工についての散布図を作成したところ、次のとおりとなった(図6-21)。

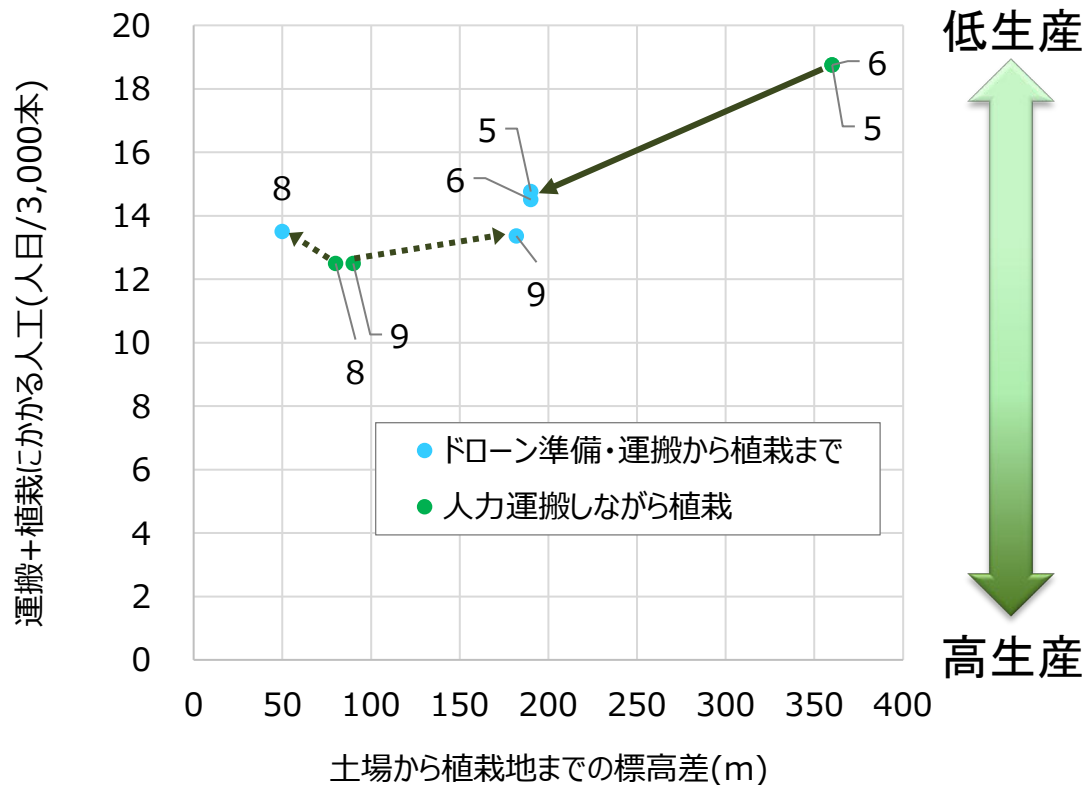


図 6-21 ドローン・クローラによる「植栽地までの標高差」と「運搬から植栽にかかる人工」の関係

※人力運搬の標高差はGPSデータからの累積標高差を用いた。

散布図より、土場から植栽地までの標高差と苗木3,000本あたりの運搬から植栽までの人工について、以下の特徴がわかった。

- 標高差を見ると、多くの実証地でドローン活用により差を小さくできたが、逆に差が大きくなった実証地(No.9)もあった。
- 運搬から植栽までの人工を見ると、人工の削減が見られた実証地(No.5,6)では、土場から植栽地までの標高差が他の実証地と比べてかなり大きいという特徴がある。
- ドローンの活用により人工の削減ができなかった実証地(No.8,9)については、前述のとおり、植栽地の手前まで車両でアクセスできる箇所であった。

また、標高差は往復時間に関係し、標高差の大きい場所では効率化できるが、元々標高差が小さい場所では人力運搬からドローン運搬にしても効率化できない場合があると考えられる。



## 6.6. まとめ

各実証結果、各実証のドローンの機種、操作方法・体制、実施状況等の整理と比較結果、および環境条件に着目した人力運搬およびクローラ運搬との比較分析結果から、ドローンの活用により苗木等運搬を効率的効果的にするためのまとめと考察を以下に整理する。

### 6.6.1. ドローンの操縦方式・苗木荷下ろし方式・その他の留意点等

#### (1) 1オペ、2オペ機種の選定

1オペ方式の場合、操縦者が1人となるため、総作業人数は概ね2オペ方式より少なくすることができるといえるというメリットがある。ただし、出発地から植栽地が目視できない場合は1オペ方式の機種は使用できない。また、2オペ方式の機種のメリットとしては、荷下ろし側の操縦者が目視で操作するため、荷下ろし時間を短縮することができることや、1オペ方式の場合には目視外飛行となるため運搬不可能な場合でも、2オペ方式を用いることで運搬可能となり比較的長距離の運搬が可能となる。

#### (2) 苗木荷下ろし方式(手動・自動)

自動フックを用いる場合は荷下ろし地点に補助員が不要なので、人員削減が可能となる。手動フックを用いる場合は、ホバリングしたまま荷掛けを行うことにより運搬往復時間を削減することができる。しかし、荷掛け時に上空にドローンがある状況だと、安全に配慮し人員体制を充実させる必要があるため、結果的に作業人数が多くなる場合がある。なお、ドローン飛行時は、作業関係者以外の第三者や第三者の建物・自動車等からは30m以上の距離を保つ必要がある。

#### (3) バッテリー交換

バッテリーは2往復に1回、または3往復に1回程度の頻度で行われていたため、バッテリー交換を如何に効率的に行うかが運搬時間を短くするポイントである。バッテリー充電待ちの時間が生じないように交換・予備バッテリーの用意や無駄のない充電サイクルの計画をする必要がある。バッテリー交換にかかる時間が長いと、他の運搬方法に対するドローンの優位性が下がる要因となる。

### 6.6.2. ドローンにより効率が図れる環境条件の特徴と考察

前述のドローン、人力、クローラによる苗木運搬における環境条件と効率性の比較から、植栽地までの運搬往復時間が長くかかる場所ではドローンにより効率化が図れることがわかった。また、運搬往復時間には距離や標高差が影響を与えると考えられる。さらに、植栽地の縁まで車両でアクセスできるような場所は、人力運搬からドローン運搬にしても効率化できない場合があることがわかった。

本実証では、ドローンの活用による苗木運搬の効率化について、クローラが活用できる場合には、クローラで運搬した方がドローンで運搬するよりも効率がよかった。このため、ドローンが有効になるのはクローラが使えない環境（主に架線集材をしている造林地）という考え方もあるが、基本的に植栽地までの運搬時間が影響するため、クローラを使用できても運搬時間が長くかかれば、ドローンによる効率化が図れる可能性がある。逆に人力でも運搬時間が短ければドローンによる効率化が図れない場合があることがわかった。なお、距離や標高差も運搬時間と同様の関係を示したため、これらの環境条件が運搬時間の指標となる可能性があると考えられる。

### 6.6.3. 今後の課題

#### (1) 苗木等の運搬に適した条件の分析

今回の分析では、どの程度の運搬時間や距離になるとドローンが効率化できるなどの具体的な指標は得られていない。ヒアリングにおいて植栽地までの標高差が 50m 以上といった情報があったように、今後さらに実証を行い、ドローンによる苗木等運搬に適した条件をさらに詳しく分析していくことが重要であると考えられる。

#### (2) 最適な運搬手法の検討

今回実証を行った結果、操縦者や補助者の役割と配置方法等にそれぞれ違いがあることがわかった。また、ドローンの機能やアタッチメントについても違いがあったため、これらをより詳しく分析し、最適な運用方法を検討していく必要があると考えられる。

#### (3) 省力・低コスト化への寄与度の評価

本年度は人工数の比較分析を行ったが、今後、ドローンの購入費、維持費、操作体制から環境条件の違いを含めたコスト分析を行うことにより、低コスト化への寄与がどの程度あるのか明らかになると考えられる。

また、ドローンの活用により作業者の労力や労災リスクの低減効果、男女雇用機会の均等化等、ドローンによる効率化以外の効果があることがヒアリングにより得られている。このため、ドローンの活用の選択にあたっては効率化だけでなく、これらの付加価値をどう加えていくかも重要であると考えられる。

#### (4) 効率的な運用方法

次年度以降の取組テーマである運用管理システムにも関係するが、運用体制（複数の事業体による機体・操縦者の共同運用、作業委託等）や費用対効果の見込まれる年間稼働率及び年間事業量を分析し、効率的な運用方法や様々な運用パターンを示していくことにより、ドローンの活用・導入が進んでいくと考えられる。

#### (5) 安全管理

ドローンを飛行させる際には、航空法に基づき第三者やその所有する建物・自動車等から 30m 以上の距離を保つ必要がある。（国土交通大臣の承認を受けた場合を除く。）作業関係者は第三者には該当しないが、できる限りドローンとの距離を確保することが望ましい。ホバリング中に荷掛けや荷下ろしをする場合はワイヤー部分を地上に斜めに垂らし、ドローンの真下で作業しないなど、安全面への配慮が必要である。また、墜落による衝撃等でバッテリーが発火し、山火事に発展する可能性もあることから、作業時は消火器具を用意し、火災に備えることも必要である。そのほか、安全に飛行させることができるよう、定期的な機体の点検・整備、日々の技量保持に努める必要があり、万一の損害等に備えた保険への加入も推奨される。

#### (6) ドローン技術に合わせた造林方法の検討

ドローンをどのように使えば低コストで省力的な造林ができるのかを検討することは重要であるが、逆に現行の造林方法を見直し、どのような造林方法であればドローン技術が活かせるのかを検討することも重要であると考えられる。

## 7. ドローンを活用した新たな造林技術の活用に向けた条件整備等

前述の「5. ドローンを活用した造林技術の事例調査・分析」で説明した、ドローンを活用した造林技術の調査・分析に挙げた項目のうち、植栽穴の自動マーキング、荒廃地への播種・吹付による緑化、ドローン運用管理システムの技術について、今後取り組むべきテーマと判断されたため、本章では、これらについて、次年度に向けた開発計画を述べる。

### 7.1. 植栽穴の自動マーキング

植栽穴の自動マーキングについては、本年度、実現性、将来性、応用可能性の点から開発検討テーマとして選定された。

事業2年目の作業としては、自動マーキングを行う位置の特定手法の検討や作業工程の検討を行うほか、噴霧方式や塗料落下方式等、伐採地に適したマーキング手法の検討・選定を行う。また、宮崎県で実施されたの先行事例を参考に実際にドローンによるマーキングを行い、課題等を抽出するほか、開発を行うにあたって森林総合研究所等の連携先を検討する。

事業3年目には、マーキング材の性質に応じたアタッチメントとその作動プログラムや、自動飛行し、移動、ホバリング、マーキングを繰り返すプログラムを業務連携先と共同開発する。

事業4年目～5年目は、開発したアタッチメントとプログラムで実証を行い、効果検証や歩掛調査を行い、アタッチメントやプログラムの改良を行うほか、活用・普及に向けたマニュアルを作成する（図 7-1）。

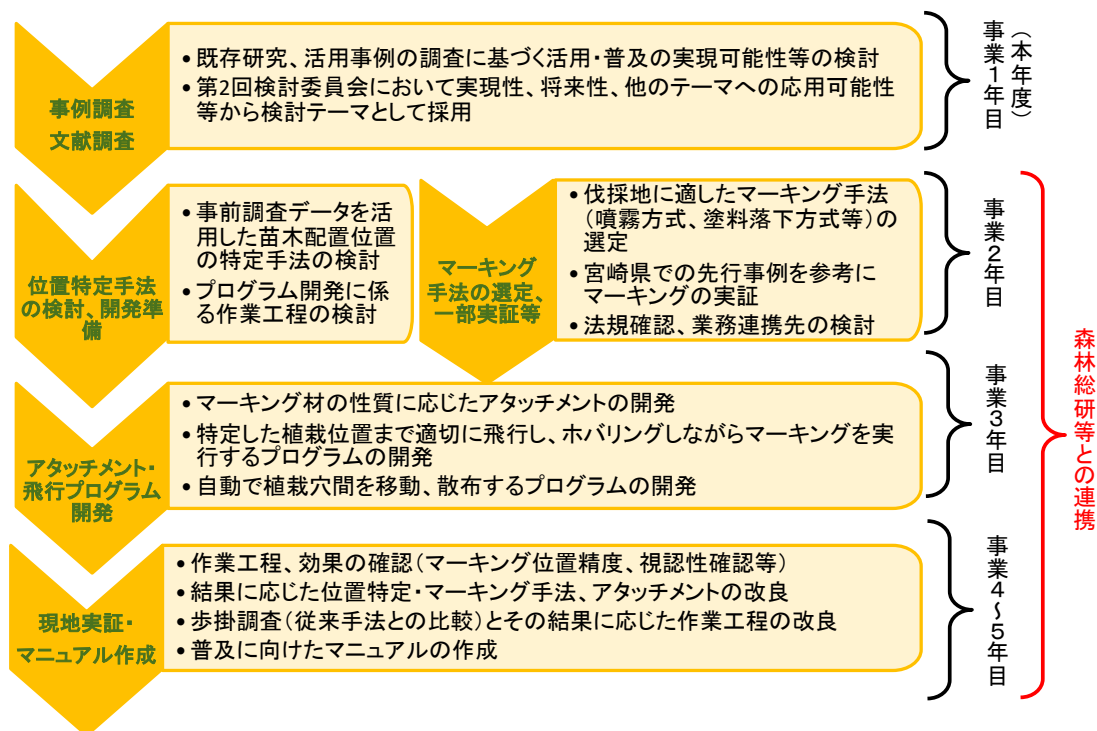


図 7-1 植栽穴自動マーキングの実用化・普及に向けたロードマップ

## 7.2. 播種・吹付による緑化

播種・吹付による緑化については、本年度将来性等の点から開発検討テーマとして選定された。事業2年目の作業としては、種子や粘着基材の調査、作業工程の検討を行うと同時に種子や基材の粘性等に応じたアタッチメントについての検討を行う。また、広島県や愛媛県での先行事例を参考に実際にドローンによる播種を行い、課題等を抽出するほか、実用化・普及に向けた開発を行うにあたって緑化業者等の連携先を検討する。

事業3年目には、種子や基材に適したアタッチメントとその作動プログラムや、自動マーキングの検討結果を応用した自動飛行・自動散布プログラムを業務連携先と共同開発する。

事業4年目～5年目は、開発したアタッチメントと自動飛行・自動散布プログラムで実証を行い、効果検証や歩掛調査を行い、アタッチメントやプログラムの改良を行うほか、活用・普及に向けたマニュアルを作成する。なお、散布様式については、散布場所の環境が植栽地と異なり複雑であり、自動散布の方がよい条件も考えられるため、手動散布もできるものを検討する(図7-2)。

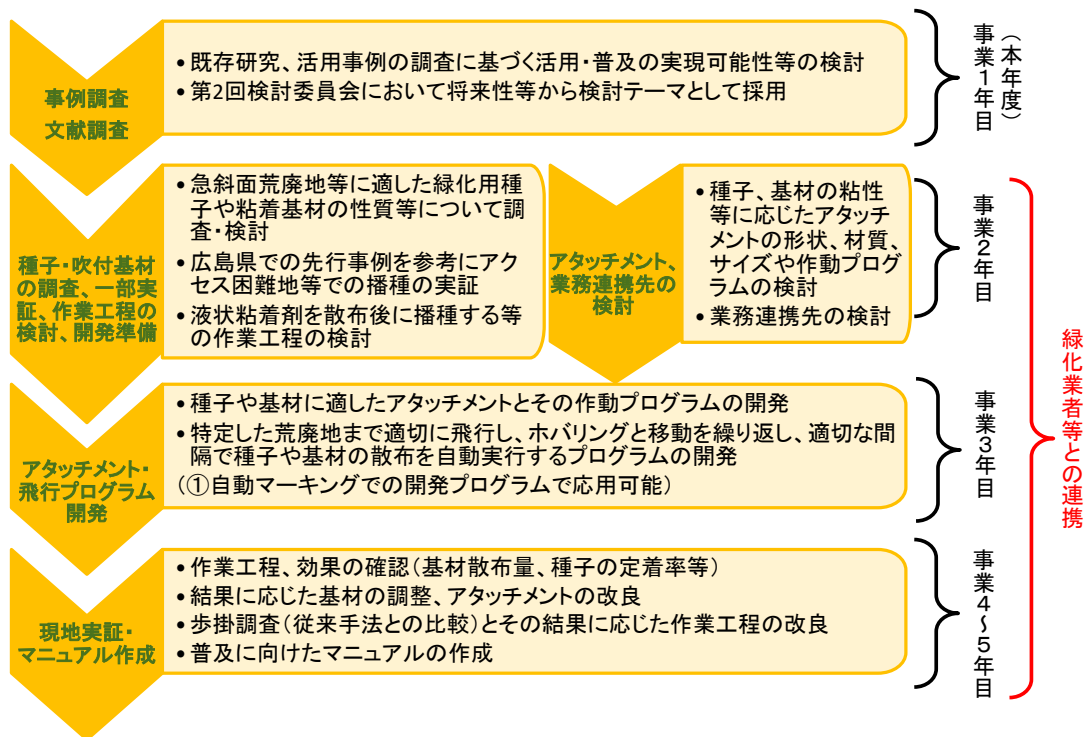


図 7-2 播種・吹付の実用化・普及に向けてのロードマップ

### 7.3. ドローン運用管理システム

ドローン運用管理システムについては、本年度、必要性と他のテーマへの連動性の点から開発検討テーマとして選定された。

事業2年目の作業としては、データ管理・共有のためのクラウドについて概略設計のための課題抽出を行う。申請・検査に用いるドローン画像については、改ざん防止のため元データから収集する必要があると考えられ、大容量のデータをネットワークで送信、クラウドサーバ上で管理することとなる。既存の森林クラウド及び行政が使用している LGWAN ではドローン画像のような大容量データは想定していないため、実証による課題抽出が必要と考えられる。

3年目にはシステムの概略設計を行い、4年目以降のシステム実証（図 7-3）、普及に向けて作業を進める。

ドローンの運用体制、人材育成については、1年目は各種ドローンの機体の価格は調査したが、実際に使用する際は現地でのバッテリー充電用発電機など各種周辺機材が必要となり、2年目は周辺機材及び維持管理も含めた価格調査を行う必要があると考えられる。そのうえで、1年目に算出されたドローンの運搬効率から費用対効果が発揮される年間運搬本数、年間植栽面積等について検討する。3年目には地域での他分野ドローンとの協働実証などを検討し、以降の現地実証、普及に向けて作業を進める（図 7-3、図 7-4）。

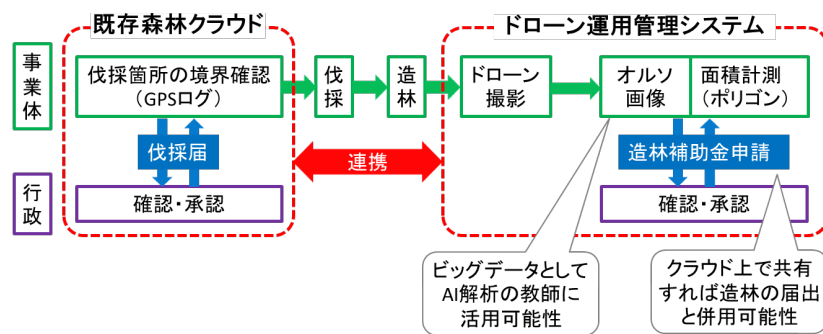


図 7-3 ドローン運用管理システムのイメージ(再掲)

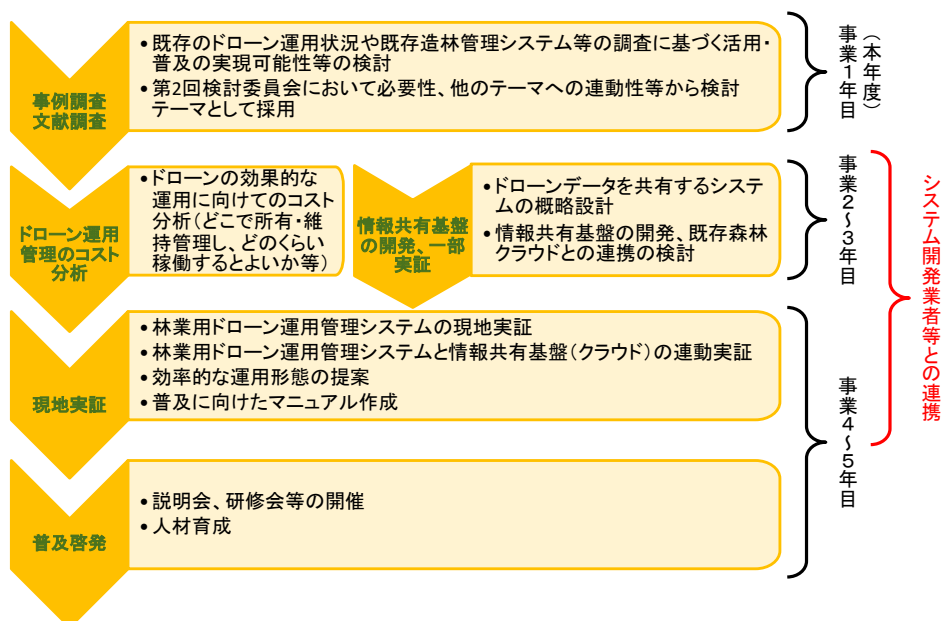


図 7-4 ドローン運用管理システムの構築・普及に向けてのロードマップ

## 8. 巻末資料

### 8.1. 文献調査結果

本事業で収集した文献情報一覧は次のとおりである。



ドローンの活用事例等

ドローンの活用事例(技術区分:①苗木運搬、②薬剤散布、③播種・吹付、④自動マーキング、⑤ピンポイント配置、⑥ドローン運用について、⑦その他)							文献	使用されたドローン			
技術区分	活用分野	地域	活用事例・機体情報等	飛行方法 (自動・手動)	事業名等	関係団体	その他	文献名、URL	メーカー名	型番	No.
①	林業	北海道	導入したばかりで、運用に向けた検討を進めている。	—	—	王子木材緑化(株)	—	都道府県への照会結果	—	—	—
①	林業	岩手県	ドローンにより、これまで一人が持ち運んでいた重さ7kgの苗木(カラマツ60本)を運搬。 人力で4分40秒を1分7秒で運び上げた。	—	—	—	—	産経ニュース(平成30(2018)年7月24日) <a href="https://www.sankei.com/region/news/180724/rgn1807240036-n1.html">https://www.sankei.com/region/news/180724/rgn1807240036-n1.html</a>	—	—	①1
①	林業	東京都	H30伐採の索道先行ロープの運搬 R1シカ柵の資材運搬 R2シカ柵の資材運搬及び苗木運搬(植栽箇所に続く林道が、台風により崩壊し車輦が入れなくなったため、緊急的にドローンで苗木運搬を行った。)	手動	—	東京都森林組合 株式会社ストーンモリス	購入はしておらず、委託で運搬。森林組合の職員が研修を受けオペレーターとして共同作業している。	都道府県への照会結果	株式会社マゼックス	「森飛-morito-」の前の型番	①2
①	林業	東京都	R2苗木運搬 R2シカ柵の資材運搬(秋以降の予定)	—	—	立山産業株式会社	苗木運搬のデモを見て購入を決意。 社員のみでも運搬操作できるようになった。	都道府県への照会結果	株式会社マゼックス	森飛-morito-	①2
①	林業	東京都	テスト運搬のみで、実際の現場は未使用 R2シカ柵の資材運搬(秋以降の予定)	—	—	株式会社 山恵	東京都森林組合が苗木運搬に使用しているのを見て、購入を決意。 社長がラジコンヘリの操縦が得意で、機体を所有しているとのこと。	都道府県への照会結果	株式会社マゼックス	森飛-morito-	①2
①	配送	長野県	配送に利用されるドローンは、KDDIのモバイル通信ネットワークに対応し、目視外自律飛行、遠隔監視制御が可能なプロドローン製PD6B-Type3。本サービスでは、日用品など最大5kgまで積載することが可能。荷物と機体の重さを合わせると25kg以上となり、約7km離れた地点まで配送を実施。本サービスは航空法に基づく「補助者無し目視外飛行」と「最大離陸重量25kg以上の無人航空機の機能及び性能」の承認下でのサービス。	自動・手動	伊那市支え合い買い物サービス「ゆうあいマーケット」の本格運用実施(中山間地)	長野県伊那市	国内初の自治体運営によるドローン配送事業実施中 長距離型のタンデム型Avidrone210Tは最大120km、飛行時間1.3時間、25kg積載可	<a href="https://www.prodrone.com/jp/products/">https://www.prodrone.com/jp/products/</a>	株式会社プロドローン	PD6B-Type3(詳細不明)	①3
①	林業	岐阜県	ドローンによる造林資材運搬実験。植栽する苗木(裸苗)、ツリーシェルター、支柱を作業道から再造林現場へ空輸した。	KATANA⇒自動 YOROI⇒手動	—	岐阜県森林技術開発・普及コンソーシアム 郡上市森林組合 SAITOTEC	【課題】 ・事前の準備やバッテリーの交換に手間がかかる ・造林資材の梱包の主流が20kg前後のため最低でも20kgの運搬能力が欲しい ・ドローンの操作や設定に高度な技術が要求されるので専門のオペレーターがいなければ対応できない ・林業事業者が購入するには製品としてもっと簡単に扱える必要がある	岐阜県森林技術開発・普及コンソーシアム活動紹介かわら版第22号(令和2(2020)年6月24日) <a href="https://www.forest.ac.jp/wp-content/uploads/2020/06/%E3%82%B3%E3%83%B3%E3%82%BD%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%82%A2%E3%83%A0%E6%B4%BB%E5%8B%95%E5%A0%B1%E5%91%8A22%E5%8F%B7200624.pdf">https://www.forest.ac.jp/wp-content/uploads/2020/06/%E3%82%B3%E3%83%B3%E3%82%BD%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%82%A2%E3%83%A0%E6%B4%BB%E5%8B%95%E5%A0%B1%E5%91%8A22%E5%8F%B7200624.pdf</a>	SAITOTEC	KATANA YOROI	①4 ①5
①	林業	三重県	R1年度に三重県の委託事業として、架線集材や再造林に必要な資材の運搬を実施。 受託者：上道キカイ株式会社(和歌山県新宮市新宮8001-135) 植栽者：森林組合おわせ(三重県紀北町便ノ山200) 運搬資材：滑車10個、予備線約1,000m、食害防護資材(単木保護タイプ)1,000組 ドローン：20kg吊り大型ドローン	—	—	上道キカイ(株)	—	都道府県への照会結果	上道キカイ(株)	—	①6
①	林業	兵庫県	H28にドローンによる苗木運搬の研修会を開催 コンテナ苗4kgを232m運搬 講師(一社)UAS 多用推進技術会	—	—	—	—	都道府県への照会結果	DJI	Matrice600 (補助機種 Phantom4)	①12
①	林業	和歌山県	特大ドローンによる20kg程度の資材運搬 (裸苗240本、コンテナ苗80本程度)	—	一貫作業の低コスト化・省力化再造林プロジェクト(和歌山県)	和歌山県 上道キカイ(株)	—	林野庁(平成30(2018)年5月)情報誌「林野-RINYA-」No.134	—	—	①6

①	林業	和歌山県	大型ドローンによる3kg程度の資材運搬 (裸苗60本、コンテナ苗20本程度)	—	一貫作業の低コスト化・省力化再 造林プロジェクト(和歌山県)	和歌山県 上道キカイ㈱	—	林野庁(平成30(2018)年5月) 情報誌「林野-RINYA-J」No.134	—	—	①7
①	林業	和歌山県	ドローンにより苗木・獣害防止ネットを運搬。 苗木運搬による要人工数を約44~67%省力化できた (人力0.64~1.06→ドローン0.36人/苗木千本) 労災リスクの低減や作業員の労働強度の低減にもつながった	—	令和元年度林業機械化推進シ ンポジウム附属資料	上道キカイ㈱	—	林野庁研究指導課(令和2年(2020)年2月) 林業機械化推進事例集 日本林業調査会(令和元(2019)年12月18日) 林政ニュース第619号	—	UNM3	①8
①	林業	和歌山県	5.96haの植栽地にドローンを用いてスギのコンテナ苗を約12,000本運搬し た。	自動・手動	先進的造林技術推進事業	和歌山県 ㈱マゼックス、住友林業㈱	見学会を兼ねていたため、1オペと2オペ の両方で実施。本事業で時間計測を行 い、歩掛について調査分析した	先進的造林技術推進事業に係る実演見学会(7/29・ 7/30)での確認情報	㈱マゼックス	森飛 -morito-	①2
①	林業	和歌山県	・苗木等の資材運搬用ドローンの製造販売を実施。 ・自社製品を用いて人工造林地において運搬試験を実施。 ・発進場所と荷受場所の双方がコントローラーを共有し、2名のオペレー ターが相互にドローン運搬を可能にする2オペレーター方式を採用。	—	—	上道キカイ(株)	—	都道府県への照会結果	上道キカイ(株)社製 のドローン	UKNシリーズ	①9
①	林業	和歌山県	・上道キカイと設計・製造段階から関わり、運搬用ドローンを購入。 ・基本的に自社で行う人工造林はすべてドローンを用いた運搬を実施(中 川は人工造林を主業務とした企業)。 ・1日を通して作業できるように、予備バッテリーを多く用意、落下時の発 火抑制を施したバッテリー、GPS精度の向上等を備えたハイグレード仕様 のドローン。 ・令和2年度に先進的造林技術推進事業によるドローン運搬を予定。	—	—	(株)中川	—	都道府県への照会結果	上道キカイ(株)社製 のドローン	UKNシリーズ	①9
①	林業	徳島県	(株)エレバ(ドローン販売代理店 高知)がドローンによる苗木運搬のデモ を実施	—	—	木頭森林組合	—	都道府県への照会結果	㈱マゼックス	森飛 -morito-	①2
①	林業	徳島県	生和商事(株)(ドローン販売代理店 大阪)が受託し、ドローンによる苗木の 運搬を実施。 施行地が道から離れていたため、委託によりドローンによる苗木の運搬を 実施されたとのこと。	—	—	三好東部森林組合	—	都道府県への照会結果	㈱マゼックス	森飛 -morito-	①2
①	林業	徳島県	自社で苗木運搬用ドローンを開発しているが、自社試験のみでデモの依 頼や導入実績はない。 【機体情報】HPより ペイロード11kg(8kg実証済み、11kg試験中) モーター軸間距離1400mm、プロペラ直径28インチ	—	—	D-PLAN 株式会社	・マゼックス社の機体と似ているが、スキッド の形状やLED、アタッチメント等に違いが 見られる。 ・機体の開発と併せて、電子制御ではない 自社製フックも開発している。	都道府県への照会結果	D-PLAN 株式会社	—	①11
①	林業	高知県	高知県内では初となるドローンによる苗木運搬。 H30年度に導入し、実際の植栽現場でも活用している	—	—	大豊町森林組合	県の補助事業を活用して導入	森林組合HP(令和元(2019)年11月20日) <a href="https://www.otoyoshinrin.com/2019/11/blog-post_20.html">https://www.otoyoshinrin.com/2019/11/blog- post_20.html</a> 都道府県への照会結果	DJI	Matrice600pro	①12
①	林業	大分県	スギ苗木40本(6kg)とシカ食害防止ネット(15kg)を上方110m、水平距離 190m、斜距離220m離れた場所へ2~3分で運搬した。 人力とドローンの比較(推定) 苗木運搬:7人日/ha→4人日/ha ネット運搬:13人日/ha→3人日/ha	—	—	シーアイロボティクス㈱ 佐伯広域森林組合	県独自で造林用機械の導入支援事業を 令和2(2020)年度から実施予定	大分合同新聞(令和2(2020)年4月8日) 日本林業調査会(令和2(2020)年3月11日) 林政ニュース第624号	シーアイロボティクス ㈱	—	①13
①	林業	宮崎県	林業の低コスト化に向け、ドローンを使って林業用の苗木を運搬する実証 試験を実施した。	—	—	県中部農林振興局	—	宮崎日日新聞(平成30(2018)年7月27日) <a href="https://www.the-miyazaki.co.jp/kennai/_33599.html">https://www.the-miyazaki.co.jp/kennai/_33599.html</a>	—	—	—
①	林業	宮崎県	施工事例はないが、デモを実施した事例がある	—	—	株式会社明光社 (ドローンスクール明光社)	—	<a href="https://d-pa.or.jp/news/2757/">https://d-pa.or.jp/news/2757/</a> <a href="http://www.meikousha.co.jp/publics/index/43/detail=1/b_id=4/r_id=93/">http://www.meikousha.co.jp/publics/index/43/detail=1 /b_id=4/r_id=93/</a>	株式会社 DroneWorkSystem (ドローンスクール仙 台)製農林業向け多 用途ドローン	「AGRIWORKSシリー ズAGR16」	①14

②	林業	宮崎県	宮崎県で平成30年(2018)年11月に無人ヘリから薬剤散布試験を宮崎大学の演習林で実施。用いた薬剤は「ザイトロンフレノック微粒剤」	—	無人航空機による下刈省力化技術開発	ヤマハ発動機株	【全国初の試験】 環境保護団体の意見も踏まえ一時中断	林政ニュース第593号 林政ニュース第604号 宮崎県HP	—	—	—
②	林業	茨城県	・クズ等のつる切り作業の省力化・効率化に向け、林地除草剤の散布について人とドローンによる比較実証を実施(令和元年) ・使用除草剤は「ザイトロンフレノック微粒剤」 ・ドローンの場合、人力作業に比べて作業効率が向上(作業量:ドローン0.25ha/人・時、人力0.10ha/人・時) ・コスト面は、使用機体が高価なことや実証が小面積であることの制約等により、ドローンの方が約5.8倍という試算(あくまで参考値)	手動	—	茨城森林管理署	【全国初の事業ベースでの技術導入】 ・作業効率向上に加え、急傾斜地や炎天下での作業を避けられ安全性が高まる ・実施可能な場所や条件(天候、風速、時間帯等)が限られ、奥行きのある急傾斜地ではオペレーターの操作技術が求められる	林政ニュース第610号、第613号 関東森林管理局森林・林業技術等交流発表会(令和2(2020)年2月13~14日)	DJI	AGRAS MG-1	②1
②	農業	愛媛県	急傾斜地にあるミカン園へのドローンによる農薬散布。 愛媛県の事業により、令和元(2019)年より、研修会や実演フライトセミナーの開催、薬剤の適用拡大に向けた試験を始めた。8月8日にはドローン3機種による防除実演フライトセミナーを行った。	—	ドローン防除農業適用拡大普及事業	愛媛県	—	<a href="https://www.iacom.or.jp/nouyaku/news/2019/08/190830-38989.php">https://www.iacom.or.jp/nouyaku/news/2019/08/190830-38989.php</a>	XAG TEAD DJI	P20 TA408 AGRAS MG-1	②2 ②3 ②1
②	林業	佐賀県	2020年度から事前入力したコース内で除草剤を散布する試験を行い、2022年度までに実用化の可否を探る。	自動	—	—	【実用化されれば全国初】 市民団体が県担当者を呼んで説明会を開催し、反対意見の声があがっている	佐賀新聞(令和2(2020)年2月1日) 西日本新聞(令和2(2020)年2月9日)	—	—	—
②	農業	日本	正確に地形を認識、作物との距離を一定に保つことができる。農地の起伏に合わせて飛行し、ユーザーの操縦を補助する。最大5リットルのタンクにより、一度のフライトで0.5ha相当の薬剤を搭載し、散布可能。注ぎ口が大きいため、薬剤を入れる際は、面倒なタンクの取り外しを必要がない。通常散布、回転散布、局所散布対応。自動散布アプリケーション(無料)有り。	自動・手動	—	—	多様な薬剤散布アタッチメントを開発	<a href="https://eams-robo.co.jp/products.html">https://eams-robo.co.jp/products.html</a>	イームズロボティクス株式会社	エアロスプレーヤーAS5 II(農業用)	②4
②	農業	日本	1haの農地を液剤なら10分、粒剤なら5分で散布することができる。取り外し不要の折りたたみ式プロペラ、バッテリー交換が簡単にできる開閉式新キャンピを採用。送信機はFutabaの「ENROUTE TX2」。	自動・手動	—	—	農業用ドローンで国内導入実績No.1を誇るAC940シリーズの大型版がAC1500 他インフラ点検ドローンや世界初の標点不要の空撮ドローンも取り扱い	<a href="https://enroute.co.jp/products/ac1500-new/">https://enroute.co.jp/products/ac1500-new/</a>	株式会社エンルート	AC1500	②5
②	農業	日本	agFMS(Agriculture flight management system)により、自動生成された散布ルートを実行に飛行、散布。オペレーターはモニターで確認するのみ。RTK制御による誤差数センチメートルの位置把握が高精度な散布を実現。、散布途中で薬剤がなくなった場合にもその位置を正確に把握、補給後の再散布でのムダを無くす。散布中の粒剤切れや粒剤の噛込み(詰まり)などによる回転不能をLED警告灯でお知らせ。勾配10%までの斜面に対応。	自動・手動	—	—	スキルによる散布ムラが起らない全自動システム	<a href="https://www.yamaha-motor.co.jp/ums/multi_ap/">https://www.yamaha-motor.co.jp/ums/multi_ap/</a>	ヤマハ発動機株式会社	MR-08AP	②6
②	農業	日本 中国他	液体の農薬、肥料および除草剤の様々な散布を高精度に適正な割合でおこなうために設計されたオクトコプターで、農業分野において効率性と管理等力が向上。折りたたみ式のMG-1は10kgの液体を搭載することが可能。	自動・手動	—	—	専門家でも扱いやすい操作方法。	<a href="https://www.dji.com/jp/mg-1s">https://www.dji.com/jp/mg-1s</a>	DJI	AGRAS MG-1	②1

③	林業 (緑化)	広島県	ルート設定による自動飛行機能や、緑化用種子や肥料等を効率的に散布する機能を持つオリジナルドローンに加え、ドローンの安全管理を行う操縦士の派遣など必要な要素をパッケージ化したソリューションを提供	—	豪雨による被災地域の緑化プロジェクト	株A.L.I. Technologies 広島県呉市 DRONE BUSINESS ACADEMY	—	<a href="https://www.drone.jp/news/20190515124158.html">https://www.drone.jp/news/20190515124158.html</a>	—	—	③1
③	林業	愛媛県	伐採跡地に、コーティング(ゲル被膜)したスギ、ヒノキの種子を、粒上散布装置を持ったドローンを用いて播種した。 (伐採:平成28(2016)年11月、播種:平成29(2017)年3月) 平成29(2017)年6月末時点で、発芽を確認できていない。	—	—	愛媛県	—	その後も発芽は確認されなかった。元々発芽率の低いスギヒノキを使用したこと、ゲルで覆ってしまったことでさらに発芽しづらい状況になってしまったことが原因として考えられる。	平成29(2017)年度森林整備の低コスト化に向けたブロック別研究会資料	—	—
③	林業	イギリス	□AIとドローンを使用して、2060年までに5000億本分の木の播種を行う計画。 □ドローンは1分間に120本分の木の播種ができる。 □毎年100億本分の木の播種を行うために、1チーム当たり2人のドローンパイロット+10台のドローンを400チーム組織する。	—	—	Dendra Systems 英国	—	<a href="https://europeansting.com/2019/12/04/this-tech-company-is-aiming-to-plant-500-billion-trees-by-2060-using-drones/">https://europeansting.com/2019/12/04/this-tech-company-is-aiming-to-plant-500-billion-trees-by-2060-using-drones/</a> <a href="https://youtu.be/nXophqU-rp4">https://youtu.be/nXophqU-rp4</a>	—	—	—
③	林業	アメリカ	□ドローンに搭載したカメラで上空から植林地を撮影し、画像データと地理情報を集約した三次元マップを作成。樹種や土壌などから樹木が生育しやすい場所をセンチメートル単位で精緻に特定したうえで、ドローンが自律飛行し、種子に肥料、病害虫防除剤を混ぜた特殊カプセルを上空からまく仕組み。	—	—	DroneSeed	—	<a href="https://www.droneSeed.com/">https://www.droneSeed.com/</a>	—	—	—
③	林業	オーストラリア	□毎秒150~300mの速度で2つの種子を吐き出すことができる。 □人間が植えることができる平均よりも10倍速い8,000の種子を1日で地上に発射できる空気圧式発砲モジュールを構築した。 □種子のボールは黒いペイントボールの弾丸のようなもの。軽量で、重量はわずか5g。	—	—	Airseed Technologies	—	<a href="https://youtu.be/tD6kXl1sUcc">https://youtu.be/tD6kXl1sUcc</a> <a href="https://drone-wiki.net/media/news20190705/">https://drone-wiki.net/media/news20190705/</a>	—	—	—
③	林業	米国 シアトル	森林火災跡地の植林 種子はバック(puck)と呼ばれる加工をして直播する。大規模の森林火災後は苗木が不足するので、バックを使用する。また、この加工により活着率を高める。ドローンは57ポンド(約26kg)のバックを運搬可能で、3Dマッピングに基づきバックをドローンで植栽箇所に配る。	—	—	DroneSeed	—	<a href="https://www.droneSeed.com/">https://www.droneSeed.com/</a>	—	—	—
③④⑤	林業	イギリス	①ドローンを使用して地形をマッピングし、植栽計画を立案 ②圧縮空気砲を備えたドローンプランターが自動的にコースをたどり、発芽した種子を発射。  発芽済種子は、衝撃を吸収し、植物の初期成長を助ける栄養ゲルでコーティングされている。 ドローンは、斜面に適応したバランスの取れた配置を植栽計画に従って、地表から1~2メートルで飛行。各ドローンは300の種子を運搬可能。	自動	—	BioCarbon Engineering 英国	—	<a href="https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/drone-drones-replanter-forets-devastees-57543/">https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/drone-drones-replanter-forets-devastees-57543/</a>	—	—	—
③④⑤	林業	スペイン	2012年の1200ha森林火災跡地の植林。 ドローンで被害状況を評価し、植林する箇所を特定する。 生分解性の松のコーティング種子を播種。150万本/年の植栽を計画。900本/分で播種する。	—	Smart Green	Parque Natural de Alcoroches (en Guadalajara, España)	—	播種アタッチメントはプロトタイプで市場には出ていない。  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=bLuRJcE6R2k">https://www.youtube.com/watch?v=bLuRJcE6R2k</a> <a href="https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2018/11/25/5b969c2122601d3a1f8b4621.html">https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2018/11/25/5b969c2122601d3a1f8b4621.html</a> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=t5-405u_bbM">https://www.youtube.com/watch?v=t5-405u_bbM</a>	—	—	—
③④⑤	林業	カナダ(トロント、ブリティッシュコロンビア)	マッピングドローンを使って、土壌や現在の植生に基づいて植林に適した場所を特定する。その後、無人偵察機がコーティング種子(通常より発芽が早く、湿度を保つ)をフィールドに正確に落下させる。このコーティング種子を使うことで、生存率を高めるとともに、乾燥する時期にも種子を成熟させることができる。	—	—	Flash Forest	—	<a href="https://www.forbes.com.mx/tecnologia-drones-plantar-arboles-reforestacion-deforestacion-cambio-climatico/">https://www.forbes.com.mx/tecnologia-drones-plantar-arboles-reforestacion-deforestacion-cambio-climatico/</a>	—	—	—
④、⑤	林業	北海道	(※開発中)皆伐跡地をドローンで空撮し、機械学習による画像認識技術を活用して現場の3Dマップを作成、これをもとに機械化に適した植栽計画をプランニングする。	—	省力化機械開発推進対策(林野庁)	森林総研 株式会社フォテク	—	日本林業調査会(令和2(2020)年6月24日) 林政ニュース第631号	—	—	—



⑦	林業	東京都	距離センサを搭載したドローンによる森林調査 筆者らのグループで開発したエンジン駆動型マルチコプターに森林内を飛行させ、UAVによる森林内から計測を行い、森林全体の三次元計測データを作成した。			岩瀬教授等		一般社団法人日本オプトメカトロニクス協会(令和2(2020)年3月20日) 光技術コンタクトVol.58 通巻58P10			
⑦	林業	東京都	LiDARを搭載したドローンによる森林毎木調査 森林計測システムの有効性の検証を行った			岩瀬教授等		アドコム・メディア株式会社(令和元(2019)年11月25日) plusE Vol.41P826			
⑦	林業	宮城県	適切なタイミングや場所で下刈りを実施するため、ドローンによって雑草木の繁茂の様子等を把握した。 下刈り後に撮影した地表面と、植生が繁茂した時期に撮影した画像から植生表面の3次元モデルを作成し、その差分によって植生の高さを推定した。5つの地点で実測値と比較したところ、最小30cm程度の誤差で植生高の推定ができた。			森林総合研究所関西支所		森林総合研究所(平成31(2019)年3月18日) 低コスト再造林に役立つ”下刈り省略手法”アラカルト			
⑦	林業	東京都ほか	植付、下刈り、間伐等の施業確認(検査におけるドローンの活用)の検証及びそれに適した機種を選定、撮影画像のオルソ化ソフトの比較の実施。各地域、事業者におけるドローン活用の現状と意向調査、林業地におけるドローン飛行の普及・研修の実施。	自動	森林づくりへの異分野技術導入・実証事業(リモートセンシング研修)造林現場でのリモートセンシング技術の検証	ブルーイノベーション株式会社 日本森林技術協会	苗木の判読、オルソ画像を用いた造林地の画像測量を検証	左記実証事業での実施情報			
⑦	林業	山梨県	林業用架線設置のための市販ドローンの活用		UAV(ドローン)を用いた林業用架線リードロープ設置研修	山梨森林総合研究所(講師:山梨県周南森林組合)	使用ドローンはDJI社Phantomと考えられる	<a href="https://www.pref.yamanashi.jp/shinsouken/iouhou/h30/iouhou190130dron.html">https://www.pref.yamanashi.jp/shinsouken/iouhou/h30/iouhou190130dron.html</a>	DJI社	Phantomシリーズ	
⑦	林業	長野県	ドローンレーザー計測と毎木調査による比較による精度の検証及び収穫調査以外でのドローンレーザーの活用方法についての検証		スマート精密林業におけるドローンレーザーによる単木把握	中信森林管理署 信州大学山岳科学研究所株式会社Ace-1	単木検出率は81%であった アタッチメント:YellowScan社レーザー	<a href="https://www.rinya.maff.go.jp/chubu/giyutu/siryousitu/attach/pdf/tyuubuhaltuyou-11.pdf">https://www.rinya.maff.go.jp/chubu/giyutu/siryousitu/attach/pdf/tyuubuhaltuyou-11.pdf</a>	enRoute社		
⑦	林業	和歌山県	小型ドローンによる、森林調査、獣害ネットの状況確認、架線の予備線架設、治山施設の点検、造林下刈り調査(面的に確認)		一貫作業の低コスト化・省力化再造林プロジェクト(和歌山県)	和歌山県 上道キカイ㈱		林野庁(平成30(2018)年5月) 情報誌「林野-RINYA-J」No.134			
⑦	運搬ソフトウェア点検	日本	日本で初めて、Level3(補助者なし目視外飛行)を日本郵便と2018年11月に実現。ドローンを使った郵便局間の輸送を実施中。自動制御技術分野で世界をリードすべくグローバルに展開(欧米、中国、南アジア等)。世界で初めて上場したドローン専門メーカー。屋内外での点検、災害調査、倉庫内在庫管理等の幅広いニーズに対応する機体「Mini」を開発。	自動・手動	小型無人航空機を用いた配送試行の実施(中山間地)	日本郵政	業界トップ水準の48分飛行(無積載) アタッチメント:防塵・防滴設計、6つの衝突回避センサー搭載、30倍ズームカメラ搭載、非GPSモデル対応	<a href="https://www.acsl.co.jp/admin/wp-content/uploads/2020/01/20200123%E6%96%B0%E8%A3%BD%E5%93%81Release.pdf">https://www.acsl.co.jp/admin/wp-content/uploads/2020/01/20200123%E6%96%B0%E8%A3%BD%E5%93%81Release.pdf</a>	株式会社自立制御システム研究所(ACSL)	Mini	⑦1
⑦	インベントリー	日本	ドローン搭載用ライダー。レーザーが草木の隙間を通り抜けて地上に到達するため、写真計測では不可能だった地面から木の高さまで、センチメートル単位の正確性で測定できる。データ分析・加工ソフトウェア「LiDAR 360」と共に用いられ、測定データをビジュアル化し、様々な分野で有効活用可能。					<a href="https://www.symphony.com/lidar/greenvalley/liair/">https://www.symphony.com/lidar/greenvalley/liair/</a>	株式会社光響	LiAirV-E	
⑦	輸送・医薬品緊急搬送・広範囲の測量	ドイツ他	ドイツ製のVTOL型固定翼機。通常のドローンよりも飛行距離や積載効率に優れ、高解像度カメラなどと組み合わせた広範囲インフラの点検や写真測量、また物資輸送などの産業分野でも活用が期待されている。	自動・手動	Deliver Futur Project	Wingcopter, GIZ, DHL	遠隔地への医療物資輸送実験をアフリカで実施。Wingcopter 178 Heavy Liftとしては、既にUPSも採用。	<a href="https://wingcopter.com/">https://wingcopter.com/</a>	DHL / Wingcopter	percelcopter / Wingcopter 178 Heavy Lift	⑦2
⑦	医療	ザンビア	ANAホールディングス株式会社と、エアロセンス株式会社、国立研究開発法人国立国際医療研究センター)は、ザンビア共和国の地上交通インフラが未発達な地域において、中央病院や郡病院等と農村部にあるヘルスセンターなどの間で、ドローンによる血液検体等の輸送を行っている。ドローン物流を活用し、検体回収から診断、治療も含めた保健医療サービス全体の所要期間を短縮することや輸送品質の向上により検査の質の向上を図る目的。ANAHDは国際協力機構(以下JICA)の実施する2019年度第一回「中小企業・SDGsビジネス支援事業」(SDGsビジネス支援型)に採択された。	自動・手動	ANAHD	ANA, JICA		<a href="https://aerosense.co.jp/pressitems-20190829/">https://aerosense.co.jp/pressitems-20190829/</a>	AeroSense	AS-MC03-T	⑦3
⑦	マッピング、建設、環境モニタリング、農業等	米国、欧州(スイス他)	WingtraOneは、VTOL機である。滑走路が不要、かつマルチコプタードローンに比して航続距離が長いことが特徴で、Phantom4 PROに比してより広範囲を短時間で調査可能である。林業、工業、建設業、農業等の導入実績が豊富である。	自動・手動				<a href="https://wingtra.com/">https://wingtra.com/</a>	Wingtra	WingtraOne	⑦4
⑦	林業	チリ	天然林の管理と維持。具体的には樹種の分類、森林と自然地域の健康状態の監視、火災前後のサポート及び高精度林業に使用している。民間航空総局で訓練を受けた技術者を擁している。使用するドローンは、マルチスペクトル、サーモグラフィ、高解像度可視画像を撮影する機能を持つ。オルソモザイク画像やNDVI画像にも対応している。			INFOR(国家森林院)		<a href="https://ce.entel.cl/grandes-empresas/articulos/el-crecimiento-del-uso-de-drones-en-el-mercado-chileno/">https://ce.entel.cl/grandes-empresas/articulos/el-crecimiento-del-uso-de-drones-en-el-mercado-chileno/</a> <a href="https://www.infor.cl/index.php/noticias/128-nuevo-drone-posiciona-a-infor-a-la-vanguardia-de-la-investigacion-y-monitoreo-forestal">https://www.infor.cl/index.php/noticias/128-nuevo-drone-posiciona-a-infor-a-la-vanguardia-de-la-investigacion-y-monitoreo-forestal</a>	IDETEC	Stardust II	

ドローンの機種情報

技術区分	No.	メーカー名	型番	特徴	アタッチメント	飛行方法 (手動・自動)	価格	大きさ (使用時)	大きさ (収納時)	機体 重量	積載可能量	運搬可能量	備考
①運搬	①1	—	—	—	—	—	240万円	—	—	—	—	—	—
①運搬	①2	㈱マゼックス 住友林業㈱	森飛-morito-	—	ウインチ(1オベ)	自動(1オベ) 手動(2オベ)	268万円 (税抜)	980×980×752mm	—	10.7kg	12kg(1オベ) 14.2kg(2オベ)	8kg(1オベ) 10.4kg(2オベ)	市販
①運搬	①3	㈱プロドローン	PD6B-Type2 (実証中のType3は詳細不明)	予め設定した飛行範囲や高度を逸脱した場合に、自動でパラシュートを開傘させ安全に着陸させることが可能	—	両方	—	1348×1348×474mm	—	19.5kg	—	30kg	IP43相当(雨天飛行可)
①運搬	①4	㈱SAITOTEC	YOROI 6S1200J	—	吊り(運搬)・カメラ・液体散布用タンク・粒剤散布用タンクの付け替えが可能	両方	—	1100×1250×680mm	710×790×550mm	9.5kg	—	10kg	—
①運搬			YOROI 6S1500F	—			—	1633×1432×672mm	1061×937×672mm	13kg	—	20kg	—
①運搬	①5	㈱SAITOTEC	KATANA 6S1750F(バッテリー3本)	—	—	両方	—	1870×1650×930mm	1450×1300×930mm	25kg	—	30kg(12分)	—
①運搬			KATANA 6S1750F(バッテリー6本)	—						25kg	—	40kg(6分)	—
①運搬			KATANA 12D1750F(バッテリー6本)	—						30kg	—	50kg(7.5分)	—
①運搬	①6	上道キカイ㈱	—	—	—	—	250cm	—	—	30.0kg	—	20kg	—
①運搬	①7	上道キカイ㈱	—	—	—	—	100cm	—	—	9.0kg	—	3kg	市販
①運搬	①8	上道キカイ㈱	UNM3	—	—	—	対角寸法125cm	—	—	25kg	—	10kg	—
①運搬	①9	上道キカイ㈱	UKNシリーズ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
①運搬	①10	㈱中川 上道キカイ㈱	いたきそ	—	—	—	—	直径1m	—	15kg	—	10kg	—
①運搬	①11	D-PLAN 株式会社	—	—	—	—	—	—	—	—	11kg	8kg	—
①運搬	①12	DJI JAPAN ㈱	Matrice600pro	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
①運搬	①13	シーアイロボティクス㈱	—	—	—	—	—	255cm	—	30kg	—	15kg	—
①運搬	①14	㈱DroneWorkSystem	AGRIWORKSシリーズAGR16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
①運搬	①15	㈱BlueBee	Xylocopa3020	—	—	—	—	2600×2600×780mm	—	—	—	30kg	物資搬送用
①運搬	①16	㈱SkyDrive	SkyDrive Cargo Drone	—	—	—	—	1300×1700×1000mm	—	25kg	—	30kg	重量物運搬用
②薬剤散布	②1	DJI JAPAN ㈱	Agras MG-1	自立散布システム	—	両方	約130万円	1471×1471×482mm (アームを広げた状態、 プロペラなし)	780×780×482mm (アームを折畳んだ状態)	23.5kg(標準離陸重量)	—	10kg	—
②薬剤散布	②2	XAG JAPAN㈱	P20(2019年モデル)	—	—	自動	—	—	—	—	—	液剤10L	—
②薬剤散布			P30(新型モデル)	完全防水仕様。RTK搭載で数cm単位の飛行精度。センシングドローンで検知した雑草・病害情報をP30に送り、作物の生育に応じた最適な肥料・薬剤散布が可能	—	—	自動	—	—	—	—	—	液剤16L 粒剤10kg
②薬剤散布	②3	TEAD㈱	TA408	デュアルGPS搭載	—	—	—	1152×1152×580mm	666×666×580mm	24.7kg (最大離陸重量)	—	8.0L	—
②薬剤散布	②4	イームズロボティクス株式会社	エアロスプレーヤーAS5 II	高精度レーザーにより起伏に合わせて飛行	ヤマホ工業の農業散布ノズル(最大約4m幅)粒剤散布装置(5L)	両方	—	軸間1.060mm	—	15.9kg (最大離陸重量)	—	5.0L	—
②薬剤散布	②5	株式会社エンルート	AC1500	農業用ドローン国内導入実績No.1	散布間隔4m 液状散布装置 ZIN1000A(8L)	両方	—	1530×1340×650mm	83×715×650mm	24.9kg (最大離陸重量)	9.0kg	8.0L	—
②薬剤散布	②6	ヤマハ発動機株式会社	YMR-08AP	—	散布間隔5m 液剤・粒剤散布装置(10L)	両方	—	2181×2181×702mm	1799×1799×573mm	27.0kg	—	10.0L	—
②薬剤散布	②7	㈱プロドローン	SMX X-F1	急傾斜地で育つ農作物向けの農業散布ドローン	—	—	—	—	—	13.2kg	—	10L	—
②薬剤散布	②8	㈱マゼックス	飛助MG/DX	日本全国で700機以上が活躍している。	—	自動	98万円 (税抜)	1185×1185×520mm	579×579×520mm	24.9kg (最大離陸重量)	—	液剤10L 粒剤10kg	—
③播種・吹付	③1	㈱A.L.I. Technologies	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50kg	—
その他	⑦1	株式会社自律制御システム研究所(ACSL)	Mini	国内初目視外飛行実現	6つの衝突回避センサー搭載 30倍ズームカメラ搭載 非GPSモデル対応	両方	—	704×704×300mm	—	3.15kg	—	—	—
その他	⑦2	Wingcopter	Wingcopter 178 Heavy Lift	垂直離着陸可能/航続距離長い(6kg積載で45km)	—	両方	約1,000万円	52×178×132cm	103×87×57cm	12kg(Payload含まず)	約6kg	—	滑走路不要
その他	⑦3	AeroSense	AS-MC03-T	顧客の要望に応じてカスタム可能	—	両方	—	943×943×450mm	—	5.5kg(最大離陸重量)	—	2.9kg	—
その他	⑦4	Wingtra	WingtraOne	VTOL機で滑走路不要。マルチコプターに比して広範囲の調査が可能。	RGB camera (Sony RX1R II, Sony QX1+SEL20F28, Sony QX1+Voigtlander15mm)、MicroSense RedEdge-MX、MicroSense Altum	両方	20,000 USD~	125×68×12cm	137×67×23cm	(本体)18.6kg (ハードケース格納時)	—	—	最大航続時間59分



## ドローンの用途と大きさ

No.	メーカー名	大きさ (使用時)	大きさ (収納時)	機体 重量	積載可能量	運搬可能量
①1	—	—	—	—	—	—
①2	(株)マゼックス 住友林業(株)	980 × 980 × 752mm	—	10.7kg	12kg(1オペ) 14.2kg(2オペ)	8kg(1オペ) 10.4kg(2オペ)
①3	(株)プロドローン	1348 × 1348 × 474mm	—	19.5kg	—	30kg
①4	(株)SAITOTEC	1100 × 1250 × 680mm	710 × 790 × 550mm	9.5kg	—	10kg
		1633 × 1432 × 672mm	1061 × 937 × 672mm	13kg	—	20kg
①5	(株)SAITOTEC	1870 × 1650 × 930mm	1450 × 1300 × 930mm	25kg	—	30kg(12分)
				25kg	—	40kg(6分)
				30kg	—	50kg(7.5分)
①6	上道キカイ(株)	250cm	—	30.0kg	—	20kg
①7	上道キカイ(株)	100cm	—	9.0kg	—	3kg
①8	上道キカイ(株)	対角寸法125cm	—	25kg	—	10kg
①9	上道キカイ(株)	—	—	—	—	—
①10	(株)中川 上道キカイ(株)	直径1m	—	15kg	—	10kg
①11	D-PLAN 株式会社	—	—	—	11kg	8kg
①12	DJI JAPAN (株)	—	—	—	—	—
①13	シーアイロボティクス(株)	255cm	—	30kg	—	15kg
①14	(株)DroneWorkSystem	—	—	—	—	—
①15	(株)BlueBee	2600 × 2600 × 780mm	—	—	—	30kg
①16	(株)SkyDrive	1300 × 1700 × 1000mm	—	25kg	—	30kg
②1	XAG JAPAN(株)	—	—	—	—	液剤10L
		—	—	—	—	液剤16L 粒剤10kg
②2	TEAD(株)	1152 × 1152 × 580mm	666 × 666 × 580mm	24.7kg (最大離陸重量)	—	8.0L
②3	(株)プロドローン	—	—	13.2kg	—	10L
②4	(株)マゼックス	1185 × 1185 × 520mm	579 × 579 × 520mm	24.9kg (最大離陸重量)	—	液剤10L 粒剤10kg
②5	イームズロボティクス株式 会社	軸間1.060mm	—	15.9kg (最大離陸重量)	—	5.0L
②6	株式会社エンルート	1530 × 1340 × 650mm	83 × 715 × 650mm	24.9kg (最大離陸重量)	9.0kg	8.0L
②7	ヤマハ発動機株式会社	2181 × 2181 × 702mm	1799 × 1799 × 573mm	27.0kg	—	10.0L
②8	DJI JAPAN (株)	1471 × 1471 × 482mm (アームを広げた状態、 プロペラなし)	780 × 780 × 482mm (アームを折畳んだ状 態)	23.5kg(標準離陸重量)	—	10kg
③1	(株)A.L.I. Technologies	—	—	—	—	50kg
⑦1	株式会社自律制御システ ム研究所(ACSL)	704 × 704 × 300mm	—	3.15kg	—	—
⑦2	Wingcopter	52 × 178 × 132cm	103 × 87 × 57cm	12kg(Payload含まず)	約6kg	—
⑦3	AeroSense	943 × 943 × 450mm	—	5.5kg(最大離陸重量)	—	2.9kg
⑦4	Wingtra	125 × 68 × 12cm	137 × 67 × 23cm	(本体)18.6kg (ハードケース格納時)	—	—

## 8.2. ヒアリング結果

日 時：令和2年9月3日（木）

対象者：ブルーイノベーション株式会社 事業開発1部 前川氏 物流担当 尾向氏

実施者：日本森林技術協会 大萱、伊東

### ■物流分野でのドローンによる運搬の最新状況について

#### 《物流分野で使用されるドローンの機体、運搬可能量、バッテリーなど》

- ・ SkyDrive 社の重量物運搬ドローン（積載重量 30kg のカーゴドローン）などがある。
- ・ ミカンの出荷に使用する機体は、SkyDrive 社の積載重量 10kg のもの。急傾斜地でドローンを着陸できないため、荷物を降ろす際はカーゴをウインチで降ろす。（全長 1.3m、プロペラ幅 1.7 m）<https://skydrive2020.com/cargo-drone>
- ・ 高標高地（御嶽山の例、1,000~2,000m 級）では空気が薄くなるので揚力も弱くなり、運搬可能量を増やすためにはプロペラを厚くする、などの工夫が必要。
- ・ 一般的には機体そのものを大型にすれば可搬量は増える。大容量の農薬散布ではガソリンエンジンも使用されているが、森林域では火災の危険もあるのでバッテリーが適しているとなると、難しい点もある。

#### 《最新の実証等の状況》

- ・ 離島山間地など、航空法の規制のゆるい場所で実験中。
- ・ 小田原の急傾斜なミカン農園にて、ドローンによるミカン出荷予定
- ・ 岐阜県御嶽山の山小屋へ 30kg を運搬（通常は、5カ所の山小屋へ年3回 20 トンの運搬をヘリで行っている）。ヘリの場合、天候の待機費用が掛かるのでドローンを検討した。歩荷(ボッカ)の減少も影響している。ただし、5箇所(箇所)の山小屋への運搬だけではビジネスとしては成立しない見込み。
- ・ 観光地（キャンプ場）へ BBQ の食材配達
- ・ 災害地への支援物資の運搬
- ・ 建設現場では複数台のドローンで運搬

#### 《今後の実現可能性・実現に向けた機体の課題、制度の課題》

- ・ 人乗りドローン、空飛ぶタクシー（中国）など、技術的には今後かなり運搬できるものが増えてくるだろう。
- ・ トラック、ヘリ等との差別化が課題。ドローンには安さが期待されるが、安ければ利用頻度を上げないとビジネスとして成立しない。
- ・ ドローンは何でもできると思われがちであるが、現状は、風に強い機体（映像ドローン向き）、重量物を運搬できる機体（物流ドローン向き）など、それぞれのドローンに特徴があり、とてもニッチな商品。オールインワンな機体がない。
- ・ 技術よりも法規制がドローンの足かせになっている（2022年に目視外飛行が可能になる？）。
- ・ 航空法の規制の関係で、ドローンを飛ばせる場所＝過疎地域が多く、ビジネスとして採算が取

れるかが課題。過疎地域では、ドローン運搬をすることで話題性、集客目的もある。

- ・ 山小屋への運搬について、通常の運搬のみならず、登山者の荷物（ザック）を先に運ぶなどのサービスを提供することで、ドローンの使用頻度を上げられるか。動画に出演している人は林業に従事しており、林業での活用と山小屋等での活用を両立することも考えられる。
- ・ ヘリとの差別化のアピール。ドローンはヘリに比べ安価、頻度を上げて飛行可能。ヘリの場合、天候待機にも費用が発生する。

#### ■林業分野への技術の応用の可能性について

- ・ 傾斜地へのドローン技術の応用は可能である。
- ・ 荷台に農薬を搭載し、アタッチメントを替えることで農薬散布ドローンとすることも技術的に可能である。農薬散布用ドローンは、広大な面積に散布するため、ガソリン駆動のドローンが使われていることが多いが、山での使用となると、山火事などのリスクがあるため、ガソリン駆動のドローンは避けるなど、機体の選択は必要。
- ・ 苗木を吊り下げて運搬することは飛行する上でかなり不安定ではないか。
- ・ 荷下ろしは自動にこだわらなくてもよいのではないか。荷下ろし地点に人がいた方が飛行の安全性の面からも適している。
- ・ 運搬する“物”は違ってても、物流分野で使用するドローンと同じ機体を使うことができれば、ドローンの使用頻度が上がり、より安価に飛行でき、ドローン運搬が普及するのではないか。
- ・ 日本ではドローン飛行による安全性の担保が最重要である。ドローンでの運搬経験が必要である。林業事業体の負担となるのであれば、ドローン運搬は経験のあるドローンサービス会社に委託することで良いのではないか。一方で、林業事業体が運搬経験を積み、他分野に進出することも想定できる。

#### ■開発されたドローンポートシステムについて

- ・ 通常、運搬時はGPSの2カ所（離着地点）のポイントを取っているが、GPSのみでは着陸の精度は1～2mずれる。
- ・ ドローンポートシステムとは、目印（マーカー）を画像認識し、機体を目印の真ん中に着陸することができ、精度は数cm。・目印（マーカー）を認識するために、機体にカメラを搭載し、認識するためのプログラムが必要。
- ・ 目印（マーカー）はQRコードのようなものを、2m×2mの紙に印刷したもの。
- ・ 山などの急傾斜地では、平らな場所を探して目印（マーカー）を設置するか、または傾斜面に台（足場）を簡易設置し、そこに目印（マーカー）を置くなどで、ドローンポートシステムが使用できる。
- ・ ドローンポートの位置座標はGPSで取得し、登録しておく必要がある。
- ・ 苗木運搬の場合、ドローンポート側では植付担当者（ドローン操縦は出来なくても可）が高精度で自動着陸したドローンから荷下ろしすることで対応できる。
- ・ 離陸地点と着地地点（ドローンポートシステム）間の飛行ルート設計のため、目視で確認し（見れない時は空撮ドローンで見る等する）、電線や障害物を避けた安全圏を飛行する（将来はセンサを搭載し、障害物をよけて飛行することも可能）。

---

日 時：令和2年9月8日（火）10:00～12:10

対象者：株式会社中川 森林施業プランナー 中川雅也氏

実施者：日本森林技術協会 中村俊彦、植松優介

### ▶ ドローン所有についての概要

機種名 いたきそ（UKN5）：株式会社中川と上道キカイ株式会社との共同開発

導入を決めた経緯等：平成29（2017）年に社員に腰痛が発生し、平成30（2018）年頃からドローンによる苗木・資材運搬を念頭において、上道キカイ株式会社と開発を始めた。

ドローン操縦技術者人数：11人（社員21人中）（マービック等のドローンを個人的に持っている者も5人いる。）

### ▶ 所有機体の特徴

- ・箱バンの後ろに一式（機体、バッテリー、発電機、ステーション等）を収納できる大きさ
- ・当時は4枚羽が主流だったが、素人が飛ばすものとして安定した飛行を実現するため、6枚羽としている（8枚羽だと機体が大きくなり収納できなくなってしまう）。
- ・馬力としては27kgまで運搬可能だが、機体+バッテリーで10kgのため、航空法の25kgに従い、現実的には15kgまで運搬可能。初期設定で15kgを最大運搬量としてしまうと、常に100%の力を発揮しなければならず、バッテリーの消耗も激しくなるため、余裕を持たせた馬力としてある。
- ・ワイヤーは長さ5mと6mを用意している。傾斜30°未満は5m、30°以上は6mを使う。
- ・バッテリーはハードケースに入れたまま使用し、万が一落下しても衝撃を吸収し、発火しづらいものになっている
- ・機体は防水加工しているため、小雨なら実行可能。ステーション、発電機は防水ではないため、ビニールをかぶせるなり屋根の下に置くなどして雨を避ける必要がある。
- ・カメラを頼って目視外飛行になってしまうのを避けることもあり、カメラは非搭載。
- ・安定性を高めるため、GPSを5つ搭載している（通常は2つ程度）。

### ▶ ドローンによる苗木等運搬の現状等

#### ① ドローン導入の効果について（時間効率、作業負担の軽減等）

- ・ドローンを使うことで人力によるネット資材（シカ柵等）や苗木運搬の負担がなくなり、労力が軽減され、植栽作業の効率が向上した（植栽効率は約1.2～1.3倍）。
- ・ネット資材や苗木運搬作業の安全性が向上し、腰を痛めるなどの事故が無くなった。
- ・ドローンの操作技術など社員同士が教え合う機会が増え、交流が進んだ。
- ・体力を必要とする作業をドローンに置き換えることで男女間の差がなくなり、女性従業員の雇用にもつながる。
- ・足の怪我等で山に登れない人でも、ドローン操縦による運搬作業に従事できる。

## ②コストについて(購入金額・維持管理費用、業務委託)

- ・購入額は開発費込みで1,280万円。
- ・維持管理費用は、年間約200万円(保険100万円、メンテナンス30万円、その他修繕費等)。
- ・業務委託した場合、1日で約30万円と聞いている。つまり、年7回(7日)業務委託した場合と、維持管理費用が同等程度となる。

## ③苗木の運搬体制について(準備に要する時間、苗木運搬の方法等)

- ・前日に、バッテリーの充電およびその他必要な持ち物等のチェックを行う。
- ・和歌山は急峻な地形が多く、ドローン出発地点から着陸地点が見えないことが多いため、荷掛地点と荷下ろし地点に操縦者を置く2オペレーションシステムが採用されている。
- ・現地での人員は通常5人で、最低でも4人。デジタル無線によりやりとりをしながら運搬を行う。
  - ① 出発地点(荷掛地点)にオペレーター1人
  - ② 荷下ろし地点にオペレーター1人
  - ③ 出発地点(荷掛地点)に荷掛をする補助員1人
  - ④ 荷下ろし地点に荷下ろしをする補助員1人
  - ⑤ 出発地点(荷掛地点)にバッテリー充電、交換等を行う補助員1人
- ・運搬当日は苗木を仮植し、翌日に人員を多く投入して一気に植えるのが基本。
- ・バッテリーは15分で約50%の消費。高速充電30分ほどで100%になる。バッテリーは5つを順繰り使用している。
- ・ドローンの運用は月に3~4回で、年間で約30回程度。植栽時期の11月~3月は苗木を運搬するが、それ以外の時期はネット資材を運搬している。
- ・集材は他社が行っている。架線集材を行った場合でも、その架線を使って運搬することは、スケジュール調整が必要になり、また地拵えを行う時間もとれなくなるため、現実には難しい。

### ▶ ドローンの活用の課題

- ・上(空)を見ながら操縦することになるので、太陽に対する目への負担が大きい。今後、目への負担が軽減できるサングラスの開発が必要。
- ・安全な作業に向けた管理体制の構築、人材育成、航空法等コンプライアンスへの対応が今後の課題。
- ・素人でも安全かつ簡単にドローンを安定して飛ばせるということが重要。安心感を持って作業できることが今後の普及に必要。また、各地域にドローンを飛ばせる会社があると状況が一気に変わっていくのではないかと。

### ▶ 今後のドローンの活用の展望について

#### ①今後の購入予定、ドローン所有・操縦のあり方(購入・レンタル・業者委託)

- ・ドローンにより運搬する場所か否かについては、土場(駐車位置)から植栽地までの高度差が50mを越えるかどうかを一つの基準としている。植栽エリア全体をみたときに、土場からの比高50mを基準に、それ以上高い部分の面積が、低い部分の面積を上回っていればドローンによる運搬を行うこととしている。

- ・造林事業を行っている年間約 90 ヘクタールのうち、約 7 割がドローンによる運搬が活きる場所である。
- ・運搬時間に大きく影響するのは、運搬距離よりもオペレーターの操縦技術や現場の状況である。荷掛、荷下ろし地点へスムーズにドローンを誘導できるか、またその時の風速、ドローンの異常な動き等を見極めが重要である。
- ・社員は現在 21 人で、そのうちいたきそを操縦可能な社員は 11 人。班数は 5 班で、1 班 4～5 人。操縦者を増やし、1 班あたり 3 人は飛ばせるようにしたいと考えている。

## ②どのような場面（造林の過程）でドローンによる活躍が期待されるか

- ・石油製品であるネットを用いない方法として、生分解性のヘキサチューブを使用し、そこに種子を混ぜ込んだ泥団子をドローンのセンサを用いて入れることができると考えている。植栽だけでは伐採に対して追い付かない。
- ・大変なのは上下移動で、横移動はそこまで大変ではない。ピンポイント配置については、事前調査費用もかかってきて、そこまで運搬にかけるのかは疑問。
- ・植栽穴については、植栽者自身の経験により適切な植栽箇所を決めるのが重要。自動マーキングをしてしまうとマーキング位置に気をとられ経験に基づいた状況判断に影響する可能性がある。
- ・薬剤散布については、薬剤自体を山に撒きたくない。下刈りの省力化は必要だが、苗木の生育状況を見ながら現場を歩くことも重要。



---

日 時：令和2年9月8日（火）13:30～14:30

対象者：田辺市役所 農林水産部 森林局 山村林業課 林業振興係 係長 森本唯史氏

実施者：日本森林技術協会 中村俊彦、植松優介

#### ○使用ドローンの開発経緯について

- ・UKN1→6まで、新しくなっているというものではなく、タイプが異なる（例：UKN5とUKN6はコンセプトが異なり、UKN6は、UKN5よりも重たいものを運ぶ用に設計されている。ダウンサイジングされているが20kgを運べる）。
- ・UKN1はプロトタイプで平成29（2017）年のシンポジウムで発表している。大型ドローンである。
- ・UKN2は当時の最先端の技術をつぎ込んで作った特大ドローンで、実用的ではない部分がある。

#### ○造林業でのドローンの活用状況等について

- ・どういう状態のときにドローンによる運搬が活きるのか、今後、人員配置、資材梱包等の最適化・マニュアル化、現場条件の検証という作業が必要と考える。
- ・植栽エリアについて、平均縦何m、横何m、ネット何mでどのくらいの面積があれば費用対効果が高くなるか過去に試算した例がある。
- ・新宮の山一木材株式会社でリードロープを運ぶのにドローン（ファントム）を使っている。
- ・西牟婁森林組合が昨年、上道キカイ株式会社からUKN3を購入している。
- ・三重か岐阜にUKNシリーズ（確か3）を販売した例がある。
- ・播種については、大量散布や散布種子の発芽、一様散布のオペレーションの検討が必要。

---

日 時：令和2年9月8日（火）15:30～16:30

対象者：和歌山県西牟婁振興局 農林水産振興部 林務課 林業振興グループ

主査 山本将功、主任 津井哲司

実施者：日本森林技術協会 中村俊彦、植松優介

### ○和歌山県における造林業でのドローンの運用状況や植栽苗等について

- ・中辺路町森林組合が来年度、運搬用ドローンを導入したいとの考えがある。
- ・ドローンによる運搬の課題はバッテリー交換。発電しながら充電しながら交換しながら運用しているので、ここがもう少し技術進歩すればさらに効率的になると考える。
- ・年間どれほどの造林面積があればドローン購入して得になるのか、損益分岐点のようなものがほしい。
- ・和歌山県では高密度（4,000本/ha）植栽しているところもまだあり、裸苗が主流で多く流通している。
- ・一般的に表土が薄い箇所はコンテナ苗が裸苗に比べて有利と言われているが、和歌山の急峻で雨が多く、礫でガラガラな箇所ではコンテナ苗より裸苗の方が活着しやすいという話もある。

---

日 時：令和2年9月11日（金）（電話）

対象者：株式会社マゼックス 営業部長 宅野裕一氏

実施者：日本森林技術協会 植松優介

▶ ドローン販売についての現状

・現在、販売店は全国で7箇所。販売実績は7台（1オペ3台、2オペ4台）

1. 北海道：株式会社ゼンリン（販売3台）
2. 千葉県：株式会社山進（販売2台）
3. 滋賀県：東洋エンジニア株式会社
4. 京都府：株式会社シープロアイ
5. 奈良県：円陣株式会社
6. 広島県：株式会社 Co-de
7. 高知県：株式会社エレパ（販売2台）

・希望小売価格（機体のみ）

1オペ：268万円（税抜）

2オペ：168万円（税抜）

---

日 時：令和2年10月26日（月）

対象者：ヤマハ発動機株式会社 先進技術本部 NV 事業統括部 事業開発部 加藤薫氏  
同 森林計測グループ 矢嶋準氏

ソリューション事業本部 ロボティクス事業部 UMS 統括部 企画推進部  
事業企画担当（兼）NV 事業統括部NV 事業開発部 坂本修氏

実施者：日本森林技術協会 大萱直花、中村俊彦、伊東裕美、植松優介

#### ▶ 山林における薬剤散布について（宮崎県における散布の事例）

- ・宮崎大学の試験林で一昨年、ヘリによる除草剤散布を行った。
- ・使用した薬剤はザイトロンフレノック。ドローン（ヘリ）は農業で使われている機体「FAZER」で、飛行方法はマニュアル飛行。
- ・川下側における川の水質調査で、薬剤の成分は検出されなかったが、山林への薬剤散布には懸念の声が多く、一筋縄ではいかなかった。

#### ▶ 山林における薬剤散布について（課題等）

- ・自動飛行のためには、事前に現地へ行ってレーザ計測を行い、傾斜を考慮した自動飛行プログラムを組むなどの準備が必要であり、事前計画に多大な労力がかかるため、マニュアル飛行と事前計画がほとんど不要な簡易自動飛行の組み合わせによる散布が現実的であると考えている。
- ・ザイトロンフレノックはクズやササに効くとされているが、朝露で葉が濡れているときに撒くと効果が出るものであり、散布時間は朝方の1～2時間と限られる。
- ・山林での薬剤散布の課題は、ハード面（ドローン技術）よりも薬剤側に問題があると考えており、山で散布が認可されている除草剤の種類がそもそも少ない。
- ・ザイトロンフレノックは粒剤とされているが粉に近く、ドリフト（飛散）しやすく、風があると使用できない。また、使用量が多い（1ha 当たり約300kgを要する）ことが課題。少量で効果があり、液状、大粒状等、ドリフトしにくい除草剤が今後出てくることが望まれる。
- ・粒が粗い薬剤等、色々な除草剤を試してみるのも試験のやり方として一つある。
- ・山林での薬剤散布は、ベトナム戦時における枯葉剤のイメージが強く、心配の声が多くあがる。このため、基本的に薬剤は使わず、人力で草刈り可能な場所は人力で行い、斜面や人が入れない場所は局所的にドローンによる除草剤散布を行うという形であれば可能性はあるかもしれない。
- ・ドローンによる山林での薬剤散布はほとんどないが、（関連会社の）スカイテックが行ったと聞いている。
- ・画像解析をしてピンポイントで散布等することについては、研究レベルでは行っているが、実務レベルでは行っていない。慣れてくれば操縦者が実際にタブレット画面でカメラ画像を見ながら手動で行った方が、早くて楽である。
- ・現場の方がすぐに取り入れられるものでないと普及は難しい。
- ・まずは「山林で薬剤散布できる環境づくり」が普及の第一歩である。

### ▶ 苗木等運搬について

- ・ヘリでの運搬は、1日で約1トン運ぶことができるが、おおよそ1日当たり100万円＋交通費その他の経費が掛かる。
- ・年間の予定で発注されることがない。単発で依頼が来た場合、単発で行う見積もりしか出せないのが現状。運搬だけでなく、他の用途の提案もあると良い。
- ・今後、複数事業者も含めた年間の植栽計画に基づきドローンでの苗木運搬の年間受注ができると見積も安くできる可能性がある。

### ▶ ドローンと無人ヘリの違いについて

- ・無人ヘリはエンジン付きで広い範囲（30～50ha程度）を短い時間で散布できるが、価格が高いため、採算性に課題がある。一方、ドローンは大規模散布に適さない（数ha程度）が、小回りが利いて少しずつでも散布できる。このため、数haレベルの山林での散布は、無人ヘリよりもドローンの方がより活躍できると考えられる。
- ・飛ばすことについて、無人ヘリもドローンも技術的な差はほとんどない。ただし、無人ヘリは機体の価格が高いため、リスクの影響度は大きくなる。
- ・価格の点から無人ヘリは個人で持つというような農機ではない。
- ・火災が起きるとするならば、無人ヘリは機体内部の電源線の切傷によるショートで、ドローンはリチウム電池の破損による発火。どちらがより危険というものはない。

### ▶ その他

- ・「ドローンがあるところのように造林の仕事が変わる」というようなパッケージを具体的に示していくことが、ドローンの普及、省力化のために大切である。

---

日 時：令和2年10月29日（木）

対象者：株式会社オプティム ビジネス統括本部 農業事業部 石崎正宏氏

実施者：日本森林技術協会 宮下洋平、大萱直花、中村俊彦、植松優介、福沢朋子

#### ▶ ピンポイント薬剤散布について

- ・オプティムではピンポイントで農薬、除草剤、肥料を散布する技術を実用化している。
- ・マルチロータードローンによるピンポイント農薬散布は、1. ドローンが圃場を撮影し、病害虫発生地点を判定、2. 対象が検出された地点へドローンが移動、3. ピンポイントで農薬を散布、という流れで実施している。  
(<https://www.optim.co.jp/agriculture/smartagrifood/technology/>)

#### ▶ AI 画像解析で留意すべき点について

- ・AIによる画像解析に用いる教師データは、作物や品種ごとに蓄積している。
- ・林業イノベーションに向けては教師データの抽出、蓄積が必要で、その後の利用を考えると撮り方を統一することが大切である。
- ・解析技術の構築（AIによる画像解析の高度化）と社会実装（運用）を両立させる必要がある。例えば高度1mで撮影して解像度が上がり、検知能力が高くなるとしても、それを運用に乗せたときに、広い面積を飛ばすと高度1mでは撮影だけでなく解析にも時間がかかってしまうため、現実的ではない。
- ・オプティムでは、エンドユーザーがAIを使用できる「AIクリエイター」というサービスを提供している。（<https://www.optim.cloud/services/ai-creator/>）

#### ▶ システム運用、クラウド等について

- ・造林補助金等の電子申請化については、プラットフォームを作り、そこからサブシステムを作っていく流れが考えられる。但し、全体のシステムを考えた上で、最後には最終決裁者や中間決裁者がそのシステムでOKを出さないと意味をなさなくなる。
- ・造林申請のシステムをクラウドで行おうとしたときに課題となるのがベンダーロックインをどう解除するかである。ベンダーロックインにならないよう、オープンプラットフォームにする必要がある。また、作成したシステムの運用・改修がポイントになるだろう。



### ▶ 播種について

- ・ オプティムの HP に掲載しているように、ドローンによる水田への播種は技術が進み、作付に成功している。しかし、林地では地面が固く、水田のように種を打ち込めない点に課題がある。  
(<https://www.optim.co.jp/agriculture/rd/drone-seeding-and-AI-analysis/>)
- ・ 対策としては、ゲルで包んで地面に落とす等の対応が考えられる。
- ・ ドローン自体を開発するだけでなく、例えば、コンテナ苗を直接地面に植栽できるよう、地面に刺さるような形状の苗の入れ物（生分解性）を開発することで、播種や植栽におけるドローンの利活用の可能性が広がることも考えられる。

### ▶ その他

- ・ 技術的にはマルチロータードローンでできることは確実に増えている。
- ・ 林業用にドローンを開発するならば、苗木の運搬にしか使えないドローンではなく、年間通じて使えるようなドローンにしないと稼働率も悪く、費用対効果は見込めない。
- ・ ドローンの所有形態としては、リースも一つある。
- ・ 一例ではあるが、佐賀県白石町において営農計画書により申請があった作物の現地における作付け確認を目視で行った場合、白石町全域の水田の確認に約 118 時間程度要していた。しかし、固定翼ドローンを用いて上空から撮影することで、現地に出向くことなく実態確認が行えたため、現地確認に係る作業を 5 時間程度に削減できた。  
(<https://www.optim.co.jp/newsdetail/20200609-pressrelease-01>)

---

日 時：令和2年11月6日（金）14:00～15:00、11月10日（火）15:00～15:30

対象者：DroneWorkSystem 株式会社 伊藤朝夫

実施者：日本森林技術協会 藤掛幹夫（10日のみ）、中村俊彦、植松優介（6日のみ）

### ▶ ドローンの機種名

機種名 : EAGLE15/24

ドローン操縦技術者人数：4人（社員15人中）

### ▶ 所有機体の特徴

- ・EAGLE15は運搬能力的には15kgまで運べるが、飛行安定性等を考慮し、積載量は10kgまでとしている。一方、EAGLE24の積載量は運搬能力的には24kgまで運べるが、積載量は20kgまでとしている。
- ・風が吹いている時でも比較的安定した飛行ができるのが特徴である。多くの他社と異なりフライトコントローラから独自開発し、機体が風向・風力等を判断できるようにし、安定させている。
- ・また、通常のドローンは積載物が下でゆらゆら揺れると、そのまま揺れが続くが本機については揺れが治まるような動きを取るため、揺れが続かない。
- ・元々農業にも林業にも使える機体として開発した。ロープとフックを付ければ、林業（苗木等運搬）用になり、タンクを付ければ、農業（薬剤散布）用になる。
- ・苗木運搬等には2オペレーションの機体を使用するのが基本である。
- ・バッテリーは1個10万円。30分程度で充電できるが、今回の現場の場合2往復（1往復3～4分）で1回交換するため、1日飛ばす場合、10台以上はバッテリーを用意する。

### ▶ その他

- ・1オペと2オペを比較すると1オペは1人で全て行うので心理的負担は少ないかもしれない。
- ・離陸側と山側のオペレーターのコントローラーの設定を合わせないと操作交換がうまくできない。
- ・業務用ドローンの通常の保険に加入しており、独自開発しているからといって保険が適用されないということはない。
- ・これまでの機体では、ドローンの進行方向と向きを合わせるため、苗木運搬地点からドローン発着地点への復路飛行に移る際にドローンの向きを180度回転させる必要があったが、この作業のためにバッテリーを多く消費するため、向きを変えずにそのまま復路飛行ができるようにしている。
- ・機体の操縦には熟練した技術が必要である。

---

日 時：令和2年11月26日（木）

対象者：森林総合研究所北海道支所 北方林管理研究グループ 古家 直行 グループ長

実施者：日本森林技術協会 中村俊彦、瀬戸智大

### ▶ ドローンを活用した造林プランニングおよび立木位置管理システムについて

- ・データ取得後の画像等処理について、現在開発中の造林プランニングシステムとはどのようなものか

⇒既存のLiDARによる地形データ、もしくは事前にドローンで植栽箇所を飛行・撮影した後、地形（DSM）やオルソ画像データをソフトに読み込ませ、斜面の傾斜方向から植栽列・植栽位置をプランニングするシステム。（この時点では石や枝条・伐根等の障害物を避けた選定まではしない。）植栽列については基本的な考え方として、今後の更なる機械導入を考慮し、機械の安全走行に配慮した最大斜面傾斜方向（縦方向）に向けて決定する（なお、傾斜地における作業員の負担軽減のために等高線方向に配置することも考慮予定である。）。

- ・開発中の立木位置管理システムの中で「植栽位置まで作業員をスムーズに誘導するデバイス」とはどのようなものか。現場でiPadのような画面を見ながら確認していくようなものか、植栽位置に近づいたら音になるシステムのようなものか。「将来的に植栽位置情報を下刈り時にも利用」とあるが、どのようなものを想定しているのか。

⇒造林プランニングシステムで選定した植栽位置までの距離と方位がわかるデバイス（位置の画像は出ない）を持たせて、デバイスを見ながら植栽者が植栽位置に移動し、ポイントから距離50cm以内（この範囲は20cmなど設定変更可能）に入ると記録ボタンが表示され、植栽位置を記録（RTK-GNSS方式による高精度な位置記録）できるようになっている。この時に植栽者が石や伐根等があり、植栽予定位置に植栽が困難と判断した場合には、それを避けた植栽可能な位置に植栽地点をずらし、ずらした位置で記録を行い、植栽位置を確定する。デバイスは軽く植栽者から負担になるとの意見はでていない。

下刈りについては、過去に自動で植栽木の周囲を周回し、雑草木の刈払いを行う自動下刈機を開発し、宮崎県で実証している。自動下刈機は作業中心から半径15cmを刈残す仕様になっている。RTK-GNSSを用いて期待できる自動下刈機の誘導の位置精度は平均4.5cm、最大12.3cmであったため、測定誤差による誤伐の恐れは少ない状況である。

⇒現場に基準局を設定し、移動局とのRTK-GNSSを使用する際には、最初に現場に設定する基準局自身の位置を正確に決定する必要があるが、その位置決めの方法としては、1.電波の届かない場所であれば事前にスタティック測量により時間をかけて基準局の位置を求める方法か、2.電波の届くところであれば補正データを受信し、短時間で基準局の位置を設定する方法がある。

⇒このシステムを活用することで植栽時の事前の位置決め作業を省略できることから植栽時のコストを下げることができる試算で開発を進めており、作業時間を計測し、検証を行っている段階である。

- ・現在開発中のシステムは無償で使えるようになる予定か、または販売となる予定か

⇒植栽計画立案のソフトウェアについては、システムのメンテナンスも考慮し、1事業体ごとに1

ライセンスを購入してもらおう形を考えている。植栽者を誘導するナビゲーションシステムについては、基準局と誘導装置のセットで開発費も含めて、20万円程度などが想定される（まだ具体的な価格設定の段階ではない）。将来的には、植栽位置へのナビ(表示・記録)や位置情報管理については、スマホアプリのようなものができるとういと考えている。

・来年度の本事業で使用させていただくことは可能か（そこまで技術的に確立できそうか）

⇒基本的に今年度中にシステムを開発するので技術的にはできると思うが、事業の中で使う場合には要相談。システム自体は素人でも使うことができるようになっている。

・実際に開発中のものを使おうとしたとき、事前準備に必要なことは何か（飛行プログラムの作成等）、現地の空撮データから取得する情報は何か（オルソ画像、DSM等、どのようなデータを取得すればよいか）

・使用するドローンの機種について（オルソ画像、DSM、3D点群が作成できるものであればなんでも良いか？LiDAR等を搭載した機体が必要か？森林総合研究所様、フォテック様では実際にどの機種を使用しているか）

⇒植栽位置への直接的なナビも想定しているため、絶対位置精度を持つLiDARによるデータもしくはPhantom4RTK等の測量用ドローンによる撮影データが必要。また、測量用ドローン以外の機種を用いるのであればGCPの設置により絶対位置精度を持たせることが必要である。直接的な誘導を必要としない、植栽計画の立案については、最大限必要なのは地形データだけなので、5mDEMで代用することも可能とする予定である。

⇒森林総合研究所ではPhantom4RTKとInspire2を使用している。オルソ化はMetashapeかPix4Dが良いと思う。総研ではMetashapeを使用。

・上記を取得するにあたっての留意点（飛行高度、画質、写真の角度等）

⇒飛行高度は50m～70mで斜面に沿って飛行させている、1.5～2cm/pix位の解像度になるよう撮影している。この設定であれば、1フライトで8ha位を撮影できる。撮影時のカメラの角度は真下（90°）を向けている。

・本技術開発では、どれくらいまでの傾斜を想定しているか、また、林道から植栽現場まではどれくらいの距離を想定しているか

⇒植栽プランニングの基本的なアルゴリズムについては、傾斜による制限などはないが、例えば、傾斜が15度以上となってくると、最大傾斜方向に機械がのぼっていき作業することも困難となると思われるため、機械導入というコンセプトとはズレが生じる。現在はデータをスムーズに収集するという観点から、条件のよいところ（林道から近く、傾斜は最大15°くらい）で開発試験を行っている。林野庁の事業で試験的に実証を行う場合でも、GCPの設置や基準局の設置などの負担を軽減するために、まずは、林道から植栽現場までの距離が近く、条件の良い場所で始めるのが良いだろう。

・立木位置管理システムの植栽位置はどの程度指定するのか（ピンポイントで指定しまうのか、1mくらいの余裕を持たせるのか、もっと大きい範囲で指定するのか）

⇒ピンポイントで指定する。(植栽者が造林プランニングで選定した植栽位置 50cm の範囲内において植栽可能な場所を植栽者が rtkGPS でピンポイント記録、前述参照)

## ▶ その他

・本技術の開発に至った経緯 (現場からの要望があったかどうか)

⇒林業用の新しい機械の開発を考えている同僚がおり、その人と一緒に植栽の段階から何か効率的効果的にできないかと考えたことがきっかけである。重機を林地でどう動かし、どう使うかから始まり、植栽者の効率的な誘導方法に発展した。時間的にも費用的にも低コスト化される。

・ドローンによる現場の植栽位置へのマーキングが本事業での検討事項の 1 つとなっているが、どうか (必要性、実現しやすさ、留意点等)

⇒既にドローンによるマーキングを実施しており、地上 2m 位で飛行させ、ノズルでピンク色の液体を噴出させる試験を行っているため、技術的に可能である。(以前の検証では機体の位置制御の精度が低く、正確な位置へのマーキングが難しかった。) 風による飛行影響と噴出物の飛散が課題と思われるが、飛散について低空飛行およびノズル噴出により制御できている。当時は自動飛行により飛行させたが、機体の位置制御の精度が低かったため、飛行高度が低く地面にすって墜落させたこともあった。

⇒AI により切株を判読するが、AI への学習データとして事前に千から万のオーダーでの学習データを読み込む必要があるだろう。

・苗木のピンポイント植栽について

⇒マーキングドローンや植付機、下刈機などの開発事業を実施していた 2014 年頃に、海外におけるドローンの活用のコンペにおいて、ドバイで乾燥地にドローンで苗木を打ち込むという発表を見たことがある。

・薬剤散布について

⇒事前にデータ収集を行っての AI による植生判読は可能であると考えており、実現可能性はあるように感じる。一方でリアルタイムな判読はもう少し技術の進歩を待つ必要があるようにも感じる。

・播種、吹付について

⇒本州以南では雑草や様々な種類の樹木が繁茂し、目的とした播種した樹種が育たない可能性が高いと思うが、北海道では普通の天然更新でカンバ類等の有用樹種が発芽し、生育している。このため、ドローンによる播種も可能性としてあり、北海道では、人工植栽によらず地がき(ササなどの根系をはぎとる作業)などの天然更新補助作業により造林の低コスト化を実現しようとする場合には、種子の豊凶の影響を軽減するために、播種により計画的に有用樹種を育林することも今後のオプションのひとつと考えられる。

- ・ドローンの運用管理について

⇒ドローンで撮影する部分は林業事業者でできると思うが、データを分析して造林の効率化に活用するには、林業事業者の中で行うのは厳しいかもしれない。（商業ベースではすでに運用されているが）クラウド上に撮影データをアップロードすれば分析結果が返ってくるような仕組みができるとよいかもしれない。

- ・今後の展望について

⇒植栽者の誘導から（より過酷で困難な作業である）下刈り作業者の誘導へと発展させたり、機械の誘導や機械作業の自動化へと発展させていければと考えている。



---

日 時：令和2年12月1日（火）

対象者：ブルーイノベーション株式会社 経営戦略室 酒井和也氏、事業開発1部 前川淳氏

実施者：日本森林技術協会 宮下洋平、大萱直花、中村俊彦、福沢朋子

#### ▶ ドローンの運用およびデータ管理に関する既存システムについて

- ・「ドローン専用飛行支援地図サービス SORAPASS」<https://www.sorapass.com/map/>
  - 無料機能
    - ・飛行禁止エリア地図表示機能
    - ・飛行可能施設のご紹介
    - ・操縦者管理
    - ・機体情報管理
    - ・JUIDA 会員動画（JUIDA 会員様限定）
- ・インフラ（鉄塔、橋脚、発電所など）チェックのためにデータをアップロードして管理するシステム。基本仕様を各業界向けにカスタマイズし、利用されている。
- ・「ブルーアースプラットフォーム（BEP）」（開発中）<https://www.blue-i.co.jp/advantage/bep/>
  - 複数のドローン・ロボットを協調・連携させて複雑な業務を達成させるためのソフトウェアプラットフォーム。複数のドローン・ロボットを毎回煩雑なドローン・ロボットの設定や操作をすることなく、ひとつの指示で自動的に業務を達成できることが可能になり、ドローン・ロボットを活用する利用者が、効率の高い業務を遂行する事を目的とする。例えば、BEP では一般的な屋外・屋内地図情報や、活用したい機器の位置情報、倉庫の在庫情報、外部センサ、ドローンに必要な気象情報など、業務に必要な情報を統合し、様々なデバイスをフル活用しながら、業務の実行と正確なモニタリングに必要な環境を提供。

#### ▶ 林業分野での実現性

- ・飛行ログの管理やデータのアップロード、オルソ化、データ管理、電子申請など様々な技術パーツは開発されている。それらを組み合わせ、必要なシステムを開発することは可能である。
- ・造林申請・検査に利用する場合、データ改ざんへの対応として、飛行ログの管理機能も活用できる。
- ・既存の森林クラウドとの連携も考えられる。

---

日 時：令和2年12月4日（金）

対象者：株式会社 AileLinX 事業企画室 室長 後藤良豪氏

実施者：日本森林技術協会 宮下洋平、宗像和規、大萱直花、中村俊彦、南波興之、福沢朋子

## ▶ ドローン開発について

### ・同軸反転型ヘリコプター

上下2枚の羽根が同軸で反対方向に回転する。大規模火災現場での偵察機として、過酷な環境でも安定した飛行を実現する。消防庁消防研究センターが進めてきた『エネルギー・産業基盤災害対応のための消防ロボットの研究開発』の飛行型偵察・監視ロボットを担当し、2019年より千葉県市原市消防局に実証配備された。

回転翼の直径内に全機体が収まる（一般のヘリコプターはテールローターが回転翼からはみ出している）為、機体の空冷効果有り

一般向けの同軸反転型ヘリコプターを開発中。ガソリンエンジンで長時間飛行・高ペイロードを実現。

### ・マルチロータードローンによる橋梁点検

トータルステーションでのドローン位置計測により、GPSのみでは不可能な橋梁下に近接した飛行が可能。2019年より株式会社デンソーが橋梁点検サービス事業を開始。プロペラを可変ピッチにし、ピッチ角と回転数を各翼で独立制御しているため、プロペラが固定ピッチの機体よりも耐風性能が高い。

### ・開発中のシステム

一般的な小型電動マルチコプターと異なるタイプのドローンを開発している。エンジン式の同軸反転方式。同軸反転の為、同クラスのシングルロータータイプよりコンパクトでテールローターが無く安全。、長時間飛行、高ペイロード、高耐風性を実現するものとなっている。

## ▶ 林業分野での実現性

- ・ヘリコプタータイプのガソリンエンジン機の危険性は現在では低い。制御（操作性）も向上している。
- ・エンジン式の無人ヘリは値段がマルチローターより1桁多いが、高性能である。同軸反転型のため機体は同クラスの無人ヘリとしては小さく、バンの荷台に収まる（一般の無人ヘリは軽トラ荷台からテールローターがはみ出す程度）。
- ・農業用の薬剤散布無人ヘリは夏の2カ月程度しか稼働していない。林業分野と連携して年間稼働率を上げれば、農業用ヘリを保有している散布業者も喜ぶと思われる。

---

日 時：令和2年12月11日（金）

対象者：ルーチェサーチ株式会社 渡邊 豊氏

実施者：日本森林技術協会 中村俊彦、南波興之、福沢朋子

#### ▶ 会社概要・業務概要について

- ・2011年発足、もともとは土木の移動体計測を中心として業務を実施。創業当初からドローン計測を実施しており、業界にはドローンから参入したのではない。事業所は東京、広島市、東広島市の三か所。従業員数は19名。専任オペレータ制を設けており、年間100～数千1000フライト飛ばす社員も在籍。コンセプトは「早く作って現場で試す」。
- ・建設コンサル会社（主に土木、自然環境、都市環境系）からの業務をして「調査」を実施している。主な業務の内容は写真測量・レーザ測量・画像解析・橋梁や建物の点検など。林内のレーザ測量業務も実施。
- ・災害分野でも活躍、広島や熊本の災害地にて地形解析を実施。
- ・機体の開発・販売も実施しており、依頼された業務に適した機体を開発している。社内では賄えないものは、他社と共同で開発を実施している。開発した機体にはレーザ専用機体や環境DNA採水用のもの、気象観測用など。機体のメンテナンスサービスも行っている。現在は70分で40キロ飛ばす機体を開発完了して、現場実用段階に入っている。

#### ▶ 林業に関する業務

- ・高密度レーザ測定機器「TOPAZ」を使用。本機器は1秒間に30万発レーザを打つ。データ精度の単位は数cm単位と他機種よりも大まかではあるが、その分、移動しながら計測ができ、更に後処理解析にかかる分数が従来に比べて大幅に短く、現場でリアルタイムに解析することができる。本機器をドローンに搭載、飛行中にレーザで位置を測定することで木を避けながら毎木調査をすることができる。DBH等の誤差は3cm程度。しかし、ドローン自体の機体の問題（サイズ）で、広葉樹林内では難しく、整理された人工林のみフライト可能。
- ・その他、広島県林業センターと共同で上空からのレーザ測量を用いて毎木調査を実施。

#### ▶ 林業用ドローンについて

- ・国内で林業従事者がドローンを活用する場合、林業従事者とドローン業者のどちらがドローンを操縦するかは業務の内容による。例えば、航空写真撮影のためなど、小型のドローンを飛ばす場合は林業従事者が操縦しても問題ない。一方で、苗木運搬用のドローンは大型であるため、安全性の観点からも専門家に操縦してもらうのが望ましい。
- ・ドローンを多目的用途で使用するならば、例えば、農薬散布と樹木の活性度指数計測、航空写真撮影、レーザ計測という組み合わせなら可能。
- ・農薬散布の機体を苗木運搬と併用する機体を開発することは可能。農薬散布用のドローンは噴霧に特化しているため、通常の運搬のシステムよりは性能が落ちるが、その点を許容すれば可能である。アタッチメントと重心位置が苗木運搬用ドローンには重要であるため、その点を考える必要がある。
- ・ピンポイント苗木配置を実施するには、マーキングが必須であるが、そもそもマーキングが難

しい。3次元斜面にマーキングする際、噴霧方式にするにしても距離が近すぎると斜面に機体がぶつかる危険性が高まる。上から落とす方式であると、きちんと目的の場所に落とせるか難しい。苗木の植栽の障害になる石は、地表面に出ているものはレーザ測量で避けることができるが、地下に埋まっているものに対しては難しい。

---

日 時：令和3年1月20日（火）10:30～11:00

対象者：林野庁関東森林管理局茨城森林管理署 主任森林整備官 松崎勝氏、村上周氏

実施者：日本森林技術協会 中村俊彦、福沢朋子

▶ 散布方法等について

- ・ザイトロンフレノック微粒剤を使用。
- ・微粒剤は朝露がないと沈着しないため、早朝に実施。
- ・散布高度は5～6 m程度で、薬剤タンク下部のローラーが回転し、拡散散布する仕組み。

▶ 薬剤散布における環境影響、地元対応等について

- ・薬剤散布前、1ヶ月後、3か月後に水質検査を実施し、テトラピオン、トリクロピル等の成分については、いずれも基準値未満の検出であった。
- ・散布実施場所のある城里町や隣接して常陸大宮市の地元区長に事前説明した。

▶ ドローン散布の効果について

- ・作業効率については、人力よりもずっとよくなり、コストについては、人力よりかかるという試算結果となった。コスト面については1人歩きするとよくないと考えている。

▶ その他

- ・今後は平坦地では人力散布、急傾斜地ではドローン散布等、人力と合わせた形での実施を考えている。

8.3. ドローンを活用した苗木等運搬の実証調査計算表

実証地 NO	① 実証地概要										② ドローン諸元		
	都道府県	所有形態	集材方式	傾斜 0(度)	植栽苗種別	植栽苗樹種	植栽面積	haあたり 植栽本数	総植栽本数	1日あたり 実働時間 (時間/ 日)	機種	メーカー	運搬可能量 (kg)
							ア	イ	ウ	エ			
1	茨城県	国有林	車両系 (フォワーダ)	29	コンテナ苗	ヒノキ・スギ	2.85	2,000	5,700	6.5	M1000	mazex	10.4
2	群馬県	国有林	車両系 (フォワーダ)	35	コンテナ苗 (300cc)	カラマツ	2.5	2,400	6,000	6.5	EAGLE15	DoneWorkSystem	15
3	群馬県	国有林	車両系 (フォワーダ)	35	コンテナ苗 (300cc)	カラマツ	2.5	2,400	6,000	6.5	EAGLE24	DoneWorkSystem	24
4	兵庫県	社有林(住林)	架線系	35	コンテナ苗	スギ	1.55	3,000	4,650	6.5	森飛(1ハ <sup>°</sup> )	mazex	8
5	和歌山県	社有林(住林)	架線系	35	コンテナ苗	スギ	5.96	2,000	11,920	6.5	森飛(1ハ <sup>°</sup> )	mazex	8
6	和歌山県	社有林(住林)	架線系	35	コンテナ苗	スギ	5.96	2,000	11,920	6.5	森飛(2ハ <sup>°</sup> )	mazex	10.4
7	和歌山県	社有林(中川)	架線系	25	獣害防止資材	獣害防止資材	1.42	190	270	6.5	いたきそ	上道キカイ	15
8	山口県	国有林	車両系 (グラップル)	38	裸苗	スギ	1.17	2,000	2,340	6.5	いたきそ	上道キカイ	15
9	宮崎県	民有林	民有林	—	コンテナ苗	スギ	4.543	1,651	7,500	6.5	E616	ARRIS	10



実証地 NO	③ ドローン運搬諸元							④ ドローン運搬実証結果									
	運搬業者	ドローン発着水平距離 (m)	ドローン発着比高 (m)	ドローン操縦者 (人)	ドローン補助者 (人)	ドローン総作業人数 (人)	ドローン苗木設置方式	ドローン1往復あたり運搬本数 (本)	ドローン1往復の時間 (分)	ドローン1日あたり運搬本数 (本/日)	ドローン1人あたり運搬本数 <b>(本/人日)</b>	ドローン運搬日数 (日)	ドローン事前準備人数 (人)	ドローン事前準備日数 (日)	ドローン事前準備人工 (人日)	ドローン運搬総人工 (人日)	ドローン運搬3,000本あたり人工 (運搬作業のみ) <b>(人日/3,000本)</b>
				オ	カ	キ=オ+カ		ク	ケ	コ=エx60分/ケxク	<b>サ=コ/キ</b>	シ=ウ/コ	ス	セ	ソ=スxセ	タ=キxシ+ソ	<b>チ=3,000/(ウ/タ)</b>
1	(株)ストーンモリス	513~606	75~85	2	1	3	自動フック	75	6.72	4,353	<b>1,451</b>	1.3	2	1	2	5.9	<b>3.1</b>
2	(株)DoneWorkSystem	210~320	25~50	2	3	5	補助員手動	50	3.66	5,321	<b>1,064</b>	1.1	3	1	3	8.5	<b>4.3</b>
3	(株)DoneWorkSystem	210~320	25~50	2	3	5	補助員手動	100	3.66	10,641	<b>2,128</b>	0.6	3	1	3	6	<b>3.0</b>
4	住友林業(株)	300~460	50~110	1	0	1	自動フック	60	5.84	4,007	<b>4,007</b>	1.2	1	1	1	2.2	<b>1.4</b>
5	円陣(株)	350~540	113~251	1	1	2	自動フック	60	6.02	3,887	<b>1,944</b>	3.1	2	1	2	8.2	<b>2.1</b>
6	東洋エンジニア(株)	350~540	113~251	2	0	2	自動フック	60	5.19	4,509	<b>2,255</b>	2.6	2	1	2	7.2	<b>1.8</b>
7	(株)中川	117~237	54~114	2	3	5	補助員手動	10	2.15	1,814kg	<b>363kg</b>	0.1kg	—	—	—	—	—
8	円陣(株)	100~145	40~60	2	3	5	補助員手動	100	2.20	17,718	<b>3,544</b>	0.1	5	0.4	2	2.5	<b>3.2</b>
9	延岡空撮	440	182	1	2	3	自動フック	55	7.08	3,030	<b>1,010</b>	2.5	3	0.3	0.9	8.4	<b>3.4</b>

実証地 NO	⑤ 人肩運搬の林野庁標準単価						⑥ 人肩運搬実証結果				⑦ クローラ運搬実証結果				⑧ クローラ+人肩運搬実証結果				
	標準 単価 移動 距離 (m)	標準 単価 比高 (m)	標準単価 運搬距離 (m)	標準単価 人工 /1,000本	標準単価1人 日あたり運 搬本数 (本/人日)	標準単価 3,000本あ たり人工 (人日 /3,000本)	人肩1往復 あたり運 搬本数 (本)	人肩1往 復の時間 (分)	人肩1人日 あたり運搬 本数(運搬 作業のみ) (本/人日)	人肩運搬 3,000本あ たり人工 (運搬作業 のみ) (人日/3,000 本)	クローラ1 往復あた り運搬本 数 (本)	クローラ1 往復の時 間 (分)	クロー ラ作業 人数 (人)	クローラ1人 日あたり運 搬本数 (本/人日)	クローラ運 搬3,000本あ たり人工 (運搬作業 のみ) (人日/3,000 本)	クローラ+人 肩で人肩が1 日で往復で きる回数 (本)	クローラ+ 人肩1往復 の時間 (分)	クローラ+人 肩1人日あた り運搬本数 (運搬作業 のみ) (本/人日)	人肩+クロー ラ運搬3,000 本あたり人工 (運搬作業 のみ) (人日/3,000 本)
	ツ	テ	ツ'	ト	ナ=1000/ト	ニ=ト×3	ヌ	ネ	ノ=エ×60 分/ネ×ヌ	ハ=3,000/ ノ	ヒ	フ	ヘ	ホ=エ×60分 /フ×ヒ/ヘ	マ=3,000/ ホ	ミ=(エ×60 分-フ)/ネ	ム=ネ+フ	メ=ヌ×ミ	モ=3,000/ メ
1	840	82	1332	1.07604	929	3.2	—	—	—	—	600	57	1	4,105	0.7	—	—	—	—
2	485	40	725	0.83	1205	2.5	—	—	—	—	1500	17.5	1	33,429	0.1	—	—	—	—
3	485	40	725	0.83	1205	2.5	—	—	—	—	1500	17.5	1	33,429	0.1	—	—	—	—
4	1330	160	2290	1.5263	655	4.6	80	24.77	—	—	1500	72.68	1	—	—	12	97.45	960	3.125
5	660	230	2040	1.4088	710	4.2	80	70	446	6.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	660	230	2040	1.4088	710	4.2	80	70	446	6.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	360	84	864	0.88	1136	2.6	10.0kg	12.55	311.0kg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	250	50	550	0.74	1351	2.2	80	9.8	3,184	0.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	376	65	766	0.83	1205	2.5	80	20	1,560	1.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—

※黄色着色部分は、途中までクローラで運搬した箇所から植栽地までの数値 ※緑色着色部分は植栽地までではなく、クローラでアクセスできる箇所までの数値

実証地 NO	⑧ ドローン運搬時の植栽実証						⑨ 人肩運搬時の植栽実証			⑩ クローラ運搬時の植栽実証	⑩ クローラ+人肩運搬時の植栽実証	⑪ 運搬手法別運搬から植栽までの3,000本あたり人工			
	ドローン運搬時の植栽人工(日報)(人日)	ドローン運搬時の植栽可能本数(本/人日)	ドローン運搬時の植栽3,000本あたり人工(人日/3,000本)	植栽地往復の徒歩時間(往路空荷)(分)	1日あたり植栽時間(分)	1本あたり植栽時間(分/本)	人肩運搬時の1日あたり往復数	人肩運搬時の1日あたり植栽可能本数(本/日)	人肩運搬時の植栽3,000本あたり人工(人日/3,000本)	クローラ運搬時の植栽3,000本あたり人工(人日/3,000本)	クローラ+人肩運搬時の植栽3,000本あたり人工(人日/3,000本)	ドローン運搬から植栽までの3,000本あたり人工(人日/3,000本)	人肩運搬から植栽までの3,000本あたり人工(人日/3,000本)	クローラ運搬から植栽までの3,000本あたり人工(人日/3,000本)	クローラ+人肩運搬から植栽までの3,000本あたり人工(人日/3,000本)
	ヤ	ユ=ウ/ヤ	ヨ=3,000/ユ	ラ	リ=7時間(420分)ーラ	ル=リ/ユ	レ	ロ=人肩1往復運搬80本xレ	ワ=3,000/ロ	ヲ=ヨ(ドローンと同じ)	ン=ワ	イ=チ+ヨ	ろ=ワ	は=マ+ヲ	に=ン
1	25	228	13.2	56	364	1.6	—	—	—	13.2	—	16.3	—	13.9	—
2	19	316	9.5	18	402	1.3	—	—	—	9.5	—	13.8	—	9.6	—
3	19	316	9.5	18	402	1.3	—	—	—	9.5	—	12.5	—	9.6	—
4	20	233	12.9	62	358	1.5	1	80	37.5	—	37.5	14.3	—	—	37.5
5	50.5	236	12.7	70	350	1.5	2	160	18.8	—	—	14.8	18.8	—	—
6	50.5	236	12.7	70	350	1.5	2	160	18.8	—	—	14.5	18.8	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	8	293	10.3	9.8	410.2	1.4	3	240	12.5	—	—	13.5	12.5	—	—
9	25	300	10	17	403	1.3	3	240	12.5	—	—	13.4	12.5	—	—

※桃色着色部分は実測値でなく推定値

※水色着色部分は途中までクローラで運搬

## 8.4. 検討委員会議事概要

### 8.4.1. 第1回検討委員会議事概要

日 時:令和2(2020)年8月31日(月)13:30~16:00

場 所:千代田区六番町7番地 日林協会館 3階 大会議室およびWEB

#### 議題1 事業概要について

- ・造林コストを下げ、再造林率、再造林面積を上げることが事業目的の一つであるが、造林事業は肉体労働が多く、就業者が減っている現状。ドローンによる苗木運搬で低コスト化のみならず、または低コスト化にならずとも、労働負荷の軽減に資すれば大きな意義はある。(林野庁 諏訪室長)
- ・ドローンの機体の稼働率、誰が所有し、どう活用していくかの見通しはあるのか。(岩瀬委員)  
→現状、林業や造林会社が数社、ドローンを所有している程度で、ドローンのオペレーターも10名程度と、トライアル段階。今後普及していく際、事業体ごとに個別に所有することは金銭的に現実的でないと考え。共有して使用していく仕組みづくりなども今後の検討委員会内で議論いただきたい。(林野庁 諏訪室長)
- 和歌山県内の育林事業体、株式会社中川の話によると、再造林面積50ヘクタールほどの事業量が確保できればドローンを導入し費用対効果があると聞いている。(児玉委員)
- ・ドローンによる薬剤散布が取り上げられているが、下刈りの観点では、ドローンによって広い造林地を面的に捉えることで下刈り前の現地情報を得、下刈り回数の削減や下刈りの部分的な削減などの判断材料とすることが可能と考える。(山川委員)
- ・ピンポイント苗木運搬について、ピンポイントとは精度10cm程度のことかと考えるが、その場合、RTK-GNSSを搭載した機体を使う前提か。(杉浦委員)  
→植栽位置の特定については、別事業(北海道)で実施中であり、RTK-GNSSを用いると聞いている。委員の方からの技術面のアドバイスをいただきたい。(事務局)

#### 議題2 ドローンを活用した造林技術の調査・分析について

##### (1) 文献調査・事例調査について

- ・法律ではドローンから物を落下させてはいけないこととなっている。集めたドローンの事例について、オペレーターが目視飛行をしている例が多いのか。GPSによる自動飛行をした事例はあるか。(岩瀬委員)  
→別紙2の飛行方法(自動・手動)で記載している。苗木運搬の自動飛行の技術は進んでいる。機体を下げて苗木を地面に接地させると、フックが自動的に外れる仕組みとなっている。(事務局)
- ・農業分野ではドローンによる農薬散布は実用化されている。オプティム社が、病害箇所を画像で検出し、そこにだけピンポイント防除する技術を開発済である。(杉浦委員)
- ・和歌山県にて、積極的にドローンを活用した苗木の運搬や獣害防止用のネットの運搬に取り組んでいる株式会社中川は、2オペレーターで、なおかつ複数人の補助者を入れて運搬にあたっている。安全と効率化を図るためには、人員を多く配置したほうが良いとのこと。(児玉委員)



- ・ドローンに、どこに落とすかのマップ情報、マップに対して今どこに位置しているのかの自己位置情報、ドローンの高度計と地面との相対高度など、技術的な課題をクリアすれば完全な自律（自動飛行）は可能であるが、現状の2オペレーターで、最初の荷掛側のオペレーターが目視できないところでも、荷下ろし側のオペレーターに切り替えることで操作でき、目視外飛行を避けて飛行できる飛行方法は、一番安全な方法であると考えます。（岩瀬委員）
- ・ドローンによる苗木運搬は効率化していけるだろうが、現場では実際に植える作業がある。植える作業との関係でどれくらいの割合で運搬すべきなのか、全体としての人工作業がどのくらい効果があるのかがポイントだと考える。（岩瀬委員）
- ・ピンポイントで運搬するよりは、ある程度まとまった量を運搬する方が効率的と思う。（山川委員）
- ・森林の場合、傾斜がある。地面へ接触をしない技術はどのようなものがあるか。（寺岡委員）
- リモートセンシング分野では、飛行体から地面に向けてレーザ光やレーザパルスを照射して、反射の時間で距離計測をする技術がある。このデータをドローンに入れてドローンの高度制御に使える技術はあるが、地上との距離が長ければ長いほどセンサの性能が高く求められる。適切なセンサの性能、価格等、組み合わせの調査が必要であるだろう。（岩瀬委員）
- ・農業分野での農薬散布等は特に低い数メートルの高さで飛行している。地面を意識してドローンを飛行させることはないが、地面との距離を測るセンサはついており、代表的なものだと、簡単なカメラが2台搭載されており、ステレオカメラで距離を測る仕組みとなっている。（杉浦委員）
- ・飛行体と地面との距離が近ければ大したセンサをつけなくとも簡単に計測できる。投下する際にドローンを下げていき、最後、距離を測るところのみセンサを使用するなどの機能があればよいかと思った。（杉浦委員）
- ・今後の文献調査やヒアリング調査等で、高さ方向のセンサ制御についても調査いただきたい。（寺岡委員）

## (2) ドローンの活用の課題 作業内容②～⑥の選定について

「②薬剤等散布」、「④植栽穴の自動マーキング」について、自動制御であれば、射出もマーキングも割と同じ技術を使っている。重量も問題。何度も往復する必要があるれば、どこまで終わったかを管理するシステムが必要となってくる。（岩瀬委員）

「②薬剤等散布」

- ・下刈り作業は、経費、現場の肉体労働、労働強度も含めて非常に負担が大きい。低コスト化が進むことを期待している。一方、和歌山県は谷川から簡易水道を使っている地域もまだあり、薬剤の散布について、環境への配慮や周辺住民の同意など、ドローン技術と別の課題がある。（児玉委員）
- ・農薬の散布については資格や講習等、ルール作りも必要となってくるだろう。（寺岡委員）
- ・本事業については、ドローンによる散布が技術的に可能であるのかどうかを調査することが重要である。（寺岡委員）

「③播種・吹付」

- ・林業上、森林に種を播くことが、現実的に意味があるのかが疑問。必要ないと考える。（寺岡委員、山川委員）

#### 「④植栽穴の自動マーキング」

- ・今後技術開発が進み、下刈りの自動化ができるようになると、苗木がきれいに植栽されていることは重要であり、事前にマーキングできていれば植栽が簡単になる。その際、伐根や障害物などを外してマーキングできる技術があれば、現場としてニーズがあるのではないか。

(山川委員)

- ・手動操縦で行う場合、技術的には相当難しいため、自動飛行が必ず必要となってくる。自動飛行でどこまでマーキングできるのかを見極めるべき。(杉浦委員)
- ・伐根があり植えられない場所も検出できるとよい。(寺岡委員)

ドローンの位置精度の技術は、1メートル程度の円の中に収めることは技術的には可能だが、一番の問題は環境である。GPS や RTK が使用できるかどうかや現場の風の状況などが非常に関係してくる。また、ダウンフォースによりドローン自体のプロペラで風を押し下げているものが射出するものに影響を与える可能性があり、ドローン自体だけでなくアタッチメントの工夫など、併せて検討していく必要がある。(岩瀬委員)

#### 「⑥ドローン運用管理システム」

- ・各種アプリケーションの統合は特に重要で、現場で使う場合には、シンプルな機能で一体化したアプリケーションシステムで、かつ安価である必要があると思う。(山川委員)

### 議題3 ドローンを活用した苗木等運搬について

- ・和歌山県でのドローンによる苗木運搬の事例について、ドローンの所有者は林業事業者か、または委託したのか。委託した場合、1回の作業にかかる費用はいくらか。(岩瀬委員)

→ドローン操縦者はドローン販売店であった。費用については未確認。本事業内でドローンによる苗木運搬の実証をする際には、ドローン所有者へ見積書を依頼するため、費用が明らかになる。(事務局)

- ・1オペレーションの際、離着地点の2か所でウェイポイントを取っていると思われるが、指定した着地地点から、ほとんどドローンの位置がずれることなく、荷掛けした苗木を降ろすことができたのか。(岩瀬委員)

→できていた。事前準備で山側にも1人行き、何度か飛行テストをしてしっかりと確認をした上で本番の運搬となった。(事務局)

- ・林業では土地は他の所有者をまたぐことが多く、路網がつけられないと聞くが、民法上、土地と同様、上空も他の所有者の土地へは許可なく入っては行けない。今回の実証で飛行したルートには他の所有者の土地はなかったのか。(岩瀬委員)

→今回の事例は、住友林業の社有林で行った。正確には確認していないが、社有林は広大であるため、他の所有者の土地はなかったと考える。(児玉委員)

→集材時に架線を張った際も、ワイヤーロープが上空を飛んでいるが、その点について林業従事者はあまり気にせず作業をしていると思われる。(寺岡委員)

→現時点ではグレーゾーンな部分、気にせず作業しているのが実態であると思われる。(林野庁)

→今後の調査で、他の土地(上空)への制限や許可等、法令面についても調査していただきたい。(寺岡委員)

- ・ドローンによる苗木運搬は、本来であれば植栽にかかる作業量とのバランスをとることとなるが、和歌山県での事例では苗木の運搬のみがまず先に行われた。全部で12,000本の苗木を



- 運搬したとのことで、1回に約60本を運搬していたということは、約200往復ドローンによる飛行をしたということか。(寺岡委員)
- その通りである。炎天下であったため、ドローン操縦者にとっては炎天下の中、ずっと苗木運搬(ドローン操縦)している状況であった。(事務局)
- ・和歌山県の事例は再造林面積が6ヘクタールであったが、もっと面積が広い場合、苗木運搬日数と植栽にかかる日数が増える。裸苗の運搬の場合は、運んだ日に植栽できない場合、仮植作業が必要となる。ドローンによる効率的な運搬を考えるとまとめて運搬する方がよいが、植栽作業を考えると日数を開けて運搬する方がよい。そういった依頼方法はとれるのか。(山川委員)
- ドローン運搬事業者との相談となろう。(事務局)
- 裸苗の場合、人力運搬で沢山の本数を運べるため、ドローン運搬が必要ではない場合もあるようだ。(事務局)
- 1フライトあたりの時間は、飛行距離にあまり関わらないようである。ドローンによる苗木運搬のスケジューリングは1日で運べる苗木本数とのバランスを考えて設計できそうである。今後の調査でその傾向が出てくれば、成果としてまとめることができるだろう。(寺岡委員)
- 裸苗をドローンで運搬する場合、仮植等の作業を含め、トータルで低コスト化につながるかどうか。また、苗木は運ぶ箇所を少なくし運搬のみをまず行い、その後植栽をする等、それぞれの工程をシンプルにした方がトータルで低コスト化になる場合、運搬しながら植栽も同時に進めていく方が低コスト化になる場合など、総合的に考えてどの方法がより低コスト化につながるのか、検証していく必要がある。(児玉委員)
- ・苗木運搬の実証について、1オペレーションと2オペレーションの2種類の方法で運搬にかかる時間の計測をし、比較している。可能であれば追加で、その2つの方法で、オペレーターの精神的な負担量の比較をしていただきたい。評価方法としてはアンケート調査となるだろう。時間的な効率よりも、作業や精神面で“楽”な方が選ばれることもある。農業分野では、トラクターの自動直進機能という技術があり、精神的ストレスがなくなるという理由でヒットした商品である。(杉浦委員)

#### **(4) 5年間計画について**

- ・今回は1年目の第1回目。
- ・特に異論無し。

## 8.4.2. 第2回検討委員会議事概要

日 時:令和2(2020)年12月22日(火)13:30~16:00

場 所:千代田区六番町7番地 日林協会館 3階 大会議室およびWEB

### (1) ドローンを活用した苗木等運搬の実証結果について

- ・実際に植栽される本数は運搬量以外に植栽人工や植栽スピードにもよる。(岩瀬委員)
  - ・クローラもドローンも両方とも十分運搬できるが、ドローンは最初の準備や、オペレーターが発着点と終着点に両方必要など、オペレートにかかる人数が多いために、生産性が低下しているように見える。(岩瀬委員)
  - ・クローラの1人日あたりの運搬本数がドローンの運搬の4倍~10倍で、クローラの有利さが無視できない。クローラは土場から植栽地までの距離が長くなると、往復時間がかかり運搬本数が減るといった結果が出ていたので、土場と植栽地がかなり離れているとドローンがよいという想定はできないか。(杉浦委員)
- 確かに距離があるとクローラにも影響が出てくる可能性はある。(事務局)
- クローラとドローンの比較時には、現場の作業システムや、ドローンを加えた時の人工削減や、コスト面、レンタル料、といった整理が必要。(事務局)
- ・一貫作業システムか、植栽だけ後でやるかによって作業システムが違ってくると思う。数字を見ていると、車両系が入れない架線集材の場所で、ドローンが活躍するのではないかという印象を受けた。(山川委員)
  - ・作業道の密度の違う場所や、植栽面に作業道から上下移動する場所等、条件で変わる気はするが、ドローンの場合はどこにでも荷下ろしでき、クローラで同じところには下ろしてはいない。そういう点がわかるとよい。(寺岡委員)

### (2) ドローンを活用した造林技術の情報収集結果および新たな造林技術のテーマ選定について

- ・ドローン運用管理システムについて、ドローンの効率的な活用のためには、最低50haぐらいの規模は必要と聞いている。100haぐらいの事業規模で事業を展開するのが効率的だと仮定すれば、本県の場合はドローンが3機か4機あれば、効率的に回していけると思料する。そうしたとき、小さい事業体は独自でドローンを導入するのではなく、ドローンを保有している事業体に、例えば請負で出すというのが現実的と考える。今後、どういう条件で、どのぐらいの価格の請負が適正なのかを整理していくとよい。(児玉委員)
- ・ドローンオペレーターがオペレートするだけの立場でやっていると、非常にもったいない。自分たちで操作して、必要なところに持って行き、それで植えてまた足らなくなったら持ってきて、というのが普通だろう。また、同じ場所での反復作業があれば、ドローンに覚え込ませる必要がある。レコードが残っていけば、次に植栽以外の作業でも物を運びたいときにも活用でき、いろいろな事業体も使用できるのではないか。(岩瀬委員)
- ・小型で安定して飛行できるものに関しては、自動飛行がかなり現実的になってきている。産業用レベルの普及は、安全性が担保できていないので、まだだが、そんなに遠くない。林業の世界にも導入されていくのでは。(岩瀬委員)
- ・経路が予め決められていて、そこを自動飛行するというのはできている。一方、地形をリア

ルタイムに読み取り、植栽すべき場所をその都度判断して、マーキングまで全てを自動でやるとなると、要素技術はできると思うが、組み合わせて産業レベルまで使えるものにするには、まだ難しい気がする。(杉浦委員)

- 自己位置推定については、LiDAR というセンサで3次元の点群データを取り、地図化を行い、同時に自分の自己位置を推定する、SLAM という技術が適用対象と理解している。地図を既にデータとして持っていれば、その中で自分がどこにいるかを認識できるという技術にはなっているため、次のステップとして飛びながら自分が地図を作り、どこに飛んでいるかというのを自己認識していくという段階と思う。また、LiDAR のセンサが軽量化し、たくさんレーザーが打てるので、瞬時に全体をスキャンできる能力が上がっている。そうしたセンサがドローンに載せられるようになってきている。(岩瀬委員)
  - 私も自己位置推定についてはSLAM 以外ないと思う。LiDAR というレーザスキャナを使うのが一番よい。ほかにも画像を使ったSLAM もあって、画像から周辺の3次元環境をリアルタイムで復元し、その中で自己位置を判断するものもある。レーザか画像かについて、自動運転の世界だと、LiDAR のほうが現実的と思う。農業機械だと、トラクターにもGPS がつき、RTK-GNSS を使う自動直進走行という機能はもう販売されているが、防風林近くに行くと、GPS がフィックスせず、かなり不安定になる。木が近くにあるときGPS は頼れなくなるので、SLAM のような技術を補完的に使うのが一つ方法だと思う。(杉浦委員)
  - 今回5カ年の事業の中で、運用システムをつくる、開発するということまでやるのか、情報収集に留めるのかというところが、前回の検討会でよく分からなかったので教えてほしい。(山川委員)
- 可能であればハード的なものも開発できればいい。ただ、どこかと連携していく必要がある。そこまでできなければ、今年は現状調査プラス今後の方向性、課題整理になると思うが、何か実用的なものができればいい。(林野庁 諏訪室長)
- 苗木の運搬や資材の運搬だけでなく、いろいろな活用方法をこの運用管理システムの部分で総合的に集めることで、全体のB/C がよくなるようなことが確立できればいいと非常に期待している。(児玉委員)
  - 来年度以降取り組むべき課題は、苗木の運搬、植栽穴の自動マーキング、播種・吹付、ドローン運用管理システムについて、とする。(寺岡委員)

### (3) 事例集 (パンフレット) の素案について

- パンフレットには、始めに伐採での出しの情報、架線なのか作業道なのかというところがあると、状況が分かってくるのではないかと。(事務局 中村松)
- QR コードをつけて、映像を出すことは可能か。ドローンのスピードはすごく速く、飛んでいくスピード感を感じると、すごく実感してもらえる気がする。スマートフォンでパンフレットをかざしたときに、映像が出てくるようなことも考えてもらえれば、いいものができるのではないかと。(寺岡委員)
- 今回この長所・短所を見ると、機種が5種類なので、そういう意味ではこの5つの事例をできれば載せてもらえるとよい。(林野庁 諏訪室長)

#### (4) その他

- ・歩掛調査票内容については、しっかりした取組事例がある事業体に、来年度ぐらいに整備課から個別に調査をお願いし、ブラッシュアップしていきたい。標準歩掛を作るための工程調査は、別途正式に委託事業を出して行っている。ドローンの工程の実施については、令和4年度以降に、来年度の調査状況を見ながら検討していく。事業体だけではなく、ドローン運搬を行っている事業者についても、調査をお願いできればと考えている。(林野庁 海老沼係長)
- ・歩掛調査票にオペレーターの熟練度みたいなものをちょっと記録しておかれたほうが、結果が変わってくると思う。(岩瀬委員)
- ・1つの造林地の中で、荷掛するところは同じだと思うが、造林地の何カ所に置いたかによって、多分多少工程が変わってくる。将来的な自動飛行を考えると、ゴールを何カ所置くのかが結構重要ではないかと思う。(山川委員)
- ・マゼックスの森飛は、自動飛行が可能だったと思う。工程が変わり得る要素がもしあれば、付け加えられるとよいと感じた。(林野庁 中村課長補佐)
- ・ドローンのオペレーターの人材育成にどの程度かかったかも、調査の項目にあってもよい。可能であればドローンの購入価格、イニシャルコストみたいなところも情報としてあれば、非常にありがたい。(児玉委員)

### 8.4.3. 第3回検討委員会議事概要

日 時:令和3(2021)年2月17日(水)10:00~12:30

場 所:千代田区六番町7番地 日林協会館 3階 大会議室およびWEB

#### (1) ドローンを活用した苗木等運搬の実証結果について

- ・荷掛作業について、「補助員にドローンを近づけ、ホバリングさせている間に補助員が苗木をフックに掛ける」という記述が気になる。着陸させた状態でフックをかけた方が安全でよい。(杉浦委員)

→第三者が真下に入るのは航空法上不可であるが、関係者であればドローンを飛行している真下に入っても問題ないという回答がある。ホバリングさせている間に付け替えるのは危険なのではという意見もあるので、検討の余地はある。(事務局)

- ・各現場で安全性に配慮しながら作業していると思うので、それらのノウハウについても内容に盛り込むことは可能か。(林野庁 海老沼係長)

→留意点は多いので、それらノウハウは盛り込んでいきたい。(事務局)

- ・労力や労災リスクの低減効果、男女雇用機会の均等については付加価値として非常に大きいものと思うので、この事業でぜひアピールしてもらおうとよい。(杉浦委員)

- ・ホバリングしているドローンの安全確保の面では、ある程度ワイヤーの長さを確保することが必要と聞いている。ワイヤーの長さが長過ぎると風で揺れて作業がしにくいため、安全も作業支援も確保できる5mか6mぐらいの長さとのことである。(児玉委員)

- ・苗木運搬のドローンはほかの使い方に使い回せるようなものなのか。写真測量や架線のリードロープ運搬に使えれば稼働率が上がるのではないか。(山川委員)

→複数事業体など、中山間地のその他の産業と組み合わせた年間稼働率の確保ということも想定して検討していきたいと思っている。(事務局)

- ・ドローンの購入費や維持費、操作体制といったところも関係してくることで、林業でもシカ柵の資材運搬というのはかなりニーズがあるのではないか。(寺岡委員)

- ・苗木を運ぶ時期は、年間を通して時期は決まっているのか。農薬散布の時期と重なると流用は難しいのでは。(杉浦委員)

- ・裸苗でなく新しいタイプのコンテナ苗を使うのであれば、造林の植栽時期というのはいろいろな季節にできる。(事務局 中村松)

#### (2) ドローンを活用した造林技術の情報収集結果および新たな造林技術のテーマ選定について

- ・共有すべきドローンデータというのはどういったものを考えられているか。(杉浦委員)

→ドローンで撮影したオルソ画像を使って造林検査まで行おうという取組も同じ整備課で進めている。森林計画の分野で森林クラウドという都道府県と市町村や事業体までデータを共有するというシステムがあるので、そこに造林補助金申請のオルソ画像を共有していくことを考え、その実証をしていきたいと考えている。(事務局)

- ・環境と作業実績を記録していけば、どの環境であればドローンが活きるのか、或いはクローラのほうがよいのかが明確になると思う。オルソ画像の撮影は、どういった環境でドローンを飛ばしたというのもわかり、非常によいと思う。農業分野では畑の画像を撮り、成育過程

を記録して、データベースとして管理していくという取組を昨年から始めたところ。(杉浦委員)

- ・ドローンデータに関して、地形データも共有できる形になるとよい。自動飛行になると地形上のDTM情報を入手しないといけないので、その情報をクラウドから得られて、自動走行の軌跡が作れるシステムになるとよい。(山川委員)
  - ・事業4年間の中で飛行アプリの開発は行うのか。森林に特化した飛行アプリがあるとよい。(山川委員)
- 来年度の実証の中では、データ容量でのクラウドサーバへの負荷がどの程度なのか確認すべきかと思っている。飛行アプリは今のところ想定していない。日林協ではLitchiを使用している。(事務局)
- ・Litchiで地形は追従できるが、手間で、写真測量アプリではない。写真測量に特化できる等、ほかの苗木運搬などにも対応できるような自動走行のアプリがあるとよいのでは。また、DJIの機体やアプリがこの先日本国内で使用できるのか懸念があり、その辺の情報を調べたほうがよいのでは。(山川委員)
  - ・事故対策というところは検討しておいたほうがよい。墜落時に破損して火災ということはドローンではよく言われている。追跡や落下が、山のような広大な土地になってくるとすぐに特定できず、消火しに行けないということも問題になる。また、ドローンに関する保険会社等、事故面に対するところにも気を配るとよい。(岩瀬委員)
- 実証時、業者は消火器等を用意しており、保険についても必ず入っていると聞いたので、留意していきたい。(事務局)
- ・ドローンの操縦の免許や、必要な講習等が制度的にも変わっていくのではないかと思うので、そういう点についても調べておいたほうがよい。(寺岡委員)

### (3) 事例集(パンフレット)の素案について

- ・ドローンの各機種の特長及び課題についての記述は、この機種を使った場合は、こういう運用方法になり、その利点、課題のように読めるが、あくまでもその機種を使っている事業者の現状の運用方法の事例であり、その運用方法に限らないので、少し丁寧に記述したほうがよい。(児玉委員)
  - ・事例「運搬結果」の「本数」や「時間(分)」について、どういう計算か丁寧に書いていただきたい。また順番は、事例の2と3を入れ替えたほうがよい。(林野庁 諏訪室長)
- 計算結果を分かるように修正し、順番についてもそのようにしたい。(事務局)
- ・安全関係についても書いたほうがいいのか。(林野庁 諏訪室長)
- 内部で相談しながら付け加えていければと考えている。(事務局)
- ・来年度以降、またパンフレットを出すのであればタイトルを事例的などところに絞ったほうがよいのでは。(山川委員)
  - ・来年度以降について、予定では苗木運搬の実証を進めて、マニュアルという形で作成する。今年度のパンフレットは今年時点で収集した事例について紹介するということにとどめて問題ない。(林野庁 海老沼係長)
  - ・各事例において、誰が運用しているのかがもう少し明確になるとよい。ほかの方が見たときに、どこに頼めるのか、自分たちはどういう使い方をすべきか、という情報も明確に分か



る形のほうが望ましい。(岩瀬委員)

- ・パンフレットは都道府県に案内するが、基本的にはホームページに載せる形で広く一般の方に見てもらい、県等を通じて林業事業体にも紹介いただきたい。(林野庁 海老沼係長)
- ・和歌山県は、林業をする場合に地形的な制約が非常に大きい県なので、ドローンについては非常に期待している。このようなパンフレットができれば、今先駆けている事業体以外のところにも配布し、研修等もやりながら普及に力を入れていきたい。(児玉委員)

#### **(4) その他**

- ・林野庁が展開している伐採と造林の一貫作業システムをベースに、その中でドローンをどう活用するかという視点も必要。伐採から架線集材、架線撤去、地拵えという1連の作業の中で考えるべき。(事務局 中村松)

令和2年度  
ドローンを活用した新たな造林技術の実証・調査事業  
報告書

令和3（2021）年3月  
（発行）林野庁

（作成）一般社団法人 日本森林技術協会  
〒102-0085 東京都千代田区六番町7番地  
TEL (03) 3261-5281（代表）／FAX (03) 3261-5393  
<http://www.jafta.or.jp>