

「造林に係る省力化・低コスト化技術指針の解説」について

〔 令和7年3月31日 6林整整898号
林野庁森林整備部整備課長通知 〕

林業を持続的な産業へと発展させ、伐採後の再造林を確保するために必要な造林コストの低減や造林作業の省力化に向けた「造林に係る省力化・低コスト化技術指針」（令和7年3月31日付け6林整整860号林野庁長官通知）の解説について別紙のとおり定めたので通知する。

(別添)

造林に係る省力化・低コスト化技術指針の解説

第1 趣旨

日本の森林は、第二次世界大戦頃の乱伐により大きく荒廃し、終戦直後には、岩手県の面積に匹敵する150万haの造林未済地が放置され、各地で台風等による大規模な山地災害や水害が発生した。

それらを解消するために復旧造林が推進され、昭和30年代前半には、これが完了した。その後、旺盛な木材需要に対応して拡大造林が進められ、森林面積の約4割、1,000万haを超える人工林が造成され、現在の森林が構成されている。

拡大造林時代に全国的に造成された人工林は、本格的な利用期に入り、主伐が増加しているが、主伐後の再造林は伐採面積に対して低位な状況となっている。

主伐後の再造林が進まない背景としては、山村地域における過疎化や高齢化が進み、森林管理の意欲が減退していること、林業の収益性が悪く、木材の販売収益では、その後の再造林費用が賄えないこと、林業従事者、とりわけ造林作業手が減少していること等があげられる。

ここで、林業の収益性について、標準単価等を基に試算をしてみると、スギ50年生林分を主伐した場合には、販売収入としては364万円/haが得られ、伐出・運材等の費用を差し引いた山元立木価格101万円/haが森林所有者にとっての販売収入となる一方で、地拵え・植栽・下刈りまでの作業に201万円/haの初期費用が掛かることとなる(図1)。この場合、造林に対する国庫補助金を考慮しても、長期の投資期間に対する利益としては、非常に低いものとなっている。

それに加え、拡大造林時代と比較し、各地でシカの個体数の増加や分布域の拡大など、獣害対策を行っていく必要があり、再造林コストが掛かり増しとなっている。

また、林業従事者について見ると、昭和55年(1980年)に146,321人であった従事者数は、その後長期的に漸減して、令和2年(2020年)に7割減の43,710人となり、高齢化率(65歳以上の従事者の割合)は8%から25%に高まっている(図2)。

このような状況の下、林業を持続的な産業へと発展させ、伐採後の再造林を確保していくためには、造林コストの低減や造林作業の省力化が必要となる。そのためには、従来の手法(「第3 通常の造林技術」で後述)の改善を図り、新しい技術を以て、造林事業の省力・低コスト化を図る必要がある。

実際の現場での事業実施に当たっては、本指針で記載した各技術の基本的な考え方、技術事項、作業上の留意点を踏まえた上で、地形条件や事業者の体制等を踏まえつつ、各地で取組が可能となる具体的な作業を組み合わせることにより、トータルとして可能な限り最も省力・低コスト化が図られる造林手法を検討・実施する必要がある。

本指針は、これまで各地で取り組まれた研究や実証事業等による事例をもとに、各造林作業において低コスト・省力化に効果を有する技術成果を整理したものであるが、技術水準の向上も踏まえ、適宜見直しを行うこととしている。

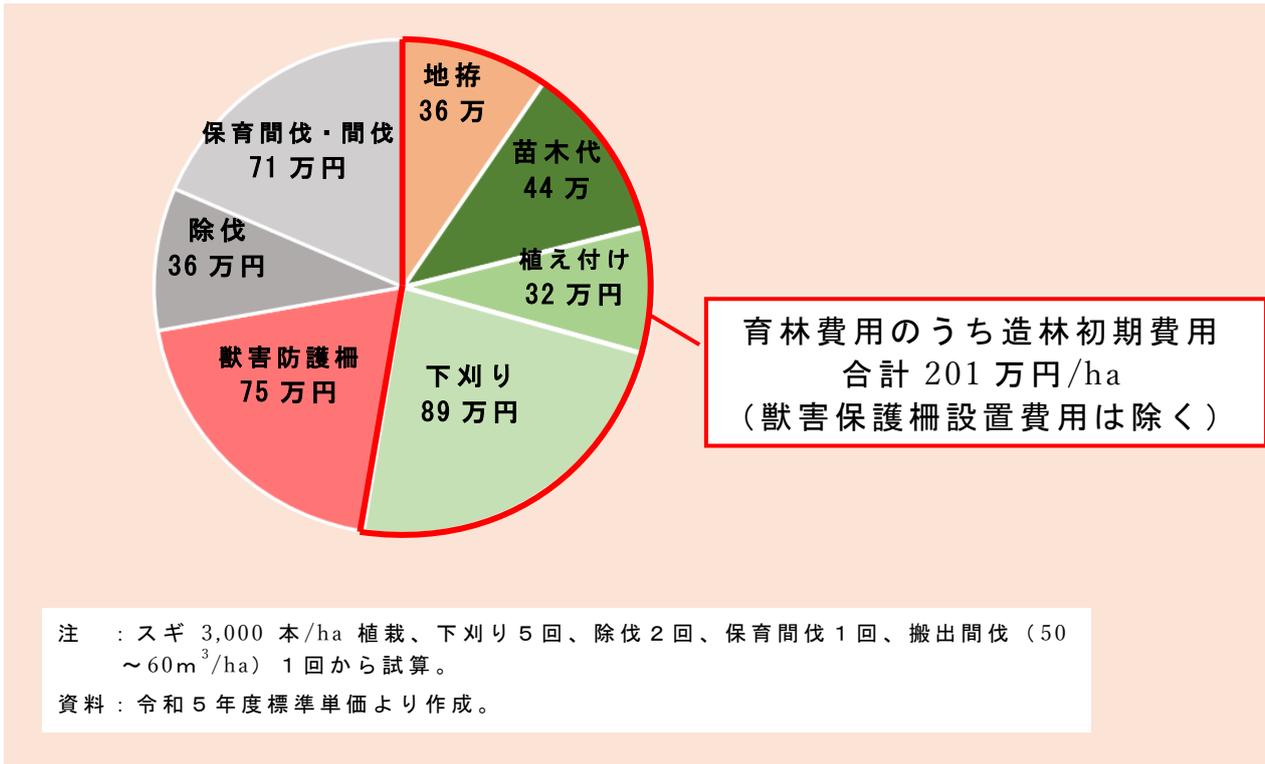


図 1 造林費用の現状

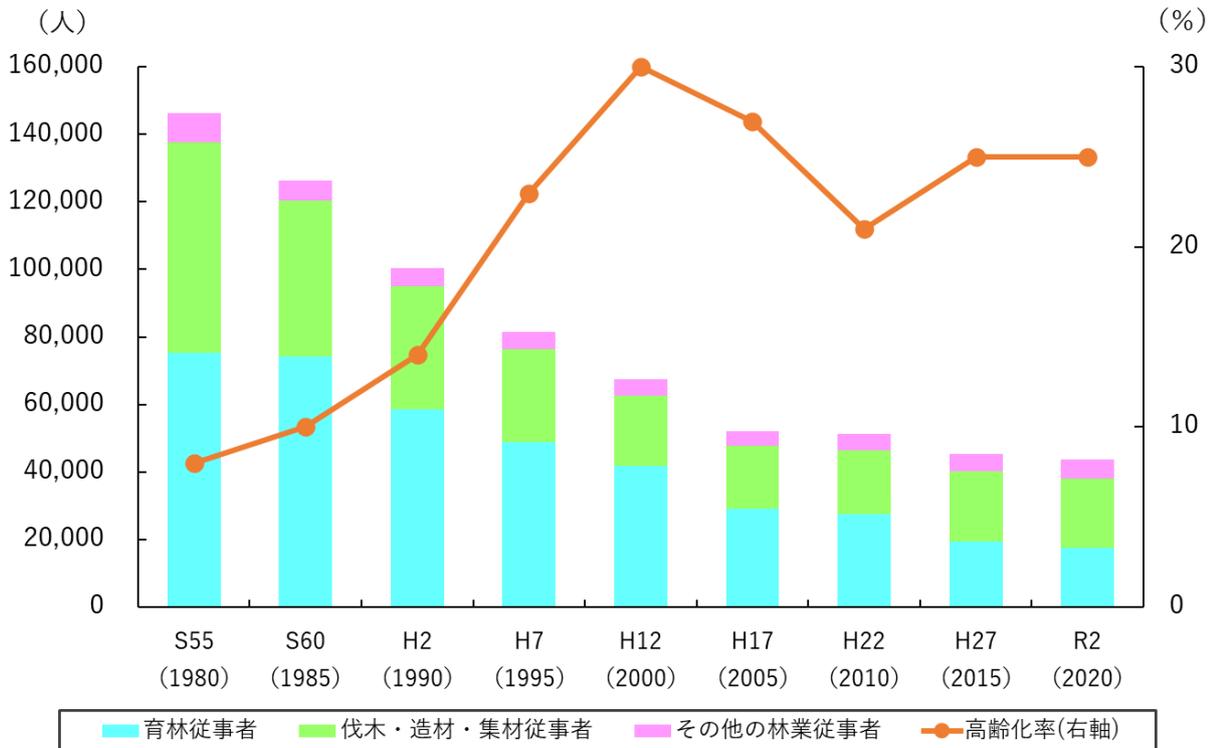


図 2 林業従事者数及び高齢化率の推移

第2 対象範囲

- 1 本指針においては、合板や集成材等を用途とする、いわゆる「並材」を生産目標の中心とする育成単層林の造成に向け、低密度植栽等の省力・低コスト造林技術について示すものとする。なお、育成単層林とは森林を構成する樹木をある一定程度の広がりをもって一度に伐採し、その跡地に一斉に植林を行い樹齢や樹高が揃った単層構造の林分をいう。
一方で、これらの森林施業は、密植・多間伐により、通直で無節、年輪幅のそろった優良材を生産目標とする従来の森林施業とは異なってくることから、地域の事情や将来の需要動向等を見据え、どのような森林づくり、保育作業を進めていくのかを念頭に置き、本技術の適用可否を検討する必要がある。
- 2 本指針の対象樹種は、現在の人工林の主要構成樹種であり、日本全国で広く造林されている、スギ、ヒノキ、カラマツを対象とし、これらの特性は以下のとおりである。
 - (1) スギ
スギは、各地方の気候や土壌等の立地環境に良く適合し全般的に成長が良いため、北海道渡島半島以南で全国的に植栽される樹種である。土地生産性の高い肥沃な立地、湿潤な土壌を好む。
 - (2) ヒノキ
ヒノキは関東・中部から西日本にかけて植栽されている樹種である。スギに比べて、やせ地、乾燥に対する適応力が高く、空隙の多い土壌を好む。一方で、一般的にヒノキの成長はスギやカラマツに比べて遅い。
 - (3) カラマツ
カラマツは北海道や東北・中部地方の冷涼・寒冷な地域を中心として植栽される樹種である。適地に植栽されれば主要構成樹種の中で最も初期成長が速く、特に通気性の良い、岩石の崩れ積もった崩積型の土壌で成長が良くなる。
- 3 なお、再造林は伐採後の林地の状態により効率性が大きく左右されるため、造林作業の省力・低コスト化を図る上でも、「主伐時における伐採・搬出指針」（令和3年3月16日付け2林整整第1157号林野庁長官通知）を参考に、再造林を意識した伐採作業を心がける必要がある。

第3 通常の造林技術

- 1 通常の造林技術は、戦後の拡大造林時期から現在まで広く各地で用いられている造林技術であり、地域差はあるが、基本的には人力での作業が主体となった造林技術である。なお、その生産目標は無垢材の柱材や板材である。
- 2 人力による地拵えにより、伐採跡地に散乱する末木枝条や、伐採後に繁茂した雑草木の刈り払いによって生じた枝条を、主に等高線沿いに棚積みするなど、植栽のための準備作業を行う。
- 3 地拵えを行った後は、裸苗を人肩で運搬し植え付ける。植栽密度は、地域条件（気候等の環境要因）や樹種の特性を反映した場合もあるが、基本的には、3,000本/haであることが多く、カラマツについては、それよりも少ない密度で植えられることもある。
- 4 植栽後は人力による下刈り（全刈り）を年1回、5～6年継続して実施するが、地域や雑草木の繁茂状況によっては年2回の下刈りを行うこともある。
- 5 通常の造林技術については、全国一律でないことは当然であるが、本指針で提示する「省力・低コスト化技術」と対比させるものとして、一般的

な方法を記したものである。

第4 具体的な技術

- 1 本項においては、省力・低コスト化に資する技術のうち、広く全国でその効果が認められる技術について整理した。
- 2 ここで整理した技術については、「並材」を生産目標の中心とした森林の確実な成林を図る上で、植栽本数や下刈り回数といった作業そのものを減らすもの、伐採・搬出作業に用いた機械を造林作業にも活用することで作業の効率化や省力化を図るもの、苗木をコンテナ苗に変えることで作業の平準化や省力化を図るものとなっている。
- 3 「第1 趣旨」で記載したとおり、実際の現場における施業の実施に当たっては、本指針で記載した各技術の基本的な考え方、技術的事項、作業上の留意点を踏まえた上で、地形条件や事業者の体制等を勘案し、取組が可能となる具体的な手法を検討・選択して組み合わせることで、トータルとして可能な限り省力・低コスト化が可能となる造林手法を検討・実施することが重要である。
- 4 なお、本指針に整理した技術以外にも、全国各地において省力・低コスト化に資する様々な技術が研究・実証されているところであり、それらの技術については、「第6 その他」において参考情報として記述した。

(1) 機械による地拵え

- ① 機械による地拵えは、伐採・搬出時に使用する機械を用いて行うが、林地の傾斜や路網密度によって使用できる機械は異なるため、それらの機械に応じて、実際の地拵え作業の方法を検討する必要がある。
- ② なお、地拵えに着手する前の伐採作業の際に、林地に散乱する末木枝条等や造材場所で排出される末木枝条の棚積み場所を事前に計画すること、特に枝払い・玉切りで排出される多量の末木枝条を林内の走行路沿い等に筋置きすること、全木集材により造材を路上で行うこと等により、より効率的な作業が可能となる。
- ③ 実際の作業に当たっては、丸太をつかむ機能を持つ機械等を用いた作業が基本となる(図3)。また、丸太をつかむ機能と掘削機能を合わせ持つグラップルバケットにより末木枝条等をバケットで掻き集め棚作りする方法もある。この場合、表土を地掻きすることとなるため、結果的に競合する雑草木の種子等もある程度除去され、その後の下刈り回数の削減効果も認められる¹⁾が、傾斜が緩やかであるなど表土が流出するおそれがないような箇所で行う必要がある。



図3 機械による地拵えの事例

(左：グラップル、中：プロセッサ、右：グラップルバケット)

- ④ 末木枝条等の除去に当たっては、すべての枝条を取り除こうとすると、かえって省力・低コスト化の効果を減ずる場合もあるため、必要

に応じて人力による地拵えを併用すること。重量物や嵩が張る末木枝条等を除去することを重視し、植栽や下刈り作業が支障なく実施できる程度を目安に、地拵えを行うことが適当である。

特に機械が入り難い場所において、無理に機械地拵えを行おうとすると、かえってコストがかかる場合があるため、実施場所については、使用する機械を踏まえ適切に検討することが重要である。

⑤ 使用機械ごとの留意点

ア 林内走行系車両を用いる場合

林内走行系車両は、平坦地～緩傾斜地で用いられることが多く、林内を走行し、必要な箇所でも末木枝条等の片付けを行う。ただし、土壌母材や作業前日等の降雨状況を踏まえ、傾斜が急な箇所では、クローラの滑りで土壌表土を攪乱する可能性があるため、このような場合は作業を行わないこと。

イ 作業路走行系車両を用いる場合

作業路走行系車両は、中～急傾斜地で用いられることが多く、林内を走行する場合と異なり、機械が作業路上を走行するため、そのアームの届く範囲について地拵えを行うことになる。

アームが届かない範囲を無理に機械地拵えしようとする、コストが掛かり増しになるだけではなく、重機転落等の労働災害の危険もあるため、人力地拵えとの併用を検討する必要がある。

この場合、機械と人力の両作業が混在することとなるが、作業路の設置間隔が狭い場合や、ロングリーチグラップルを使用する場合には、機械による実施面積の比率が高くなり地拵えの生産性が上がる。なお、作業路の設置間隔については、事業地の地形、地質、土壌、気象条件等に応じ、林地保全に配慮する必要がある。

⑥ 作業路の開設が困難な急傾斜地では、機械による地拵えは困難であるため、そのような箇所では、なるべく地拵えが不要になるよう、架線による全木集材などを検討することが適当である。

⑦ 全国各地で実施された機械地拵えの生産性を人力地拵えの生産性0.07ha/人日と比較すると、車両系・林内走行で0.12～1.74ha/人日、車両系・作業路走行で0.03～0.20ha/人日となっており、機械地拵えが省力化に有効であることが示唆されている。なお、各地における事例は表1のとおりである。

表 1 機械による地拵えの生産性の事例

(車両系・林内走行)

傾斜	地拵え生産性 (ha/人日)	地拵えの 形態	伐採生産性 (m ³ /人日)	調査 場所
0~5	1.74	機械	15.7	北海道 千歳市
10	0.42	機械	19.5	長野県 信濃町
11.4	0.14	機械	14.8	長野県 南牧村
15	0.13	機械	9.14	熊本県 水俣市
11~20	0.3	ほぼ機械	10.1	北海道 下川町
11~20	0.26	機械	4.7	鹿児島県 曾於市
11~20	0.23	ほぼ機械	7.2	長崎県 佐世保市
11~20	0.12	ほぼ機械	15.3	山形県 西川町

(車両系・作業路走行)

傾斜	地拵え生産性 (ha/人日)	地拵えの 形態	伐採生産性 (m ³ /人日)	調査 場所
11~20	0.1	機械 3 人力 7	13.9	広島県 東城町
21~30	0.2	機械 人力	7.3	大分県 九重町
21~30	0.08	機械 6 人力 4	18.3	茨城県 城里町
21~30	0.06	機械 6 人力 4	10.6	茨城県 城里町
21~30	0.03	機械 3 人力 7	7.2	茨城県 城里町

※人力地拵えの平均値=0.07ha/人日

(2) 機械による苗木運搬

- ① 機械による苗木運搬は、搬出に用いるフォワーダや架線系機械を用いて行うこととなるため、搬出に用いる機械に応じて苗木の運搬量等を検討することが重要となる。
- ② 苗木のフォワーダ運搬では、丸太を搬出した後の返り荷等で行うこととなるため、植栽時期が伐採・搬出の完了時期に影響を受ける。そのため、植栽適期が長く、根鉢が保水機能を有し裸苗より乾燥に強く扱い易いコンテナ苗の活用が有効である。

③ コンテナ苗を運搬する場合は、根鉢が乾燥しないよう、植栽までの期間を可能な限り短くし、現地保管が必要な場合には、強い日射や乾燥を防ぐためコンテナ苗の束に末木枝条を被せて保管すること等が必要となる。

また、裸苗を運搬する場合は、各地方で従来から行われている裸苗植栽時期（春秋の成長休止期）に行うこと、また現地ですぐに植栽できない場合には、速やかに仮植し、期間を置かず植栽する必要がある。

④ 運搬に当たっては、

ア 車両系機械による運搬の場合には、機械が他の伐採作業現場へ移動する前に苗木を植栽現場へ持ち込み作業を完了させる。

イ 架線系機械による運搬の場合には、架線の撤去や張り替えの前に、植栽現場に必要な苗木を運び込むこととなる。架線系機械が用いられる急傾斜地においては、機械走行が困難で人力による地拵えが行われる場合が多く、地拵えの期間中、苗木を現地保管する必要がある。このため、架線による苗木運搬から、地拵え、植栽に至る作業スケジュールを綿密に計画し、それらの作業員を事前に手配しておく必要がある。

なお、高知県での現地保管の事例では、スギとヒノキのコンテナ苗を9月上旬と7月下旬にそれぞれ架線により運搬し、枝条被覆による現地保管を4週間行った後に植栽した。その結果、スギで100%、ヒノキで99%の活着・生存が認められ、苗木にとって、気温が高く根鉢の乾燥が懸念される過酷な時期であっても1か月程度の現地保管は可能であることが実証されている⁴⁾（図4）。また、熊本県の事例でも、8月末にスギコンテナ苗の生枝被覆による現地保管試験を行ったところ、1か月程度の保管は有効であるとの実証結果を得ている⁵⁾

植栽日	運搬当日	1週間保管後		2週間保管後		4週間保管後	
		皆伐地	林内	皆伐地	林内	皆伐地	林内
スギ	88%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
ヒノキ	87%	94%	—	98%	—	99%	—



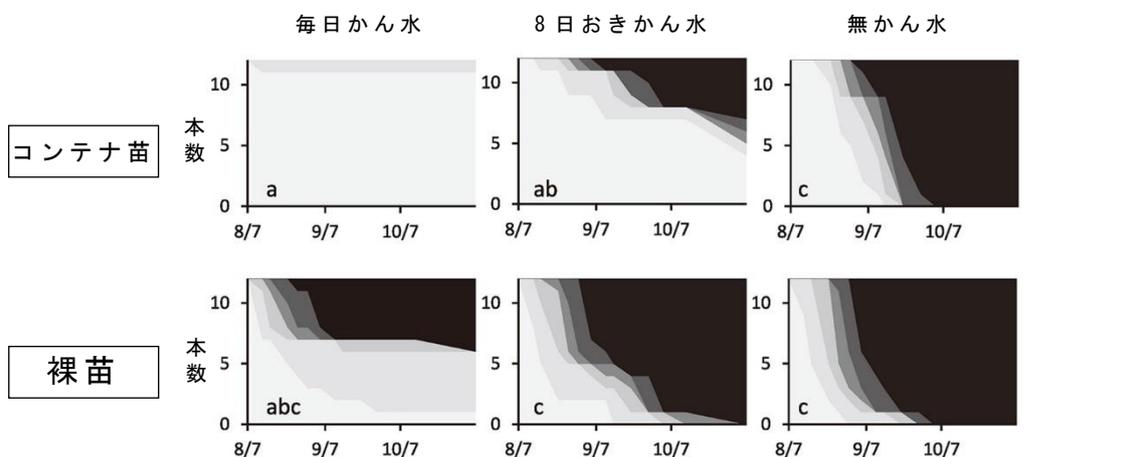
図4 現地保管したコンテナ苗の植栽後の生存率

(3) コンテナ苗の植栽

- ① コンテナ苗は、栽培容器内で根系が成長することで、培地と一体化した根鉢（図5）が形成されることから、
- ア 植栽時の根の損傷リスクが低く、苗木の生育期間中の植栽であれば引き続き根が成長する。
 - イ 根鉢の保水機能のため、水分を根鉢内に一時的に保持することができ、植栽直後の活着や成長に有利に働くとともに、植栽後の厳しい乾燥にも耐えることができる（図6）といった特性を有している⁶⁾。



図5 コンテナ苗の根鉢



実験結果：毎日かん水した場合、コンテナ苗では樹勢の衰えが見られなかったが、裸苗では半数近くが枯死した。他の処理でもコンテナ苗で枯死数が少なく生存期間が長かった（伊藤哲ら 2019 を一部改変）

実験条件：2015年8月ワーグナーポットにコンテナ苗と裸苗を植栽
 ・屋根付き温室内に置いて3日間十分にかん水
 ・毎日かん水 180ml（宮崎市の8月の日平均降水量に相当）
 ・8日間おきかん水 180ml（宮崎市の8月の連続最大無降雨日数の平均）

健全 ← 樹勢 → 枯死
 1 2 3 4 5 6

図6 コンテナ苗と裸苗のかん水処理開始後3か月間の樹勢の推移

- ② そのため、早春や晩秋の成長休止期に植栽に限られる従来の裸苗と異なり、基本的に一年を通じて植栽が可能であることから、植栽作業の平準化にも貢献することができる。ただし、裸苗と同様に、土壌が極端に乾燥する時期や厳冬期、高標高の地域において土壌が凍結している状態での植栽は不適である。
- ③ コンテナ苗については、「山林用主要苗木の標準規格設定について」（33 林野造第 16622 号林野庁長官通知）により、標準規格が定められており、
- ア 根元径がスギ・カラマツでは 4 mm 以上、ヒノキは 3.5mm 以上であるもの
 - イ 形状比がスギ・カラマツでは 110 以下、ヒノキは 140 以下であるもの
 - ウ 出荷時に自立するもの
 - エ 露出した状態の根鉢を軽く振って培地が崩れないもの
- を選定することが極めて重要である。
- ④ 植栽に当たっては、根鉢が挿入できる大きさの穴（例えば JFA300cc で上部直径 58mm×深さ 150mm）を土壌に開ければ良いため、1 本当たりの作業時間の短縮が可能となる⁷⁾（図 7）。
- ⑤ コンテナ苗を植栽する場合は、唐クワを使用するほか、専用に複数の器具が開発されている。そのため、植栽地の斜面傾斜や土壌の堅密度、地表面の石礫・根系等の状況を踏まえ、使用する植栽器具の種類についても事前に検討することで、より省力化に資することとなる。
- 例えば、急傾斜地で土壌が堅密・礫質な場所では、体勢を崩さず力強く土壌を掘り上げる必要があるため、唐クワの利用が効果的であるが、平坦地から緩傾斜地においては、ディブルやスベード等の専用器具を用いることで、体勢を崩さず短時間で植栽用の穴を開けることが可能となり⁷⁾（図 8）、特に熟練者でなくとも、効率的な植栽が可能となる。



図 7 コンテナ苗及び裸苗の植栽器具別の工期

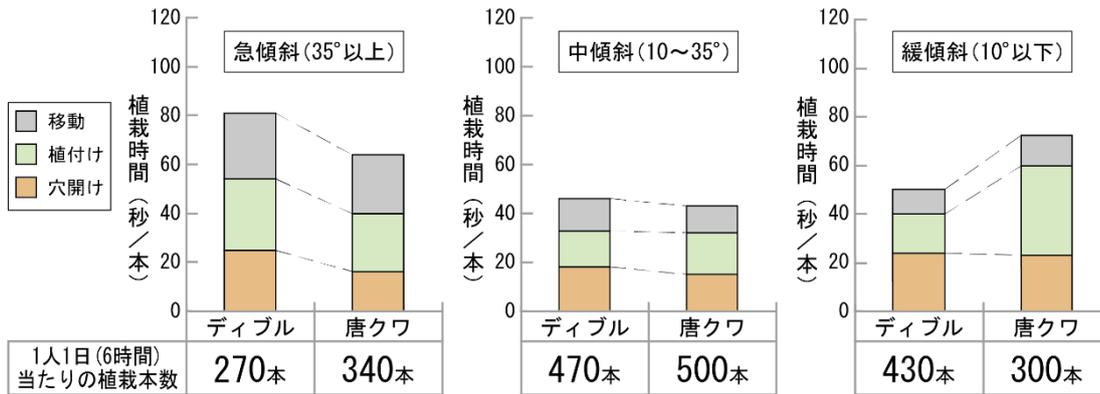


図8 斜面傾斜がコンテナ苗の植栽効率に及ぼす影響

(4) 伐採と造林の一貫作業

- ① 伐採と造林の一貫作業は、機械を所有し伐採・搬出を行う伐採事業者と、その伐採跡地で地拵え・植栽等を行う造林事業者が、伐採から造林までの作業を分担・連携して実施する場合や、一つの事業者が両方の作業を担う場合がある。一貫作業は、これらの者が伐採・搬出で使用したグラップル・フォワーダ等の機械を地拵えや苗木運搬等に活用し、作業を一体的に行うことで、
 - ア 伐採事業者としては、造林事業者との連携の下で、グラップルやフォワーダ等の機械を用いて地拵えや苗木運搬を行うことを通じて事業を確保し、機械の稼働率も上げることができる
 - イ 造林事業者としては、人力地拵えや人肩による苗木運搬を行わずに済むため、省力化が図られるほか、コンテナ苗を用いる場合はさらに植栽作業の省力化が図られる
 - ウ 植生が繁茂しないうちに植栽を完了することで初回下刈りの省略に繋がる
 - エ 今後想定される主伐後の再造林面積の増加に対して、労務体制の面に対応しやすくなるといったメリットがあげられる。
- ② 一方、一貫作業の実施に当たっては、伐採・搬出作業と造林作業とは、必要な機械や資材が異なること等から、伐採事業者と、造林事業者は、別々の事業者であることが多く、事業者間の連携が重要である。なお、同一事業者の場合でも、作業間の連携に留意する必要がある。
- ③ 具体的な連携に当たっては以下の点に留意して実施する必要がある。
 - ア 伐採事業者が主体的に協議の場を設ける場合には、
 - (a) 伐採事業者は造林事業者に対し、所有するグラップルやフォワーダを使い機械による地拵え及び苗木運搬を行い、また植栽作業を委託したい旨を伝える。
 - (b) 両事業者が相互に了解できれば、連携に係る協定書等を手交する。
 - (c) 伐採事業者は、伐採から地拵え・苗木運搬までの具体的な作業内容・手順・スケジュール等の情報を、造林事業者は植栽作業の時期・場所・地拵えで出てくる末木枝条の置き場所等の情

報を、相互に提示・協議し共有する。同時に、補助金申請や委託経費等についても協議し、情報を共有する。

(d) 事業実施に当たっては、伐採事業者は造林事業者が行う植栽作業を念頭に伐採作業を実施する。

(e) 造林事業者は、伐採事業者が行っている伐採作業・機械地拵え・苗木運搬の進捗を確認するとともに、苗木生産者と苗木の納品日時等を調整し、植栽作業に着手する。

イ 上記とは逆に、造林事業者が主体的に協議の場を設ける場合も、基本的な連携方法は上記①と同様であるが、異なる部分は以下のとおりである。

(a) 造林事業者は伐採事業者に対し、連携を呼びかけ、協議の場を設ける。

(b) 造林事業者は伐採事業者に対し、伐採事業者が所有するグラップルやフォワーダを使って地拵えや苗木運搬を委託したい旨を伝える。

これに続いて、上記①の(b)～(d)の手順を経ることとなる。

(c) 事業実施に当たっては、造林事業者は伐採・地拵え作業の進捗を確認し、苗木納品の日時を苗木生産者と打ち合わせ、伐採事業者が行うフォワーダでの苗木搬入に合わせて植栽作業に着手する。

ウ なお、伐採事業者又は造林事業者が単独で事業を実施する場合、事業者内の伐採班と造林班が相互の密接な情報共有と作業連携を図ることに留意する。

④ 冬季に積雪がある地方では、伐採と造林の一貫作業の連続性が雪によって中断されることがあるが、その際は、秋の伐採・搬出を行う際に地拵えまで行い、翌春の雪解け後、雑草木の繁茂前に速やかに植栽作業に入る必要がある。

⑤ 作業の実施に当たっては、「伐採作業と造林作業の連携等の促進について」（平成30年3月29日付け29林整整第977号林野庁森林整備部整備課長通知）をあわせて参照し、都道府県・団体等で実施に向けたガイドラインを作成することも重要である。

(5) 低密度植栽

① 低密度植栽においては、植栽木の本数を減らすことで、
ア 植栽費用のうち、その割合が高い苗木代を削減できること

イ 植栽にかかる労力を削減できること

等から、省力・低コスト化を図ることが可能となる。

② また、低密度植栽は、特に植栽木の樹高が競合する雑草木より低い時でも、刈り払い時に苗木を探索する時間が少なくなることから、植栽時のみならず下刈り時においても作業効率が高くなる場合もある⁸⁾（表2）。

③ 植栽本数の下限については、気候条件や競合する雑草木の状況、苗木の品種による成長特性等に影響され、一律に本数を示すことは困難である。ただし、雑草木との競合による枯死木発生のリスク、ツル植物による被害リスク、間伐により林分全体の林型を整えにくいリスク等を勘案すれば、1,500本/haを下限の目安とすることが望ましいと考えられる。合板や集成材等を用途とする、いわゆる「並材」を生産目標の中心とする場合は、この程度以上の植栽本数であれば将来の収穫材積量や生産丸太の材質も担保されると考えられる^{9,10)}。

④ なお、保安林においては指定施業要件として、伐採後の植栽方法や

樹種、本数等が定められていることから、これに従って植栽本数を決定する必要がある。令和4年(2022年)の森林法施行令等の改正では、植栽関係の規定について、

ア 苗木について、満1年生以上の苗と同等の大きさを有するものの植栽が可能とし

イ 植栽本数については災害のおそれがなく、効率的な施業が可能である場合には、地域で普及している標準的な施業方法に準じた植栽本数まで縮減可能とする

といった見直しが行われていることから、都道府県等に確認することが重要である。

⑤ あわせて、低密度植栽の実施に当たっては、

ア 積雪による植栽木の折れ、根抜けの発生が懸念される地域や、シカやノネズミ、ノウサギ等による植栽木への被害が激しい地域では、植栽後の枯死による本数減少が起こる可能性があること

イ 植栽密度が低下するほど枝がふれあう状態(以下、「林冠閉鎖」という。)になるまでに時間を要し、九州地方のスギ林での調査事例では3,000本/ha(林冠閉鎖9年)に比べ1,500本/haで3年、1,000本/haで5年程度延びることから¹¹⁾、低密度植栽では下刈りやツル切り等の保育作業を継続的に行わなければならない可能性があること

ウ 植栽本数が少ないため、1本の枯死が与える影響が大きく、特に植栽木がまとまって枯死した場所では、林冠が閉鎖されずにギャップが生じて広葉樹が侵入し、そのギャップがツル植物の発生源となる可能性があること

等により、枯損被害の状況に応じて、補植等を含めた保育を適切に行うことや、それらの作業により、通常よりコストがかかる可能性があるため、後述する大苗や成長に優れた苗木の活用も検討する必要がある。

⑥ 加えて、樹種ごとに、以下の点についても留意することが必要である。

ア スギ

スギは陽樹で成長が速く、斜面下部や凹地などの水分環境が良い立地(下降斜面の崩積土:弱湿性~適潤性褐色森林土壌等)で特に生育が良く、これらの立地では低密度植栽でも極端な遅延なく林冠閉鎖することが可能である。

ただし、斜面上部や、水分条件の悪い箇所など、適地外では成長が悪くなることから、植栽箇所の水分環境等を勘案して植栽密度を考える必要がある。

イ ヒノキ

ヒノキはスギやカラマツに比べ成長が遅いため、林冠閉鎖が遅れる可能性があることから、下刈り実施期間が長くなることに留意が必要である。

そのため、良好な成長が担保できるように、やや乾いた斜面上部の立地(平行斜面の匍行土:適潤性褐色森林土~偏乾性褐色森林土等)などの植栽適地を選ぶこととあわせ、スギやカラマツと比較し植栽密度を下げすぎないことが重要である。

また、林冠閉鎖に時間がかかることから、植栽木が複数かたまって枯死した場合、他の樹種と比較し雑草木やクズなどのツル類が繁茂しやすくなるため、補植などを行うこと等により、将来ギャップ形成をさせないよう努める必要がある。

スギと比較し、林冠閉鎖後の自然落枝性が悪いことから、太枝が枯れた後も幹に着生するため死に節が発生する可能性があることに留意する必要がある。

ウ カラマツ

カラマツは陽樹で、スギやヒノキに比べても初期成長が速く低密度植栽であっても早期に林冠閉鎖する。水分環境的に水が集まり排水性もある理学性が良い土壌（崩積土～圃行土：弱乾性～適潤性ないし弱湿性褐色森林土壌等）で生育が良好となる。

一方で、ノネズミなどの生物被害が多いことから、補植や鳥獣害対策等にコストが発生する可能性もあり、低密度植栽を行う場合には、植栽適地を選んだ上で、周辺での被害の発生状況を把握して実施することが必要である。

表2 低密度植栽実証試験地での下刈り時間短縮の状況

都道府県	市町村	樹種	平均下刈り時間（人時間/ha）	
			2500本/ha区	1600本/ha区
北海道	下川町	カラマツ	13.3	18.4
岩手県	紫波町	カラマツ	22.9	20.9
岩手県	盛岡市	カラマツ	36.9	33.0
岩手県	葛巻町	カラマツ	30.2	25.2
宮城県	登米市	スギ	32.5	21.9
秋田県	由利本荘市	スギ	24.9	22.7
茨城県	日立市	ヒノキ	22.7	22.2
茨城県	日立市	スギ	25.7	24.1
富山県	立山町	スギ	26.1	20.1
岐阜県	高山市	カラマツ	29.2	20.5
三重県	大紀町	ヒノキ	33.0	43.3
岡山県	吉備中央町	ヒノキ	19.2	14.1
高知県	四万十町	ヒノキ	16.1	15.4
長崎県	大村市	ヒノキ	31.9	26.5
長崎県	東彼杵町	ヒノキ	40.4	25.8
熊本県	美里町	スギ	24.2	26.9
宮崎県	椎葉村	スギ	18.0	15.4
宮崎県	都城市	スギ	26.0	19.1
鹿児島県	薩摩川内市	スギ	36.0	38.7

※植栽2～3年目の夏に下刈り工期調査を実施

※薄黄色セルは低密度植栽で下刈り作業時間が短縮されている事例

(6) 下刈り回数の削減

- ① 下刈りは、植栽木の生育を阻害する雑草木を刈り払う作業であることから、雑草木が植栽木と競合する場合にのみ刈り払いを行うことで、下刈り作業全体の省力化を図ることが可能となる。
- ② そのため、植栽木と雑草木の競合状態（以下に示すC区分）を、下刈り前や植栽後の状況（推移）、周辺の植林地の生育状況をもとに把握し、下刈りが必要かどうか判断する必要がある。

植栽木と雑草木の競合状態を、両者の相対的な樹高関係で指標化したのがC区分¹²⁾であり、区分は以下のとおりである（図9）。

C1：植栽木の樹冠が周辺の雑草木から半分以上露出している状態
C2：植栽木の梢端が周辺の雑草木から露出している状態
C3：植栽木と雑草木の梢端が同じ位置（高さ）にある状態
C4：植栽木が雑草木に完全に覆われている状態

特にC4においては植栽木の成長が大きく低下する¹²⁾（図10）ほか、C2～C3状態であっても植栽樹種や競合する雑草木のタイプによっては植栽木の成長に影響を及ぼすことがある。このため、C区分調査を行うことにより植栽箇所における雑草木のタイプ及び植栽木と雑草木との競合状態を確認して、下刈りの必要性を判断する。

- ③ あわせて、各地域での雑草木のタイプ、植栽木と雑草木の競合状態の把握、下刈り後の雑草木の再生力の推移等を観察し、地域での判断の目安を設定することが効果的であり、毎年度、現地での観察・下刈り実施結果等のフィードバックを通じて、翌年度以降の下刈り判断の目安（基準）の高度化を図ることが重要である。

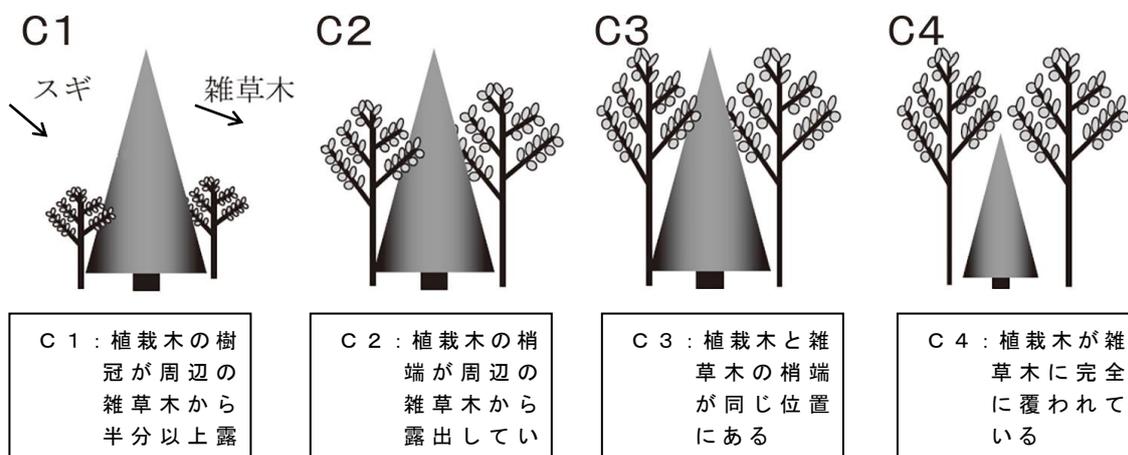


図9 植栽木と雑草木の競合状態（C区分）（山川ら、2016を一部改変）

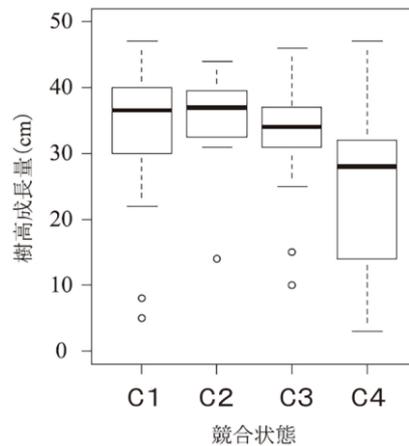


図 10 各競合状態における樹高成長量（山川ら、2016 を一部改変）

- ④ 下刈り判断のフロー図（図 11）を参考に、下刈りの実施、省略（当該年度に下刈りを行わないこと）、完了の判断を行う。具体的な判断への手順は以下のとおりであり、下刈りの翌年度に競合する雑草木のタイプが変化している場合もあるので、毎年度の判断が必要なことに留意する。

ア 競合する雑草木のタイプを区分する。

(a) 雑草木の高さが、ある一定以上の高さにならないタイプ
ススキ型、ササ型、キイチゴ型、広葉草本型 等

(b) 雑草木の高さが、年々高くなるタイプ
木本型（アカメガシワやクサギやカラスザンショウ等）

イ (a)、(b)の各タイプ別に、以下のフロー基準を参考に、各地域でのフロー基準を考える。

(a)のフロー基準

- ・ 植栽木が雑草木との競合状態で [C 1 + C 2] が 8 割以上あるか
- ・ 植栽木の樹高が、雑草木の最大高を大きく（約 1.5 倍）超えているか

(b)のフロー基準：

- ・ 植栽木が雑草木との競合状態で [C 1 + C 2] が 8 割以上あるか
- ・ 植栽木の樹高が、下刈り後の雑草木の 1 年間の樹高成長量以上あるか
- ・ 植栽木と雑草木の樹高差が前年より広がっているか

- ⑤ あわせて、下刈り要否等の判断に当たっては、植栽樹種や、競合する雑草木のタイプの違いにより、特に以下の点に留意が必要である。

ア 樹種ごとの留意点

(a) スギ

植栽木の梢端が雑草木より上に露出している状態（C 1 ~ C 2）、あるいは同じ高さにある競合状態（C 3）であっても、植栽木は雑草木に影響を受けずに樹高成長することが期待できる（図 10）。一方で、C 3 の状態では肥大成長に減退が起こる¹²⁾。そのため、結果的に形状比が高くなり、翌年度の成長に影響が出る可能性があることにも留意が必要である。

(b) ヒノキ

スギやカラマツに比べ相対的に成長が遅く、雑草木との競合状態が長く続く。一方で、スギやカラマツに比べ耐陰性が非常に高いことから、一定期間下刈りを省略し雑草木に覆われたC4の状態であったとしても、その後の下刈りにより短時間で成長速度は回復する¹³⁾。ただし、成長量はその期間中低く抑えられており、本来下刈り実施で得られる成長量には及ばず、その差分はその後も解消されないことに留意する。

(c) カラマツ

被陰に弱く、植栽初期の雑草木との競合状態がその後の生存・成長に大きく影響を与えることとなる。そのため、植栽後、雑草木による被陰が樹冠表面積の75%より低い状態(C1)に保つことが必要である¹⁴⁾。

イ 競合する雑草木ごとの留意点

(a) ススキ型

ススキは広く日本全国に分布しており、土壌条件によっても異なるが、高さは1.5m~2.5m程度となり林地に密生する。密生するススキで覆われると植栽木は強く被陰されるため、成長が著しく抑制される。また、特にスギではススキの葉との物理的な接触により樹冠発達が抑制されることも知られており¹⁵⁾、密生するススキの負の影響がさらに大きくなることに留意する必要がある。

なお、密生し植栽木が完全に覆われると、植栽木の位置がわかりづらくなり、下刈りの際に誤伐されやすくなる。

(b) ササ型

ササ類はクマイザサ、ミヤコザサ、チシマザサ、ネザサ等がそれぞれ地域的な広がりをもって分布している。例えば、クマイザサは日本海側に多く分布し高さは1~2m程度、ミヤコザサは、北海道・本州太平洋側・四国・九州に分布し高さは0.5~0.8m程度、チシマザサは本州関東以北・北海道に広く分布し高さ2~3m程度、ネザサは本州東海以西・四国・九州に分布し、高さは1~3m程度である。

いずれも地下茎で繁殖することから、下刈り後速やかに元の高さまで再生する。そのため、地下茎の貯蔵養分を減らすには数年継続して下刈りを実施する必要があるが、ササ類は一定以上の高さにはならず、また、他の雑草木が混生することが少ないため、植栽木がササ類の高さ以上になれば下刈りを省略・完了できる可能性がある。

なお、ササ類に対しては地拵え時に地下茎自体をレーキ等で剥ぎ取ることで、その後の下刈りを省略する方法も有効であるが、傾斜が緩やかであるなど表土が流出するおそれがないような箇所で行う必要がある。

(c) キイチゴ型

クマイチゴ、フユイチゴ、エビガライチゴ、(ナガバ)モミジイチゴ等の棘があるバラ科を主とするタイプであり、種により多少違いはあるものの、広く全国に分布している。高さは最大で2.5m程度となるが、埋土種子由来で植栽初期に一斉に繁茂するため、下刈りを実施すると次第に衰退する。下刈りを繰り返すと次第に木本型やススキ型に推移する場合は

ある。

(d) 広葉草本型

成長が非常に早く、広い葉を広げる草本で、温暖な地方ではダンドボロギクやベニバナボロギク、冷温な地方ではヨモギやハルジオン等が分布している。成長は極端に早いものの、高さには限界があり高くても概ね 1.5m 程度であり、比較的短期間で下刈りを省略することができる。下刈りを繰り返すと木本型やススキ型に変わる場合がある。

(e) 木本型

アカメガシワ、クサギ、カラスザンショウ、タラノキ、ヌルデ等の落葉広葉樹からなるタイプで、樹種構成の違いはあるが全国的に広く出現する。また、西日本を中心に老齢のスギ林等ではヒサカキ等の常緑広葉樹の場合もある。年々樹高成長を続けるが、植栽初期に下刈りを繰り返すと萌芽再生力が弱まり、高さは次第に低くなる。ススキ型に推移する場合もある。なお、植栽木と雑草木の樹高差が広がり、ある一定程度にその樹高差が広がるとその後の下刈りは不要となる。

(f) ツル類

上記(a)～(f)の雑草木タイプとは異なるが、これらに随伴する植生として、植栽木への巻き付きや覆い被さるツル類についても切断、除去する必要がある。下刈り回数を削減し、しかも早期に下刈りが完了した場合、林地の状況によってはツル類の再生・繁茂が考えられる。その後のツル切り・除伐を行うことが必要と判断した場合には、確実にそれらの作業を実施することが望ましい。特に、繁茂すると林冠を広く覆いつくすクズについては林地への侵入が認められた場合、早期にツル切りにより対処することに留意する。

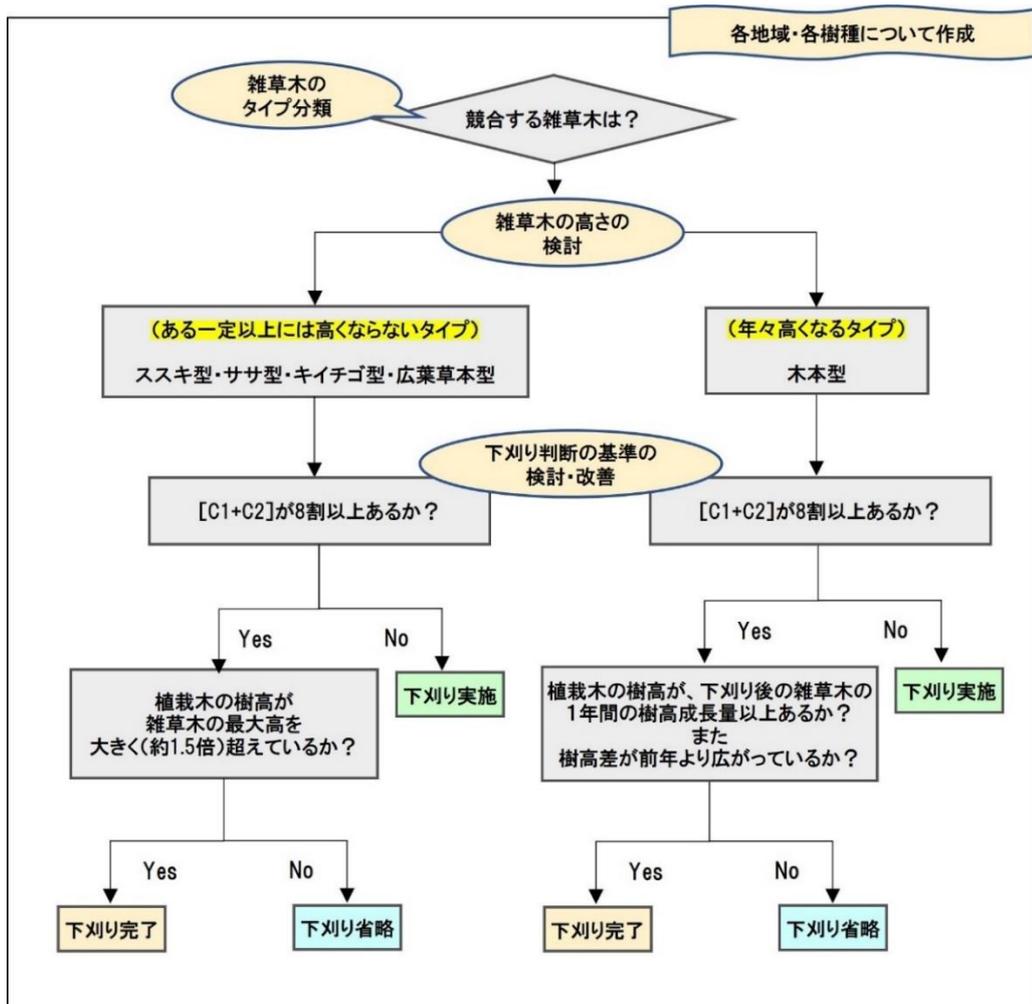


図 11 下刈り判断のフロー図（考え方）

※ 下刈り判断（実施・省略・完了）基準は現地確認を通じて順次改善する

（大苗や成長に優れた苗木の植栽について）

- ⑥ 大苗や成長に優れた苗木を植栽することにより、植栽時の初期樹高やその後の成長の優位性が発揮され、下刈り回数の削減や下刈り終了までの期間を短くすることができるため、省力化に効果的である。
- ⑦ 大苗の植栽は、平坦地や緩傾斜地はもとより、作業道や架線による機械運搬を行うような急傾斜地でも、下刈り回数削減の効果が期待できる手法である。大苗植栽に当たっては、以下に留意する。
 - ア 山林用主要苗木標準規格（コンテナ苗）の1号苗及び2号苗以上の大きさであり、主軸が湾曲する徒長苗を避けるためにも地上部のバランスが良い苗の使用が推奨される。なお、規格の詳細は、「山林用主要苗木の標準規格設定について」を参照すること。
 - イ 風による揺れ、積雪の滑りによる根抜けが発生する可能性があるような場所では浅植えは避けること。
 - ウ 通常苗木と比較し、植栽時にコストや作業負担が増える可能性があること。
- ⑧ 大苗植栽による下刈り省力化について、過去に設定された研究試験地に対する成林状況等の再調査を通じて、以下のように下刈り回数削減（1～2回で終了）への大苗植栽の有効性が確認されている¹⁶⁾（図12）。

- ・スギ裸苗、苗長約 60cm：2 年目の下刈り 1 回のみで終了（岩手県遠野市）
- ・スギ裸苗、苗長 76cm：2 年目と 4 年目の下刈り 2 回で終了（高知県土佐町）
- ・スギコンテナ苗（特定母樹）、苗長 70～90cm：1 年目の下刈り 1 回で終了（熊本県人吉市）
- ・スギコンテナ苗、苗長 57cm 及び 92cm：一貫作業システムで植栽し 2 年目と 3 年目の下刈り 2 回で終了（宮崎県都城市）

⑨ 成長に優れた苗木であっても、樹種・品種により生育に適した立地は異なることに留意が必要である。

例えば、特定母樹由来の苗木であっても、肥沃で湿潤な土壌を好むスギの場合では、痩せ地や乾燥しやすい尾根部などに植栽したときには、高い初期成長量を期待できず下刈り回数の削減が難しくなる場合がある。そのため、これらを植栽する場合であっても、樹種や品種の特性、植栽地の立地環境（地形や土壌等）、伐採前の前生樹や周辺の造林地の生育状況を踏まえて、適地適木を旨とした植栽を行うことが重要である。

調査地	伐採年	植栽年	苗種 平均苗長	競合植生 優占種	下刈り				
					1年	2年	3年	4年	5年
岩手県 遠野市	2009年 2～3月	2009年 9月	裸苗 約60cm	イチゴ タラノキ	×	○	×	終	
高知県 土佐町	2007年	2010年 春	裸苗 76cm	イチゴ タラノキ	×	○	×	○	×
熊本県 人吉市	2015年 秋	2017年 3月	コンテナ苗 70～90cm	ススキ	○	×	×	×	終
宮崎県 都城市	2016年 秋	2017年 1月	コンテナ苗 57cm/92cm	アカメガシワ クサギ	×	○	○	×	終



遠野市 14年生

土佐町 13年生

人吉市 6年生

都城市 6年生

図 12 大苗植栽の事例（現況の確認調査は 2022 年に実施・写真も同時期に撮影）

（7）下刈り面積の削減

① 下刈り面積を削減する手法としては、列状に刈払いを行う「筋刈り」や、植栽木周辺のみを刈払う「坪刈り」などがあり、具体的な手法は以下のとおりである。

ア 筋刈り

筋刈りは、植栽列に沿って狭く帯状に、列間の半分程度の幅で雑草を刈り払う方法である。

イ 坪刈り

坪刈りは、植栽木の周辺を 1 m 程度の円状に刈り払う方法である。

- ② 雑草木が残存することから、気象緩和の効果があり、寒風害等のリスクがある幼齢林分や比較的被陰に耐える陰樹に対しては被陰の影響が小さく実施が可能であり、植栽間隔が広い低密度植栽の林分で実施することが効果的である。
- ③ 一方で、刈り残した雑草木が側方光を遮断してしまうため、被陰を極端に嫌う陽樹（特にカラマツ）には不適である。また、植栽間隔が狭い場合には、作業効率が悪く、想定よりもコストがかかることに留意が必要であり¹⁷⁾、コウモリガやノウサギ、ノネズミといった獣害をもたらす動物類の隠れ場となりやすく、食害を誘発するリスクがあるため、このような林地での実施には留意が必要である。

(8) 付帯施設整備での省力化

- ① 野生鳥獣の被害が考えられる個所においては、獣害防護柵等による植栽木の保護を行う必要があるが、機械による苗木運搬と同様に、伐採・搬出に用いた機械で資材を運搬することにより、省力化を図ることが可能となる。
- ② 具体的には、「(2) 機械による苗木運搬」を参照すること。

第5 標準的な組み合わせ

- 1 省力・低コスト造林に資する技術として、
 - (1) 伐採・搬出に用いた機械による地拵え・苗木運搬や、それらを組み合わせた伐採・造林の一貫作業
 - (2) 植栽初期に雑草木との競合で優位に立ち、下刈り回数の削減に効果のある成長に優れた苗木や大苗を用いた低密度植栽
 - (3) 周辺の雑草木の状況を踏まえた下刈り回数・面積の削減等があげられるが、現場での事業実施に当たっては、地域における地形条件や事業者の体制等を踏まえつつ、上記の作業を組み合わせることで、トータルとして最も省力・低コスト化が可能となる造林手法を検討する必要がある。
- 2 特に、技術の組み合わせを選択するに当たっては、傾斜等の地形条件により、伐採時に使用する機械や作業方法等が異なることから、それらの機械を活用する省力・低コスト造林の実施に当たっても、当該機械に応じた技術の組み合わせを検討する必要がある。以下にその一例を解説する(図13)。
- 3 機械が林内を走行して作業ができる立地(平坦地～緩傾斜地)においては、図13の(a)のとおり、機械主体の作業となる。伐採・搬出に使用するグラップル等による地拵え、フォワーダによる苗木の運搬を行い、植栽においては1,500～2,000本/ha程度の低密度植栽を組み合わせることで、省力・低コスト化を図ることが可能となる。
- 4 機械が作業路走行にて作業を行う立地(中～急傾斜地)においては、図13の(b)のとおり、機械と人力を併用した作業となる。
地拵えは、グラップルのアームが届く範囲までを機械による地拵えとし、それ以外は人力による地拵えとなるため、機械による地拵えの可能な区域が多いと、より省力・低コスト化を図ることが可能となる。
苗木運搬においても、機械と人力による運搬を併用することとなる。また、植栽においては、1,500～2,000本/ha程度での低密度植栽を組み合わせることで省力・低コスト化を図ることが可能となる。
- 5 架線で作業を行う立地(急傾斜地)においては、路網が低密度であるため、図13の(c)のとおり、人力で地拵えや苗木を運搬する作業となる。そのため、従来の作業(図13の(d))と大きくは変わらず、省力・低コスト

化への対応が困難である。一方で、全木集材を行うことで、地拵えを不要にすることや架線による苗木運搬を行うことで、作業の省力・低コスト化を図ることが可能となる。

- 6 また、いずれの立地においても、大苗や成長の優れた苗木を用いることで、その後の下刈り作業の省力化を図ることが可能となるが、植栽作業においては、上記した立地等の状況を勘案し、省力・低コスト化の視点から植栽する苗木の大きさや植栽密度等を、また下刈り作業の省力化等を見越して、それらの選択・組合せを検討する必要がある。
- 7 これらの組み合わせについては、地形条件のみならず、その他の環境要因や、作業主体となる事業者の状況等も踏まえて検討する必要があるため、各地域において、最適と考えられる方法を検討することが重要である。

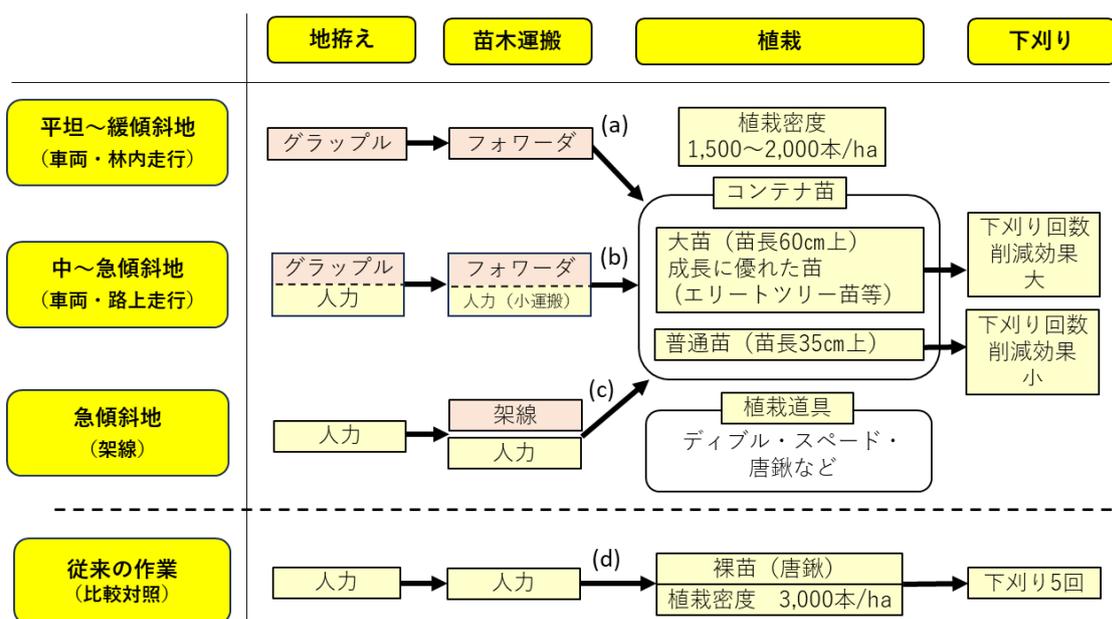


図13 省力・低コスト化に資する標準的な作業の組合せ

第6 その他

(調査・実証等が行われている造林技術)

- 1 近年、育種・育苗技術、リモートセンシング、遠隔操作・自動操作機械、ICT等の新たな技術の開発が著しく進展しており、造林に係る技術をめぐっても、全国各地で様々な取組が行われている。以下、そのような取組の一部を紹介する。
- 2 ドローンによる苗木運搬
急傾斜地・不整地での再生林の省力化に貢献するものとして、ドローンによる苗木運搬の取組が徐々に進展している。
ドローンによる苗木運搬は、
 - ① 架線による集材を実施するような急傾斜地など路網の発達していない事業地で効果が発揮される
 - ② フォワーダ等の車両が植栽地近くまで進入できる場合でも、苗木の集積地からの運搬距離が長い場合に効果が期待できる
 - ③ 複数の事業者で共有することや農業用ドローン業者への委託等で効率的に利用できる可能性がある
 一方で、
 - ④ 単体の事業者で所有する場合は年間植栽面積が少ないと費用対効果が

発揮できない

⑤ ドローンやバッテリー、機体の保険料等が高額であるといった面もあり、今後の実証が望まれる¹⁸⁾。

3 機械による下刈り

下刈り機械は、下刈り刃が装着されている機械であり、これまで人力で実施していた下刈り作業の軽労化や安全な作業環境の提供を図るものである。

実用化を目指している下刈り機械には、機械の前面に刈り刃が装着された下刈り等の造林作業専用開発されたタイプ（刈り刃機械一体型）と、グラップル等のベースマシンのアーム先端に刈り刃アタッチメントを装着して下刈り作業を行うタイプ（刈り刃アーム装着型）がある¹⁹⁾。

特に植栽間隔が広い場合に活用が検討できるが、現状、傾斜地や伐根が残る植栽地で、両タイプの下刈り機械を造林の作業システムにどのように組み込むか検証が行われている段階である。

4 小型運搬車による苗木運搬

伐採事業者や造林事業者の作業進捗や連携等によっては、苗木運搬にあたりフォワーダ等の機械を活用できない場合や、苗木を作業道脇等までフォワーダ等の機械により運搬した後、植栽場所まで運搬する場合に、小型運搬車を用いて苗木を運搬する方法が進められている。小型運搬車による運搬を行うことで、人肩で運搬するより省力化を図ることが可能と考えられる。

小型運搬車は、造林する者が扱い易い小型で小回りが効くものが開発されてきており、クローラや二輪タイプで不整地でも機動力を有しているほか、比較的安価であることから、事業者にとって機械よりも導入しやすく、省力化にすぐ効果を発揮する可能性があるが、急傾斜地でどのように利用するかなどの課題もある。

5 カバークロップを用いた下刈り削減

カバークロップ（被覆作物）とは、雑草木の繁茂を抑止するために栽培する、植栽木以外の植物種のことであり、植栽地で苗木と並行してカバークロップを栽培し、その被覆効果により雑草木の発生や生育を抑えて下刈り回数を削減する方法である。

日本ではワラビをカバークロップとして用いた事例があり²⁰⁾、再造林時にワラビを混植することで通常6年程度行う下刈りを3年以下に抑えることができた。

なお、ワラビを混植する経費（苗代、植栽人工及び施肥管理等）を考慮すると下刈りを2回以上行うと経費が掛かり増しとなる。一方で、ワラビを収穫し販売することで差引き黒字化することが期待でき、試算では5年間ワラビ収穫を行い、下刈りを2回以下にできれば、ワラビの販売収入で再造林経費を全て賄うことができるだけでなく、再造林経費以上の収入を得られる結果となった。

（森林作業道及び集材路）

6 路網整備に当たっては、傾斜区分と導入する作業システムに応じた路網密度の水準を踏まえつつ、林道と森林作業道を適切に組み合わせることが極めて重要である。

森林作業道は、トラック等の車両が通行する林道を補い、主として機械が走行し、造林や間伐等の作業に継続的に利用されるものであり、森林作業道の作設に係る基本的な考え方、線形や構造、排水施設等については、「森林作業道作設指針」（平成22年11月17日付け22林整整第656号林野庁長官通知）によること。

集材路は、立木の伐採、搬出等のために機械が一時的に走行することを目的として

作設される仮施設であることから、主伐後の再造林等に継続的に使用される道については、集材路でなく、森林作業道によることが適切である。

- 7 近年、主伐が増加している中であって、皆伐地において粗雑に作設された集材路から土砂の流出・崩壊が発生するケースも見られること等から、やむを得ず、集材路を作設する場合にあっても、林地保全や周辺環境への配慮を行うとともに、伐採・搬出に伴う土砂の流出防止や植生回復に配慮した措置を講じることが重要であり、「主伐時における伐採・搬出指針」（令和3年3月16日付け2林整整第1157号林野庁長官通知）によること。
- 8 なお、使用後の集材路については、立木の伐採・搬出に使用した資材、燃料等の確実な整理・撤去を行うとともに、踏み固められた集材路上に直接植栽することは行わず、植生回復まで耐えうる排水処理や表土の埋め戻し等を適切に行うことが必要である。

(別添) 参考資料

- 1) 大矢信次郎・倉本恵生・小山泰弘・中澤昌彦・瀧誠志郎・宇都木玄 (2021) 機械地拵えによる競合植生抑制効果と下刈り回数の削減. 森林利用学会誌 36: 99-110.
- 2) 山本道裕・野末尚希 (2016) 急傾斜地における架線系高性能林業機械を活用した一貫作業システム実証試験の成果について. 森林技術 897: 12-15.
- 3) 中村松三・伊藤哲・山川博美・平田令子 (2019) 低コスト再造林への挑戦—一貫作業システム・コンテナ苗と下刈り省力化—. 2.2 一貫作業の普及に向けて. 日本林業調査会: 36-38.
- 4) 藤本浩平・山崎真・渡辺直史・山崎敏彦 (2016) 架線系一貫作業システムの実用化に向けて—コンテナ苗の架線による運搬・現地保管・植栽—. 森林技術 897: 16-19.
- 5) 今村高広・宮島淳二 (2018) 一貫作業システムによる再造林低コスト化の実証試験—伐出機械を利用したコスト削減効果の実証試験—コンテナ苗の植栽試験—. 熊本県林業研究指導所研究報告 44: 21-22.
- 6) 伊藤哲・新保優美・平田令子・溝口拓朗 (2019) 異なる灌水条件下で夏季植栽したスギ挿し木コンテナ苗および裸苗の活着とその要因. 日本森林学会誌 101: 122-127
- 7) 静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター (2018) コンテナ苗 ～その特徴と植栽成績～. 11-12.
- 8) 林野庁 (2022) 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 (令和3年度改訂版). p. 20.
- 9) 下山晴平・石神智生 (2017) オビスギ密度試験地 40 年の成果. フォレストコンサル 147: 49-63.
- 10) 森林総合研究所 (2019) 低コスト再造林に役立つ“下刈り省略法”アラカルト. 7. 低密度植栽のスギの木材強度をはかる. 20-21.
- 11) 森林総合研究所 (2023) エリートツリーを活かす育苗と育林、施業モデル. 植栽密度の削減は林冠閉鎖を遅らせる. p. 19.
- 12) 中村松三・伊藤哲・山川博美・平田令子 (2019) 低コスト再造林への挑戦—一貫作業システム・コンテナ苗と下刈り省力化—. 4.2 下刈り回数の削減と判断基準. 日本林業調査会: 103-104.
- 13) 同上. 事例 18: 下刈り再開後の植栽木の成長回復を検証する. 118-119.
- 14) 原山尚徳・津山幾太郎・倉本恵生・上村章・北尾光俊・韓慶民・山田健・佐々木尚三 (2018) 雑草木による樹冠被圧がカラマツ植栽木の生残および初期成長に及ぼす影響. 日本森林学会誌 100: 158-164
- 15) 原谷日菜・伊藤哲・中山葉月・山岸極・山川博美・溝口拓朗・平田令子 (2023) スギ植栽木に対するススキ型および落葉広葉樹型競合植生の被圧効果の違い. 日本森林学会誌 105: 147-153
- 16) 林野庁 (2023) 下刈り作業省力化の手引き—下刈り機械の導入と大苗植栽の視点から—. 3 大苗植栽による下刈り省力化. 29-37.
- 17) 青森営林局造林課 (1977) 造林事業技術の手引き (造林の理論と実際). 212-217.
- 18) 林野庁 (2022) ドローンを活用した苗木等運搬マニュアル. p. 105.
- 19) 林野庁 (2023) 下刈り作業省力化の手引き—下刈り機械の導入と大苗植栽の視点から—. 2 下刈り機械による省力化. 11-28.
- 20) 森林総合研究所 (2019) 低コスト再造林に役立つ“下刈り省力手法”アラカルト. 4. ワラビで雑草木を抑制する. 12-15

その他参考になるサイト

【林野庁】森林づくりの新たな技術

<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/houkokusho/houkoku.html>