

## 植栽デザインと多目的造林機械を用いた地拵え・植栽・

### 下刈りの機械化

川元 裕\*・田戸 裕之\*\*・板屋 真一郎\*\*\*・河田 朋巳\*\*\*\*・高倉 知温\*\*\*\*\*

#### Mechanization of Site Preparation, Planting, and Under Brushing Using Multipurpose Silviculture Machinery and Planting Designs

KAWAMOTO Yutaka・TADO Hiroyuki・ITAYA Shinichiro・KAWATA Tomomi and TAKAKURA Tomoharu

Abstract: When clearing undergrowth using multipurpose silviculture machinery, determining the location and arrangement of planted trees from the planning stage and organizing obstacles allowing machinery movement is essential. The method of systematically preparing the site, planting, and clearing undergrowth was defined as "planting design." This method utilizes drone aerial photography, location information from Global Navigation Satellite System (GNSS), and the map information software Quantum Geographic Information System (QGIS). We hypothesized that efficient undergrowth clearing can be achieved using smart glasses. We demonstrated the effectiveness and challenges of the method using "planting design" and multipurpose silviculture machinery. Future studies should address the challenges and establish more efficient methods with less environmental impact, from site preparation to undergrowth clearing.

Keywords: drone aerial photography, Global Navigation Satellite System (GNSS), location information, Quantum Geographic Information System (QGIS), smart glasses

キーワード: ドローン空撮、GNSS(全球測位衛星システム)、位置情報、QGIS、スマートグラス

### 緒言

林業の担い手不足対策、労働強度の軽減を考える上で、下刈り作業等の機械化が望まれ、近年、地拵えから下刈りまで多用途に作業できる多目的造林機械が開発された。

しかし、一般的に造林地には伐採残渣、根株、露岩等、障害物が存在し、下刈り時には植栽木も加わるため、これらが多目的造林機械を用いた下刈り作業の障害となる。

多目的造林機械の効率的な運用方法等の研究が始まっている(広島総技研林業技術センター, 2023)が、筆者らは造林地で使用するためには、従来の施業技術を機械走行に適するよう改良し、地拵えから下刈りまで「植栽デザイン(後述)」により計画的に実施する

ことが不可欠と考えている。

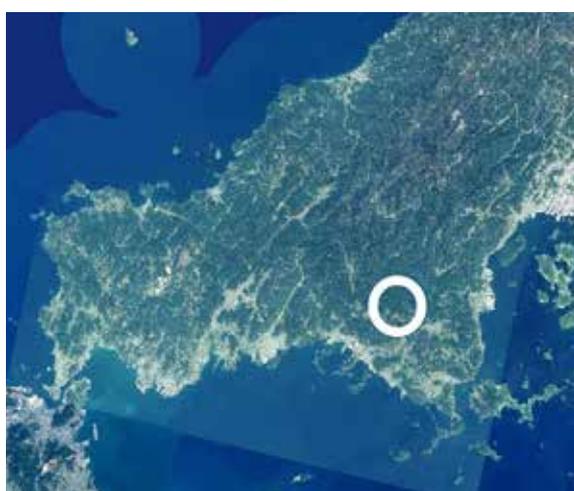
そこで、多目的造林機械を用いた効率的な下刈り作業を実現する「植栽デザイン」の作成と実行のため、かつ、現地普及を念頭に置いたできる限り簡易な方法とするため、多目的造林機械の開発元の(株)筑水キャニコムおよび(株)コア中四国カンパニー、(株)NTTドコモの4者で共同研究を行うこととし、各者が現在保有する技術・情報等を持ち寄り、植栽デザインの考案、作成および各工程の実証試験を実施し、本手法の有効性を明らかにしたので報告する。

試験地を提供いただいた山口県周南市および試験の実施に配慮いただいた山口県東部森林組合、実証試験の実施に協力いただいた共同研究者スタッフ各位、ならびに本研究の実行過程において、当センター「農林産学公連携プラットフォーム」専門アドバイザーとし

\* 現 下関農林事務所 \*\* 現 森林企画課 \*\*\* (株)コア中四国カンパニー \*\*\*\* (株)NTTドコモ \*\*\*\*\* (株)筑水キャニコム

第1表 試験地の概要I (試験実施前後の状況)

所在	試験地	前生樹		林齢	面積	本数	現況			樹種	植栽 本数	
		形状	樹種 上層 下層				平均 胸高 直径	樹高	平均 斜面 傾斜			
				年	ha	本	本/ha	cm	m	度	本	
周南市 緑山	A	多角形	ヒノキ ヒサカキ 外	63	0.06	100	1,667	25	18	19.0	コウヨウザン	90
	B	長方形			0.06	68	1,133	25	18	8.8		90
	C	正方形			0.09	134	1,489	26	19	3.5		135
	D	〃			0.09	124	1,378	27	20	16.5		135
計					0.30	426	1,420	-	-	12.0		450



第1図 試験地位置図



第2図 試験地の配置

注) 試験地Eは目的のデータを取得できなかったため、実証対象から除外した

てご助言いただいた森林総合研究所の宇都木玄研究ディレクターに厚くお礼申し上げます。

## 材料および方法

### 1 試験地

地拵えから下刈りまで継続して実証試験を行うため、山口県周南市の市有林(第1表:63年生ヒノキを皆伐し、コウヨウザンを1,500本/haの密度で植栽する計画)に4か所の試験地を設けた(第1、2図)。その中に形状、障害物の有無など試験地ごとの状況に適した試験の目的と試験区a~fを設定し、それぞれの植栽デザイン(後述)を描いた(第2表)。

### 2 実施期間

一連の工程を第3表のとおり期間を分けて実施し

た。

### 3 方法

#### 1) 植栽デザインの定義

植栽デザインとは、「多目的造林機械等が林地を走行し効率的に下刈り作業をするために、機械の走行ルート、処理する根株および植栽位置等を想定して描画した造林地の設計図」と定義する。造園業界でも同用語が使われているようであるが、別の概念である。

#### 2) 植栽デザインの作成・実行手順と使用機材等

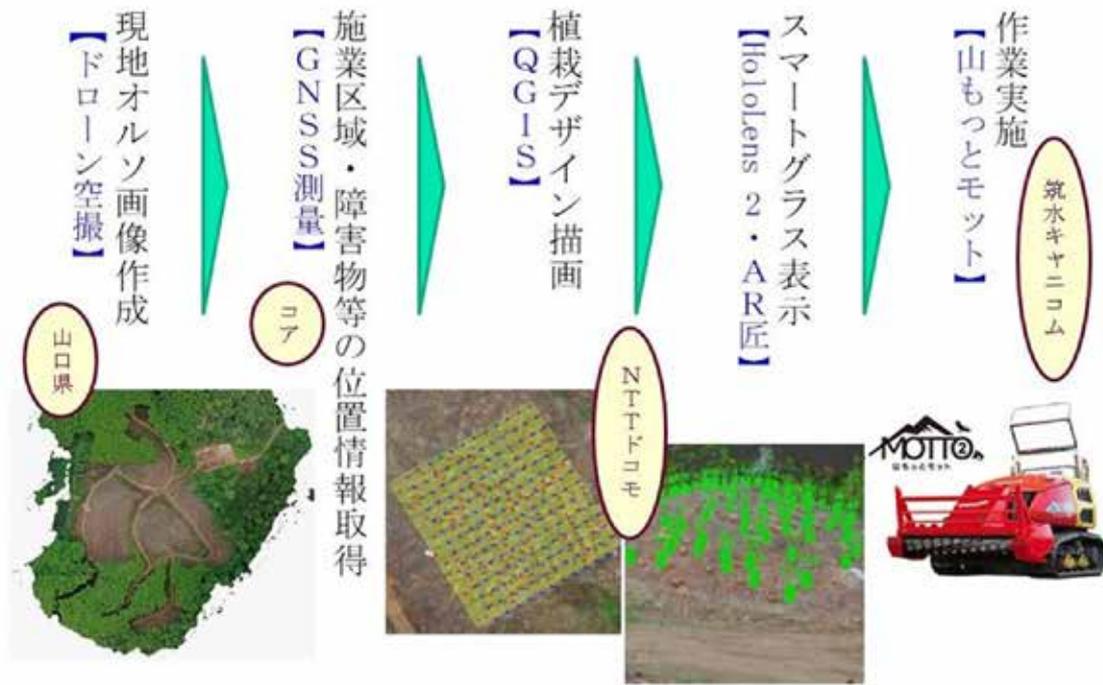
植栽デザインの作成から実行までは次の手順で行った。なお、各手順の後に括弧書きでそれぞれの作業主体を明記した(第3図)。

#### (1) ドローン空撮(山口県農林総合技術センター)

第2表 試験地の概要Ⅱ（林地条件、試験目的等）

試験地	傾斜区分※1	地形、条件等	走行方向 (対等高線)	試験目的・内容等	根株処理※2	植栽作業		下刈り機械 操作※3	試験区
						施工後の根 株処理率※3	者※4		
A	中傾斜	不規則な六角形・尾根を跨ぐ	平行	平行作業の確認	全部	95.7%	2 オペ	有人	a
B	緩傾斜	障害物（露岩、溝）	垂直	根株一部処理の効果、微地形への対応方法の確認	一部	53.9%	〃	〃	f
C	緩傾斜	起伏と傾斜に変化は少ない	〃	模式的な施工地の作業効率確認	全部	92.6%	〃	有人 ラジコン	b c
D	緩傾斜～急傾斜	起伏少ない、位置により傾斜が変化	〃	中～急傾斜での施工方法と効率の確認	〃	84.8%	1 オペ	有人	d
							2 オペ	〃	e

※1) 緩傾斜：0～15° 未満 中傾斜：15～30° 未満 急傾斜：30° 以上（林野庁，2000）  
 ※2) 全：機械走行に支障となる根株を全て処理 一部：最小限の根株処理 不：根株不処理  
 ※3) 試験区Dは、一部区画が急傾斜のため根株処理できなかったことにより、全体の処理率が低下した。  
 ※4) 2 オペ：機械操作に一人、植栽に一人で役割分担する。 1 オペ：一人が機械操作と植栽をする。  
 ※5) 有人：山もつとモット ラジコン：ラジコン式草刈り機



第3図 植栽デザイン作成・実行手順

第3表 実施期間

作業・試験実施時期		地拵え	植栽	下刈り
年	月日			
2022	9月27日～30日	(a～e)		
2023	2月 6日～ 9日	(f)	(a～f)	
	6月13日～15日			(a～f)

1) a～f：試験区 1) a～f：試験区  
 2) 準備作業（植栽デザイン作成）は、現場の変化を反映するため、各工程試験実施前にすべての試験区で行った



第4図 ドローン

DJI 社製の MAVIC 2 を使用した (第 4 図)。これは、2018 年に発売された高性能な折りたたみ式ドローンで、特にカメラ性能に優れ、安全な全方向障害物検知機能や、長時間の飛行、安定した映像伝送能力も兼ね備えており、プロの空撮や映像制作に広く使われている。

### (2) オルソ画像化 (山口県農林総合技術センター)

Ajisoft 社製の Metashape Professional を使用した。これは航空写真から高解像度の DEM データおよびテクスチャー付きのポリゴンモデルと GCP を含む 5 cm 以内の精度を持ったオルソフォト出力を生成することができるソフトウェアである。

### (3) GNSS 測量 (株)コア中四国カンパニー)

(株)コア製の「Cohac<sup>∞</sup> Ten+」を使用した (第 5 図)。これは日本の準天頂衛星「みちびき」を使った手のひらサイズの高精度 GNSS 受信機で、誤差数センチという非常に正確な位置情報を取得できる。

### (4) 植栽デザインの描画 (株)NTT ドコモ・山口県農林総合技術センター)

オープンソースの地理情報ソフトウェアの QGIS を使用した (第 6 図)。これは専門家から初心者まで誰でも自由に利用でき、地図の作成、地理データの表示、編集、分析など、多様な機能を備えていることから、将来の実用化も見据えて、今回の実証試験に本ソフトを採用した。

### (5) 植栽デザインのスマートグラスへの表示 (株)NTT ドコモ)

スマートグラスにはマイクロソフトの HoloLens 2 を使用した (第 7 図)。これは現実世界にデジタルの情報を重ねて表示する「複合現実 (MR)」を実現するヘッドセットで、これを装着すると、目の前の空間に 3D ホログラムを映し出すことができる。この機能を使用すると、現場状況に植栽デザインを重ね合わせて表示することができる。このスマートグラスを装着することにより、植栽デザインであらかじめ決めておいたとおりの作業 (根株の処理・不処理の選択、植え穴掘り位置の確認、植栽木を含む障害物の位置の確認、機械の走行ルートの確認等) を機械のオペレータが一人で行うことができる。

### (6) 地拵え・植栽・下刈り作業 (株)筑水キャニコム)

標記の 3 工程を処理するために、筑水キャニコム社製の「山もっとモット」を使用した (第 8~10 図)。これは林業の造林作業を効率化するために開発された多目的機械で、これまで人力で行われていた植栽や下刈り、およびその前作業として必要な根株や残渣の粉碎等の作業を、1 台で安全にこなすことができる。また、林地の斜面で安定して作業ができるように工夫されており、林業の重労働を軽減する役割を担う。

このほかに、下刈りの実証試験には、同社が当時開



第 5 図 GNSS 測量



第 6 図 ドローン空撮画像と QGIS マップ



第 7 図 スマートグラス

発中のラジコン式草刈り機を使用する試験区も設定した（第11図）。

### 3) 植栽デザインの作成方法

植栽デザインは現地状況に対応した描画が必要であるため、基本的なイメージとなる植栽模式図を考案し、試験区ごとにパラメータ（植栽本数、刈り幅等）を設定した（第12図）。その中で走行機械と植栽木の干渉および植栽後の下刈りを行わない場合に植栽木の成長に対する悪影響を最小限に抑えるために、本試験では走行機械と植栽木のバッファを0.3 mとした。

### 4) 試験区別植栽デザインの設定の目的

試験区は主な障害となる根株処理を主体として、全処理区と一部処理区に区分した。さらに全処理区を目

的に応じて条件を変えて設定した（第2表）。一部処理区（f）は、機械走行幅を確保しつつ根株の処理数をできる限り抑える、即ちコスト削減をテーマとして設定した。以下、試験区ごとの詳細な設計の趣旨を記述する。

#### （1）試験区 a

試験地Aに設定した。クローラタイプのも機械は横転リスクを抑えるため等高線に垂直方向に移動（以下、「垂直移動」とする。）することが原則であるが、ここではそれに反して等高線に平行に移動（以下、「平行移動」とする。）する植栽デザインを描いた。その意図は、傾斜が当たり前の森林施業においても、平行移動のほうが効率的に作業を実施できる現場もあり得



第8図 多目的造林機械（根株処理）



第9図 多目的造林機械（植え穴掘り）

注）図は2オペ作業の様子（試験区f）で、図右の人物が機械操縦、図手前の人物が植付作業手、1オペ（試験区d）では機械操縦と植付を一人が担った



第10図 多目的造林機械（下刈り）



第11図 ラジコン式草刈機（下刈り）

多目的造林機械の使用を前提とした施業模式図

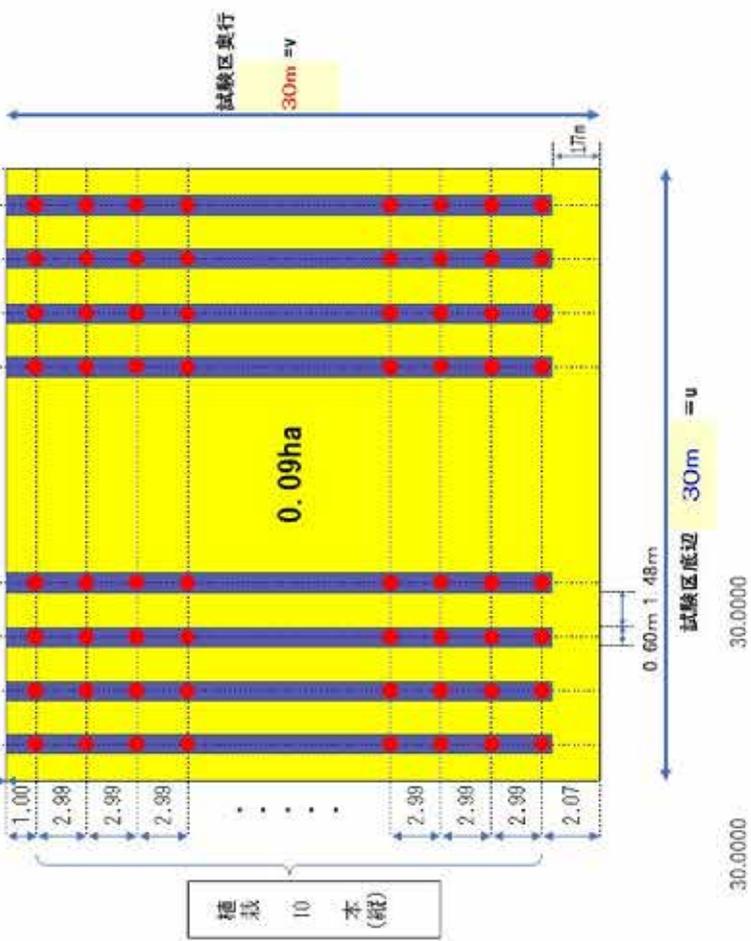
(正方形区: 135本/0.09ha)

植栽デザインの仕組み上、標準本数に合わせることが難しいため、試験区内での「標準本数 (135本/ha) を超える植栽ポイントには植栽しない。」(緑だけ抜けるor植栽あけもしない)

面積相当植栽本数: 1,500 本 / 0.09 ha = 135 本 (=r)  
 試験想定植栽本数: ● 10 本(s) × 14 列 (s) = 140 本 ← 列数は調整  
 多目的造林機械列強し部: ■ 0.0237 ha (26.3%) = 0.60 m × 28.2 m × 14 列  
 多目的造林機械列弱し部: □ 0.0663 ha (73.7%) = 0.09 ha - 0.0237 ha  
 計: 0.0900 ha (100.0%)

【施業模式図数値の条件】

機体長:	3.000 m	a ← 推測 ※要確認
機体幅:	1.180 m	b ← メーカ一聴き取り (可変: 1.180m~1.460m)
ラジコン帯列機列幅:	1.000 m	c ← メーカ一聴き取り
列強し幅 (片側):	0.300 m	d ← 比較走行で要確認 (隣の巻き込みがなければOK)
機械重複列幅下限:	0.200 m	e ← メーカ一聴き取り
植栽列数:	14 列	f = √r
植栽列間隔:	2.080 m	g = (u-2*i)/(t-1)
植栽間隔:	2.992 m	h = (v-(d+k))/s
最端列~境界幅 (図左右):	1.480 m	i = b+d
最端列~境界幅 (図上):	1.000 m	j ← 林業界通念上 (議論の余地あり)
最端列~境界幅 (図下):	1.770 m	k = b*1.5 ← メーカ一聴き取り
植栽区底辺:	27.000 m	l = u-2*i
植栽区奥行:	26.900 m	m = v-(d+j+k)
機械列幅:	1.480 m	n = h-2*d ← 隙間幅+0.2m以上必要 (メーカ一聴き取り)
機械重複列幅:	0.520 m	o = 2*c-n ← オーバーラップ (=機械回りロス)
列強し面積:	0.024 ha	p = (u-k)*t*2*d/10000 ← 人力が払い
折り返し部延長:	- m	q ※設けない。筋の先端は切り返して刈る。



試験パターン	地植え	山もつとモット
	植栽	山もつとモット
	下刈り	ラジコン式

第12図 植栽模式図

ると考えたため、実際、当試験区は最高地点を中心に裾野が扇形に広がる地形である。なお、「山もつとモット」は一般の重機と違って重心が低い上に、傾斜角警告システム（前後左右の傾斜を感知し、25°以上で警告アラームが作動。さらに、前後35°以上、左右30°以上の傾斜ではエンジンが強制停止。）や自動水平保持機能（最大30°までの傾斜地でもオペレータの体を垂直に保ちながら作業可能。）が搭載されているので、当試験区での横転リスクはないと判断した。

## (2) 試験区 b・c

大きな障害となる要因が存在しない、多目的造林機械が実力を存分に発揮できる模式的な試験区として試験地Cに設定した。実際は同じ区域で、下刈りの使用機械の違いで区分した。b区は「山もつとモット」、c区はラジコン式草刈り機である。

## (3) 試験区 d・e

試験地Dに設定した。走行上の大きな障害物は存在しないが、同区内で緩～急傾斜地まで変化があり、とくに中～急勾配での施工方法を検討するために設定した。植栽工程のオペレータ数で区域を分けた。植え穴掘りとdは1オペレータ、eは2オペレータである。

## (4) 試験区 f

試験地Bに設定した。取り除くことができない走行上の障害物（露岩・大きな溝）回避およびコスト削減のために根株処理を最小限に抑えることを目的として、残存する根株のそばに植栽することとしたため、植栽列は平行でなく波線状となり、したがって、下刈りルートも波線状となった。

## 4 作業効率および作業コストの算出

次の方法により算出し、機械作業と従来作業を比較した。

- ① 実証試験の計測結果から、地拵え・植栽・下刈り（4回分）全工程のha当たり合計人役数を算出。
- ② 従来作業データは、従来の人力施工を想定して森林整備保全事業標準歩掛等（林野庁. 1999, 2000, 2023）から算出。
- ③ 作業コストは、労務費および機械損料、燃料費の積み上げとした。このうち労務費および燃料費は実証試験分析当時（2023年）の山口県における標準的な労務単価等について山口県HPおよび経済産業省HPの

公表値を、機械経費は使用機械の販売価格（未発売の機械は類似の販売機械の価格）を使用した。なお、森林施業の機械化・無人化の推進は国および都道府県において喫緊の課題で、重要な施策であるので補助事業の活用を前提条件とした。一方、ドローンやGNSS測量機器は汎用性が高いことやスマートグラスは植栽デザインの実用化を想定するとオペレータの身体的負担から他の方法を採用する結論とした（後述）ことから、これらの経費は含まないこととした。

④ 地拵え工程は、次の内容を想定した。

- ・機械作業：「山もつとモット」による根株や灌木等の切削処理（第8図）
- ・従来作業：刈払い機・チェーンソーによる灌木の伐採・片付け

## 結果および考察

### 1 植栽デザインの作成

#### 1) ドローン空撮およびオルソ画像

ICT機器の取り扱いに習練は必要であるが、比較的容易に、ドローンの空撮画像から現場のオルソ画像を作成することができた（第2図）。ドローンの操縦には、技能講習を受けた上、一定の習練が必要であるが、林業経営体の職員にも可能な方法であると評価する。

しかし、オルソ画像やそれに基づく植栽デザインを現場で使用する際には、オルソ画像の歪みや位置情報の補正に手間や費用が必要なため、知見の浅い初心者には相応の経験が必要と考えられる。

#### 2) GNSS 測量

GNSS 測量は残存根株や障害物等の位置情報を高精度で取得でき、本試験地での植栽デザインの作成に重要な役割を占めた（第5図）。

しかしながら、今回の試験のように根株や植栽木の位置を全て測位することは、作業手間の観点から現実的でなく、むしろGNSS測量は要所（周囲測量等）のみに使用し、根株や植栽木の位置情報は高精度なオルソ画像からのAI判定とすることが、植栽デザイン作成作業の効率化につながると考えられる。

#### 3) 植栽デザインの作成とスマートグラスへの投影 (AR: 拡張現実)

植栽デザインは、植栽模式図であらかじめ基本設計を定め、QGISの機能を用いることで、初心者でも描画

することができた(第12図、第13図)。一方、オペレータがスマートグラスで現場と植栽デザインを重ね合わせて見るためには、オルソ画像の補正、スマートグラスへの植栽デザインデータ登載、現場でのズレの補正作業等の手間が必要で、これはスマートグラス使用経験者に頼った(第14図)。

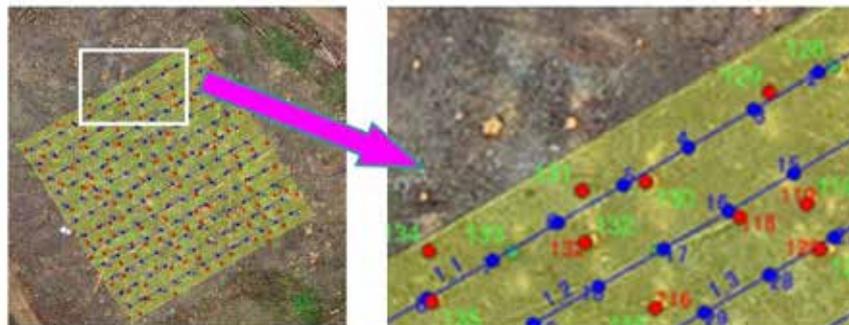
いずれも一定の習練を積むことによって、基本的に誰でも実施可能と評価するが、いくつもの工程を経ることや、補正作業が必ず発生すること等、一般普及に当たってはこれらの工程を簡略化するアルゴリズムの

開発が今後の課題と考えられる。

#### 4) 植栽デザインとスマートグラスの組み合わせ

根株処理の区別、植栽位置、走行ルート等をオペレータが随時判断できるため、作業効率の向上およびオペレータの目標物確認負担の軽減の観点から有効性が認められた。一方で、スマートグラスの装着はオペレータにとって身体的負担でもあった。スマートグラスの装着が身体的負担となった主な理由は、顔面部における常時装着に伴う異物感(または不快感)である。

- ◆ 機械で処理する根株(●)と植栽列(—●—)を決定。(植栽列上で機械走行を妨げないもの(●)は残す。)
- ◆ 植栽間隔は、ha当たり植栽本数と機械の刈幅等から決定。
- ◆ 後の下刈り等の機械操作を容易にし、かつ誰でも描画できることを意図して、基本的には直線状とすること。



第13図 植栽デザイン例



第14図 スマートグラスを装着したオペレータの視界(複合現実)

注) 撮影場所は本報告とは別の試験地、機械はラジコン式草刈り機

具体的な重量や発熱といった要因に加え、デバイスを身体に固定し続けること自体が生理的なストレスとなり、これがオペレータにとって無視できない負担として認識された。

したがって、今後の方向としては、スマートグラスの装着に係るオペレータの負担軽減を図りつつ、作業効率の向上機能を有するツールとして、モニタ（タブレット等）と植栽デザインの組み合わせによる遠隔操作、ひいては自律走行（自動化）を検討すべきと考える。

なお、植栽デザインは、各工程試験の実施結果を受けてその都度更新したが、機械の走行方向など基本的な部分は変更しなかった。

## 2 作業工程別の作業効率

機械作業と従来作業の作業効率を比較した結果の概要は以下のとおり。

### 1) 地拵え工程

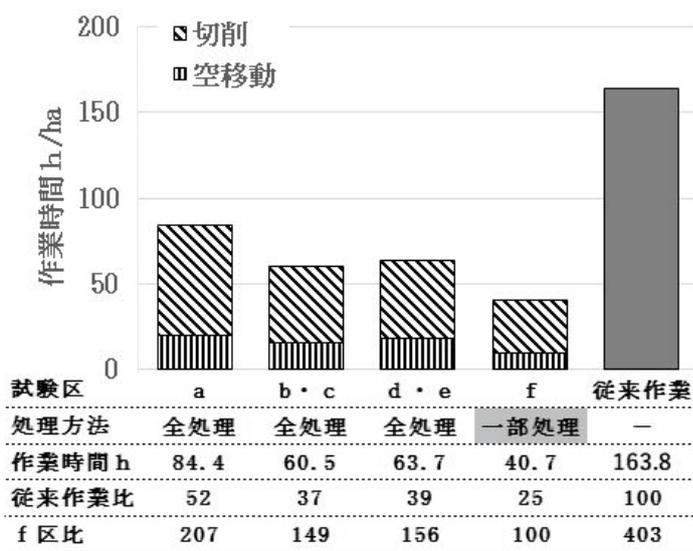
地拵え工程の要素作業は、根株の切削とその間の移動時間とした。単位面積（ha）当たりの作業時間に換算すると第15図のとおりで、前述のとおり従来作業の地拵えと機械作業のそれとは実質的な内容は異なるが、従来作業を100として各試験区の作業効率を比較

すると、25～52といずれも大きく向上する結果となった。一方、地拵え作業の効率化コスト削減を狙ったf区は根株処理数が全体の約54%（第2表）となった結果、その作業効率を100とすると他の試験区は149～207となった。

従来作業の場合、下刈り時に枝条や根株等が作業の支障となることを考えると、これらを均す作業はたとえ機械植栽・機械下刈りをしない場合であっても、作業負荷軽減の観点から有効と考えられる一方、f区との比較では、根株処理数が減少するので当然の結果であるが、ねらい（材料および方法 3 4）（4））どおりの結果が得られた。ただし、機械走行に問題が生じている（後述）。

### 2) 植栽工程

植栽工程の要素作業は、機械植え穴掘りと人力植付とした。なお、d区の1オペレータ作業における機械植え穴掘りには植付を含む。これは、機械植え穴掘りの待ち時間にオペレータ自ら植付をしたため、待ち時間を有効に使えた反面、両者の時間を明確に区分できなかったことによる。その結果を単位面積（ha）当たり、作業時間に換算すると第16図のとおりで、従来作業を100として各試験区の作業効率を比較すると、緩傾斜地（b、c区）では従来作業よりも上回った（74）



第15図 地拵え工程の作業時間

注) 一部処理：植栽デザインにおいて、地拵え作業の効率化・根株処理コストの削減のため、後の機械下刈り走行に支障がない最小限の根株処理とする  
 全処理：植栽デザインにおいて、後の機械下刈り走行ラインを直線状とし、その走行に支障がない場合を除いて根株を全部処理する

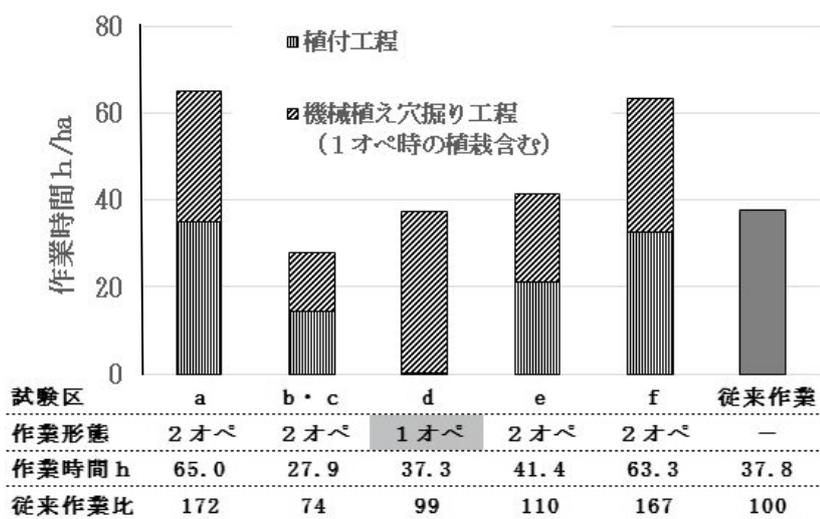
が、中～急傾斜地 (a、d、e 区) では 99 ～172 と同等ないしは低下した。

緩傾斜地 (b、c 区) では機械の強みを発揮して作業効率が向上した。一方、その他の試験区で効率が上がらなかった要因を個別に検討した結果、a 区は平行移動の弊害 (後述 3-1))、d、e 区は勾配と根株上でのスリップ等による速度低下、f 区は一部残した根株を含め露岩や溝などの障害物が作業の妨げとなり作業手順に狂いが生じたものと考えられる。

### 3) 下刈り工程 (1 回分)

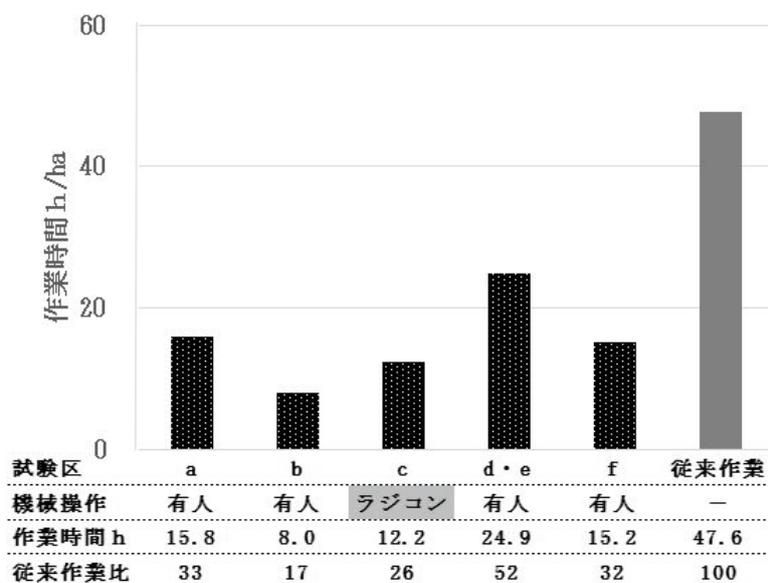
1 回あたりの下刈り工程の作業時間を単位面積 (ha) 当たり換算すると第 17 図のとおりで、従来作業を 100 として各試験区の作業効率を比較すると、17 ～52 という大きく向上する結果が得られた。

従来作業と比較して、機械力が格段に高いことに加え、スマートグラスにより植栽列は明確で、基本的にあらかじめ決めたルートを進ることから、作業効率が大幅に向上したものと考えられ、植栽デザインの有効性が証明された。



第 16 図 植栽工程の作業時間

注) 1 オペ: 機械操作をしながら、機械植え穴掘り中の待機時間にオペレータが植付作業をする  
2 オペ: 機械操作と植付作業を別々の作業員が分担する



第 17 図 下刈り工程の作業時間 (1 回分)

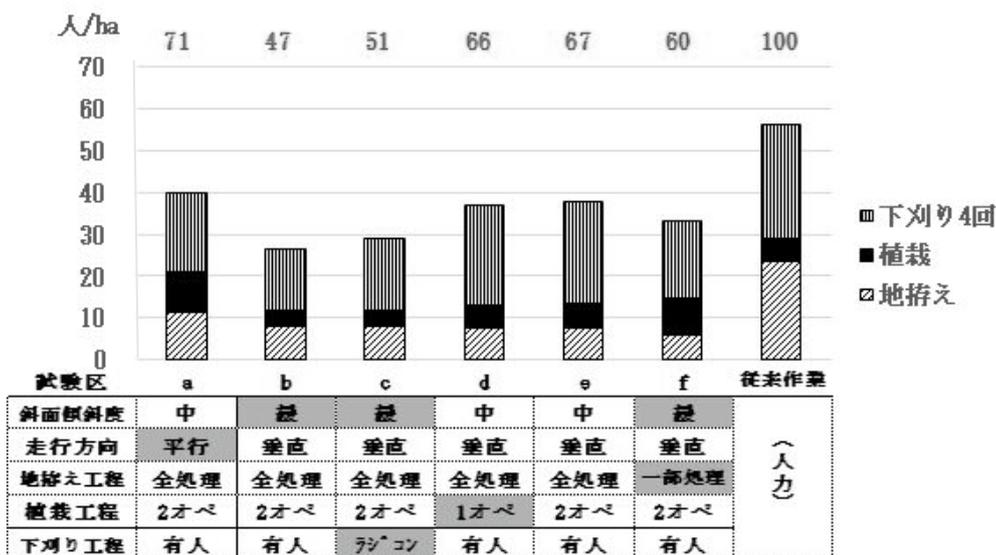
### 3 多目的造林機械等による3工程（地拵え・植栽・下刈り）トータル作業効率

2の結果をもとに、地拵え、植栽および下刈りの3工程トータルの作業効率をシミュレーションした。なお、下刈りは4回分として算出した。

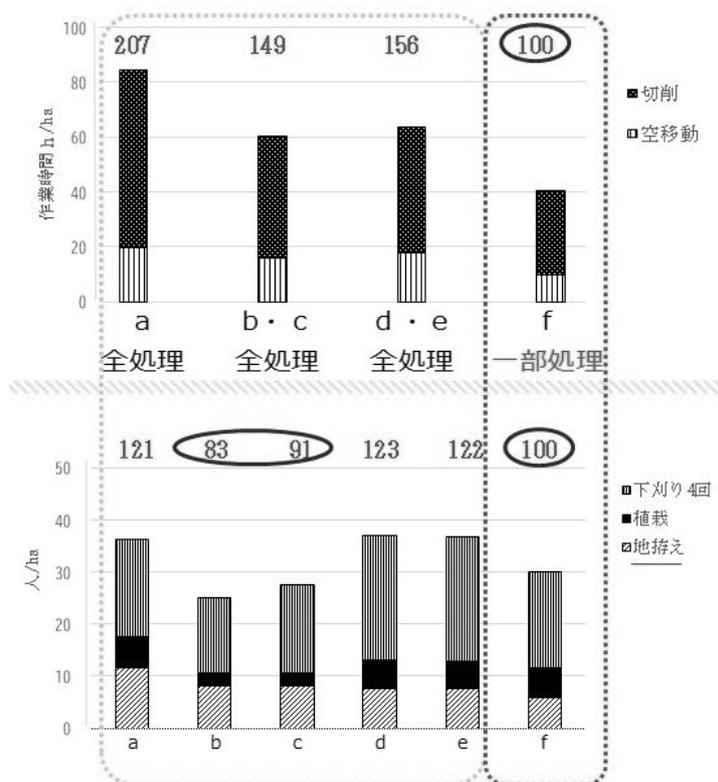
その結果、作業効率（人/ha）は従来作業の47～67%となり、植栽デザインの有効性が示された（第18図）。

また、前述（2-1）のとおり、地拵え工程に限って見た場合、根株の全処理（a～e区）は一部処理（f区）の約1.5～2倍の時間を要したが、3工程トータルの作業効率では緩傾斜（b、c区）において一部処理（f区）よりも作業効率が向上した（第19図）。

一部処理（f区）で3工程トータルの作業効率が低下した要因は、障害物等を極力避けた結果の波線状の走行ラインや障害物とのバッファに余裕がないことに



第18図 3工程トータルの作業効率



第19図 根株処理率の違いが3行程トータルの作業効率に及ぼす影響  
注) 試験区は第18図を参照のこと

より、施工速度が低下したと考えられる（第 20 図、第 21 図）。

以下、試験区別の詳細について記述する。

### 1) 試験区 a

作業効率は従来作業比 71%と、垂直移動（d 区：66%、e 区：67%）と大きな差はなかった。また、走行ルートが決まっている植栽・下刈りと違い、自由度の高い地存え工程において、他と比較して効率が低下した。1カ所のみの結果のため即断はできないが、平行移動は機体が進行中に斜面下方への力が働くことで、オペレータは常にその軌道修正を図らなければならないために作業効率が低下する可能性があるため、平行移動の採用に当たってはそれを考慮する必要がある。地存え工程の効率低下の要因は判然としなかった。

### 2) 試験区 b・c

b 区の作業効率は従来作業の 47%、c 区のそれは 51%と、試験区中で最も効率が良かった。その要因は、走行ルートに障害物が存在せず、多目的造林機械が得意とする緩傾斜地であったことと考えられる。

b 区と c 区の差は下刈り工程によるもので、使用した機械（b 区：多目的造林機械、c 区：ラジコン式草刈り機）の能力（エンジン出力、刈り幅、遠隔操作の緩慢さ）がその要因と推察した。

### 3) 試験区 d・e

作業効率は、d 区は従来作業比の 66%、e 区は同 67%で、垂直移動の試験区の中では最も低かった。

勾配が急になると緩傾斜地では問題とならなかった処理済み根株が影響した。根株処理後も地中の根系は

残るので、走行時にはクローラが根系の切削面で滑り、また、太根を乗り越えようとして下側の土壌を削ってしまって乗り越えることができず、何度も切り返しを必要とした。勾配が 30 度前後では太根を乗り越えることができず、結果的に想定した機械作業が一部実施できない区画が生じた。さらに、d、e 区の下刈り試験当日が雨天であったことも影響を大きくしたと考えられる。

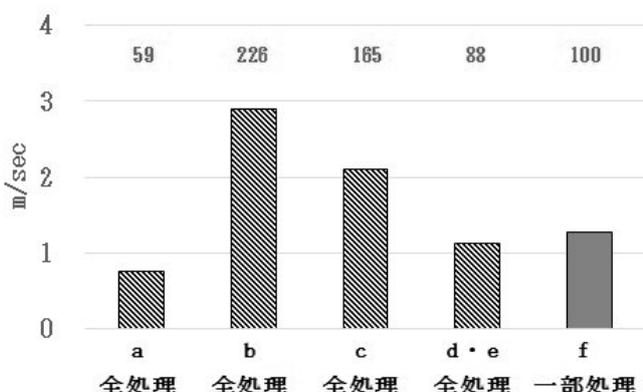
したがって、勾配が増すと作業効率が低下する傾向が認められることから、特に雨天中・直後は施工を避けることが望ましい。また、植え穴掘りアタッチメント機が 1 オペレータ・2 オペレータ両対応で設計されているが、トータルの作業効率にほとんど影響はなかったことから、作業当日の作業員数に応じて作業の選択の幅が広がると考えられる。

### 4) 試験区 f

作業効率は従来作業比 60%と、障害物の有無以外は林地の条件に近い b、c 区と比較して作業効率が低下した。これは、波線状で平行でない配置の残存根株や植栽木との距離に走行上の余裕がなくなり、走行速度が低下したためと考えられる。

植栽デザインの描画にあたっては、障害物とのバッファを確保する必要があると考えられるが、その場合は根株処理数が増加し、地存えのコスト増を招くことから、実証事例を増やしてその有効なラインを見極める必要があると考える。

走行上の障害物の回避については、植栽デザインと現場でのオペレータ判断に乖離が生じ、下刈りの走行ルートの一部において実走行ルートに大きな変更が生じた。オルソ画像上では可能と判断した走行ルートで



第 20 図 下刈り工程の平均走行速度

注) 試験区は第 18 図を参照のこと



第 21 図 b 区での走行の様子

あったが、オペレータが不可またはより良いルートで現場で判断し、採用したためである。露岩や溝状の微地形などはオルソ画像では詳細を判別しにくいいため、植栽デザインよりもオペレータ判断を優先する事態も想定すると同時に、下刈りは数回行うので、走行ルートに変更が生じた場合には植栽デザインの修正が必要である。その際にはオルソ画像を再度作成し、クローラの痕を辿る作業が必要と考えられる。

#### 4 作業コスト

3のシミュレーションに基づき従来作業と比較した結果、機械作業は約1.8～3.4倍の値を示した(第22図)。

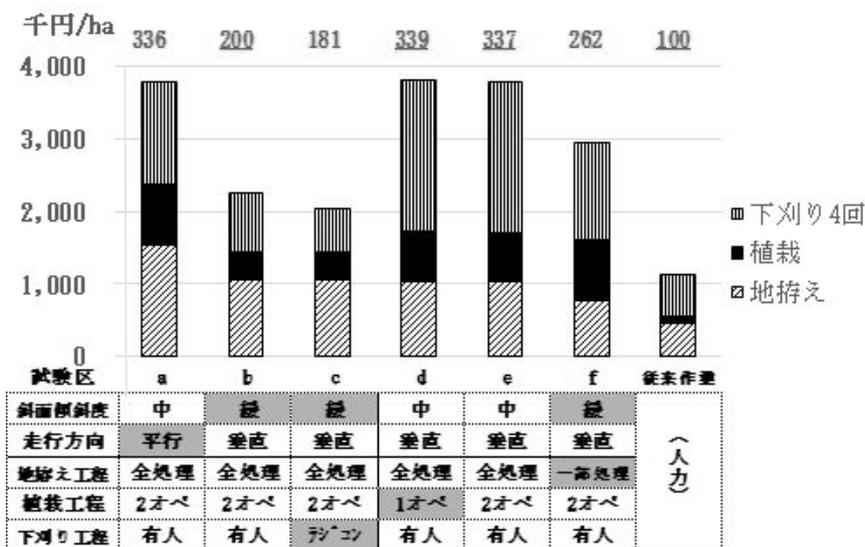
従来作業よりもコストが高んだ大きな要因は機械損料である。下刈りに限らず高額な機械導入の障壁であ

るが、コストの増加を機械導入による作業効率の向上に伴って生じる余剰労働力を事業量増加に振り向けることによる収益増に加え、労働負荷の軽減効果(省力化、軽労化およびそれに伴う労働安全・衛生の視点)を取り入れた経営判断が林業事業体に必要と考える。

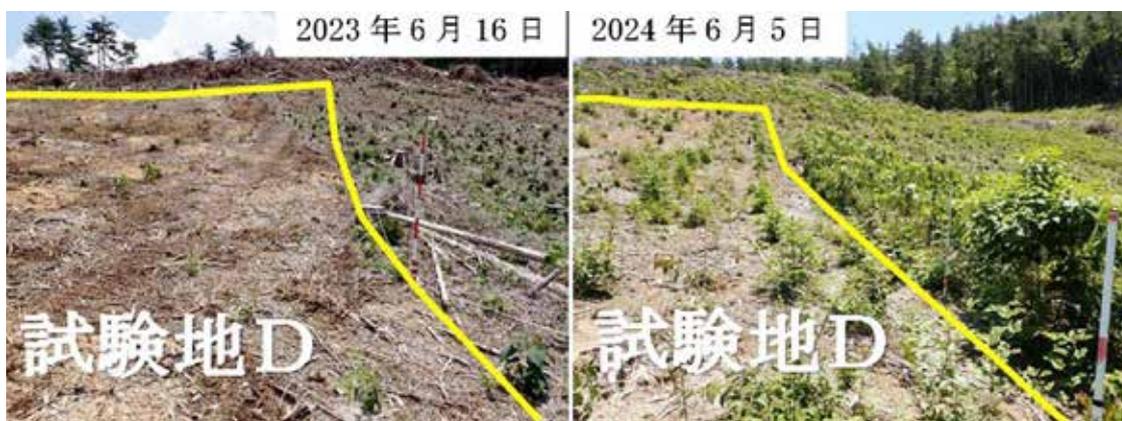
#### 5 下刈り回数・面積の削減の可能性

下刈り工程の実証試験を完了した2023年6月とその1年後の試験区内外を比較して、雑草・灌木の繁茂が抑えられていることが分かった(第23図)。

このことは、機械作業に伴う表土かく乱が下刈り回数・面積の削減につながる可能性を示している。一方で、傾斜地では有機質土壌の流失や裸地化の懸念がある(佐藤, 2020)ことから、多目的造林機械の作業による表土かく乱の影響を確認するため、経過観察が必



第22図 3工程トータルの作業コストのシミュレーション



第23図 下刈り回数・面積削減の可能性

左: 試験直後 右: 試験後1年経過



第24 図 試験直後の試験地Cの遠景



第25 図 機械旋回部の土壌かく乱

要と考える(第24, 25 図)。

しかし、多目的造林機械の使用が主に想定される斜面傾斜度は本機の性能が十分に発揮できる約20度以下で、中～急傾斜地での使用は多くないと予想されるため、有機質土壌の流失の程度は大きくないと考えられる。

以上のように、「植栽デザイン」と多目的造林機械を用いた再造林手法の現地実証を行い、その有効性と課題を明らかにした。今後はこの実証試験で明らかになった課題を改善し、より環境負荷の少ない効率的な再造林手法の確立を目指す必要があると考える。

## 摘 要

多目的造林機械を用いた下刈り作業では、計画段階から植栽木の位置や配置を決め、機械が走行できるような障害物を整理することが重要となる。筆者らは、地拵え、植栽、下刈りを計画的に行う手法を「植栽デザイン」と定義した。ドローン空撮、GNSSによる位置情報および地図情報ソフトQGISを用いてこれを作成し、スマートグラスを用いることで効率的な下刈り作業が実現できると考え、実証した。その結果、「植栽デザイン」と多目的造林機械を用いて地拵えから下刈りまで計画的に実施する手法の有効性と課題を明らかにした。今後はこれらの課題に取り組み、地拵えから下刈りまで、より環境負荷が少なく効率的な手法の確立を目指す必要がある。

## 引用文献

- 一般社団法人北海道造林協会. (掲載年不明). 造林作業の自動化・軽労化システムの構築に向けた実証・普及について  
<https://www.zorin-ai.jp/common/pdf/active/zorin-advanced-machineDEMO.pdf> (2025年8月12日現在)
- 広島県立総合技術研究所林業技術センター. 2023. 令和4年度業務報告;p4  
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/582314.pdf> (2025年8月12日現在)
- 林野庁. 1999. 森林整備保全事業標準歩掛  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/sekou/gijutu/bugakarisan kou.html> (2025年8月13日現在)
- 林野庁. 2000. 地域森林計画および国有林の地域別の森林計画に関する事務の取り扱いの運用について  
[https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin\\_keikaku/attach/pdf/con\\_4-5.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin_keikaku/attach/pdf/con_4-5.pdf)  
 (2026年1月28日現在)
- 林野庁. 2023. 治山林道必携—積算・施工編—上巻・下巻. 東京: 一般社団法人日本治山治水協会/日本林道協会.
- 佐藤弘和. 2020. 車両系林業機械の走行による集材路での締め固めと土壌物理性の回復. 森林科学. 90: 6-13.