

# スマート林業実証報告

長野県

令和7年度 スマート林業構築普及事業（先端林業技術公募・実証事業）

令和8年（2026年）3月

長野県 林務部

## 目次

## はじめに

## 第Ⅰ章 ラジコン式地拵え機（LV800PRO）

I-1	地拵え機	・・・	4
I-2	実証調査	・・・	5
2-1	実証調査概要	.....	5
2-2	実施地	.....	5
2-3	実証調査方法	.....	6
(1)	予備調査	.....	6
(2)	ビデオ記録と軌跡	.....	6
2-4	調査の実施	.....	7
(1)	調査日	.....	7
(2)	調査箇所	.....	7
2-5	分析	.....	8
(1)	工程分解	.....	8
(2)	作業量	.....	8
(3)	生産性と費用	.....	8
I-3	結果	.....	9
3-1	実施状況	.....	9
(1)	オペレータ	.....	9
(2)	地拵え	.....	9
3-2	工程結果	.....	11
(1)	工程の定義	.....	11
(2)	工程分解時間（時間：3:36:13）	.....	11
(3)	破碎作業（時間：1:50:50）	.....	12
3-3	作業量	.....	13
I-4	生産性と費用	.....	14
4-1	生産性	.....	14
(1)	作業量	.....	14
(2)	単位面積当り換算	.....	14
4-2	作業システムのコスト試算（費用）	.....	14
(1)	作業システム	.....	14
(2)	単位	.....	14
(3)	機械価格	.....	14
(4)	計算式	.....	14
(5)	試算の適用項目	.....	15
(6)	試算結果	.....	17
I-5	検証評価	.....	18
5-1	作業工程	.....	18
5-2	施工性	.....	18
(1)	枝条の散在	.....	18
(2)	保管・給油	.....	19
5-3	安全性	.....	19
(1)	LV-800 操作オペレータの安全性	.....	19
(2)	周囲技能職員等の安全性	.....	20
5-4	労働生産性と経済性	.....	20
(1)	労働力（人工数）	.....	20
(2)	経済性	.....	20

# 目次

(3) 労働生産性と経済性の検証	22
5-5 総合評価	23
5-6 LV-800 導入条件	24
(1) 立地的条件	24
(2) 導入検討の要点	24
5-7 今後の展望	26

## 第Ⅱ章 ラジコン式草刈り機

Ⅱ-1 草刈り機	28
Ⅱ-2 実証調査	29
2-1 実証調査概要	29
2-2 実施地	29
2-3 実証調査方法	30
(1) 予備調査	30
(2) ビデオ記録と軌跡	30
2-4 調査の実施	31
(1) 調査日	31
(2) 調査箇所	31
2-5 分析	32
(1) 工程分解	32
(2) 作業量	32
(3) 生産性と費用	32
Ⅱ-3 結果	32
3-1 植生	32
(1) 植栽カラマツ	32
(2) 草本優占区	33
(3) ササ優占区	34
3-2 実施状況	35
(1) オペレータ	35
(2) 草刈り	36
3-3 工程結果	38
(1) 工程の定義	38
(2) 工程分解時間	38
(3) 植生の違いによる工程差	41
Ⅱ-4 作業量と費用	44
4-1 作業量	44
(1) 作業量	44
(2) 単位面積当り換算	44
4-2 作業システムのコスト試算（費用）	45
(1) 作業システム	45
(2) 単位	45
(3) 機械価格	45
(4) 計算式	45
(5) 試算の適用項目	45
(6) 試算結果	47
Ⅱ-5 検証評価	49
5-1 作業工程	49
5-2 施工性	49
(1) 視界の確保	49
(2) 地表状態	50
(3) 操作立ち位置	50

(4) 障害物	50
(5) 緊急対応	50
<b>5-3 安全性</b>	<b>51</b>
(1) RJ703 神刈操作オペレータの安全性	51
(2) 周囲技能職員等の安全性	51
<b>5-4 労働生産性と経済性</b>	<b>52</b>
(1) 労働力（人工数）	52
(2) 経済性	52
(3) 労働生産性と経済性の検証	54
<b>5-5 総合評価</b>	<b>55</b>
<b>5-6 RJ703 神刈導入条件</b>	<b>56</b>
(1) 立地的条件	56
(2) 導入検討の要点	57
<b>5-7 今後の展望</b>	<b>57</b>
【参考：オペレータと補助作業員2名の場合のコスト】	58

### 第三章 PC138US-11 マシンガイダンス機マルチャー地拵え

<b>III-1 地拵え機</b>	<b>60</b>
<b>III-2 実証調査</b>	<b>61</b>
2-1 実証調査概要	61
2-2 実施地	62
2-3 実証調査方法	62
(1) 予備調査	62
(2) ビデオ記録・軌跡及び切株調査	62
2-4 調査の実施	64
(1) 調査日	64
(2) 調査箇所	64
2-5 分析	64
(1) 工程分解	64
(2) 作業量	64
(3) 生産性と費用	65
<b>III-3 結果</b>	<b>65</b>
3-1 植生	65
3-2 実施状況	66
(1) オペレータ	66
(2) 地拵え	66
(3) 切株切削破碎	68
3-3 工程結果	70
(1) 工程の定義	70
(2) 工程分解時間（時間：3:31:18）	70
(3) 地拵え・切株破碎作業（時間：3:03:27）	72
(4) 破碎（地拵え）作業（時間：1:56:34）	72
(5) 切株切削破碎作業（時間：1:06:53）	72
(6) 植生区の違い	74
(7) 作業工程における差	79
(8) 地拵え作業量	79
<b>III-4 作業規模と費用</b>	<b>81</b>
4-1 作業規模	81
(1) 作業量	81
(2) 単位面積当り換算	81
4-2 作業システムのコスト試算（費用）	82

# 目次

(1) 作業システム	82
(2) 単位	82
(3) 機械価格	82
(4) 計算式	82
(5) 試算の適用項目	83
(6) 試算結果	84
<b>Ⅲ-5 検証評価</b>	<b>87</b>
5-1 作業工程	87
5-2 施工性	88
5-3 安全性	88
(1) PC138US-11 マシンガイダンス機操作オペレータの安全性	88
(2) 周囲技能職員等の安全性	89
5-4 労働生産性と経済性	89
(1) 労働力（人工数）	89
(2) 経済性	89
(3) 労働生産性と経済性の検証	92
5-5 総合評価	92
5-6 PC138US-11 マシンガイダンス機導入条件	93
(1) 立地的条件	93
(2) 伐採後放置森林への適用	94
(3) 切株切削破碎	94
(4) 有効な導入法	95
5-7 今後の展望	96

## 第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

IV-1 ドローン	98
IV-2 実証調査	99
2-1 実証調査概要	99
2-2 実施地	99
(1) 実証（実施）地	99
(2) 架設計画	99
2-3 実証調査方法	101
2-4 調査の実施	101
(1) 調査日	101
(2) 架設空域と離着陸地点	102
2-5 分析	102
(1) 工程分解	102
(2) 生産性と費用	102
IV-3 結果	103
3-1 計画変更	103
3-2 実施状況	103
(1) 準備	103
(2) Fly Cart 30 の準備	104
(3) オペレータ	104
(4) 飛行	105
(5) リードロープ	107
3-3 工程結果	108
(1) 工程の定義	108
(2) 工程分解時間	109
(3) 2飛行の比較	109
IV-4 検証評価	112

4-1	作業工程	.....	112
4-2	施工性	.....	113
4-3	安全性	.....	114
	(1) ドローン飛行の安全性	.....	114
	(2) ドローン使用と従来リードロープ運搬の安全性比較	.....	115
4-4	労働生産性と経済性	.....	115
	(1) 労働力と経済性	.....	115
	(2) 購入した場合の費用	.....	117
	(3) 経済性の検証	.....	118
4-5	総合評価	.....	119
4-6	今後の展望	.....	119
	(1) ドローンの導入・実施方法	.....	119
	(2) 作業工程と歩掛	.....	121
	(3) 今後の展望	.....	122

## おわりに ..... 123

実証4事例の結果 ..... 123

スマート林業のすすめ ..... 124

## 公募技術選定会 ..... 125

## はじめに

長野県は、民有林 68 万 8 千 ha のうち 33 万 5 千 ha が人工林である。先人たちの努力により守り、育てられ着実に森林資源は充実してきているが、林業の本来の姿である「**植えて、育てて、伐って、使って、また植える**」のサイクルが必ずしも回っているとはいえない状況である。充実している森林のうち路網が整備された緩傾斜地や山地災害の危険性がない等の林業に適する立地では、森林資源の循環利用による林業振興や二酸化炭素吸収機能の向上を図るためにも積極的に主伐・再造林を進め、森林の若返りを図っていくことが求められている。

一方で全産業にもいえるが、林業現場における労働力不足、いわゆる担い手不足が深刻となってきた。主伐の車両系等による機械化は進んできているが、架線における架設、再造林における地拵えや植栽、その後の下刈りなど、まだまだ人の力に頼らざるを得ない作業工程が多くある。これらの課題に対し、林業事業者自らが創意工夫により、省力化・効率化を図る事例が見受けられるようになってきている。

そこで、長野県内に適した新たな省力化・低コスト再造林モデルに挑戦する林業事業者等の発案・取組を公募し、有識者（公募技術選定会）によって 3 事業者を選定し、実証技術の調査・検証・解析を行い、実証技術を県下一円に横展開することを目的に「令和 7 年度スマート林業構築普及事業（先端林業技術公募・実証事業）」を実施した。



## 実証事例と報告書

本報告書で紹介する実証技術は、次の3事業体4技術である。下表の順に取りまとめた。

実施事業体	事業名	先端技術	報告書
佐久森林組合	造林省力化実証事業	ラジコン式地拵え機械	第I章
		ラジコン式草刈り機	第II章
長野森林組合	マシンガイダンスを用いた遠隔操作による機械地拵え実証試験事業	ガイダンス付き油圧ショベル マルチャー	第III章
飯伊森林組合	ドローンによる架線リードロープの引き回し作業の効果実証事業	貨物モードドローン	第IV章

本報告書では、工程（こうてい）と功程（こうてい）を用いている。一般的には工程を用いているが「ha/時・人」、「m<sup>3</sup>/時・人」等の生産性を表す場合は「功程」を用いた。

- 工程：物事を作業する順序、手順、段階、プロセス
- 功程：仕事の成果や、作業にかかる手間の程度





## 実証にあたって

### 公募選定会委員

林業事業体等から実証技術の提案を公募技術選定会において有識者（以下：「委員」という\_\_参照「おわりに」p123～124）によって3事業体を選定した。また、委員には実証事業時に現地を確認いただくとともに、実証技術の調査・検証・解析結果を審議いただき、本書を作成した。

### 実証協力者

実施事業体と共に次の皆さんの協力をいただいた。ここに記して深甚の感謝を申し上げる。

-  株式会社アクティオ <https://www.aktio.co.jp/>
-  株式会社コマツ製作所 <https://www.komatsu.jp/ja>
-  レンタル21 株式会社前田製作所 <http://rental21.maesei.co.jp/>
-  株式会社ワイズ・パーソン



実証1

# 第1章 佐久森林組合 ラジコン式地拵え機械

# ラジコン式地拵え機 (LV800PRO)

実施事業体 : 佐久森林組合  
 事業名 : 造林省力化実証事業  
 先端技術 : ラジコン式地拵え機械  
 使用機械 : MDB社製 LV-800PRO <https://mdb srl.com/>  
 取扱社 : 株式会社アクティオ <https://www.aktio.co.jp/products/model/s/300366/>  
 実施地 : 小諸市菱平字柳平 2188-24 (35 林班い小班 4-イ・口ほか)

## I-1 地拵え機

地拵え機は、イタリア製 (MDB社製) の LV-800PRO で (写真 1-1)、日本輸入代理店は株式会社ギガソーラー (<https://gigasolar.co.jp>)、株式会社アクティオが 2024 年 4 月からレンタルを開始している。

地拵え機 (以下:「LV-800」) の緒元は表 1-1 となっている。ローター幅 (1,460mm) のフォレストアタッチメント (写真 1-2) で枝条や灌木 (低木) を粉砕することが可能である。

ラジコン (プロポーショナル:送信機コントローラー) による遠隔操作によって稼働する (写真 1-3)。

表 1-1 LV-800PRO 緒元

型式		LV800 PRO
刈幅 (mm)		1,460
最大走行勾配 (度)		60 <sup>*</sup>
最高速度 (km/h)		9
通信距離 (m)		約 100
燃料		軽油
燃料タンク容量 (L)		52
寸法	全長 L (mm)	3,335
	全幅 W (mm)	1,660~1,910
	全高 H (mm)	1,190
質量 (kg)		2,355

※地面に凹凸等がなく平らになっている場合  
 株式会社アクティオ

<https://www.aktio.co.jp/products/model/s/300366/>



写真 1-1 地拵え機 LV-800PRO (MDB社製)



写真 1-2 ローター幅 (1,460mm) のフォレストアタッチメント



写真 1-3 ラジコンプロポーショナル:送信機コントローラー

## I-2 実証調査

### 2-1 実証調査概要

調査実施日	: 令和7年(2025年)10月23日(木)
	: ビデオカメラ(ソニー社 Handycam) 3台
調査機材	: GoPro(カメラ) 1台 LV800 装着
	: GNSS受信機(DG-PRO1RW) LV800 装着
	: ドローン(Dji Phantom 4 Pro 1台・Matrice 300 RTK1台)
面積	: 0.0285ha
作業量	: 12.222m <sup>3</sup> 空隙率80%と仮定すると破碎枝条2.444m <sup>3</sup> ドローンレーザによる施工前・施行後の地表比較から算出
経緯	: カラマツ林皆伐直後(車両系システム)
地表状況	: 凹凸小、礫なし、傾斜0~25度 平均11.3度(実施地) : カラマツ枝条散在
植生	: なし
地拵え	: 全面地拵え
オペレータ	: 女性技能職員(実務経験3年、当該機械使用初回)、作業開始8日後
記録時間	: 8時5分~11時41分(3:36:13)



図1-1 実証(実施)位置図(実証地はドローンオルソ画像)

### 2-2 実施地

実施地は、小諸市役所から北に9.6km、小諸市菱平字柳平2188-24(35林班い小班4-イ・ロほか)に位置し、浅間山麓に広がる標高1,207~1,268m、林地平均傾斜15度の緩斜面で、林道浅間線沿いに位置する林地面積7.8ha(ドローンオルソ計測)のカラマツ林皆伐地である(図1-1)。

## 2-3 実証調査方法

### (1) 予備調査

予備調査として施工前の状況（皆伐地全域）をドローン（Dji Matrice 300 RTK）により空撮（Zenmuse H20T）を行いオルソ画像を作成するとともに（図 1-2）、ドローンレーザ（Zenmuse L1）により地形情報を取得した。

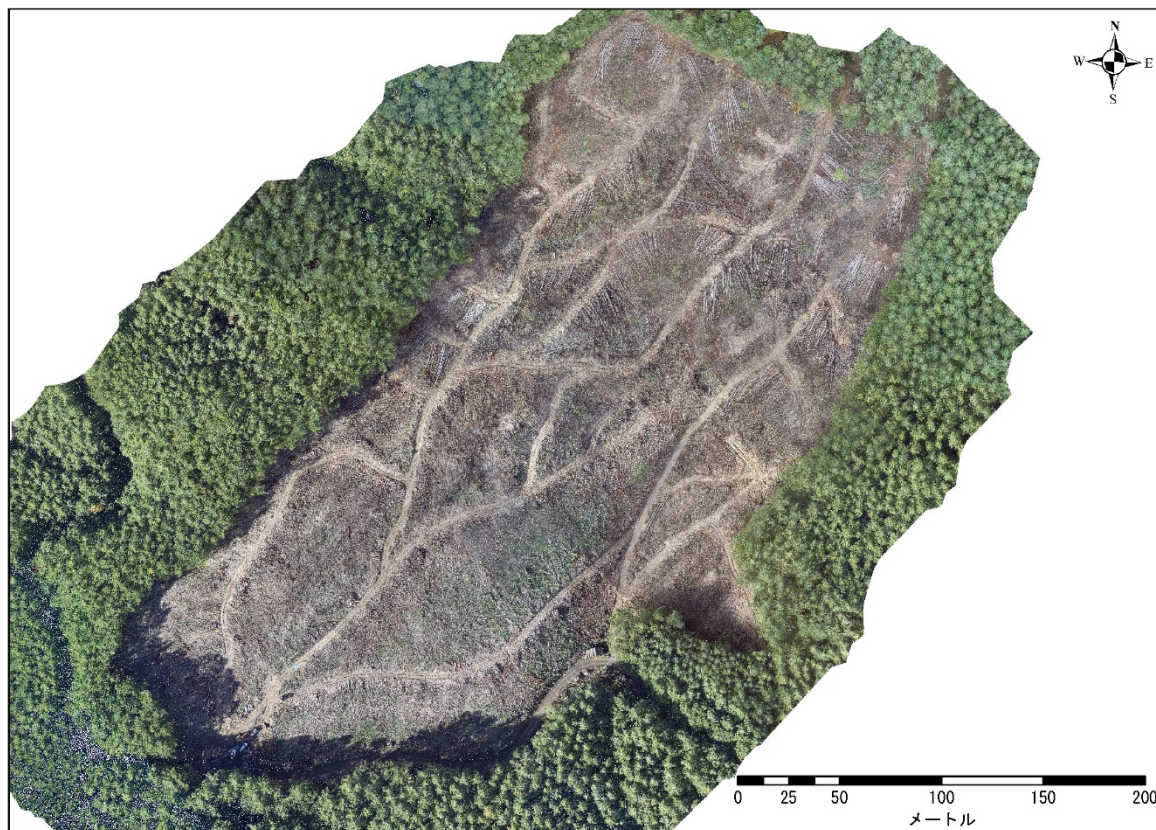


図 1-2 施工前（皆伐地全域） 2025.10.14 ドローン撮影

### (2) ビデオ記録と軌跡

調査はビデオカメラ記録法を用いた。ビデオカメラ（ソニー社 Handycam）3 台のうち、1 台は対象機械に沿って追尾記録し（写真 1-4）、2 台は三脚に設置して遠隔で記録するとともに、ドローン（Dji phantom4）を用いて上空から施工状況を記録した（写真 1-5）。

また、地拵え機械（以下：「LV-800」）にビデオカメラ（GoPro）1 台を装着して記録した（写真 1-6）。

LV-800 の移動状況を把握するため GNSS 受信機（DG-PRO1RW）を装着して軌跡を記録した（写真 1-6）。

さらに、作業終了時にオペレータ及び現場管理者から機械操作の感想、当該地拵え作業の所見等をビデオ記録した。



写真 1-4 LV800 とビデオ記録（追尾者：右）  
2025.10.23 実施



写真 1-5 ドローン空撮 (Dji phantom4)



写真 1-6 ビデオカメラ (GoPro) と GNSS 受信機 (DG-PRO1RW)

## 2-4 調査の実施

### (1) 調査日

令和7年(2025年)10月14日(火)にLV-800が現地に搬入され、稼働時から調査を実施したが(図1-3)、オペレータが初めての操作であったことや機械トラブル(スプリングの破損)が発生したため調査を中止した。

令和7年(2025年)10月21日(火)、1週間後の実施状況を確認した。作業開始から6日目であり順調に作業が進んでいた(写真1-8)。

そこで、オペレータの操作熟練度が高まり標準的な稼働が行われると想定される初日から8日後の令和7年(2025年)10月23日(木)に記録調査を実施した。

調査記録時は午前8時5分に開始し11時41分(3:36:13)まで実施した。



図 1-3 10月14日実施箇所 (LV-800 搬入初日)



写真 1-7 10月14日実施状況



写真 1-8 10月21日実施状況

### (2) 調査箇所

調査箇所は車両系システムによるカラマツ林皆伐直後の林地で、皆伐地全域のうち南西端に位置し(図1-4)、傾斜0~25度、平均11.3度(後述p13)のカラマツ枝条(最大径12cm)が散乱し(写真1-9)、地表面は凹凸が少なく、石礫がない地表面で、生育する植生はない状況であった。



図 1-4 調査箇所



写真 1-9 実施箇所の地表状況（左：ドローン画像）と散在するカラマツ伐採木の枝条（右）

## 2-5 分析

### (1) 工程分解

ビデオカメラ記録動画から地拵え工程のうち、作業種（ここでは作業手順や機械の動作）別に1秒単位で分解した。

### (2) 作業量

作業量は、予備調査で取得したドローンレーザと実施後取得したドローンレーザの地形情報を比較し、その地形情報の差分を求め作業量（破砕量）とした。

### (3) 生産性と費用

工程分解から日当りの作業量（面積：ha）と参考として日破砕量（破砕体積： $m^3$ ）を求め、生産性とした。さらに、日当りの LV-800 地拵えの作業システムのコスト（費用）試算を行った。

## I-3 結果

### 3-1 実施状況

#### (1) オペレータ

LV-800 のオペレータは、LV-800 操作は初めての佐久森林組合女性技能職員（入社3年目）で、調査記録時点（10月23日現在）では初めての操作から8日目の実施であった（写真1-10）。



写真1-10 LV-800 オペレータ（女性技能職員）  
2025.10.23 実施



写真1-11 全面地拵え（ドローン空撮）

#### (2) 地拵え

LV-800 による地拵えは、全面地拵えであった（写真1-11）。

LV-800 の前進方向はローターの回転方向と同じで、後退方向はローターの逆回転方向である。

地拵えは、斜面に対し上下移動（写真1-12）による前進（写真1-13）、後退（写真1-14）を繰り返しながら破碎を行い、斜面に対して横移動の破碎作業はほとんど行われなかった（図1-5）。

LV-800 の破碎時は、機体前後10mは破碎材の飛散があり危険であるため、オペレータはLV-800の横に位置して操縦を行った。

前進破碎はローターの位置が見えにくい状況にあり、頻繁に前方を確認する動作が見られ、前進破碎は短距離が多かった。

一方、後退破碎はローターが視認できる位置で操作を行い、視界の確保を図るとともに、地表面の仕上げ作業をこまめに行う動作が認められ（写真1-15）、後退破碎は全身破碎に比べ長距離が多かった。



写真1-12 LV-800 稼働状況（3D画像）

# 第1章 ラジヨン式地拵え機



図 1-5 LV-800 の稼働（移動）軌跡



写真 1-13 前進破碎状況



写真 1-14 後退破碎状況



写真 1-15 後退破碎による地表面仕上げ状況（左）と後退破碎機械状況（機械装着 GoPro 画像）



### 3-2 工程結果

#### (1) 工程の定義

地拵え工程の作業種を表 1-2 と定義した。なお、工程時間は総作業時間（SMH：Scheduled Machine Hour）とした。

表 1-2 地拵え工程の作業種

区分	作業種	作業種細分
大区分	準備等	準備・エンジン始動・ローター始動・ローター停止・エンジン停止
	移動	破砕なしの前進・後退
	破砕	前進破砕・後退破砕・定置破砕
	静止等	静止・静止しての確認（機械・位置確認）・静止しての作業確認（作業工程等）
	休憩	機械を停止しての休憩
詳細破砕	前進破砕	機械前進：ローターの回転方向
	後退破砕	機械後退：ローター逆回転方向
	定置破砕	機械定置：移動を伴わない破砕

※ 静止等：静止は LV-800 が静止したのみ。静止しての確認は機械の状態確認と位置確認。静止しての作業確認は作業工程等の確認

#### (2) 工程分解時間（時間：3:36:13）

令和7年（2025年）10月23日8時5分～11時41分までの記録時間は3時間36分13秒であった。

作業工程大区分による内訳は、準備等 8.9%、移動 24.5%、破砕 51.3%、静止等 7.7%、休憩 7.6%であった（図 1-6）。

作業工程詳細区分では、後退破砕が 36.1%、破砕を伴わない前進 22.1%、定置破砕 7.9%、休憩 7.6%、前進破砕 7.3%、準備 7.0%であった（図 1-7）。

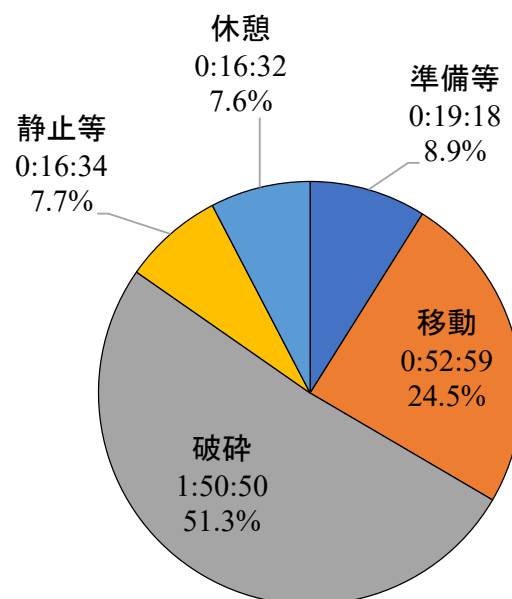


図 1-6 作業工程大区分  
総作業時間（SMH：Scheduled Machine Hour）

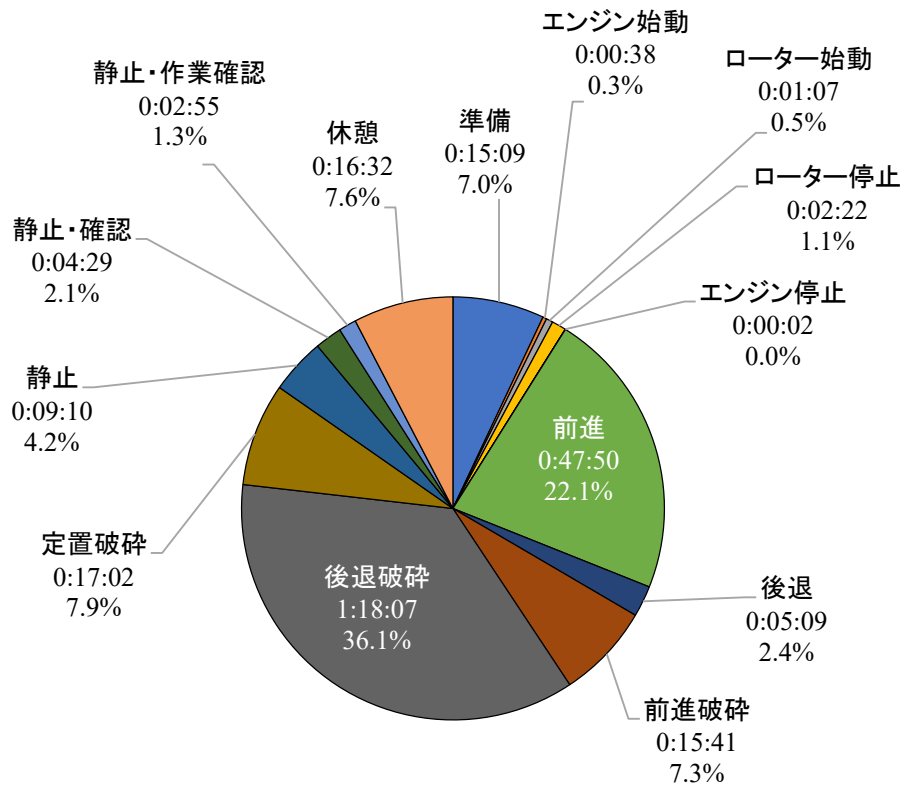


図 1-7 作業工程詳細区分 総作業時間 (SMH : Scheduled Machine Hour)  
 小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

**(3) 破碎作業 (時間 : 1:50:50)**

3 時間 36 分 13 秒の 5 割を占めた破碎作業 (1 時間 50 分 50 秒) の内訳は、後退破碎 70.5%、定置破碎 15.4%、前進破碎は 14.2%であった (図 1-8)。

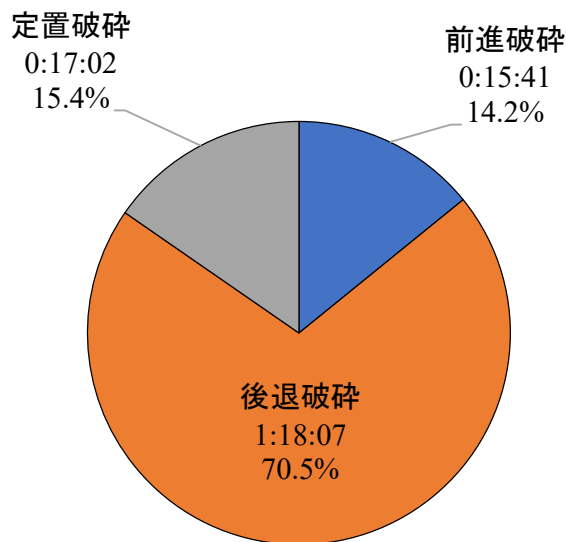


図 1-8 破碎工程における時間割合  
 小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

## 3-3 作業量

予備調査で取得したドローンレーザと実施後取得したドローンレーザの地形情報を比較し、その地形情報の差分を求め作業量（破砕量）とした。

調査記録時間に実施した表面積（外周表面積）は 0.0292ha（292.195m<sup>2</sup>）、平面積は 0.0286ha（285.562m<sup>2</sup>）、平均傾斜 11.3 度<sup>※1-1</sup>、ドローンレーザによる実施前後の地表体積の差は 12.222m<sup>3</sup>であった（図 1-9）。

※1-1  $\theta = \cos^{-1}(\text{表面積}/\text{外周表面積})$



図 1-9 実証調査地の状況 実施前後によるドローンレーザ計測比較計算

（施工前 2025.10.14、施行後 2025.10.23 ドローン撮影）

## I-4 生産性と費用

### 4-1 生産性

#### (1) 作業量

実証調査の時間分解結果を基に林業生産活動の基準となる日当り 6 時間として、地拵え面積 (ha) と表面積材積 12.222m<sup>3</sup> を枝条散在状況から空隙率 80%と仮定して破碎材積を換算した (表 1-3)。

- ◆ 地拵え面積 (ha) は、1 日当り 0.0476ha (476m<sup>2</sup>)
- ◆ 破碎材積 (m<sup>3</sup>) は、1 日当り 4.069m<sup>3</sup>

表 1-3 実証調査の時間分解結果による単位当りの換算

機種	区分	平均斜面勾配 (度)	日	作業時間 総作業時間 (SMH : Scheduled Machine Hour)						地拵え面積 (ha)	表面材積 (m <sup>3</sup> )	換算材積 (m <sup>3</sup> ) 空隙率80%
				総稼働	準備等	移動	破碎	静止	休憩			
	実証		0.6	3:36:13	0:19:18	0:52:59	1:50:50	0:16:34	0:16:32	0.0286	12.222	2.444
LV-800	日換算 (6時間)	11.3	1	6:00:00	0:32:08	1:28:13	3:04:32	0:27:35	0:27:32	0.0476	20.3496	4.069
	面積換算 (ha)		21	126:00:01	11:14:50	30:52:34	64:35:17	9:39:15	9:38:05	1.0000	427.343	85.455

#### (2) 単位面積当り換算

1 日当りの結果から単位面積 1ha を実施する日数、破碎換算材積を換算した (表 1-3)。

- ◆ 単位面積 1ha は、21 日 (6 時間/日)
- ◆ 単位面積 1ha の破碎材積は、85.455m<sup>3</sup>

### 4-2 作業システムのコスト試算 (費用)

#### (1) 作業システム

LV-800 の作業は基本オペレータ 1 名であるため、基本人員は、特殊運転手 1 名となる。

#### (2) 単位

作業システムの試算を行う場合、単位を設定する必要がある。林業的には材積 (m<sup>3</sup>) が一般的であるが、地拵えは面的に実施するため、単位は面積 (ha) が基準となる。

ただし、日当りの費用計算が可能であるため、日単位の費用を基準として試算し、面積単位に換算することとした (後述)。

#### (3) 機械価格

機械価格はオープン価格<sup>※1-2</sup>であるが、LV-800PRO の価格は 2,400 万円前後といわれている。

※1-2 販売する商品に対してメーカー側が希望小売価格を具体的に定めていないもの。

#### (4) 計算式

コスト計算は、「全国林業改良普及協会編 (2001) 機械化のマネジメント」、「日本林業技士

会 (2009) 低コスト作業システム構築事業 事業報告書」に示される計算式を準用した (表 1-4)。

コスト計算は時間を単位計算基礎単位とし、「固定費 (円/時)」に6時間を乗じ単位を“日”とし、人員単価 (公共労務基礎単価)を加算して「〇〇円/日」とした。この費用に面積換算日数 21 日 (前掲: 表 1-3) を乗じて単位面積当たりの費用とした。

さらに、今回の実証現場のように枝条が散在し、破砕材積がおおよそ把握できる場合を想定して「〇〇円/m<sup>3</sup>」の参考額も試算した。

表 1-4 コスト計算因子

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

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

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

### (5) 試算の適用項目

「全国林業改良普及協会編 (2001) 機械化のマネジメント」、「日本林業技士会 (2009) 低コスト作業システム構築事業 事業報告書」に記載されている機械は発刊当時の林業用機械で、最新は 2009 年の「低コスト作業システム構築事業 事業報告書」で、それ以降の改訂や検討がなく、本作業システムが適用できる機種の記事がない。そこで、計算式に示される各計算因子について次を根拠とした (表 1-5: 次ページ)。

「機械価格」はオープン価格 (前ページ)、「燃料消費量」は聞き取り調査値、「燃料価格」は最新の長野県佐久地方の最新単価、「工期」は実装試験の面積換算値、その他の因子は「令和 7 年版 治山林道必携 積算・施工編 森林整備保全事業標準歩掛 標準歩掛建設機械損料算定表」に示される最新の類似機械 (遠隔装置草刈機械) の値を用いた。耐用年数経済寿命 (年) は 7 年、年間稼働日数 (日) は 130 日、実働時間 (時間) は 6 時間、償却費率 (残存率) は 8%、保守・修理費率 40%、管理費率は 7%、稼働時間は 6 時間基準とし (図 1-10)、資本回収係数は年利 4%と仮定した。

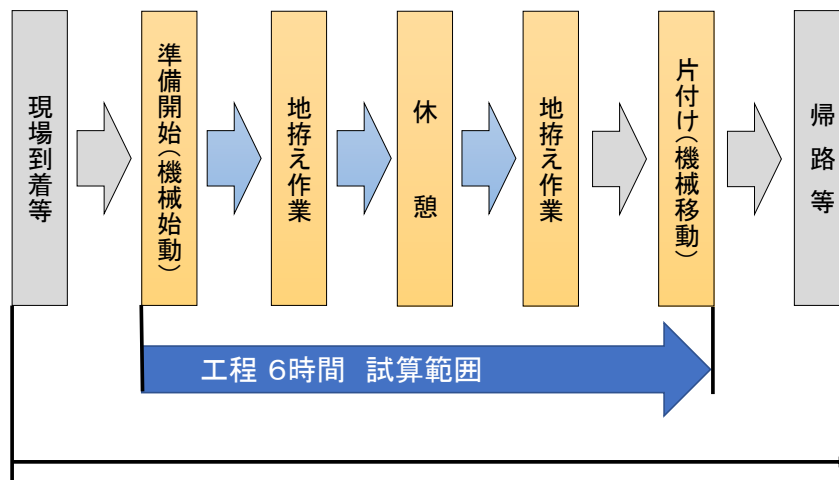


図 1-10 LV-800 地拵え作業試算の範囲

## 第1章 ラジコン式地拵え機

人件費は、特殊運転手1名の基本労務費（8時間）を実働時間6時間に換算し、諸雑費は林野庁「森林整備保全事業標準歩掛 第2編治山 第5森林整備」を適用した。

表 1-5 LV-800 費用試算の適用項目

項 目	適 用
機械価格（千円）	オープン価格（聞取り 2,400 万円）
燃料消費量 Q（ℓ/h）	実績（40 リットル/6 時間）
燃料価格（円）	軽油 2026 年 1 月 5 日佐久地方単価 147.3 円
グリス消費量 Q1（g/h）	重機用グリス（2 回×2 箇所/日） 30 g/1 箇所・1 回
グリス価格（円/g）	重機用グリス 7 円
耐用時間（時間）	計算値
耐用年数法定（年）	5 年
耐用年数経済寿命（年）	標準歩掛建設機械損料算定表 p316 遠隔操作式 7 年
年間稼働日数（日）	標準歩掛建設機械損料算定表 p316 遠隔操作式 130 日
年間稼働時間（時間）	年間稼働日数×6 時間
実働時間（時間）	6 時間
償却費率（残存率）	標準歩掛建設機械損料算定表 p316 遠隔操作式 8%
保守・修理費率	標準歩掛建設機械損料算定表 p316 遠隔操作式 40%
管理費率	標準歩掛建設機械損料算定表 p316 遠隔操作式 7%
機材消耗品費（円/ha）	計算値
功程（ha/時・人）	実績値から時間あたりに換算した面積 0.0079ha
償却費（円/時）	計算値
管理費（円/時）	計算値
資本回収係数	年利 4%と仮定
資本利子（円/時）	計算値
保守修理費（円/時）	計算値
燃料油脂費（円/時）	燃料+重機用グリス
機材費（円/時）	計算値
<b>固定費（円/時）</b>	計算値
固定費（資本利子除く）（円/時）	計算値
変動費（人件費除く）（円/時）	計算値
人件費	オペレータ（円/日） 公共労務基礎単価(特殊運転手) 6 時間換算

(6) 試算結果

① 日当りのコスト (円/日)

日当りのLV-800の固定費は6,926円/時間、システム単価は **84,633円/日**となった(表1-6)。

表1-6 日当りのLV-800のシステム単価

固定費(円/時)	P	6,926	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	6,196	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	3,817	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価(特殊運転手)6時間換算
人件費	G	20,175	
本システム稼働(円/日)	C	41,556	P×6時間
変動費(円/日)	VC6	22,902	VC×6時間
本システム単価(円/日)	PC1	84,633	G+C+VC6

② 作業面積当りのコスト (円/ha)

1ha当りのLV-800のシステム単価は **1,785,506円/ha**となった(表1-7)。

表1-7 作業面積当りのLV-800のシステム単価

固定費(円/時)	P	6,926	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	6,196	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	3,817	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価(特殊運転手)6時間換算
人件費	G	20,175	
生産コスト(円/時)	Z	14,106	
本システム実績工程(ha/時)	C	0.0079	本システム実績
本システム生産単価(円/ha)	PC1	1,785,506	Z/C

③ 作業材積当りのコスト (円/m<sup>3</sup>)

作業材積当り(0.678m<sup>3</sup>/時間)のLV-800のシステム単価は **20,803円/m<sup>3</sup>**となった(表1-8)。

表1-8 作業材積当りのLV-800のシステム単価

固定費(円/時)	P	6,926	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	6,196	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	3,816	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価(特殊運転手)6時間換算
人件費	G	20,175	
生産コスト(円/時)	Z	14,105	
本システム実績工程(m <sup>3</sup> /時)	C	0.678	本システム実績
本システム生産単価(円/m <sup>3</sup> )	PC1	20,803	Z/C

※功程(m<sup>3</sup>/時・人)により、変動費が日当りのコスト、作業面積当りのコストと異なる。

## I-5 検証評価

本実証事例は図 1-11 の範囲について検証評価を行った。

### 5-1 作業工程

作業工程（順序立てて細かく区切った作業の段階やプロセス）には特段の課題・検討事項はなかった。

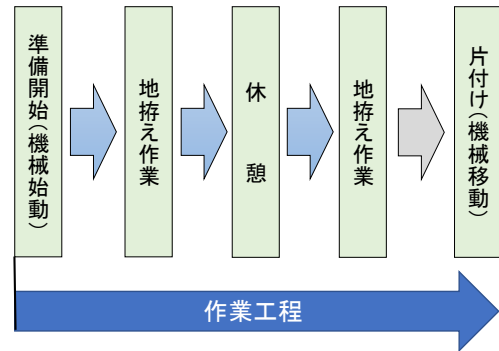


図 1-11 本実証事例の作業工程

### 5-2 施工性

本実証事例の施工性（作業のしやすさ）について、LV-800 の操作性は良好であるとオペレータ技能職員のコメントを受けているが、次の課題または検討すべき事項があった（表 1-9）。

表 1-9 施工性における課題

項目	内容	要因・検討事項
地拵え	Ⓢ 枝条等が散在していたため地表状況を確認するのが難しく、LV-800 の静止、静止しての位置確認、静止しての作業工程確認が 16 分 34 秒（全工程の 7.7%）を要した	Ⓣ 枝条等の集積を行う施業地では静止時間の抑制は可能
保管・給油	Ⓢ 給油・グリス補給のため保管位置に移動 Ⓢ 重機用グリス（2 回×2 箇所/日）・30 g/1 箇所/1 回 Ⓢ 施業地が広くなり、保管ポイントまでの距離が長くなる可能性	Ⓣ 保管位置、給油・グリス補充の検討



写真 1-16 枝条が散在する地拵え施業地

#### （1）枝条の散在

本実証事例では、大量の枝条が散在し、地表の凹凸や切株の位置などを確認するのが困難な状況で、静止しての作業工程確認が 16 分 34 秒（全工程の 7.7%）を占めていた（p11 前掲図 1-6）。

施工性（作業のしやすさ）に大量の枝条散在が影響を与えていた（写真 1-16）。枝条の集積が行われた施業地では、この静止時間の抑制が可能となる。

しかしながら本実証事例では、あえて枝条を林地に残して LV-800 の地拵えを実施していた。林地残材の活用を想定しない場合や筋状棚積の地拵えを実施しない場合は、本実証事例の様な枝条粉碎地拵えが必要な場合もある。

なお、林地残材の有効活用等も検討して、林地枝条の取り扱いを検討することが必要である。

## (2) 保管・給油

本実証事例では、LV-800 の保管位置は林道に接した地点で（写真 1-17）、他の林業機械（グラップル、フォワーダ）も同地点を保管地点としていた。保管地点から地拵え地点までは 30m 程度の距離にあり、本実証事例では保管地点までの移動距離は短距離であったが、午前の作業終了後にグリス補給のため保管位置に移動していた。重機用グリスは LV-800 の 2 箇所の日 2 回補給しなくてはならない。

本実証事例では工程に大きな影響を与えていないが、施業地が広くなり、保管地点までの距離が長くなると地拵え破碎作業時間が短縮され LV-800 の移動（走行）時間が大きくなるため、**保管位置、給油・グリス補充<sup>※1-3</sup>の検討が必要**となる。



写真 1-17 保管地点からの移動



写真 1-18 グリスの補充 (午前作業終了後)

※1-3 オペレータの感想としてグリス充填作業がし難い構造。30 プッシュ/回の補充

## 5-3 安全性

### (1) LV-800 操作オペレータの安全性

#### ① 操作

LV-800 の操作において最も注意すべきは、操作立ち位置をローターの前後にすることによる**破碎材の飛来・衝突、LV-800 動作位置よりも下方斜面に位置することによる LV-800 の転倒、横滑り（斜面スライド）による接触**である。

本実証事例のオペレータは LV-800 操作に細心の注意を払い LV-800 の側方に位置するとともに、斜面下方に位置することはなく安全に操作していた（写真 1-19）。イヤマフの装着、粉碎飛散物が多い場合にバイザーを装着するなど労働衛生に努めていた。

**本実証事例の LV-800 操作オペレータの安全性については、安全（危険が許容できるレベル）であった**と言える。

なお、調査に際し多くの調査者等がいたため、オペレータはローターの前後に位置することによる破碎材の飛来・衝突に敏感となっていて心理的安全性（Psychological Safety）に気を遣っていた。



写真 1-19 オペレータの立ち位置

## 第1章 ラジコン式地拵え機

### ② 想定される危険

本実証事例では確認されなかったが、危険として LV-800 稼働時の「ハチ刺され」が想定される。特に地中に営巣するオオスズメバチ等のスズメバチ類に注意が必要となる。スズメバチが追いかけてくる距離は種により違うが、概ね 10m～50m程度<sup>\*14</sup>でとされる。スズメバチは非常に警戒心が強く、巣から 10m 以内に近づくと、周囲を飛び回って威嚇するようになる。LV-800 の地拵えは破砕による振動があるため、スズメバチも通常よりも遠くから威嚇をする可能性はあるものの、オペレータは LV-800 の機体から 5～10m 程度の距離を保ち操作をしているが、機体の状態、ローターの破砕状況に集中するため、スズメバチの襲撃に注視することは容易ではない。また足場も安定していないため「ハチ刺され」の危険性は否定できない。通常の林業作業と同様に 7 月～10 月期の地拵えには注意が必要である。

※14 労働基準監督署「蜂刺され災害を防ごう」

### (2) 周囲技能職員等の安全性

周囲の技能職員等は、LV-800 のローター前後 10m 以内には立ち入らないことが重要である。実証作業中も LV-800 の後方に直径 5cm、長さ 1m 程度の材が粉砕されずに飛来した (図 1-12)。

LV-800 を使用する地拵え作業では周囲の技能職員等も ローター前後 30m 以内に立ち入らない情報共有が必要である。



図 1-12 飛散した枝

## 5-4 労働生産性と経済性

### (1) 労働力 (人工数)

LV-800 の地拵え作業は原則オペレータ 1 人の人員となる。林野庁森林整備保全事業標準歩掛 ([最終改正] 令和 7 年 3 月 31 日付け 6 林整計第 670 号) における森林整備地拵えは全刈地拵えで草刈り機使用、チェーンソー使用で、特殊作業員と普通作業員の 2 人構成である (森林整備保全事業標準歩掛 p720-721)。

LV-800 による地拵えは特殊作業員 1 人とすることができる。

### (2) 経済性

#### ① 標準値との比較

「林野庁森林整備保全事業標準歩掛」、「令和 7 年度信州の森林づくり事業標準単価表 (国庫等対象事業)」に示されている歩掛及び標準単価と、佐久森林組合が試算した LV-800 地拵え単価並びに本実証においてビデオ解析に基づきレンタルリース費用から試算した単価を比較した。単位は全て円/ha である (表 1-10)。

「林野庁森林整備保全事業標準歩掛」は、灌木地刈払機・チェーンソー使用の現地条件補正なしの単価 625,435 円/ha (標準歩掛 A) と灌木地刈払機・チェーンソー使用中低木最大補正值の単価 988,401 円/ha (標準歩掛 B) を用いた。

「令和7年度信州の森林づくり事業標準単価表（国庫等対象事業）」は、灌木地刈払機・チェーンソー使用のC単価（消費税相当額加算なし）420,500円/ha（標準単価C）と一貫作業システム機械地拵（グラップル）単価241,300円/ha（標準単価D）を用いた。

表 1-10 地拵え標準単価と LV-800 単価比較

単価区分	地拵え (円/ha)	試算差額 (円/ha)	E 差額 (円/ha)	F 差額 (円/ha)	条件	備考
標準歩掛 A	625,435	305,435	-1,160,071	-494,558	灌木地 刈払機・チェーンソー使用	補正なし
標準歩掛 B	988,401	668,401	-797,105	-131,592	灌木地 刈払機・チェーンソー使用	補正中高木
標準単価 C	420,500	100,500	-1,365,006	-699,493	灌木地 刈払機・チェーンソー使用	
標準単価 D	241,300	-78,700	-1,544,206	-878,693	機械地拵グラップル	一貫作業 システム
実証試算	320,000	0	-1,465,506	-799,993	佐久森林組合試算	
工程実績 E	1,785,506	1,465,506	0	665,513	LV-800 ビデオ解析結果	0.0079ha/時
工程実績 F	1,119,993	799,993	-665,513	0	LV-800 ビデオ解析結果 レンタル費用からの試算	21日/ha 換算

※標準歩掛：林野庁森林整備保全事業標準歩掛

※標準単価：令和7年度信州の森林づくり事業標準単価表（国庫等対象事業）C単価

※実証試算：佐久森林組合試算

※工程実績E：ビデオ解析結果による1ha換算（表1-7）

※工程実績F：ビデオ解析結果による1ha換算日数×月額リース料1,600,000円/月÷30日（日単価）

佐久森林組合が試算したLV-800地拵え単価は320,000円/haである。

本実証におけるビデオ解析1ha換算日数は21日（前述p14）、ビデオ解析結果による1ha換算費用は1,785,506円/ha（p17前掲表1-7）、レンタルリース費用は月額160万円（30日換算）で日額53,333円/日に21日を乗じた結果、工程実績は1,119,993円/ha（工程実績F）となった。

佐久森林組合試算320,000円/haを基準とした場合、標準歩掛Aでは305,435円/ha、標準歩掛Bでは668,401円/ha、標準単価Cでは100,500円/ha、工程実績Eでは1,465,506円/ha、工程実績Fでは799,993円/haのコスト削減となるが、標準単価Dでは78,700円/haの高コストとなった。

本実証におけるビデオ解析1ha換算結果（p17前掲表1-7）とビデオ解析1ha換算日数とレンタル費用を基準に試算すると、すべての比較対象よりも高額となる結果であった。レンタル費用月額160万円を組合試算の320,000円/haで除算すると5haとなる。20日稼働とすると0.25ha/日の地拵え面積となるが、本実証ビデオ解析による日当りの地拵え面積は0.0476ha/日に留まっていることから、組合試算結果と検証事例は大きく異なる結果となった。

本実証事例の地拵えは大量の枝条散在地で、通常の地拵えとは条件が異なる。破碎・粉碎型の地拵えであることから、単純に単価比較することは困難がある。

## ② 購入した場合の費用

LV-800の本体価格は約2,400万円（オープン価格）である。前述p16のコスト計算においても高額結果となった。コスト計算の固定費<sup>\*1-5</sup>とシステム費用について年間稼働日数を10～260日（法定労働制限日数）で変動させて試算すると図1-13、図1-14となった。

年130日稼働で耐用年数7年の場合にLV-800の固定費は41,556円/日となるが、レンタル費用の日換算額53,333円/日に最も近似する日数は101日（53,502円/日）となる。LV-800の減価償却を有利に行うためには101日以上の使用（稼働）を7年間継続で行わないと効果が表れない。

※1-5 「機械の固定費」：生産量や売上に関わらず、事業を継続するために必ず発生する機械に関する費用

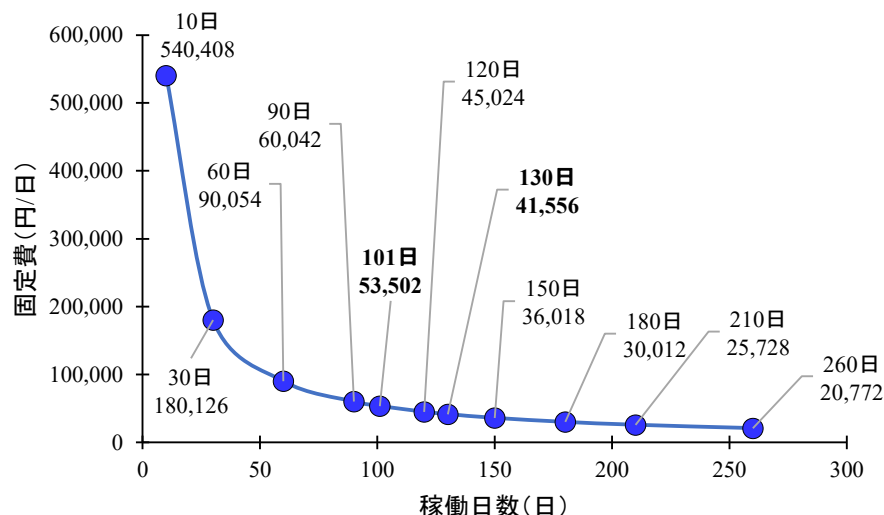


図1-13 コスト計算による固定費試算

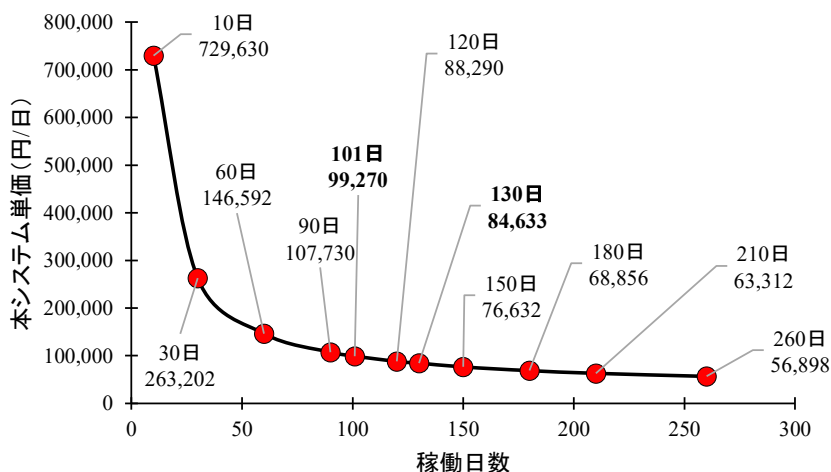


図1-14 LV-800のシステム試算結果（オペレータ1名人件費含む）

## (3) 労働生産性と経済性の検証

本実証事例の労働生産性は、労働力（人工数）1人と労働力縮減が図られる。

本実証事例の地拵えは大量の枝条散在地で、破碎・粉碎型の地拵えであることから、通常の地拵えと単価（円/ha）を単純比較することは困難である。

LV-800を購入した場合は、101日以上の使用（稼働）を7年間継続で行わないと減価償却効果が表れない。101日より稼働日数が低い場合はレンタル活用が有利となる。

## 5-5 総合評価

本実証事例のLV-800による地拵えの評価を「✖:不可」、「△:要検討」、「○:有効」及び「◎:有効技術推進」の4段階とした(表1-11)。

評価は、前述の結果から「作業工程:◎」、「施工性:○」、「安全性:○」、「労働生産性:○」、「経済性:△」と判断し、総合評価は作業工程、施工性、安全性、労働生産性に効果があったが、コスト削減に要検討事項があったことから「総合評価:○」とした。

表1-11 検証評価

評価項目	評価	課題・検討内容	備考
作業工程	◎	作業の段階やプロセスには特段の課題・検討事項はない	p18
施工性	○	LV-800の操作性は良好 静止しての作業工程確認が全工程の7.7% 保管位置、給油・グリス補充の検討	p18~19
安全性	○	ローター前後の破砕材の飛来・衝突危険性 本実証事例のLV-800操作オペレータは安全に操作 「ハチ刺され」の危険性は否定できない ローター前後10m以内に立ち入らない情報共有が必要	p19~20
労働生産性	○	労働力(人工数)1人と労働力縮減	p20
経済性	△	ビデオ解析1ha換算日数とレンタル費用を基準に試算すると、すべての比較対象よりも高額 破砕粉砕地拵えであることから、単純に単価比較することは困難	p20~22
総合評価	○	作業工程、施工性、安全性、労働生産性に効果があったが、コスト削減が要検討事項	

## 5-6 LV-800 導入条件

### (1) 立地的条件

本実証事例について、実施者である佐久森林組合担当者とオペレータの技能職員へのインタビューを行った。インタビュー内容とビデオ記録分析から LV-800 の導入立地条件として次が考えられる (図 1-15)。

- ☺ 斜面勾配 20 度以下の緩斜面地
- ☺ 林床に礫や岩がない
- ☺ 伐採後の切株が少ない

LV-800 の最大登坂能力は 60 度 (前掲表 1-1) とされているが、急傾斜地では旋回が困難となる。さらに急傾斜地 (20 度以上) では粉碎作業を行いながらの横走は転倒、機体スライドの危険があり、オペレータの操作負担が大きい。したがって凹凸の少ない斜面勾配 20 度以下の緩斜面地への導入が理想的である。

礫や岩がある場所は、ローター刃の損傷、礫の飛散が発生するため LV-800 には適さない。

伐採後の切株は LV-800 の地拵え作業工程に影響を与える。走行するのに支障となり、粉碎するには時間が掛かりすぎる。切株が低いことが理想であり、皆伐地の切株の多い現場には適さない。

LV-800 は主伐時点で、緩傾斜かつ礫・岩の無い現場が分っていればパワフルに活躍できる機械である。



図 1-15 LV-800 導入の立地条件

### (2) 導入検討の要点

#### ① 導入は林業のサイクルとして検討

LV-800 の地拵えは、平滑な林床を形成することが可能となる (写真 1-20)。人力地拵えと LV-800 地拵えにはコストに大きな差はないが、人力地拵えで筋状の棚が形成された林地にするか、LV-800 で平滑な林地にするかが導入のポイントとなる。

林業を“植えて → 育てて → 伐採して → 再び植える”といった林業サイクルの中で、どのように考えるかによって平滑な林地にするかが決まる。林業の理念にも係る事項である。

#### ② 有効な導入法

地拵えは皆伐作業後に実施する。素材生産をする者 (事業体の班等) は、地拵えのことを考えて「どの程度の枝条だったら残して良いか」、「切株の高さは地際伐りか、高伐りか」等の情報を共有し、地拵えの処理 (機械地拵え、LV-800 等) が容易な状態にすることが重要である。

枝条をも粉砕する LV-800 の地拵え導入は、「LV-800 は適用できるところ（緩傾斜かつ礫・岩の無い）にスポット的に導入する」という「グラップル仕様機械地拵えとセットで、LV-800 が稼働可能な場所のみ」とすることが理想的である（図 1-16）。

また、LV-800 は粉砕型の機種であるため、枝条が乾燥している時期に適している。グラップル仕様の機械地拵えは枝条等が乾燥しすぎるとグラップル作業で枝条が砕けてしまうため、伐採直後で枝条に粘りがある時期に適している。LV-800 はひと夏過ぎの下草や灌木等が発生した後でも粉砕できる。



写真 1-20 LV-800 地拵えによる平滑な林床

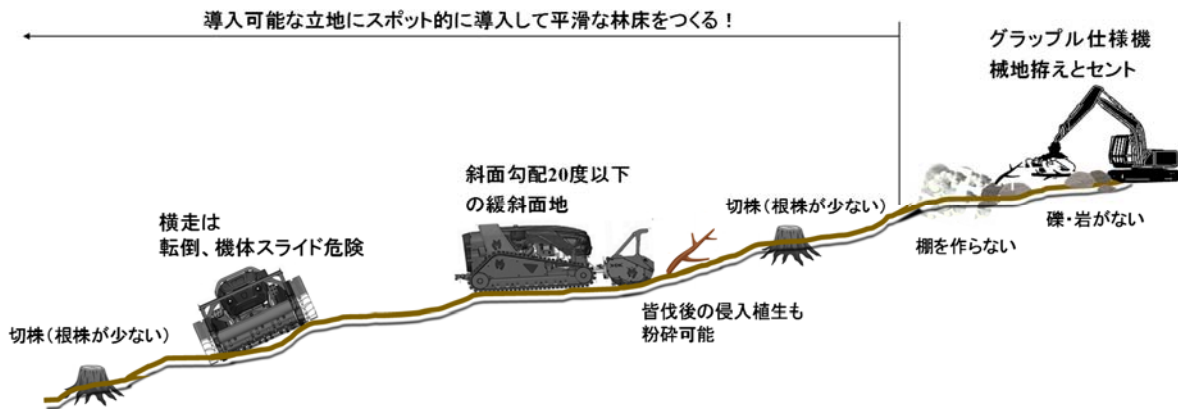


図 1-16 有効な LV-800 導入

### 5-7 今後の展望

本実証事例の施業地ではバイオマス用材は可能な限り採材し、細い梢や枝を集積しないように散在していた。枝条を林床に散在させながら平坦な林床の仕上げを行う地拵えの事例として、今後の展開を期待させる挑戦であった。

さらに、平坦な林床の仕上げを行うことで、この後の植生回復速度に影響するため、下刈の軽減と合わせて期待できる。

粉砕型の機械であるため、伐採後 1~2 年間放置され、灌木や草本が侵入した林地にも適用可能と考えられる。

また、今回導入した LV-800 より大きい機種（LV-1000 等）が導入されれば、粉砕作業の効率は高まる可能性がある。

林地の条件や回数を重ねることで、効率的な地拵えに寄与する手法（技術）となることを期待する。



実証2

# 第11章 佐久森林組合

## ラジコン式草刈り機





## ラジコン式草刈り機 (RJ703 神刈)

- 実施事業体 : 佐久森林組合  
 事業名 : 造林省力化実証事業  
 先端技術 : ラジコン式草刈り機  
 使用機械 : 株式会社アテックス RJ703 神刈 <https://atexnet.co.jp/>  
 取扱社 : 株式会社アクティオ <https://www.aktio.co.jp/products/model/s/120223/>  
 実施地 : 佐久市協和字細尾沢 3596-178 他 (2165 林班は小班 7, 8)

### Ⅱ-1 草刈り機

草刈り機は、株式会社アテックス（愛媛県）の RJ703 神刈で（写真 2-1）、株式会社アクティオがレンタルを行っている。

草刈り機（以下：「RJ703 神刈」）の緒元は表 2-1 となっている。刈幅 700mm（写真 2-2）で、ラジコン（プロポーショナル：送信機コントローラー）による遠隔操作によって稼働する。

表 2-1 RJ703 神刈緒元

型式	RJ703 神刈	
刈幅 (mm)	700	
使用最大傾斜角度 (度)	前後：25 左右：45	
最高速度 (km/h)	3.1	
燃料	無鉛ガソリン	
燃料タンク容量 (L)	11	
寸法	全長 L (mm)	1,515
	全幅 W (mm)	1,110
	全高 H (mm)	785
質量 (kg)	365	

株式会社アクティオ

<https://www.aktio.co.jp/products/model/s/300366/>



写真 2-1 草刈り機 RJ703 神刈



写真 2-2 刈幅 700 mm  
デモンストレーション時 (2025. 10. 2)

## Ⅱ-2 実証調査

### 2-1 実証調査概要

調査実施日	： 令和7年（2025年）10月2日（木）		
	： ビデオカメラ（ソニー社 Handycam）3台、		
調査機材	： GoPro（カメラ）1台 草刈り機装着		
	： GNSS受信機（DG-PRO1RW）草刈り機装着		
	： ドローン（Dji Phantom 4 Pro）1台		
面積	： 0.17ha		
地表状況	： 凹凸小、礫なし、傾斜0～30度 平均6.8度（草刈り方向傾斜度）		
植生	： 草本優占区（タケニグサ、ススキ）	： 実施面積0.07ha	： 視界不良
	： ササ優占区（クマイザサ）	： 実施面積0.10ha	： 視界良好
植栽状況	： カラマツ（1年目：2025年5月上旬150ccポット苗）平均高50cm		
	： 植栽間隔4.0m（斜面上下間隔）、1.25m（斜面横間隔）		
草刈り	： 植栽木に沿って（間隔4.0m内）、草刈り幅70cm（仕様）		
オペレータ	： 男性技能職員（実務経験2年、当該機械使用初回）		
記録時間	： 草本優占区（タケニグサ、ススキ）	： 10時45分～12時01分（1:16:32）	
	： ササ優占区（クマイザサ）	： 13時44分～14時26分（0:29:36）	

### 2-2 実施地

実施地は、佐久市望月支所から南南西に12.8km、佐久市協和字細尾沢3596-178他（2165林班は小班7、8）に位置し、蓼科高原北部の標高1,139～1,166m、傾斜0～30度、平均10度の緩斜面で、林地面積4.6ha（ドローンオルソ計測）のカラマツ植栽1年目の再生林地である（図2-1）。

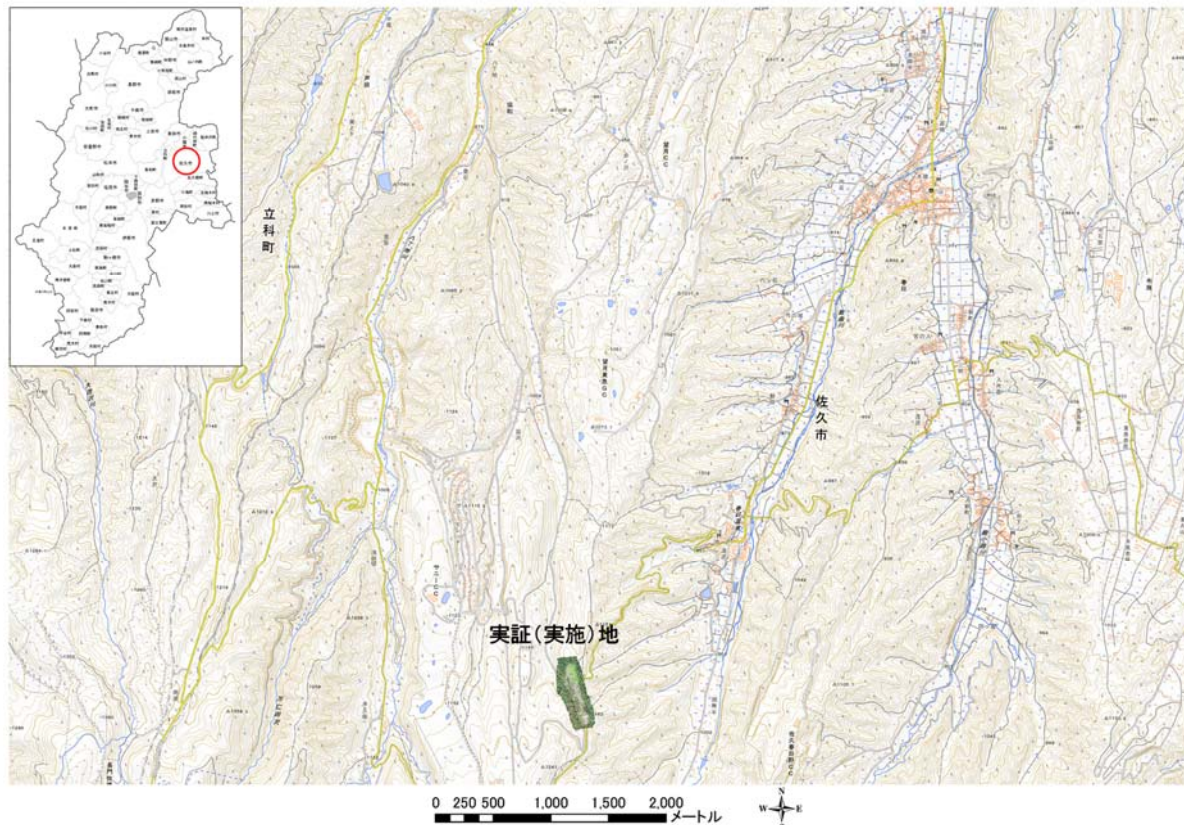


図2-1 実証（実施）位置図（実証地はドローンオルソ画像）



### 2-3 実証調査方法

#### (1) 予備調査

##### ① ドローン地形情報取得

予備調査として令和7年(2025年)9月30日に施工前の状況をドローン(Dji phantom4)により空撮を行い、オルソ画像を作成した(図2-2)。

##### ② 植生調査

造林地全域はおおよそ稈高30cmのクマイザサ(以下:「ササ」)優占のササ優占区域とススキ・タケニグサ優占の草本優占区域となっていたため、ドローン空撮と同日に植生の調査を行った。

#### (2) ビデオ記録と軌跡

調査はビデオカメラ記録法を用いた。ビデオカメラ(ソニー社 Handycam)3台のうち、1台は対象機械に沿って追尾記録し(写真2-3)、2台は三脚に設置して遠隔で記録するとともに、ドローン(Dji phantom4)を用いて上空から施工状況を記録した(写真2-4)。草刈り機械(以下:「RJ703 神刈」)にビデオカメラ(GoPro)1台を装着して記録した(写真2-5)。

RJ703 神刈の移動状況を把握するためGNSS受信機(DG-PRO1RW)を装着して軌跡を記録した(写真2-5)。

さらに、作業終了時にオペレータ及び現場管理者から機械操作の感想、当該草刈り作業の所見等をビデオ記録した。



図2-2 施工前(造林地全域) 2025.9.30 ドローン撮影



写真2-3 ビデオ記録状況



写真2-4 ドローン空撮(Dji phantom4)



写真2-5 ビデオカメラ(GoPro)とGNSS受信機(DG-PRO1RW)

## 2-4 調査の実施

### (1) 調査日

令和7年(2025年)10月2日(木)にRJ703 神刈が現地に搬入され、搬入(午前8時)から2時間デモンストレーション稼働(アクティオ担当者)とオペレータの練習を造林地上部のササ優占区林地で行った(写真2-6)。

その後、草本優占区(タケニグサ、ススキ)の林地で10時45分~12時01分(1:16:32)、ササ優占区の林地で13時44分~14時26分(0:42:15)の実証稼働を行った。



写真2-6 アクティオ担当者によるデモンストレーション稼働(左)とオペレータ事前訓練(右)

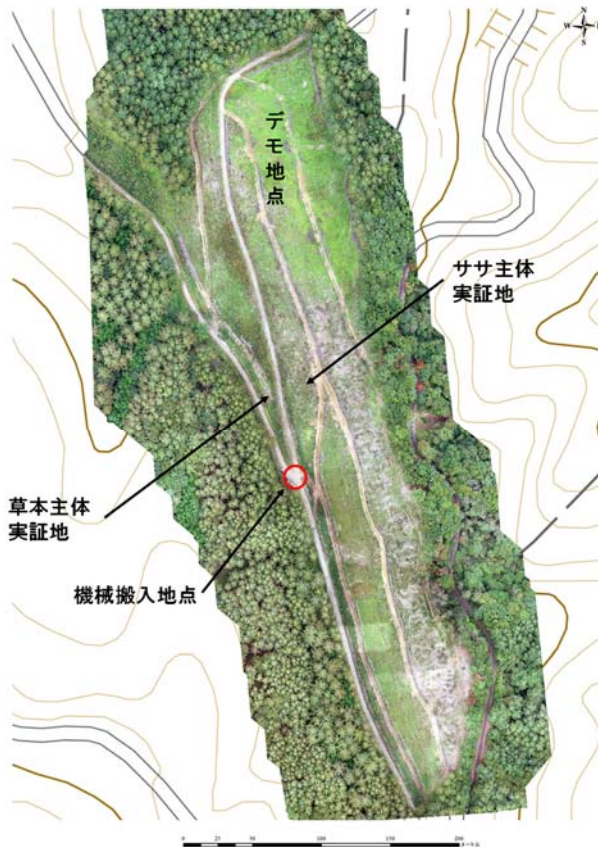


図2-3 RJ703 神刈稼働地点

### (2) 調査箇所

調査箇所は車両系システムによるカラマツ林皆伐後のカラマツ再造林1年目(2025年5月上旬150ccポット苗)の林地で、区域全域のうち西端に位置し(図2-3)、傾斜0~30度、平均10度、地表面は凹凸が少なく、石礫がない地表面であった。



### 2-5 分析

#### (1) 工程分解

ビデオカメラ記録動画から草刈り工程のうち、作業種（ここでは作業手順や機械の動作）別に1秒単位で分解した。

#### (2) 作業量

作業量は、予備調査で取得したドローンオルソ画像とGNSS機械軌跡記録から稼働した面積を求めた。

#### (3) 生産性と費用

工程分解から日当りの作業量（面積：ha）を求め、生産性とした。さらに、日当りのRJ703神刈の作業システムのコスト（費用）試算を行った。

## Ⅱ-3 結果

### 3-1 植生

#### (1) 植栽カラマツ

植栽カラマツは、令和7年（2025年）5月上旬に150ccコンテナ苗木により植栽され、斜面方向（縦）4.0m、斜面直角方向（横）1.25mの間隔となっている（写真2-7）。

調査時点でのカラマツ樹高は平均50cmに達している。調査区域は草本優占区とササ優占区に大別されるが、現時点でカラマツの成長に差は認められない（写真2-8）。



写真2-7 カラマツ植栽間隔



写真2-8 草本優占区のカラマツ（左）とササ優占区のカラマツ（右）

(2) 草本優占区

草本優占区はタケニグサ（茎高平均2.0m、最大2.4m）とススキ（茎高平均1.8m）が優占し（写真2-9）、ヨウシュヤマゴボウ（茎高平均1.0m：写真2-10）、ワラビ（平均20cm）などが林縁部に生育していた。木本類ではクマイチゴ、モミジイチゴ等が生育しているが、幹高は10cm程度となっていた（表2-2、図2-4）。

表 2-2 草本優占区の植生（草刈り対象種）

区 域	種 (SP)	平均高 (cm)	被度	備考	
タ ケ ニ グ サ 優 占	植栽木	カラマツ	50	2025年5月上旬植 150ccコンテナ苗	
	木本	クマイチゴ	10	3	
		モミジイチゴ	10	2	
		カラマツ (実生)	10	2	
		ナガバモミジイチゴ	10	1	
		ウリハダカエデ	10	1	
		サンショウ	10	1	
		アカマツ (実生)	10	+	
		コナラ	10	+	
		ヤマハギ	5	+	
	草本	タケニグサ	200	5	Max2.4m
		ススキ	180	3	
		ヨウシュヤマゴボウ	100	2	
		ワラビ	20	2	
		ヒメジオン	20	+	
		リンドウ	20	+	
		メマツヨイグサ	20	+	
		ノコンギク	20	+	
		トモエソウ	20	+	
ネギナタコウジュ		20	+		
マムシグサ	20	+			
アザミ SP	20	+			



写真 2-9 草本優占区のタケニグサ（左）とススキ（右）



写真 2-10 草本優占区のヨウシュヤマゴボウ



写真 2-11 ササ優占区の状況

### (3) ササ優占区

ササ優占区はクマイザサが広く優占している（稈高平均 30cm：写真 2-11）。その他木本類はクマイチゴ、モミジイチゴ、タラノキ、カラマツ（実生）が幹高 10～30cm で生育していた。草本類はタケニグサ、ススキ、ヨウシュヤマゴボウ、ワラビ、ノコンギクが散在して生育していた（表 2-3、図 2-4）。

表 2-3 ササ優占区の植生（草刈り対象種）

区 域	種 (SP)	平均高 (cm)	被度	備考	
ク マイ ザ サ 優 占	植栽木	カラマツ	50	2025年5月上旬植 150 ccコンテナ苗	
		クマイザサ	30	5	背面に毛(ミヤコササには無)
		クマイチゴ	10	2	
		モミジイチゴ	10	2	
		タラノキ	30	2	
		カラマツ (実生)	10	2	
	木本	ナガバモミジイチゴ	10	1	
		ウリハダカエデ	10	1	
		サンショウ	10	1	
		コナラ	10	+	
		ヤマハギ	5	+	
		イヌツゲ	5	+	
	草本	タケニグサ	150	1	
		ススキ	150	2	
		ヨウシュヤマゴボウ	100	2	
	ワラビ	20	2		
	ノコンギク	20	+		

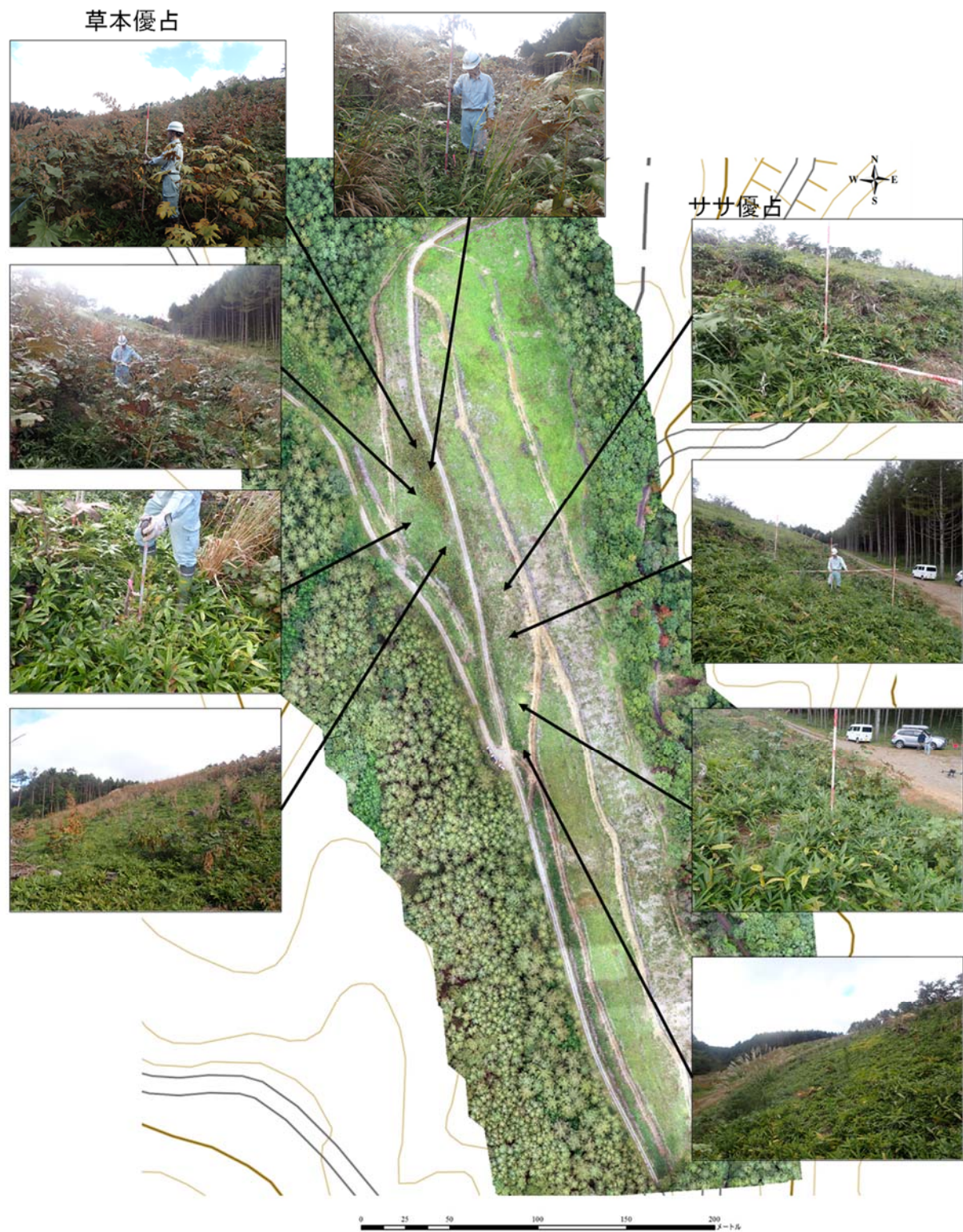


図 2-4 調査区域の植生状況

### 3-2 実施状況

#### (1) オペレータ

RJ703 神刈りのオペレータは、RJ703 神刈り操作は初めての佐久森林組合男性技能職員（入社 2 年目）であった（写真 2-12 右）。



(2) 草刈り

RJ703 神刈による草刈りは、カラマツ植栽間隔の 4m 内を植栽木に沿って斜面に対して横方向に前進しながらである。斜面に対して縦移動の草刈り作業は行われなかった(図 2-6、写真 2-12)。刈り幅 70cm であるが、カラマツ植栽間隔の 4m 内の稼働であるため、筋状草刈りまたは全面草刈りに相当し(図 2-5)、坪刈りには該当しない作業であった。

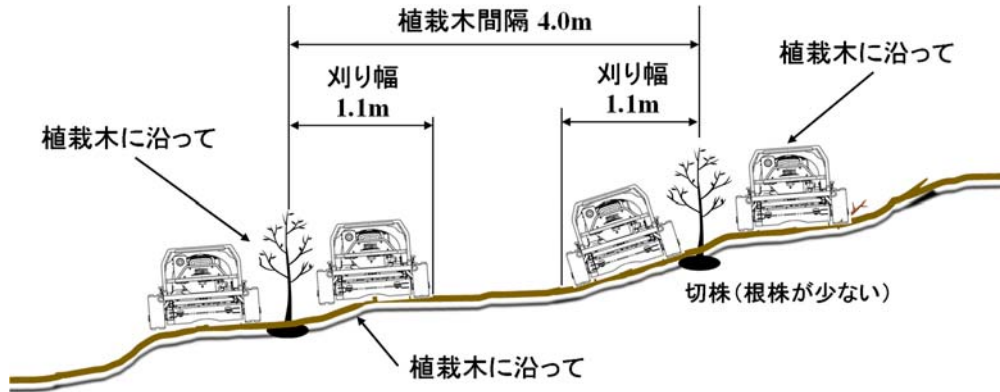


図 2-5 実証草刈りのイメージ

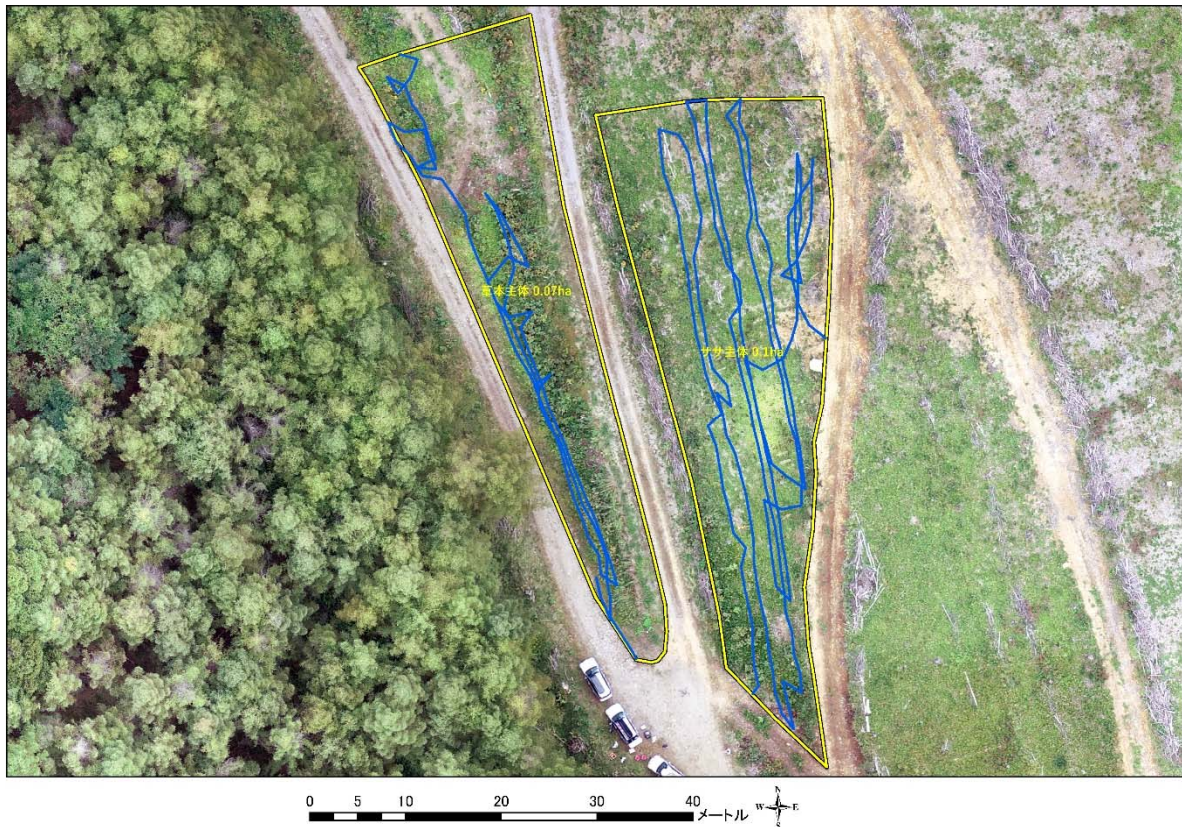


図 2-6 対象区域と RJ703 神刈の稼働(移動)軌跡

RJ703 神刈の草刈り時は、機体前後 5m 程度は刈草等の飛散があり、危険であるためオペレータは RJ703 神刈の進行・後退方向には原則位置しない。また、斜面下部にも位置しない操作が原則とされているが、草本優占区では植栽木の位置が見えにくい状況にあり、頻繁に植栽木を確認する動作が見られ、一時的には機械よりも下方に位置する場面があった(写真 2-13)。

見通しが悪い草本優占区では、切株(高さ 9cm、根本径 10cm)に乗り上げ、プロポ遠隔操作では脱出できない状況が 2 回発生した。脱出には 4~5 名により RJ703 神刈を持ち上げての回

## 第Ⅱ章 ラジコン式草刈り機

復であった（写真 2-14）。また、直径 5cm 以上の残置された枝等に乗りに上げた場合に走行が停止する場面が認められた（写真 2-15）。

一方、見通しの良好なササ優占区は、オペレータも安全な位置での操作を行っていた（写真 2-16）。



写真 2-12 草本優占区（左）とササ優占区（右）



写真 2-13 機体より下方に位置するオペレータ



写真 2-14 乗り越えた切り株

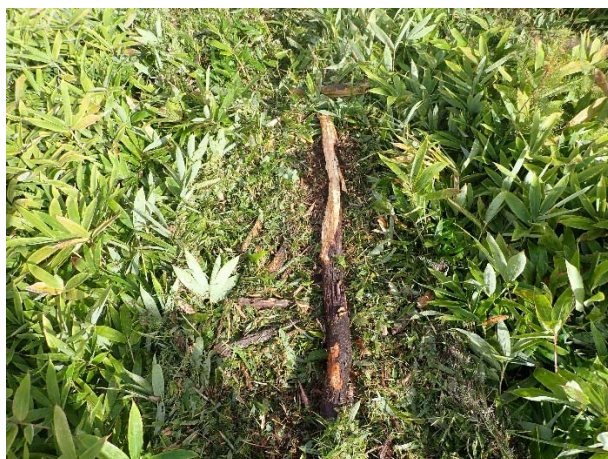


写真 2-15 草刈り機で削られ残った枝



写真 2-16 ササ優占区での安全な操作



### 3-3 工程結果

#### (1) 工程の定義

草刈り工程の作業種を表 2-4 と定義した。なお、工程時間は総作業時間（SMH : Scheduled Machine Hour)とした。

表 2-4 草刈り工程の作業種

区分	作業種	作業種細分
大区分	準備等	準備・始動及びエンジン停止
	移動	前進・後退・方向転換及び斜面移動（スライド）
	草刈り作業	草刈実時間
	静止等	静機械静止・作業確認・トラブル対応
	休憩	機械を停止しての休憩
詳細区分	斜面移動（スライド）	機械の想定以外の斜面スリップ
	トラブル対応	切株に乗り上げ自走脱出不可の対応

#### (2) 工程分解時間

##### ① 総工程（時間：1:46:08）

草本優占区では 10 時 45 分～12 時 01 分（1:16:32）、ササ優占区では 13 時 44 分～14 時 26 分（0:29:36）、記録時間は 1 時間 46 分 08 秒であった。

作業工程大区分による内訳は、準備等 6.2%、移動 37.7%、草刈作業 46.5%、静止等 7.5%、休憩 2.2%であった（図 2-7）。

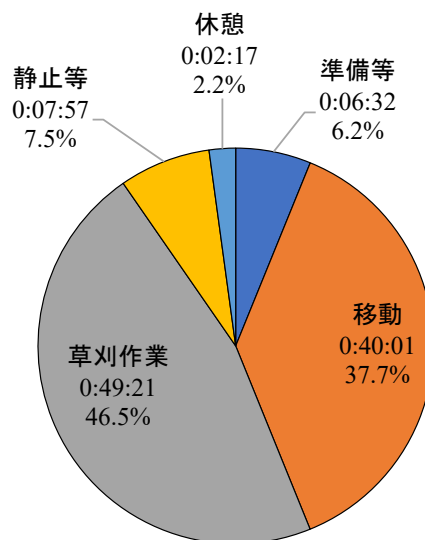


図 2-7 総作業工程大区分の時間割合

小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

作業工程詳細区分では、移動等の細分として前進 9.7%、後退 7.2%、方向転換 20.7%、斜面移動（スライド） 0.1%で、移動・草刈を含めた RJ703 神刈の稼働時間は全体の 84.2%であった（図 2-8）。

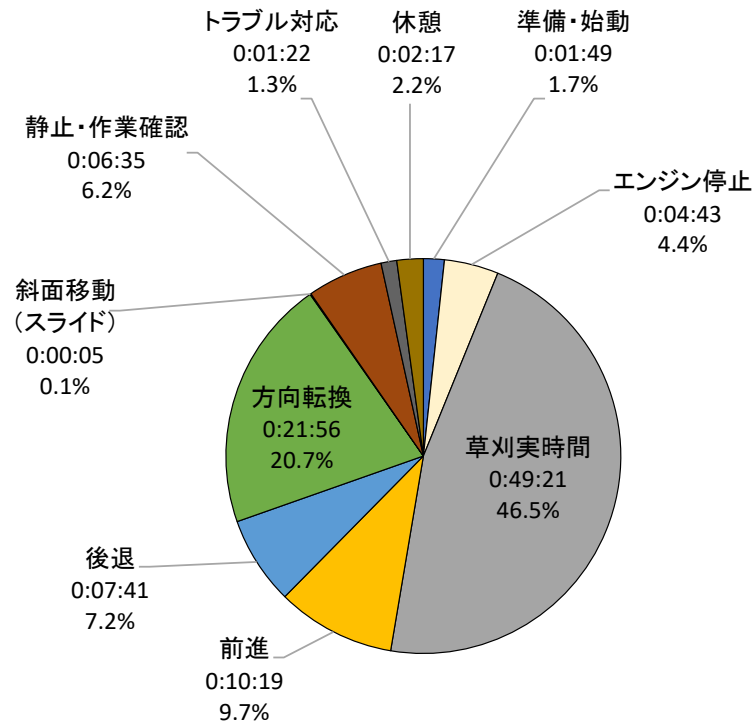


図 2-8 総作業工程詳細区分の時間割合

### ② 草本優占区（時間：1:16:32）

草本優占区の 1 時間 16 分 32 秒の作業工程大区分による内訳は、準備等 8.3%、移動 34.1%、草刈作業 46.6%、静止等 8.1%、休憩 3.0%であった（図 2-9）。

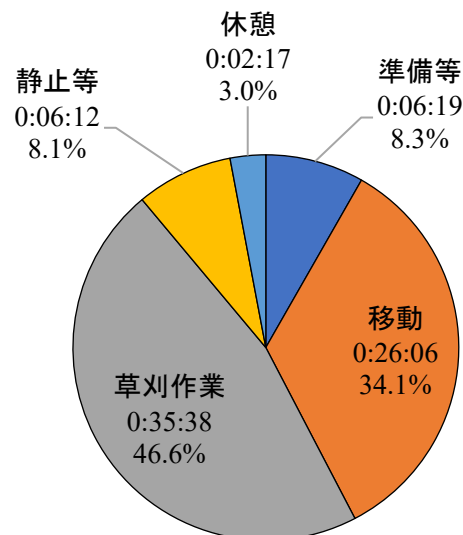


図 2-9 草本優占区の作業工程大区分時間割合

小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

## 第Ⅱ章 ラジコン式草刈り機



作業工程詳細区分では、移動等の細分として前進 9.4%、後退 6.6%、方向転換 18.0%、斜面移動（スライド） 0.1%で、移動・草刈を含めた RJ703 神刈の稼働時間は全体の 80.7%であった（図 2-10）。

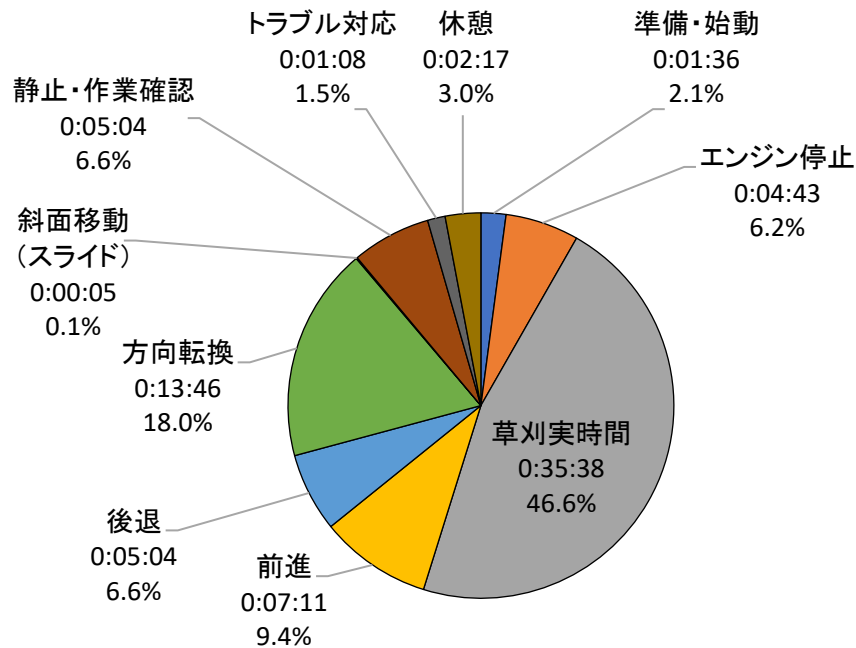


図 2-10 草本優占区の作業工程詳細区分時間割合  
小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

### ③ ササ優占区（時間：0:29:36）

ササ優占区の 29 分 36 秒の作業工程大区分による内訳は、準備等 0.7%、移動 47.0%、草刈作業 46.3%、静止等 5.9%であった（図 2-11）。

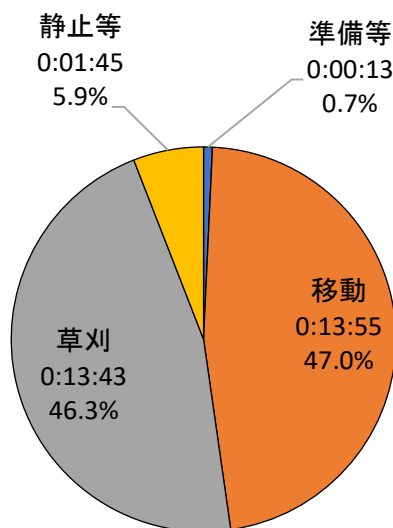


図 2-11 ササ優占区の作業工程大区分時間割合  
小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

作業工程詳細区分では、移動等の細分として前進 10.6%、後退 8.8%、方向転換 27.6%で、移動・草刈を含めた RJ703 神刈の稼働時間は全体の 93.3%であった（図 2-12）。

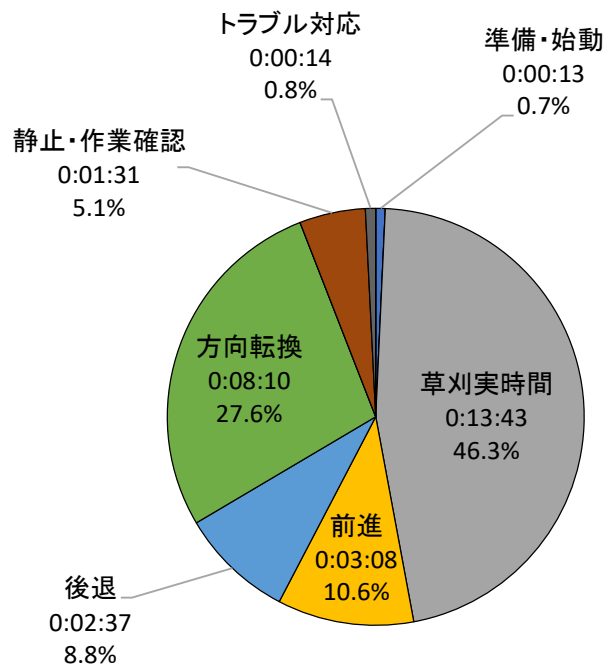


図 2-12 ササ優先区の作業工程詳細区分の時間割合  
 小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

### (3) 植生の違いによる工程差

#### ① 作業工程大区分

草本優占区とササ優占区の作業工程大区分による時間は図 2-13 であった。作業工程割合は Spearman 順位相関<sup>※2-1</sup>係数 (rs=0.800)、両側検定 p=0.1.10 となり、有意水準 5%の相関関係は認められなかった。

※2-1 Spearman 順位相関：2つの変数の順位に基づいて、その単調な関係性の強さと方向を示す統計量で、正規分布を仮定しないノンパラメトリックのため、データが正規分布しない場合や外れ値の影響を受けにくい場合に有効。

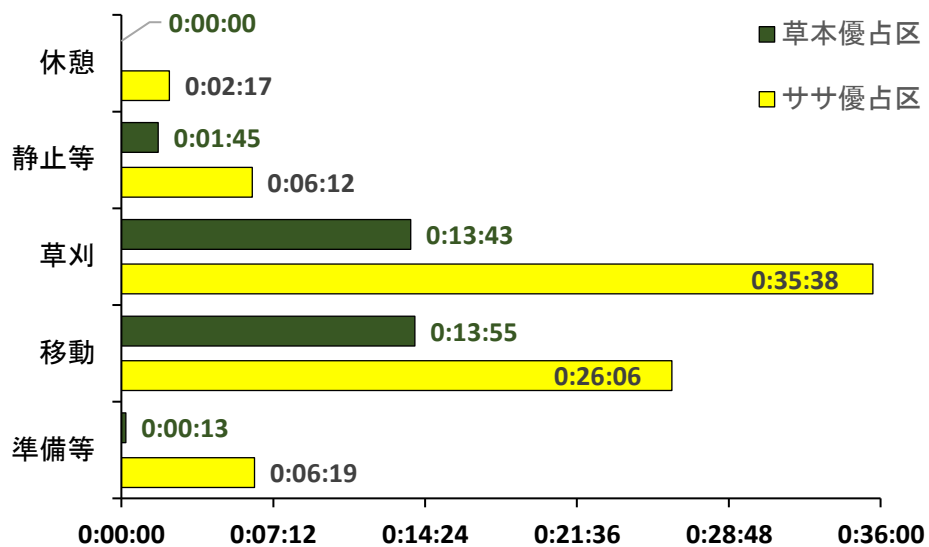


図 2-13 草本優占区とササ優占区との作業時間比較

## 第Ⅱ章 ラジコン式草刈り機



散布図を作成すると図 2-14 となった。草刈実時間割合は草本優占区とササ優占区ともほぼ同じであるが、前進・後退・方向転換及び斜面移動（スライド）といった機械移動がササ優占区の作業割合が高い。

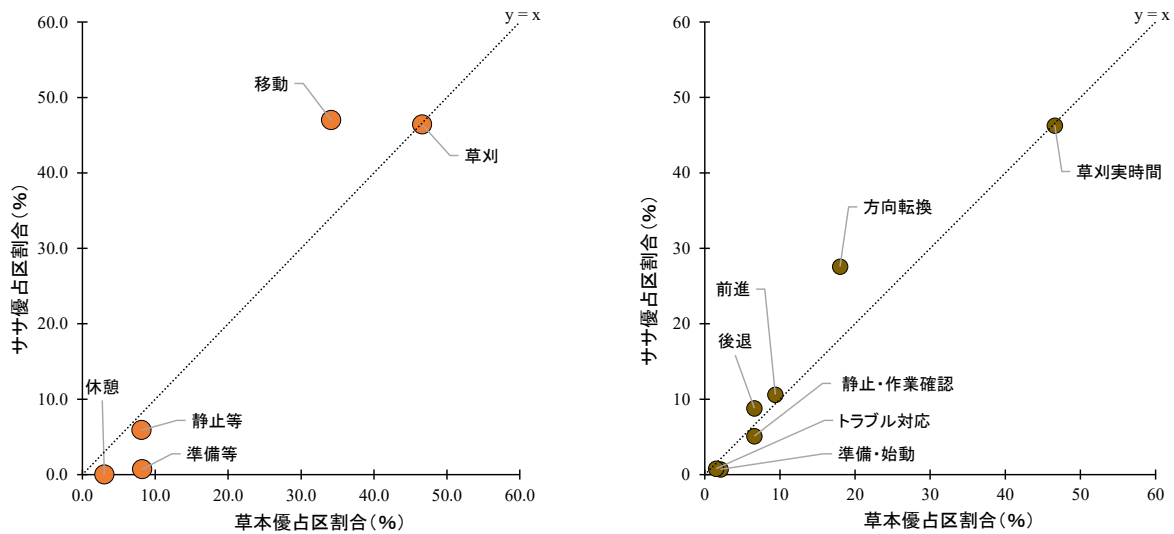


図 2-14 草本優占区とササ優占区との作業工程割合（左）と工程詳細区分の比較（右）

### ② 作業工程詳細区分

作業工程詳細別の割合で示すと図 2-15 となった。作業工程詳細区分の割合は Spearman 順位相関係数 ( $r_s = 0.852$ )、両側検定  $p=0.011$  となり、有意水準 5%の相関関係が認められた。原点 (0, 0) 直線回帰式を作成すると図 2-14 (右) となった。

草刈実時間割合は草本優占区とササ優占区ともほぼ同じで、大区分の移動のうち前進・後退の機器移動は同じであったが、方向転換がササ優占区の作業割合が高い。

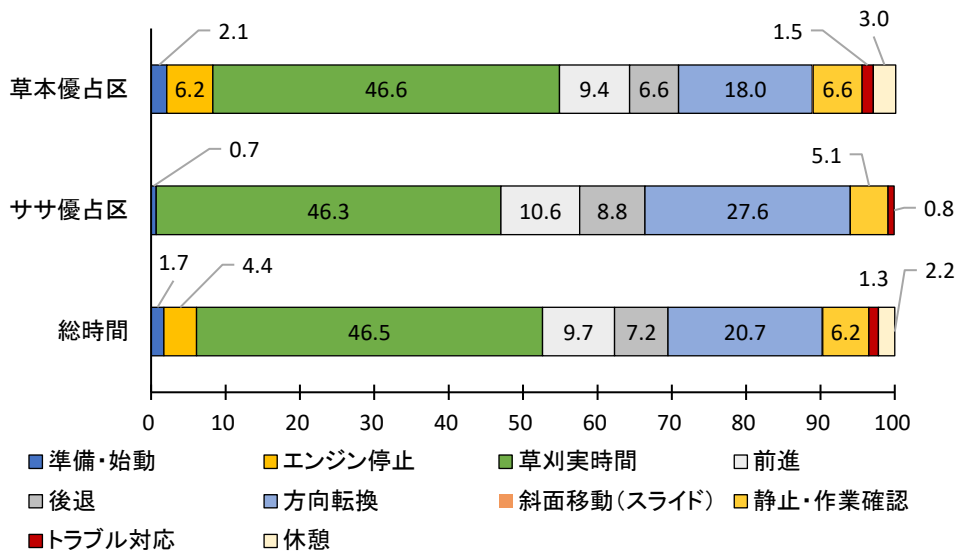


図 2-15 草本優占区とササ優占区の作業時間割合による比較

③ 実植生の違いによる実施面積と作業時間

作業工程割合について草本優占区とササ優占区に差があるかを Mann-Whitney-U 検定<sup>※2-2</sup>に供すると、草本優占区とササ優占区とも有意水準 5%で全ての仮説が棄却 (U-Value=39、両側確率  $p=0.405$ ) され、作業工程割合の統計的差は認められなかった。作業割合ではほぼ同程度であったと言える。

※2-2 Mann-Whitney-U 検定：対応のない2つの独立したグループ（例：草本優占区とササ優占区）の中央値（代表値）に差があるかを調べるノンパラメトリック検定。ここでは「草本優占区の方が大きい値を与える傾向がある。」、「ササ優占区の方が大きい値を与える傾向がある。」、「草本優占区とササ優占区のどちらかが成立する。」との仮説により、有意水準 5%で全ての仮説が棄却された。

実施面積では、草本優占区の実施面積 0.07ha に対しササ優占区は 0.10ha と 1.4 倍、総作業時間では草本優占区の 1 時間 16 分 32 秒に対しササ優占区は 29 分 36 秒と 0.4 倍であった。

本事例における草本優占区の 1 ha を実施する時間を推計すると 18 時間 12 分 58 秒 ( $y=0.759x$ )、ササ優占区は 4 時間 56 分 38 秒 ( $y=0.206x$ ) となり、ササ優占区は草本優占区の 3.7 倍の効率となる。草本優占区とササ優占区の総作業時間で 1 ha を実施する時間を推計すると 10 時間 24 分 58 秒 ( $y=0.434x$ ) となる。草本優占区は総時間の 1.7 倍を要し、ササ優占区は総時間の 2 分の 1 倍 (0.5 倍) となる (図 2-16)。

RJ703 神刈の草刈り作業は、植生の種類（草本、木本、ササ等）、特に植生繁茂と植生高による視界確保によって大きく差が生じるものと推察される。

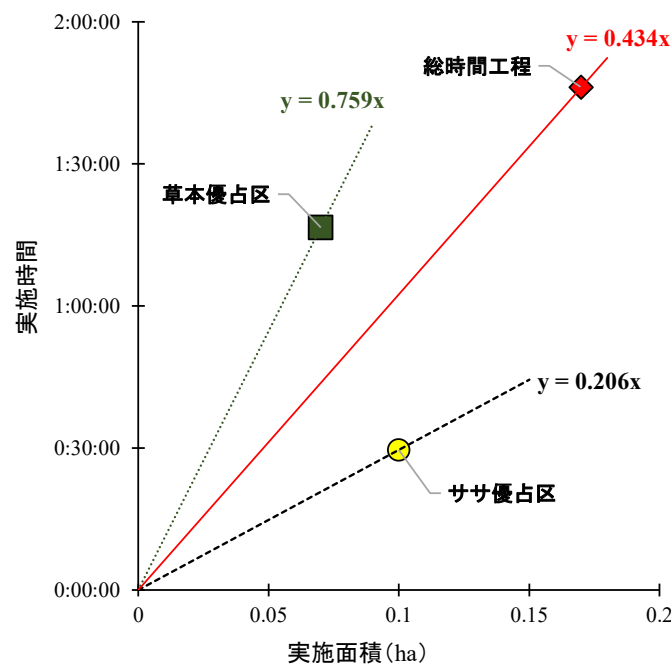


図 2-16 実施面積と実施時間の関係



## Ⅱ-4 作業量と費用

### 4-1 作業量

#### (1) 作業量

実証調査の時間分解結果を基に林業生産活動の基準となる日当り 6 時間として、草刈り面積を換算した (表 2-5)。

- ◆ 草本優占区の草刈り面積は、1 日当り 0.33ha
- ◆ ササ優占区の草刈り面積は、1 日当り 1.22ha
- ◆ 総工程の草刈り面積は、1 日当り 0.58ha

表 2-5 実証調査の時間分解結果による単位当りの換算値

機種	植生	区分	平均斜 面勾配 (度)	日	作業時間						地拵え 面積 (ha)
					総作業時間 (SMH : Scheduled Machine Hour)						
					総稼働	準備等	移動	草刈り	静止	休憩	
神刈	草本優占	実証		0.2	1:16:32	0:06:19	0:26:06	0:35:38	0:06:12	0:02:17	0.07
		日換算 (6時間)	8.7	1	6:00:00	0:29:43	2:02:46	2:47:37	0:29:10	0:10:44	0.33
		面積換算 (ha)		3.0	18:10:55	1:30:02	6:12:02	8:27:55	1:28:23	0:32:33	1.00
神刈	ササ優占	実証		0.1	0:29:36	0:00:13	0:13:55	0:13:43	0:01:45	0:00:00	0.10
		日換算 (6時間)	3.5	1	6:00:00	0:02:38	2:49:15	2:46:49	0:21:17	0:00:00	1.22
		面積換算 (ha)		0.8	4:56:03	0:02:10	2:19:11	2:17:11	0:17:30	0:00:00	1.00
神刈	総工程	実証		0.1	1:46:08	0:06:32	0:40:01	0:49:21	0:07:57	0:02:17	0.17
		日換算 (6時間)	6.1	1	6:00:00	0:22:10	2:15:44	2:47:24	0:26:58	0:07:45	0.58
		面積換算 (ha)		1.7	10:23:55	0:38:24	3:55:15	4:50:07	0:46:44	0:13:25	1.00

#### (2) 単位面積当り換算

1 日当りの結果から単位面積 1ha を実施する日数を換算した (表 2-5)。

- ◆ 草本優占区の草刈り 1ha 当りの日数は、1ha 当り 3.0 日
- ◆ ササ優占区の草刈り 1ha 当りの日数は、1ha 当り 0.8 日
- ◆ 総工程の草刈り 1ha 当りの日数は、1ha 当り 1.70 日

4-2 作業システムのコスト試算（費用）

(1) 作業システム

RJ703 神刈の作業は基本オペレータ 1 名であるため、基本人員は、特殊運転手 1 名となる。

(2) 単位

作業システムのコスト試算を行う場合、単位を設定する必要がある。草刈りは面的に実施するため、単位は面積 (ha) が基準となる。

(3) 機械価格

機械価格はオープン価格<sup>※23</sup>であるが、RJ703 神刈の価格は 400 万円前後といわれている。

※2-3 販売する商品に対してメーカー側が希望小売価格を具体的に定めていないもの。

(4) 計算式

コスト計算は、「全国林業改良普及協会編 (2001) 機械化のマネージメント」、「日本林業技士会 (2009) 低コスト作業システム構築事業 事業報告書」に示される計算式を準用した (表 2-6)。

コスト計算は時間を単位計算基礎単位とし、「固定費 (円/時)」に 6 時間 を乗じ単位を“日”とし、人員単価 (公共労務基礎単価) を加算して「〇〇円/日」とした。この費用に面積換算日数 (前掲：表 2-5) を乗じて単位面積当たりの費用とした。

表 2-6 コスト計算因子

項目	機械価格 (千円)	燃料消費 量 Q(l/h)	燃料価格 (円)	耐用時間 (時間)	耐用年数 法定(年)	耐用年数 経済寿命 (年)	年間稼働 日数(日)	年間稼働 時間 (時間)	実働時間 (時間)	償却費率 (残存率)	保守・修理 費率	固定費 (円/時)
記号	A	Q	T1	O1	n	O	Nx	Nh	H	γ	εA + εB	P
項目	管理費率	機材消耗 品費 (円/ha)	工期 (ha/時)	償却費 (円/時)	管理費 (円/時)	資本回収 係数	資本利子 (円/時)	保守修理 費(円/時)	燃料油脂 費(円/時)	機材費 (円/時)	固定費 (資本利子除く) (円/時)	
記号	εc	D	C	B	W	i	V	X	T	R	P1	

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

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

(5) 試算の適用項目

「全国林業改良普及協会編 (2001) 機械化のマネージメント」、「日本林業技士会 (2009) 低コスト作業システム構築事業 事業報告書」に記載されている機械は発刊当時の林業用機械で、最新は 2009 年の「低コスト作業システム構築事業 事業報告書」で、それ以降の改訂や検討がなく、本作業システムが適用できる機種の記事がない。そこで、計算式に示される各計算因子について次を根拠とした (表 2-7: 次ページ)。

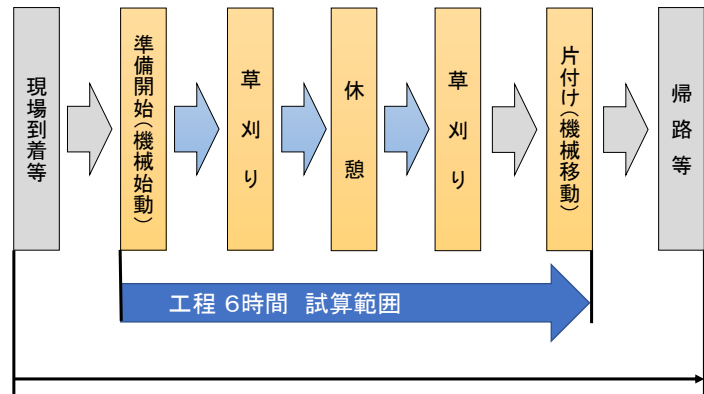


図 2-17 RJ703 神刈草刈り作業試算の範囲

## 第Ⅱ章 ラジコン式草刈り機



「機械価格」はオープン価格（前ページ）、「燃料消費量」は聞き取り調査値、「燃料価格」は最新の長野県佐久地方のガソリン単価、「工期」は実装試験の面積換算値、その他の因子は「令和7年版 治山林道必携 積算・施工編 森林整備保全事業標準歩掛 標準歩掛建設機械損料算定表」に示される最新の類似機械（小型遠隔装置草刈機械）の値を用いた。

稼働時間は、6時間を基準とした（図2-17）。

人件費は、特殊運転手1名の基本労務費（8時間）を実働時間6時間として換算した。

表 2-7 RJ703 神刈費用試算の適用項目

項 目	適 用
機械価格（千円）	オープン価格
燃料消費量 Q (ℓ/h)	実績（11リットル/4時間）
燃料価格（円）	ガソリン 2026年1月5日県単価
耐用時間（時間）	計算値
耐用年数法定（年）	5年
耐用年数経済寿命（年）	標準歩掛建設機械損料算定表 p316 遠隔操作式 7年
年間稼働日数（日）	標準歩掛建設機械損料算定表 p316 遠隔操作式 130日
年間稼働時間（時間）	年間稼働日数×6時間
実働時間（時間）	6時間
償却費率（残存率）	標準歩掛建設機械損料算定表 p316 遠隔操作式 8%
保守・修理費率	標準歩掛建設機械損料算定表 p316 遠隔操作式 40%
管理費率	標準歩掛建設機械損料算定表 p316 遠隔操作式 7%
機材消耗品費（円/ha）	計算値
機材消耗品費（円/時）	計算値
工期（ha/時・人）	実績値から時間あたりに換算した面積 0.0079ha
償却費（円/時）	計算値
管理費（円/時）	計算値
資本回収係数	年利4%と仮定
資本利子（円/時）	計算値
保守修理費（円/時）	計算値
燃料油脂費（円/時）	燃料+重機用グリス
機材費（円/時）	計算値
<b>固定費（円/時）</b>	計算値
固定費(資本利子除く)（円/時）	計算値
変動費（人件費除く）（円/時）	計算値
人件費	オペレータ（円/日）
	公共労務基礎単価(特殊運転手) 6時間換算

(6) 試算結果

① 日当りのコスト (円/日)

日当りの RJ703 神刈の固定費は 1,152 円/時間、システム単価は **31,689 円/日**となった (表 2-8)。

表 2-8 日当りの RJ703 神刈のシステム単価

固定費(円/時)	P	1,152	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	1,031	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	767	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価 6時間換算
人件費	G	20,175	
本システム稼働(円/日)	C	6,912	P×6時間
変動費(円/日)	VC6	4,602	VC×6時間
本システム単価(円/日)	PC1	<b>31,689</b>	G+C+VC6

② 草本優占区の作業面積当りのコスト (円/ha)

草本優先区の 1ha 当りの RJ703 神刈のシステム単価は **96,027 円/ha**となった (表 2-9)。

表 2-9 草本優占区の作業面積当りの RJ703 神刈のシステム単価

固定費(円/時)	P	1,152	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	1,031	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	767	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価 6時間換算
人件費	G	20,175	
生産コスト(円/時)	Z	5,282	
本システム実績工程(ha/時)	C	0.0550	本システム実績
本システム単価(円/ha)	PC1	<b>96,027</b>	Z/C

③ ササ優占区の作業面積当りのコスト (円/ha)

ササ優占区の RJ703 神刈のシステム単価は **26,017 円/ha**となった (表 2-10)。

表 2-10 ササ優占区の作業面積当りの RJ703 神刈のシステム単価

固定費(円/時)	P	1,152	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	1,031	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	767	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価 6時間換算
人件費	G	20,175	
生産コスト(円/時)	Z	5,282	
本システム実績工程(ha/時)	C	0.2030	本システム実績
本システム単価(円/ha)	PC1	<b>26,017</b>	Z/C

④ 総工程の作業面積当りのコスト (円/ha)

RJ703 神刈の総工程の作業面積当りシステム単価は **55,015 円/ha**となった (表 2-11)。

## 第Ⅱ章 ラジコン式草刈り機



表 2-11 総工程の作業面積当りの RJ703 神刈のシステム単価

固定費(円/時)	P	1,152	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	1,031	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	767	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価 6時間換算
人件費	G	20,175	
生産コスト(円/時)	Z	5,282	
本システム実績工程(ha/時)	C	0.0960	本システム実績
本システム単価(円/ha)	PCI	55,015	Z/C

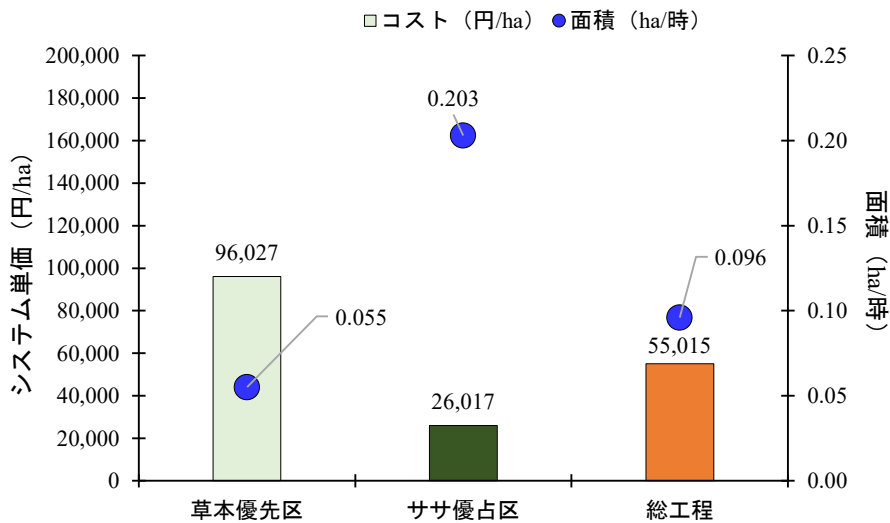


図 2-18 システム単価 (円/ha) と作業面積 (ha/時)

草本優占区、ササ優占区及び総工程のシステム単価 (円/ha) と作業面積 (ha/時) の関係は図 2-18、人件費を含むシステム単価は単位面積当りで 5,281 円の費用が掛かる計算となった (図 2-19)。

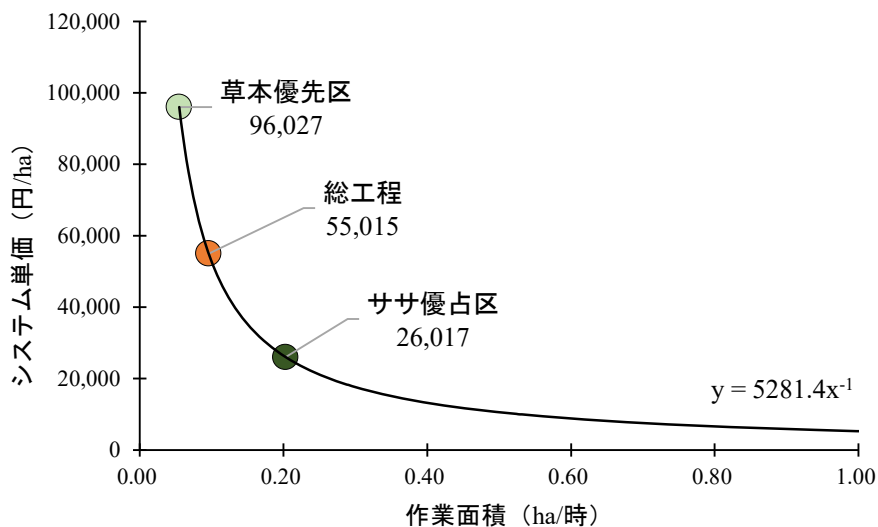


図 2-19 作業面積とシステム単価の関係

## Ⅱ-5 検証評価

本実証事例は図 2-20 の範囲について検証評価を行った。

### 5-1 作業工程

作業工程(順序立てて細かく区切った作業の段階やプロセス)には特段の課題・検討事項はなかった。

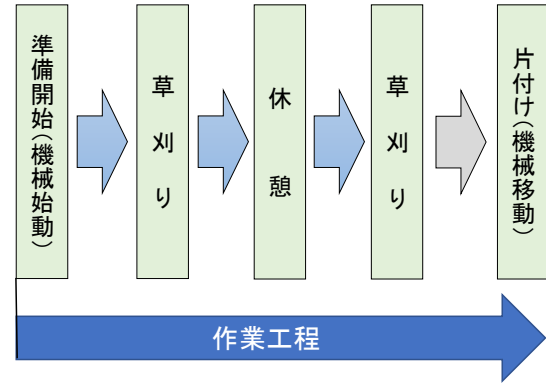


図 2-20 本実証事例の作業工程

### 5-2 施工性

本実証事例の施工性(作業のしやすさ)について「RJ703 神刈の操作性はリモコン操作も良好で機体の反応も良い」とオペレータ技能職員のコメントを受けているが、次の課題または検討すべき事項があった(表 2-12)。

表 2-12 施工性における課題

項目	内容	要因・検討事項
視界の確保	⊙ 草丈が高い所(実証事例の草本優先区)では状況判断、視界が遮られ施工性が劣る	⊙ 視界が遮られた施業地への導入の可否
地表状態	⊙ 横走行の作業となるため、地表の状態によって機体のスライド(横滑り)が発生する。土だけの斜面の方がスライドする幅が大きい	⊙ スライドした場合やしそうな場合は、機体を横から斜めにする操作が必要
操作立ち位置	⊙ 機体下部斜面に位置しない、刈り草が飛散・飛来しない箇所での操作が原則とされているが、植栽木の位置が見えにくい場所では、一時的には機械よりも下方に位置する ⊙ 機械に沿って歩行するだけでなく、斜面の上限歩行、前後歩行が必要	⊙ 安全性とも関連する ⊙ オペレータの体力消耗(労働衛生)への影響
障害物	⊙ 10cm程度の切株、視認できない切株にのりあげ停止が2回。 ⊙ 8cm程度の枝が粉碎できずに停止(通称:噛む)。 ⊙ 石礫がある現場はローターが停止 ⊙ ススキのような大きな根元株を形成する草本種も施工性が劣る ⊙ 低密度で稈高が低いササ地(実証事例のササ優先区)は良好だが、竹林は施工困難 ⊙ 斜面に対して横列の植栽地向きで、通常の面的植栽地(幹距による正方形植え)では導入が難しい	⊙ 施業地の植生、障害物によって施工性が大きく変わる ⊙ 施業地への導入選定項目(留意項目)が多い
緊急対応	⊙ 切株への乗りあげや横転した場合、脱出や整体させるためには複数名が必要	⊙ オペレータ1名でトラブル回避できる方策の検討

#### (1) 視界の確保

下刈り作業は、植栽木の成長を促進するため、植栽木との競争種や成長阻害となる植物を除去する作業である。本実証事例では、背丈の高い草本優先区(写真 2-17)の施工性(作業のしやすさ)に難があった。視界が遮られた施業地への RJ703 神刈の導入の可否判断が重要となる。



### (2) 地表状態

斜面に対し横走行の作業となるため、植生の状態や枝条の有無、土斜面等の地表状態によって機体のスライド（横滑り）が発生する。機体がスライドした場合やしそうな場合は、機体を横から斜めにする操作が必要で、転倒に至らないような操作が必要となる。オペレータ技能職員によると「土だけの斜面の方がスライドする幅が大きく、ササや枝条がある程度ある方がスライドは発生し難い」との感想であった。

### (3) 操作立ち位置

RJ703 神刈の操作にあたっては「機体下部斜面に位置しない」、「刈り草が飛散・飛来しない箇所での操作」が原則とされているが、植栽木の位置が見えにくい場所では、一時的には機械よりも下方に位置しなくてはならない状況が多く認められた。

さらに、機械に沿って歩行するだけでなく、斜面の上下移動、前後歩行が必要を頻繁に行っていたため、操縦者の体力消耗に影響を与えている（写真 2-17）。

これらは安全性、労働衛生に関係する。



写真 2-17 視界不良の草本優占区域  
オペレータ移動が頻繁に必要

### (4) 障害物

本実証事例では、RJ703 神刈の操作にあたっては 10cm 程度の切株、視認できない切株にのりあげ停止が 2 回している。8 cm 程度の枝が粉碎できず（通称：噛む）に停止したり、石礫がある箇所もローターが停止する現象が発生した。さらにススキのような大きな根元株を形成する草本種も施工性が劣った。

これらの状況から、低密度で稈高が低いササ地（実証事例のササ優先区）は良好だが、オペレータ技能職員は「竹林は施工困難」との感想であった。

RJ703 神刈導入にあたっては、施業地の植生、障害物によって施工性が大きく変わるため、施業地への導入選定項目（留意項目）が多い。

### (5) 緊急対応

切株にのりあげ停止や横転した場合には複数名による脱出や整体作業が必要となるが（写真 2-18）、RJ703 神刈の操作にあたってはオペレータ 1 人の作業人員が理想である（参考：後述 p58）。

トラブルが発生した場合のオペレータ 1 名でトラブル回避できる方策の検討<sup>※24</sup>が必要である。



写真 2-18 切株乗り上げによる脱出状況

※24 本実証事例のオペレータは、その後 1 名でのトラブル回避（チルホールによる脱出等）を実施した。

## 5-3 安全性

## (1) RJ703 神刈操作オペレータの安全性

## ① 操作

RJ703 神刈の操作において最も注意すべきは、操作立ち位置を機体の前後にすることによる破砕材の飛来・衝突、RJ703 神刈動作位置よりも下方斜面に位置することによる RJ703 神刈の転倒、横滑り（斜面スライド）による接触である。

本実証事例のオペレータは RJ703 神刈操作に細心の注意を払い操作していたが、前述のとおり視界が不良で植栽木の視認が確保できない箇所では、機体よりも斜面の下部に位置することがあった（写真 2-19）。視界が不良で植栽木の視認が確保できない箇所では、課題が残る結果であった。



写真 2-19 視界不良の草本優先区での機体下方での操作（左）と視界が良好なササ優占区での距離を置いての操作（右）

## ② 労働衛生

前述のとおり視界確保のため機体の前後左右の動きが多くなる。視界が確保されない箇所は一段とその影響が大きい。操縦者の体力消耗に影響を与え、労働衛生的に夏場などは特に健康管理に留意すべき作業といえる。

## ③ 想定される危険

本実証事例では確認されなかったが、危険として RJ703 神刈稼働時の「ハチ刺され」が想定される。オペレータは RJ703 神刈の機体から 5~10m 程度の距離を保ち操作をしているが、機体の状態、視界確保に集中し、足場も安定していないため「ハチ刺され」の危険性は否定できない。通常の林業作業と同様に 7 月~10 月期の草刈りには注意が必要である。

## (2) 周囲技能職員等の安全性

機体の前後にすることによる破砕材の飛来・衝突が想定されるため、周囲の技能職員等は、RJ703 神刈の前後 10m 以内には立ち入らないことが重要である。RJ703 神刈を使用する草刈り作業では周囲の技能職員等も機械前後 10m 以内に立ち入らない情報共有が必要である。



5-4 労働生産性と経済性

(1) 労働力（人工数）

RJ703 神刈の草刈り作業は原則オペレータ 1 人の人員となる。林野庁森林整備保全事業標準歩掛（〔最終改正〕令和 7 年 3 月 31 日付け 6 林整計第 670 号）における森林整備地全刈り草刈りは草刈り機と鎌使用で、特殊作業員と普通作業員の 2 人構成である（森林整備保全事業標準歩掛 p723）。

RJ703 神刈による草刈りは特殊作業員 1 人とすることができる（参考：後述 p58）。

(2) 経済性

① 標準値との比較

「林野庁森林整備保全事業標準歩掛」、 「令和 7 年度信州の森林づくり事業標準単価表（国庫等対象事業）」に示されている歩掛及び標準単価と、佐久森林組合が試算した RJ703 神刈草刈り単価並びに本実証においてビデオ解析に基づきレンタルリース費用から試算した単価を比較した。単位は全て円/ha である（表 2-13）。

「林野庁森林整備保全事業標準歩掛」は、草刈り回数 1 回の現地条件補正なしの単価 187,068 円/ha を用いた。

「令和 7 年度信州の森林づくり事業標準単価表（国庫等対象事業）」は、全刈り 1 回の 202,700 円/ha（標準単価 B）を用いた。

表 2-13 草刈り標準単価と RJ703 神刈単価比較

単価区分	草刈り (円/ha)	試算差額 (円/ha)	D 差額 (円/ha)	E 差額 (円/ha)	F 差額 (円/ha)	備考
標準歩掛 A	187,068	87,068	91,041	161,051	132,053	全刈り 1 回補正なし
標準単価 B	202,700	102,700	106,673	176,683	147,685	全刈り 1 回
実証試算	100,000	0	3,973	73,983	44,985	組合試算
草本優占 D	96,027	-3,973	0	70,010	41,012	RJ703 神刈 実証結果 表 2-9
ササ優占 E	26,017	-73,983	-70,010	0	-28,998	RJ703 神刈 実証結果 表 2-10
全工程 F	55,015	-44,985	-41,012	28,998	0	RJ703 神刈 実証結果 表 2-11

※標準歩掛 A：林野庁森林整備保全事業標準歩掛

※標準単価 B：令和 7 年度信州の森林づくり事業標準単価表（国庫等対象事業） C 単価

※実証試算：佐久森林組合試算

佐久森林組合が試算した RJ703 神刈草刈り単価は 8 万～10 万円/ha で、ここでは試算範囲の高額 10 万円/ha を基準値として用いた。

実証草本区 96,027 円/ha を基準とした場合、標準歩掛 A では 91,041 円/ha、標準歩掛 B では 106,673 円/ha、佐久森林組合試算では 3,973 円/ha の低コストとなったが、ササ優占区では 70,010 円/ha、全工程では 41,012 円/ha の高コストとなった。ササ優占区 26,017 円/ha を基準とした場合は、全ての比較対象で低コストとなった。全工程ではササ優占区を除くすべての比較対象で低コストとなった。

したがって、本実証事例は、草本優先区、ササ優占区及び全行程において従来の草刈り標準価格に対し低コストの結果となった。

② レンタル費用との比較

本実証におけるビデオ解析の日システム単価は 31,689 円/日であった。本実証事例のレンタルリース費用は月額 30 万円 (30 日換算) で日額 10,000 円/日であり、この 1 万円/日に特殊運転手 1 名の労務費 20,175 円を加算した費用と比較した。

結果、システム単価 (円/日) は、レンタル費用に労務費を加算した費用よりも 18,486 円/日低コストとなった (表 2-14)。

表 2-14 ビデオ解析のシステム単価 (円/日) とレンタルリース費用の比較

単価区分	草刈り (円/日)	差額 (円/日)	備考
レンタル	50,175	18,486	月額 30 万円 (30 日換算) で日額 10,000 円/日 + 特殊運転手 1 名 20,175 円
解析結果	31,689		p47 : 表 2-8

③ 購入した場合の費用

RJ703 神刈の本体価格は約 400 万円 (オープン価格) である。コスト計算の固定費<sup>※2-5</sup>とシステム単価ついて年間稼働日数を 10～260 日 (法定労働制限日数) で変動させて試算すると図 2-21、図 2-22 となった。

※2-5 「機械の固定費」：生産量や売上に関わらず、事業を継続するために必ず発生する機械に関する費用

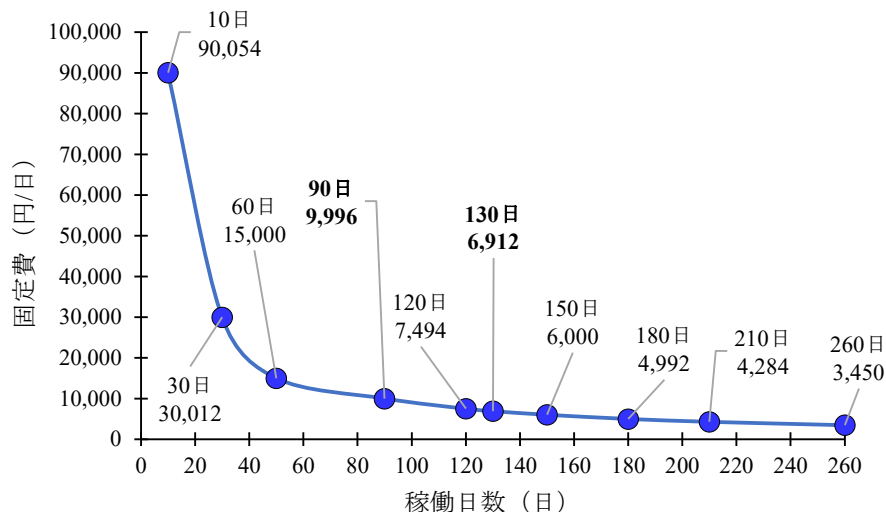


図 2-21 コスト計算による固定費試算

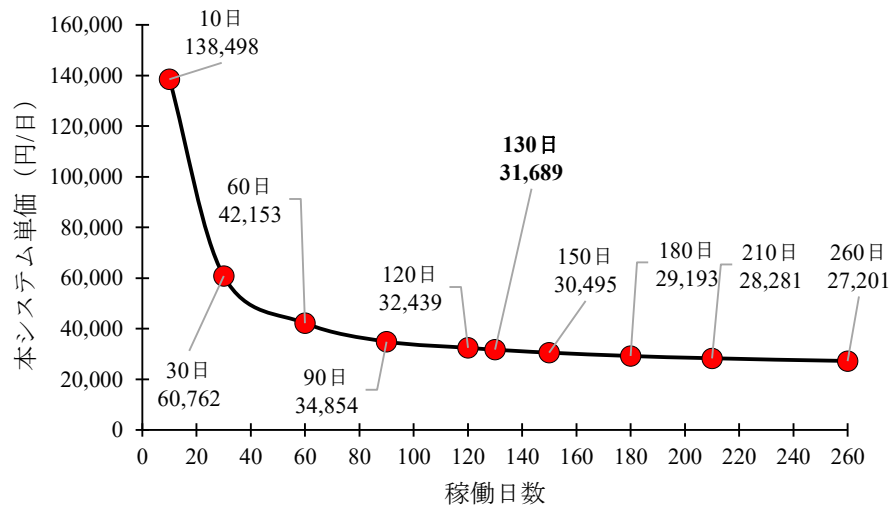


図 2-22 RJ703 神刈のシステム試算結果（オペレータ 1 名人件費含む）

年 130 日稼働で耐用年数 7 年の場合に RJ703 神刈の固定費は 1,152 円/時、6 時間換算 6,912 円/日となるが、レンタル費用の日換算額 1 万円/日に最も近似する日数は 90 日（9,996 円/日）となる。RJ703 神刈の減価償却を有利に行うためには 90 日以上の使用（稼働）を 7 年間継続で行わないと効果が表れない。

本実証事例のレンタル費用であれば、購入よりもレンタルの方が経済的といえる。

### （3）労働生産性と経済性の検証

本実証事例の労働生産性は、労働力（人工数）1 人と労働力縮減が図られる。

本実証事例は、植被状況が異なり視界が確保できない箇所では効率が劣り、視界が確保できる箇所は効率が良い結果となり、経済的にも差が認められるが、どちらも従来型の人力標準歩掛と標準単価よりも低コストを実現した。

RJ703 神刈を購入した場合は、90 日以上の使用（稼働）を 7 年間継続で行わないと減価償却効果が表れない。稼働日数が低い場合はレンタル活用が有利となる。

5-5 総合評価

本実証事例の RJ703 神刈による草刈りの評価を「✖：不可」、「△：要検討」、「○：有効」及び「◎：有効技術推進」の4段階とした(表 2-15)。

評価は、前述の結果から「作業工程：◎」、「施工性：△」、「安全性：△」、「労働生産性：○」、「経済性：◎」と判断し、総合評価は作業工程、労働生産性に効果があったが、施工性、安全性に要検討事項があったことから「総合評価：○」とした。

表 2-15 検証評価

評価項目	評価	課題・検討内容	備考
作業工程	◎	作業の段階やプロセスには特段の課題・検討事項はない	p49
施工性	△	RJ703 神刈の操作性は良好 視界の確保、地表状態、操作立ち位置、障害物、緊急対応に課題・検討すべき事項あり	p49～50
安全性	△	視界が不良で植栽木の視認が確保できない箇所では、オペレータの立ち位置等課題 「ハチ刺され」の危険性は否定できない 操縦者の体力消耗に影響を与え、労働衛生的に夏場などは特に健康管理に留意すべき作業 ローター前後 10m 以内に立ち入らない情報共有が必要	p51
労働生産性	○	労働力(人工数)1人と労働力縮減 標準草刈り2名	p51
経済性	◎	視界が確保できない箇所では効率が劣り、視界が確保できる箇所は効率が良い結果で経済的にも差が認められるが、どちらも従来型の人力標準歩掛と標準単価よりも低コストを実現 稼働日数が低い場合はレンタル活用が有利	p52～54
総合評価	○	作業工程、コスト縮減に効果があったが、施工性・安全性に課題あり	



### 5-6 RJ703 神刈導入条件

#### (1) 立地的条件

本実証事例について、実施者である佐久森林組合担当者とオペレータの技能職員へのインタビューを行った。インタビュー内容とビデオ記録分析から RJ703 神刈の導入立地条件として次が考えられる (図 2-22)。

- ☺ 斜面勾配 20 度以下の緩斜面地
- ☺ 視界・視認性が良好
- ☺ 林床に礫や岩がない
- ☺ 伐採後の切株が少ない
- ☺ 走行幅 (車体幅 1,110 mm×1.5 倍) 1.7m 程度

RJ703 神刈の使用最大傾斜角度は前後 25 度、左右 45 度とされているが、急傾斜地では旋回が困難となる。さらに横走が基本であるため転倒、機体スライドの危険があり、オペレータの操作負担が大きい。したがって凹凸の少ない斜面勾配 20 度以下の緩斜面地への導入が理想的である。

礫や岩がある場所は、刃の損傷、礫の飛散が発生するため RJ703 神刈には適さない。伐採後の切株は RJ703 神刈の草刈り作業工程に影響を与える。走行するのに支障となり、切株に乗り上げスタック (stack: 空転して自力で動けなくなる状態) してしまう。皆伐地の切株の多い現場には適さない。

本実証事例の施業地は、斜面横方向に 4.0m の幅で植栽され、横の植栽間隔は 1.25m であった (p32 写真 2-7)。RJ703 神刈は伐幅 70cm であるが機体幅は 1.10m である。安全に走行するには建設機械全般に言える機体幅の 1.5 倍の余裕幅が必要である。植栽木の間隔が斜面横方向に 2.0m 程度以上ある施業地でないと植栽木を保護して安全に草刈りを行うことが困難となる (図 2-23)。RJ703 神刈を導入するには植栽木の間隔が重要となる。

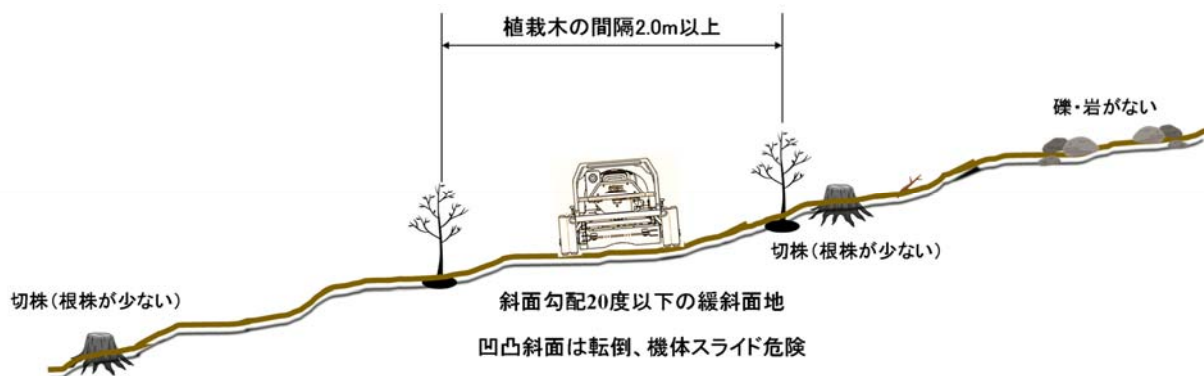


図 2-23 RJ703 神刈導入の立地条件

**(2) 導入検討の要点****① 導入は林業のサイクルとして検討**

林業を“植えて → 育てて → 伐採して → 再び植える”といった林業サイクルの中で、どのように考えるかによって RJ703 神刈の導入を検討すべきである。

本実証事例は、前年に LV-800 の地拵え（第Ⅰ章）を実施した施業地であった。機械化地拵えを行い、平滑な林床を形成して植栽の効率化と、その後の機械化草刈り保育作業を想定していた。伐採時点から地拵え、植栽、下刈り（草刈り）を想定しているからこそ、RJ703 神刈を導入することができたと言える。

RJ703 神刈の導入は、林業のサイクル（次の作業を想定して）として検討することが重要である。

**5-7 今後の展望**

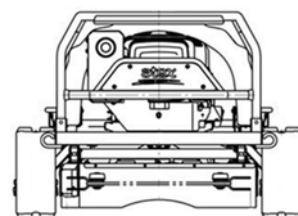
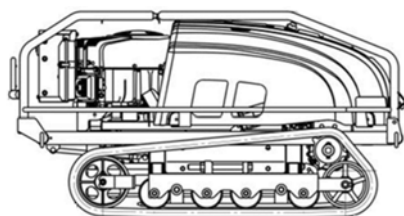
RJ703 神刈は、操作性、機械の反応にも優れ、草刈り機として有能な機械である。一般的に河川や河川の堤防、広場等の広い面積で、緩斜面の凹凸の少ない現場では最大限に効果を発揮すると考えられる。

林業の現場への導入については、まだその件数が少ないものと考えられる。凹凸があり、切株等の支障物、急斜面が散在するなど、最大限に効果を発揮する施業地は限られるものと考えられる。

しかしながら、本実証事例の施業地では、視界が確保できない箇所では効率が劣り、視界が確保できる箇所は効率が良い結果であったが、どちらも従来型の人力標準歩掛と標準単価よりも低コストを実現した。しかし頻繁に活用しなければレンタル活用が有利との結果であった。購入にあたっては林地以外の活用も想定する必要がある。

一方、施工性と安全性には課題が残る結果であった。「安全は効率に優先する」ため特に安全性について創意工夫の活用を検討することを願う。

今後、林地の条件や稼働回数を重ねることで、効率的な草刈りに寄与する手法（技術）となることを期待する。





### 【参考：オペレータと補助作業員2名の場合のコスト】

作業中にトラブルが発生した場合（前述 p50）として、オペレータ1名と技能職員（ここでは普通作業員）のセット人員2名としてRJ703 神刈の日当りのコスト（円/日）と総工程の作業面積当りのコスト（円/ha）試算した。

日当りのRJ703 神刈の固定費は1,152 円/時間、システム単価は31,689 円/日であったが（前掲表 2-8：p47）、システム人員2名では49,764 円/日となった（参考表 2-①）。

RJ703 神刈の総工程の作業面積当りシステム単価は55,015 円/haであったが（前掲表 2-11：p48）、システム人員2名では86,395 円/日となった（参考表 2-②）。

参考表 2-① セット人員2名の日当りのRJ703 神刈のシステム単価

固定費(円/時)	P	1,152	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	1,031	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	767	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価 6時間換算
技能職員(普通作業員)	G2	18,075	公共労務基礎単価 6時間換算
<b>人件費</b>	<b>G</b>	<b>38,250</b>	
本システム稼働(円/日)	C	6,912	P×6時間
変動費(円/日)	VC6	4,602	VC×6時間
<b>本システム単価(円/日)</b>	<b>PC1</b>	<b>49,764</b>	<b>G+C+VC6</b>

参考表 2-② セット人員2名の総工程の作業面積当りのRJ703 神刈のシステム単価

固定費(円/時)	P	1,152	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	1,031	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	767	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価 6時間換算
技能職員(普通作業員)	G2	18,075	公共労務基礎単価 6時間換算
<b>人件費</b>	<b>G</b>	<b>38,250</b>	
生産コスト(円/時)	Z	8,294	
本システム実績工程(ha/時)	C	0.0960	本システム実績
<b>本システム単価(円/ha)</b>	<b>PC1</b>	<b>86,395</b>	<b>Z/C</b>

実証3

第III章 長野森林組合

PC138US-11

マシンガイダンス機

マルチャー地拵え



# マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

- 実施事業体 : 長野森林組合  
 事業名 : マシンガイダンスを用いた遠隔操作による機械地拵え実証試験事業  
 先端技術 : マシンガイダンス技術によるリモートコントロール（遠隔操作）  
 使用機械 : ベースマシンコマツ PC138US-11（0.50、13.5 t 級）マシンガイダンス仕様  
 : FAE 社 マルチャーDML/HY-100VT（イタリア製）  
 取扱社 : 株式会社コマツ <https://www.komatsu.jp/ja>  
 : レンタル 21 株式会社前田製作所 <http://rental21.maesei.co.jp/>  
 実施地 : 上水内郡信濃町大井 7-26（74 林班ほ小班 5 イ）

## Ⅲ-1 地拵え機

地拵え機械は、ベースマシンコマツ PC138US-11（0.50、13.5 t 級：表 3-1）マシンガイダンス※3-1 仕様にイタリア製（FAE 社製）のマルチャー※3-2 DML/HY-100VT（表 3-2）を装着した機械システムで（写真 3-1）、株式会社コマツ、レンタル 21（株式会社前田製作所）が取扱を行っている。

※3-1 マシンガイダンス技術とは、自動追尾式トータルステーションや GNSS などの位置計測装置を用いて建設機械の位置情報を計測し、施工箇所の設計データと現地盤データとの差分をオペレータへ提供するシステム。

※3-2 マルチャーとは、切削工具を搭載した農林業機械で、庭の枯葉や小枝、木くずなどの処理や木の切り落としなどができる。



写真 3-1 ベースマシン PC138US-11 マシンガイダンス仕様（左）とマルチャー DML/HY-100VT（右）

表 3-1 PC138US-11 主要諸元

機械質量	約 13,500 kg
バケット容量	0.50 m <sup>3</sup>
定格出力	72.5 kW / 2,050 rpm（ネット）
全長	7,260 mm（輸送時）
全幅	2,490 mm
全高（キャブ上部）	2,850 mm - 3,045 mm
後端旋回半径	1,480 mm
登坂能力	35 度（70%）

表 3-2 マルチャー DML/HY-100VT

流量（L/min）	50～115
油圧（bar）	180～250
機械重量（t）	5～13
作業幅（mm）	1000
重量（kg）	490
対象最大直径（mm）	120
ソースの数	24

## Ⅲ-2 実証調査

### 2-1 実証調査概要

- 調査実施日 : 令和7年(2025年)11月13日(木)
- 調査機材 : ビデオカメラ(ソニー社 Handycam) 3台  
GoPro(カメラ) 1台 ベースマシーン装着
- 調査機材 : GNSS受信機(DG-PRO1RW) ベースマシーン装着  
ドローン(Dji Phantom 4 Pro 1台・Matrice 300 RTK1台)
- 面積 : 0.16ha
- 作業量 : ドローンによる施工面積・幹材積計算式による材積算出
- 経緯 : 他の事業体がカラマツ林皆伐後に放置した灌木が密生する未造林地を長野森林組合が森林経営計画を樹立して再造林を行う林地。未造林経過5年目
- 地表状況 : 凹凸小、礫なし、傾斜0~10度 平均4.2度(調査区間)  
枝条散在(枝条集積地散在)、切株55本(カラマツ45本)
- 植生 : 灌木区域(樹高~3.4m) 17,600本/ha、ササ区域
- 地拵え : 全面地拵え
- オペレータ : 男性技能職員(実務経験18年)
- 記録時間 : 8時48分~12時19分(3:31:18)



図3-1 実証(実施)位置図(実証地はドローンオルソ画像)

### 2-2 実施地

実施地は、信濃町役場から南西に 3.2km、上水内郡信濃町大井 7-26 (74 林班ほ小班 5 イ)、黒姫山麓に広がる標高 694~720m、平均傾斜 4.2 度の緩斜面に位置している (図 3-1)。

他の事業者がカラマツ林皆伐後に放置した灌木が密生する未造林地を長野森林組合が森林経営計画を樹立して再造林を行う林地で、未造林経過 5 年目であった。

### 2-3 実証調査方法

#### (1) 予備調査

##### ① ドローン地形情報取得

予備調査として令和 7 年 (2025 年) 10 月 27 日 (月) に施工前の状況 (皆伐地全域) をドローン (Dji Matrice 300 RTK) により空撮 (Zenmuse H20T) を行いオルソ画像作成するとともに (図 3-2)、ドローンレーザ (Zenmuse L1) により地形情報を取得した。

##### ② 植生調査

灌木が密生する未造林地の植生及び平均的な灌木密度を調査した。調査はビデオ記録調査時と同日 (2025 年 11 月 13 日) に行った。

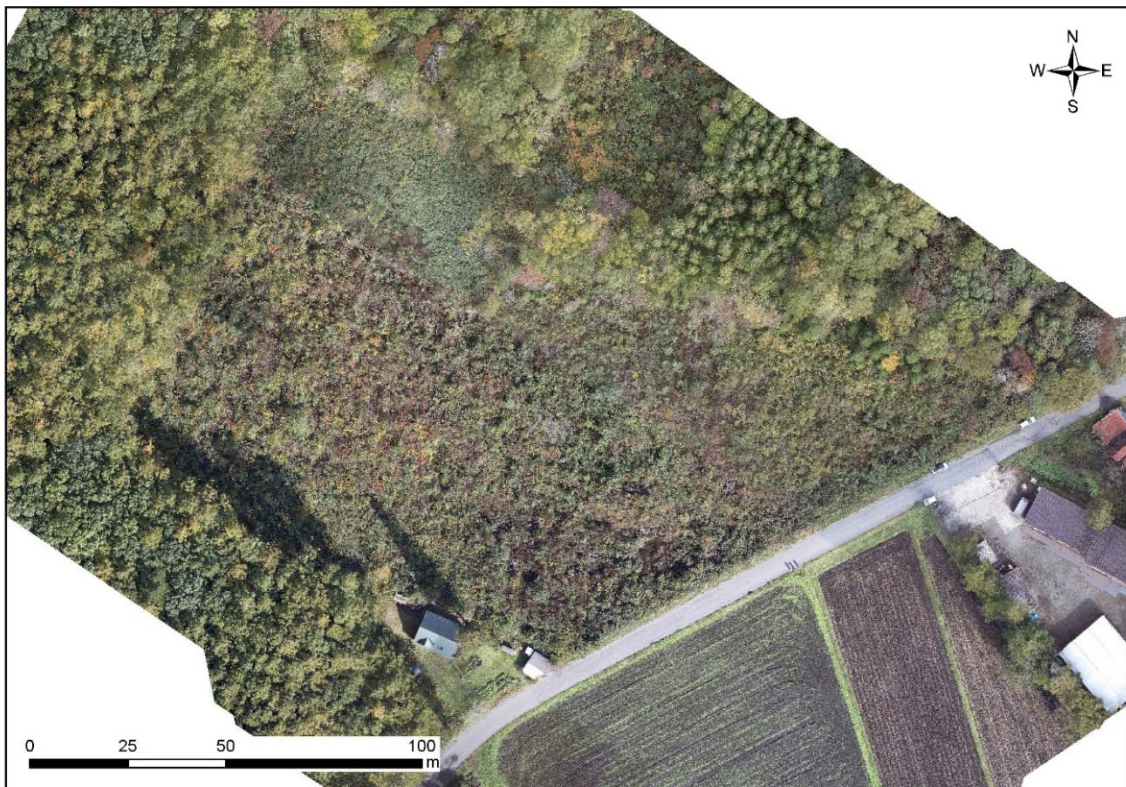


図 3-2 施工前 (施工地全域) 2025.10.27 ドローン撮影

#### (2) ビデオ記録・軌跡及び切株調査

##### ① ビデオ記録と軌跡

調査はビデオカメラ記録法を用いた。ビデオカメラ (ソニー社 Handycam) 3 台のうち、1 台は対象機械に沿って追尾記録し (写真 3-2)、2 台は三脚に設置して遠隔で記録するとともに、ドローン (Dji phantom4) を用いて上空から施工状況を記録した (写真 3-3)。

### 第三章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

また、ベースマシーンにビデオカメラ (GoPro) 1 台を装着して記録した (写真 3-4 左)。さらに、移動状況を把握するため GNSS 受信機 (DG-PRO1RW) を装着して軌跡を記録した (写真 3-4 : 右)。

作業終了時にオペレータ及び現場管理者から機械操作の感想、当該地拵え作業の所見等をビデオ記録した。



写真 3-2 ビデオ記録者 3 名 (写真奥)



写真 3-3 ドローン空撮 (Dji phantom4)



写真 3-4 ビデオカメラ (GoPro : 左) と GNSS 受信機 (DG-PRO1RW : 右)

#### ② 切株切削破碎断面

切株を切削破碎する工程があったため、切削破碎切株として確認できる切株について短径・長径・平均径を計測・写真撮影を行った (写真 3-5)。標識テープを切り株に取り付け、ドローンにより上空より撮影を行った (写真 3-6)。



写真 3-5 切株計測



写真 3-6 ドローン空撮用標識付け切株

### 2-4 調査の実施

#### (1) 調査日

令和7年(2025年)11月4日(火)にPC138US-11マシンガイダンス機が現地に搬入された。その稼働日1週間経過後の令和7年(2025年)11月13日(木)に記録調査を実施した。

調査記録は8時48分に開始し12時19分(3:31:18)まで実施した。

#### (2) 調査箇所

調査箇所は全区域のうち北西の林縁部に位置し(図3-3)、傾斜0~10度、平均傾斜4.2度、一部にクマイザサ(以下:「ササ」)が地表を覆う箇所と灌木が密生する区域で、地表面は凹凸が少なく、石礫がない地表面であった。

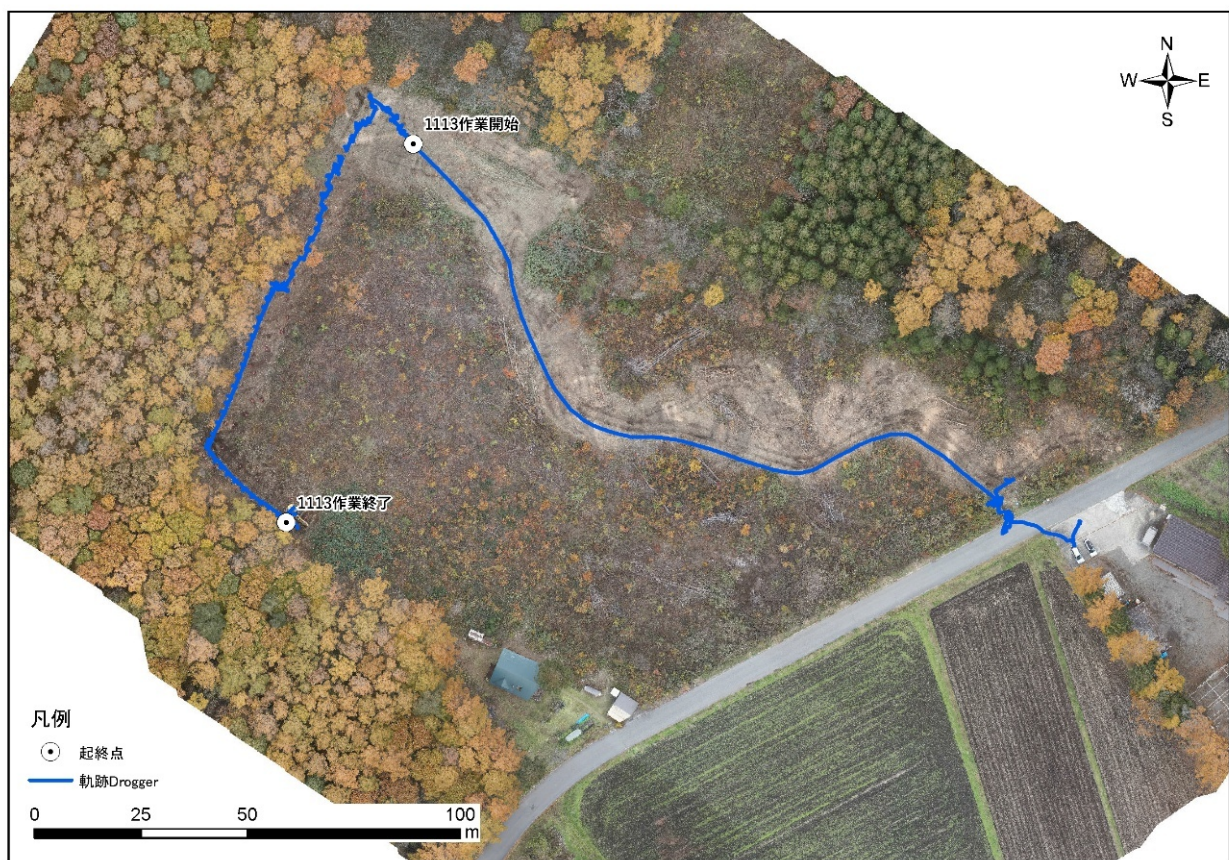


図3-3 調査箇所(青線はPC138US-11軌跡:ドローンオルソ画像)

### 2-5 分析

#### (1) 工程分解

ビデオカメラ記録動画から地拵え工程のうち、作業種(ここでは作業手順や機械の動作)別に1秒単位で分解した。

#### (2) 作業量

作業量は、予備調査で取得したドローンレーザと実施後取得したドローンレーザの地形情報を比較し、その地形情報の差分を求め作業量(破砕量)とした。

(3) 生産性と費用

工程分解から日当りの作業量（面積：ha）と参考として日破碎量（破碎体積：m<sup>3</sup>）を求め、生産性とした。さらに、日当りのPC138US-11マシンガイダンス機地拵えの作業システムのコスト（費用）試算を行った。



写真 3-7 灌木の密生状況

III-3 結果

3-1 植生

カラマツ伐採後 5 ヶ年目に達し、天然生の実生の木本類が平均本数 17,600 本/ha、平均根元直径 0.5cm、最大根本径 4cm（ヤマボウシ、）最大樹高 4m（ニセアカシア）、平均樹高 2.5m の状態で密生していた（写真 3-7、表 3-3）。数本のコシアブラ（樹高 12m）、クリ（樹高 10m）の残存木があった。

ササは北東側林縁部の一部に生育し（面積 0.042ha）、稈高 0.5m（最大 1m）程度のササ群落であった。

表 3-3 地拵え対象区域の代表的木本植生（地拵え対象種：残存木除く）

種 (SP)	最大樹高 (m)	出現度	備考
スギ	1.0	少	実生
カラマツ	0.2	小	実生
ヤマモミジ	0.2	少	
アオキ	0.4	少	
ハウチワカエデ	0.5	少	
イヌツゲ	0.6	小	
クマイザサ	1.0	少	
ニセアカシア	4.0	少	
オニグルミ	1.0	少	
キリ	2.5	少	
コシアブラ	3.0	中	残存木あり
ミズキ	3.0	中	
クリ	3.0	中	残存木あり
ホオノキ	3.0	中	
ヤマボウシ	3.0	中	
ウワミズザクラ	3.0	中	
カエデ SP	2.5	中	
コブシ	3.0	多	
タラノキ	2.5	多	
モミジイチゴ	2.0	多	
ヤマウルシ	2.0	多	
ウリハダカエデ	2.0	多	
コナラ	1.8	多	

※草本類は次期的に同定不可

平均根元直径 0.5cm を胸高直径 (D) とし、平均樹高 2.5m (H) としてブナ群の幹材積計算式 (式 1) により材積を計算すると 0.677m<sup>3</sup>/ha であった。

$$\text{Log}V = (-5+0.7372896 +1.8447874 \times \text{Log}D +1.0088782 \times \text{Log}H) \times 1.0047 \dots \text{式 1}$$

$$V = (0.0000385 \times 17,600 \text{ 本/ha}) = 0.677\text{m}^3/\text{ha}$$

#### 3-2 実施状況

##### (1) オペレータ

PC138US-11 マシンガイダンス機のパオペレータは、同機操作は昨年引き続き2回目の長野森林組合男性技能職員(経験年数18年目)で、ベテランの技能者であった。

##### (2) 地拵え

PC138US-11 マシンガイダンス機による地拵えは、全面地拵えであった(前掲図3-3参照)。

マルチャーはベースマシンアームに対し縦設置で(写真3-8)、マルチャー接続部にステイ(長野森林組合と株式会社コマツによる発案部品)が取り付けられていた(写真3-9)。



写真3-8 PC138US-11 とマルチャー



写真3-9 マルチャー接続部のステイ



写真3-10 灌木の中下段破碎



写真3-11 地表面(A0層)破碎(右旋回)



写真3-12 伐根切削破碎

マルチャーはベースマシンの左旋回方向がローターの回転方向と同じで、右旋回方向がローターの逆回転方向である。地拵えは、左旋回、右旋回を繰り返しながら破碎を行った。灌木が繁茂する箇所での地拵えは、左旋回で灌木の中下段(地際から約0.5~1.0m)の高さで破碎し(写真3-10)、右付近で下段、左旋回で地際さらに右旋回で地表面(A0層:写真3-11)を破碎する工程が多かった。

### 第三章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

また、皆伐時に伐採したカラマツ等の切株の切削破碎も行った（写真3-12）。

PC138US-11 マシンガイダンス機の破碎時は、機体前後 10m は破碎材の飛散があり危険であったが、オペレータのコックピットに飛散は認められなかった。

PC138US-11 マシンガイダンス機の稼働距離は約 130m（図3-4）、地拵え面積は0.16haであった（図3-4）。



図3-4 PC138US-11 マシンガイダンスの稼働（移動）軌跡

#### (3) 切株切削破碎

地拵え区域内の工程調査時の切株切削破碎は55本、うちドローン空撮により切削破碎切株として確認できる切株は46株で、45本がカラマツ切株、1本が広葉樹切株であった。残りの9株は広葉樹であった。

切削破碎切株として確認できる切株46株は、GISによりオルソ画像から計測し切株断面積を求めた(表3-4、図3-5)。



図3-5 切株位置図(ドローン空撮オルソ画像からポリゴン化)

### 第三章 マシンガイドンス仕様マルチャー地拵え

切株断面積は 0.02～1.43m<sup>2</sup> の範囲にあり、46 株の平均断面積は 0.43m<sup>2</sup>、1 株の広葉樹切株断面積は 0.54m<sup>2</sup>、45 株のカラマツ平均断面積は 0.43m<sup>2</sup> であった（表 3-4、図 3-6）。

表 3-4 切株面積の求積結果

No	樹種	面積 (m <sup>2</sup> )	No	樹種	面積 (m <sup>2</sup> )
1	広葉樹	0.54	24	カラマツ	1.00
2	カラマツ	0.28	25	カラマツ	0.35
3	カラマツ	0.32	26	カラマツ	0.42
4	カラマツ	0.47	27	カラマツ	0.54
5	カラマツ	0.29	28	カラマツ	0.57
6	カラマツ	0.31	29	カラマツ	0.34
7	カラマツ	0.23	30	カラマツ	0.37
8	カラマツ	0.20	31	カラマツ	0.63
9	カラマツ	0.26	32	カラマツ	0.42
10	カラマツ	0.27	33	カラマツ	0.29
11	カラマツ	0.33	34	カラマツ	0.44
12	カラマツ	0.39	35	カラマツ	0.39
13	カラマツ	0.09	36	カラマツ	0.35
14	カラマツ	0.56	37	カラマツ	0.35
15	カラマツ	0.64	38	カラマツ	0.33
16	カラマツ	0.43	39	カラマツ	0.35
17	カラマツ	0.63	40	カラマツ	0.25
18	カラマツ	0.51	41	カラマツ	0.46
19	カラマツ	0.51	42	カラマツ	0.26
20	カラマツ	0.73	43	カラマツ	0.62
21	カラマツ	0.46	44	カラマツ	0.21
22	カラマツ	1.43	45	カラマツ	0.28
23	カラマツ	0.79	46	カラマツ	0.02
合計 19.91 m <sup>2</sup>					

※赤色は Grubbs-Smirnov 棄却検により有意水準 5% で棄却される値（後述 p73）

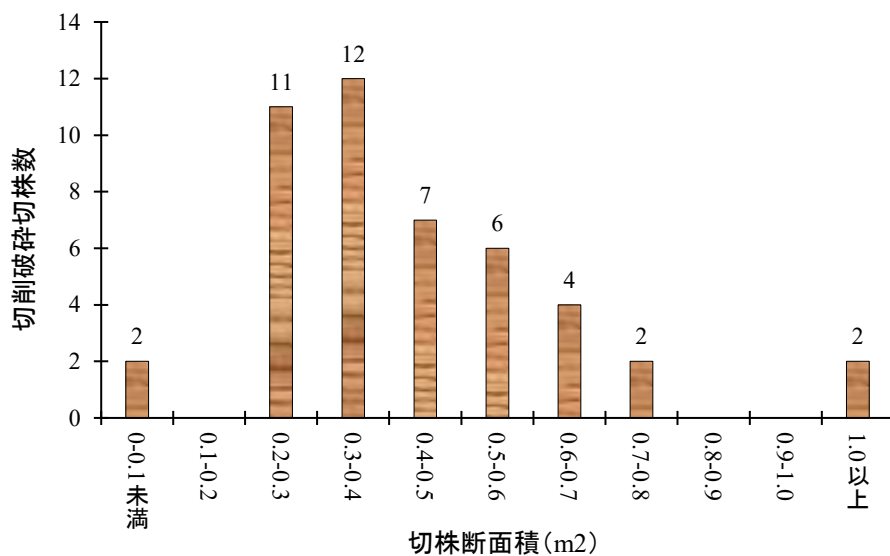


図 3-6 切株断面積の出現頻度

## 3-3 工程結果

### (1) 工程の定義

地拵え工程の作業種を表 3-5 と定義した。なお、工程時間は総作業時間（SMH : Scheduled Machine Hour)とした。

表 3-5 地拵え工程の作業種

区分	作業種	作業種細分
大区分	機械操作	始動、停止、オペ乗車、オペ降車
	機体移動	破碎なしの機体の静止、機体前進、機体後退
	アーム移動	破碎なしのアーム移動（旋回含む）、アームの上下左右旋回
	破碎（地拵え）	破碎定置、破碎左旋回、破碎右旋回、枯立木破碎
	切株処理	切株切削破碎
	枝条処理	林内残材（幹等）をマルチャーステイによる作業範囲外への移動
詳細破碎	破碎定置	ベースマシークローラー幅内で左右にマルチャートを稼働させる破碎
	破碎左旋回	左旋回による破碎（マルチャーローター回転方向）
	破碎右旋回	右旋回による破碎（マルチャーローター回転逆方向）
	破碎枯立木	枯れた広葉樹を上部からマルチャーでの破碎

- ※ 工程時間：総作業時間（SMH : Scheduled Machine Hour）
- ※ 機械操作：始動・停止・オペレーター乗車・オペレーター降車（図中：オペ）
- ※ 機体移動：ベースマシンの静止・機体前進・機体後退
- ※ アーム移動：ベースマシンのアームの上下左右旋回（破碎なし）
- ※ 破碎（地拵え）：マルチャーによる粉碎作業（地拵え）
- ※ 切株処理：カラマツ切株 45 本・その他 10 本（広葉樹等）の地際までの破碎作業
- ※ 枝条処理：林内残材（幹等）をマルチャーステイにより作業範囲外に移動させる作業
- ※ 破碎定置：ベースマシークローラー幅内で左右にマルチャーを稼働させ破碎する作業
- ※ 破碎左旋回：左旋回により破碎する作業（マルチャーローター回転方向）
- ※ 破碎右旋回：右旋回により破碎する作業（マルチャーローター回転逆方向）
- ※ 破碎枯立木：枯れた広葉樹を上部からマルチャーで破碎する作業

### (2) 工程分解時間（時間：3:31:18）

令和 7 年（2025 年）11 月 13 日（木）8 時 48 分～12 時 19 分までの記録時間は 3 時間 31 分 18 秒であった。

作業工程大区分による内訳は、機械操作 1.7%、機体移動 2.7%、アーム移動 7.1%、破碎（地拵え）55.2%、切株処理 31.7%、枝条処理 1.7%であった（図 3-7）。

作業工程詳細区分では、始動 0.1%、停止 0.2%、オペ乗車 0.2%、オペ降車 1.2%、静止 0.2%、機体前進 2.4%、機体後退 0.1%、破碎定置 6.9%、破碎左旋回 19.1%、破碎右旋回 28.6%、枯立木破碎 0.5%であった（図 3-8）。

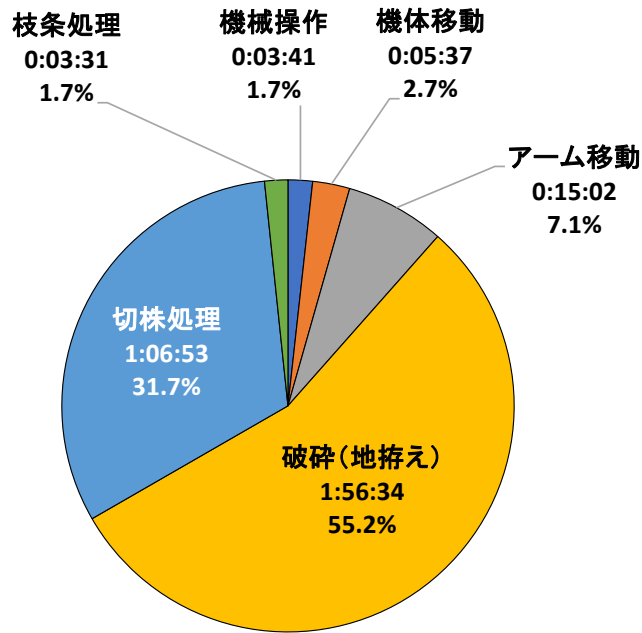


図 3-7 作業工程大区分 総作業時間 (SMH : Scheduled Machine Hour)  
 小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

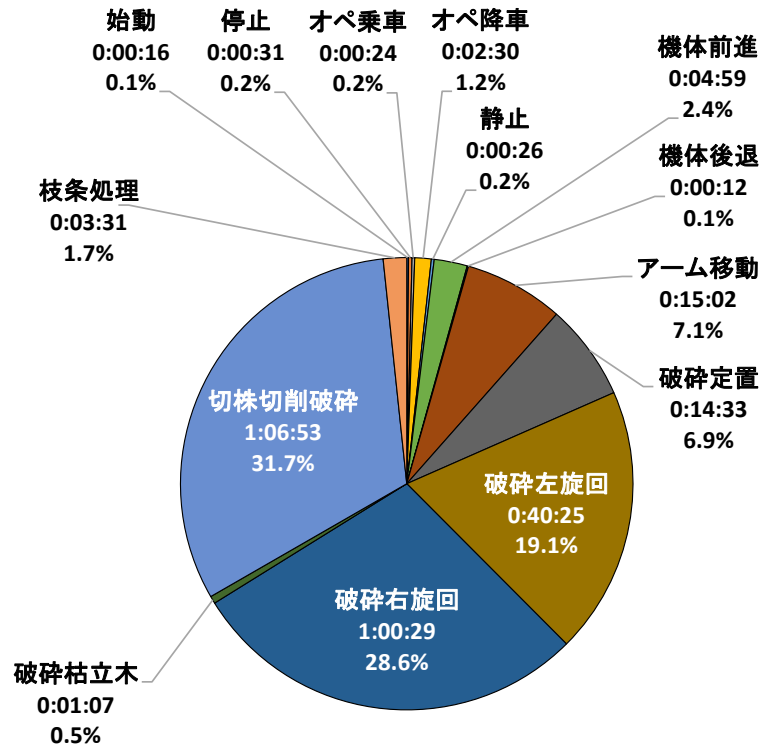


図 3-8 作業工程詳細区分 総作業時間 (SMH : Scheduled Machine Hour)

(3) 地拵え・切株破碎作業（時間：3:03:27）

3時間31分18秒の8割強を占めた破碎（地拵え）と切株処理の破碎作業（3時間3分27秒）の内訳は、破碎（地拵え）63.5%、切株処理36.5%であった（図3-9）。

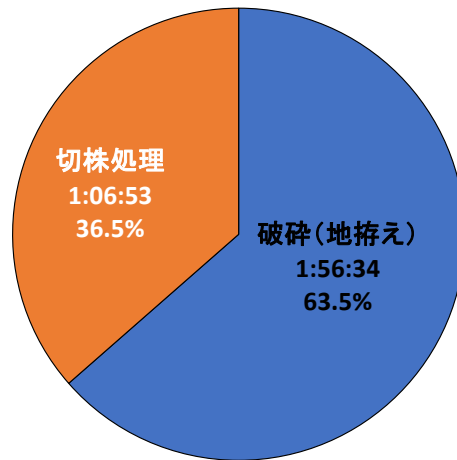


図3-9 破碎工程（地拵え・切株破碎）における時間割合

(4) 破碎（地拵え）作業（時間：1:56:34）

3時間31分18秒の5割を占めた破碎（地拵え）作業（1時間56分34秒）の内訳は、破碎定置12.5%、破碎左旋回34.7%、破碎右旋回51.9%、枯立木破碎1.0%であった（図3-10）。

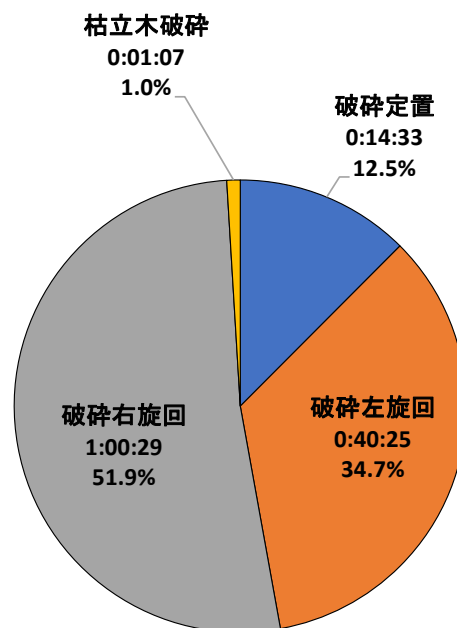


図3-10 破碎（地拵え）作業工程における時間割合

(5) 切株切削破碎作業（時間：1:06:53）

3時間31分18秒の3割を占めた55株の切株処理の破碎作業（1時間6分53秒）は、1株当たり6秒～12分34秒の範囲にあり、平均切削破碎時間は1分13秒であった。

破碎作業の内訳は、カラマツは45株切削破碎時間52分12秒で19秒～6分15秒の範囲にあり、平均切削破碎時間1分10秒、55株に占める割合は81.8%であった。広葉樹10株は時間14分41秒で6秒～12分34秒の範囲にあり、55株に占める割合は18.2%であった（表3-6、図3-11）。

表 3-6 切株切削破碎作業の基本統計

統計項目	破碎時間	カラマツ	広葉樹
平均	0:01:13	0:01:10	0:01:28
標準誤差	0:00:15	0:00:09	0:01:14
標準偏差	0:01:50	0:00:59	0:03:54
分散	0:00:00	0:00:00	0:00:01
最小	0:00:06	0:00:19	0:00:06
最大	0:12:34	0:06:15	0:12:34
合計	1:06:53	0:52:12	0:14:41
データの個数	55	45	10
変動係数 (CV)	1.50	0.85	2.66

※カラマツ：45 株

※広葉樹：10 株、うち 1 株は GIS 断面

計測 9 株は小径木で断面積求積不可

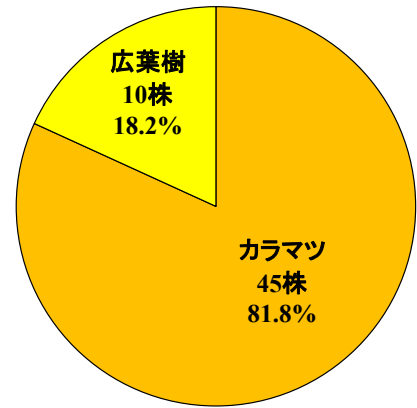


図 3-11 切株切削破碎作業における時間割合

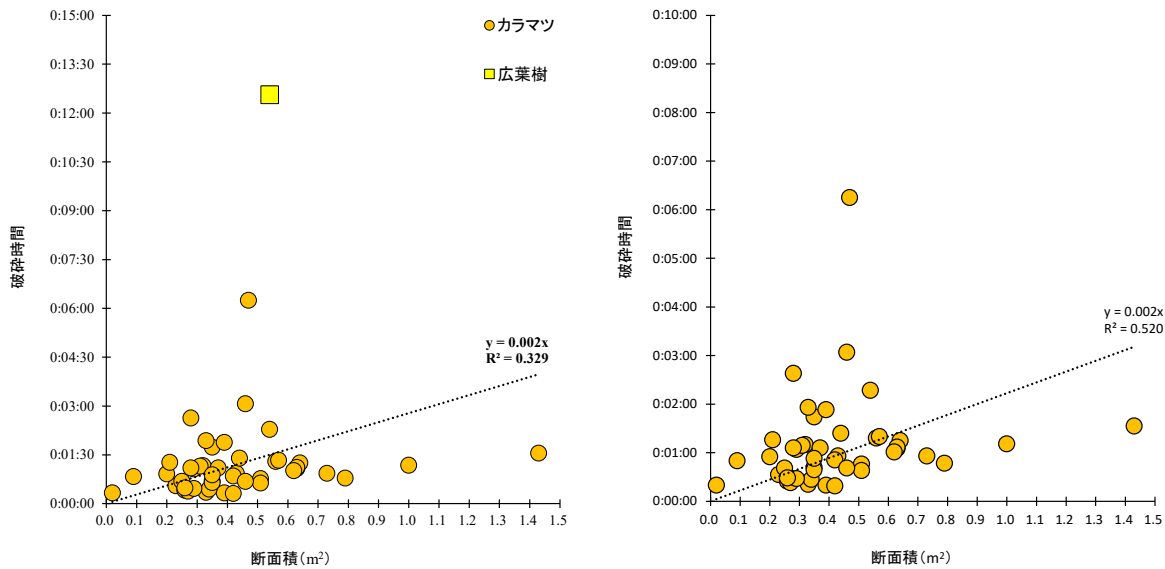


図 3-12 切株断面積と切削破碎時間の関係 左：55 株、右：カラマツ 45 株

切株断面積と切株切削破碎作業時間の関係は 55 株の切削破碎時間は Spearman 順位相関<sup>※3-3</sup>係数 (rs=0.375)、両側検定 p=0.012 となり、有意水準 5%の相関関係が認められた。

そこで、原点 (0, 0) 直線回帰式を作成すると図 3-12 左、カラマツの 45 株では図 3-12 右となった。55 株では、断面積が大きくなるにつれ破碎時間が大きくなる (傾き：0.002) 正の関係 (決定係数 R<sup>2</sup>=0.329) を、カラマツ 45 株も正の関係を示した (図 3-12 右)。

さらに、55 株及びカラマツ 45 株の断面積と切削破碎時間をそれぞれ Grubbs-Smirnov 棄却検定<sup>※3-4</sup>に供すると、55 株の断面積では No22 と No24 が棄却され (前掲表 3-4)、切削破碎時間では No1、No2、No4、No21 が棄却された。棄却値を控除して原点 (0, 0) 直線回帰式を作成すると図 3-13 (R<sup>2</sup>=0.7647) となった。

※3-3 Spearman 順位相関：2 つの変数の順位に基づいて、その単調な関係性の強さと方向を示す統計量で、正規分布を仮定しないノンパラメトリックのため、データが正規分布しない場合や外れ値の影響を受けにくい場合に有効。

※3-4 Grubbs-Smirnov 棄却検定：正規分布に従うデータセットの中から、他のデータと著しくかけ離れた「外れ値 (異常値)」が存在するかどうかを統計的に検定し、その値を除外するかどうかを判断する手法。

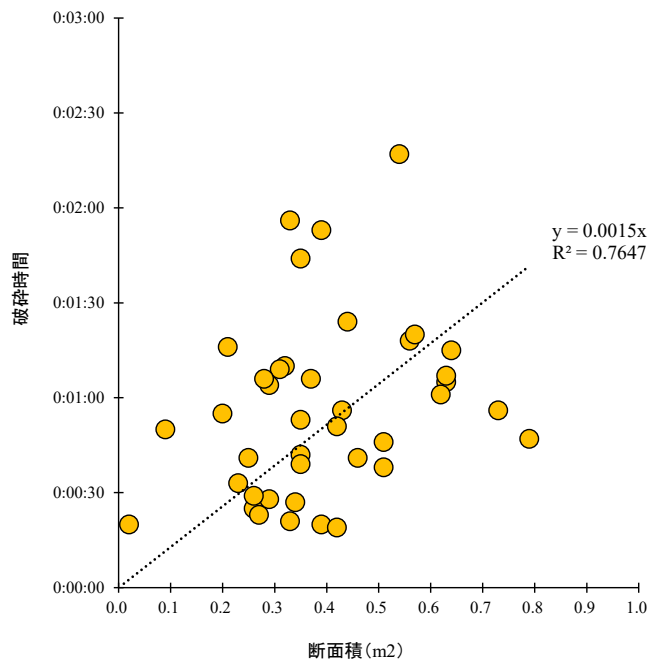


図 3-13 切株断面積と破碎時間の関係（棄却検定後）

#### (6) 植生区の違い

実施地は灌木類が繁茂する灌木区域（灌木優占区）とササが地表を被覆するササ区域（ササ優占区）に区分され、全域面積 0.160ha のうち灌木区域は 0.118 ha、ササ区域は 0.042ha であった（図 3-14、写真 3-13）。

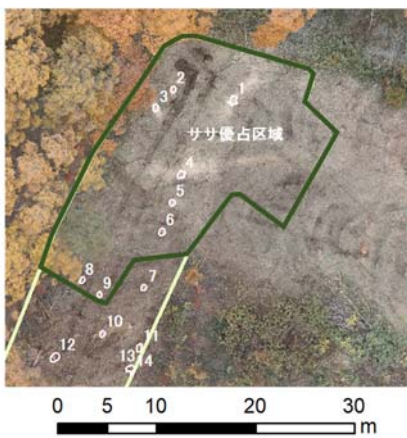


図 3-14 ササ優占区



写真 3-13 ササ優占区の地拵え

#### ① 面積と作業時間

ササ優占区 (0.042ha) と灌木優占区 (0.118 ha) の面積割合はササ優占区 26.3%、灌木優占区 73.8%であった。作業時間割合はササ優占区 (46 分 32 秒) 22.0%、灌木優占区 (2 時間 44 分 46 秒) 78.0%であった。切削破碎を行った切株数の割合はササ優占区 (9 株) 16.4%、灌木優占区 (46 株) 83.6%であった（図 3-15）。

#### ② ササ優占区

ササ優占区の作業時間は 46 分 32 秒、機械操作 2 秒で作業時間に占める割合が 0.1%、機体移動 1 分 12 秒で 2.6%、アーム移動 1 分 47 秒で 3.8%、破碎（地拵え）17 分 11 秒で 36.9%、切株処理 25 分 54 秒で 55.7%、枝条処理 26 秒で 0.9%であった。切削破碎を行った株は 9 本であった（図 3-16、図 3-17）。

### 第三章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

作業工程詳細区分では、始動 0.1%、機体前進 2.6%、アーム移動 3.8%、破砕定置 0.3%、破砕左旋回 15.9%、破砕右旋回 18.7%、切株破砕 55.7%、枯立木破砕 2.0%、枝条処理 0.9%であった（図 3-18、図 3-19）。

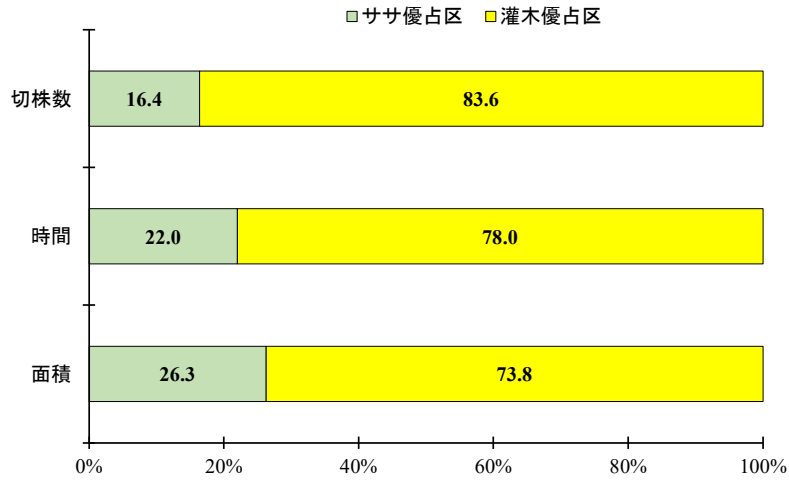


図 3-15 ササ優占区と灌木優占区の面積と作業時間及び切株処理時間割合  
面積割合は小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

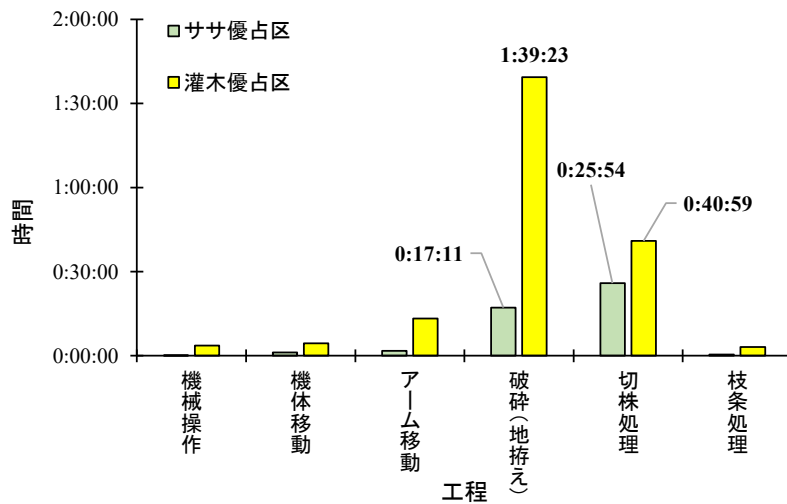


図 3-16 作業工程別時間

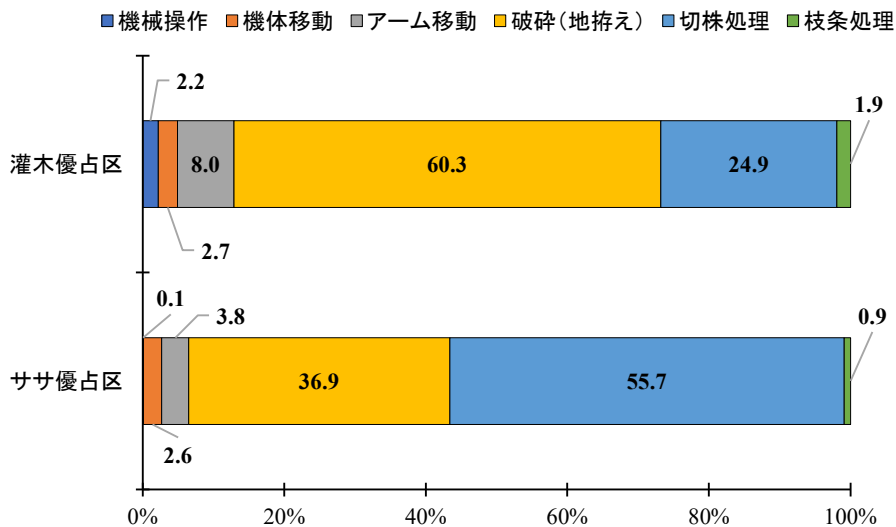


図 3-17 ササ優占区と灌木優占区の作業工程割合

### 第Ⅲ章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

#### ③ 灌木優占区

灌木優占区の作業時間は2時間44分46秒、機械操作3分39秒で作業時間に占める割合が2.2%、機体移動4分25秒で2.7%、アーム移動13分15秒で8.0%、破碎（地拵え）1時間39分23秒で60.3%、切株処理40分59秒で24.9%、枝条処理3分5秒で1.9%であった。切削破碎を行った株は46本であった（図3-16、図3-17）。

作業工程詳細区分では、始動0.1%、停止0.3%、オペ乗車0.2%、オペ降車1.5%、静止0.3%、機体前進2.3%、機体後退0.1%、アーム移動8.0%、破碎定置8.7%、破碎左旋回20.0%、破碎右旋回31.4%、切株破碎24.9%、枯立木破碎0.1%、枝条処理1.9%であった（図3-18、図3-19）。

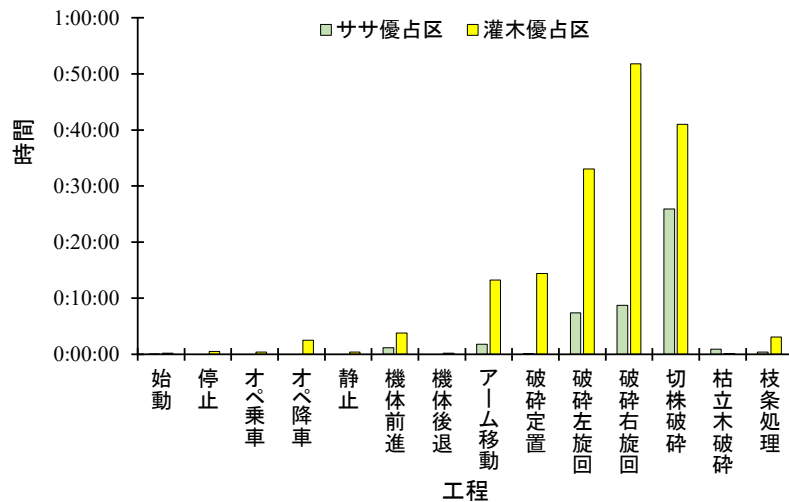


図 3-18 作業工程細区分時間

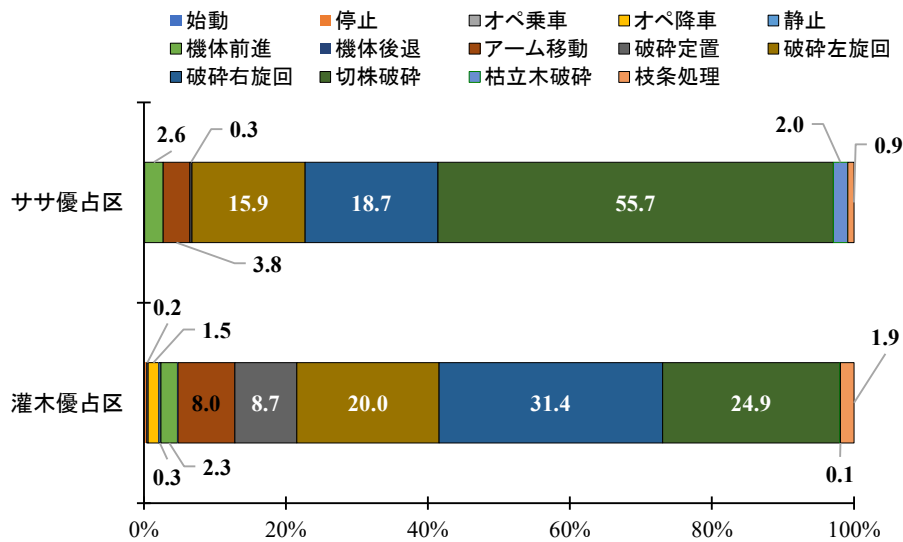


図 3-19 笹サ優占区と灌木優占区の作業工程細区分割合

作業工程割合について笹サ優占区と灌木優占区に差があるかを Mann-Whitney-U 検定<sup>\*3-5</sup>に供すると、笹サ優占区と灌木優占区とも有意水準 5%で全ての仮説が棄却 (U-Value=15、両側確率 p=0.631) され、作業工程割合の統計的差は認められなかった（図 3-20）。

作業工程細区分割合においても統計的差 (U-Value= 74.5、両側確率 p=0.278) は認められなかった。

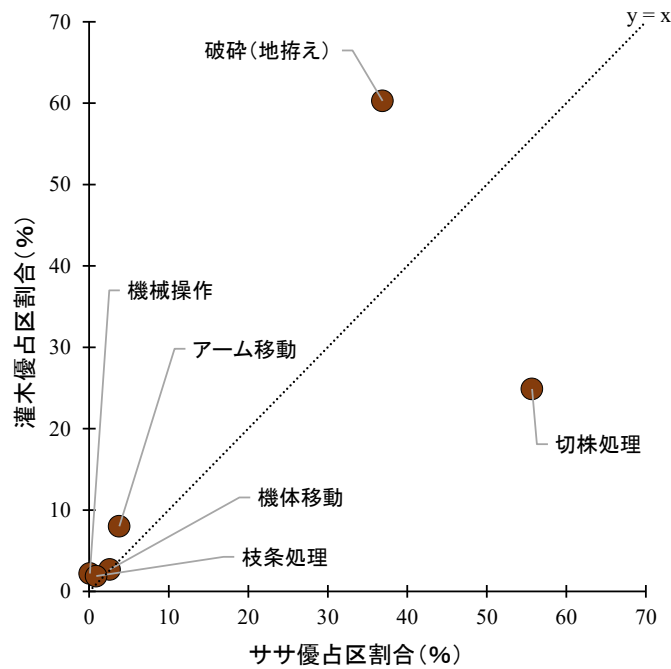


図 3-20 ササ優占区と灌木優占区の作業工程割合の関係

※3-5 Mann-Whitney-U 検定：対応のない2つの独立したグループ（例：ササ優占区と灌木優占区）の中央値（代表値）に差があるかを調べるノンパラメトリック検定。ここでは「ササ優占区の方が大きい値を与える傾向がある。」「灌木優占区の方が大きい値を与える傾向がある。」「ササ優占区と灌木優占区のどちらかが成立する。」との仮説により、有意水準5%で全ての仮説が棄却（U-Value=15、両側確率  $p=0.631$ ）された。

#### ④ 破砕（地拵え）作業

ササ優占区と灌木優占区の破砕（地拵え）作業の細分は、ササ優占区では破砕（地拵え）17分11秒、このうち破砕定置9秒で0.9%、破砕左旋回7分23秒で43.0%、破砕右旋回8分43秒で50.7%、枯立木破砕56秒で5.4%であった（図3-21、図3-22）。

灌木優占区は破砕（地拵え）1時間39分23秒、このうち破砕定置14分24秒で14.5%、破砕左旋回33分2秒で33.2%、破砕右旋回51分46秒で52.1%、枯立木破砕11秒で0.2%であった（図3-21、図3-22）。

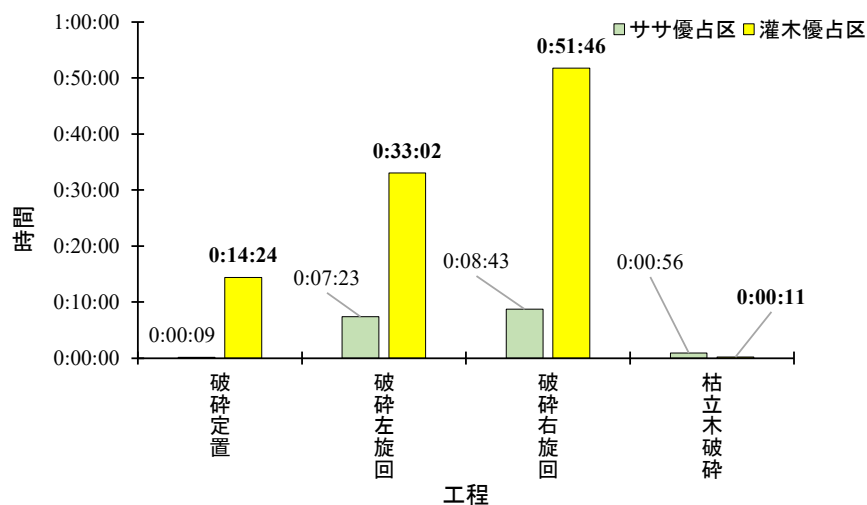


図 3-21 ササ優占区と灌木優占区の破砕（地拵え）作業時間

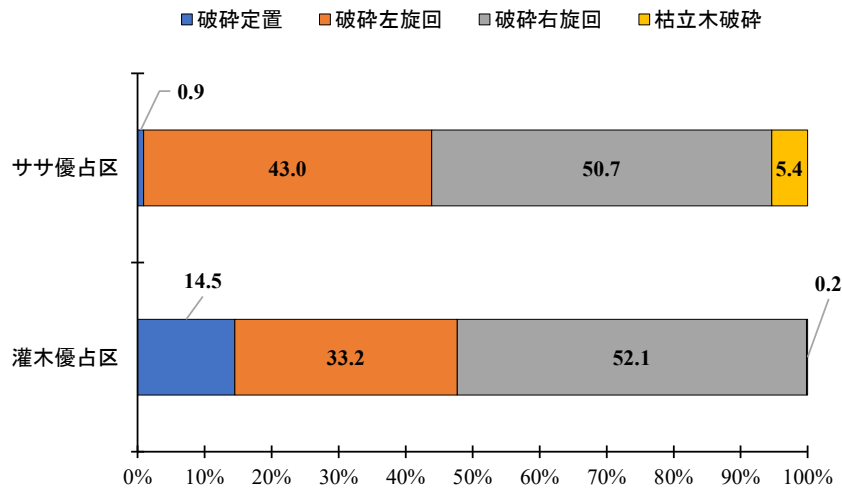


図 3-22 ササ優占区と灌木優占区の破碎（地拵え）作業時間割合

破碎（地拵え）作業時間割合についてササ優占区と灌木優占区に差があるかを Mann-Whitney-U 検定<sup>※3-6</sup>に供すると、ササ優占区と灌木優占区とも有意水準 5%で全ての仮説が棄却 (U-Value= 8、両側確率 p=1.000) され、統計的差は認められなかった (図 3-23)。

※3-6 作業区分数が少ないため正確な危険率の算定ではない。

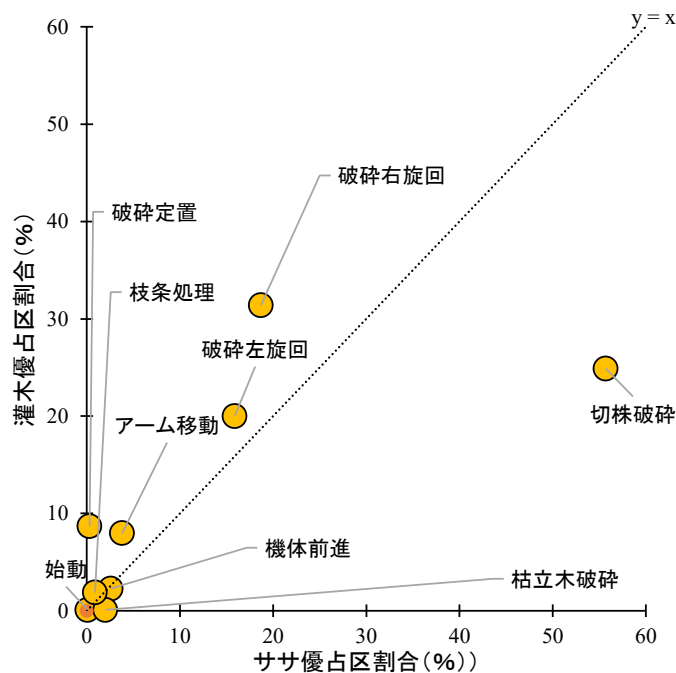


図 3-23 ササ優占区と灌木優占区の破碎（地拵え）作業時間割合の関係

### ⑤ 切株切削破碎

ササ優占区と灌木優占区の切株切削破碎は、ササ優占区では 9 株（広葉樹 3 株、カラマツ 6 株）を破碎し全株 55 本の 16.4%で、切削破碎時間は 25 分 54 秒で全破碎時間の 38.7%を占めた (図 3-24)。

灌木優占区は 46 株（広葉樹 7 株、カラマツ 39 株）を破碎し全株の 83.6%、切削破碎時間は 40 分 59 秒で全破碎時間の 61.3%を占めた (図 3-24)。

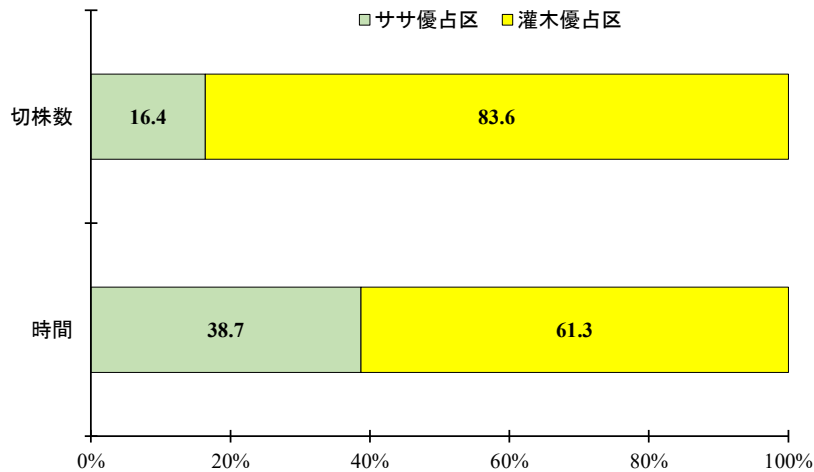


図 3-24 ササ優占区と灌木優占区の切削破砕時間割合

### (7) 作業工程における差

作業工程割合を総時間とササ優占区及び灌木優占区の 3 群として分散分析に供し、Tukey 多重比較<sup>※3-7</sup>を行うと、破砕（地拵え）と切株処理は他の作業とに差が認められる（表 3-7）。

したがって、本実証事例の作業工程は破砕（地拵え）と切株処理に多くの時間を費やし、破砕（地拵え）と切株処理に危険率 5%の有意差が認められないことから、通常的地拵え作業とは異なり、切株の切削破砕が大きな作業工程因子となっている。

表 3-7 作業工程割合の分散分析結果

作業工程	機械操作	機体移動	アーム移動	破砕（地拵え）	切株処理	枝条処理
機械操作	-			**	**	
機体移動		-		**	**	
アーム移動			-	**	*	
破砕（地拵え）				-		**
切株処理					-	**
枝条処理						-

\*\*：1%有意差あり。\*：5%有意差あり。-：有意差なし。

※3-7 Tukey 多重比較：3 つ以上のグループ（群）の平均値の間に統計的に有意な差があるかを調べる統計手法で、特に分散分析で全体的な差が認められた後、どのグループ間に具体的な差があるのかを特定するために使われる検定。

### (8) 地拵え作業量

#### ① 総時間作業量

区域面積 0.16ha と単位幹材積 0.677m<sup>3</sup>/ha（p65、式-1）から単位面積時間（時/ha）と単位材積時間（時/m<sup>3</sup>）を求めると（表 3-8）、総作業時間（SMH）3 時 31 分 18 秒の換算材積は 0.108m<sup>3</sup>、単位面積時間（時/ha）は 22 時間 00 分 37 秒、単位材積時間（時/m<sup>3</sup>）は 27 時間 15 分 04 秒となった。

ササ優占区では換算材積はなく、単位面積時間（時/ha）は 18 時間 27 分 56 秒となった。

### 第三章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

灌木優占区では2時間44分46秒の換算材積は0.080m<sup>3</sup>、単位面積時間(時/ha)は23時間16分20秒、単位材積時間(時/m<sup>3</sup>)は27時間26分15秒となった。

表 3-8 総作業時間 (SMH : Scheduled Machine Hour) による作業時間換算

区分	時間	単位面積時間 (時/ha)	単位材積時間 (時/m <sup>3</sup> )	単位幹材積 (m <sup>3</sup> /ha)	面積 (ha)	幹材積換算 (m <sup>3</sup> )
総 時 間	3:31:18	22:00:37	27:15:04	0.677	0.160	0.108
ササ優占区	0:46:32	18:27:56			0.042	
灌木優占区	2:44:46	23:16:20	27:26:15	0.677	0.118	0.080

#### ② 破碎(地拵え)時間

破碎(地拵え)の1時間56分34秒では、単位面積時間(時/ha)は12時間08分32秒、単位材積時間(時/m<sup>3</sup>)は25時間47分37秒となった。

ササ優占区では換算材積はなく、単位面積時間(時/ha)は6時間49分08秒となった。

灌木優占区では1時間39分23秒による単位面積時間(時/ha)は14時間02分14秒、単位材積時間(時/m<sup>3</sup>)は26時間04分24秒となった。

表 3-9 破碎(地拵え)による作業時間換算

区分	時間	単位面積時間 (時/ha)	単位材積時間 (時/m <sup>3</sup> )	単位幹材積 (m <sup>3</sup> /ha)	面積 (ha)	幹材積換算 (m <sup>3</sup> )
総 時 間	1:56:34	12:08:32	25:47:37	0.677	0.160	0.108
ササ優占区	0:17:11	6:49:08			0.042	
灌木優占区	1:39:23	14:02:14	26:04:24	0.677	0.118	0.080

#### ③ 切株切削破碎時間

切株切削破碎は切株の切削高さが概ね地際から20cm前後であったため、平均株高を20cmとして幹足部であることから地際20cmまでの細り率を5%と仮定し、GIS求積断面面積合計19.91m<sup>2</sup>から換算材積を求めた(表3-10)。

切株切削破碎の総時間1時間06分53秒では、単位面積時間(時/m<sup>2</sup>)は3分22秒、単位材積時間(時/m<sup>3</sup>)は17分41秒となった。

ササ優占区では単位面積時間(時/m<sup>2</sup>)は10分37秒、単位材積時間(時/m<sup>3</sup>)は55分49秒となった。

灌木優占区では単位面積時間(時/m<sup>2</sup>)は2分21秒、単位材積時間(時/m<sup>3</sup>)は12分21秒となった。

表 3-10 切株切削破碎による作業時間換算

区分	時間	単位面積時間 (時/m <sup>2</sup> )	断面面積 (m <sup>2</sup> )	平均株高 (m)	細り率 (%)	換算材積 (m <sup>3</sup> )	単位材積 (時/m <sup>3</sup> )
総 時 間	1:06:53	0:03:22	19.91	0.200	5	3.783	0:17:41
ササ優占区	0:25:54	0:10:37	2.44	0.200	5	0.464	0:55:49
灌木優占区	0:40:59	0:02:21	17.47	0.200	5	3.319	0:12:21

## Ⅲ-4 作業規模と費用

### 4-1 作業規模

#### (1) 作業量

実証調査の時間分解結果を基に林業生産活動の基準となる日当り 6 時間として、地拵え面積 (ha) と破碎材積を換算した (表 3-11)。

- ◆ ササ優占区の地拵え面積は 1 日当り 0.32ha、破碎材積はなし
- ◆ 灌木優占区の地拵え面積は 1 日当り 0.26ha、破碎材積 0.18m<sup>3</sup>
- ◆ 総工程の地拵え面積は 1 日当り 0.27ha、破碎材積 0.18 m<sup>3</sup>

表 3-11 実証調査の時間分解結果による単位当りの換算

機種	作業地区分	区分	平均斜面勾配 (度)	日	作業時間						地拵え面積 (ha)	幹材積 (m <sup>3</sup> )	
					総作業時間 (SMH : Scheduled Machine Hour)								
					総稼働	機械操作	機体移動	アーム移動	破碎 (地拵え)	切株処理			枝条処理
		実証	0.1		0:46:32	0:00:02	0:01:12	0:01:47	0:17:11	0:25:54	0:00:26	0.042	
PC138US-11マシン ガイダンス	ササ優占	日換算 (6時間)	4.2	1	6:00:00	0:00:15	0:09:17	0:13:48	2:12:56	3:20:22	0:03:21	0.32	
		面積換算 (ha)		3.1	18:45:00	0:00:48	0:29:01	0:43:07	6:55:26	10:26:10	0:10:29	1.0000	
		実証	0.5		2:41:41	0:03:39	0:04:25	0:13:15	1:39:23	0:40:59	0:03:05	0.118	0.08
PC138US-11マシン ガイダンス	灌木優占	日換算 (6時間)	4.2	1	6:00:00	0:08:08	0:09:50	0:29:30	3:41:17	1:31:15	0:06:52	0.260	0.180
		面積換算 (ha)		3.8	23:31:01	0:31:15	0:37:49	1:53:28	14:11:06	5:50:58	0:26:24	1.000	0.69
		実証	0.6		3:31:18	0:03:41	0:05:37	0:15:02	1:56:34	1:06:53	0:03:31	0.16	0.108
PC138US-11マシン ガイダンス	総工程	日換算 (6時間)	4.2	1.0	6:00:00	0:06:17	0:09:34	0:25:37	3:18:36	1:53:57	0:05:59	0.270	0.180
		面積換算 (ha)		3.7	22:13:20	0:23:15	0:35:27	1:34:52	12:15:33	7:02:03	0:22:11	1.000	0.670

#### (2) 単位面積当り換算

1 日当り (6 時間/日) の結果から単位面積 1ha を実施する日数を換算した (表 3-11)。

- ◆ ササ優占区の単位面積 1ha は 3.1 日
- ◆ 灌木優占区の単位面積 1ha は 3.8 日
- ◆ 総工程の単位面積 1ha は 3.7 日

4-2 作業システムのコスト試算（費用）

(1) 作業システム

PC138US-11 マシンガイダンス機の作業は基本オペレータ 1 名であるため、基本人員は、特殊運転手 1 名となる。

(2) 単位

作業システムの試算を行う場合、単位を設定する必要がある。林業的には材積（m<sup>3</sup>）が一般的であるが、地拵えは面的に実施するため、単位は面積（ha）が基準となる。

ただし、日当りの費用計算が可能であるため、日単位の費用を基準として試算し、面積単位と灌木材積単位に換算することとした（後述）。

(3) 機械価格

本実証事例のPC138US-11 マシンガイダンス機マルチャーシステムセット価格はオープン価格<sup>※3-8</sup>であるが 3,110 万円前後（PC138US-11 本体約 2,000 万円、マルチャー約 830 万円、その他付属品：消費税含まない）といわれている<sup>※3-9</sup>。

※3-8 販売する商品に対してメーカー側が希望小売価格を具体的に定めていないもの。

※3-9 長野森林組合とコマツ甲信（株）前田製作所長野営業上の厚意により、下表の見積詳細（消費税含まない）を教示していただいた。

PC138US-11 マシンガイダンス機マルチャーシステムセット	
PC138US-11 (0.5m <sup>3</sup> )	18,995,000 円
2.9 t 吊アームクレーン (1ATT 胸腰配管)	955,000 円
FAE マルチャー DML/HY-100VT	8,280,000 円
その他付属品	2,800,000 円
合計	31,030,000 円

(4) 計算式

コスト計算は、「全国林業改良普及協会編（2001）機械化のマネージメント」、「日本林業技士会（2009）低コスト作業システム構築事業 事業報告書」に示される計算式を準用した（表 3-12）。

コスト計算は時間を単位計算基礎単位とし、「固定費（円/時）」に 6 時間 を乗じ単位を“日”とし、人員単価（公共労務基礎単価）を加算して「〇〇円/日」とした。この費用に面積換算日数を乗じて単位面積当たりの費用とした。

さらに、今回の実証現場のように灌木を破砕していることから、破砕材積がおおよそ把握できる場合を想定して「〇〇円/m<sup>3</sup>」の参考額も試算した。

表 3-12 コスト計算因子

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

全国林業改良普及協会編（2001）機械化のマネージメント p124～161

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

表 3-13 PC138US-11 マシンガイダンス機費用試算の適用項目

項 目	適 用
機械価格 (千円)	オープン価格 (聞取り 3,110 万円)
燃料消費量 Q (ℓ/h)	実績 (17.1ℓ/h 実績: 給油回数 3 回 290ℓ、17 時間)
燃料価格 (円)	軽油 2026 年 1 月 5 日長野地域軽油単価 147.3 円
グリス消費量 Q1 (g/h)	重機用グリス (1 回/日) 60 g/1 箇所・1 回 10g
グリス価格 (円/g)	重機用グリス 7 円
耐用時間 (時間)	計算値
耐用年数法定 (年)	5 年
耐用年数経済寿命 (年)	標準歩掛建設機械損料算定表 p42 9
年間稼働日数 (日)	標準歩掛建設機械損料算定表 p42 120
年間稼働時間 (時間)	年間稼働日数×6 時間
実働時間 (時間)	6 時間
償却費率 (残存率)	標準歩掛建設機械損料算定表 p42 15%
保守・修理費率	標準歩掛建設機械損料算定表 p42 25%
管理費率	標準歩掛建設機械損料算定表 p42-43 10%
機材消耗品費 (円/ha)	計算値
機材消耗品費 (円/時)	計算値
功程 (ha/時・人)、(m <sup>3</sup> /時・人)	実績値から時間当たりに換算した面積 0.045ha・0.03m <sup>3</sup>
償却費 (円/時)	計算値
管理費 (円/時)	計算値
資本回収係数	年利 4%と仮定
資本利子 (円/時)	計算値
保守修理費 (円/時)	計算値
燃料油脂費 (円/時)	燃料+重機用グリス
機材費 (円/時)	計算値
<b>固定費 (円/時)</b>	計算値
固定費(資本利子除く) (円/時)	計算値
変動費 (人件費除く) (円/時)	計算値
人件費	オペレータ (円/日)
	公共労務基礎単価 (特殊運転手) 6 時間換算

※金額に消費税は含まない

### (5) 試算の適用項目

「全国林業改良普及協会編 (2001) 機械化のマネジメント」、「日本林業技士会 (2009) 低コスト作業システム構築事業 事業報告書」に記載されている機械は発刊当時の林業用機械で、最新は 2009 年の「低コスト作業システム構築事業 事業報告書」で、それ以降の改訂や検討がなく、本作業システムが適用できる機種の記事がない。そこで、計算式に示される各計算因子について次を根拠とした (表 3-13)。

「機械価格」はオープン価格 (前ページ)、「燃料消費量」は聞き取り調査値、「燃料価格」は

### 第Ⅲ章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

最新の長野市地域の最新単価、「工期」は実装試験の面積換算値、その他の因子は「令和7年版 治山林道必携 積算・施工編 森林整備保全事業標準歩掛 標準歩掛建設機械損料算定表」に示されるベースマシンPC138US-11と同等の排出ガス2014適合0.5m<sup>3</sup>級の値を用いた。

稼働時間は、6時間を基準とした(図3-25)。

人件費は、特殊運転手1名の基本労務費(8時間)を実働時間6時間とした。

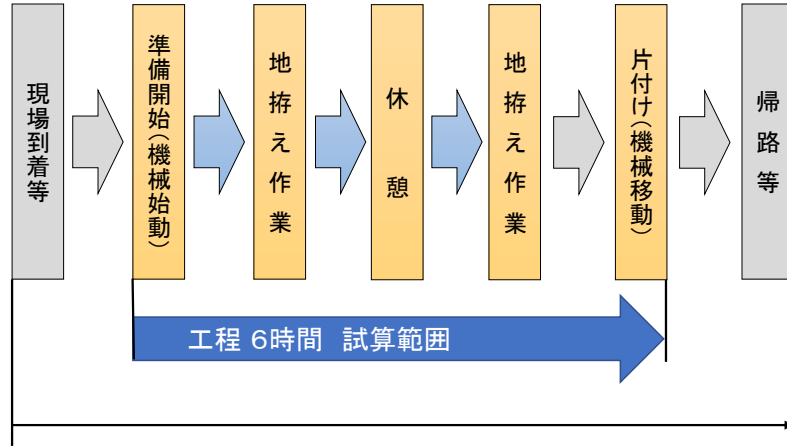


図3-25 PC138US-11 マシンガイダンス機地拵え作業試算の範囲

#### (6) 試算結果

##### ① 日当りのコスト(円/日)

日当りのPC138US-11マシンガイダンス機の**固定費は9,403円/時間、システム単価は101,739円/日**となった(表3-14)。

表3-14 日当りのPC138US-11マシンガイダンス機のシステム単価

固定費(円/時)	P	9,403	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	8,398	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	4,191	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価(特殊運転手)6時間換算
<b>人件費</b>	<b>G</b>	<b>20,175</b>	
<b>本システム稼働(円/日)</b>	<b>C</b>	<b>56,418</b>	<b>P×6時間</b>
<b>変動費(円/日)</b>	<b>VC6</b>	<b>25,146</b>	<b>VC×6時間</b>
<b>本システム単価(円/日)</b>	<b>PC1</b>	<b>101,739</b>	<b>G+C+VC6</b>

表3-15 ササ優占区の作業面積当りのPC138US-11マシンガイダンス機のシステム単価

固定費(円/時)	P	9,403	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	8,398	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	4,191	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価 6時間換算
<b>人件費</b>	<b>G</b>	<b>20,175</b>	
<b>生産コスト(円/時)</b>	<b>Z</b>	<b>16,957</b>	
<b>本システム実績工程(ha/時)</b>	<b>C</b>	<b>0.0530</b>	<b>本システム実績</b>
<b>本システム単価(円/ha)</b>	<b>PC1</b>	<b>319,933</b>	<b>Z/C</b>

### 第三章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

#### ② ササ優占区の作業面積当りのコスト（円/ha）

ササ優占区の1ha当りのPC138US-11マシンガイダンス機のシステム単価は **319,933 円/ha** となった（表3-15）。

#### ③ 灌木優占区の作業面積当りのコスト（円/ha）

灌木区優占区のPC138US-11マシンガイダンス機のシステム単価は **394,337 円/ha** となった（表3-16）。

表3-16 灌木優占区の作業面積当りのPC138US-11マシンガイダンス機のシステム単価

固定費(円/時)	P	9,403	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	8,398	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	4,191	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価 6時間換算
人件費	G	20,175	
生産コスト(円/時)	Z	16,957	
本システム実績工程(ha/時)	C	0.0430	本システム実績
本システム単価(円/ha)	PC1	394,337	Z/C

#### ④ 総工程の作業面積当りのコスト（円/ha）

総工程のPC138US-11マシンガイダンス機のシステム単価は **376,811 円/ha** となった（表3-17）。

表3-17 総工程の作業面積当りのPC138US-11マシンガイダンス機のシステム単価

固定費(円/時)	P	9,403	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	8,398	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	4,191	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価 6時間換算
人件費	G	20,175	
生産コスト(円/時)	Z	16,957	
本システム実績工程(ha/時)	C	0.0450	本システム実績
本システム単価(円/ha)	PC1	376,811	Z/C

#### ⑤ 作業材積当りのコスト（円/m<sup>3</sup>）

参考として、作業材積当り（0.03m<sup>3</sup>/時間）のPC138US-11マシンガイダンス機のシステム単価は **565,216 円/m<sup>3</sup>** となった（表3-18）。

表3-18 灌木優占区の作業材積当りのPC138US-11マシンガイダンス機のシステム単価

固定費(円/時)	P	9,403	
固定費(資本利子除く)(円/時)	P1	8,398	
変動費(人件費除く)(円/時)	VC	4,191	
オペレータ(円/日)	G1	20,175	公共労務基礎単価 6時間換算
人件費	G	20,175	
生産コスト(円/時)	Z	16,957	
本システム実績工程(m <sup>3</sup> /時)	C	0.030	本システム実績
本システム生産単価(円/m <sup>3</sup> )	PC1	565,216	Z/C

### 第Ⅲ章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

#### ⑥ 結果

PC138US-11 マシンガイダンス機の耐用年数経済寿命 9 年、年間稼働日数 120 日とすると、固定費※3-10 は 9,403 円/時、システム単価は 101,739 円/日、単位面積当りではササ優占区で 319,933 円/ha、灌木優占区で 394,337 円/ha、総工程で 376,811 円/ha、灌木破碎の材積換算で 565,216 円/m<sup>3</sup> となった（表 3-19、図 3-26）。

※3-10 「機械の固定費」：生産量や売上に関わらず、事業を継続するために必ず発生する機械に関する費用

表 3-19 PC138US-11 マシンガイダンス機のシステム単価

区分	固定費 (円/時)	システム単価			備考
		システム (円/日)	面積 (円/ha)	材積 (円/m <sup>3</sup> )	
総工程	9,403	101,739	376,811	565,216	
ササ優占区	9,403		319,933		材積なし
灌木優占区	9,403		394,337	565,216	総時間と同量

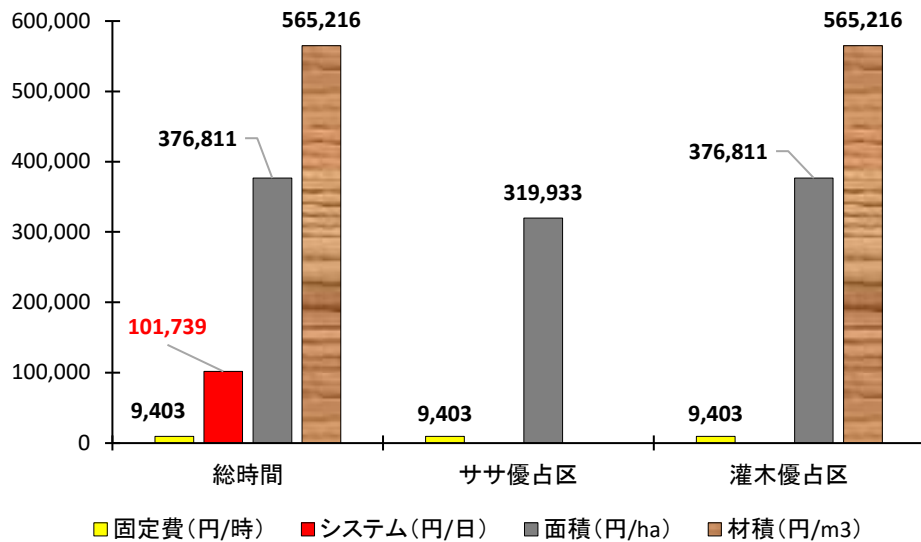


図 3-26 PC138US-11 マシンガイダンス機のシステム単価

## Ⅲ-5 検証評価

本実証事例は図 3-27 の範囲について検証評価を行った。

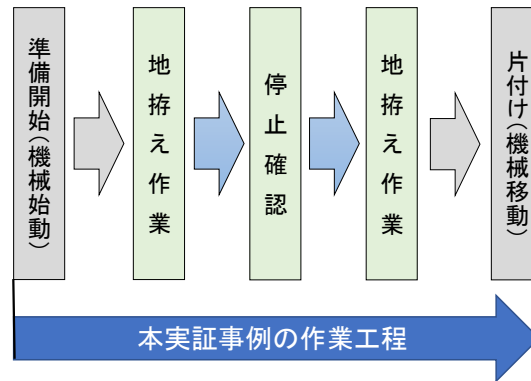


図 3-27 実証事例の作業工程

### 5-1 作業工程

作業工程（順序立てて細かく区切った作業の段階やプロセス）には次の検討すべき事項があった（表 3-20）。

表 3-20 作業工程における課題

項目	内容	要因・検討事項
切株処理	⊖ 全工程の 31.7%を占める切株処理	⊖ 切株処理の必要性

全工程の 31.7%を占める切株処理を行わなかったと仮定して、1ha 当りの作業日数を本実証で計算された日数と比較すると、ササ優占区では 1.7 日、灌木優占では 0.9 日、総工程では 1.2 日の作業日数縮減となる（表 3-21）。効率性を考える場合は、切株処理の必要性について検討する必要がある。

表 3-21 切株処理時間を控除（計算値に含まない）した 1ha 当りの作業日数

作業地区区分	区分	1ha当り換算日数			作業時間 総作業時間(SMH : Scheduled Machine Hour)						
		実証(A)	切株控除(B)	日数差 A-B	総稼働	機械操作	機体移動	アーム移動	破碎(地拵え)	切株処理	枝条処理
ササ優占		3.1	1.4	1.7	8:13:09	0:00:48	0:28:41	0:42:37	6:50:42	10:26:10	0:10:21
灌木優占	1ha当り	3.8	2.9	0.9	17:34:51	0:31:06	0:37:38	1:52:55	14:06:55	5:50:58	0:26:17
総工程		3.7	2.5	1.2	15:00:00	0:22:57	0:35:00	1:33:41	12:06:26	7:02:03	0:21:55

※実証(A)はp22 前掲表 3-11 の日換算値

※切株控除日数は表中切株処理時間(赤字)を加算せずに換算した日数

## 第Ⅲ章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

PC138US-11 マシンガイダンス機の地拵えは、平滑な林床を形成することが可能である（写真 3-14）。

本実証事例は、地拵え作業時間の短縮よりも切株切削破碎をあえて行っていた。

切株を切削破碎せずに残すか、PC138US-11 マシンガイダンス機マルチャーで切株も切削破碎して平滑な林地にするかは、今後の植栽、保育等に大きく関わる事項である（後述：p94）。



写真 3-14 PC138US-11 マシンガイダンスマルチャー地拵えによる平滑林床形成

### 5-2 施工性

本実証事例の施工性（作業のしやすさ）について「PC138US-11 マシンガイダンス機の操作性は良好で、切株切削破碎を行うため重機の走行も安全である（後述：p95）」とオペレータ技能職員のコメントを受けている。施工性については特段の課題・検討事項はなかった。

### 5-3 安全性

#### (1) PC138US-11 マシンガイダンス機操作オペレータの安全性

PC138US-11 マシンガイダンス機は、視界性に優れた放射状たて棧タイプのフロントフルガード（ISO レベルII）<sup>※3-11</sup>がキャブ（キャビン）前面に装着され、破碎物の飛来・衝突からオペレータを保護する（写真 3-15）。

オペレータは、「ハチ刺され」の危険性は極めて低い。キャブの窓を開いて作業しない限り、作業中の「ハチ刺され」はほぼ発生しない。

本実証事例の PC138US-11 マシンガイダンス機操作オペレータの安全性については、安全（危険が許容できるレベル）であったと言える。

※3-11 フロントフルガードは、主に林業機械（油圧ショベル）のキャブ（キャビン）前面に取り付けられる、落下物からオペレータを守る強度部材で、国際規格（ISO 10262）の基準を満たし、前方のフロントガラスが破損しやすい過酷な環境で使用される。



写真 3-15 フロントフルガード（左）とキャブ内部からの視界（右）

#### (2) 周囲技能職員等の安全性

周囲の技能職員等は、PC138US-11 ベースマシンとマルチャーの前後 10m 以内には立ち入らないことが重要である。実証作業中も破砕物が頻繁（マルチャー左旋回時に多い傾向）に飛散していた（図 3-28）。

PC138US-11 マシンガイダンス機を使用する地拵え作業では周囲の**技能職員等もベースマシンとマルチャー前後 30m 以内に立ち入らない情報共有が必要**である。



図 3-28 破砕物の飛散（マルチャー左旋回時）  
海外事例等では、小石などが 100m ほど飛来した事例がある

#### 5-4 労働生産性と経済性

##### (1) 労働力（人工数）

PC138US-11 マシンガイダンス機の地拵え作業は原則オペレータ 1 人の人員となる。林野庁森林整備保全事業標準歩掛（〔最終改正〕令和 7 年 3 月 31 日付け 6 林整計第 670 号）における森林整備地拵えは全刈地拵えで草刈り機使用、チェーンソー使用で、特殊作業員と普通作業員の 2 人構成である（森林整備保全事業標準歩掛 p720-721）。

PC138US-11 マシンガイダンス機による地拵えは特殊運転手 1 人とすることができる。

##### (2) 経済性

###### ① 標準値との比較

「林野庁森林整備保全事業標準歩掛」、「令和 7 年度信州の森林づくり事業標準単価表（国庫等対象事業）」に示されている歩掛及び標準単価と、長野森林組合が試算した従来人力の人工数（作業員数）及び PC138US-11 マシンガイダンス機地拵え人工数（作業員数）並びに本実証においてビデオ解析結果、解析結果を基にレンタルリース費用から試算した単価を比較した。単位は全て円/ha である（表 3-22、図 3-29）。

「林野庁森林整備保全事業標準歩掛」は、灌木地刈払機・チェーンソー使用の現地条件補正なしの単価 625,435 円/ha（標準歩掛 A）と灌木地刈払機・チェーンソー使用中低木最大補正值の単価 988,401 円/ha（標準歩掛 B）を用いた。

「令和 7 年度信州の森林づくり事業標準単価表（国庫等対象事業）」は、灌木地刈払機・チェーンソー使用の C 単価（消費税相当額加算なし）420,500 円/ha（標準単価 C）と一貫作業システム機械地拵（グラップル）単価 241,300 円/ha（標準単価 D）を用いた。

長野森林組合が試算した従来型の人力地拵え 60 人工を標準歩掛に従って特殊作業員 30 人、普通作業員 30 人として労務費を乗算し、諸経費 4% を計上して単価 1,603,680 円/ha（試算単価 Y）とした。PC138US-11 マシンガイダンス機地拵えを導入した場合の想定試算として 10 人工としていることから、特殊運転手 10 人工 269,000 円/ha（試算単価 Z）とした。

PC138US-11 マシンガイダンス機地拵えビデオ解析結果は総工程の単価（p85 前掲表 3-17）376,811 円/ha（工程実績 E）である。

### 第Ⅲ章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

本実証におけるビデオ解析 1ha 換算日数は 3.7 日（前述 p81）、レンタルリース費用は月額 190 万円（30 日換算）で日額 63,333 円/日に 3.7 日を乗法し、3.7 日の特殊作業員労務費を加えた結果、308,979 円/ha（工程実績 F）となった。

表 3-22 地拵え標準単価と PC138US-11 マシンガイダンス機単価比較

単価区分	地拵え (円/ha)	Y 差額 (円/ha)	Z 差額 (円/ha)	E 差額 (円/ha)	F 差額 (円/ha)	条件	備考
標準歩掛 A	625,435	-978,245	356,435	248,624	316,456	灌木地 刈払機・チェーンソー使用	補正なし
標準歩掛 B	988,401	-615,279	719,401	611,590	679,422	灌木地 刈払機・チェーンソー使用	補正中高木
標準単価 C	420,500	-1,183,180	151,500	43,689	111,521	灌木地 刈払機・チェーンソー使用	
標準単価 D	241,300	-1,362,380	-27,700	-135,511	-67,679	機械地拵えグラップル	一貫作業システム
試算 Y	1,603,680	0	1,334,680	1,226,869	1,294,701	長野森林組合試算 従来型人力 60 人工	特殊作業員 30 普通作業員 30
試算 Z	<b>269,000</b>	-1,334,680	0	-107,811	-39,979	長野森林組合試算	10 人工
工程実績 E	<b>376,811</b>	-1,226,869	107,811	0	67,832	PC138US-11 マシンガイダンス機ビデオ解析結果	
工程実績 F	<b>308,979</b>	-1,294,701	39,979	-67,832	0	PC138US-11 マシンガイダンス機ビデオ解析結果とレンタル費用	総工程 3.7 日数換算

※標準歩掛 A と B：林野庁森林整備保全事業標準歩掛

※標準単価 C：令和 7 年度信州の森林づくり事業標準単価表（国庫等対象事業）C 単価

※標準単価 D：令和 7 年度信州の森林づくり事業標準単価表（国庫等対象事業）機械地拵えグラップル C 単価

※試算 Y：長野森林組合試算従来型人力地拵え（60 人工）

※試算 Z：長野森林組合試算本実証（10 人工）

※工程実績 F：ビデオ解析結果 3.7 日/ha 換算

※工程実績 F：ビデオ解析結果による 1ha 換算日数×月額リース料 1,900,000 円/月÷30 日（日単価）

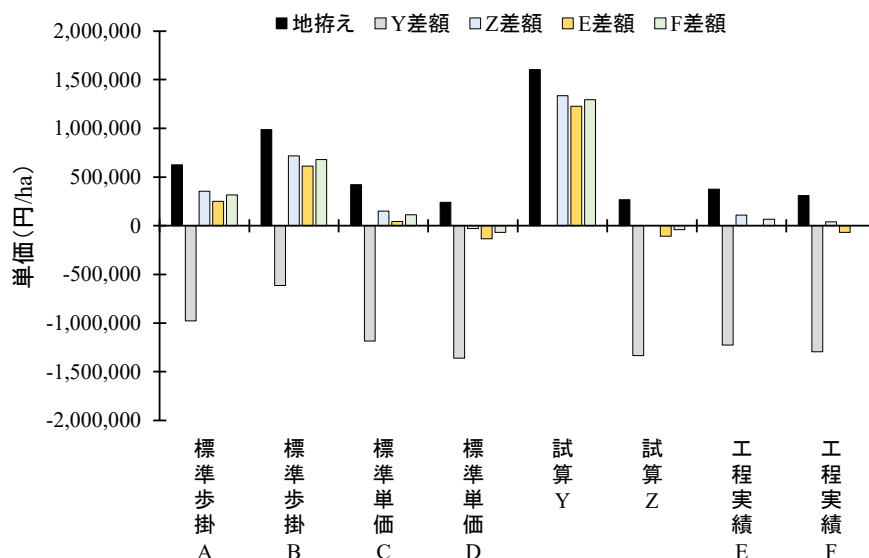


図 3-29 地拵え標準単価と PC138US-11 マシンガイダンス機単価比較

長野森林組合試算 Z の 269,000 円/ha を基準とした場合、すべての比較対象よりも低廉となる。一方、PC138US-11 マシンガイダンス機地拵えビデオ解析結果の 376,811 円/ha (工程実績 E) は、標準単価 D (一貫作業システム機械地拵え) で 135,511 円/ha、長野森林組合試算 Z で 107,811 円/ha、レンタルの工程実績 F で 67,832 円/ha の高コストとなった。

本実証事例における留意すべき事項として、伐採後放置 5 ヶ年の林地で灌木が密生している施業地である。標準単価等には想定されていない地拵え作業であり、森林組合想定 of 従来型 60 人工は灌木伐採作業を含めてのものである。

本実証事例の地拵えは、灌木が密生し、伐株切削破碎を行っていることから、単純に単価比較することには困難がある。

#### ② 購入した場合の費用

PC138US-11 マシンガイダンス機の本体価格は約 3,110 万円 (オープン価格) である。前述 p84 ~85 のコスト計算においても高額結果となった。コスト計算の固定費について年間稼働日数を 10~260 日 (法定労働制限日数) で変動させて試算すると図 3-30、システム単価 (円/日) は図 3-31 となった。

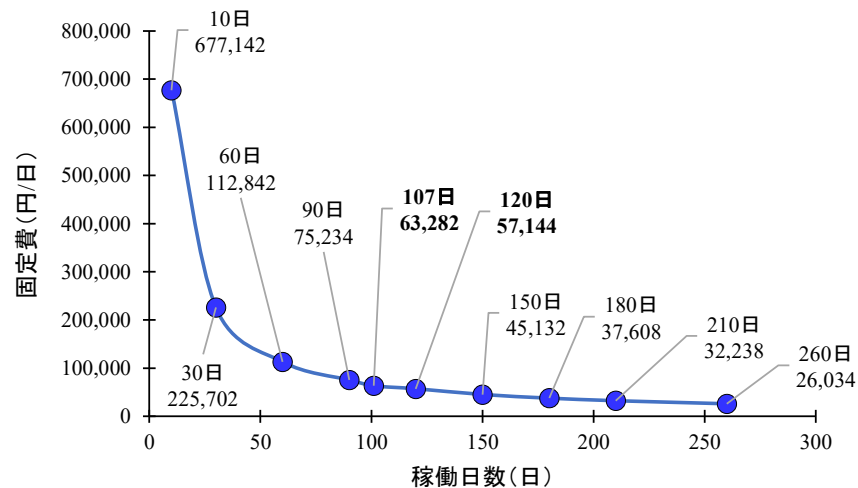


図 3-30 コスト計算による固定費試算

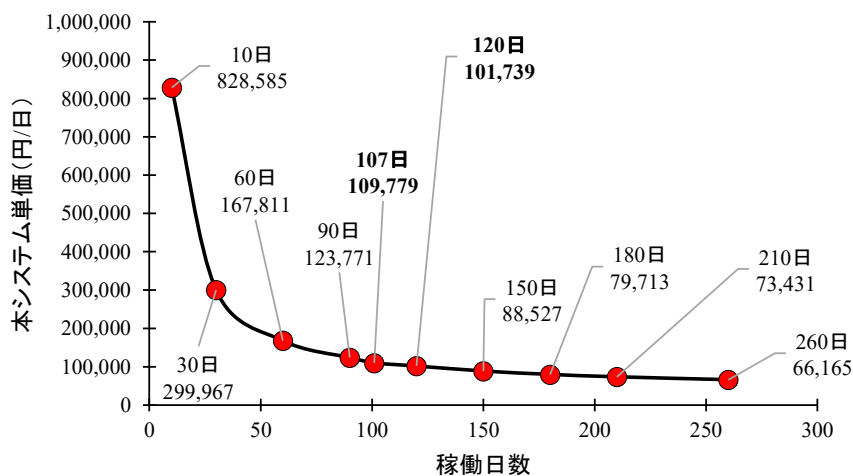


図 3-31 コスト計算によるシステム単価試算

### 第Ⅲ章 マシンガイダンス仕様マルチャー地拵え

年 120 日稼働で耐用年数 9 年の場合に PC138US-11 マシンガイダンス機の固定費は 57,144 円/日となるが、レンタル費用の日換算額 63,333 円/日に最も近似する日数は 107 日 (63,282 円/日) となる。PC138US-11 マシンガイダンス機の減価償却を有利に行うためには 107 日以上の使用 (稼働) を 9 年間継続で行わないと効果が表れない。

#### (3) 労働生産性と経済性の検証

本実証事例の労働生産性は、労働力 (人工数) 1 人と労働力縮減が図られる。

本実証事例の地拵えは灌木密生地で、切株切削破砕地拵えであることから、通常の地拵えと単価 (円/ha) を単純比較することは困難である。上記の特殊施業地であるが、大きく高額ではないためコスト縮減効果が期待できる。

PC138US-11 マシンガイダンス機を購入した場合は、107 日以上の使用 (稼働) を 9 年間継続で行わないと減価償却効果が表れない。107 日より稼働日数が低い場合はレンタル活用が有利となる。

#### 5-5 総合評価

本実証事例の PC138US-11 マシンガイダンス機による地拵えの評価を「✖ : 不可」、「△ : 要検討」、「○ : 有効」及び「◎ : 有効技術推進」の 4 段階とした (表 3-23)。

評価は、前述の結果から「作業工程 : ○」、「施工性 : ◎」、「安全性 : ◎」、「労働生産性 : ◎」、「経済性 : ○」と判断し、総合評価は作業工程、施工性、安全性、労働生産性に効果があったが、コスト縮減に要検討事項があったことから「総合評価 : ○」とした。

表 3-23 検証評価

評価項目	評価	課題・検討内容	備考
作業工程	○	全工程の 31.7%を占める切株処理 切株処理の必要性の検討	p87
施工性	◎	PC138US-11 マシンガイダンス機の操作性は良好	p88
安全性	◎	安全 「ハチ刺され」の危険性低い	p88
労働生産性	◎	労働力 (人工数) 1 人と労働力縮減	p89
経済性	○	灌木密生地で、切株切削破砕地拵えであることから、通常の地拵え単価と単純比較することは困難 107 日以上の使用 (稼働) を 9 年間継続で行わないと減価償却効果が表れない	p89~92
特殊性	◎	伐採後放置 5 ヶ年の林地で平均樹高 2.5m に達する灌木が密生している施業地に適用可能	後述 p94
総合評価	○	作業工程の切株切削破砕の検討はあるが、施工性、安全性、労働生産性に効果があったが、コスト縮減効果の期待できる 放置林分の再生林に有効	

## 5-6 PC138US-11 マシンガイダンス機導入条件

### (1) 立地的条件

本実証事例について、実施者である長野森林組合担当者とオペレータの技能職員へのインタビューを行った。インタビュー内容とビデオ記録分析から PC138US-11 マシンガイダンス機の導入立地条件として次が考えられる（図 3-32）。

- ☺ 斜面勾配 20 度以下の緩斜面地
- ☺ 林床に礫や岩が少ない



図 3-32 PC138US-11 マシンガイダンス機導入の立地条件

PC138US-11 マシンガイダンス機の最大登坂能力は 35 度とされているが、急傾斜地では旋回が困難となる。さらに凹凸の斜面ではなく、切株や岩などが点在している所では横転、機体スライドの危険があり、オペレータの操作負担が大きい。したがって凹凸の少ない斜面勾配 20 度以下の緩斜面地への導入となる。多少の石礫はマルチャーが粉碎するが（石礫はメーカーでは推奨されていない）、刃の損傷（写真 3-16）、礫の飛散が発生するため大量の石礫地には適さない。



写真 3-16 マルチャー破碎刃（ツース）



写真 3-17 伐採後放置森林

#### (2) 伐採後放置森林への適用

本実証事例は、伐採後放置され5ヶ年が経過し、平均樹高2.5mの灌木が密生する施業地であった(写真3-17)。通常このような条件下では、次の工程での施業が考えられる。

人力伐採(草刈り機+チェーンソー) → 集積・地拵え(グラップル)

長野森林組合が試算した従来型の人力地拵え60人工、林業機械もグラップル1台またはフォワーダー等複数の機械も必要となり、費用及び作業に長期間を要する(図3-33)。

本実証事例のPC138US-11マシンガイダンスマルチャー地拵えでは特殊運転手1人、機械1台で済むため、伐採後放置森林の地拵えには極めて有効である。灌木破碎の最大直径はマルチャー諸元で12cmとなっている(p60前掲表3-2)。10年程度放置された林地にも適用できる。

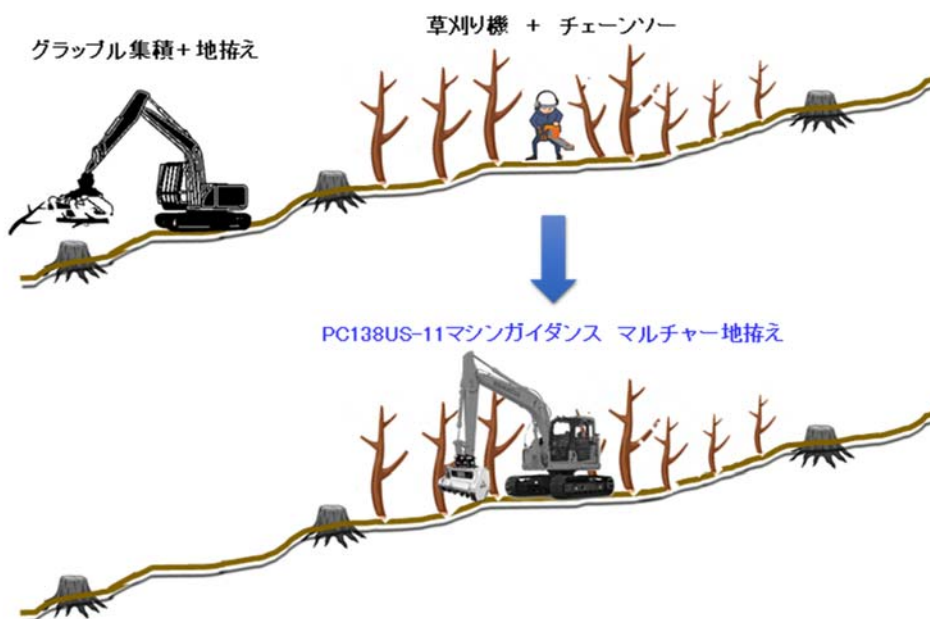


図3-33 従来型とPC138US-11マシンガイダンスマルチャー地拵え

#### (3) 切株切削破碎

本実証事例では切株も切削破碎し、平滑な林床を形成していた。本実証事例における全工程の31.7%を占めた切株処理をどのように考えるかがポイントとなる。

地拵えの作業効率だけを見ると、切株は破碎せず放置する方が良い。

しかし、長野森林組合では切株も地際まで切削破碎し、平滑な林床を形成することを選択した。これは今後の植栽 → 下刈り → 除伐 → 間伐 → 主伐までを機械化によって行うというものによる。地拵え後、再びPC138US-11マシンガイダンス機マルチャーによる下刈りを行う計画となっている。

前述の作業工程評価において「全工程の31.7%を占める切株処理の必要性の検討」としたが、林業を“植えて → 育てて → 伐採して → 再び植える”といった林業サイクルの中で、どのように考えるかによって切株も切削破碎して平滑な林地にするかが決まる。林業の理念にも係る事項である。

本実証事例では皆伐後放置された林地であったが、地拵えは皆伐作業直後に実施する。素材生産をする者（事業者の班等）は、PC138US-11 マシンガイダンス機を導入し、切株切削破碎を伴う地拵えのことを考えて「切株の高さは地際伐りか、高伐りか」等を地拵え担当に伝えるなどの情報を共有し、地拵えの処理を容易な状態にしておくことが重要である。

本実証事例のオペレータは「カラマツの切株切削破碎は比較的容易、広葉樹は堅く時間がかかる」との見解を示している。さらに「地際まで切株切削破碎を行うと、安全にPC138US-11 マシンガイダンス機を走行させることができ、次の下刈り作業も安全にできる」との見解であった。

#### (4) 有効な導入法

PC138US-11 マシンガイダンス機マルチャー地拵え導入には次の事項を必ず検討することが重要である。

- PC138US-11 マシンガイダンス機が適用できる場所（緩傾斜・石礫の無い）に導入する
- 切株処理を検討する
- 植栽以降の下刈り作業への導入を検討する
- 事業規模を想定してレンタルか購入かを検討する

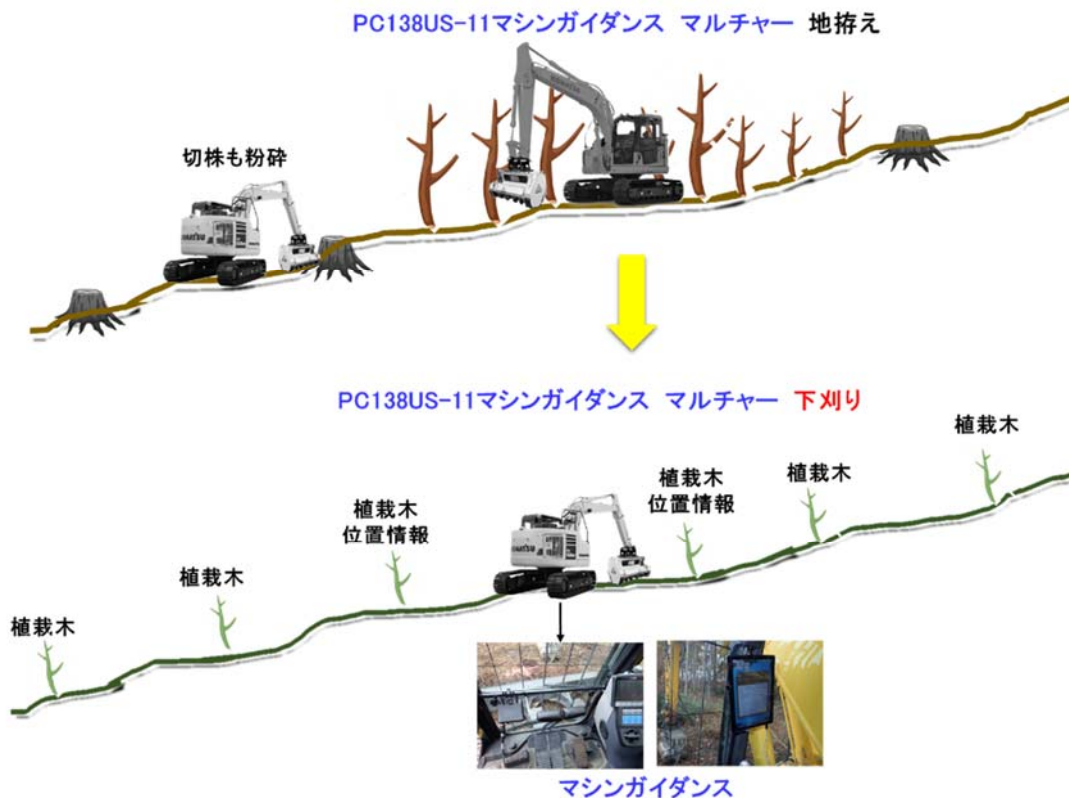


図 3-34 地拵え後のガイダンスマシンの活用

#### 5-7 今後の展望

本実証事例の施業地は、伐採後放置され5ヶ年が経過し、平均樹高2.5mの灌木が密生する施業地であった。灌木や草本が侵入した林地にも適用可能で、植栽後植栽木位置情報等を測位、位置情報化することでガイダンスマシンの本来の活用が可能となり、下刈り作業に有効に適用できる(図3-34)。

さらに、平坦な林床の仕上げを行うことで、この後の植生回復速度に影響するため、下刈の軽減と合わせて期待できる。

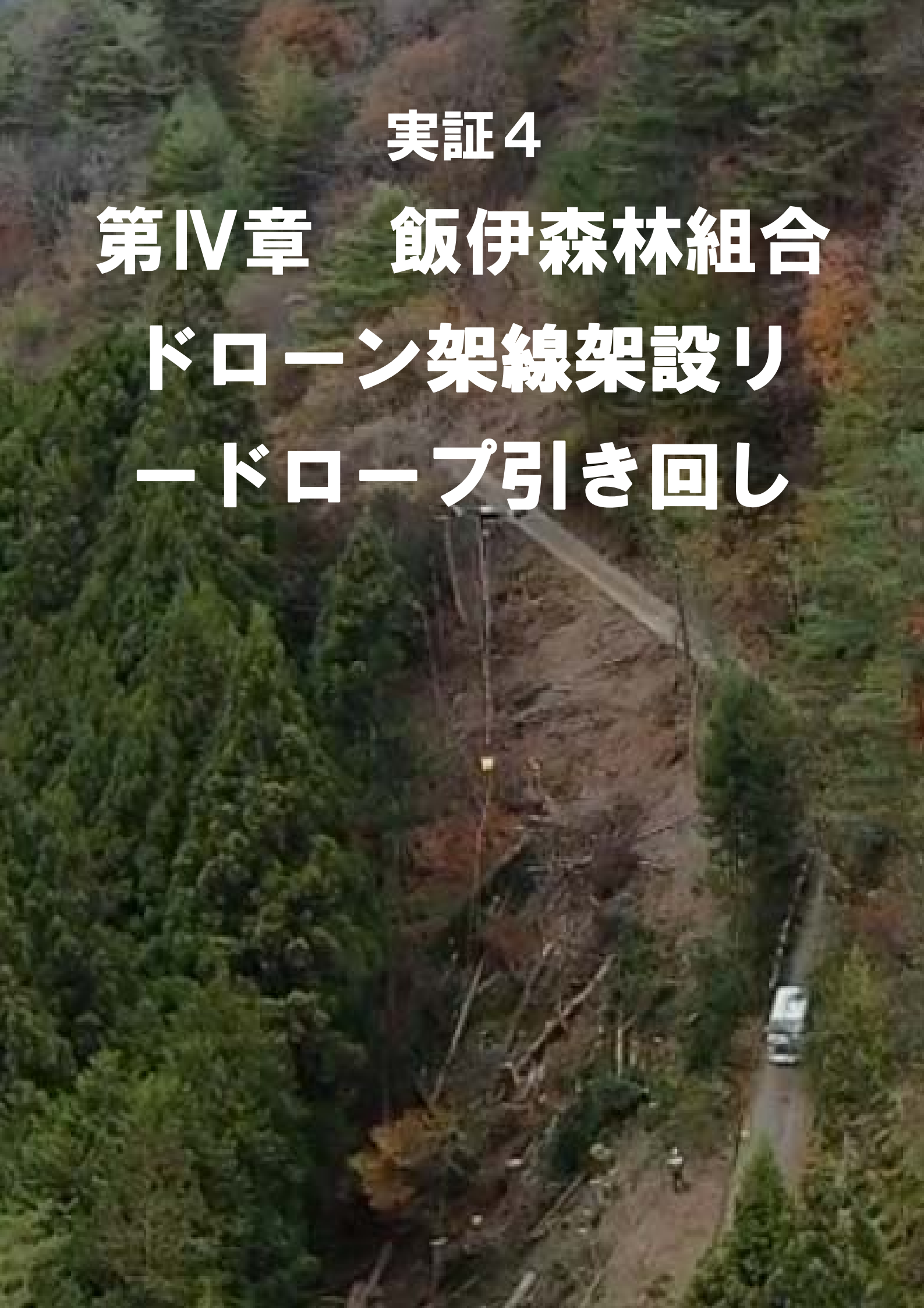
導入可能な林地の条件で、効率的な地拵えに寄与する手法(技術)となるものと考えられる。



**実証4**

**第IV章 飯伊森林組合**

**ドローン架線架設リ  
ードロープ引き回し**



# ドローン架線架設リードロープ引き回し

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

## IV-1 ドローン

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

表 4-1 物流ドローン DJI Fly Cart 30 の主要スペック

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

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



写真 4-1 物流ドローン DJI Fly Cart 30

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

## IV-2 実証調査

### 2-1 実証調査概要

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

### 2-2 実施地

#### (1) 実証(実施)地

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

#### (2) 架設計画

架設計画は元柱から先柱までの550mの谷渡し架線計画であった(図4-2)。

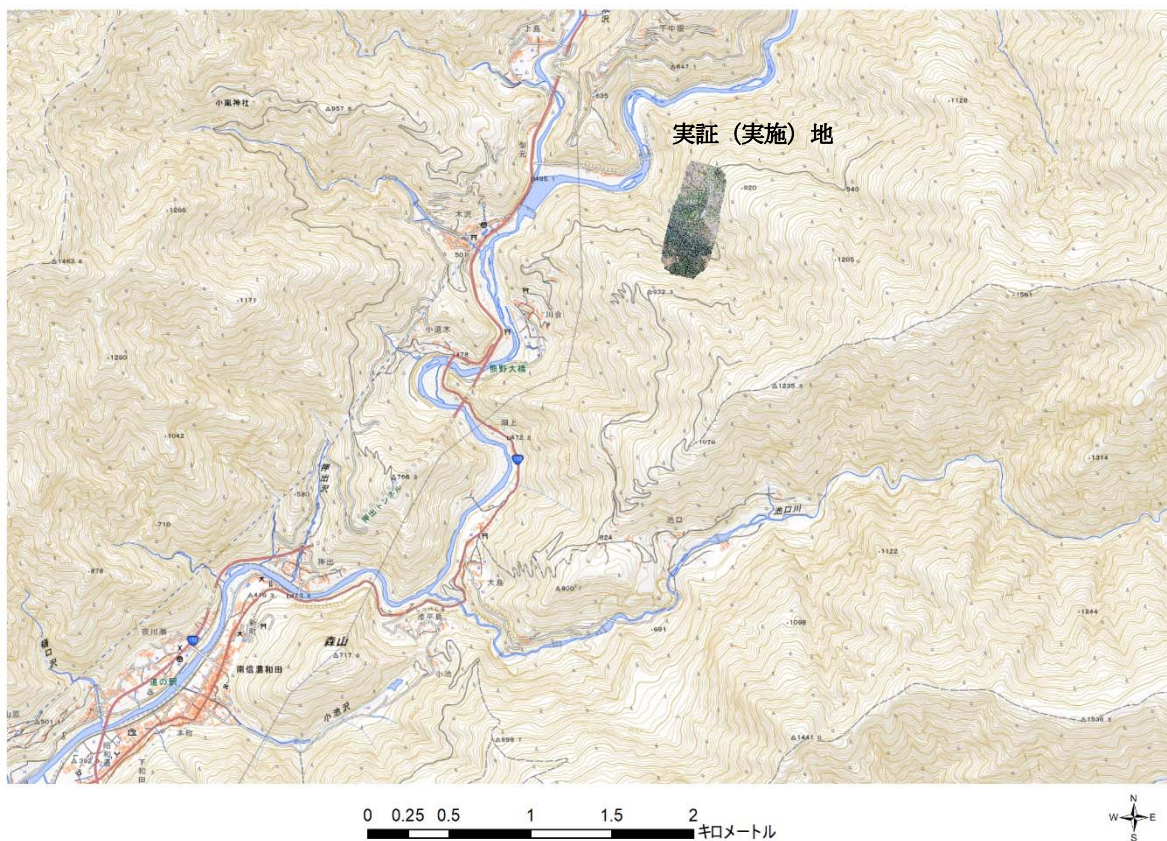
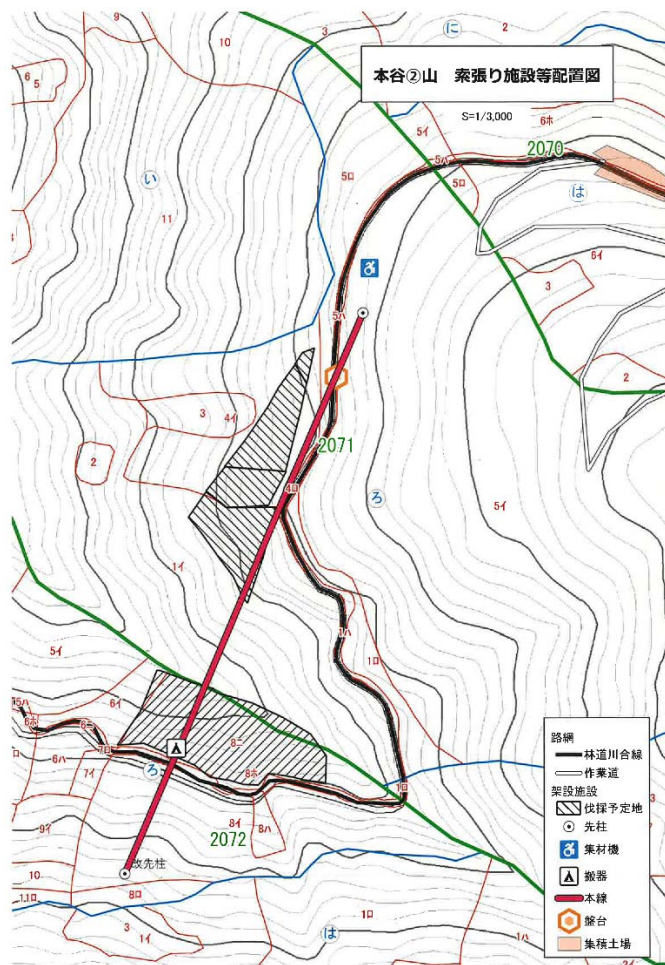


図 4-1 実証(実施)位置図(実証地はドローンオルソ画像)



### 2-3 実証調査方法

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

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

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



図 4-3 実証地のオルソ画像



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

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

### 2-4 調査の実施

#### (1) 調査日

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

### (2) 架設空域と離着陸地点

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



写真 4-2 架設空域の架設線下伐採状況（左：元柱方面、右：先柱方面）

## 2-5 分析

### (1) 工程分解

Matrice 300 RTK の追尾記録動画から離着陸の時間を分解した。

### (2) 生産性と費用

工程分解から森林組合の従来の実績工程との比較を行った。



図 4-5 ドローン離着陸地点

## IV-3 結果

### 3-1 計画変更

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

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

### 3-2 実施状況

#### (1) 準備

##### ① 離陸地点

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



写真4-3 離着陸台に設置された Fly Cart 30



写真4-4 衛星受信機



写真4-5 準備品

写真右の緑色ナイロンロープがリード用

### ② 着陸地点

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

### (2) Fly Cart 30 の準備

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



写真4-6 DJI Fly Cart 30 投下フック

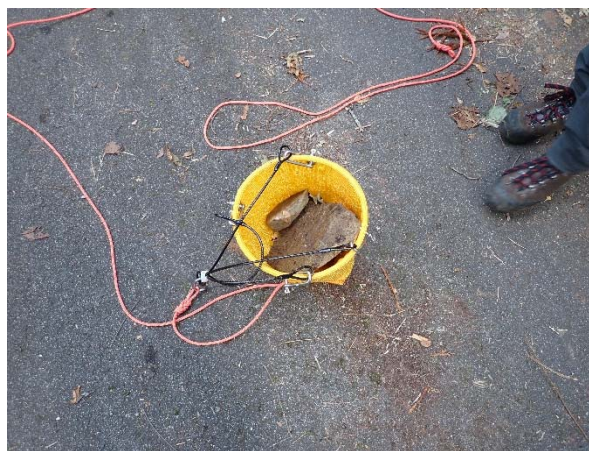


写真4-7 投下フックに取り付けた引き渡し用バケット

### (3) オペレーター

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

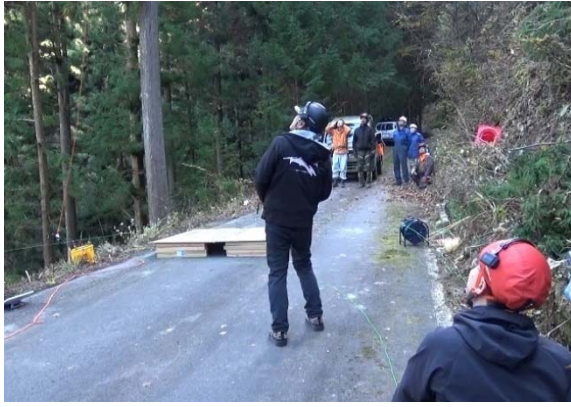


写真 4-8 離陸地点マスター（左）と着陸地点スレーブ（右）のオペレータ

#### （４）飛行

##### ① 1回目飛行

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



写真 4-9 離陸地点（林道川合線）から元柱方（左）と先柱方面（右）

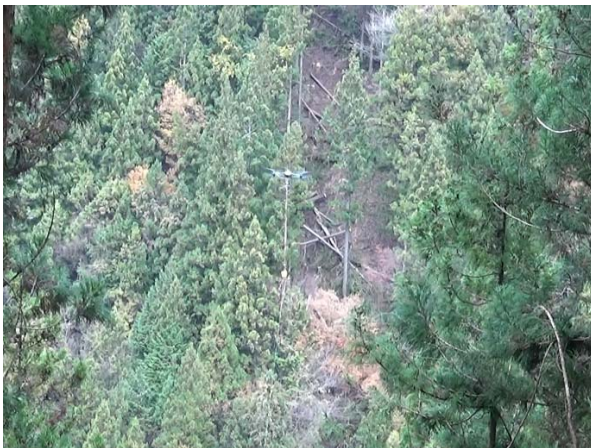


写真 4-10 第1回目飛行（左：先柱地点ビデオ画像、右：牽引バケット）  
牽引バケット（10 kg：機体下黄色バケット）にナイロンロープ結束して飛行

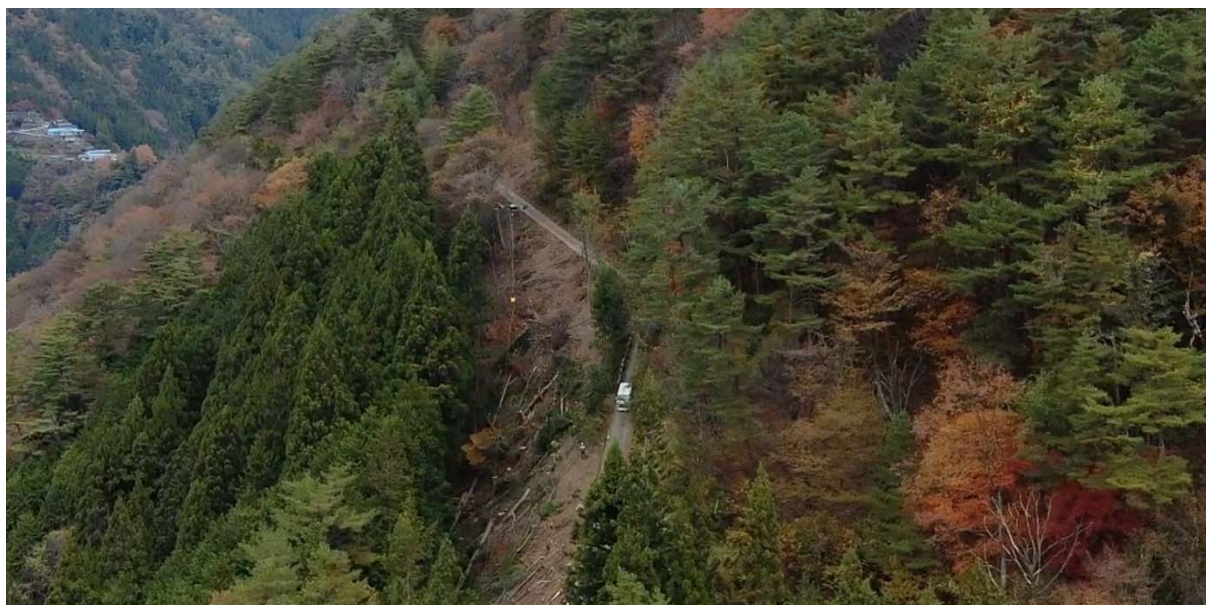


写真 4-11 ドローン追尾画像（着陸側）

表 4-2 ドローン飛行時間（準備工含まず）

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

## ② 2回目飛行

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



写真 4-12 第2回飛行ドローン追尾画像離陸側（左）と着陸側（右）

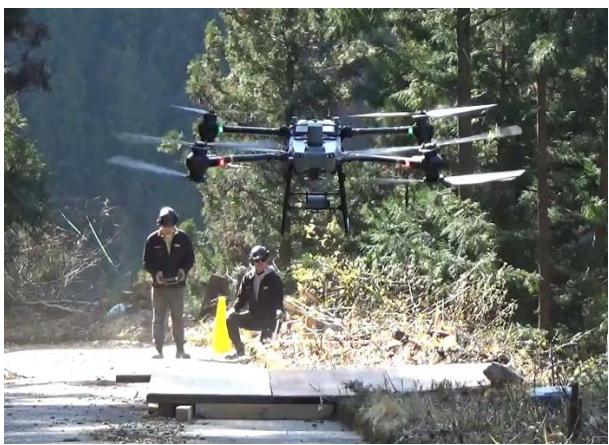


写真 4-13 第2回飛行着陸側画像（左：飛行状況、右：着陸状況スレブ操縦士）

### （5）リードロープ

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

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



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

## 第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

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



写真 4-15 リードロープ受取状況（左）とロープ取り外し状況（右）

### 3-3 工程結果

#### (1) 工程の定義

表 4-3 ドローン架線架設リードロープ引き回し工程

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

## 第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

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

表 4-4 ドローン架線架設リードロープ引き回し工程の作業種

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

### (2) 工程分解時間

#### ① 第 1 回飛行

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

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

#### ② 第 2 回飛行

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

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

### (3) 2 飛行の比較

#### ① 2 飛行の平均

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

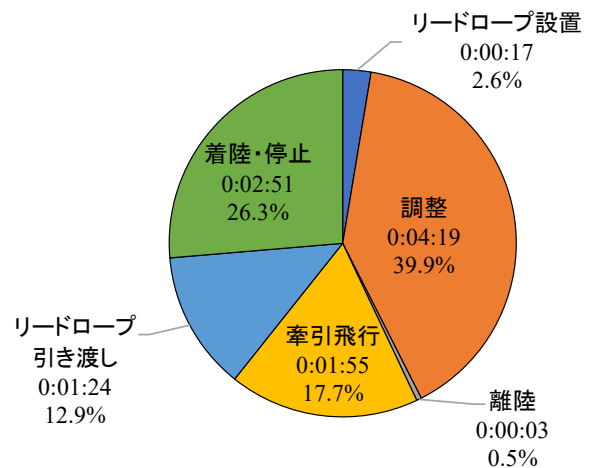


図 4-6 第 1 回飛行の作業区分別時間と割合  
小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

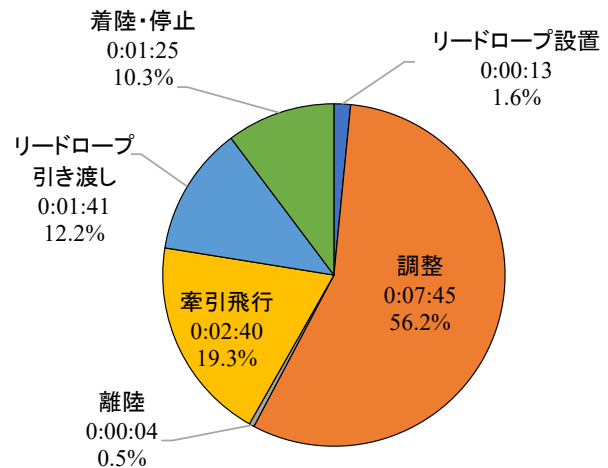


図 4-7 第 2 回飛行の作業区分別時間と割合  
小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

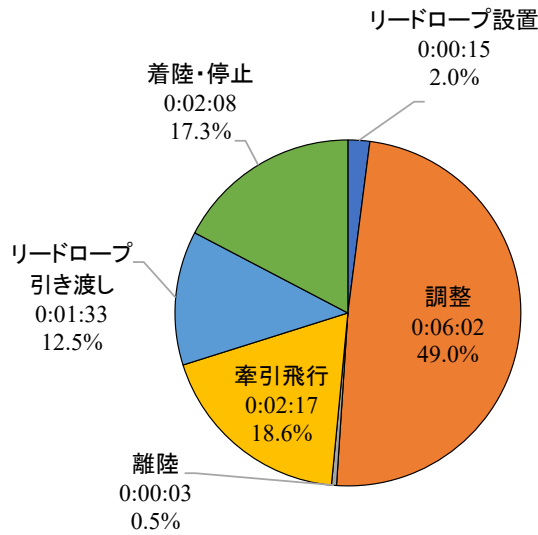


図 4-8 2 飛行の平均作業区分別時間と割合  
 小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

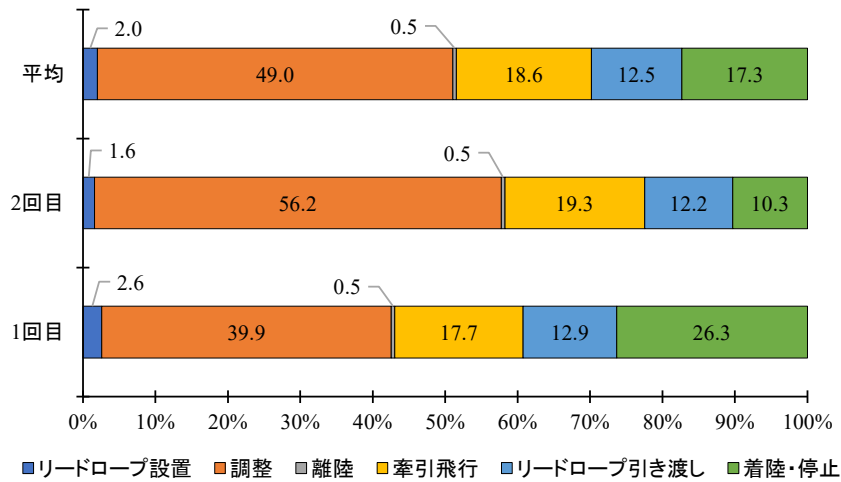


図 4-9 第 1 回飛行と第 2 回飛行及び平均の作業工程割合  
 小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

② Fly Cart 30 飛行時間

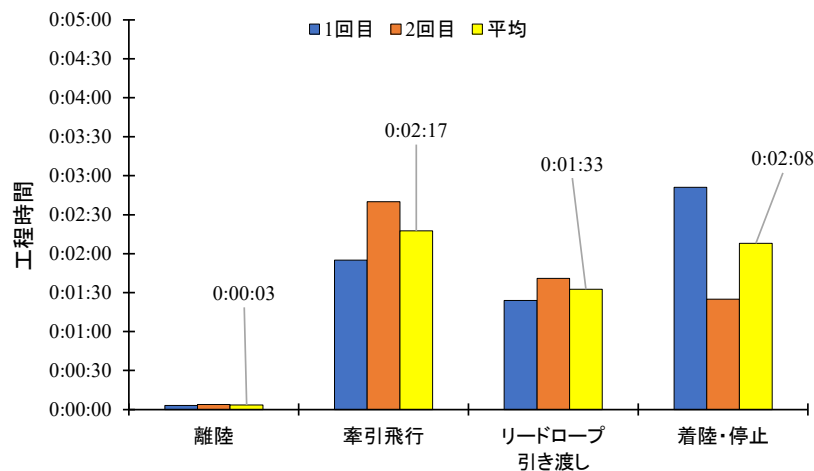


図 4-10 Fly Cart 30 飛行時間内の作業別時間

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

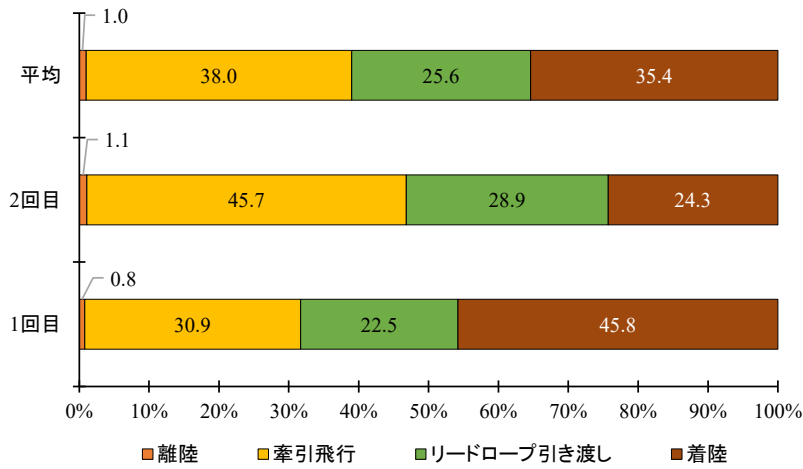


図 4-11 Fly Cart 30 飛行時間内の作業別時間の割合

### ③ 2 飛行の比較

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

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

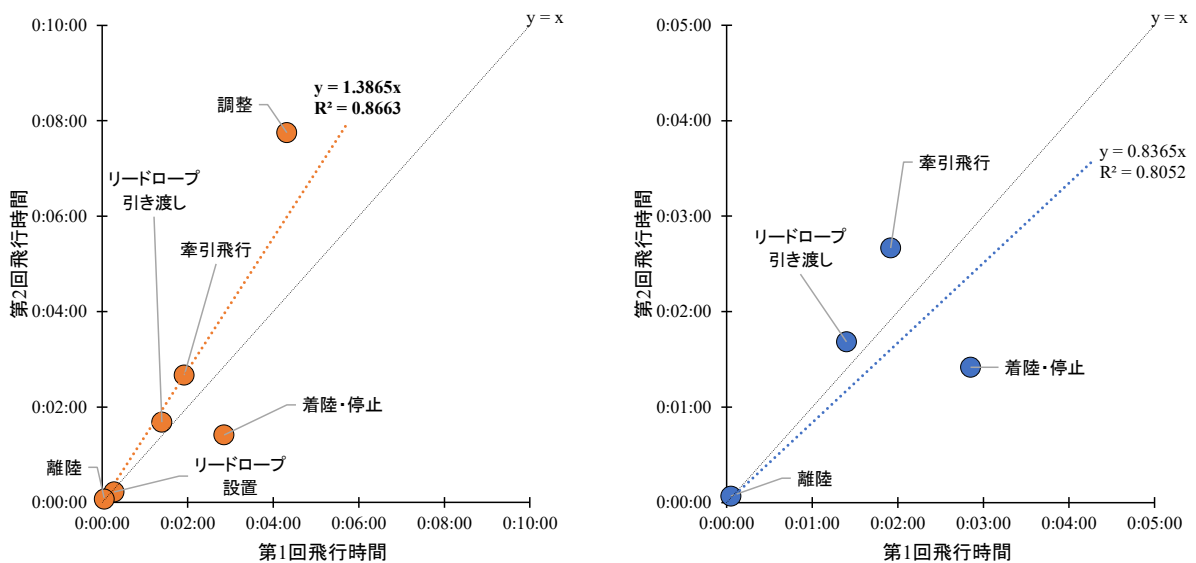


図 4-12 第1回と第2回の作業時間の関係（左：総作業時間、右：Fly Cart 30 飛行時間）

## 第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

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

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

### IV-4 検証評価

本実証事例は図 4-13 の範囲について検証評価を行った。

#### 4-1 作業工程

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

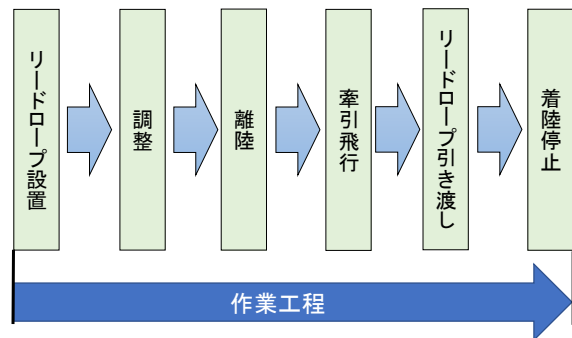


図 4-13 本事例検証作業工程

表 4-5 作業工程における課題

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

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

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

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

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

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

### 4-2 施工性

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

表4-6 施工性における課題

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

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

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

## 第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

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

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

### 4-3 安全性

#### (1) ドローン飛行の安全性

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

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

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

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

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

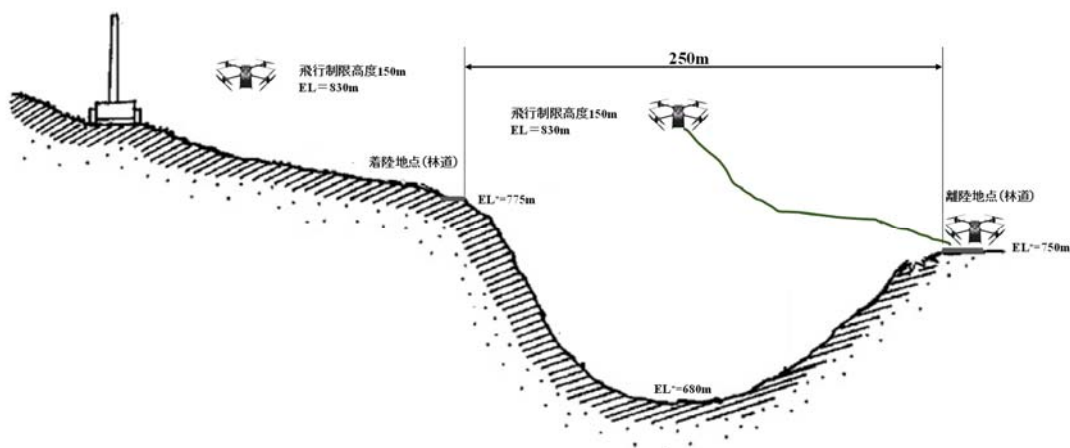


図 4-14 本事例の飛行高度制限図



図 4-15 正確に登録された本実証事例の DIPS 通報画像

## (2) ドローン使用と従来リードロープ運搬の安全性比較

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

## 4-4 労働生産性と経済性

### (1) 労働力と経済性

#### ① 労働力（人工数）

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

表 4-7 参考：実績報告値による単位作業量

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

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

## 第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

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

表4-8 実績報告値による労働力生産性と経済性

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

※ 飯伊森林組合実績報告による値

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

※ ドローン委託費は消費税抜きの金額

### ② 経済性

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

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

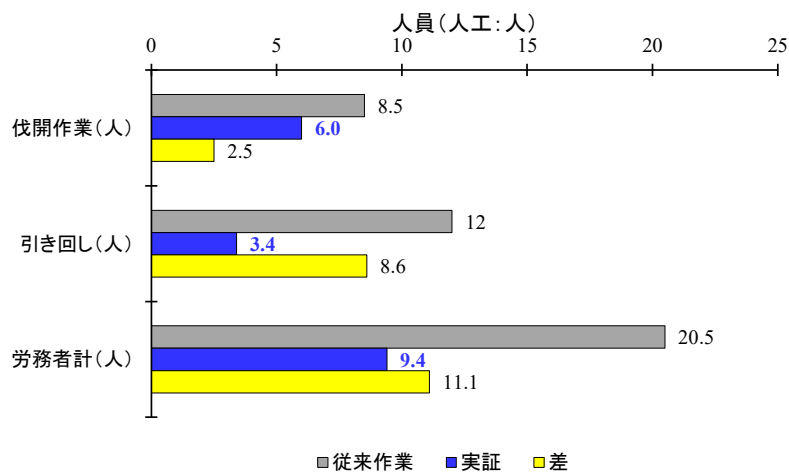


図4-16 実績報告値による労働力生産性

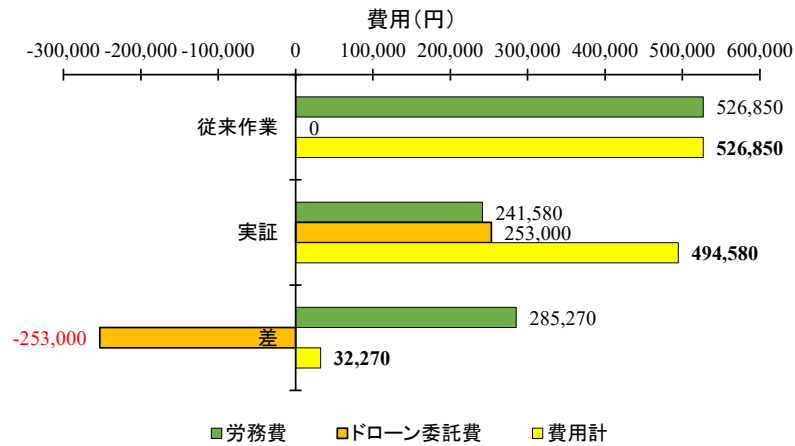


図 4-17 実績報告値による費用

(2) 購入した場合の費用

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

表 4-9 コスト計算因子

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

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

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

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

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

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

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

## 第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

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

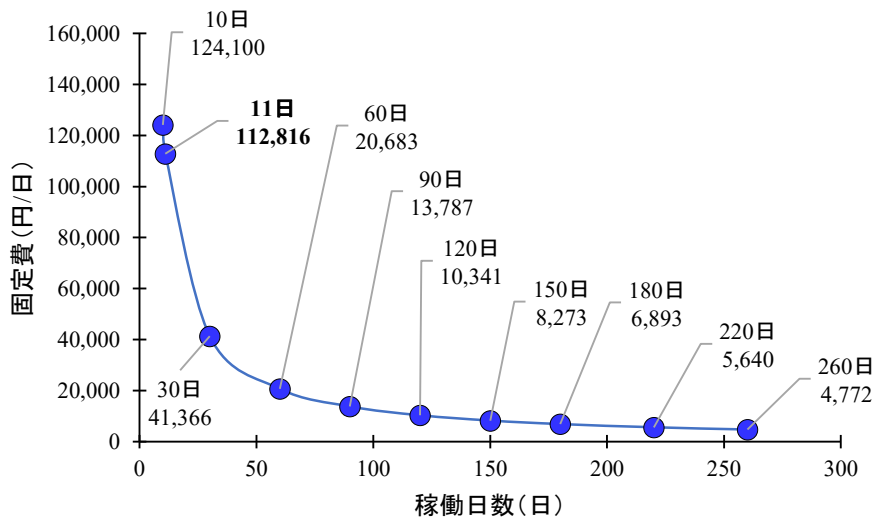


図 4-18 DJI Fly Cart 30 の固定費試算結果  
※年間 1 日使用の固定費は 1,241,000 円

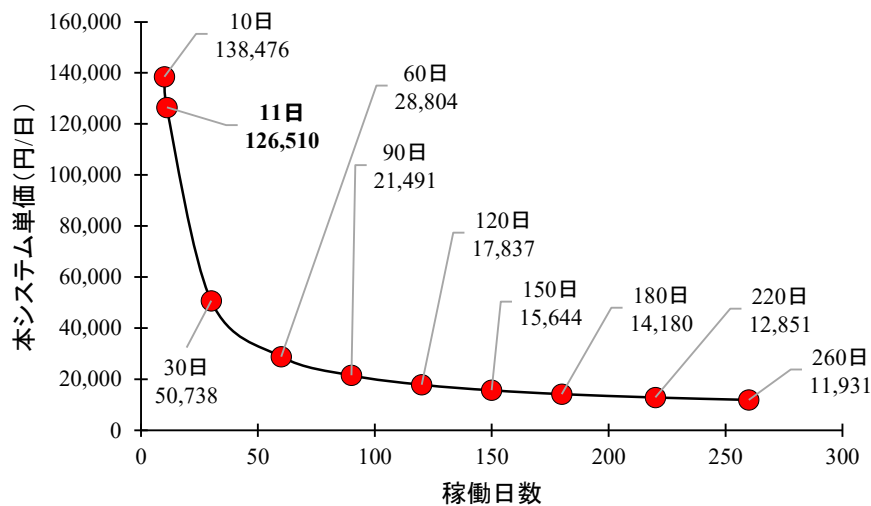


図 4-19 DJI Fly Cart 30 のシステム試算結果（オペレータ 2 名人件費含む）  
※年間 1 日使用のシステム費は 1,322,927 円

### （3）経済性の検証

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

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

### 4-5 総合評価

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

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

表 4-10 検証評価

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

### 4-6 今後の展望

#### （1）ドローンの導入・実施方法

##### ① 導入

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

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

## 第IV章 ドローン架線架設リードロープ引き回し

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

表4-11 ドローン導入における特徴と課題・検討事項（林業事業者側の視点）

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

### ② 適正な機種選定

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

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

(2) 作業工程と歩掛

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

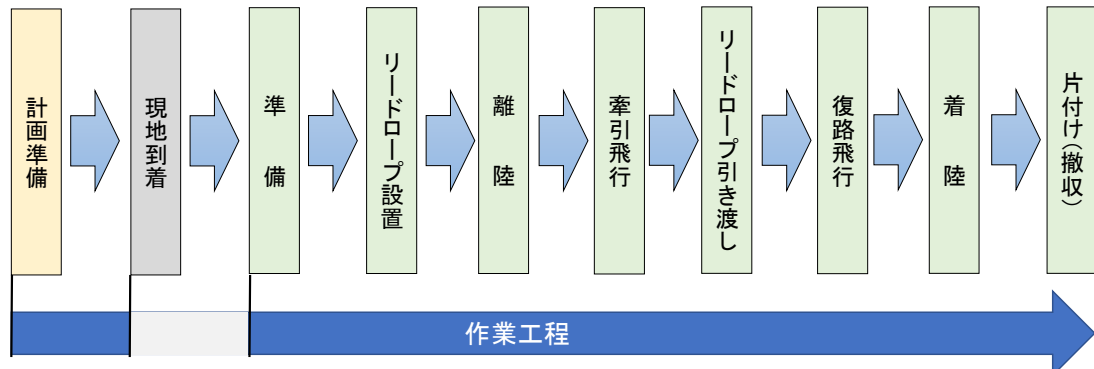


図4-20 想定されるドローンによる架線のリードロープ引き回し（架設）作業工程

① 計画準備

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

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

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

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

② 飛行時の人員編成

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

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

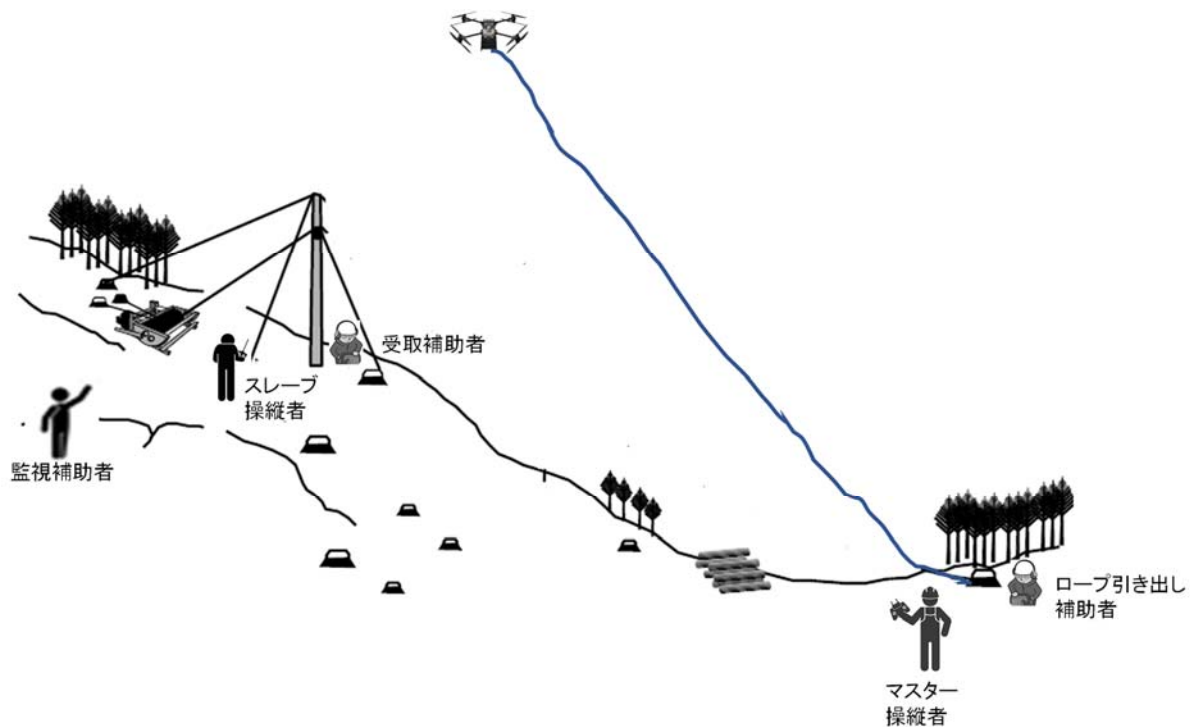


図 4-21 架線リードロープ引き回し作業の人員編成

### (3) 今後の展望

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

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



# おわりに

## 実証4事例の結果

実証4事例の想定機械価格を表-①、作業効率とコスト結果を表-②、評価を表-③に示す。

実証4事例はそれぞれ用途（実証1と実証3は地拵えで同じ）、使用機械及び機械の価格が異なるため一様に比較はできない。

評価は実働の調査・分析・解析によるもので、機械等の性能の評価ではない。初めての挑戦であったことから、活用頻度が高まると効率性、生産性等はさらに向上し、評価が高まる項目もある。

表-①～表-③は、先端技術の導入を検討する場合の参考とされたい。

表-① 実証4事例の機械等の価格

実証	技術 機械	価格 <sup>※1</sup> (千円)	レンタル 費用 <sup>※2</sup> (千円)	備 考
実証1	地拵え LV800	24,000	1,600	
実証2	草刈り RJ703 神刈	4,000	300	
実証3	地拵え マルチャー	31,100 <sup>※3</sup>	1,900	PC138US-11 (0.5m <sup>3</sup> ) 2.9 t 吊アームクレーン (IATT 胸腰配管) FAE マルチャー DML/HY-100VT その他付属品
実証4	架線リード UAV	5,000 <sup>※4</sup>	253 <sup>※5</sup>	委託実施

※1 機械価格はオープン価格、開取り等による想定価格 (2025年12月現在)

※2 レンタル費用は1ヶ月のレンタル費用で、開取り等による想定価格 (2025年12月現在)

※3 ベースマシーン0.45級 (0.5級) とマルチャーセット価格 (マルチャー単体は850~900万円)

※4 ドローン本体、バッテリー、投下フック等のセット想定価格 (2025年12月現在)

※5 ドローン1現場の委託費用

表-② 実証4事例の結果 (作業効率・コスト及び検証総合評価)

実証	技術 機械	作業効率	コスト	記載頁
実証1	地拵え LV800	日当り 0.0476ha (476m <sup>2</sup> ) 日当り 4.069m <sup>3</sup> /日	84,633 円/日 1,785,506 円/ha 20,803 円/m <sup>3</sup>	14~17
実証2	草刈り RJ703 神刈	日当り 0.58ha 1ha 当り 1.70 日	31,689 円/日 55,015 円/ha	44~48
実証3	地拵え マルチャー	日当り 0.27ha 日当り 0.18 m <sup>3</sup> /日 ※切株破碎含む	101,739 円/日 376,811 円/ha 565,216 円/m <sup>3</sup>	81~86
実証4	架線リード UAV	従来作業 20.5 人に対し、実証作業 9.4 人、合計で 11.1 人の縮小	購入の年間 10 日間固定費 124,100 円/日、システム費用は 138,476 円/日	119

表-③ 実証4事例の検証評価

評価項目	実証1	実証2	実証3	実証4
作業工程	◎	◎	○	△
施工性	○	△	◎	△
安全性	○	△	◎	◎
労働生産性	○	○	◎	◎
経済性	△	◎	○	△
特殊性	—	—	◎	—
総合評価	○	○	○	△
記載ページ	23	55	92	119

※評価：「✖：不可」、「△：要検討」、「○：有効」及び「◎：有効技術推進」の4段階

## スマート林業のすすめ

本書の実証4事例は、「スマート林業構築普及事業（先端林業技術公募・実証事業）」として、省力化・低コスト再造林モデルに挑戦する林業事業者等の発案・取組を公募し、選定技術委員会において選定した取り組みで、それぞれ**事業者が創意工夫により果敢に挑戦した事例**である。

実証4事例は、それぞれ先端技術（機械）等は異なるが、“**植えて → 育てて → 伐採して → 再び植える**”といった**林業サイクルを考えて導入する理念が共通**している。単に地拵えをするだけでなく、次の草刈り（下刈り）作業工程、さらには間伐や収穫時の機械化を想定している。さらに、他事業者が皆伐放置した林地を再造林するといった取り組みを省力化・低コストで実施した事例もあった。

次のステップ、さらには将来を見据えた取り組みを率先して実施している地域林業を担う林業事業者が存在する。

実証4事例の林業事業者、他の多くの林業事業者も本評価等を参考にして、さらなる創意工夫、効率的な作業を目指してほしいと期待するとともに、森林・林業に携わる方々の一助となることを願う。

## 公募技術選定会

スマート林業構築普及事業（先端林業技術公募・実証事業）における公募事業は「公募技術選定会」において選定し、実証技術の調査・検証・解析結果を審議した（表-⑥：次ページ）。

選定委員は研究者・有識者の表-④、オブザーバーは表-⑤の長野県林務部職員であった。

表-④ 公募技術選定会 委員 敬称略

氏 名		所 属	
副委員長	齋藤 仁志	教 授	国立大学法人 岩手大学 農学部
	中澤 昌彦	室 長	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 林業工学研究領域 収穫システム研究室
	瀧 誠志郎	主任 研究員	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 林業工学研究領域 収穫システム研究室
	田中 優哉	企 画 幹	長野県 林務部 森林政策課
	井出 政次	主任林業専門 技 術 員	長野県 林務部 信州の木活用課
	大矢 信次郎	主任 研究員	長野県 林業総合センター 育林部
委員長	春日 嘉広	専 務 理 事	一般社団法人長野県林業コンサルタント協会

表-⑤ 公募技術選定会 オブザーバー（長野県林務部） 敬称略

氏 名		所 属	
	市原 満	課長補佐 兼 係 長	長野県林務部 信州の木活用課 林業経営支援係
	東度 孝太	主 任	長野県林務部 信州の木活用課 林業経営支援係



写真-① 公募技術選定会



写真-② 公募技術選定会 実績報告会

表-⑥ 公募技術選定会内容

委員会	日時・場所	内容
公募技術選定会	令和7年9月9日(火) 11:00～ 長野県林業センター503会議室	1 開 会 2 委員長挨拶 3 選定申請説明(プレゼンテーション) 4 選定審議 (1) 採点結果 (2) 採点結果審議 (3) 選定(決定) 5 その他 6 閉 会
公募技術選定会 実績報告会	令和8年3月13日(金) 13:30～ 長野県林業センター503会議室	1 開 会 2 実績報告 (1) スマート林業実証報告会の開催報告 (2) 実績報告書 実証1 佐久森林組合:ラジコン式地 拵え機械 実証2 佐久森林組合:ラジコン式草 刈り機 実証3 長野森林組合:PC138US-11マ シンガイダンス機マルチャ ー地拵え 実証4 飯伊森林組合:貨物運搬用ド ローン架線架設リードロー プ引き回し 3 その他 4 閉 会

---

令和7年度 スマート林業構築普及事業（先端林業技術公募・実証事業）

## スマート林業実証報告

令和8年（2026年）3月

---

企画： 長野県林務部 信州の木活用課  
発行： 〒380-8570  
長野県長野市大字南長野字幅下 692-2  
TEL（代表） 026-232-0111（内線 3224）  
TEL（直通） 026-235-7267  
FAX 026-235-7364  
E-mail：ringyo@pref.nagano.lg.jp

---

実施： 一般社団法人 長野県林業コンサルタント協会  
作成： 〒380-8567  
長野県長野市大字中御所字岡田 30-16(林業センター2F)  
TEL 026-228-7221  
FAX 026-228-7222  
E-mail: honbu@rincon.or.jp  
URL：https://rincon.or.jp

---



令和7年度 スマート林業構築普及事業（先端林業技術公募・実証事業）

## スマート林業実証報告

令和8年（2026年）3月

長野県林務部

一般社団法人 長野県林業コンサルタント協会