

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 ³
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。

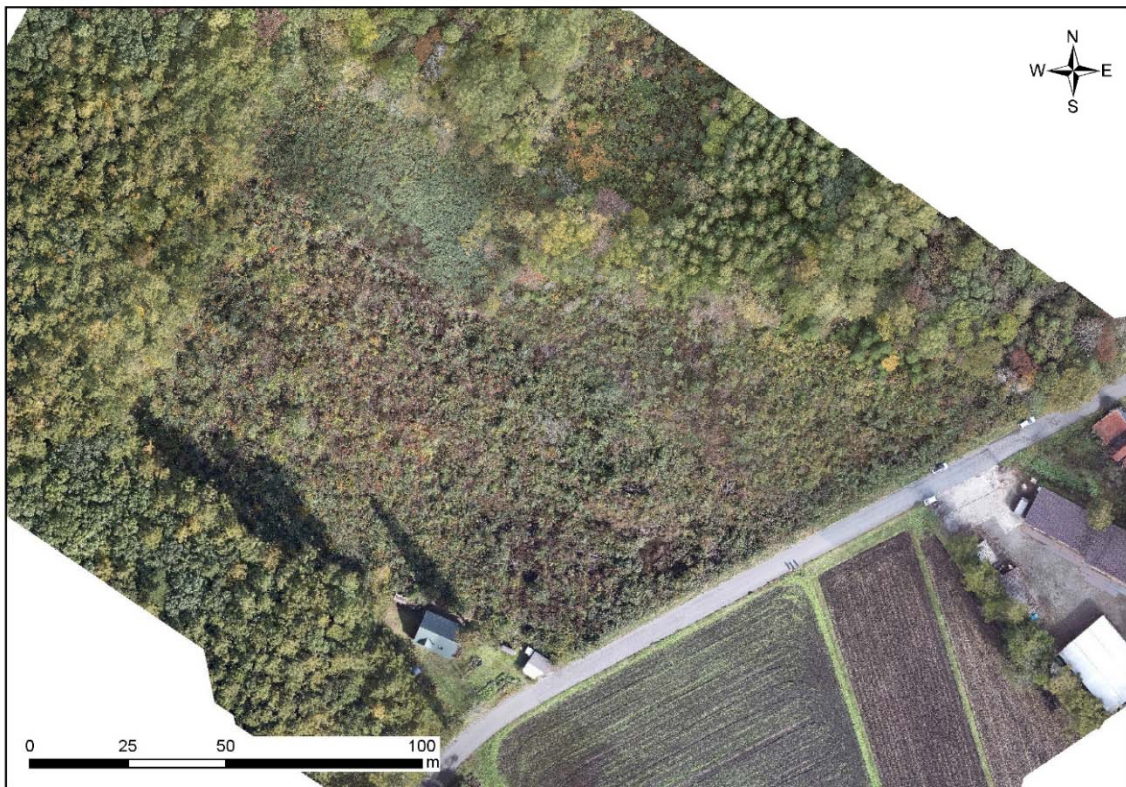


図 3-2 施工前 (施工地全域) 2025.10.27 ドローン撮影

(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。

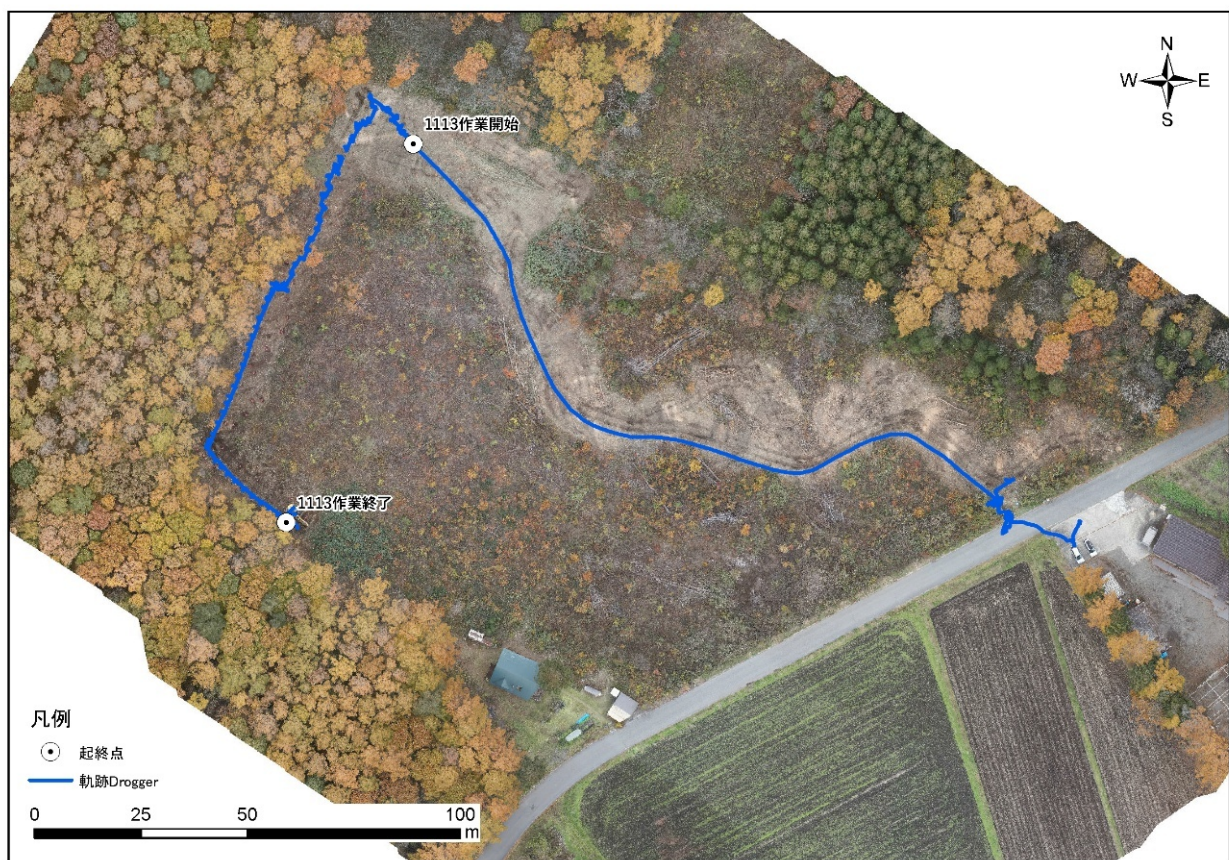


図3-3 調査箇所(青線はPC138US-11軌跡:ドローンオルソ画像)

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：m³）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 0.677m³/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 0.02～1.43m² の範囲にあり、46 株の平均断面積は 0.43m²、1 株の広葉樹切株断面積は 0.54m²、45 株のカラマツ平均断面積は 0.43m² 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 ²)	No	樹種	面積 (m ²)
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 ²					

※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）

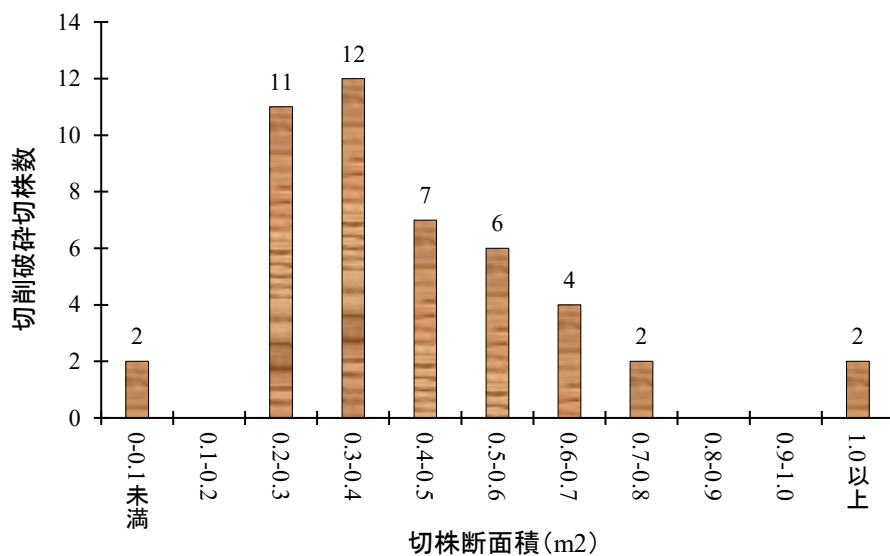


図 3-6 切株断面積の出現頻度

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）。

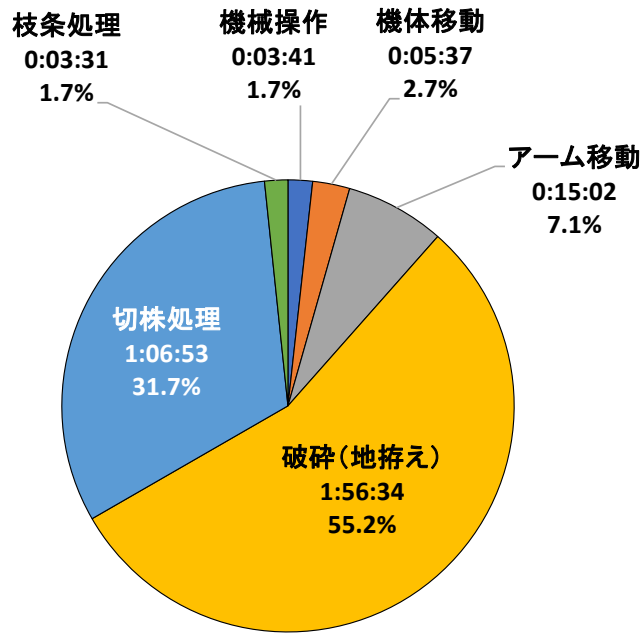


図 3-7 作業工程大区分 総作業時間 (SMH : Scheduled Machine Hour)
 小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

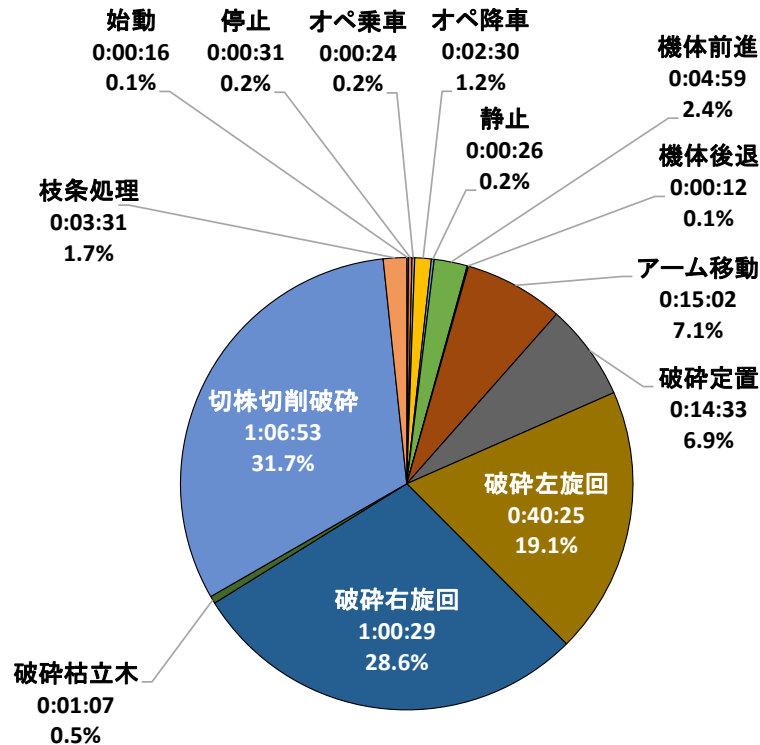


図 3-8 作業工程詳細区分 総作業時間 (SMH : Scheduled Machine Hour)

(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）。

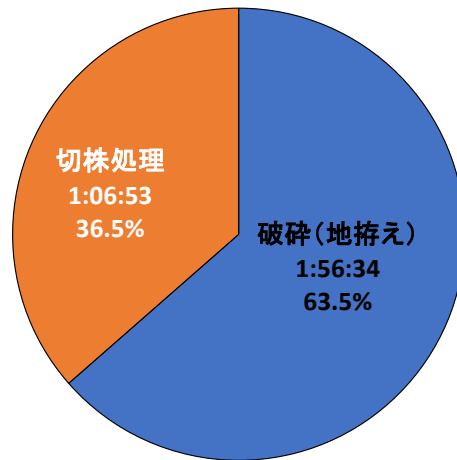


図3-9 破碎工程（地拵え・切株破碎）における時間割合

(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）。

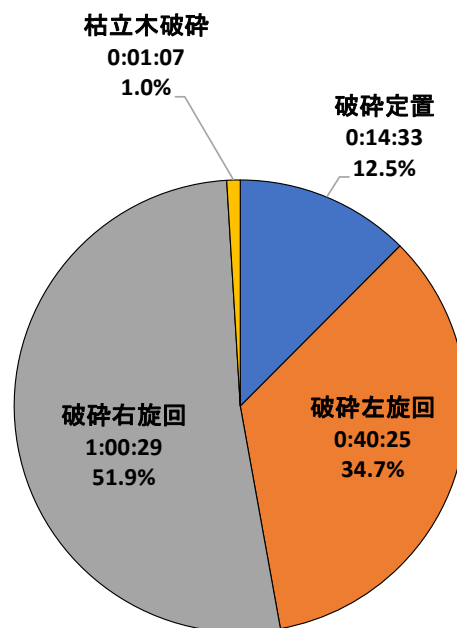


図3-10 破碎（地拵え）作業工程における時間割合

(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

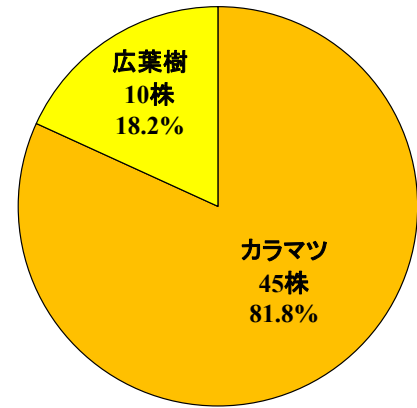


図 3-11 切株切削破碎作業における時間割合

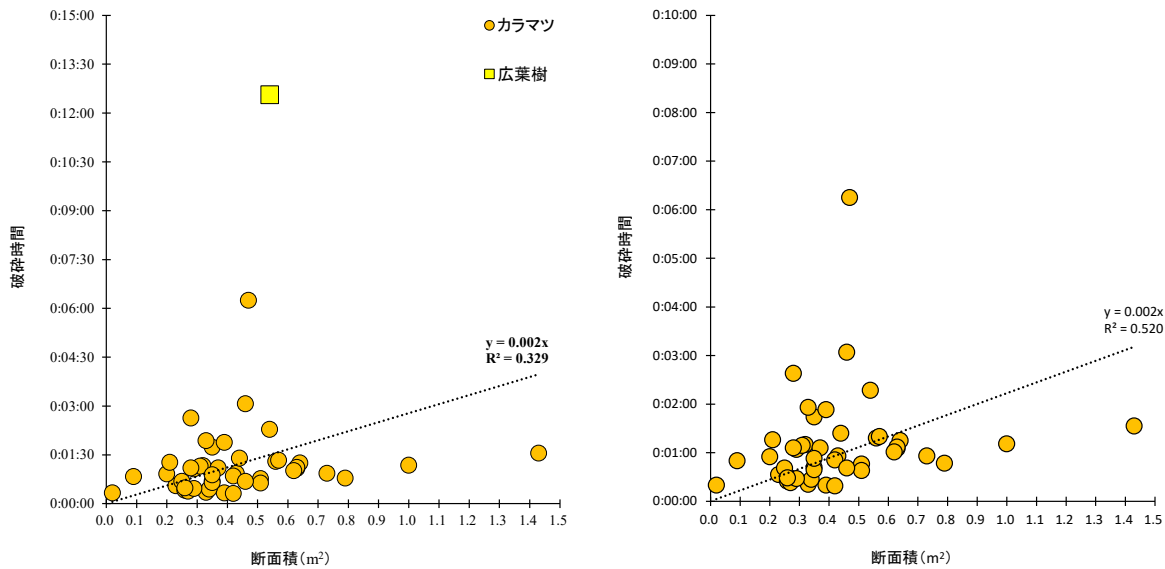


図 3-12 切株断面積と切削破碎時間の関係 左：55 株、右：カラマツ 45 株

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^{※3-3}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 R²=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^{※3-4}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 (R²=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。

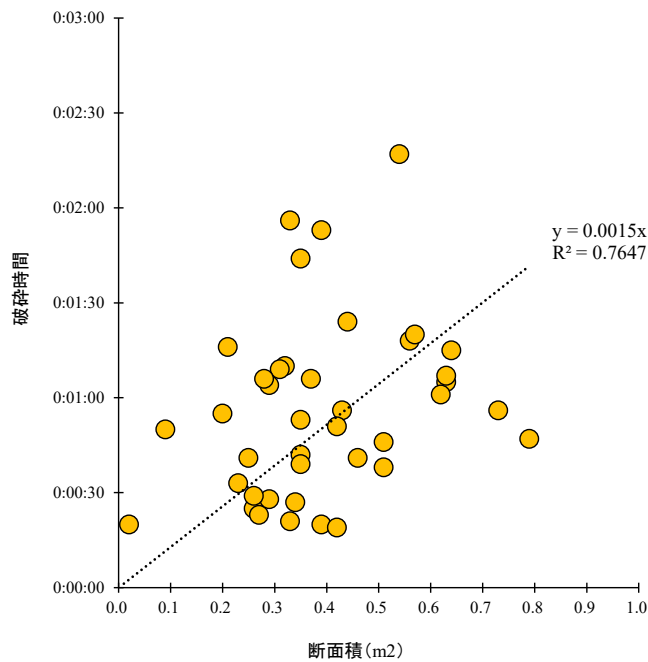


図 3-13 切株断面積と破碎時間の関係（棄却検定後）

(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）。

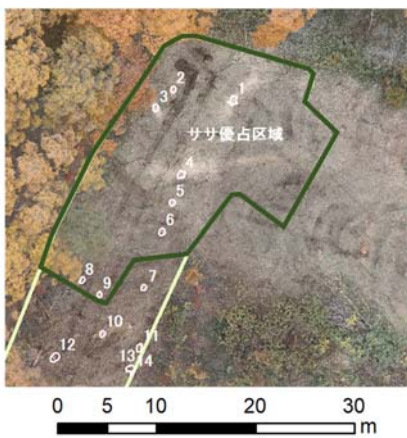


図 3-14 ササ優占区



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）。

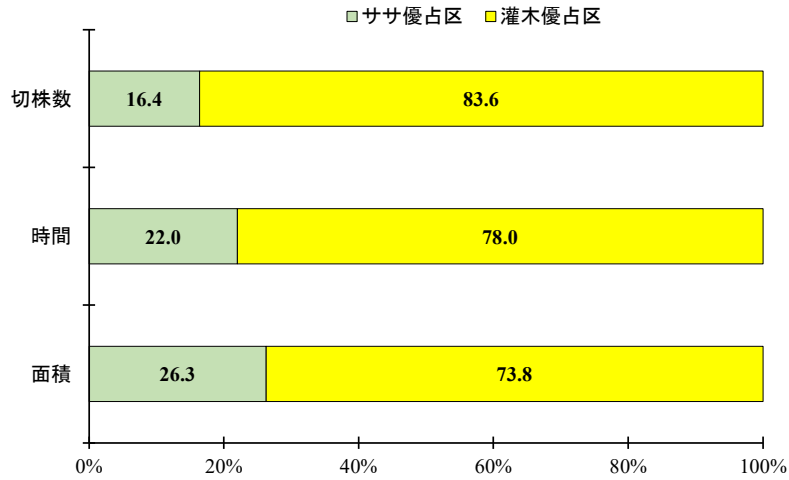


図 3-15 ササ優占区と灌木優占区的面積と作業時間及び切株処理時間割合
面積割合は小数第二位四捨五入の関係で割合表記は 100%にならない

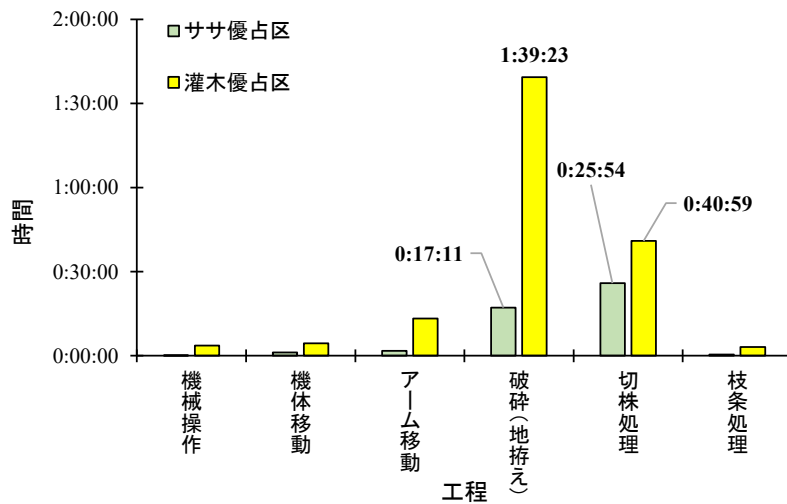


図 3-16 作業工程別時間

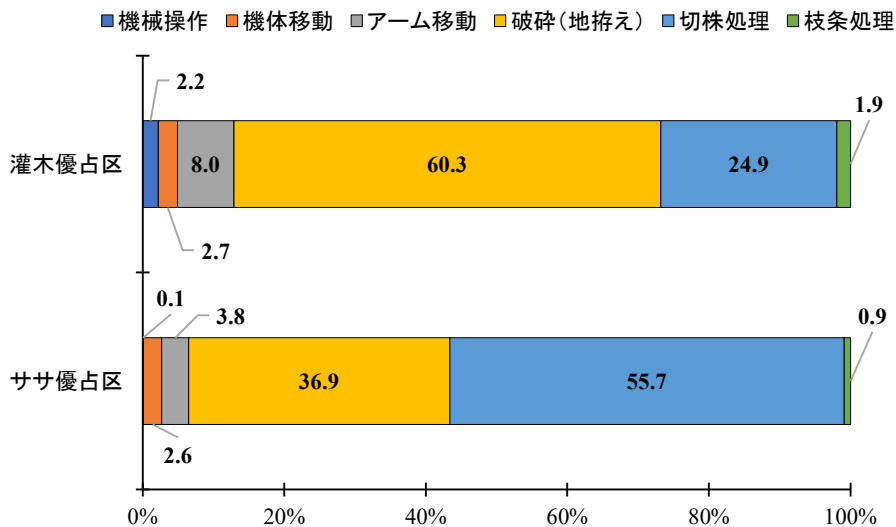


図 3-17 ササ優占区と灌木優占区の作業工程割合

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）。

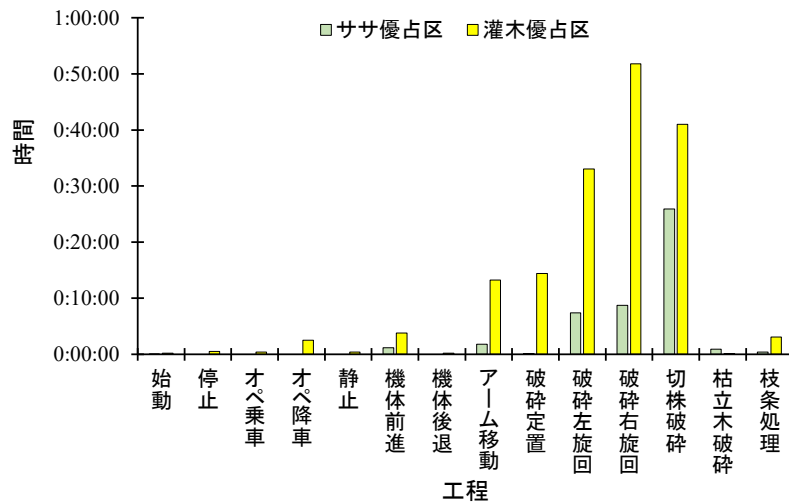


図 3-18 作業工程細区分時間

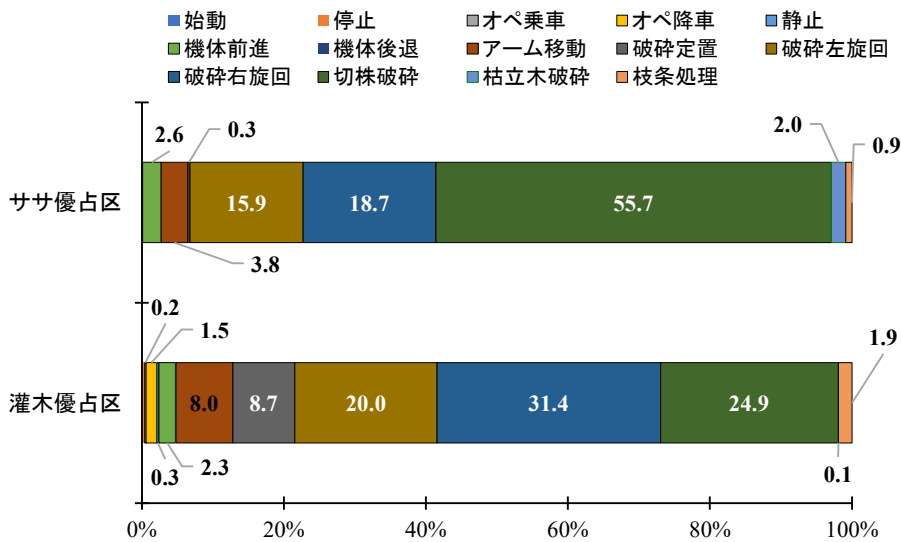


図 3-19 笹サ優占区と灌木優占区の作業工程細区分割合

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^{*3-5}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。

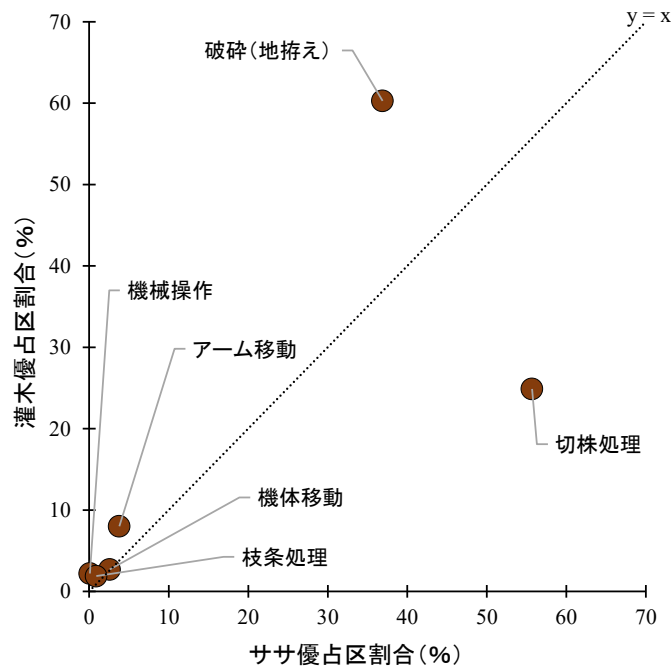


図 3-20 ササ優占区と灌木優占区の作業工程割合の関係

※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）。

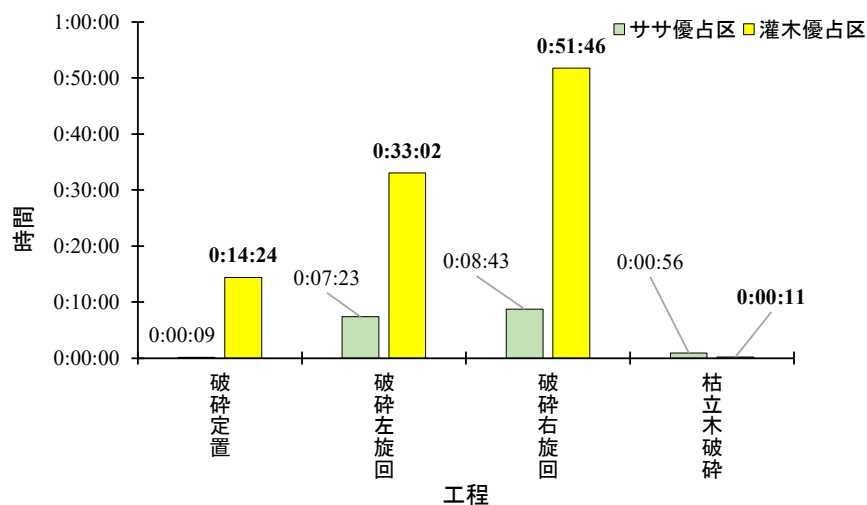


図 3-21 ササ優占区と灌木優占区の破砕（地拵え）作業時間

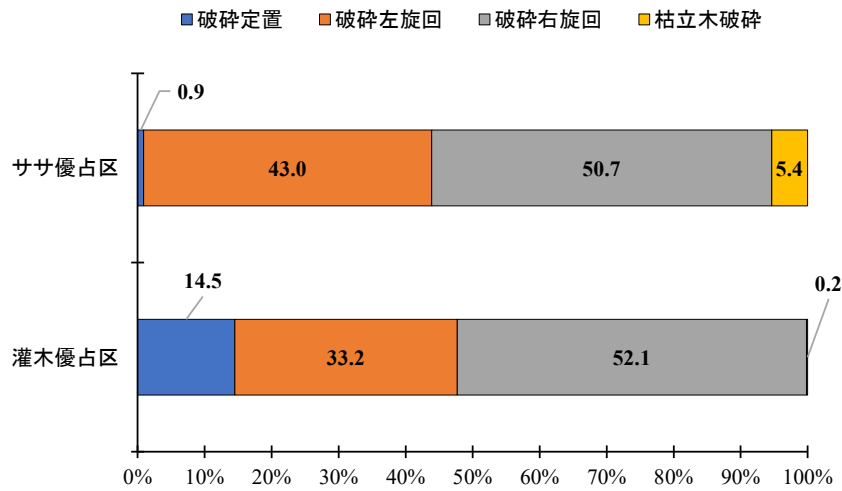


図 3-22 ササ優占区と灌木優占区の破碎（地拵え）作業時間割合

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^{※3-6}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。

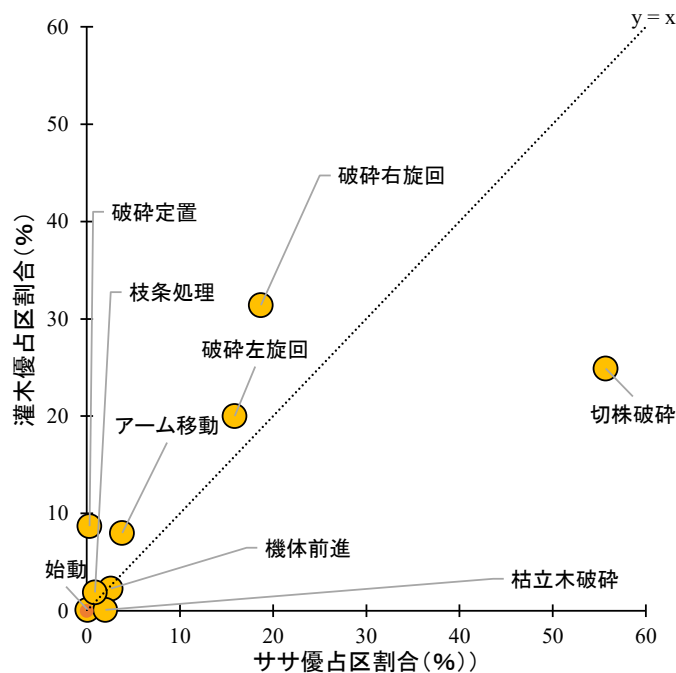


図 3-23 ササ優占区と灌木優占区の破碎（地拵え）作業時間割合の関係

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)。

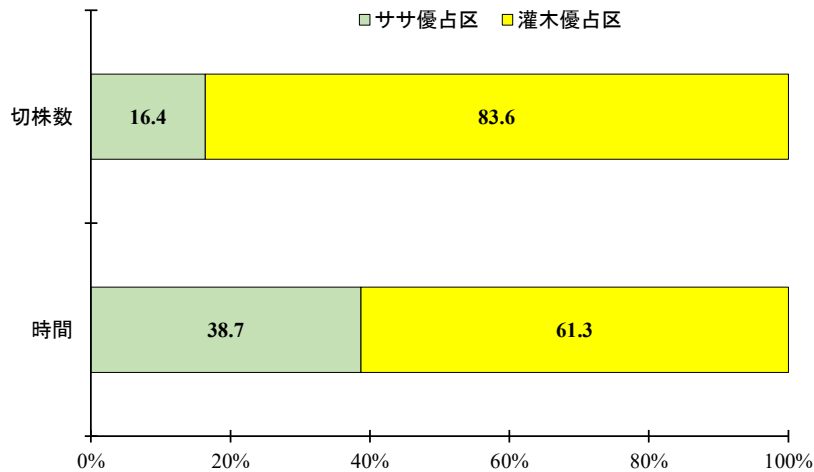


図 3-24 ササ優占区と灌木優占区の切削破砕時間割合

(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^{※3-7}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 0.677m³/ha（p65、式-1）から単位面積時間（時/ha）と単位材積時間（時/m³）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 0.108m³、単位面積時間（時/ha）は 22 時間 00 分 37 秒、単位材積時間（時/m³）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0.080m³、単位面積時間(時/ha)は23時間16分20秒、単位材積時間(時/m³)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 ³)	単位幹材積 (m ³ /ha)	面積 (ha)	幹材積換算 (m ³)
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/m³)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/m³)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 ³)	単位幹材積 (m ³ /ha)	面積 (ha)	幹材積換算 (m ³)
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19.91m²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/m²)は3分22秒、単位材積時間(時/m³)は17分41秒となった。

ササ優占区では単位面積時間(時/m²)は10分37秒、単位材積時間(時/m³)は55分49秒となった。

灌木優占区では単位面積時間(時/m²)は2分21秒、単位材積時間(時/m³)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 ²)	断面面積 (m ²)	平均株高 (m)	細り率 (%)	換算材積 (m ³)	単位材積 (時/m ³)
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 0.18m³
- ◆ 総工程の地拵え面積は 1 日当り 0.27ha、破碎材積 0.18 m³

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 ³)	
					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 ガイドンス	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 ガイドンス	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 ガイドンス	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 (m³) 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^{※3-8}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^{※3-9}。

※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 ³)	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/m³」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 ³ /時・人)	実績値から時間当たりに換算した面積 0.045ha・0.03m ³
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
固定費 (円/時)	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0.5m³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。

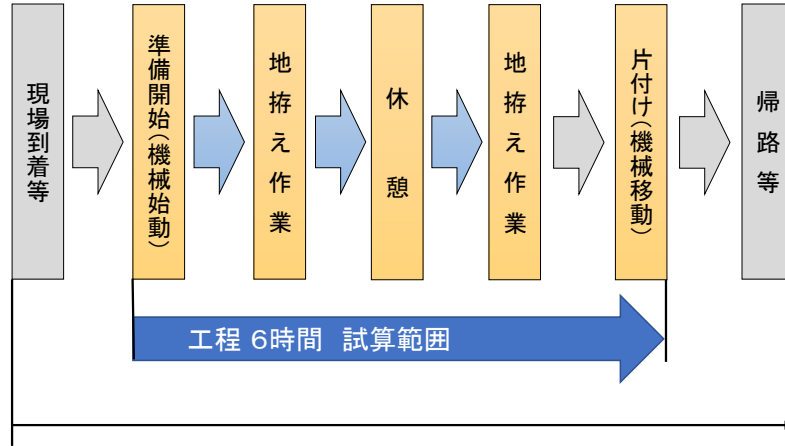


図3-25 PC138US-11 マシンガイダンス機地拵え作業試算の範囲

(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
人件費	G	20,175	
本システム稼働(円/日)	C	56,418	P×6時間
変動費(円/日)	VC6	25,146	VC×6時間
本システム単価(円/日)	PC1	101,739	G+C+VC6

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
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	0.0530	本システム実績
本システム単価(円/ha)	PC1	319,933	Z/C

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/m³）

参考として、作業材積当り（0.03m³/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/m³** 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 ³ /時)	C	0.030	本システム実績
本システム生産単価(円/m ³)	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/m³ 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 ³)	
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

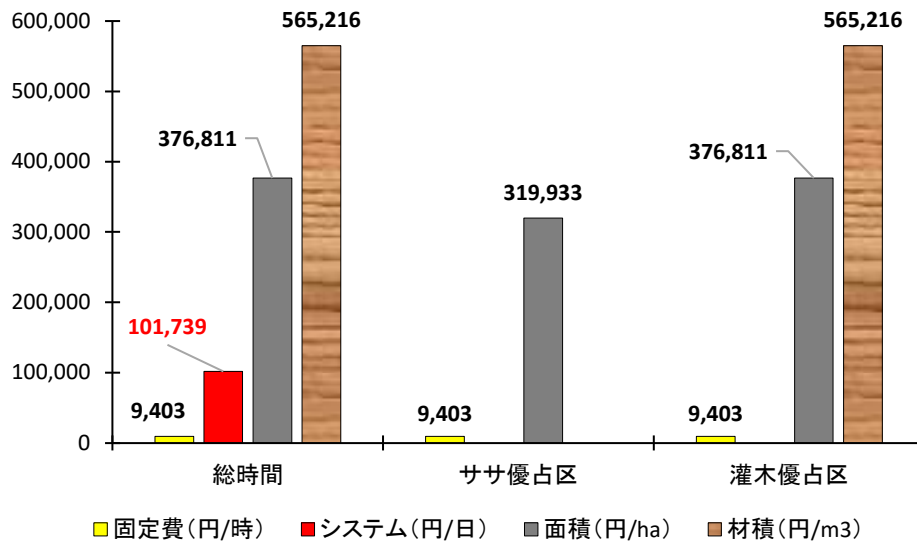


図 3-26 PC138US-11 マシンガイダンス機のシステム単価

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。

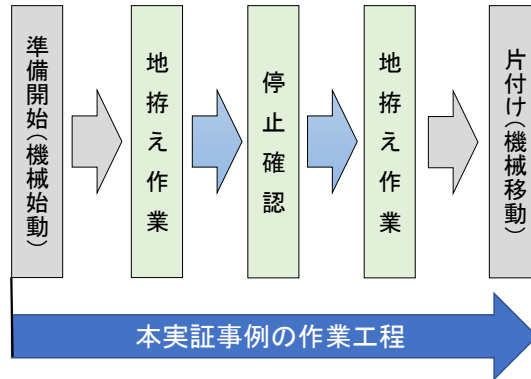


図 3-27 実証事例の作業工程

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）^{※3-11}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	269,000	-1,334,680	0	-107,811	-39,979	長野森林組合試算	10 人工
工程実績 E	376,811	-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	308,979	-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）

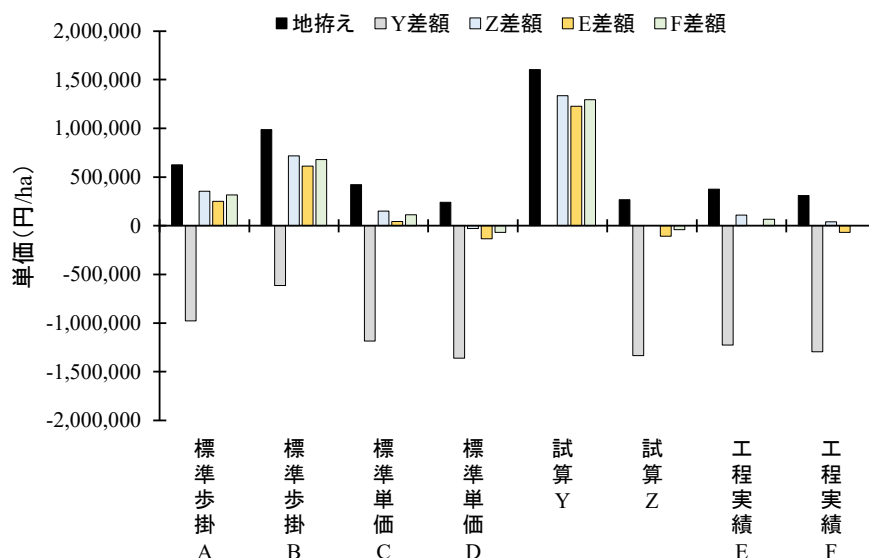


図 3-29 地拵え標準単価と PC138US-11 マシンガイダンス機単価比較

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。

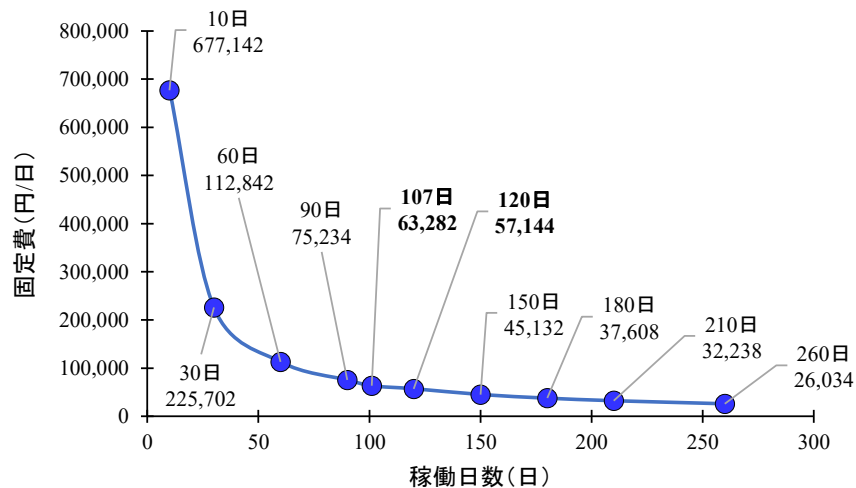


図 3-30 コスト計算による固定費試算

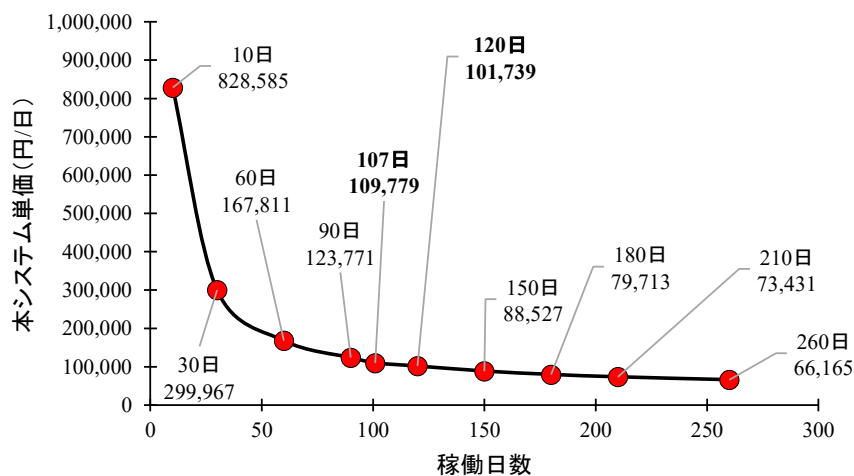


図 3-31 コスト計算によるシステム単価試算

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。

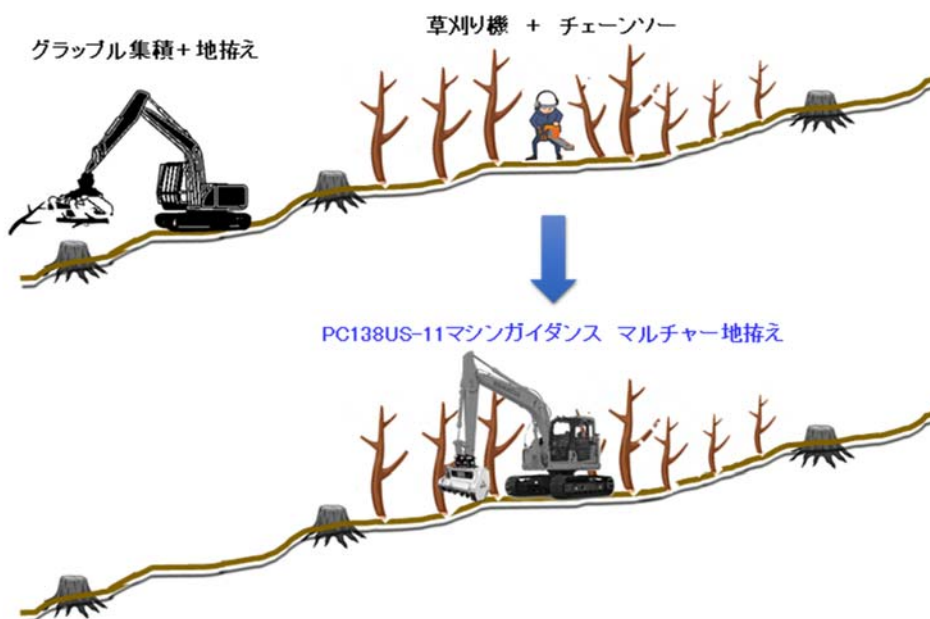


図3-33 従来型とPC138US-11マシンガイダンスマルチャー地拵え

(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

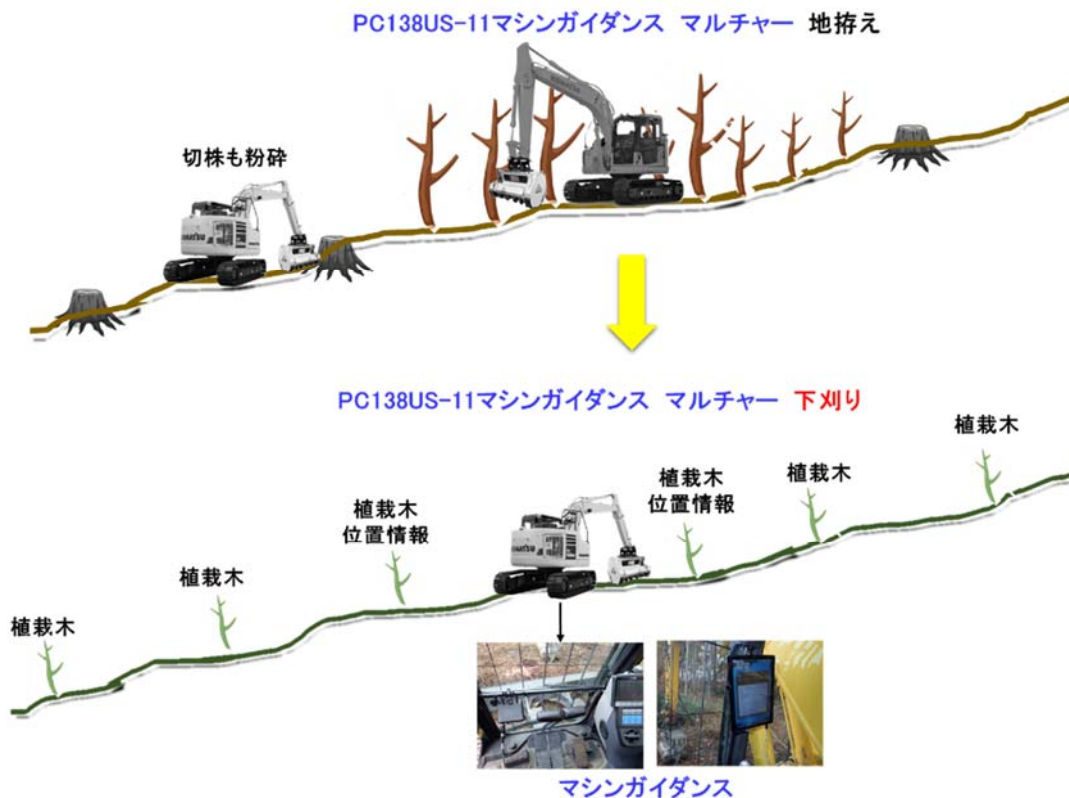


図 3-34 地拵え後のガイダンスマシンの活用

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。

