

令和4年度
造林作業の機械化に向けた
実証調査委託事業
報告書

令和5（2023）年3月

林野庁

目次

第1章 事業の概要	1
1-1. 事業名	1
1-2. 事業目的	1
1-3. 事業内容	1
1-3-1. 事前準備	1
1-3-2. 多目的造林作業機及び人力による地拵えの実証	1
1-3-3. 調査結果の整理及び報告書の作成	2
1-4. 履行期間	2
第2章 実証調査の概要	3
2-1. 調査地の概要	3
2-1-1. 調査地の所在	3
2-1-2. 調査地の施業履歴	4
2-1-3. 調査地の地形・傾斜	5
2-1-4. 調査地の植生	7
2-1-5. 調査地の林床の状況（残置された残材や伐根等）	8
2-2. 調査地のエリア区分	10
2-3. 使用した多目的造林作業機	12
2-4. 調査内容と調査方法	13
2-5. 調査のスケジュール	15
第3章 事前準備	16
3-1. 事前協議	16
3-2. 作業道の整備	17
3-2-1. 作業道の整備の概要	17
3-2-2. 作業道の整備の実施状況	17
3-2-3. 作業道の整備における生産性	22
第4章 多目的造林作業機による造林機械地拵えの実証調査	23
4-1. 造林機械地拵え実証調査の概要	23
4-2. 造林機械地拵えの実施状況	23
4-2-1. 「造林機械地拵え区」における地拵えの実施状況	26
4-2-2. 「造林機械＋人力地拵え区」における地拵えの実施状況	32
4-3. 造林機械地拵えの作業工程	34
4-3-1. ビデオ撮影による工程調査について	34
4-3-2. 工程調査の結果	36
4-4. 多目的造林作業機「山もつとモット」の性能等に関する調査	41

4-4-1.	「山もっとモット」の稼働条件（斜面の傾斜）について.....	41
4-4-2.	「山もっとモット」の稼働条件（傾斜以外の条件）について.....	46
4-4-3.	「山もっとモット」の伐根処理能力について.....	48
4-4-4.	作業者への聞き取り調査.....	50
第5章	人力による地拵えの実証調査.....	52
5-1.	人力地拵え実証調査の概要.....	52
5-2.	人力地拵えの実施状況.....	52
5-3.	人力地拵えの作業工程.....	55
5-3-1.	労務調査票による工程調査について.....	55
5-3-2.	工程調査の結果.....	55
5-4.	枝条の集積状況.....	56
第6章	造林機械地拵えと人力地拵えの比較.....	58
6-1.	作業工程の比較.....	58
6-2.	コストの比較.....	58
6-2-1.	造林機械地拵えのコスト.....	60
6-2-2.	人力地拵えのコスト.....	61
6-2-3.	コスト比較.....	62
6-3.	地拵え作業による地表面への影響の比較.....	63
6-3-1.	作業前後の地表面の状況.....	63
6-3-2.	堆積物の厚さ.....	66
第7章	機械による造林作業に関する事例.....	67
7-1.	多目的造林作業機「山もっとモット」の実証調査を行った事例.....	67
7-1-1.	筑水キャニコム（「山もっとモット」を開発したメーカー）の調査事例.....	67
7-1-2.	その他の実証事例.....	72
第8章	造林作業の機械化に向けて.....	73
8-1.	多目的造林作業機による地拵えの機械化について.....	73
8-1-1.	多目的造林作業機を効率的に稼働できる条件.....	73
8-1-2.	多目的造林作業機による作業の低コスト化.....	75
8-2.	造林作業の機械化に向けた今後の課題と、課題の解決に向けた調査方法の提案..	76
8-2-1.	多目的造林作業機を用いた地拵えについての実証事例の収集.....	76
8-2-2.	下刈りを含めた一連の造林作業の中での運用方法等の検討.....	77
8-2-3.	主伐まで含めた一連の作業システムの中での運用方法等の検討.....	77

地拵えに関する用語について	
<ul style="list-style-type: none"> ・多目的造林作業機による地拵え ・造林機械地拵え 	<p>雑草木の刈り払いや伐根の処理、残材の集材といった様々な用途に使用できる「多目的造林作業機」を用いた地拵え</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・人力を主とした地拵え 	<p>チェーンソーや刈り払い機による雑草木の刈り払いや、人力での集材といった、人力による作業を中心とした従来から行われている地拵え</p>

第1章 事業の概要

1-1. 事業名

令和4年度造林作業の機械化に向けた実証調査委託事業

1-2. 事業目的

人工林資源が充実し本格的な利用期を迎える中、森林の公益的機能の発揮と持続可能な林業の発展には主伐後の再造林を着実に進める必要がある。

また、再造林の推進にあたっては、保育等の今後の施業の効率化等を想定しつつ、労働強度が高い造林作業の効率化と軽労化を図ることが重要な課題である。

このため、本事業では機械化による造林作業の効率化に向けて、国有林をフィールドに実証調査を行った。

1-3. 事業内容

事業の目的を達成するため、主伐までの施業を想定した上で、今後の作業を踏まえた多目的造林作業機を用いた地拵え作業（伐根や枝条等の破碎）と従来の人力地拵え作業との比較・分析を実施し、造林作業の効率化・軽労化・安全性向上等の観点から機械導入における課題と有効活用に向けた留意点を考察・整理した。なお、下刈りについては多目的造林作業機又は小型遠隔操作草刈り機の使用を想定した。

また、事業の実施にあたっては、昨年度事業で得られた知見等を踏まえた検討を行った。

1-3-1. 事前準備

事業の実施にあたり、関係者間で現地協議を実施し、調査内容や作業手法に関してすり合わせ及び修正等を行った。

また、多目的造林作業機の作業実施エリアへの侵入路を確保するため、実証調査の実施前に作業道の整備を行った。

1-3-2. 多目的造林作業機及び人力による地拵えの実証

伐根や枝条の破碎、集積、草等の刈り払い機能を持つ乗用型の多目的造林作業機を用いた地拵えと、従来行われている人力での作業を主とした地拵えを実施し、作業工程や作業に伴う地表面の攪乱状況等を比較した。

また、多目的造林作業機の性能を把握するため、多目的造林作業機が走行したエリアの傾斜や地形等の検証や伐根の処理能力の調査等を実施した。

なお、今年度の仕様書に基づき、調査地を以下の三つのエリアに区分した。

(ア) 多目的造林作業機を用いた地拵えを実施するエリア（以下、「造林機械地拵え区」）

多目的造林作業機による地拵えを主として実施するエリア。ただし、多目的造林作業機の走行の障害となる林地残材等を除去し、多目的造林作業機の走行が難しい急斜面等の灌木を伐採するため、刈り払い機やチェーンソー、バックホウにより作業補助を行った。

なお、今後の植栽作業の際に苗木を植栽できない箇所をできるだけ作らないことを目的として、エリア内の枝条は林地内に集積せず、可能な限り多目的造林作業機により破砕処理を行った。

(イ) 多目的造林作業機と人力を組み合わせて地拵えを実施するエリア（以下、「造林機械＋人力地拵え区」）

多目的造林作業機が走行できない急傾斜の斜面等について、灌木の伐採を人力（チェーンソーや刈り払い機を用いた作業）により行い、発生した枝条は作業道の上に集材して多目的造林作業機により破砕作業を実施するエリア。

(ア)と同様に、今後の植栽作業の際に苗木を植栽できない箇所をできるだけ作らないことを目的として設置した。

(ウ) 人力を主として地拵えを実施するエリア（以下、「人力地拵え区」）

多目的造林作業機による地拵えと作業工程等を比較するため、チェーンソーや刈り払い機による灌木の刈り払いや人力での集材といった、人力による作業を中心とした従来から行われている地拵え作業を実施するエリア。

なお、灌木の伐採時に発生した枝条については、林地内や作業道の上にまとめて集積した。

1-3-3. 調査結果の整理及び報告書の作成

上記の調査で得られたデータを整理・分析し、多目的造林作業機による地拵えと人力による地拵えの作業工程や作業に伴う地表面の攪乱状況等を比較した。また、多目的造林作業機を用いて造林作業を機械化することによる効率化、軽労化、安全性の向上効果を評価し、多目的造林作業機のより効果的な活用に向けた課題の整理や今後における調査手法の提案を行い、報告書に取りまとめた。

1-4. 履行期間

始期 令和4年10月20日（木）

終期 令和5年3月13日（月）

第2章 実証調査の概要

2-1. 調査地の概要

2-1-1. 調査地の所在

所在地：栃木県那須郡那珂川町矢又 川戸道国有林5き2林小班

面積：3.73ha（うち調査地の面積は2.49ha）

今年度の調査地は、栃木県那須郡那珂川町の国有林（川戸道5き2）内に設置した。調査地の全景を写真 2-1 に、位置図を図 2-1 に示す。



写真 2-1 調査地の全景（栃木県那須郡那珂川町 川戸道国有林5き2林小班）
（2023年2月にドローンにより撮影）

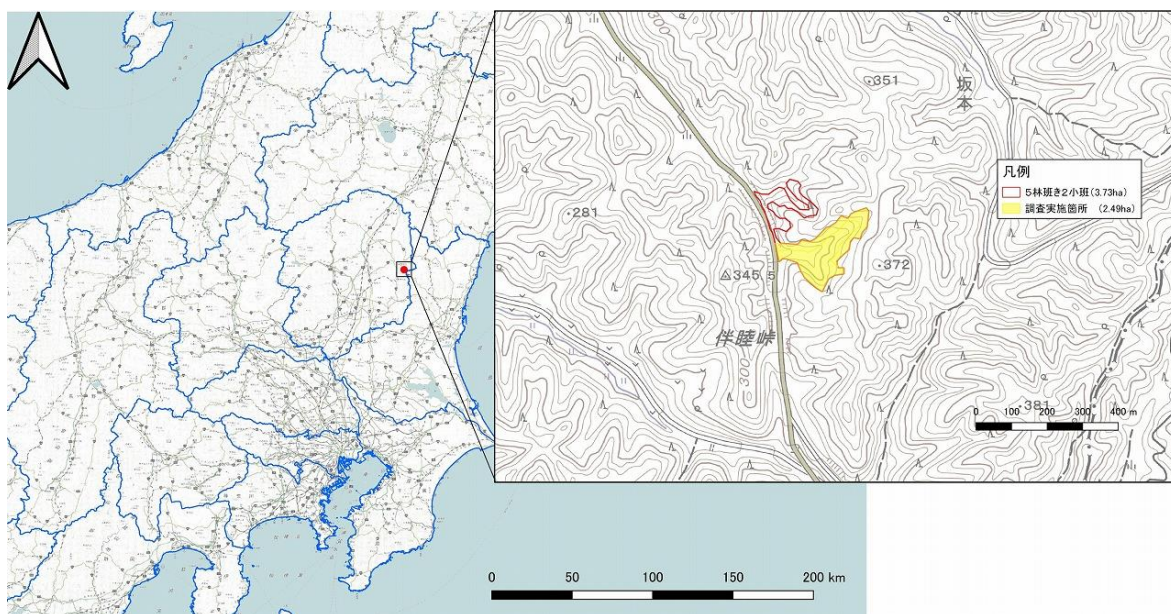


図 2-1 調査地の位置

出典：国土地理院ウェブサイト <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>
 (地理院タイルに県名、県境、林小班、調査地を追記して掲載)

2-1-2. 調査地の施業履歴

今年度の調査地を管轄する塩那森林管理署への聞き取り等から整理した、調査地の情報（表 2-1）及び施業履歴（表 2-2）を以下に示す。台帳では、昭和 41（1966）年 5 月にスギ及びアカマツを植栽したとされている。植栽の間隔については不明だが、現在残っている伐根の間隔から推定したところ、縦 1.8m×横 1.8～2m 程度だった。

植栽の後、2～4 年生時に下刈り、12 年生時に除伐、14 年生時に本数調整伐（詳細は不明）が実施された。また、28 年生時と 36 年生時に間伐が実施され、平成 28（2016）年 12 月に 51 年生で主伐（皆伐）が実施された。

表 2-1 川戸道国有林 5 歳 2 小班の情報

項目	内容	備考
面積	3.73ha	うち調査地の面積は 2.49ha
前生樹種	スギ	
植栽年度	昭和 41（1966）年度	
伐採年度	平成 28（2016）年度	皆伐
伐採時の林齢	51 年生	植栽年度を 1 年生として計算
保安林指定	なし	
契約状況	分収育林	分収育林契約に基づく分収林

表 2-2 川戸道国有林5き2小班の施業履歴

実施年月	林齢	施業内容	備考
昭和 41 (1966) 年 5 月	1 年生	植え付け	台帳では、スギ 6,900 本 (1.98ha)、アカマツ 8,900 本 (1.98ha) となっている。
昭和 42 (1967) 年 7 月	2 年生	下刈り	
昭和 43 (1968) 年 6 月	3 年生	下刈り	
昭和 44 (1969) 年 6-7 月	4 年生	下刈り	
昭和 46 (1971) 年 9 月	6 年生	つる切り	
昭和 52 (1977) 年 9 月	12 年生	除伐	
昭和 55 (1980) 年 2 月	14 年生	本数調整伐	数量不明
平成 5 (2002) 年	28 年生	間伐	
平成 14 (2002) 年 3 月	36 年生	間伐	
平成 28 (2016) 年 12 月	51 年生	主伐 (皆伐)	

主伐時の林分の立木本数および林分材積等について、主伐の前年に実施された収穫調査の結果を基に表 2-3 に整理した。主伐時におけるスギの立木本数は 3,553 本（ヘクタールあたり約 952.55 本）、林分材積は 2,302.26 m³（ヘクタールあたり約 617.22 m³）だった。なお、台帳ではスギの他にアカマツも植栽されたことになっているが、主伐時にアカマツは確認されておらず、詳細は不明である。

表 2-3 主伐時の立木本数等

樹種名	材種区分	立木本数	平均胸高直径	平均樹高	林分材積
スギ	一般材	3,356 本	28cm	20m	2,263.35 m ³
	低質材	197 本	16cm	14m	38.91 m ³
合計 (スギのみ)		3,553 本	—	—	2302.26 m ³
広葉樹	低質材	4 本	14cm	14m	0.55 m ³
合計 (全樹種)		3,557 本	—	—	2302.81 m ³

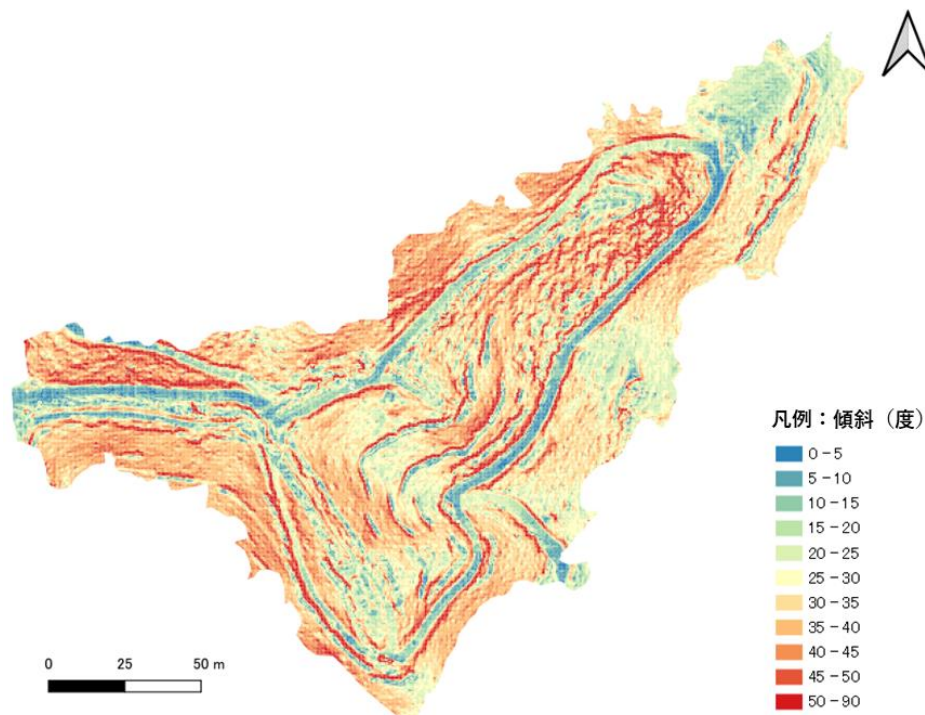
2-1-3. 調査地の地形・傾斜

今年度の調査地の傾斜区分図を図 2-2 に、調査地内の傾斜の割合を図 2-3 に示す。

なお、傾斜区分図は人力地拵え作業の期間中に、ドローンで撮影したオルソ画像の数値標高モデル (DSM) データを基に 0.5m メッシュで作成した。そのため、部分的に集積した枝条が図中に現れてしまっている点に留意する必要がある (図中で赤い線となっている部分は、枝条を集積した箇所や作業道の整備時にできた段差を含む)。

今年度の調査地は斜面の多くが傾斜 30 度を超えており、傾斜 15 度以下の緩傾斜な斜面が少ないなど、林地斜面を林業機械が走行するには非常に困難な地形であることが分かる。

また、調査地の中央に沢が流れており、さらに沢が調査地内で何度も分岐しているなど、地形は複雑に入り組んでいる。



※図中の赤い線は、集積した枝条等を表している

図 2-2 調査地の傾斜区分図 (50cm メッシュ)

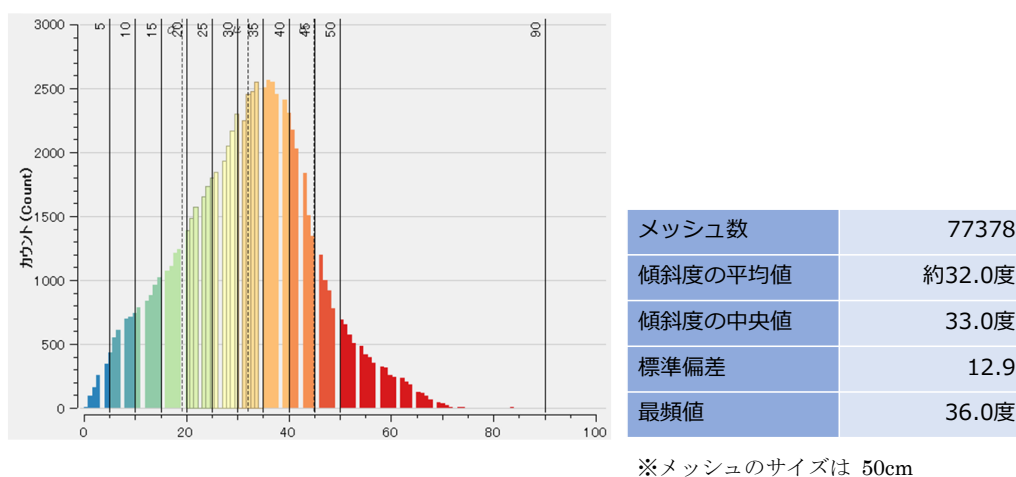


図 2-3 調査地の傾斜に関するデータ (枝条の集積部等を反映してしまっているため、あくまで参考データであることに留意)

2-1-4. 調査地の植生

今年度の調査地は主伐から約6年が経過しており、灌木が激しく繁茂していた。クマイチゴ等のキイチゴ類、アカメガシワ、カラスザンショウといった先駆種のほか、ムラサキシキブ、ヤブムラサキ、コシアブラといった落葉広葉樹やササ類などが密生しており、またミツバアケビやヤマフジといったつる植物が灌木に絡まっている状況も多く見られた。

なお、斜面の上部に繁茂していた灌木の多くは樹高が3～5m程度だったが（写真 2-2）、斜面の下部や沢沿いに生育していたアカメガシワやカラスザンショウ等はさらに樹高が高く、中には樹高が10～12m程度、胸高直径が20cm程度に達する個体も確認された（写真 2-3）。

以上のことから、本調査地を地拵えするためにはこれらの灌木の伐採が必要であり、伐採後に大量の枝条が発生することが予想された。



写真 2-2 斜面上部の灌木の繁茂状況（2022年11月）



写真 2-3 斜面下部や沢沿いの灌木の繁茂状況（2022年11月）

2-1-5. 調査地の林床の状況（残置された残材や伐根等）

林床には、間伐時に切り捨てられた材が残されており、また隣の林小班からの倒木（主にアカマツ）なども所々見られ（写真 2-4）、多目的造林作業機の走行時に障害となることが予想された。

伐根については、主にスギの伐根であり、前述の通り 1.8m×1.8~2m 程度の間隔で残されていた（写真 2-5）。調査地内の伐根のサイズを把握するため、10×10mのプロットを2箇所設置し（写真 2-6）、プロット内の伐根の数とサイズを計測した。結果を表 2-4に示す。

調査した伐根については、どちらの調査プロットにも計 17 本の伐根が含まれた。それらの伐根は、主伐時のものと思われる大きめの伐根（切り口の直径が約 30~50cm）と、間伐時のものと思われる小さめの伐根（切り口の直径が約 10~20cm）の二つに分かれた。また、間伐時のものと思われる伐根は特に腐朽が進んでいた（写真 2-5 右）。

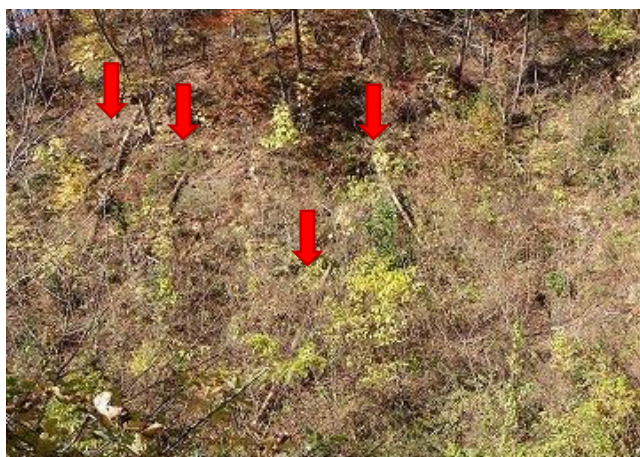


写真 2-4 林地内の倒木の状況（2022 年 11 月）



写真 2-5 伐根の状況（左は主伐時、右は間伐時のものと思われる）



写真 2-6 伐根のサイズに関する調査プロット（左：プロット1、右：プロット2）

表 2-4 調査プロット（10×10m）における伐根の計測結果

調査プロット1（10×10m）				調査プロット2（10×10m）			
伐根 No.	上面の直径 (cm)	下面の直径 (cm)	伐根の高さ (cm)	伐根 No.	上面の直径 (cm)	下面の直径 (cm)	伐根の高さ (cm)
1	18	19	26	1	40	48	42
2	28	29	22	2	32	46	40
3	48	70	45	3	32	41	45
4	34	45	43	4	50	60	40
5	15	15	34	5	23	29	30
6	13	25	40	6	54	67	55
7	15	22	33	7	40	50	38
8	23	33	20	8	38	49	50
9	48	62	35	9	26	33	23
10	19	24	33	10	20	32	25
11	40	75	66	11	43	55	45
12	13	14	30	12	28	35	11
13	20	30	27	13	40	50	43
14	30	45	35	14	13	14	10
15	42	63	32	15	26	40	17
16	27	45	35	16	46	60	47
17	30	45	30	17	36	54	33
平均	27.2	38.9	34.5	平均	34.5	44.9	34.9

2-2. 調査地のエリア区分

今年度の実証調査では、調査地を「造林機械地拵え区」「造林機械＋人力地拵え区」「人力地拵え区」の3つに区分し、それぞれ方法を変えて地拵えを行うこととした。調査地を地拵え方法ごとに区分した図を図 2-4に示す。

計画当初は、調査地を多目的造林作業機による地拵えを実施する「造林機械地拵え区」と人力による地拵えを実施する「人力地拵え区」の2つに大きく分け、「造林機械地拵え区」では多目的造林作業機が走行する「走行列」と今後苗木を植栽する「植栽列」を事前に定めて植栽の間隔や機械の走行方向等を検討することを想定していた。

しかし、前述の通り今年度の調査地は急傾斜の斜面が多くを占めており、多目的造林作業機が走行あるいは作業可能なエリアを事前に設定するのは困難であった。そのため、実証調査に先駆けて実施された関係者間の現地協議において、調査地を「造林機械地拵え区」「造林機械＋人力地拵え区」「人力地拵え区」の3つに区分すること、「造林機械地拵え区」及び「造林機械＋人力地拵え区」については事前におおまかなエリアのみ決めておき、期間内に実際に作業した範囲をそれらのエリアとして区分することが決定した。

なお図 2-4については、地拵え作業が完了後にドローン（機体名：DJI MAVIC 2 PRO、写真 2-7）により撮影した。



写真 2-7 使用したドローン (DJI MAVIC 2 PRO)

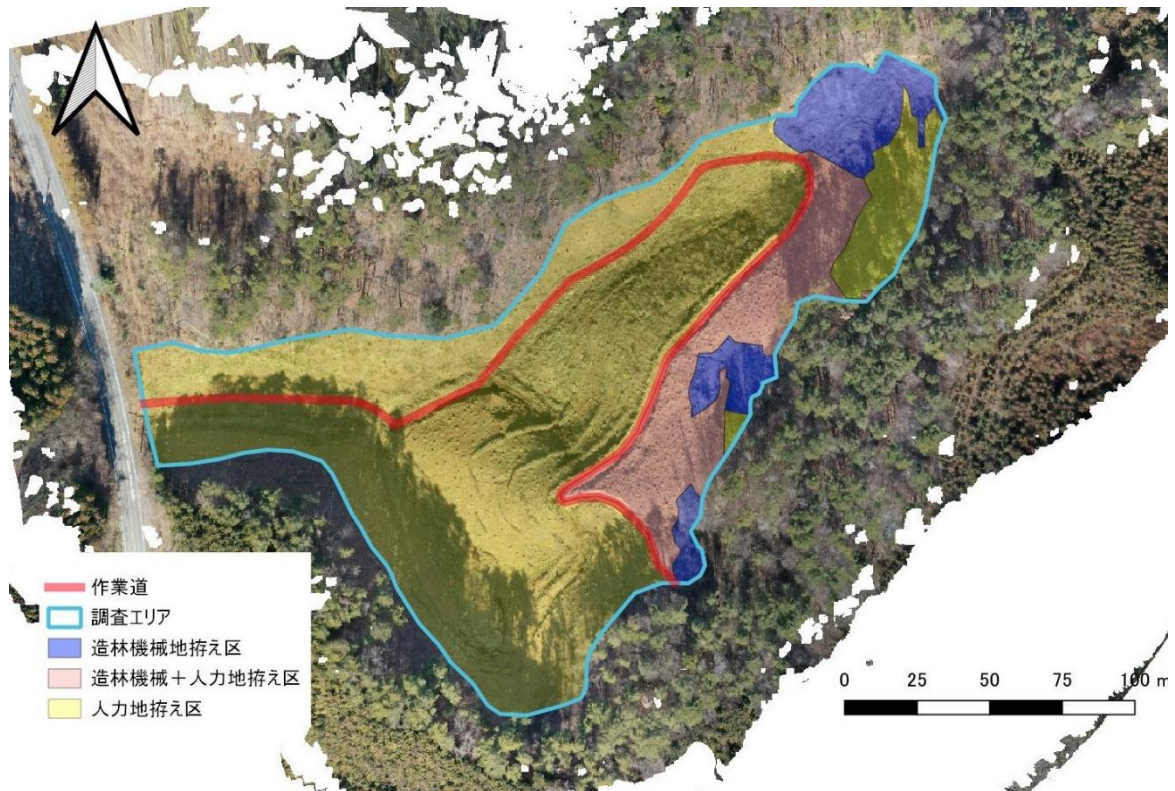


図 2-4 調査エリアの区分図

(ア) 造林機械地拵え区

主に多目的造林作業機を使用した地拵えを実施し、多目的造林作業機の走行に支障となる残材や、多目的造林作業機が処理できないサイズの灌木等が生じた場合には、刈り払い機やチェーンソー、グラップルを補助的に使用するエリア。多目的造林作業機が走行可能な比較的緩傾斜な斜面で、かつ作業道からアクセス可能なエリアを中心に設置した。

なお、本事業で使用する多目的造林作業機は、灌木の伐採と破碎を同時に行えるため林地内に枝条が残らない。このことにより、後に苗木が植栽できなくなるエリアが林地内にほとんど発生しないことが従来の地拵え手法との大きな違いである。

(イ) 造林機械+人力地拵え区

多目的造林作業機が走行できない急傾斜の斜面のうち、主に作業道の上側斜面に設置したエリア。刈り払い機やチェーンソーで伐採した灌木を人力及びグラップルで作業道上に集積し、多目的造林作業機でそれらの枝条を破碎した。

(ア)と同様、林地内に枝条を残さないことを目的として行った。

(ウ) 人力地拵え区

多目的造林作業機を用いた地拵えとの作業効率や発生した枝条の集積状況の比較を行うため、(ア)及び(イ)以外のエリアについては、刈り払い機やチェーンソーにより灌木を伐採し、発生した枝条については人力又はグラブplerにより林地内や作業道上に集積するエリアとした。

なお、本エリアについては、作業を委託した事業体に「普段行っているとおりの地拵え」を実施するよう依頼した。

2-3. 使用した多目的造林作業機

本事業で使用する多目的造林作業機については、仕様書から「乗用型であること」のほかに「灌木の伐採および破砕が可能であること」「林地残材や伐根の破砕が可能であること」といった多様な機能が求められている。これらの条件を満たす作業機械として、昨年度と同様に(株)筑水キャニコムが開発した「山もつとモット(型式CG510)」及び伐根粉碎・下刈り用アタッチメント「オーロラランプシェーバー」を用いることとした(写真2-8)。

なお、「山もつとモット」のスペックを図2-5に示す。



写真 2-8 多目的造林作業機「山もつとモット」(左)
及び「オーロラランプシェーバー」(右)

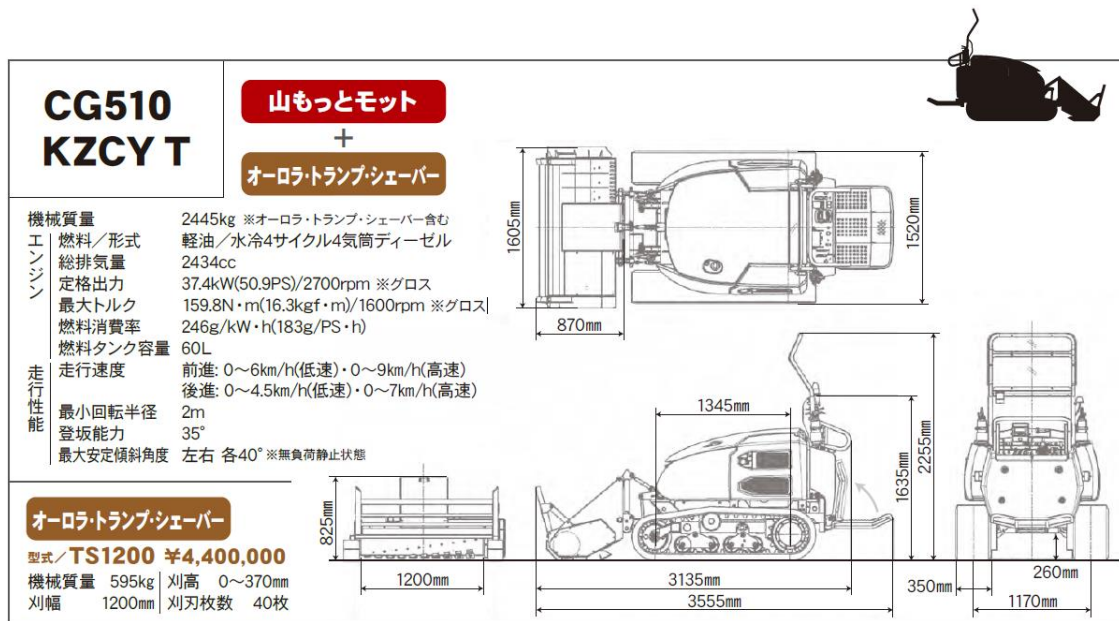


図 2-5 「山もっとモット」と「オーロラトランプシェーバー」のスペック

(出典：(株) 筑水キャニコンのカタログより)

2-4. 調査内容と調査方法

本事業における調査内容と具体的な調査方法を以下に整理した。

(ア) 地拵え作業の工期調査

多目的造林作業機を用いた地拵えと従来の人力による地拵えの作業効率を比較するため、ビデオ撮影あるいは作業日報の作成により地拵え作業に要した時間を計測し、ヘクタール当たりの作業工期やコストを算出した。

(イ) 地拵え作業による地表面への影響

多目的造林作業機による灌木や伐根の破砕が地表面に与える影響について把握するため、地表面の写真を撮影することにより状況を記録した。また、堆積した破砕物の厚さを計測し、堆積状況を比較した。

(ウ) 多目的造林作業機「山もっとモット」の性能等に関する調査

① 「山もっとモット」の稼働条件に関する調査

「山もっとモット」がどのような条件であれば稼働可能かについて把握するため、地形、地表面の状況、及び斜面の傾斜度といった条件から検証した。「山もっとモット」が稼働できない箇所が発生した場合に、地形や地表面の状況（局所的な凹凸、障害物の有無等）を観察するこ

とにより要因を特定した。また、「山もつとモット」が実際に稼働したエリアについて、ドローンによるオルソ画像を基に作成した数値標高モデルを用いて、傾斜度との関係を分析した。

②伐根の破砕処理の高さに関する調査

「山もつとモット」が走行するためには、林地内の伐根をどの程度の高さまで破砕処理する必要があるかを把握するため、「山もつとモット」による地拵え作業で破砕処理された伐根の高さを計測した。

③伐根の破砕処理にかかる時間に関する調査

「山もつとモット」が伐根を破砕するためにはどの程度時間を要するかについて把握するため、「山もつとモット」による地拵え作業で伐根を破砕処理する際に要した時間を計測した。

④作業従事者へのヒアリング調査

「山もつとモット」を使用した地拵えにおける課題点や労働強度について情報を収集するため、実証作業の従事者へ聞き取り調査を実施したほか、作業従事者が作成する作業日報へ作業の所感等の記入を依頼し、後日整理した。

(エ) 造林作業への機械導入に関する情報の収集

「地拵えから下刈りまでの造林作業の機械化」を見据え、本事業以外での「山もつとモット」の実証事例や、地拵え及び下刈りへの導入が期待される林業機械についての情報を収集・整理した。

(オ) 造林作業の機械化による評価や課題の整理

上記（ア）～（エ）の調査により得られたデータを整理・分析し、多目的造林作業機による地拵えの作業工程やコストを分析して評価した。また、造林作業の機械化に向けた課題の整理や今後の調査手法の提案を行った。

2-5. 調査のスケジュール

本事業における実証調査等は、以下のスケジュールで実施した。

実施項目	実施内容	令和4（2022）年			令和5（2023）年		
		10月	11月	12月	1月	2月	3月
実証調査	事前調査（関係者間での現地協議）		11/4 ●				
	事前調査		11/24-25 ●				
	作業道の整備			12/7-9 ↔			
	実証調査（造林機械による地拵え）			12/12-16 ↔			
	実証調査（人力による地拵え）					1/29-2/22 ↔	
	事後調査					2/28 ●	
文献調査	地拵えや下刈りの機械化に関する 情報収集				↔		

図 2-6 実証調査等のスケジュール

第3章 事前準備

3-1. 事前協議

本事業を実施するに当たり、関係者間で実証調査の現場を確認し、調査内容や作業手法について確認及び修正等を行う必要があったことから、現地協議を開催した。現地協議の実施状況を表 3-1 及び写真 3-1 に示す。

表 3-1 現地協議の実施状況

項目	内容
実施日	令和4（2022）年11月4日（金）
出席者	【委託者】林野庁国有林野部業務課 【所轄局】関東森林管理局 【所轄署】塩那森林管理署 【造林機械地拵えの担当】(株) 筑水キャニコム デザインの森伊勢崎（関東センター） 【作業道整備・造林機械地拵えの作業補助の担当】(株) ハナツカコンストラクション 【人力地拵えの担当】那須南森林組合
主な協議内容	・「山もつとモット」が稼働可能なエリアの確認 ・上記のエリアに「山もつとモット」が侵入するために整備が必要な作業道の確認（整備の始点・終点、幅員等） ・「造林機械地拵え区」「造林機械＋人力地拵え区」「人力地拵え区」のエリア区分及び作業方法



写真 3-1 現地協議の実施状況

3-2. 作業道の整備

3-2-1. 作業道の整備の概要

前述の通り、本調査地は平成 28 (2016) 年度に実施された主伐から約 6 年が経過しており、主伐時に搬出のために使用していた作業道が路肩の崩壊や残材の集積、灌木の繁茂といった要因により使用できなくなっていた。そこで、造林機械地拵え区に多目的造林作業機がアクセスできるようにするため、地拵え作業の実施前に作業道の整備を行った。

作業道の整備の概要は表 3-2 のとおりである。整備する作業道の幅員については、現地協議の際に多目的造林作業機「山もっとモット」が余裕をもって走行できる幅員を確認した結果、幅員 2.5m 以上という条件で整備が実施された。

表 3-2 作業道の整備の概要

項目	内容
作業期間	令和 4 (2022) 年 12 月 7 日 (水) ~ 9 日 (金)
作業実施者	(株) ハナツカコンストラクション
使用機械	✓ 油圧ショベル CAT 312F (キャタピラー社) ✓ 【アタッチメント① 整地、灌木の伐採、残材の集積】フェラーバンチャザウルスロボ (松本システムエンジニアリング株式会社) ✓ 【アタッチメント② 灌木や枝条の破碎】ブラッシュカッター (デニスシマフ社) ✓ オイルクイック (上記の 2 つのアタッチメントの交換用)
主な作業内容	作業道の整備 (延長約 475m、幅員 2.5m 以上)

3-2-2. 作業道の整備の実施状況

作業道の整備は、令和 4 (2022) 年 12 月 7 ~ 9 日の 3 日間で実施された。6 年前の主伐の際に使用されたと思われる搬出路の跡が確認されたが、搬出以降は使用されていなかったことから作業道上に灌木が繁茂していたほか、主伐時に発生した枝条や根元材 (いわゆるタンコロ) 等の残材が作業道上を占めており、整地のほかに灌木の伐採や残材の集積が必要な状況だった (写真 3-2)。そのため、作業の際は油圧ショベル (キャタピラー社製) に 2 種類のアタッチメント (松本システムエンジニアリング社製フェラーバンチャザウルスロボ・デニスシマフ社製ブラッシュカッター) を付け替えつつ行われた (写真 3-3)。なお、作業は機械のオペレーターと補助要員の 2 名で実施された。

整備された作業道の図面及び主な整備状況を図 3-1 及び図 3-2 に示す。作業道整備の始点 (図 3-1 のポイント①) から終点 (図 3-1 のポイント⑥) までの延長を GIS により分析したところ、約 475m となった。



写真 3-2 作業道上の灌木（左）や残材（右）の状況（令和4（2022）年11月）



写真 3-3 機械による作業道整備の状況（令和4（2022）年12月）

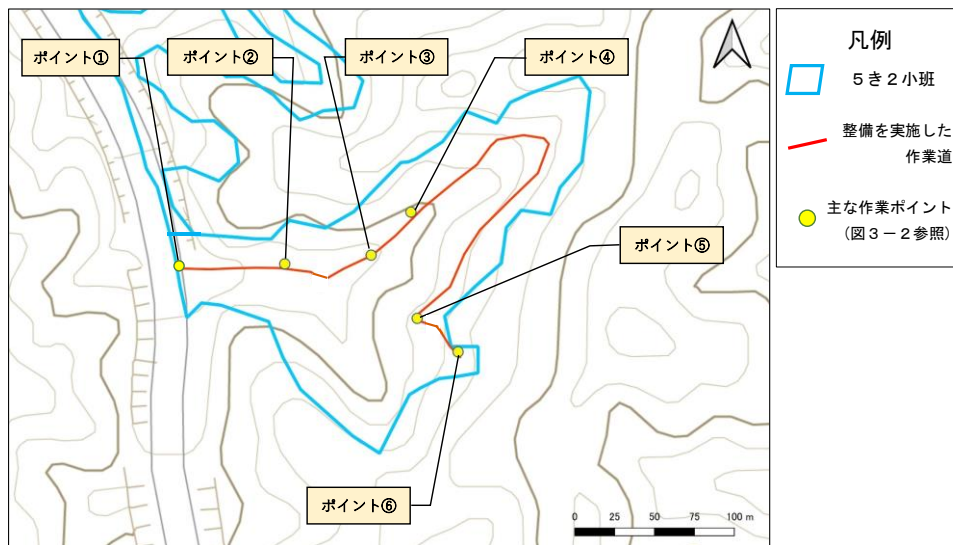


図 3-1 整備した作業道（図の赤線。
図中のポイント①～⑥については、図3-2を参照）

ポイント①



【作業前】



【作業後】

林地への入り口。国道 293 号から入ってすぐの地点。本地点が、作業道整備の始点となる。

ポイント②



【作業前】



【作業後】

入り口から 60m ほど進んだ地点。この辺りから作業道上に灌木が見られるため、伐採が必要となる。また丸太が作業道上に横たわっており、除去を行った。

図 3-2 作業道の整備における主な整備箇所（その 1）

ポイント③



【作業前】



【作業後】

作業道が沢を横断している地点。沢を埋め立ててしまうと水の流れをせき止めてしまうため、周囲に残されていた残材等を活用して機械が渡れるようにした。

ポイント④



【作業前】



【作業後】

林地斜面の下部に集積されていたと思われる根元材や枝条等の残材が、時間の経過により作業道まで落ちてきて道を塞いでおり、作業道上の至る所で同様の状況が確認された。機械の走行に必要な幅員を確保するため、残材を集積し直した。

図3-2 作業道の整備における主な整備箇所(その2)

ポイント⑤



【作業前】



【作業後】

作業道は斜面上部に伸びているが、灌木や残材等で塞がれていた。斜面上部に多目的造林作業機が走行可能と思われる箇所が確認されているため、灌木の伐採等により幅員を拡張した。

ポイント⑥



【作業前】



【作業後】

作業道の整備の終点。少し平らになっており、多目的造林作業機が転回できるようにスペースを確保した。

図 3-2 作業道の整備における主な整備箇所（その3）

3-2-3. 作業道の整備における生産性

作業道の整備における生産性を以下に示す。

作業道の整備は、12月7～9日の3日間にかけて、作業機のオペレーター及び補助要員の2名で実施された。また、整備された作業道の延長は、前述のとおり約475mだった。これらを基に作業道整備の生産性を算出したところ、約79.2m/人日となった。

表 3-3 作業道の整備における生産性

人工	整備した作業道の延長	生産性
6人工	約 475m	約 79.2m/人日

第4章 多目的造林作業機による造林機械地拵えの実証調査

4-1. 造林機械地拵え実証調査の概要

多目的造林作業機を使用した地拵えの作業工程等を調査するため、令和4（2022）年12月12日（月）から16日（金）の5日間にかけて造林機械地拵えの実証試験を行った。造林機械地拵えの概要を表4-1に示す。

今年度の調査地は、第2章で述べたように急傾斜の斜面が多く、また主伐から時間が経過しているため灌木の繁茂が激しいこともあり、多目的造林作業機での作業には厳しい条件だった。そこで、多目的造林作業機による作業の補助を行うことを目的として、刈り払い機やチェーンソー、グラップルを用いることとした。

表 4-1 造林機械地拵えの概要

項目	内容
作業期間	令和4（2022）年12月12日（月）～16日（金）
作業内容	① 多目的造林作業機による地拵え ② ①の作業補助
作業実施者	① （株）筑水キャニコム デザインの森伊勢崎（関東センター） ② （株）ハナツカコンストラクション
使用機械	① 多目的造林作業機「山もつとモット（CG510）」（筑水キャニコム社製） ② 油圧ショベル SK135SR-2（コベルコ社製） 木材グラップル GS-95LSJ（イワフジ工業製） エンジン式チェーンソー 565（ハスクバーナ社製） エンジン刈払機 MEM2610U（マキタ社製）※
作業人数	多目的造林作業機：2名（オペレーター＋作業指示者） 作業補助（機械）：2名（チェーンソー・刈り払い機・グラップルを適宜使用） 作業補助（人力）：2名（枝条の集積、残材の移動等）
作業面積	0.56ha （うち造林機械地拵え区 0.212ha、造林機械＋人力地拵え区 0.348ha）

※エンジン刈払機は、2日目から導入

4-2. 造林機械地拵えの実施状況

造林機械地拵えは、多目的造林作業機を中心として実施する「造林機械地拵え区」と、人力を中心として実施する「造林機械＋人力地拵え区」の2つのエリアで実施された（図4-1）。

「造林機械地拵え区」では、多目的造林作業機を使用して灌木の伐採・破碎や伐根の破碎を行った（写真4-1）。多目的造林作業機の走行に支障となる残材が発生した場合には、人力やチェーンソー、グラップルにより除去を行い、また作業道から林地斜面への多目的造林作業機の侵入口を作る際等に、必要に応じてグラップルによる整地や残材の除去を行った（写真

4-2)。なお、2日目以降は、グラップルやチェーンソー、刈り払い機による作業補助の必要性が減少したため、作業効率を上げるためにそれらの機械は「造林機械+人力地拵え区」で先行して灌木の伐採作業を行った。

「造林機械+人力地拵え区」では、多目的造林作業機が走行できない急傾斜の斜面について、先行して刈り払い機やチェーンソーにより灌木を伐採し、発生した枝条は人力及びグラップルで作業道に集積して多目的造林作業機により破砕した（写真 4-3）。

なお前述のとおり、今年度の調査地は全体的に急傾斜の斜面であり、多目的造林作業機が稼働できる範囲を事前に定めておくことが困難だったことから、作業期間の終了後に実際に作業を実施したエリアをそれぞれ「造林機械地拵え区」「造林機械+造林機械地拵え区」として設定した。さらに「造林機械地拵え区」については、多目的造林作業機が稼働できたエリアを大きく3つに区分し、それぞれ「造林機械地拵えエリア①」「造林機械地拵えエリア②」「造林機械地拵えエリア③」とした。

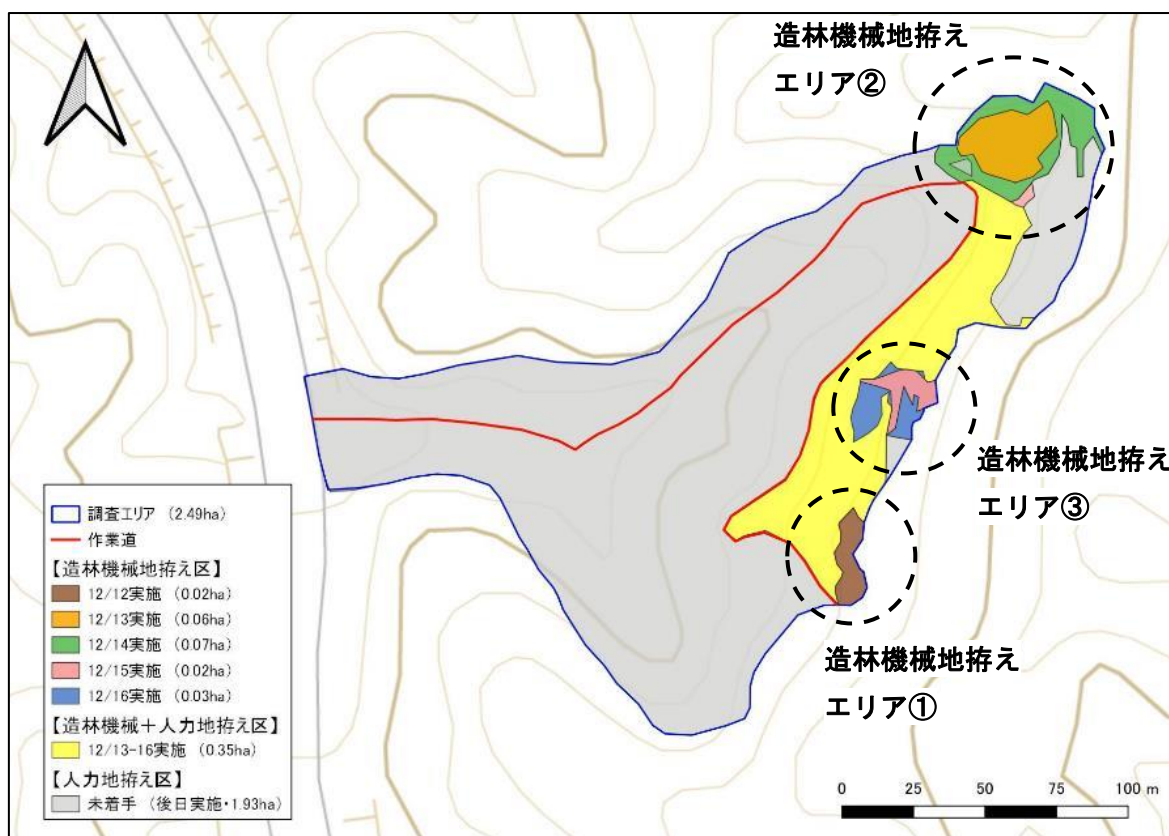


図 4-1 造林機械地拵えの実施エリア



写真 4-1 「造林機械地拵え区」における多目的造林作業機での地拵え実施状況



写真 4-2 「造林機械地拵え区」における作業補助の実施状況



写真 4-3 「造林機械+人力地拵え区」における枝条の集積・破碎作業の実施状況

4-2-1. 「造林機械地拵え区」における地拵えの実施状況

「造林機械地拵え区」の各エリアにおける地拵え実施状況の詳細を以下に示す。

【造林機械地拵えエリア①（12月12日実施）】

12月12日に多目的造林作業機による地拵えを実施したエリア①では、作業初日のため機械の搬入から開始し、また作業の手法や流れ等を確認しながらの作業となった。多目的造林作業機の侵入口を作るために作業道脇に集積された残材をグラップルで除去し、多目的造林作業機が林地斜面に侵入した。隣の林小班との境界部付近だったため倒木が多く、チェーンソーが先行して伐採する必要が発生するなど、多目的造林作業機の走行ルートを選定に手間取った。また、後半は比較的傾斜のある斜面を等高線方向に走行しながらの作業となったが、途中で多目的造林作業機のオペレーターがこれ以上の作業は困難であると判断したため、本エリアでの作業は終了となった。また、安全に作業を行うため、グラップルが届く範囲の枝条は作業道上に集積してから多目的造林作業機による破砕作業を行った。

造林機械地拵えエリア①	
作業日	12月12日（月）
作業面積	0.025ha
作業人数	多目的造林作業機：2名（オペレーター、作業指示者） チェーンソー：1名 グラップル：1名 人力による材の集積等：2名
総作業時間	4.375時間



○ 作業エリア

→ 林地への侵入口

— 作業道



多目的造林作業機の搬入及び機材準備の状況



グラップルで残材を除去して確保した侵入口から、「山もっとモット」が林地内へ侵入



林縁部を等高線方向に回り込むように作業を進めたが、傾斜が次第に急になってきたため（写真右）、これ以上の作業は困難と判断した。

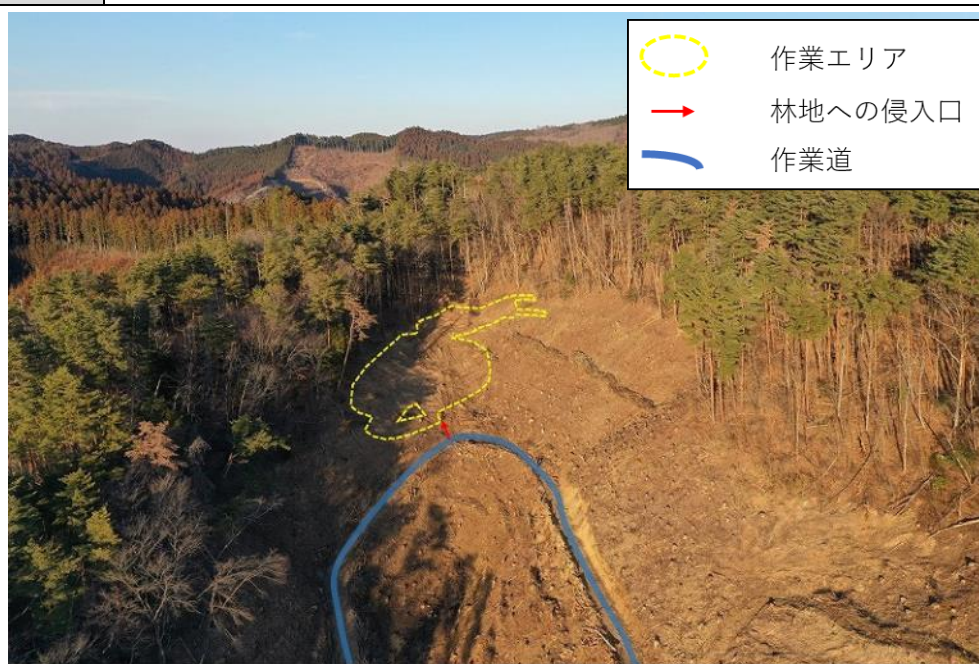
写真 4-4 エリア①における造林機械地拵えの実施状況（令和4（2022）年12月12日）

【造林機械地拵えエリア②（12月13日～15日実施）】

12月13日から14日及び15日の午前にかけて多目的造林作業機による地拵えを実施したエリア②は、沢地形となっており比較的傾斜が緩い斜面に設置した。作業道脇の残材をグラップルで除去して侵入口を作り、多目的造林作業機が林地内に侵入した。その後、多目的造林作業機がほぼ単独で作業可能だったため、作業補助のうちチェーンソー、刈り払い機及びグラップルは多目的造林作業機の侵入が不可能と思われる急傾斜地の伐採作業を先行して行うことにした（「造林機械+人力地拵え区」）。

本エリアは灌木のサイズが比較的大きく、ほとんどの灌木が樹高4～6m程度・胸高直径が6～10cm程度であり、さらに大きなサイズの灌木も見られたが、多目的造林作業機での伐倒・破砕作業が可能だった。また、ミツバアケビやヤマフジ等の木質化したつるが灌木に多く巻き付いていたが、つるが巻き付いたままの伐倒・破砕も可能だった。ただし、多目的造林作業機の刃の届く高さには上限があり（カタログ上のスペックでは刈高0～370mm）、つるがその高さ以上に残ってしまうと機体に巻き付いてしまい人力での除去作業が必要となった。また、大きな凹凸があり作業できなかつた箇所がエリア内の一部に発生した。

造林機械地拵えエリア②	
作業日	12月13日・14日・15日午前
作業面積	0.137ha（13日：0.062ha、14日：0.071ha、15日午前：0.003ha）
作業人数	多目的造林作業機：2名（オペレーター、作業指示者） 人力による材の集積等：2名 その他、必要に応じてグラップル等により作業補助
総作業時間	11.885時間（13日：5.169時間、14日：4.890時間、 15日午前：1.825時間）





樹高が6 m程度の灌木であれば、問題なく伐採・破砕作業が可能だった。



本エリアでは、木質化したつる植物が灌木に多く絡まっていた。斜面下部から処理した場合、多目的造林作業機の刈刃部がつるに届かない場合があり、機体につるが被さってしまうことがあった。



作業実施後の状況。傾斜の関係でこれ以上の走行は困難だった。エリア内には、大きめの残材（倒木等）は残っているものの、枝条は全て破砕したため残っていない（写真右）。
写真 4-5 エリア②における造林機械地拵えの実施状況（令和4（2022）年12月13-15日）

【造林機械地拵えエリア③（12月15日午後～16日実施）】

12月15日の午後から16日にかけて多目的造林作業機による地拵えを実施したエリア③は、林地斜面の中で比較的傾斜が緩くなっている箇所に設置した。作業道の上側斜面に位置していたが、作業道と林地斜面との間が段差となっていたため、グラップルにより均された。エリア内はササ類や灌木等が密生して繁茂しており、植生の密度は高かったが樹高は3～4m程度だった。

ササ類や灌木等の伐採・破砕処理は問題なく行えたものの、多目的造林作業機での作業が可能な比較的傾斜の緩い箇所が限られたことや、多目的造林作業機が不調だったため15日に修理作業を行ったことなどの影響により、作業効率は上がらなかった。

造林機械地拵えエリア③	
作業日	12月15日午後・16日
作業面積	0.050ha（15日午後：0.021ha、16日：0.029ha）
作業人数	多目的造林作業機：2名（オペレーター、作業指示者） 人力による材の集積等：2名 その他、必要に応じてグラップル等により作業補助
総作業時間	5.168時間（15日午後：1.462時間、16日：3.706時間）





作業道上側の段になっている箇所をグラップルで均し、多目的造林作業機が斜面に侵入。



灌木やササ類が密生していたが、問題なく伐採処理が可能だった。



作業実施後の状況。林地内に枝条は残っていない。エリア内の一部は凹凸があったため多目的造林作業機は走行できなかった。

写真 4-6 エリア③における造林機械地拵えの実施状況（令和4（2022）年12月15-16日）

4-2-2. 「造林機械＋人力地拵え区」における地拵えの実施状況

「造林機械＋人力地拵え区」における地拵え実施状況の詳細を以下に示す。

12月13日から16日にかけて、多目的造林作業機と人力を組み合わせた地拵えを実施した。多目的造林作業機の走行が難しいと思われる急斜面を中心に、チェーンソーや刈り払い機で先行して灌木の破砕を実施し、発生した枝条は人力及びグラップルで作業道に集積して多目的造林作業機で破砕処理した。

なお今回の試みについては、林地内に枝条の集積を残さないことを目的として実施された。林地内に枝条を集積した場合、その部分は将来の植栽が不可能なエリアとなってしまう。また、ノウサギやノネズミ等が生息している地域では、枝条の集積場がそれらの小動物の隠れ家となってしまう、植栽した苗木に被害を与えることも懸念される。今回の林地は伐採した枝条が大量に発生することが予測できたこともあり、本エリアではこのような目的の下で地拵えが実施された。

造林機械＋人力地拵え区	
作業日	12月13日～16日
作業面積	0.348ha
作業人数	多目的造林作業機（作業道上の枝条破砕）：1名（オペレーター） グラップル・チェーンソー・刈り払い機：2名で使い分けつつ作業 その他、必要に応じて人力による作業補助（枝条の集材等）
実作業時間	22.682時間



多目的造林作業機が走行できない急傾斜地や崖の周囲等について、先行してチェーンソーや刈り払い機で灌木を伐採した。



伐採した枝条は、グラップル（又は人力）で作業道上へ集積した。



作業道上へ集積した枝条は、後に多目的造林作業機により破碎処理を行った。

写真 4-7 「造林機械+人力地拵え区における地拵えの実施状況
(令和4(2022)年12月13-16日)

4-3. 造林機械地拵えの作業工程

4-3-1. ビデオ撮影による工程調査について

多目的造林作業機を用いた地拵えの実施期間中、多目的造林作業機及び作業補助者（チェーンソー・刈り払い機による灌木の伐採及び残材の処理、グラップル・人力による枝条や残材の移動等）が従事した全ての作業をビデオで撮影した。さらに後日、撮影した動画を分析して全作業を作業種ごとに分類し、多目的造林作業機及び作業補助者の作業時間を整理した。多目的造林作業機における作業種の分類を表 4-2 に、作業補助者における作業種の分類を表 4-3 に示す。

多目的造林作業機については、作業開始から終了までの全ての作業時間のうち休憩を除いた時間を「総作業時間」、総作業時間から「準備」「打ち合わせ」「中断」を除いた時間を多目的造林作業機が実際に地拵え作業に従事した「実作業時間」として、昨年度に実施した工程分析の結果と比較できるように整理した。

作業補助については、従事した作業者が1日の中で複数の機械を使い分けながら作業を行っていたため、1日の中でチェーンソー等がどれだけ稼働したかといった「実作業時間」について日ごとに整理した。

上記により整理した多目的造林作業機及び作業補助の作業時間について、「造林機械地拵え区」「機械＋人力地拵え区」それぞれの日ごとのヘクタール当たり作業人工を算出し、取りまとめた。

表 4-2 作業種の分類（多目的造林作業機）

作業種	内容
準備・点検	・多目的造林作業機の始業準備や点検に要した時間 ・多目的造林作業機にトラブルがあった際に、点検や修理に要した時間
移動	・多目的造林作業機の移動（作業を伴わない）に要した時間
灌木の伐採	・灌木の伐採及び破碎処理作業に要した時間 ・灌木の伐採とともに残材の処理を同時に行っていた場合は、こちらに計上した
残材等の処理	・作業開始前から林床に残されていた、間伐材や倒木等を破碎処理する作業に要した時間
伐根の破碎	・伐根の破碎処理作業に要した時間
作業道上の枝条破碎	・作業道に集積した枝条を、多目的造林作業機で破碎処理する作業に要した時間
打ち合わせ	・作業補助要員等と、作業方法や作業エリア、走行ルート等の確認のために打ち合わせを行った時間

待機	<ul style="list-style-type: none"> ・多目的造林作業機の走行に邪魔な残材を作業補助要員に除去してもらっている間の待機時間など、他の作業のために多目的造林作業機が待機していた時間 ・オペレーターの交代のため、多目的造林作業機が待機していた時間
トラブル	<ul style="list-style-type: none"> ・エンジンの停止や破砕部への端材の挟まり、伐根への乗り上げ等により多目的造林作業機の作業が中断していた時間

※青色塗りの部分が、作業機が地拵え作業を行った「実作業時間」

表 4-3 作業種の種類（作業補助：刈り払い機、チェーンソー、グラップル）

作業種	内容
灌木の伐採等 (人力)	・多目的造林作業機の走行の障害となる灌木や残材等を、人力で伐採したり集積した作業に要した時間
灌木の伐採等 (刈り払い機)	・刈り払い機による灌木の伐採等の作業に要した時間
灌木の伐採等 (チェーンソー)	・チェーンソーによる灌木の伐採等の作業に要した時間
枝条の集積 (グラップル等)	・伐採した枝条をグラップルや人力で作業道上に集積した作業に要した時間
整地 (グラップル)	・多目的造林作業機が作業道から林地斜面に侵入できるように、斜面を均したり邪魔な残材を移動したりする作業に要した時間

※青色塗りの部分が、作業機が地拵え作業を行った「実作業時間」

4-3-2. 工期調査の結果

(ア) 造林機械地拵え区における作業時間

「造林機械地拵え区」において多目的造林作業機「山もつとモット」が各作業種ごとに要した時間の割合を図 4-2 に、エリアごとの作業時間を表 4-4 に示す。なお、多目的造林作業機については、オペレーターと作業指示者の2名での運用を基本とした。

エリア①は、実作業時間が総作業時間の5割以下となり、特に打ち合わせに全体の作業時間の約3割を要した。作業初日ということもあり作業手法等の確認を行いながらの作業となったことのほかに、エリアが林縁部に位置していたため隣の林分からの倒木等の障害物が多く、多目的造林作業機の走行ルートを選定に手間取ったことが要因である。このことから、今回の調査地は灌木の繁茂が非常に激しかったため実施できなかったが、作業効率を上げるためには作業の前に稼働エリアを確認しておくことが重要と言える。また、障害物の除去のためにチェーンソー等の作業補助が必要となり、その分も作業効率に影響した。

エリア②及びエリア③については、作業道から侵入口を作るためにグラップルを使用した以外は、グラップル及びチェーンソーはほとんど使用せずに多目的造林作業機がほぼ単独で作業を行った。そのため、打ち合わせや他の作業のために待機する時間は比較的少なくなり、エリア②、エリア③ともに実作業時間が総作業時間の7割近くと比較的効率的に作業を実施できた。なお実作業のうち、灌木の伐採がエリア②で約5割、エリア③で約4割と最も多くなった。今年度の調査地は主伐から6年が経過している特殊な条件下であり、主伐後すぐに地拵えを行えば灌木の伐採作業に要する時間は大きく減少すると考えられる。エリア内の抜根については、多目的造林作業機の走行ルートを確認するために破砕処理することがほとんどだったが、最も割合の高かったエリア③でも10%以下だった。

なお、エリア③の「トラブル」については、機体の不調のために修理を行った時間がほとんどを占めている。このような時間を少なくしていくことも、多目的造林作業機の作業効率を上げるためには必要である。

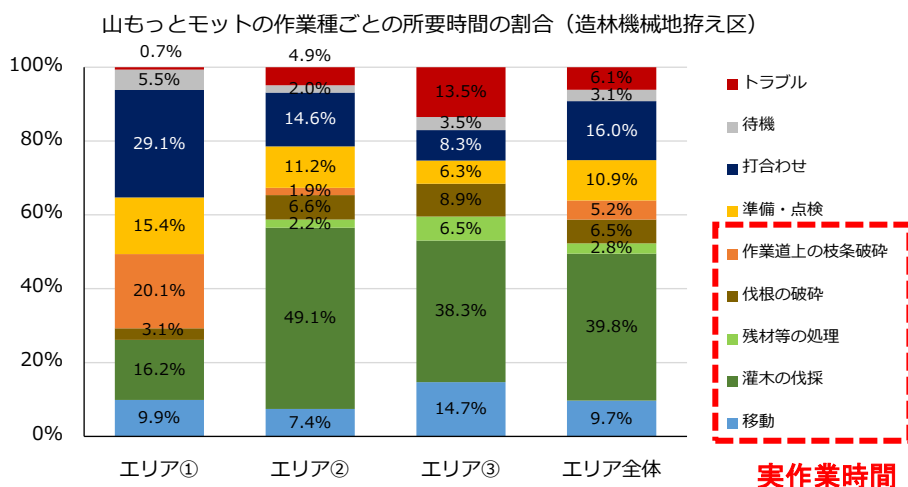


図 4-2 「山もつとモット」の作業種ごとの所要時間割合

表 4-4 「造林機械地拵え区」における5日間の作業時間（分）

	作業種	作業時間（分）			計
		エリア① 12/12 (0.025ha)	エリア② 12/12-15am (0.137ha)	エリア③ 12/15pm-16 (0.050ha)	
多目的造 林作業機	準備・点検	40.4	80.2	19.5	140.0
	移動	26.0	52.8	45.6	124.4
	灌木の伐採	42.7	350.4	118.9	511.9
	残材等の処理	0.0	15.7	20.2	35.9
	伐根の破砕	8.2	47.3	27.6	83.1
	作業道上の枝条破砕	52.8	13.9	0.0	66.6
	打ち合わせ	76.4	103.8	25.7	205.9
	待機	14.5	14.1	10.9	39.6
	トラブル	1.7	34.9	41.8	78.5
	総作業時間（分）	262.5	713.1	310.1	1285.7
	実作業時間（分）	129.6	480.0	212.2	821.8
作業補助	灌木の伐採等 (人力)	14.5	10.7	10.9	36.1
	灌木の伐採等 (チェーンソー)	20.0	0.1	0.1	20.2
	枝条の集積 (グラップル等)	48.0	—	—	48.0
	整地 (グラップル等)	—	26.6	27.1	53.8
	実作業時間（分）	82.5	37.4	38.1	158.0

※青色塗りの部分が、作業機が地拵え作業を行った「実作業時間」

(イ) 造林機械地拵え区における労働生産性

「造林機械地拵え区」における多目的造林作業機の労働生産性（1人・1日あたりの作業面積 ha）について、エリアごとに整理した結果を以下に示す。なお、1日の作業時間は6時間とした。また、多目的造林作業機の作業人数は前述の通り2名として算出した。

エリア①における作業面積は0.025ha、作業人工は総作業時間で2人×0.729日、実作業時間で2人×0.360日となり、労働生産性は総作業時間ベースで0.017ha/人日、実作業時間ベースで0.035ha/人日となった。エリア②における作業面積は0.137ha、作業人工は総作業時間で2人×1.981日、実作業時間で2人×1.333日となり、労働生産性は総作業時間ベースで0.035ha/人日、実作業時間ベースで0.051ha/人日となった。エリア③における作業面積は0.050ha、作業人工は総作業時間で2人×0.861日、実作業時間で2人×0.589日となり、労働生産性は総作業時間ベースで0.029ha/人日、実作業時間ベースで0.042ha/人日となった。また、5日間を通しての作業面積は0.212ha、作業人工は総作業時間で3.571日×2人、実作業時間で2.283日×2人となり、5日間全体での労働生産性は総作業時間ベースで0.030ha/人日、実作業時間ベースで0.046ha/人日となった。

昨年度の結果を見てみると、最も効率の良かった「B 伐根残区（エリア内の伐根は走行に邪魔なもののみ破碎処理）」で0.64ha/人日、最も効率が悪かった「B 全刈り区（エリア内の抜根や残材を全て処理）」でも0.09ha/人日となっており（どちらも総作業時間ベース）、最も効率が悪かった「B 全刈り区」でも今年度のどのエリアよりも生産性は上だった。昨年度の調査地は、地拵えの実証の半年前に主伐が行われたばかりの林地であり、また造林機械地拵えを行ったエリアの大半が平均斜度20度以下の緩傾斜な斜面であった。これらのことから、多目的造林作業機の労働生産性には、造林地の傾斜度や植生の繁茂状況が非常に大きく影響すると考えられる。

表 4-5 「造林機械地拵え区」における多目的造林作業機の労働生産性

		エリア①	エリア②	エリア③	全期間
作業面積		0.025ha	0.137ha	0.050ha	0.212ha
総作業時間	(時間)	4.375	11.885	5.168	21.428
	(日)*	0.729	1.981	0.861	3.571
実作業時間	(時間)	2.159	8.000	3.537	13.697
	(日)*	0.360	1.333	0.589	2.283
労働生産性（総作業時間）		0.017 ha/人日	0.035 ha/人日	0.029 ha/人日	0.030 ha/人日
労働生産性（実作業時間）		0.035 ha/人日	0.051 ha/人日	0.042 ha/人日	0.046 ha/人日

* 1日の作業時間を6時間とした場合

(ウ) 造林機械＋人力地拵え区における作業時間

「造林機械＋人力地拵え区」における作業時間について整理した結果を以下に示す。なお、前述のとおりチェーンソー・刈り払い機・グラップルについては作業者が1日の中で複数の機械を使い分けながら作業を行っていたため、本項目では各作業における「実作業時間」のみを算出した。

各機械が要した作業時間のうち、最も時間を要したのは刈り払い機による作業だった。また、「造林機械＋人力地拵え区(面積約0.348ha)」の刈り払い機及びチェーンソーでの伐採作業に要した時間は合わせて約886.6分(約14.8時間)であり、それらの伐採作業によって発生した枝条は約331.3分(約5.5時間)かけて作業道上に集積され、集積されたそれらの枝条は約128.8分(約2.1時間)かけて多目的造林作業機により破砕された。破砕作業に要した時間は実作業時間全体の1割以下であり、作業道上のように多目的造林作業機が走行しやすい条件では、枝条の破砕作業にあまり時間がかからないことが分かった。

なお、多目的造林作業機のオペレーターへの聞き取りでは、刈刃が届く高さには上限があるため、枝条は一カ所に高く積まずにある程度の高さ(50cm程度)で均等に敷き詰めることと、多目的造林作業機の走行方向に対して平行になるように(縦向きに)枝条を置くことが、効率的に破砕作業を行うために重要であるとのコメントがあった。

表 4-6 「造林機械＋人力地拵え区」における期間中の作業時間

	作業種	作業時間(分)
多目的造林作業機	作業道上の枝条破砕	128.8
その他	灌木の伐採等 (刈り払い機)	627.4
	灌木の伐採等 (チェーンソー)	259.2
	枝条の集積 (グラップル＋人力)	331.3
	整地 (グラップル)	14.3
実作業時間(分)		1360.9

(エ) 造林機械＋人力地拵え区における労働生産性

「造林機械＋人力地拵え区」における労働生産性（1人・1日あたりの作業面積 ha）について以下に示す。なお、1日の作業時間は6時間とした。また作業人数については、実際の作業における実態から、多目的造林作業機による枝条の破砕作業を1名（先導が必要ないため）、刈り払い機・チェーンソーによる灌木の伐採作業を各1名、グラップル及び人力での枝条の集積作業を各1名として、合計5名での作業として試算した。

12月13日から16日までの4日間における作業面積は0.348ha、作業人工は3.780日×5人となった。以上から、「造林機械＋人力地拵え区」における労働生産性は、実作業時間ベースで0.018ha/人日となった。

表 4-7 「造林機械＋人力地拵え区」における労働生産性

項目	単位	全期間
作業面積	(ha)	0.348
作業人数	(人)	5
実作業時間	(時間)	22.682
	(日)*	3.780
労働生産性（実作業時間）		0.018 ha/人日

* 1日の作業時間を6時間とした場合

4-4. 多目的造林作業機「山もっとモット」の性能等に関する調査

今回の実証調査で使用した多目的造林作業機「山もっとモット」について、どのような条件であれば稼働が可能となるか、調査地の傾斜や地表面の状況、灌木の繁茂状況といった面から調査した。また、「山もっとモット」の伐根破碎処理能力等について検証を行い、「山もっとモット」の性能等について整理した。

4-4-1. 「山もっとモット」の稼働条件（斜面の傾斜）について

ドローンで撮影したオルソ画像の数値標高モデル（DSM）データを基に0.5mメッシュで作成した傾斜データの分析結果から、「山もっとモット」が実際に走行して地拵え作業を行ったエリア（造林機械地拵えエリア①～③）について、斜面の傾斜度との関係を分析した。結果を表4-8及び図4-3から図4-8に示す。なお、造林機械地拵えエリア①については高木の樹冠が重なったため、図の中央部が空白となっている。

分析の結果、エリア内の平均傾斜度はエリア①で約22.9度、エリア②で約21.6度、エリア③で約23.9度となり、功程調査の結果で最も作業効率が良かったエリア②が、最も傾斜度が小さかった。また、最頻値（各エリアで最も多く出現した値）はエリア①で23度、エリア②で22度、エリア③で約24度となり、こちらもエリア②が最も小さい値となった。

また、「山もっとモット」が稼働できたエリアの傾斜は、どのエリアも30度以下が大半を占めていることが分かった。

参考として「山もっとモット」の取扱説明書から整理したカタログ上の稼働可能範囲の情報を表4-9に示す。「山もっとモット」のスペック上の登坂能力は傾斜35度だが、実際にはそれ以下の傾斜度であっても局所的な凹凸の影響でエンジンが停止する。そのため、実際に「山もっとモット」が作業を行うためには、スペック上の数値（傾斜35度）よりも緩い斜面であることが条件となる。なお、今回の分析結果では35度以上の傾斜度の箇所も確認されているが、回り込むスペースが確保できれば走行は可能なためと考えられる。

表 4-8 斜面傾斜度の分析結果（0.5mメッシュ・造林機械地拵えエリア①～③）

	エリア①	エリア②	エリア③
メッシュ数	278	2670	1182
傾斜度の平均値	22.9	21.6	23.9
標準偏差	5.9	6.7	6.4
傾斜度の中央値	23.0	21.0	24.0
傾斜度の最頻値*	23.0	22.0	24.0

*最頻値とは、最も多く出現した値のこと

(ア) 造林機械地拵えエリア①の傾斜区分

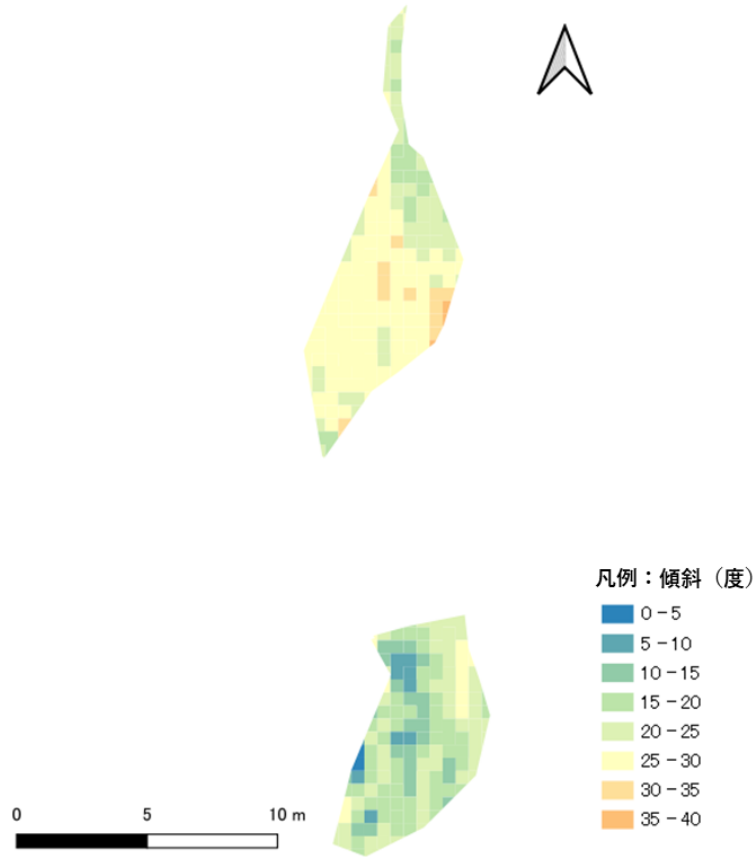


図 4-3 傾斜区分図（造林機械地拵えエリア①）

※中央部は樹冠が重なったため空白となっている

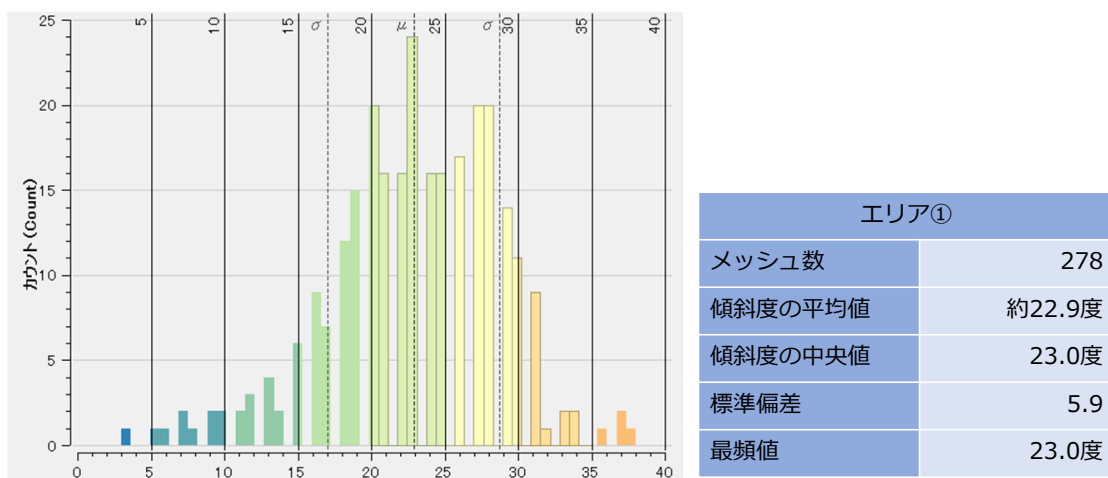


図 4-4 「山もっとモット」の稼働エリアのデータ（造林機械地拵えエリア①）

(イ) 造林機械地拵えエリア②の傾斜区分

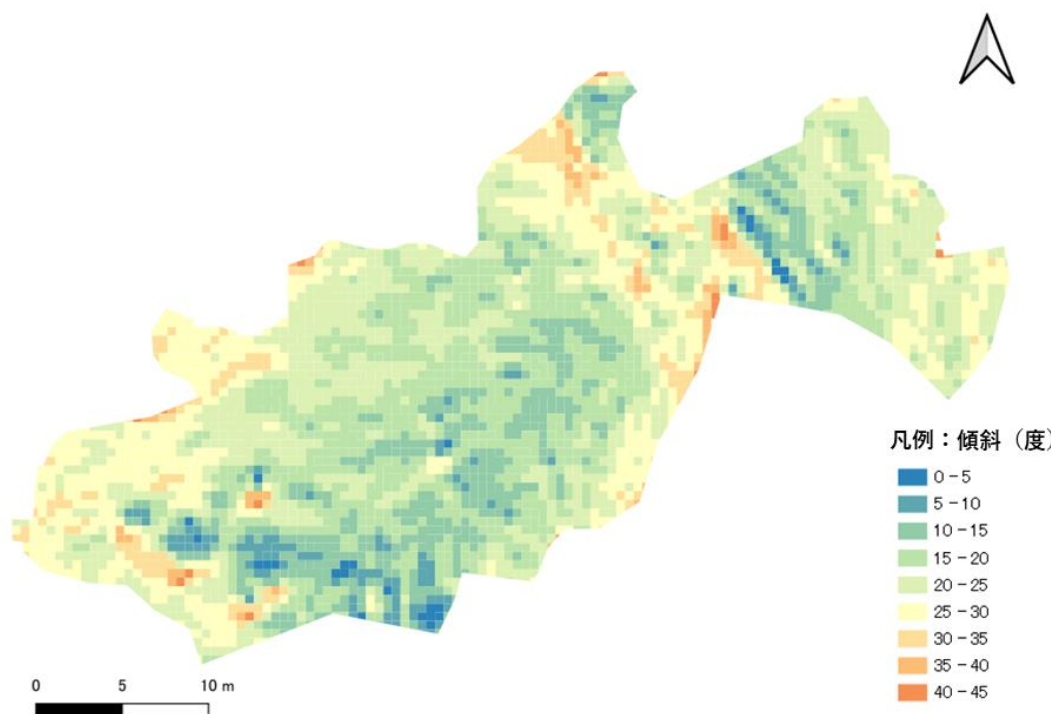


図 4-5 傾斜区分図（造林機械地拵えエリア②）

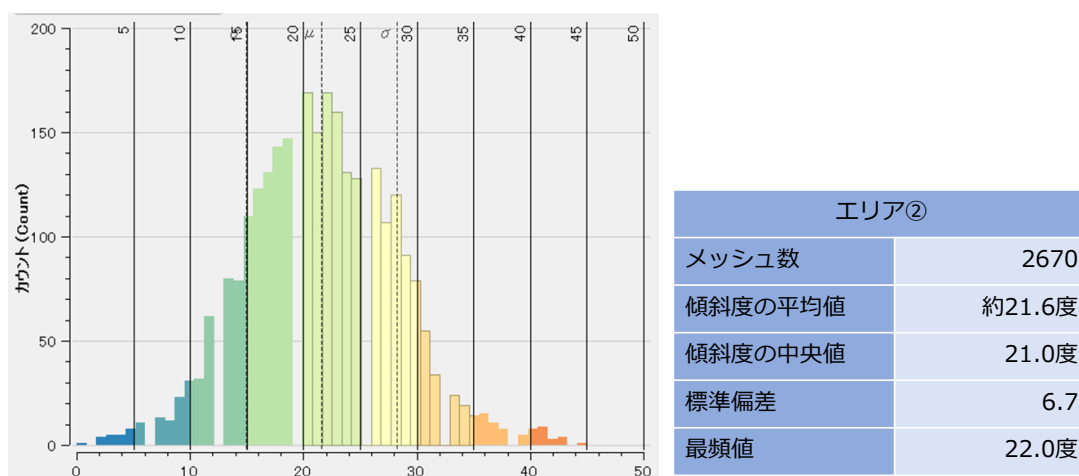


図 4-6 「山もっとモット」の稼働エリアのデータ（造林機械地拵えエリア②）

(ウ) 造林機械地拵えエリア③の傾斜区分

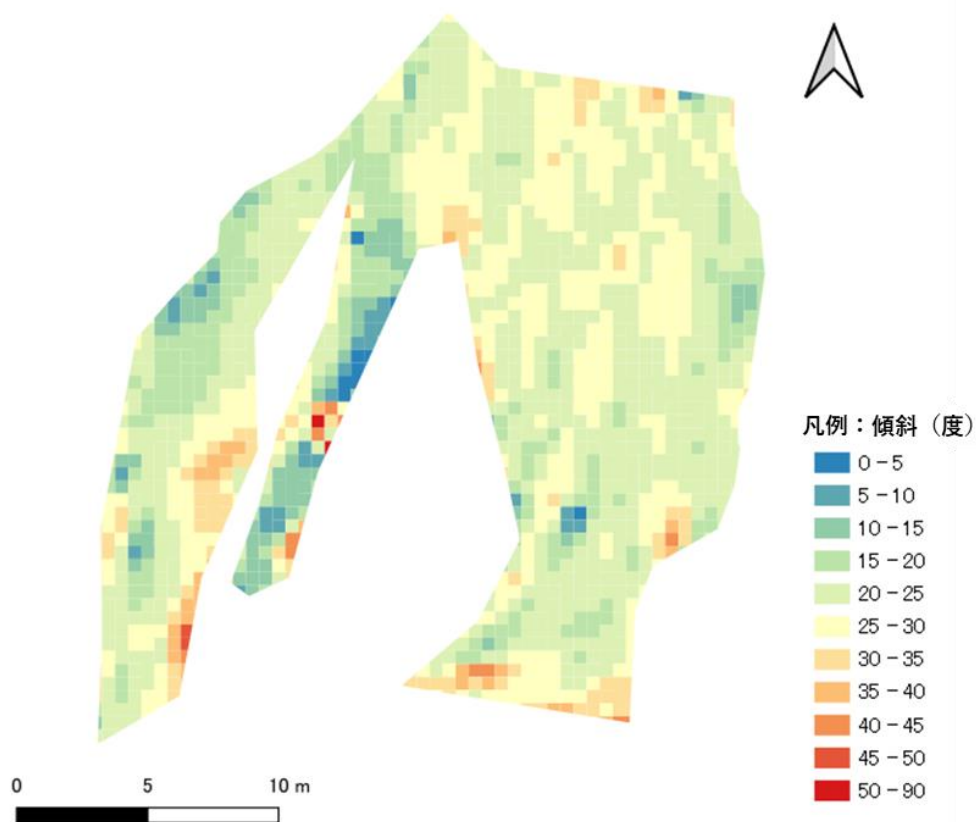


図 4-7 傾斜区分図（造林機械地拵えエリア③）

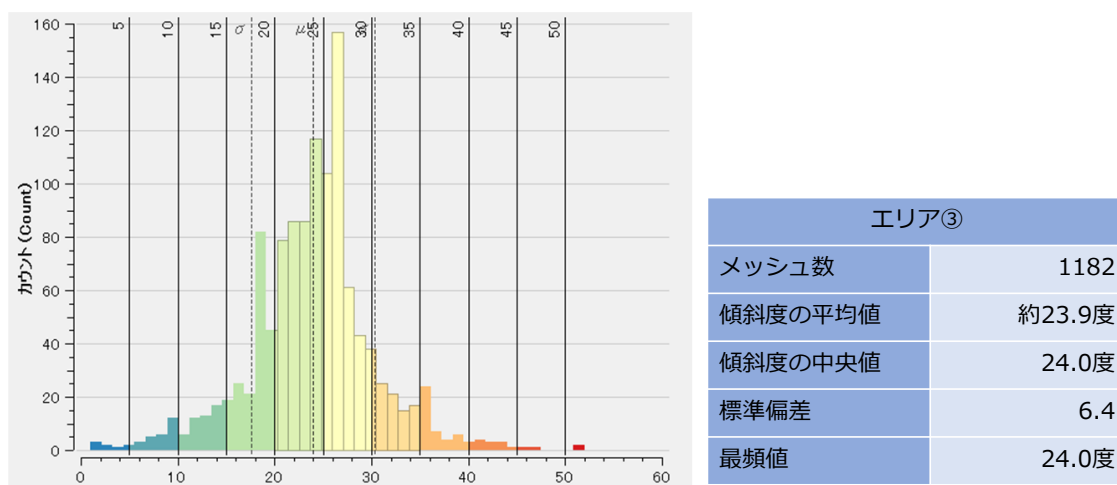


図 4-8 「山もっとモット」の稼働エリアのデータ（造林機械地拵えエリア③）

表 4-9 傾斜に関する「山もっとモット」のスペック（取扱説明書より抜粋）

登坂能力 (カタログより)	35 度
最大安定傾斜角度 (カタログより)	左右方向 各 40 度 (無負荷静止状態)
横転警告ブザーの作動 (取扱説明書より)	前後方向 各 25 度 左右方向 各 25 度
横転警告ブザーの高速作動 (取扱説明書より)	前後方向 各 30 度 左右方向 各 28 度
エンジン停止※	前後方向 35 度以上 左右方向 30 度以上

4-4-2. 「山もつとモット」の稼働条件（傾斜以外の条件）について

斜面の傾斜度以外に、「山もつとモット」の稼働に影響を与える条件について以下に整理した。

(ア) 地形

山もつとモットの走行に影響を与える可能性の一つに、地表面の転石や岩の存在がある。「山もつとモット」の刈刃は地際付近まで届くため、地表面に岩などの硬いものがあると接触して刃が損耗する恐れがある。今回の調査地は主に斜面上部での作業であったこともあり、地表面に岩などはあまり見られなかったが、沢の下方などでは転石も見られたため、そのような場所については事前に確認しておくなど注意する必要がある。

(イ) 灌木のサイズ

今年度の調査地では、主伐後6年が経過していたこともあり、林地斜面に灌木が密生していた。「造林機械地拵え区」に生育していた灌木の多くは樹高が3～5m程度、胸高直径は2～6cm程度だったが、沢沿い等に生育していたアカメガシワやカラスザンショウ等の落葉樹はさらに樹高が高く、直径が太いものが多かった。このような灌木についても、「山もつとモット」での伐採・破砕処理が可能であった。ただし、灌木の伐採に当たっては伐倒する方向が重要だった。灌木を手前側に伐倒してしまうと、「山もつとモット」の上に灌木が倒れる形となる。安全性に問題が生じるほか、「山もつとモット」の上に乗った枝条を地面に落とすため後方への移動が必要となる。また、地面に落とした枝条は枝の先が「山もつとモット」側に向いているため、場合によってはそれらの枝先が機械の底面のケーブル類に接触して機械トラブルが発生してしまう。このことから、灌木を安全かつ効率的に伐採・破砕処理するためには、「山もつとモット」とは逆側（奥側）に灌木を伐倒する必要がある。

なお、「山もつとモット」のオペレーターへの聞き取りでは、胸高直径が20cm程度までの灌木であれば、（伐倒の方向をある程度制御できる条件下であれば）「山もつとモット」で処理が可能であるとのことだった。

(ウ) 植生のタイプ

今年度の調査地では、灌木にミツバアケビやヤマフジ等のつる植物が絡みついている状況が確認された。灌木につる植物がからまっても、「山もつとモット」での破砕作業は可能だった。ただし、「山もつとモット」の刈刃が届く高さには上限があり、それ以上の高さではつる植物が機体に被さってしまう状況も見られた。

今回の調査地は傾斜が急だったため、「山もつとモット」の走行方向が主に斜面下部からとなってしまうが、もう少し緩傾斜の斜面であれば「山もつとモット」の走行方向をある程度自由にできるため、例えば斜面上部から作業することにより上記のような問題を解消できる可能性がある。

(エ) 残材の状況

今年度の調査地では、林地斜面に残されていた残材は少なかったものの、作業道と林地斜面の間に主伐時の残材（枝条や根元材など）が集積されており、「山もつとモット」が林地斜面に侵入するためにそれらの残材をグラップル等で移動させる必要があった。

また、隣の林小班からの倒木（主にアカマツ）が林地斜面に残されており、「山もつとモット」の走行の障害となっていた。「山もつとモット」での破碎処理は可能だが時間がかかるため、迂回できない場合はチェーンソーにより玉切りを行う必要があった。特に林縁部では、このような倒木等の状況にも注意が必要となる。

4-4-3. 「山もっとモット」の伐根処理能力について

(ア) 伐根処理の高さの検討

「山もっとモット」が林地内を走行するためには伐根をどの程度の高さまで破砕処理する必要があるかを把握するため、「山もっとモット」による地拵え作業の中で破砕処理された伐根の高さを計測した。結果を図 4-9 に示す。

計測の結果、40本の伐根のうち7割以上にあたる30本が、地表面から5cm以内の高さで破砕処理されていた。特に本調査地のような比較的急傾斜の斜面で「山もっとモット」が地拵え作業を行う際には、方向を変えながら前後に何度も往復して走行する事となる(図 4-10)。そのためには「山もっとモット」の後方に、ある程度の平らなスペースが必要となり、そのようなスペースを確保するためには伐根を地表面に近い位置まで破砕する必要があった。

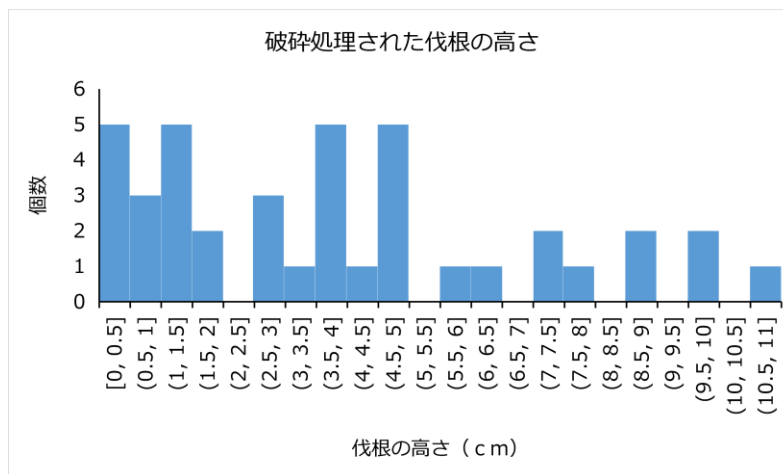


図 4-9 破砕処理された伐根の高さ



図 4-10 「山もっとモット」の走行方向

(イ) 伐根処理に要した時間

今回の実証調査では、「山もっとモット」を効率的に作業させるため、伐根については走行の妨げとなる最低限の伐根のみ破碎を行うことになっており、5日間の作業期間内で約60本の伐根が破碎処理された。これらの破碎処理に要した時間について整理した結果を図4-11に示す。

なお、本来であれば伐根のサイズ及び体積を事前に計測し、伐根のサイズと破碎に要した時間の関係进行分析する予定であったが、今年度の調査地では「山もっとモット」の作業エリアを事前に設定することが不可能であり、破碎処理を行う伐根を事前に計測するのは困難だった。また「山もっとモット」が破碎処理を行う前に作業を止めて伐根サイズを計測することも、作業効率の面から現実的ではないことから、今回は伐根の破碎に要した時間を分析するのみにとどめた（伐根のおおまかなサイズについては、12～13ページに記載した10×10mのプロット調査の結果を参照）。

60本の伐根の破碎に要した平均時間は約65秒であったが、10秒程度で破碎できた伐根があった一方で、破碎に120秒以上かかる伐根もいくつか見られた。間伐時に伐採された直径10～20cm程度の伐根は、伐採から時間が経過していることもあり、破碎にほとんど時間がかからなかった。また、主伐時に伐採した伐根は、伐採から6年が経過して多少柔らかくなっていた可能性がある一方で、切断面の直径が50cm程度に達するものも見られており、傾斜が急であることも相まって破碎処理にある程度の時間を要したものと考えられる。

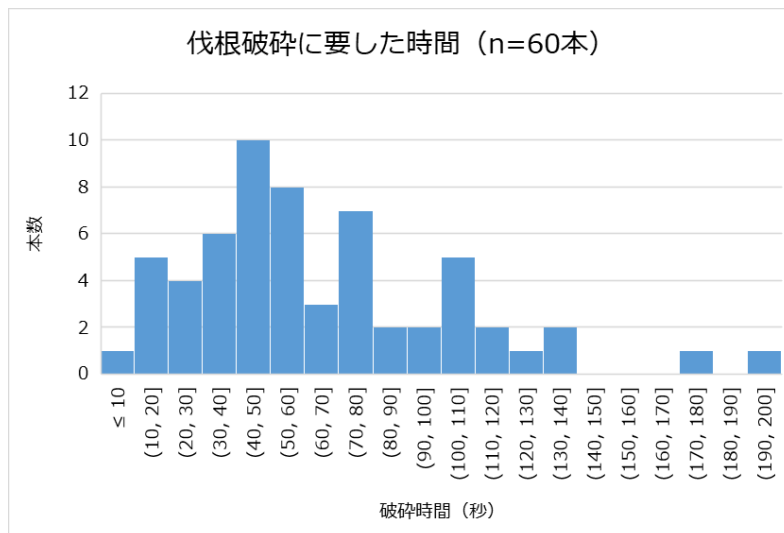


図 4-11 伐根の破碎処理に要した時間

4-4-4. 作業者への聞き取り調査

「山もつとモット」を用いた地拵え作業における注意点や課題等について、実際に作業に従事したオペレーター等から意見を収集するため、聞き取り調査を実施した。調査は、作業期間中にオペレーター等に直接ヒアリングを実施したほか、作業中に気づいた点等を作業日報に記入してもらうことで行った。結果を以下に示す。

「山もつとモット」での地拵え作業について
<ul style="list-style-type: none">・主伐から時間が経っていたため、伐根の破碎は比較的容易であり、刃もほとんど摩耗しなかった。このような条件下で、かつ緩傾斜の林地であればいい結果が出せるのではないかと。・30度以上ある傾斜地での「山もつとモット」の等高線方向の走行は、機体が横滑りすることもあり危険を感じた。・灌木の破碎処理については、地表面に石が少ない現場であったため容易であった。・灌木の処理については、灌木の太さや長さによって「山もつとモット」で破碎するか人力で除去するかを考える必要がある。・「山もつとモット」での地拵え作業（残材等の破碎等）を丁寧にしすぎているとの指摘があったが、特に後方がある程度きれいにしてスペースを確保しておかないと、走行に支障をきたす恐れがあり、故障の要因ともなる。間伐材等の残材が無ければもっと効率的に作業ができたと思う。・「山もつとモット」でサイズの大きい灌木を伐採するときは、手前方向に倒してしまうと枝が機体の底面等に接触しやすくなってしまい故障の要因にもなるため、奥側に倒すことが重要である。・土に埋まっていた間伐材の上に「山もつとモット」が乗り上げて滑ってしまうことが数回発生した。間伐材の破碎作業は時間がかかるためできるだけ避けたい。・急斜面で穴や段が多いと、「山もつとモット」の作業コース選定が非常に難しくなる。・破碎作業の際に、機体の下部に枝条等が入り込まないようにするためには、細かく前後に往復しながらの作業が良い。・斜面を下りながらの作業は、傾斜や凹凸によっては前進も後退もできなくなってしまう可能性をはらんでいる。
「山もつとモット」の作業補助について
<ul style="list-style-type: none">・グラップルがあると、「山もつとモット」が斜面の凹凸等に乗り上げて身動きが取れなくなっても対応できる。・残材の処理については、根元材（タンコロ）と枝条を事前に仕分けてもらうと効率的な破碎処理ができる。・「山もつとモット」単体よりもグラップルとセットで運用した方が、効率面だけでなく作業者の安全性や軽労化を図れると感じた。

- ・つる植物の繁茂が激しい箇所では、灌木の伐採時に上部のつるが刈りきれずにオペレーターに覆いかぶさってしまう恐れがあった。そのような場合は、作業補助要員が先行してつるを切っていくと「山もつとモット」の作業効率を上げられる可能性がある。
- ・人力での作業補助（残材の除去等）が先行した場合、時間がかかってしまうと「山もつとモット」が待機することになり作業効率にも影響が出てしまう。

その他

- ・人力での枝条の集積作業に従事したが、枝条を下まで投げ落とす作業は効率的でなく、非常に体力を消耗した。また斜面での転倒の恐れもあり、人力地拵えの労働強度と危険性を実感した。

第5章 人力による地拵えの実証調査

5-1. 人力地拵え実証調査の概要

多目的造林作業機「山もっとモット」を使用した地拵えと作業工程を比較するため、令和5年1月29日（日）から2月22日（水）にかけて、従来通りの手法である人力を主とした地拵えの実証調査を行った。

人力による地拵えの概要を表5-1に示す。前述の通り、林地内には主伐時に発生した根元材等が残されていたほか、胸高直径20cm程度の落葉樹をはじめとした大量の灌木が生育しており、人力での材の集積は非常に困難と考えられた。そのため、本調査においては材の移動や集積のためのグラップルの使用を可とした。

表 5-1 人力地拵えの概要

作業期間	令和5年1月29日（日）～2月22日（水）
作業内容	人力（チェーンソーや刈り払い機による伐採を含む）を主とした地拵え ※グラップルによる材の集積等は可
作業実施者	那須南森林組合
使用機械	エンジン式チェーンソーG3711EZ（ハスクバーナ・ゼノア社製）ほか エンジン刈払機 BC222EZ（ハスクバーナ・ゼノア社製）ほか グラップル（ヤンマー社製）
作業面積	約1.8ha（12月12～16日に実施された造林機械地拵えで未着手だった約1.93haから、事前に整備した作業道の分を引いた面積）

5-2. 人力地拵えの実施状況

作業期間中の実施状況を表5-2に、実施エリアを図5-1及び写真5-1に示す。

調査地は一面に灌木が密生していたため、作業は「灌木の伐採」と「伐採した枝条の集積」の2工程に分けて実施された。また、「灌木の伐採」には刈り払い機が、「枝条の集積」にはチェーンソー・グラップルがそれぞれ使用された。なお、作業従事者の人数は日によって異なり、最大で1日につき6名が作業に従事した。

表 5-2 人力地拵えの実施状況

作業種	作業期間	作業人数*	使用機械	備考
灌木の伐採	1月29日～2月6日、 2月20日	33人	刈り払い機	
枝条の集積	1月30日～1月31日、 2月6日～2月22日	57人	チェーンソー グラップル	

*延べ人数

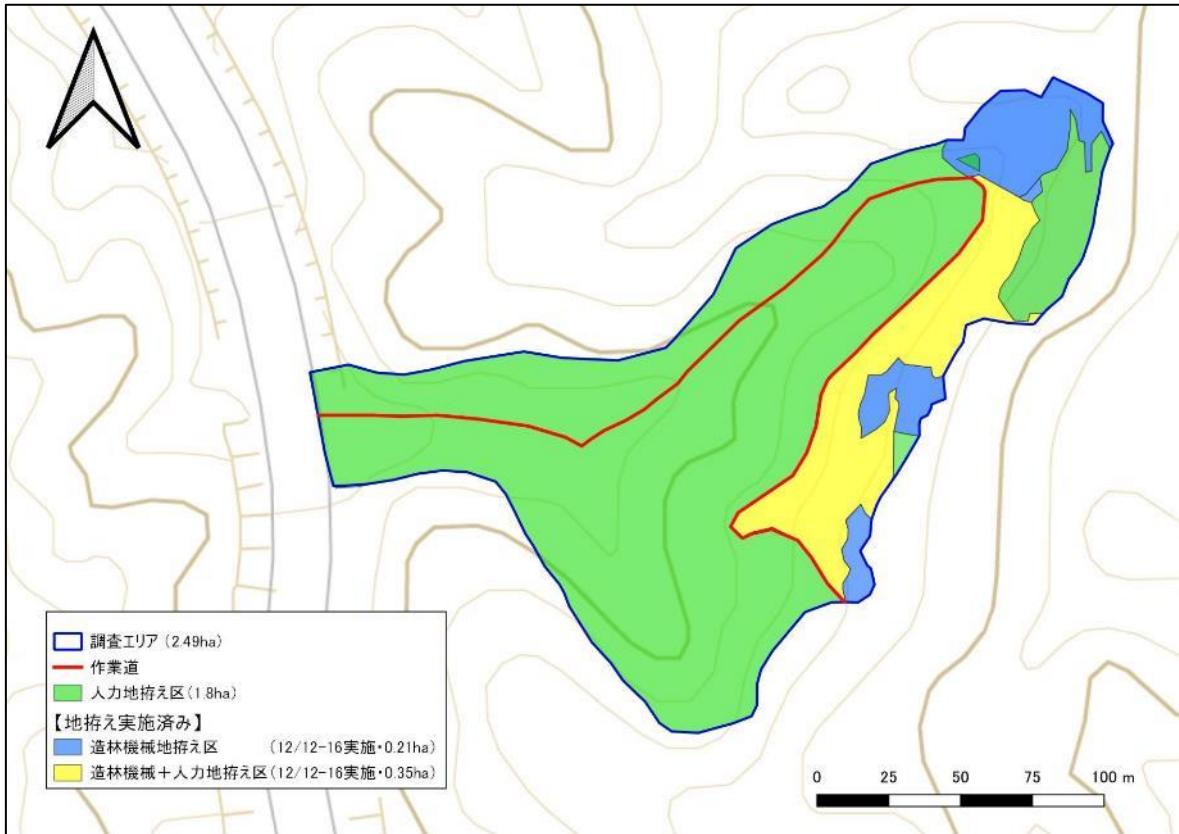


図 5-1 人力地拵えの実施エリア（図中の緑色のエリア）



写真 5-1 人力地拵えの実施エリア



写真 5-2 灌木の伐採作業の状況（人力地拵え区）



写真 5-3 枝条の集積作業（人力・チェーンソー）の状況（人力地拵え区）



写真 5-4 枝条の集積作業（グラップル）の状況（人力地拵え区）

5-3. 人力地拵えの作業工程

5-3-1. 労務調査票による工程調査について

人力地拵えについては、作業期間が長期に及ぶことから、労務調査票の集計結果を基に作業工程を算出した。人力地拵えは「灌木の伐採」「伐採した枝条の集積」の二つの工程に分けて実施されたため、それぞれの工程に要した作業人工と作業時間、使用した機械の台数について日ごとに整理した。

5-3-2. 工程調査の結果

「人力地拵え区」における労働生産性（1人・1日あたりの作業面積 ha）を以下に示す。

人力地拵えについては前述のとおり労務調査票を基に作業時間を集計しており、1日の作業時間から休憩時間を抜いた「総作業時間」のみ算出した。なお、造林機械地拵えと同様に1日の作業時間を6時間とした。

人力地拵えの実施面積が1.8ha、作業に要した人工は労務調査票より75.167人日となり、人力地拵えの労働生産性は約0.024ha/人日となった。

作業内容別に見てみると、灌木の伐採作業に要した人工は約27.5人日、伐採した枝条の集積作業に要した人工は約47.7人日となっており、灌木の伐採よりも伐採した枝条の集積に手間がかかっていた。

表 5-3 人力地拵え区における労働生産性

項目	単位	数値	備考
作業面積	(ha)	1.8ha	
作業人工	(人日)※	75.167	うち、灌木の伐採：27.5人日 枝条の集積：47.667人日
労働生産性 (総作業時間)		0.024 ha/人日	灌木の伐採のみ：0.065 ha/人日 枝条の集積のみ：0.038 ha/人日

※1日の作業時間を6時間として算出

5-4. 枝条の集積状況

「人力地拵え区」では、灌木を伐採して発生した枝条を作業道の周囲ではグラップルで、それ以外では人力で集積した。その結果、前述のとおり灌木の伐採作業よりもかかった時間は多かった。また、「造林機械地拵え区」や「造林機械+人力地拵え区」のように多目的造林作業機での枝条の破砕を行わず、発生した枝条は林地内や作業道上に集積した。その結果、林地内に枝条の集積が残された。集積した枝条の状況を図 5-2 及び写真 5-6 に示す。

林地内に植栽可能な箇所をできるだけ確保するためには、作業道脇などに集積することが望ましい。ただし、作業道から離れた箇所では困難なことや、今回の調査地では枝条が大量に発生したこともあり、作業道脇だけでなく林地内にも多くの枝条が集積される結果となった。

このような集積が林地内に残された場合、今後植栽ができなくなる箇所の面積が増加するだけでなく、仮に今後の下刈り作業等を造林機械で行おうと思っても、集積が走行の障害となってしまう可能性がある。また、このような枝条の集積は、ノネズミやノウサギ等の隠れ家となることも多く、地域によっては植栽後の苗木の生育に影響を与える恐れもある。

なお、作業従事者への聞き取り調査によると、伐採した枝条を集積する作業に関しては、今回のような急傾斜の斜面の方が枝条を楽に斜面下部へ落とせるため負担が少ないとのことだった。そのため、より緩傾斜な条件では、枝条の集積作業にかかる労力はさらに上がると思われる。



図 5-2 集積した枝条の状況



写真 5-5 伐採した後の枝条の状況



造林機械+人力地拵え区
(枝条は破碎処理)

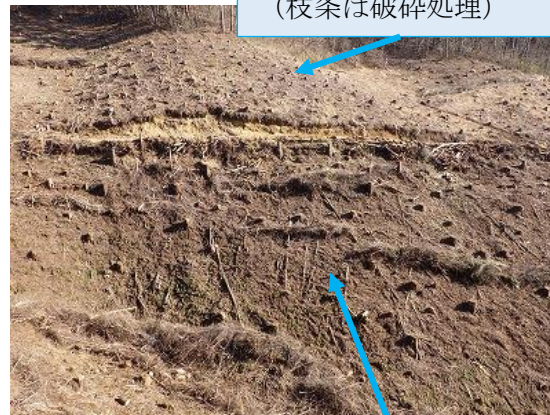


写真 5-6 集積した枝条の状況

人力地拵え区
(枝条は林地内に集積)

第6章 造林機械地拵えと人力地拵えの比較

6-1. 作業工程の比較

「造林機械地拵え区」において実施した造林機械地拵えと、「人力地拵え区」において実施した人力地拵えについて、労働生産性（1人・1日当たりの作業面積 ha）を比較した結果を表 6-1 に示す。なお今回の試算では、「造林機械地拵え区」については、エリア①以外は作業補助の作業量が多くなかったことから、多目的造林作業機での作業（作業従事者2名）のみで比較した。

多目的造林作業機を用いた造林機械地拵えの労働生産性は総作業時間ベースで 0.030ha/人日、実作業時間ベースで 0.046ha/人日となった。また、人力地拵えの労働生産性は総作業時間ベースで 0.024ha/人日となった。総作業時間ベースで比較すると、造林機械地拵えは人力地拵えの労働生産性を僅かに上回ったものの、どちらも低い生産性となった。その要因として、造林機械地拵えについては多目的造林作業機の走行に適さない急傾斜地が多かったことで作業効率が上がらなかったことや破碎処理を行う灌木が多かったこと、人力地拵えについては「灌木の伐採」と「枝条の集積」の二つの工程が必要となったことや、大量の枝条が発生して集積の手間が大きくかかったこと等が挙げられた。

表 6-1 造林機械地拵え区と人力地拵え区の生産性

	造林機械地拵え区		人力地拵え区
	(総作業時間ベース)	(実作業時間ベース)	(総作業時間ベース)
作業面積	0.212ha	0.212ha	1.8ha
作業人工	7.142 人日	4.566 人日	75.167 人日
労働生産性	0.030 ha/人日	0.046 ha/人日	0.024 ha/人日

6-2. コストの比較

造林機械地拵えと人力地拵えについて、コストを試算した。なお、試算を行うに当たり、以下に示す条件を前提とした。

表 6-2 コスト試算に当たっての条件（造林機械地拵え）

	項目	金額	備考
全般	日額人件費	15,000 円/人日	機械オペレーター・チェーンソー業者等、全て同額で試算 (昨年度の試算と同額)
	オペレーター保険料	1,000 円/人日	全ての作業従事者に適用 (昨年度の試算と同額)

	輸送費（起点から移動するための車両費や燃料費）	計上しない	事業体の所在により異なるため
山もっとモット	山もっとモットのレンタル費	90,000 円/日	（昨年度の試算と同額）
	燃料・消耗品代	11,000 円/日	燃料 : 10,000 円/日 消耗品 : 1,000 円/日 （昨年度の試算と同額）
	替え刃代 （オーロラランプシェーバー）	10,000 円/日（※）	今回の現場における替え刃代の考え方を、表の下部に記載
その他機械	グラップル 稼働費 （1 台当たり）	15,600 円/日	人力地拵えの実施事業体による試算を使用 機械損料 : 15,000 円/日 燃料費等 : 600 円/日
	刈り払い機 稼働費 （1 台当たり）	800 円/日	人力地拵えの実施事業体による試算を使用 機械損料 : 200 円/日 燃料費 : 500 円/日 消耗品等 : 100 円/日
	チェーンソー稼働費 （1 台当たり）	900 円/日	人力地拵えの実施事業体による試算を使用 機械損料 : 200 円/日 燃料費 : 500 円/日 消耗品等 : 200 円/日

（※）「山もっとモット」の替え刃代についての試算方法

- ・（メーカー私信より）今回の現場の条件は、①地面に石が比較的少なく、土も柔らかい。②灌木の処理が中心であり、伐根の破砕処理は最低限。③主伐から数年が経過しており、伐根は比較的柔らかい。このような条件では、4面ある刈刃のうち1面だけでおよそ20日程度は使用可能。
- ・以上から、刈刃の4面全てを使用して交換となるまで80日程度。
- ・刈刃は1枚2万円で40枚装着のため、一度の交換で80万円かかり、1日当たりだと1万円となる。

6-2-1. 造林機械地拵えのコスト

表 6-2 に示した条件下で、造林機械地拵えを 1 日実施した場合のコストを表 6-3 に示す。なお、作業従事者については「山もっとモットのオペレーター：1 名」「作業指示者兼オペレーター交代要員：1 名」のほか、作業補助要員として 2 名（チェーンソー・グラップル）の計 4 名として試算した。その結果、4 名での作業で 1 日当たり 191,500 円となった。

表 6-3 1 日当たりのコスト（造林機械地拵え）

項目	金額
人件費等	
人件費（4 名分）	60,000 円
保険料（4 名分）	4,000 円
山もっとモットの稼働費	
レンタル費	90,000 円
燃料・消耗品費	11,000 円
替え刃代	10,000 円
その他機械の稼働費	
グラップル	15,600 円
チェーンソー	900 円
合計	191,500 円

表 6-3 の金額を基に、「造林機械地拵え区」のコストを試算した結果を表 6-4 に示す。なお、試算は多目的造林作業機が実際に作業に従事していた「総作業時間」と、機械の準備や点検、打合せ、何らかのトラブル等で多目的造林作業機が稼働を停止していた時間を総作業時間から差し引いた「実作業時間」について行い、上記で試算した 1 日当たりのコストに作業日数（各作業時間を日数に変換した値・1 日の作業時間を 6 時間とした）をかけて算出した。

試算の結果、ヘクタール当たりのコストは総作業時間ベースで 3,225,693 円、実作業時間ベースで 2,062,241 円となった。

表 6-4 造林機械地拵えのコスト試算

作業面積	造林機械地拵えのコスト (総作業時間ベース)		造林機械地拵えのコスト (実作業時間ベース)	
	(作業面積当たり)	(ヘクタール当たり)	(作業面積当たり)	(ヘクタール当たり)
0.212ha	683,847 円	3,225,693 円	437,195 円	2,062,241 円

6-2-2. 人力地拵えのコスト

表 6-2 に示した条件下で、人力地拵えを 1 日実施した場合のコストを表 6-5 に示す。なお、人力地拵えのコスト算出に当たり、1 日の作業従事者数は労務調査票を参考に、「刈り払い機：2 名」、「チェーンソー：2 名」、「グラップル：1 名」、「人力：1 名」の計 6 名として試算した。その結果、6 名での作業で 1 日当たり 115,000 円となった。

表 6-5 1 日当たりのコスト（人力地拵え）

項目	金額
人件費等	
人件費（6 名分）	90,000 円
保険料（6 名分）	6,000 円
機械の稼働費	
グラップル	15,600 円
刈り払い機（2 台）	1,600 円
チェーンソー（2 台）	1,800 円
合計	115,000 円

表 6-5 の金額を基に、「人力地拵え区」のコストを試算した結果を表 6-6 に示す。なお、試算は実際の作業時間である「総作業時間」について行い、上記で試算した 1 日当たりのコストに作業日数（各作業時間を日数に変換した値・1 日の作業時間を 6 時間とした）をかけて算出した。試算の結果、ヘクタール当たりのコストは総作業時間ベースで 995,602 円となった。

表 6-6 人力地拵えのコスト試算

作業面積	人力地拵えのコスト (総作業時間ベース)	
	(作業面積当たり)	(ヘクタール当たり)
1.8ha	1,792,083 円	995,602 円

6-2-3. コスト比較

造林機械地拵えと人力地拵えのコスト（ヘクタール当たり）を比較した結果を表 6-7 に示す。総作業時間（機械の準備や打合せ、機械トラブル等に要した時間も作業時間に入れた場合）ベースで比較すると、造林機械地拵え（作業人数：4人）のコストは3,225,693円/ha、人力地拵え（作業人数：6人）のコストは995,602円/haとなり、造林機械地拵えのコストは人力地拵えの約3.2倍となった。

表 6-7 造林機械地拵えと人力地拵えのコスト比較（ha 当たり）

人力地拵え （6人での作業）	造林機械地拵え （4人での作業）			
	総作業時間ベース		実作業時間ベース	
ヘクタール 当たりコスト	ヘクタール 当たりコスト	対 人力地拵え	ヘクタール 当たりコスト	対 人力地拵え
995,602 円	3,225,693 円	約 3.2 倍	2,062,241 円	約 2.1 倍

6-3. 地拵え作業による地表面への影響の比較

「山もつとモット」をはじめとした、枝条や伐根の破砕処理が可能な多目的造林作業機を使用した地拵えでは、地拵え作業後に枝条や伐根の破砕物が林地内の地表面に振り撒かれる。破砕物が地表面に堆積した場合、植栽後の雑草木の繁茂を抑制できる可能性がある。

そこで、これらの破砕物がどの程度地表面に堆積するかを把握するため、多目的造林作業機が灌木及び伐根を破砕した後の地表面について写真を撮影し、また堆積した破砕物の厚さを測定した。

6-3-1. 作業前後の地表面の状況

地拵え作業前の地表面の状況を写真 6-1 に、地拵え作業後の地表面の状況を写真 6-2 に示す。

破砕物の大きさは、伐根の破砕物が最も小さく、灌木や集積した枝条の破砕物は大きさにバラツキが見られた。また、伐根の破砕処理後の地表面は細かい破砕物が隙間なく堆積していた一方で、灌木や集積した枝条の破砕処理後の地表面については、作業道に枝条を集積した後にまとめて破砕した箇所ではほぼ隙間なく破砕物が堆積していたものの、灌木（立木）の伐採・破砕処理を行った箇所についてはほとんど堆積していない部分も多く見られた。人力地拵え後の地表面については、主な堆積物は落ち葉や破砕されていない枝条であり、地拵え作業前と大きく変わらなかった。

ただし、伐根の破砕物が振り撒かれる範囲は、破砕した伐根の周囲に限られた。



写真 6-1 地表面の状況（地拵え作業前）



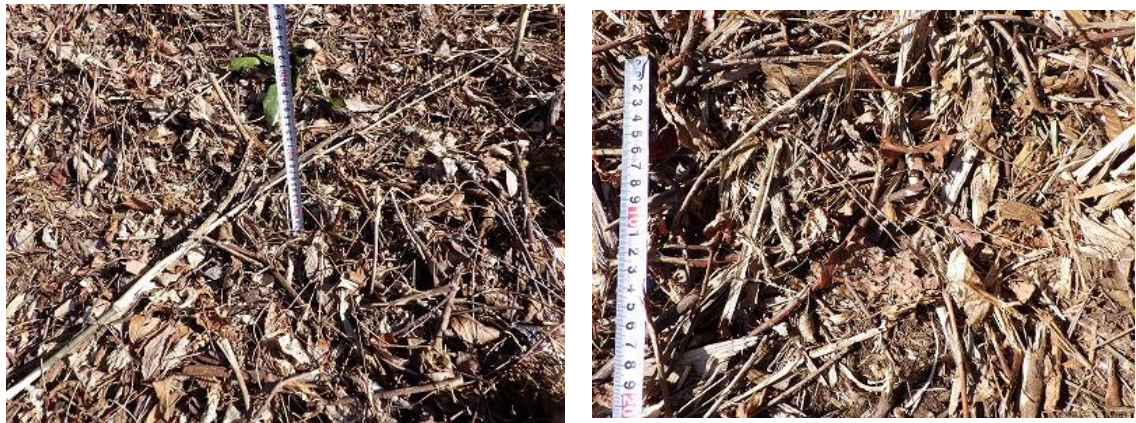
(a) 多目的造林作業機による地拵え（伐根の破碎処理）後の地表面の状況



(b) 多目的造林作業機による地拵え（灌木の破碎処理）後の地表面の状況



(c) 多目的造林作業機による地拵え（作業道上に集積した枝条の破碎処理）後の地表面の状況



(d) 人力による地拵後の地表面の状況

写真 6-2 地表面の状況（地拵え作業後）

また、破碎物の堆積状況以外の違いとして、伐採された後の灌木の違いが挙げられる。多目的造林作業機は比較的地際ぎりぎりまで灌木を破碎処理できるが、刈り払い機やチェーンソーで伐採した灌木については、刃が地面と接触することを避けるため地際ぎりぎりまで伐採することが困難である（写真 6-3）。この違いが、今後の灌木の萌芽再生にどの程度影響を与えるかについては、継続して観察していくことが必要である。



写真 6-3 刈り払い機で伐採した灌木の切り株

6-3-2. 堆積物の厚さ

伐根や枝条等の破砕物が地表面にどの程度堆積するかを把握するため、造林機械地拵え区内において、伐根、灌木、作業道上に集積した枝条をそれぞれ破砕処理した後の地表面に堆積していた破砕物の厚さを、それぞれ無作為に 50 地点選んで計測した。結果を図 6-1 に示す。

伐根の破砕物の堆積厚は平均 3.2cm・標準偏差 1.4cm、灌木の破砕物の堆積厚は平均 2.8cm・標準偏差 1.5cm、集積した枝条の破砕物の堆積厚は平均 6.4cm・標準偏差 3.0cm となった。伐根の破砕物と灌木の破砕物の堆積厚がほとんど変わらない結果となった一方、集積した枝条の堆積物は他よりも厚かった。伐根の破砕物の厚さが昨年度の結果よりも小さくなった要因は不明である。

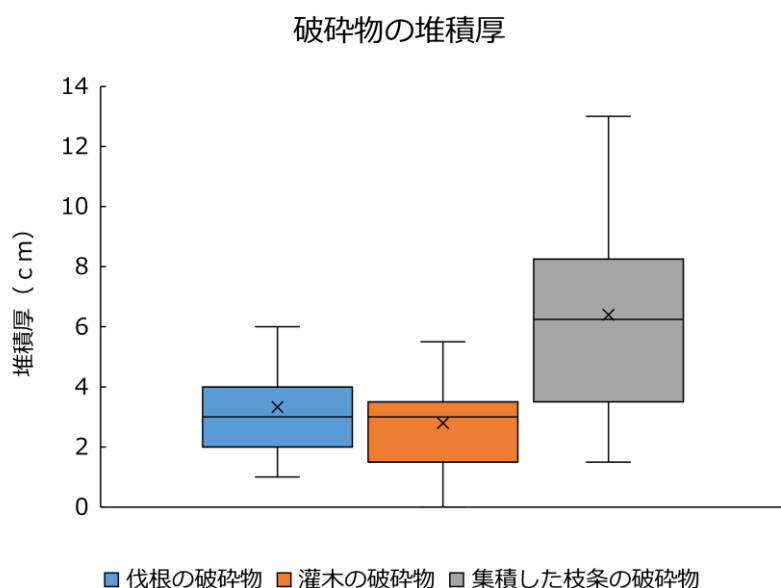


図 6-1 破砕物の堆積厚

以上のことから、破砕物の堆積による雑草木の繁茂抑制効果については、伐根や集積した枝条の周囲では効果がある可能性があるものの、それ以外の箇所については堆積厚が十分得られない可能性があり、雑草木の繁茂抑制効果を林地全体で得るためには伐根や立木の破砕だけでなく、主伐時に発生する枝条等も活用することが必要になると考えられる。

第7章 機械による造林作業に関する事例

7-1. 多目的造林作業機「山もっとモット」の実証調査を行った事例

本事業における今年度の調査地は、多目的造林作業機の使用にはあまり適さないと考えられる急傾斜の斜面が多くを占めており、多目的造林作業機の稼働範囲や作業効率に大きく影響したと考えられた。一方で、灌木の伐採及び破碎処理については一定の効果が確認されており、多目的造林作業機の導入によって地拵え作業（特に立木の伐採や枝条の集積）の効率化及び省力化が期待できることが分かった。

そこで、より多目的造林作業機での作業に適していると考えられる比較的緩傾斜の条件下で多目的造林作業機「山もっとモット」による地拵えが実施された調査事例として、開発メーカーである「(株) 筑水キャニコム」が長野県で実施した事例と、北海道立総合研究機構林業試験場及び広島県が実施した事例の三つを以下に紹介する。

7-1-1. 筑水キャニコム（「山もっとモット」を開発したメーカー）の調査事例

本事業で使用した多目的造林作業機「山もっとモット」を開発した(株) 筑水キャニコムが、長野県内のカラマツ造林地で実施した実証調査の事例を以下に紹介する。なお、記載した調査データ及び写真は(株) 筑水キャニコムに提供いただいております、無断での転載は禁止することとする。

実証事例①及び実証事例②では、「山もっとモット」による地拵えを実施し、特に主伐時に発生した枝条を林地内に残さないことを目的として枝条の破碎処理を行った。また、今後「山もっとモット」で下刈り作業等を行うことも視野に入れ、走行の障害となる伐根の一部について破碎処理を行った。その結果、労働生産性は実証事例①で0.25ha/日、実証事例②で0.18ha/日となった。なお、どちらも作業は「山もっとモット」のオペレーターと作業補助要員の2名で行われた。実証事例①では枝条は林地内に広く散乱した状態であり、一方で実証事例②では除地扱いとする予定で枝条を集積していた。また、どちらの事例でも、グラップルを併用して「山もっとモット」の走行の障害となる残材を事前に除去しておくことで、「山もっとモット」による作業効率の向上を図ることができた。

実証事例③では、実証事例②と同様に集積された枝条の破碎処理を行った。その結果、労働生産性は0.11ha/日となった。なお、作業は「山もっとモット」のオペレーターの1名で行われたが、積み上がった枝条の高さが50cmを超えると破碎作業の効率が大きく低下するため、事前にグラップルにより集積された枝条を薄く広げる作業が必要となった。

実証事例④では、主伐の際の作業効率や安全性を向上することを目的として、「山もっとモット」で先行して林床に生育している灌木の破碎処理を行った。その結果、労働生産性は0.58ha/日となった。なお、作業は「山もっとモット」のオペレーターの1名で行われた。実証事例④が実施された調査地は60年生のカラマツ人工林で林床が比較的明るく、胸高直径が最大14cm程度の広葉樹も生育していたが、「山もっとモット」による伐倒及び破碎処理が可能だった。

以上の事例から、比較的緩傾斜の条件であれば、主伐前の林床整理や主伐時に発生した枝条の破砕処理に「山もっとモット」が利用できること、比較的太さのある灌木でも伐倒及び破砕処理が可能であることが分かった。また、主伐時に枝条が大量に発生することが見込まれる際には、枝条を1箇所が高く集積するよりも薄く広げた状態のままにしておくこと、また作業の際にグラップルを併用して走行の障害となる残材等を整理しておくことにより、「山もっとモット」による地拵えの効率向上が期待できることが分かった。



実証事例① 造林機械地拵え（伐根及び枝条の処理）

実証調査の概要			
調査の目的・内容	将来の下刈りや除伐まで多目的造林作業機「山もっとモット」で行うことを目指し、機械の走行の障害となる伐根や枝条を地拵えの段階で破砕処理する。		
調査地の所在	長野県 佐久市 上小田切		
調査地の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・カラマツ（70年生）の伐採跡地。 ・直径が約70～100cmの伐根を、計6本破砕処理した。 ・枝条は調査地内に広く散乱した状況。 ・傾斜は0～20度。 		
調査面積	732 m ² （約0.0732ha）	作業機の稼働時間	約122分
調査日	令和3（2021）年5月31日		
実証調査の結果			
作業工期	約0.25ha / 日（オペレーターと補助要員の2名での作業）		
調査結果の詳細	<ul style="list-style-type: none"> ・グラップルを補助的に使用してタンコロ（根元材）や大きめの残材を除去した後に、「山もっとモット」で伐根と枝条を破砕処理した。 ・グラップルと併用することにより、作業効率が向上した。 ・斜面の傾斜が20度程度であれば、等高線方向（傾斜に対して水平方向）での破砕作業が可能だった。 ・破砕した伐根のサイズが大きかったため、伐根の破砕には比較的時間を要した。 		
	<div data-bbox="486 1585 885 1881" data-label="Image"> </div>	<div data-bbox="901 1585 1372 1881" data-label="Image"> </div>	

※作業工期を算出する際には、1日の作業時間を7時間で計算

※データ及び写真は（株）筑水キャニコムより提供のため無断での転載禁止

実証事例② 造林機械地拵え（伐根及び枝条の処理）

実証調査の概要			
調査の目的・内容	カラマツ高齢級の主伐現場で発生する大量の枝条を林地内にできるだけ残さず、植栽可能な面積を可能な限り確保することを目的に「山もっとモット」により枝条の破碎を実施した。また、「山もっとモット」による将来の下刈り実施を視野に、伐根の破碎処理も実施した。		
調査地の所在	長野県 南佐久郡 川上村 梓山		
調査地の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・カラマツ（70年生）の伐採跡地。 ・転石等の石礫が、林地内に点在していた。 ・元々は除地扱いとする予定で、主伐時に発生した枝条は林地内に集積していた。 ・傾斜は10～20度。 		
調査面積	375 m ² （約0.0375ha）	作業機の稼働時間	約87分
調査日	令和3（2021）年6月2日		
実証調査の結果			
作業工程	約0.18ha / 日（オペレーターと補助要員の2名での作業）		
調査結果の詳細	<ul style="list-style-type: none"> ・調査地内のタンコロ（根元材）や大きめの残材については、あらかじめ除去を行った。 ・枝条の破碎により、植栽可能な面積の確保とともに枝条の集積にかかる労力が省略できた。 ・石礫地での作業のため、刃の摩耗に注意が必要だった。 ・「山もっとモット」導入の費用対効果に関しては、下刈りや除伐まで含めた一連の造林作業での検討が必要である。 		
	作業前	作業後	
			

※作業工程を算出する際には、1日の作業時間を7時間で計算

※データ及び写真は（株）筑水キャニコムより提供のため無断での転載禁止

実証事例③ 枝条の処理

実証調査の概要			
調査の目的・内容	棚積では処理しきれないほど大量に発生した主伐時の枝条について、植栽面積を確保することを目的として「山もっとモット」による破碎処理を行った。		
調査地の所在	長野県 佐久市 上小田切		
調査地の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・カラマツ（70年生）の伐採跡地。 ・主伐時に大量の枝条が発生したため、棚積では処理しきれずに除地とする予定で集積していた。 ・傾斜は0～25度（窪地の立ち上がり箇所）。 		
調査面積	300 m ² （約 0.03ha）	作業機の稼働時間	約 115 分
調査日	令和3（2021）年5月31日		
実証調査の結果			
作業工程	約 0.11ha / 日 （オペレーター1名での作業）		
調査結果の詳細	<ul style="list-style-type: none"> ・集積された枝条の高さが 50cm を超えると、破碎作業の効率が大きく低下する。今回は集積されていた枝条の高さが 1m を超えていたため、あらかじめグラップルにより積み上がった枝条を調査地全面に撒き直した。 ・主伐時に枝条を集積する際に、一カ所に集めずできるだけ広く薄く集積しておくことで、「山もっとモット」による破碎作業の効率が向上する。また、破碎時に枝条を集めすぎると、破碎物の堆積が厚くなって植栽作業の効率に影響することも考えられた。 		
	<div data-bbox="497 1384 922 1702" data-label="Image"> </div>	<div data-bbox="938 1384 1362 1702" data-label="Image"> </div>	

※作業工程を算出する際には、1日の作業時間を7時間で計算

※データ及び写真は（株）筑水キャニコムより提供のため無断での転載禁止

実証事例④ 主伐前の林床整理（灌木の先行伐採）

実証調査の概要			
調査の目的・内容	主伐時における作業効率向上と安全性の確保のための林床整理（林床の灌木等の伐採）を、「山もっとモット」で先行して実施した。		
調査地の所在	長野県 佐久市 上小田切		
調査地の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・主伐を控えた、カラマツ（60年生）の人工林。 ・主な下層植生はナラ・クリ等で、胸高直径は6～14cm、樹高は2～12m程度。 ・傾斜は約5度の平坦地。 		
調査面積	275 m ² （約 0.0275ha）	作業機の稼働時間	約 20 分
調査日	令和3（2021）年6月1日		
実証調査の結果			
作業工程	約 0.58ha / 日 （オペレーター1名での作業）		
調査結果の詳細	<ul style="list-style-type: none"> ・通常であればチェーンソーや刈り払い機で伐倒する必要があるが、「山もっとモット」であれば破碎処理が可能のため、主伐の際に伐倒作業者の邪魔とならずに安全な伐倒が可能になる。 ・また、地拵えの際に処理する枝条の低減にも繋がる。 ・灌木は太いもので胸高直径 14cm 程度の個体もあったが、「山もっとモット」で伐倒・破碎が可能だった。 ・平坦地であったことが、作業効率に繋がったと考えられる。 		
	<div data-bbox="502 1339 810 1747" data-label="Image"> </div>	<div data-bbox="837 1339 1385 1747" data-label="Image"> </div>	

※作業工程を算出する際には、1日の作業時間を7時間で計算

※データ及び写真は（株）筑水キャニコムより提供のため無断での転載禁止

7-1-2. その他の実証事例

多目的造林作業機「山もつとモット」が開発されてからまだ間もないこともあり、実証調査が行われた事例はまだ多くない。

以下に、北海道立林業試験場と広島県が行った「山もつとモット」（旧名：「山もつとジョージ」）の実証調査の概要を整理した。

文献名	続・小型自走式刈り払い機は林地でどこまで使えるのか？－「山もつとジョージ」の誕生－
著者	渡辺一郎
雑誌名	光珠内季報 No, 194
発行年	2020
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・北海道の林地内で、伐根の破砕性能と下刈り作業工程を調査 ・カラマツを主伐後にトドマツを植栽して1年経過した林地で、カラマツの伐根（平均直径 30 c m程度）の破砕について調査したところ、伐根が大きくなるほど破砕に要する時間が増加した。また、破砕した 141 本の平均的な大きさの伐根を破砕時間は、1 本当たり 88 秒だった。 ・下刈りの作業効率を肩掛け式の刈り払い機と比較したところ、伐根を破砕しながらの作業では肩掛け式に僅かに作業効率が劣るが、伐根を破砕せずかわしながらの作業では、肩掛け式の刈り払い機の 3 倍の効率で実施可能だった。

文献名	令和 3 年度低コスト再造林実証業務 報告書
発行者	広島県
発行年	2022
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・広島県の林地内で、植栽地の下刈り作業を機械化するために伐根の処理を実施。 ・「山もつとモット」の操作は、地元の林業事業者が行った。 ・「山もつとモット」の走行や作業のためには、幅が 2.5m 以上必要とした。 ・既に苗木が植栽されていた（苗間 2.6m×列間 2.6m）箇所でも、伐根処理作業は可能だった。 ・伐根の破砕作業を行えたのは主に傾斜 15 度以下の緩やかな地形だった。一方、作業ができなかった場所は岩が露出していた場所や沢地形となっていた場所であった。

第8章 造林作業の機械化に向けて

8-1. 多目的造林作業機による地拵えの機械化について

多目的造林作業機による造林作業の機械化に向けて、本事業における実証調査等で得られた多目的造林作業機による地拵えをより効率的に行うための知見について以下に整理した。

8-1-1. 多目的造林作業機を効率的に稼働できる条件

多目的造林作業機がどのような条件であれば効率的に使用できるかについて、本事業の調査結果を基に整理した。

①傾斜について

多目的造林作業機の稼働状況に最も大きな影響を与える条件の一つが、林地の傾斜度である。本事業では、調査地内の斜面のほとんどが30度を超える急傾斜地で多目的造林作業機「山もつとモット」による地拵えの実証調査を実施したところ、実際に稼働できたエリアの大半が傾斜30度以下を占めていたことが分かった。また、多目的造林作業機が稼働できた3つのエリアの平均傾斜度は21.6度～23.9度となり、エリア内の傾斜度の最頻値（最も多く出現した傾斜度。0.5mメッシュ）は22～24度となった。

本事業で多目的造林作業機が稼働できた3つのエリアのうち、もっとも作業効率が良かったエリア（造林機械地拵えエリア②）は、平均傾斜度・最頻値ともに3つのエリアの中で最も低い値を示した。ただし、最も作業効率が良かった造林機械地拵えエリア②でも多目的造林作業機の走行方向はある程度制限されていたことから、多目的造林作業機の作業効率には傾斜度が影響し、効率的に作業を行える傾斜度は造林機械地拵えエリア②の平均傾斜度よりもさらに低いと考えられた。

また、林地は基本的に平らではなく、細かい凹凸が至る所に存在している。仮に傾斜度が多目的造林作業機の可動範囲内（なお「山もつとモット」は、前後方向25度以上・左右方向25度以上で横転警告ブザーが作動し、前後方向35度以上・左右方向30度以上でエンジンが停止する）であっても、凹凸の上では局所的に「山もつとモット」がより大きく傾き、可動範囲を逸脱してしまう恐れがある。実際に本事業の実証調査でも、「山もつとモット」が稼働可能な傾斜度の斜面で作業を行っていたものの、局所的な凹凸に乗り上げてエンジンが一時的に停止してしまうことが何度もあり、その都度作業は中断していた。また、そのような場合には作業指示者との打ち合わせを頻繁に行っていた。緩傾斜の斜面であれば「山もつとモット」は比較的自由に動けるため、局所的な凹凸をある程度回避しつつ作業ができるが、稼働可能な範囲ぎりぎりの斜面では回避のためのスペースを確保することも難しくなる。

以上より、多目的造林作業機で効率的に作業を行うためには、ある程度の余裕を持った傾斜度の斜面（造林機械地拵えエリア②の平均傾斜度である21.6度よりも平均傾斜度が低い斜面）である必要がある。また、造林機械地拵えエリア①では走行ルート選定のための打ち合

わせ時間を多くとられたことから、事前に作業予定地をよく観察し、走行ルートについて
程度選定しておくとさらに作業の効率化が図れると思われる。

②地表面の状況について

地表面に多目的造林作業機の走行の障害となる物が多いと、それらを除去する作業が必要となるため作業効率が悪くなる。特に地表面に石が多い場合は刈刃が接触して破損する恐れがある。今回の調査地では地表面に石は多くなかったため作業効率への影響は検証できなかったが、「山もつとモット」のオペレーターへ聞き取りを行ったところ、「山もつとモット」の刈刃の消耗は、破碎処理する伐根の数や堅さのほか、地表面に石が多いかどうかでも大きく異なるとのコメントがあった。また、第7章で紹介した事例でも、地面に岩が露出していた箇所では伐根処理作業が行えなかったとされている。以上より、地表面に転石や露出した岩が少ない林地であれば、多目的造林作業機での作業をより効率的に行えると考えられる。

一方、今年度の調査地で作業効率に影響を与えたのは、林地内に残された間伐材や根元材（タンコロ）・また隣の林分からの倒木の存在だった。これらが林地内に残されていると、多目的造林作業機の走行の障害となってしまうため、破碎処理を行うか迂回して走行する必要が生じる。ある程度の大きさであっても多目的造林作業機による破碎処理が可能だが、破碎作業には時間がかかるため作業効率が低下してしまう。そのため、林地内に残材が多い場合は、グラップルやチェーンソーを補助的に導入することも考慮に入れる必要がある。特にグラップルについては、本事業の「造林機械＋人力地拵え区」で実施したように枝条を多目的造林作業機が破碎できるようまとめる作業や、作業道から林地への侵入口を作る作業のほか、多目的造林作業機が障害物等に乗り上げて走行不可になってしまった際の復旧作業等にも活用できる。以上より、グラップルを同時に導入することによって作業効率の向上を図り、より多目的に活用することが可能になると考えられる。

林地内の伐根については、当初は作業効率を上げるためにできるだけ伐根の破碎処理を行わない方針だったが、多目的造林作業機が前後に何度も往復しながら作業を行うため、特に機体の後方にある程度の作業スペースを確保する必要があった。そのため、エリア内の抜根についてもある程度は破碎処理を行う必要性が生じた。林地の傾斜が緩ければ多目的造林作業機はある程度自由に走行できるため、上記のような理由での伐根破碎の必要性は低下すると考えられるが、今後の検証が必要である。なお、多目的造林作業機のオペレーターへの聞き取りでは、腐朽が進んだ間伐時の伐根はもちろんのこと、主伐後6年が経過した程度の伐根であっても、主伐直後の伐根よりは柔らかく破碎作業の時間が短く済んだとのコメントがあった。

③植生の繁茂状況について

今年度の調査地は主伐から約6年が経過しており、アカメガシワやカラスザンショウ等の落葉広葉樹等が密生して繁茂していた。このような箇所で従来通りの地拵えを行った場合、

灌木の伐採と枝条の集積という2つの工程が必要となり、主伐直後の林地での地拵えと比較して多くの労力がかかることが分かった。また、大量に発生した枝条を集積する場所が必要となり、植栽ができなくなる箇所が増加してしまうことも懸念された。

一方で多目的造林作業機による地拵えでは、灌木の伐採と枝条の破砕が同時に行われるため、作業に必要となる時間や労力の減少が期待できる。また、発生した枝条を集積する必要がなくなるため、植栽可能な場所の確保にも貢献できると考えられる。

灌木の伐採作業に関しては、今年度の調査地のようなある程度の大きさの灌木が密生している林地でも、多目的造林作業機での伐採・破砕作業が十分可能だった。「山もつとモット」のオペレーターへの聞き取りでは、胸高直径が20cm程度の灌木でも伐採・破砕作業が可能とのことであり、条件によっては多目的造林作業機を下刈りだけでなく除伐等の作業に投入することも考えられた。ただし、そのようなサイズが大きい灌木を処理する場合、手前側に伐倒してしまうと作業者の上に被さってしまうため安全性に問題が生じるほか、地面に倒すことができても枝先が機体の方に向いているため、それらの枝先が機体の底面等に接触して故障の要因となる可能性もある。今年度の調査地のような急傾斜地では、斜面を垂直に登坂する方向での作業を強いられる場面が多く、灌木を奥側（斜面の上側）に伐倒することは難しかった。ただし、緩傾斜の林地であればそのような場面は少なくなると考えられるため、伐倒の方向を工夫することにより作業効率の向上や作業者（特にオペレーター）の安全性も確保できると考えられる。

植生のタイプについては、今年度の実証調査では落葉広葉樹又はササ類が主な伐採対象だったが、樹種によって作業効率に差は見られなかった。一方、作業効率に影響したのは灌木に絡まったつる植物の存在だった。灌木の上部につる植物が絡まっている場合、多目的造林作業機の刈刃が届く高さには上限があるため、多目的造林作業機で処理できるよう伐倒の方向等を工夫する必要があった。ただし、灌木を奥側に伐倒できた時などは、多目的造林作業機はつる植物ごと灌木の伐採破砕処理を行うことができた。伐倒の方向さえうまく工夫できれば、灌木の伐採と同様につる植物の処理も効率的に行えると考えられる。

8-1-2. 多目的造林作業機による作業の低コスト化

多目的造林作業機を普及させていくためには、より低コストで稼働させるための工夫が必要である。そこで、多目的造林作業機をより低コストで稼働させるための工夫等について、以下に整理した。

①必要となる人員の整理

今回の実証調査では、「山もつとモット」の稼働はオペレーターと作業指示者（走行ルートの決定等）の2名1組で行ったが、それ以外に障害物の除去要因としてチェーンソーやグラブ、人力による作業補助を行っており、第6章で行ったコスト試算では計4名での作業として

コストを算出した。その結果、一日当たりの作業に必要なコストは195,000円となり、計6名での作業として試算した人力地拵えのコスト(115,000円)の約1.7倍となった。

ただし、功程調査の結果では、それらの作業補助者が実際に作業を行っていた時間はそれほど大きくなかった。特に、比較的傾斜の緩かった造林機械地拵えエリア②及び③では、「山もつとモット」のオペレーターと作業指示者の2名でほぼ作業が可能だった。作業補助がどの程度必要となるかは造林地の条件により異なるが、グラップル等で必要となる作業をあらかじめ終わらせておく、作業補助者を1名にする、「山もつとモット」の作業指示者がグラップル等の作業補助要員を兼ねる等の工夫により作業人数を減らすことができれば、人件費の圧縮による低コスト化や省力化が期待できる。

また、近年開発が進んでいる小型遠隔操作式の造林作業機であれば、多目的造林作業機の破砕部を見ながら作業ができるため、作業指示者が走行ルート決定以外の作業に従事できる時間が増え、より効率的に作業を実施することも期待できる。

②稼働率の確保

多目的造林作業機の運用をより低コストで運用するためには、年間の稼働率を上げることも重要である。今回使用した多目的造林作業機「山もつとモット」には、今回使用した伐根破砕のためのアタッチメント「オーロラランプシェーバー」の他に、林地残材を集積するための「残材集材アタッチメント」や、コンテナ苗や資材等を運搬するための「運搬荷台アタッチメント」がある。また、今回の実証の中でも、刈り払い機等で伐採した枝条を破砕することにより林地に残材を残さない地拵えの試行を行った。このような様々な活用方法を念頭に置いた作業システムを構築することで、多目的造林作業機の稼働率の向上を図ることも重要である。

8-2. 造林作業の機械化に向けた今後の課題と、課題の解決に向けた調査方法の提案

8-2-1. 多目的造林作業機を用いた地拵えについての実証事例の収集

今回実証試験をおこなった調査地は、多目的造林作業機の稼働限界とも言える傾斜であり、作業効率については良い結果は得られなかった。また、今回の調査地は伐採から6年が経過して樹高3～5mを超える灌木が激しく繁茂しており、従来通りの刈り払い機やチェーンソーを用いた地拵えでは「灌木の伐採」と「枝条の集積」という二つの工程が必要となった。一方で、多目的造林作業機による地拵えでは「灌木の伐採」と「枝条の破砕」を同時並行で行うことが可能であった。多目的造林作業機による地拵えの労働生産性は0.030ha/人日、人力による地拵えの労働生産性は0.024ha/人日とほぼ同程度となったが、人力での集材は急傾斜の方が楽であり、逆に緩傾斜の場合は労力がかかるとの作業従事者の意見もあったことから、急傾斜であることは多目的造林作業機の方により影響を与えていたと考えられるため、今回の調査地のような灌木の繁茂が激しい条件であっても、多目的造林作業機がある程度余裕をもって作業できる傾斜条件であれば、多目的造林作業機の導入によりさらに省力化・軽労化が進むと考えられる。

ただし、多目的造林作業機による地拵えを効率的に実施するためには、その場所で多目的造林作業機がどの程度稼働できるかを見極める必要がある。今回の実証調査は、急傾斜という条件や灌木の繁茂が激しいという条件下における稼働状況の整理に大きく寄与したと考えられるが、このような実証事例（特に、多目的造林作業機が効果的に運用できる条件下での実証）をさらに収集していくことで、より効率的に多目的造林作業機を地拵えに活用できる条件を整理していくことが重要である。また、最近では乗用型の造林作業機のほかに、オペレーターの搭乗を必要としない遠隔操作式の造林作業機や、油圧ショベルの先に装着する形で使用する破碎処理アタッチメント等も開発されてきており、乗用型も含めてこれらのタイプの異なる造林機械の作業効率や稼働できる条件の違い、運用の上での留意点を整理し、より適した条件で効率的に造林機械を運用していくことも求められる。

8-2-2. 下刈りを含めた一連の造林作業の中での運用方法等の検討

これまで、本事業では多目的造林作業機による地拵えの実証調査を実施してきたが、多目的造林作業機による造林の機械化で生じるコストの増減や造林作業の省力化等を検証するためには、多目的造林作業機による下刈り（あるいは除伐）まで含めた一連の造林作業の中で、作業効率やコストを検証していく必要がある。特に、造林作業において最も経費が掛かり、かつ労働強度が大きいと言われている下刈り作業については、従事者の急速な減少が懸念されている一方で現在でも機械化があまり進んでいない。機械での下刈り作業を行うためには、機械が走行できる間隔で植栽を行う必要があるなどの前提条件があるため、下刈り作業の機械化については地拵え以上に実証事例が少ない。

以上の課題を解決し、下刈り（あるいは除伐）まで含めた一連の造林作業における多目的造林作業機の有用性を検討するためには、実際に多目的造林作業機を用いて下刈り作業の実証を行い、下刈り作業における多目的造林作業機の効率や課題といったデータを収集し、さらに最低でも地拵えから下刈りまでの作業を一連のものとして作業システムを構築し、造林作業の効率や省力化、コスト削減効果といった様々な視点で検証を行う必要がある。

また、多目的造林作業機による地拵え作業では、従来の地拵えよりも林地内に残る残材や枝条が減少するため、今後の植え付け作業等の効率化も期待できる。そのため、多目的造林作業機を導入することによる地拵え以外の造林作業のコスト削減効果等についても検証する必要がある。

8-2-3. 主伐まで含めた一連の作業システムの中での運用方法等の検討

8-2-2. では、下刈り作業を含めた一連の造林作業の中で検討することの必要性について述べた。一方で、最近では主伐と地拵えを同時に行い作業の効率化を図る「一貫作業システム」が各地で導入されており、様々な成果が上がってきている。このような中で、多目的造林作業機の運用についても、造林作業だけでなく間伐や主伐まで含めた一連の作業の中で

検討していく必要がある。実際、今回の事業では林地内の残材や伐根が多目的造林作業機の稼働の障害となることが分かったが、これらの残材や伐根の大半は主に間伐や主伐の際に発生した物であるため、これらの課題を解決するためには、間伐や主伐等を実施する中で解決方法を検討することが重要となる。

間伐については、時期的な問題があるため作業システムの中に組み入れて検討することは難しいが、主伐やそれに係る搬出路（路網）の整備、地拵え、植え付け、下刈りといった一連の作業システムの中で多目的造林作業機を効率的に運用していく（特に下刈りの際に多目的造林作業機を効率的に運用する）ためには、個々の作業の中でどのような点に気を付ければ良いか、あるいはどのような点を工夫できるかといった視点から、多目的造林作業機（あるいは多目的造林作業機を含めた一連の作業）の実証を行うことが求められる。

令和4年度
造林作業の機械化に向けた実証調査委託事業
報告書

令和5（2023）年3月
（発行）林野庁

（作成）一般社団法人 日本森林技術協会
〒102-0085 東京都千代田区六番町7番地
TEL (03) 3261-5281（代表）／FAX (03) 3261-5393