

Ⅳ 低コスト化に向けた手法・技術・事例

1 主伐時の林業機械の活用【機械地拵え】

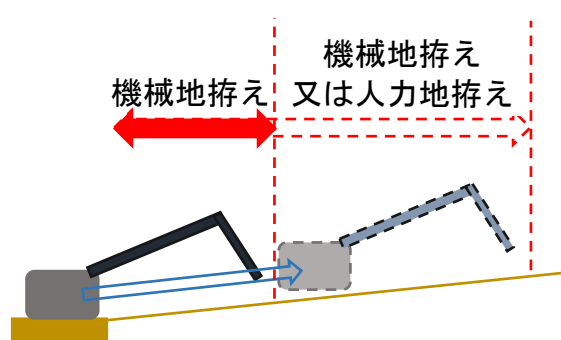
(1) 使用機械

グラップル、ロングリーチグラップル等

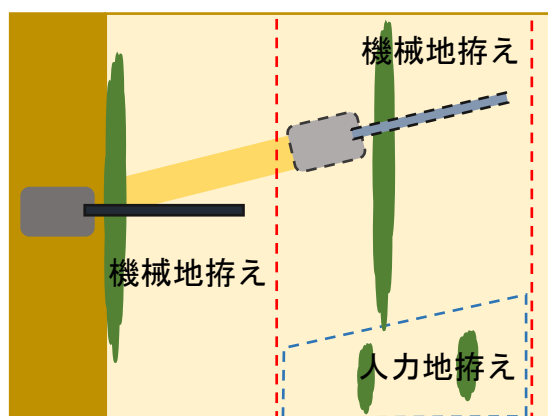
(2) 作業上のポイント

機械地拵えは、機械のアームの長さを考慮し、地形等現地条件に合わせて作業範囲を決めます。

【緩傾斜地】

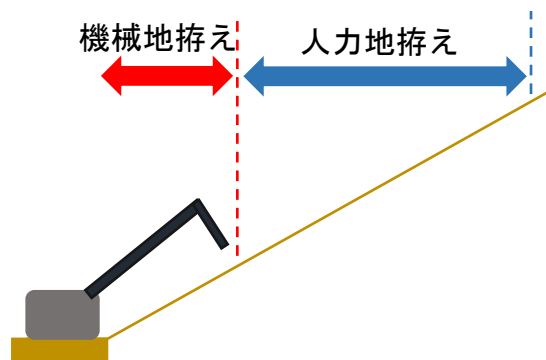


- ・簡易な道（土工伴わない等）で林内を移動することで、広範囲で機械地拵えを行うことが可能です。

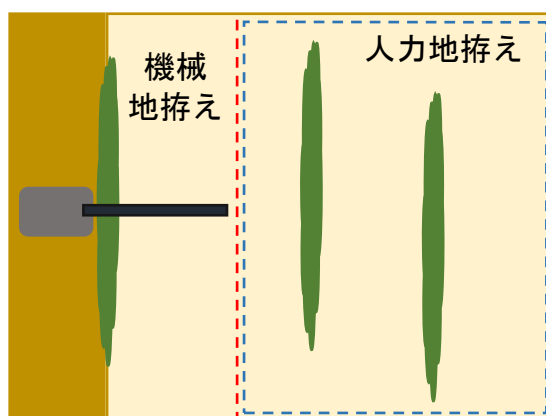


- ・機械地拵えできない範囲は人力地拵えを行います。
- ・枝条残材は作業道沿いや林内に整理します。

【中～急傾斜地】



- ・グラップル等のアームの届く範囲で機械地拵えを実施し、残りは人力地拵えを行います。



- ・枝条残材は作業道沿いや林内に整理します。
- ・全木集材により人力地拵えの区域を縮小できます。
- ・ロングリーチグラップルの使用で人力地拵えの区域を縮小できます。

【参考：低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集（森林総合研究所）】

(3) 地拵えの種類とメリット・デメリット



- ・地拵えは、時間と労力をかけすぎると逆に高コストとなります。
- ・地表をきれいにすることが目的ではなく、植栽を行うために必要な地表整理であることを意識してください。

① 枝条残材放置

- ・この状態では植付が困難又は不可能。
- ・下刈り作業は困難。
- ・この状態から再造林(地拵え～植栽)を行うと最も高コストとなる。



② 人力地拵え

- ・すべて人力地拵えを行うことは、低コスト化につながらない。

→機械・人力地拵え併用で低コスト化

- ・裸苗もコンテナ苗も植付は容易。
- ・下刈り時に障害物が少ない。



③ 機械地拵え

- ・再造林経費を抑えることが可能。
- ・コンテナ苗は植付が可能。
- ・機械地拵えの程度によっては裸苗も植付が可能。
(必要に応じて人力地拵えを実施)
- ・枝条等があるため下刈り時に注意。



④ 枝条等搬出（森林バイオマス活用）

- ・枝条等を搬出して森林バイオマスとして活用する場合、主伐の採算性が取れるならば、最も低コスト化・省力化につながる。
- ・植付作業は最も容易。
- ・下刈り時に障害物が最も少ない。



（４）機械地拵えをどこまでやるか

再造林経費を抑えることが可能な機械地拵えを実施する場合、以下について造林作業や下刈り作業と打合せなど、各事業者における「地拵え」の目安を決めておきましょう。

CHECK! 

- ・ 現地は機械地拵えのみで実施可能か（人力地拵えは必要か）
- ・ 機械地拵えをどの程度までやるか（どの程度なら許容か）
- ・ 今後の保育作業にどの程度影響があるか

【機械地拵えの事例（人力地拵えが不要と思われる事例）】



2 主伐時の林業機械の活用【機械による苗木運搬】

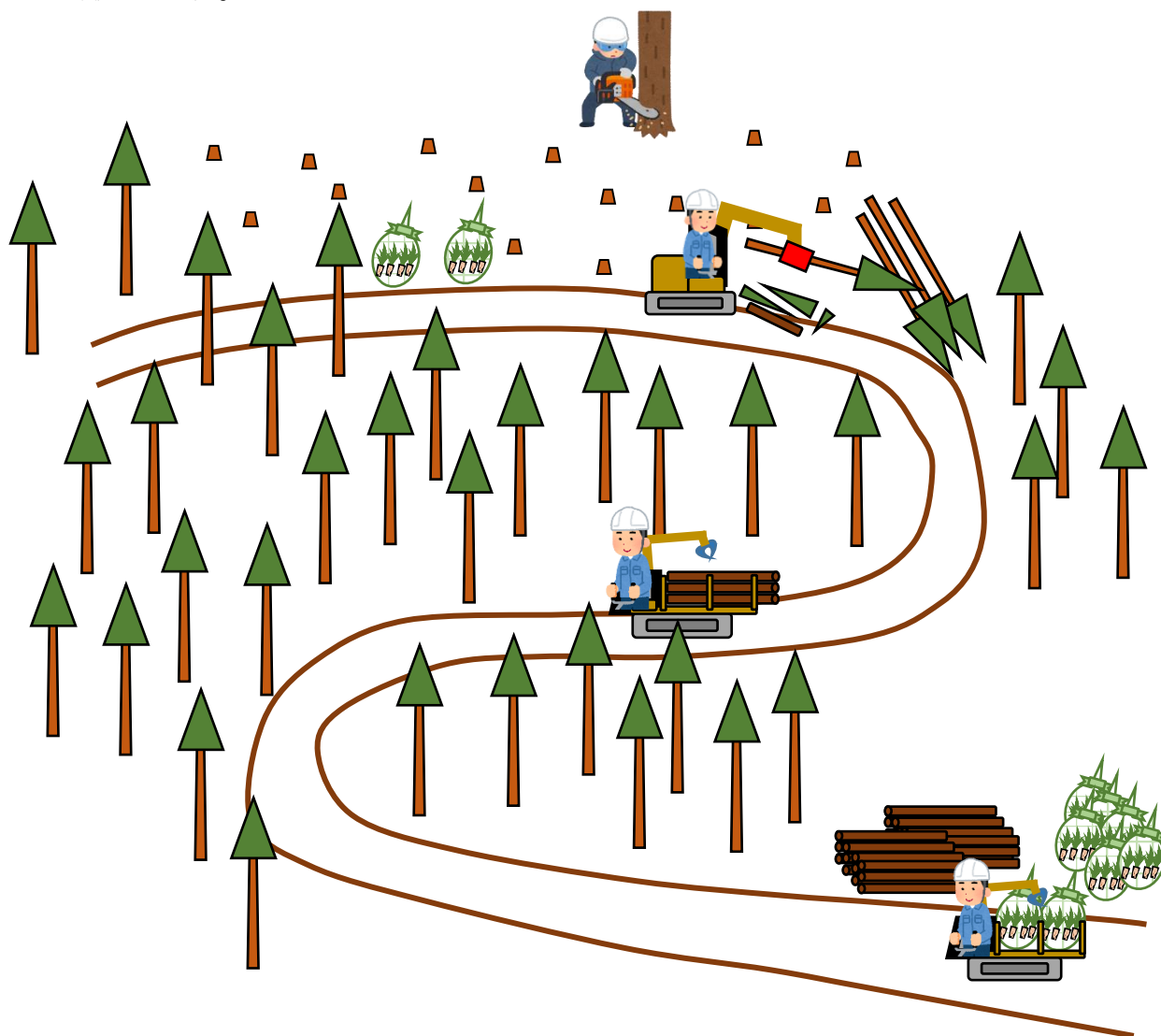
(1) 使用機械

【車両系】フォワーダ、【架線系】スイングヤーダ、タワーヤーダ等

(2) 作業内容

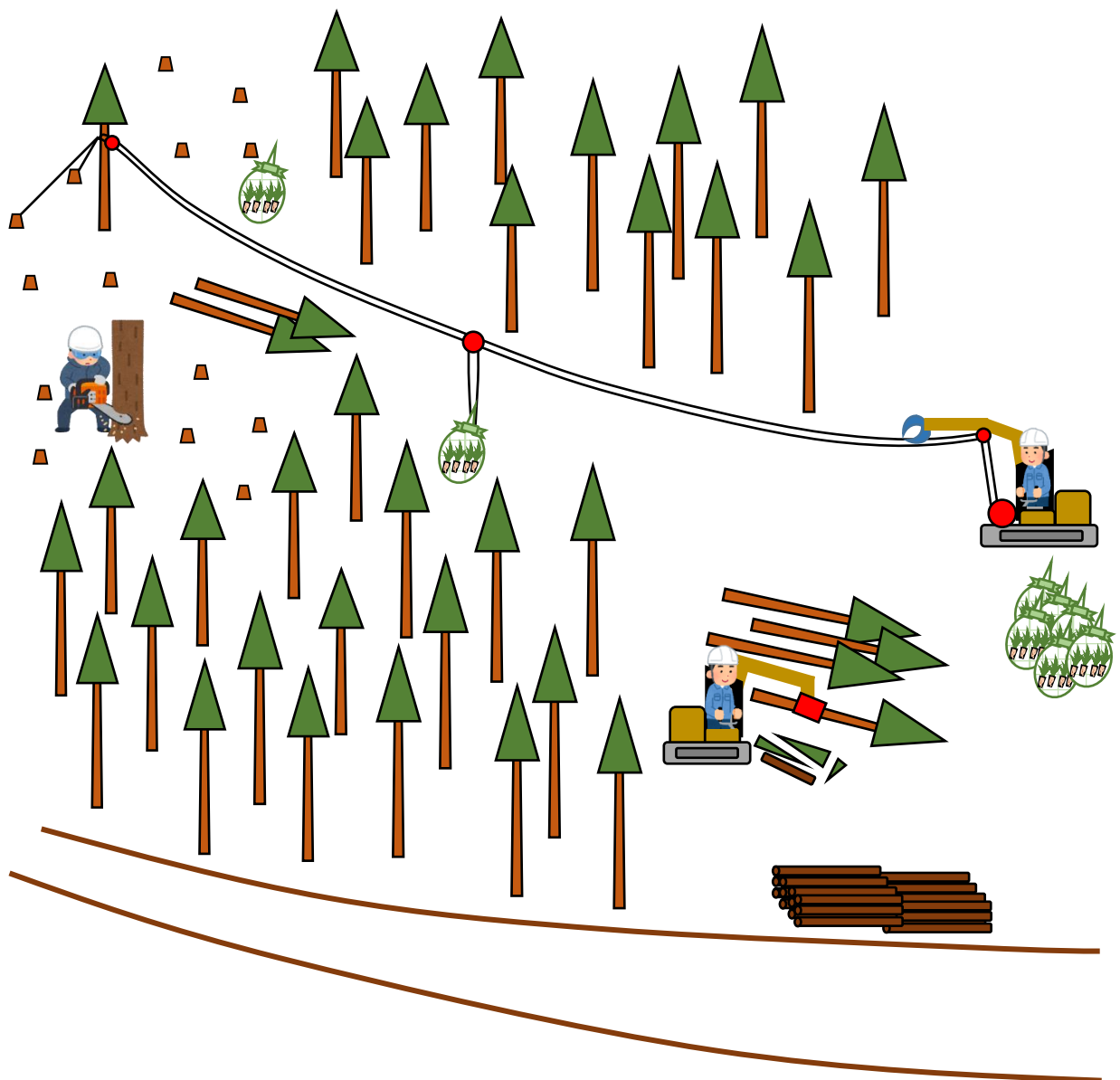
① 車両系搬出の場合

- ・トラック等で山土場まで苗木を運びます。
- ・フォワーダで搬出してきた材を下ろした後、苗木を積み込み、植栽予定箇所まで運搬します。
- ・植栽箇所に着いたら、作業の支障とならないように作業道沿い等に一定の間隔で苗木を置いておきます。
- ・シカ防護柵やシカ食害防止防護筒等の鳥獣被害防止資材も併せて運搬します。



② 架線系搬出の場合

- ・トラック等で山土場まで苗木を運びます。
- ・架線から材を下ろした後、苗木を架線につるし、先山まで運搬します。
- ・先山では、索張方式に応じて荷下ろしポイントを定め、苗木を置いておきます。
- ・シカ防護柵やシカ食害防止防護筒等の鳥獣被害防止資材も併せて運搬します。



③ ドローンによる運搬(参考)

- ・省力化や労働強度の軽減のため、ドローンを使って山土場から、苗木やシカ柵を運びます。
- ・山土場側ではドローンに吊るしたフックに荷をかけ、山土場側のオペレーターが上昇させたのち、受取側のオペレーターの操作で荷を下ろします。
- ・荷を地面に下ろし、フックへの荷重がなくなると、フックが自動で外れるので、荷下ろしでドローンを着地させる必要はありません。
- ・15kg ドローンでコンテナ苗木 120 本 (0.05ha 相当) を運べるので、分散させることで、効率的な植え付けが可能です。
- ・50kg ドローンで、シカ防護柵 50m分を運べるので、シカ柵設置予定地に 50m間隔で下ろすことで、効率的なシカ柵設置が可能です。



コンテナ苗袋 10 本×3



コンテナ苗袋 4 袋(120 本、0.05ha)



50m 分シカ柵



フライト状況

3 低密度植栽

【参考：平成 29 年度低密度植栽技術の導入に向けた
調査委託事業報告書（林野庁）】

(1) 定義

低密度植栽とは、従来の 3,000 本/ha より植栽本数を少なくした造林手法です。

(2) メリット

- ・単位当たりの植栽本数を少なくすることで植栽作業が省力化され、作業時間の短縮につながります。
- ・造林事業者は、生産性の向上（ヘクタール当たりの人役数や作業日数の抑制）により、年間の事業量を増大させることができます。
- ・森林所有者は、植栽経費（苗木代や植付経費）や間伐回数を抑えられるため、負担額を減らすことができます。

植栽本数 (本/ha)	スギ（コンテナ苗）		
	単価 (千円)	補助金額 (千円)	負担金 (千円)
3,000	1,677	1,140	537
2,500	1,464	1141	323
2,000	1,250	975	275
1,500	1,037	808	229

262 千円
削減

※R5.10.2以降申請適用版の造林補助事業標準単価を採用。

※補助率は、2,500 本/ha 以下は 78%、3,000 本/ha は 68%で計算。

その他、各市町や関係団体等による上乗せ補助で負担金が軽減される場合があります。

※再造林の個人等単価、間接費 34%、機械・人力地持えの単価を採用。

手数料等は考慮しない。

(3) 留意点

① 植栽本数

- ・植栽本数は生産目標によって決めることが重要です。
- ・1,000 本/ha 以下は、ウラゴケ(細りの大きいもの)形質になりやすい可能性があります。

【植栽本数による違い（スギ・ヒノキの場合）】

植栽本数	植栽間隔	生産目標	形質	植栽コスト	保育コスト
3,000 本/ha 以上	1.8m以下	良質材	良 ↑ ↓ 注意	高 ↑ ↓ 低	高 ↑ ↓ 低
3,000 本/ha	1.8m	一般材			
2,500 本/ha	2.0m				
2,000 本/ha	2.2m				
1,500 本/ha	2.6m				
1,000 本/ha 以下	3.2m以上	一般材・低質材			

※生産目標や形質等は、保育施業の内容によっても異なります。

② 植栽・保育作業

【植栽】

- ・植栽間隔が変わるため、作業に慣れるまで植栽効率は一時的に落ちる可能性があります。尺棒の長さの変更等で対応可能です。

【下刈り・つる切り】

- ・植栽木の間隔が広がるため、通常より下刈り期間が増す可能性があります。また、つる植物が侵入しやすいため配慮が必要です。
- ・つる切りは下刈り終了時まで確実に実施します。

【除伐】

- ・低密度植栽の場合、下刈り終了後も広葉樹が進入・再生する可能性があるため、必要に応じて従来の時期より前倒しで除伐を実施します。

【枝打ち・間伐】

- ・木材の生産目標により回数や方法は異なります。

③ 気象害

- ・1,000 本/ha 以下では幼齢期に気象被害（雪害等）を受ける可能性が高まります。

（４）低密度植栽の推進について

再造林を計画する際は、各市町の市町村森林整備計画との整合を図りつつ、下記を参考にして現地条件や生産目標に応じた低密度植栽について検討してください。



従来から一般材生産として、3,000 本/ha 植栽が定着してきましたが、国有林等での検証結果を踏まえれば、
2,000～2,500 本/ha 植栽でも一般材生産としては十分であると考えられます。

※市町村森林整備計画で定める本数より少ない場合は、林業普及指導員又は市町の林務担当部局との相談が必要であることに留意してください。

(5) 低密度植栽の実証試験（近畿中国森林管理局）

広島県福山市の新元重山国有林において、低コスト化や公益的機能の発揮の観点で、植栽本数密度別試験地（1,000 本区、1,500 本区、2,000 本区、3,000 本区）の調査研究が続けられています（2032 年度までの予定）。

なお、この試験地は、地位が高い林分であることに留意が必要です。

低密度植栽の林分【H28 撮影：新元重山国有林】



①「植栽本数の違いによる成林状況の一考察」（岩田・村上 2002）

<29～30 年生時の調査結果>

- 造林作業工程（植付、下刈り）は、植栽本数が少ないほど小さくなる傾向。
- 1,000 本区は、他の試験区と比較して枝が太く、大きい枝張り。
- 上位木（胸高直径が大きな個体 1,000 本）の胸高直径は、大差なし。
- 形状比は、植栽本数が少ないほど低い。
- 細り率が高さ 7.2m まで大差ないことから、元玉から 3 番玉までは、低密度植栽による影響が小さい。

②「植栽本数の違いによる成林状況の一考察」(石堂 2011)

＜39～40 年生時の調査結果＞

- 胸高直径は、いずれの試験区も順調に成長。
- 形質不良木出現率は、1,000 本区において、スギで2割、ヒノキで3割あり、他の試験区での1割以下に比べて高い（切捨間伐の未実施、若齢時の蔓茎類の繁茂によるものである可能性）。
- 形状比は、植栽本数が少ないほど低い。
- 収量比数は、植栽本数が多いほど高い。

③「低密度植栽で造成されたスギ・ヒノキの標準伐期齢を越えた林分の林分構造及び材質（幹形・強度）調査結果について」(堂蘭・藤原 2015)

＜41～42 年生時の調査結果＞

- 胸高直径は、植栽本数が少ないほど大きくなる傾向があるが、林分閉鎖以降の肥大成長には大差がない。
- 林分材積は、1,000 本区が他の試験区に比べて小さい。
- 細り率について、スギでは、植栽本数によって大差がない。ヒノキでは、1,000 本区において変化量が大きく、歩留まりが悪い。
- 応力波伝播速度調査の測定値から推計した静的ヤング率について、スギは、1,500 本区以上の植栽本数で、製品品質規格の下限のヤング率基準をほとんど上回る。ヒノキは、1,500 本区では、製品品質規格の下限のヤング率基準を上回るものが90%。
- この試験地は地位が高い（1等級に該当）事例である。地位が中等程度の場合の結果は不明であり、別途検証が必要。

4 コンテナ苗の活用

【参考：コンテナ苗基礎知識（林野庁）】

（１）コンテナ苗について

① コンテナ苗とは

育成孔（キャビティ）の内側にリブ（縦筋状の突起）や細長いスリット（縦長の隙間）を設けた容器の使用やその他の方法により、水平方向の根卷きを防止し、垂直方向に空気根切り※した根鉢付きの苗のこと。

※根が空気に触れると自然に根の成長が止まること。

② コンテナ苗の特徴

- ・ 成形性が高く、植付時に扱いやすい。
- ・ 「リブ」等により根卷きによる根の変形が起こらない。
- ・ 自然と根切りができる（空気根切り）。



③ コンテナ容器

- ・ マルチキャビティコンテナ（150cc、300cc）
- ・ Mスターコンテナ 等



④ コンテナ苗のメリット

【苗畑段階】

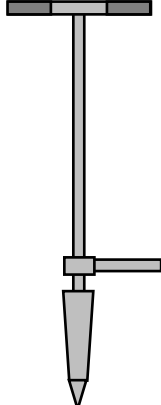
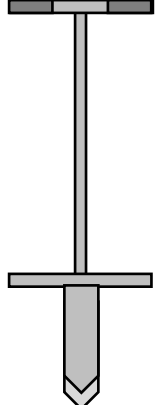
- ・根切りが不要である。
- ・除草が容易である。
- ・ビニールハウスで育てる等、育て方次第で育苗期間を短縮できる。
- ・機械化により育苗に係る労力を削減でき、かつ生産規模拡大により低コストで大量生産が期待できる。
- ・裸苗に比べ、小面積で多くの苗木を生産できる。

【植付段階】

- ・植付現場での保管等の扱いが容易である。
- ・専用の植付器具をうまく使用することで植付時間を短縮できる。また、植付作業に熟練を要しない。
- ・植付の適期拡大が期待できる。

⑤ 植付器具

- ・クワ
- ・専用器具

専用器具の一例			
ディンプル		スぺード	
・先端がコンテナ根鉢の形。 ・土壌に押し込むだけで植え穴を空けることができ、作業が効率的。 ・堅密土壌、礫や根茎等の多い土壌では刺さりにくい。		・形状は数種類ある。 ・主に先端が尖っていてエッジが付いている。 ・バーに足をかけて土壌に突き刺し、前後左右に動かして穴を空ける。 ・根茎等の多いところでは先端を使って切断できる。	

※専用器具を用いる場合は、コンテナ苗の根鉢の大きさ（150cc 又は 300cc）に合ったものを使います。

※現地の条件に合った器具を用いることで、植付作業の効率化が期待できます。

※土壌や傾斜、地被物などの条件や作業の安全性など、全般的に考慮すれば、クワの汎用性が高いという報告があります。

⑥ コンテナ苗の植付の手順

【植付箇所への運搬】

- ・苗木袋やカゴ等を利用して運搬します。
- ・運搬中に根鉢が崩れないように十分注意します。
- ・根鉢があるため、裸苗のような仮植は不要ですが、シートや枝葉等で覆うなど乾燥に留意します。



【地表物の除去】

- ・植付箇所を決め、穴を空ける前に、軽く地表物を除去します。



【植穴掘り】

- ・大きさのあった器具で、器具の先端部が少し埋まるくらいの穴を空けます。
- ・深すぎた場合は、土で埋め戻します。



【植え付け】

- ・根鉢と土の間(下部・側部)に隙間がないように接着させます。
- ・根鉢全体が埋まるように植えつけます。
- ・根鉢が雨等で浮き上がらないように足で踏んでしっかり締め固めます。



【乾燥防止】

- ・植え付け前に除去した地表物を苗木周辺に戻します。



(2) コンテナ苗に関する試験・調査

① コンテナ苗の活着について

- ・ 8月の植栽でも活着率は94%以上であり、どの時期に植栽しても、活着率は適期に植付した裸苗と同程度又はそれ以上だった。

② コンテナ苗の植付効率について

- ・ 唐クワを使っても裸苗の丁寧植えより約2倍早く植え付けできる。
- ・ ひとクワ植えでは、専用の植栽器具と同程度の効率である。
- ・ 器具の違いで植付効率に多少の差が見られる。
- ・ 植付場所の条件(傾斜・土壌等)によって作業効率の良い植付器具が異なる。

③ コンテナ苗の成長について

- ・ 全国で収集された試験データの比較において、樹種別や全体でもコンテナ苗の平均成長率は裸苗と変わらない。

注意！

コンテナ苗であっても、苗木の状態(根鉢や葉量)、植え方、環境条件などによっては、枯れることがあります。

(3) コンテナ苗の普及に向けた課題

- ・ コンテナ苗は、裸苗に比べ、多くのメリットがある一方、単価が高い(現状では裸苗の2倍程度)という課題があることから、大量生産や生産技術の改良等により、低価格化を図る必要がある。

5 下刈りの省力化

【参考：スギ・ヒノキ・カラマツにおける低密度植栽のための技術指針（林野庁）】

（１）下刈り回数見直しの検討

① 下刈りは補助対象林齢上限まで必要か

○植栽木に対して周辺植生の高さがC 1～C 4のどの区分に属するかを確認します。C 1～C 4の区分とは、植栽木と周辺植生の競合状態を表す指標です。

○周辺植生との競合状態 4 区分

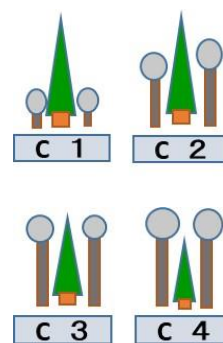
【山川ほか（2016）】

C 1, 植栽木の樹冠が周辺植生から半分以上露出している

C 2, 植栽木の樹冠が周辺植生から半分未満露出している

C 3, 植栽木と周辺植生の梢端が同じ位置にある

C 4, 植栽木が周辺植生に完全に覆われている



○補助事業の対象林齢（1回刈：針葉樹は6年生まで、広葉樹は10年生まで）に関わらず、植栽木が周辺植生の高さを十分に越えていれば（C 1 + C 2 が8割以上）、下刈りの省略を検討します。（但し、ツル植物が繁茂している場合は植栽木の成長を阻害する恐れがあることから、下刈りを省略せず、つる植物の除去を確実に行うこと。）

○周辺植生がススキ類・ササ類・キイチゴ類・草本類などが優占する場合は、その高さが限られており、植栽木の樹高が周辺植生の高さを越えていれば、下刈りを省略できます。落葉広葉樹類など木本類が優占する場合は、翌年に周辺植生が植栽木の樹高を上回る恐れがあり、引き続き植栽木と周辺植生の競合状態を確認し、下刈り省略可否の検討が必要です。（なお、高知県の調査結果では、下刈りを省略した翌年の下刈り時間は、毎年行う場合の約1.2倍であったことが報告されています。）

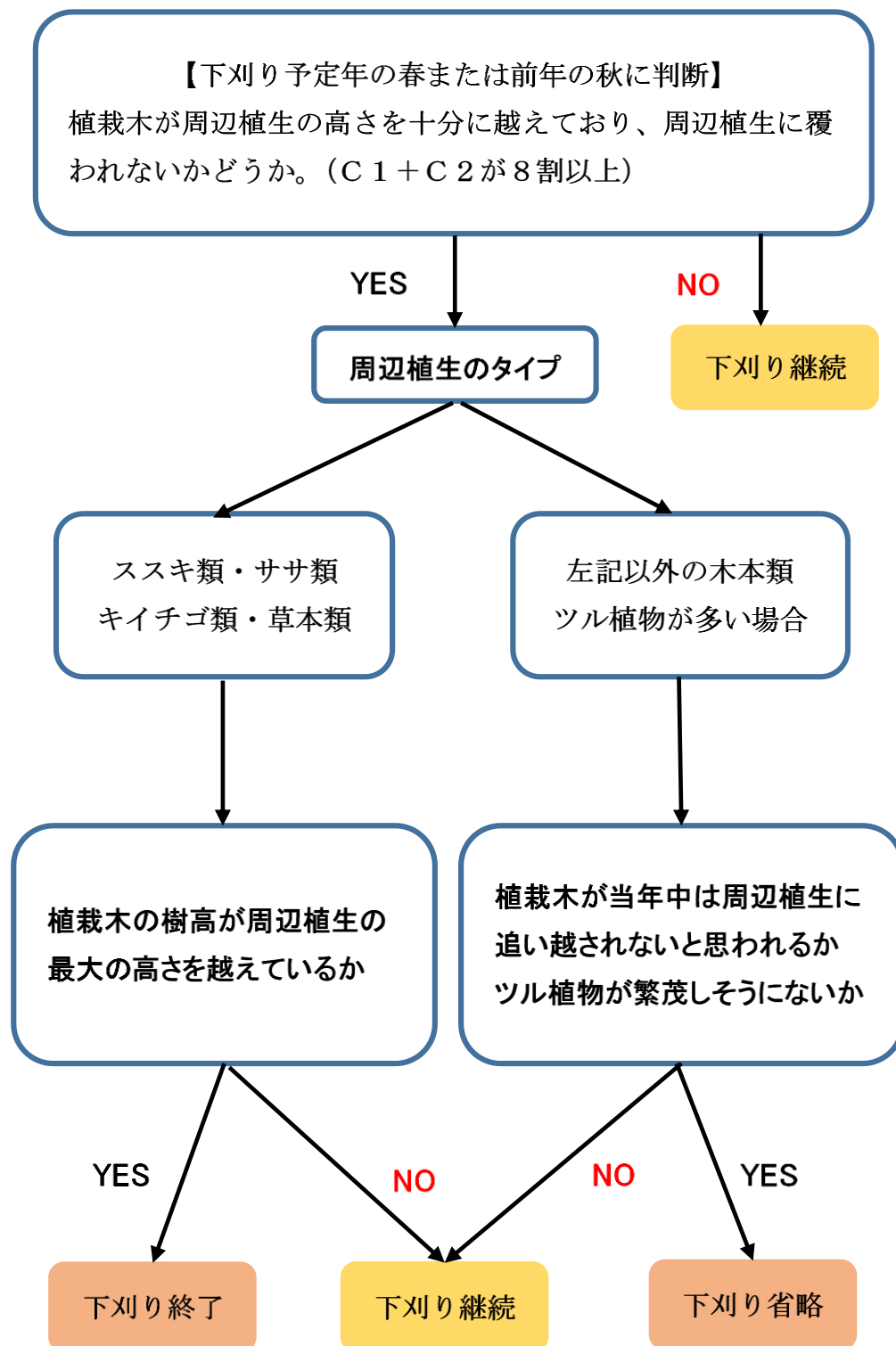
② 再造林後の1年目の下刈りは必要か

○一貫作業により植生が繁茂する前に植栽すれば、再造林後1年目の下刈りは省略できる場合があります。（ツル植物の繁茂の恐れがある場合は除く。）

【省略に当たってのポイント】

- ☑ 植栽木が周辺植生の高さを十分に越えており、周辺植生に覆われないかどうか。（C 1 + C 2 が8割以上）
- ☑ ツル植物の繁茂しそうでないかどうか。

※例えば、下刈りを1回省略した場合、約18万円/ha程度の保育経費の軽減につながります。（負担額で4万円/ha程度）



(2) 下刈り方法の見直し（部分刈りの導入（坪刈り、筋刈り））

- 山口県造林補助事業施業基準において、坪刈りは「造林木の周囲を半径約 0.8m の円形に刈り払うもの」、筋刈りは「造林木に沿って約 1.1m 幅で帯状に刈り払うもの」としています。
- 低密度植栽と部分刈りとの組み合わせにより、刈払い面積の削減が可能です。ただし、植栽木を中心に刈払うため、作業が掛り増しになる可能性があることに留意が必要です。

植栽本数(本/ha)	全刈面積	坪刈り面積	筋刈り面積
3,000	100	60	60
2,000	100	40	50

※全刈面積を 100 とした場合の部分刈り面積の指数

- 部分刈り後は、植栽木が被圧されないよう、雑草木の繁茂状況に留意する必要があります。

6 特定苗木、早生樹の活用

従来の品種や樹種よりも特に成長が早く、低密度植栽・短期間で収穫可能な特定苗木や早生樹^{*1}を活用することで、林業経営の効率化や多様化に貢献できると考えられます。

※1 従来の造林樹種より特に成長が早く、比較的短伐期で収穫可能な樹種の総称

(1) 特定苗木の活用

- 特定苗木とは、成長や材質等が特に優れ、花粉も少ない品種として農林水産大臣が指定する特定母樹から育成された苗木のことです。
- ＜参考＞特定苗木の母樹の選定基準

成長	一般的な個体の概ね 1.5 倍以上
材質	・ 剛 性：一般的な個体の平均値を上回るもの ※ ・ 通直性：幹の曲がりがないか、あっても軽微なもの
花粉量	一般的な個体の概ね半分以下

※「打撃法」及び「応力伝播速度」により平均値を上回ることを国が確認
 打撃法：木材の木口を打撃して、その打撃音から木材のヤング率を求める方法
 応力伝播速度：立木状態でヤング率を評価する手法

- 初期成長に優れたスギ・ヒノキ特定苗木を用いることで、下刈り・間伐回数の削減など、保育経費をさらに抑えることが可能です。

○萩市試験地において、スギ特定苗木を低密度植栽(2,000 本/ha)し、隣接地の精英樹(従来品種)と成長量を比較すると、4 成長期経過のスギ特定苗木の樹高が2 倍以上と旺盛な成長を示しました(図1)。また、毎年下刈りを実施する「実施区」と隔年で下刈りを省略する「省略区」に試験地を分け(図2)、成長量を比較すると、下刈りを省略しても両区の樹高成長量に差がないという結果が得られました(図3)。

2022 年度に実施したプロット調査では、下刈り直前の時期に植栽木の樹高が周辺植生を上回っている個体が「省略区」で90%以上を占め(C 1 + C 2 が9 割以上)、周辺植生の上方被圧が少ない状態にありました。これらの結果から、特定苗木による下刈り省略は可能と考えられますが、周辺植生との競合関係など植栽地の状況に応じて、下刈り省略可否を判断する必要があります。

○特定苗木の特性を十分に発揮するには適地への植栽が重要で、スギの場合、谷部や斜面下部などの肥沃で湿潤な土壤が適しており、土壤の水分条件の悪い尾根部や斜面上部など前生樹がヒノキの箇所への植栽では、成長は悪くなります。

○スギ・ヒノキ特定苗木については、県林木育種園に造成した特定母樹の採種園から種子を採取し、県内苗木生産者が育苗を開始しており、この苗木を活用することにより、早期の成林が期待できます。

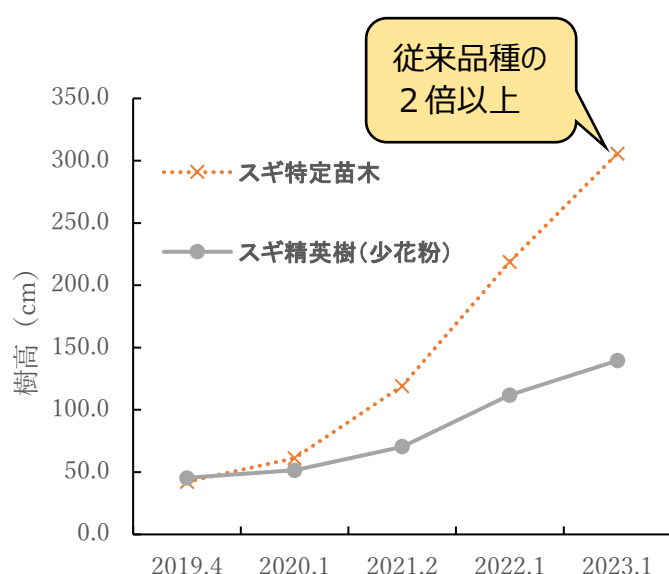


図1 スギ特定苗木とスギ精英樹の樹高成長の推移

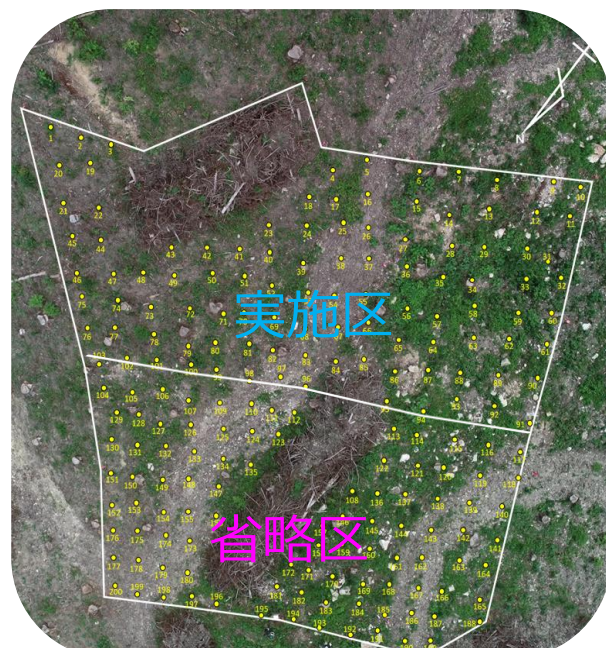


図2 下刈り省略試験実施区域図(萩市試験地)

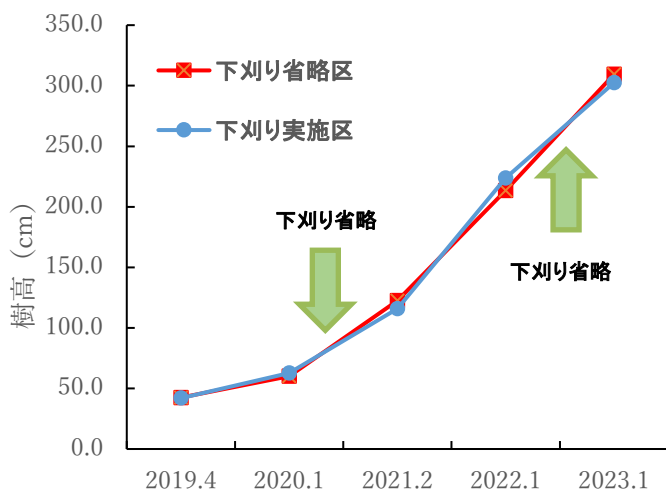


図3 下刈り「実施区」と「省略区」の樹高成長の推移

区分	省略区	実施区
1年目 (2019年)	実施	実施
2年目 (2020年)	省略	実施
3年目 (2021年)	実施	実施
4年目 (2022年)	省略	実施

省略区の9割以上が、
「C1またはC2」

(2) センダンの活用

○早生樹であるセンダンは、センダン科センダン属の落葉広葉樹で、初夏に紫色の花が咲き、秋には黄褐色の実をつけます。肥沃で水はけが良く、日当たりの良い場所で生育が良好です。

○センダンを植栽（1,000本/ha）し、成長量を調査した結果、旺盛な成長が認められました。特に土壌肥沃度の高いとされる「耕作放棄地（美祢市試験地）」に植栽されたセンダンは、「山間部（萩市試験地）」のものと比較すると、5成長期経過の樹高・根元径とも2倍以上の成長量となっています（図4）。

他県の調査結果でも生育が良好な植栽地は、耕作放棄地に植栽された箇所、土壌肥沃度も高いことが確認されています。なお、畑跡地では生育良好ですが、水田跡地では水はけが悪くなる（滞水する）ため根腐れを起こし生育不良となります。そのため、水田跡地では排水路を設けるなどの措置が必要です。

○山間部に植栽する場合は、斜面下部や平坦地で成長が良い傾向にあり、斜面上部や斜面中部の急斜面では成長が悪くなるため植栽を避けるなど、植栽区域に十分留意する必要があります（図5・図6）。

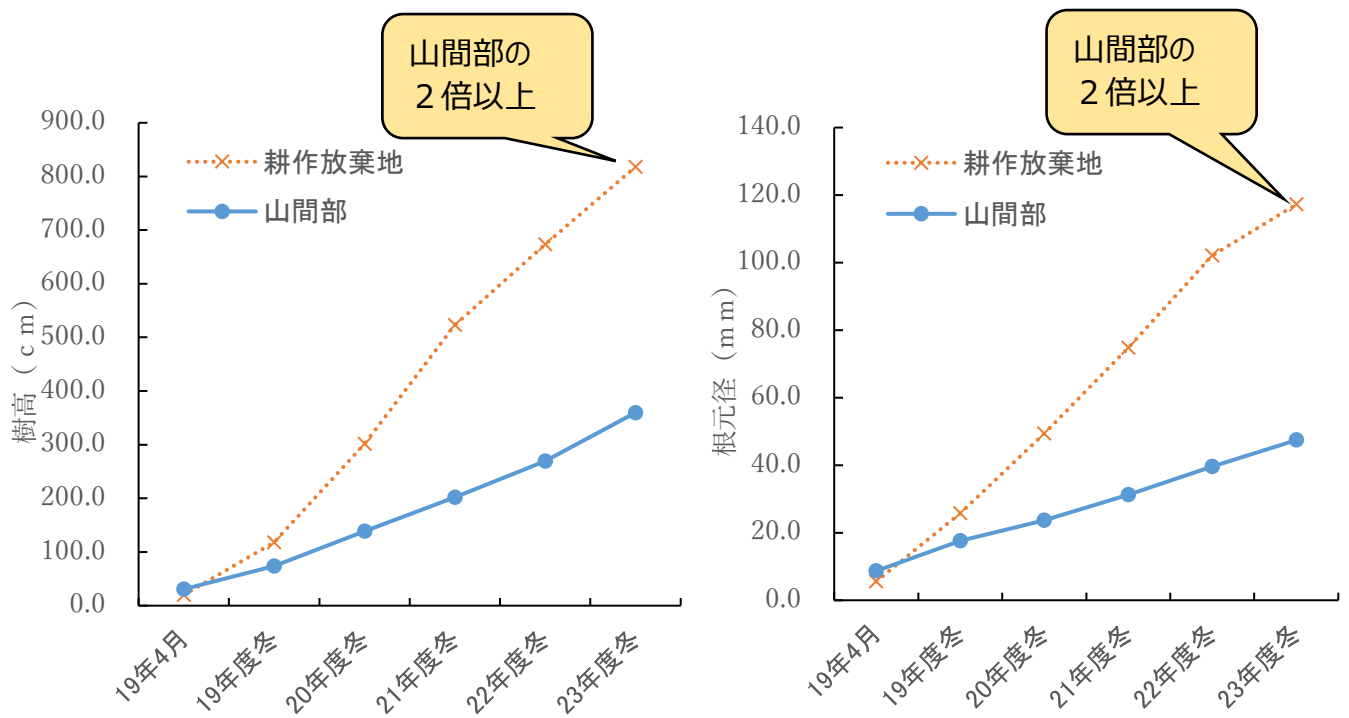


図4 センダン植栽試験地における「耕作放棄地」と「山間部」の成長の推移

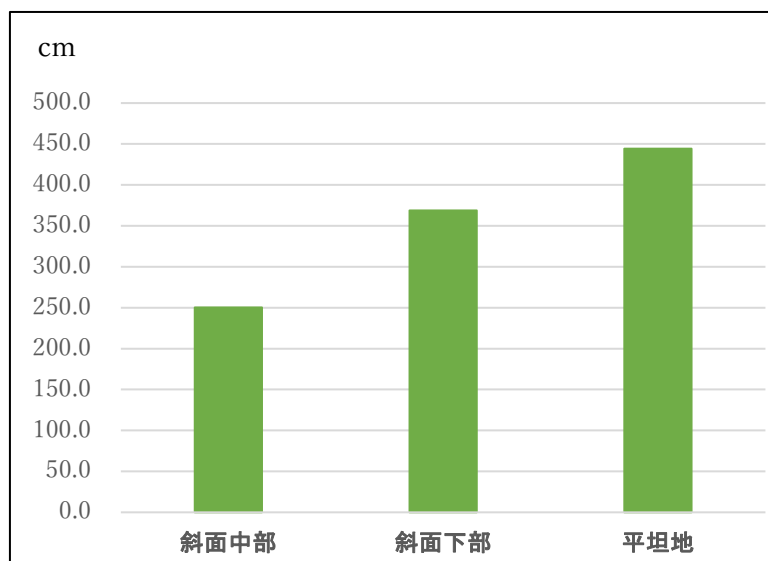


図5 センダン植栽試験地「山間部（萩市試験地）」の樹高成長（5成長期目）の比較

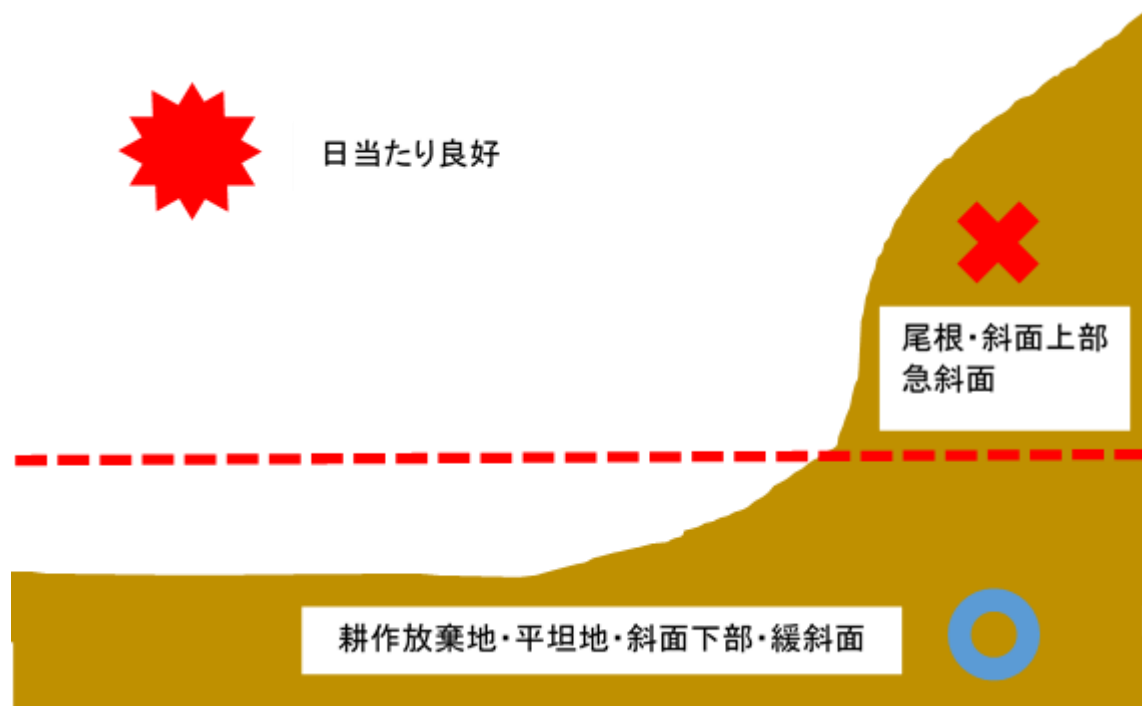


図6 センダンの植栽適地

- 耕作放棄地では雑草木の繁茂が激しいため、下刈りやつる切りは基本的に必要です。
- 木材は、良質でケヤキの代用として家具材や住宅部材等に使われてきました。
- 直材を生産するために必要な施業として「芽かき」があり、春から夏にかけて年2～3回程度、枝の元となる芽を取り除きます。（枝下高4 m以上になるまで実施）
- 先進地の熊本県では、植栽密度400本/haを推奨しており、地理的条件の近い本県においても、ケヤキの代用材として利用可能な長さ2～4m、末口径30～50 cm程度の木材を20～30年の短伐期で生産するには、樹冠が広がって成長しやすいように同様の間隔で植栽することが望ましいと考えられます。

（3）コウヨウザンの活用

- 早生樹であるコウヨウザンは、中国、台湾に分布するヒノキ科コウヨウザン属の針葉樹で、樹高40m、直径1.5mの巨樹になるものもあり、針葉樹でありながら萌芽更新が可能です。
- 日本には江戸時代以前に入ってきたと言われており、寺や神社などの境内に単木的に植栽されたものが見受けられます。
- 木材はヒノキに匹敵する強度を持ち、その用途は、建築、家具、工

芸品等多岐にわたります。

- 萩市試験地において、コウヨウザンを植栽（1,500 本/ha）し、樹高成長量（4 成長期目）を調査した結果、同試験地のスギ特定苗木を上回る旺盛な成長が認められました（図 7）。コウヨウザンを用いることで、下刈り・間伐回数の削減など、保育経費を抑えることが可能です。
- 地際部に脇芽を生じて幹が束生状になることがあり、そのまま放置すると 2 又以上の幹になる恐れがあるため、この萌芽枝を除去する必要があります。
- 植栽は、スギの植栽適地である肥沃で湿潤な土壤が適しており、斜面下部で成長が良く、斜面上部や尾根筋では成長は悪くなります。
- 植栽直後や冬期にノウサギ被害がみられるので、被害の顕著な植栽地では単木防護資材や柵、忌避剤などによる防除対策が必要です。

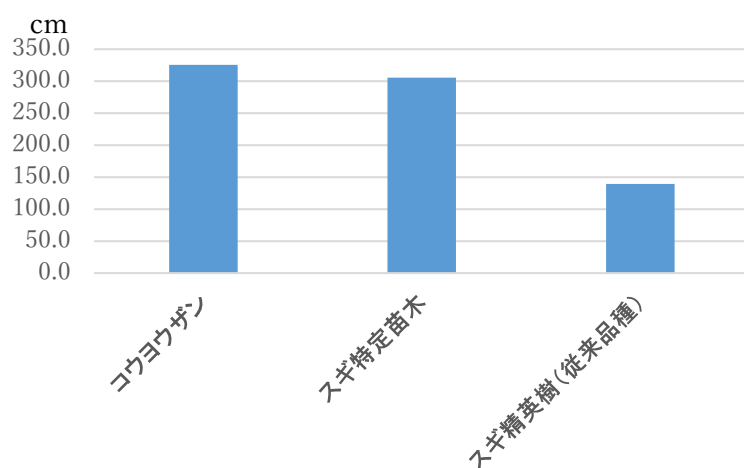


図 7 萩市試験地における樹高成長（4 成長期目）の比較



7 各手法の組み合わせによる低コスト化の推進

一貫作業、コンテナ苗の活用による低密度植栽、下刈り回数削減といった低コスト化を図ることで、植栽～保育経費を抑えることができます。

さらに、スギ特定苗木を活用することで、下刈り回数を2～3回に削減できる可能性があり、更にコスト削減が可能です。

○従来の再造林と保育

(スギ(裸苗) 3,000 本/ha 植栽、下刈り 5 回、保育間伐 2 回とした場合)

(単位：千円)

区 分		林 齢	1 年	1～5 年	11 年	20 年	30 年	合 計
		施 業	植 栽 (人力地拵)	下 刈	除 伐	保育間伐 (25%)	保育間伐 (25%)	
スギ (裸苗) (3,000本 /ha)	標準経費		1,208	1,005	207	164	164	2,748
	所有者負担額		387	221	66	36	36	746
	成 立 本 数	前	3,000	3,000	2,900	2,650	1,800	
		後				1,987	1,350	
	収 量 比 数	前				0.77	0.80	
		後				0.67	0.71	

○低コスト化した再造林と保育

(スギ(コンテナ苗) 2,000 本/ha 植栽、下刈り 4 回、保育間伐 1 回とした場合)

(単位：千円)

区 分		林 齢	1年	2～5年	11年	→	30年	合 計
		施 業	植 栽 (人力・機械 併用地拵)	下 刈	除 伐	→	保育間伐 (25%)	
スギ (コンテナ苗) (2,000本 /ha)	標準経費		1,250	804	207	→	164	2,425
	所有者負担額		275	177	66	→	36	554
	成 立 本 数	前	2,000	2,000	1,950	→	1,750	
		後					1,312	
	収 量 比 数	前					0.79	
		後					0.70	

323 千円
削減

192 千円
削減

成立本数
も同程度

(想定条件)

植栽(地拵え)：一貫作業により機械地拵えを実施(一部人力地拵え)

植栽(植付)：コンテナ苗を活用し、低密度植栽を実施

下刈り：1 年目の下刈りを省略

除伐：従来と同時期に 1 回実施

保育間伐：玉切り、選木なし。低密度植栽のため、従来と比べ 1 回削減

上記試算は以下による

※標準経費：造林補助事業標準単価(R5.10.2以降申請適用版、個人等単価、間接費34%)、手数料等は考慮しない。

※補助率：再造林は従来が68%、低コストが78%、下刈り・保育間伐はいずれも78%、除伐はいずれも68%

※その他、各市町や関係団体等による上乗せ補助で負担金が軽減される場合があります。

※成立本数、収量比数：「人工林分密度管理図(北近畿・中国地方 スギ林分密度管理図)」及び「山口県スギ人工林樹高成長曲線(地位2)」による

※実生スギとコンテナスギは同じ樹高成長と仮定

※間伐する林齢は同じとし、収量比数が0.60～0.80となるよう間伐率を調整

○低コスト化によるメリット等

CHECK!

区分	従来手法	低コスト化手法	メリット	デメリット
地拵え	人力地拵え	機械地拵え (人力との併用)	労務軽減、経費削減、機械稼働率向上	連携に伴う調整が必要
植栽本数	3,000 本/ha	2,000 本/ha 以下	労務軽減、経費削減	下草やツルの繁茂の可能性
苗木	裸苗	コンテナ苗	植栽作業の効率化、植栽時期の平準化	価格が高い、供給本数の懸念
下刈り (スギ・ヒノキ)	6 回	4 回以下	労務軽減、経費削減	下草やツルの繁茂の可能性

8 先進事例の紹介

1 林業機械の大型化

山口県内のA森林組合は、スマート林業実装チャレンジ事業で0.45m³クラスの林業機械を活用し、労働生産性9.7 m³/人日、生産コスト4,307円/m³の主伐作業を行いました。



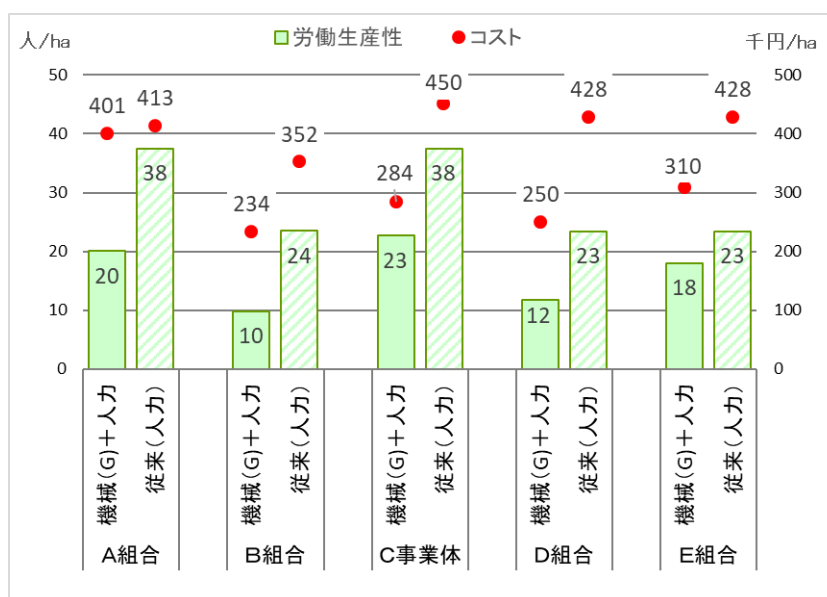
ハーベスタ (0.45m³)



グラップル (0.45m³) と
フォワーダ (5t)

2 機械地拵え

県内の5事業体で機械地拵えに取り組んだところ、従来の人力のみの作業と比較し、生産性は1.3～2.4倍に向上し、コストは従来の58%～97%まで低下しました。



3 機械地拵えの状況（グラップル使用）

機械地拵えは、枝条の整理だけでなく、グラップルやバケット面を利用し表土をならすことで下草の繁茂を抑制し、下刈りが不要となる可能性が高まります。

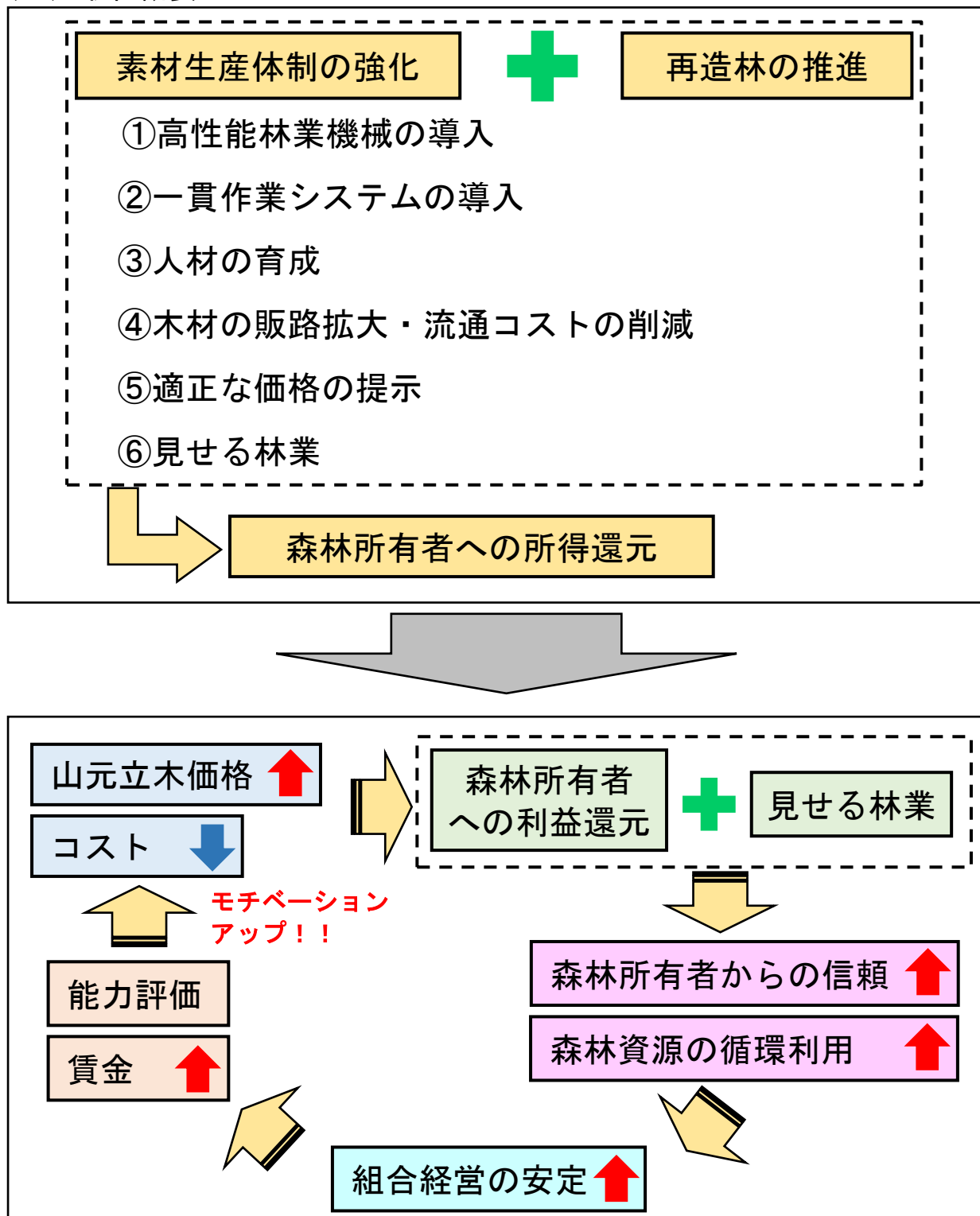


バケット地拵え(長野県)

4 A森林組合（鹿児島県）の事例

鹿児島県のA森林組合では、全国に先駆けて高性能林業機械等による主伐－再造林の一貫作業に取り組んでおり、素材生産や再造林の実績を大きく伸ばしています。その取組を一部紹介します。

（１）取組概要



(2) 一貫作業の取組事例

【事例①】機械地拵えの状況（グラップル使用）



【事例②】ロングリーチグラップルによる機械地拵え状況



【事例③】造材ポイントの枝条残材の状況



【事例④】造材状況



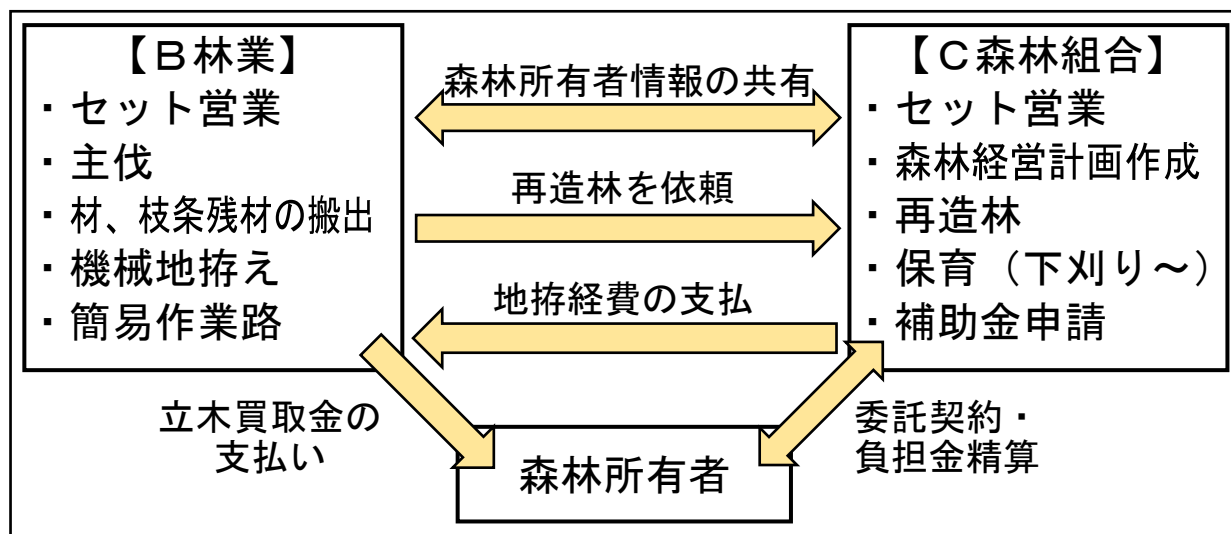
5 B林業とC森林組合（山口県）の事例

山口県内のB林業とC森林組合では、主伐と再造林のセット営業により、主伐後の再造林につなげる取組を行っています。

B林業は主伐時の機械を使用して機械地拵えを行い、C森林組合が実施する再造林の低コスト化につなげています。

なお、条件の良い場所（公道に近い・人目につく）を中心とした積極的な営業や、機械地拵えによりきれいな現場を見せるなどの工夫をされており、それが評判となり次への仕事につながっているとのこと。

（１）取組概要



（２）一貫作業の取組事例

【事例①】 機械地拵えの状況



【事例②】 機械地拵えの状況



地拵え～下刈りの機械化に向けて～多目的造林機械とICTの活用～

山口県農林総合技術センター

造林・下刈り工程は未だに人力に依存しており、林業の3K（危険・きつい・高コスト）の一因となっています。林業労働力確保のためには、業界が一丸となって、人力作業の機械化により林業生産現場の労働強度の軽減、労働災害の発生防止及び作業の効率化を図る必要があります。

そこで、下刈りの機械化のために、多目的造林機械（図 1）が開発されました。機械による下刈りのためには根株等が障害となるため、根株切削（灌木等の下刈りを含む）機能を備えているほか、専用アタッチメントの付け替えによる下刈り（主に草本等）、植え穴掘り等の多工程を処理する機能を備えていることがその名の由来です（図 2）。



圖 1 多目的造林機械



①地拵え（根株切削）



②植栽（機械植え穴掘りと人力植付）



③下刈り（山もっとモット）



④下刈り（ラジコン式草刈り機）

図2 多目的造林機械等とアタッチメント

- ◆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、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し、このこと。

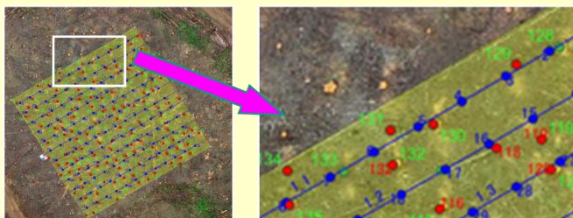


図3 植栽デザイン（例）

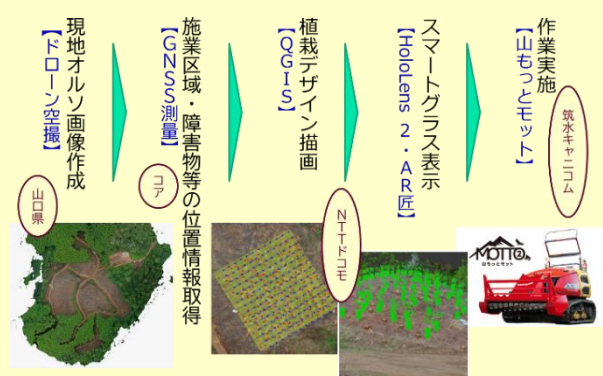


図4 植栽デザインの作成～実行手順

しかし、多目的造林機械が林地を走行するためには、根株だけでなく植栽木や露岩などの障害物を回避することも考慮しなければなりません。この問題を解決するために考えたアイデアを「植栽デザイン」と名付けまし

た。これは機械が林地を走行することを前提として障害物の事前把握と配置を計画的に行うものです。その効率的な作成と施業実施にはICTの活用が重要となります（図3）。

植栽デザインの作成から施業実施までの手順は図4のとおりです。植栽デザインは、ドローンと汎用のパソコンソフトにより一般的な知識で誰でも作成可能で、これをスマートグラスと組み合わせることで効率的に機械が林地を走行することができるようになります。

周南市に設けた試験地で共同研究を行ったところ、地拵え・植栽・下刈り工程のトータルの作業効率は従来の人力作業の約1/2～2/3で済み、機械化による作業効率の向上を大いに期待できる結果が得られました（図5）。

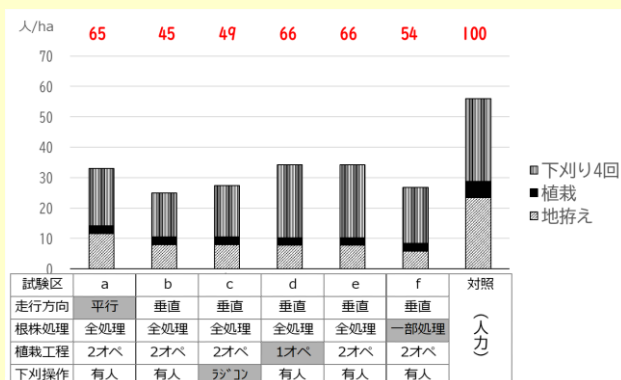


図5 地拵えから下刈りまでの作業効率



図6 表土かく乱による雑草・木の繁茂抑制

また、同機械の施工により表土がかく乱され、施工後の雑草・灌木の繁茂が強く抑制されることも分かりました（図6）。これは、下刈りの回数の削減につながる可能性がある一方で、表土流失等の懸念もあるので、経過観察が必要です。

しかし、現状の植栽デザインの作成方法では、障害物などの正確な位置情報を把握するためのドローンやGNSS機器を新たに整備する必要があります。これらについては、オルソ画像等から根株位置等の障害物をAI判定したり、植栽デザインを自動的に作成するソフトウェアを開発できれば、事前の作業を大幅に軽減することで、相殺できると考えます。また、斜面の傾斜度や障害物の多い・少ない等によって結果に差異が生じると考えられますので、実証試験の追加によって、標準的な作業効率等を探る必要があります。多目的造林機械と植栽デザインの組合せによる下刈り作業の機械化には以上のような課題が残っています。

農林総合技術センターでは、新技術を活用し、伐採から再生林・保育に至る収支のプラス転換を可能とする「新しい林業」の展開に向けて、地理空間情報やICT等を駆使するスマート林業の研究を進めていきます。