

## 6. 低密度植栽施業指針の検討

低密度植栽施業指針について、本調査でこれまで実施してきた文献調査、現地調査等により以下のとおり検討を行った。なお、次年度以降も得られた知見を追加し、最終年度に取りまとめる。

### スギ・ヒノキ・カラマツにおける低密度植栽導入指針（案）

#### 目次

1. 背景
2. 本指針の目的
3. 低密度植栽と通常植栽の違い
  - ① 一般的な植栽密度と木材生産
  - ② 低密度植栽と木材生産
  - ③ 低密度植栽によるコスト削減
4. 低密度植栽導入時における技術指針
  - (1) 植栽作業
    - ① 樹種の選定
    - ② 植栽の作業効率
  - (2) 獣害
  - (3) 気象害
  - (4) 下刈り作業
    - ① 植栽密度と下刈り作業時間
    - ② 植栽密度と誤伐
5. 低密度植栽における技術指針（参考）
  - (1) つる切り作業
  - (2) 除伐作業
  - (3) 枝打ち作業
  - (4) 間伐作業

#### 1. 背景

近年、森林資源の成熟による主伐の増加が予想される中、森林の多面的機能を十分に発揮させていくためには、確実な再生林を実施する必要がある。他方、森林所有者等の再生林意欲を向上させていくためには、主伐後に再生林を行っても一定の利益が残るよう、再生林の低コスト化を徹底することが不可欠となっている。

再生林の低コスト化を図る手段の一つとして、コンテナ苗を利用した「伐採と造林の一貫作業システム」の導入が注目されている。また、同じ低コスト化を背景として、成長に優れた優良品種の開発や早生樹導入等の検討も進められている。そのような中、低密度植栽の導入によりなお一層の低コスト化が図れる可能性が指摘されている。

従来、主要な造林樹種の植栽密度は3,000本/ha前後で実施されているが、近年、植栽本数を減らして、苗木代金や植栽労務費の縮減等により、再生林・保育の低コスト化を図る低密度植栽への期待が高まっている。一方で、疎植であるため、気象害・鳥獣害等による更なる本数の減少に加え、林分閉鎖の遅延が生じ、生立木の梢殺（うらごけ）化や、下刈り・つる切り・除伐等の育林作業の増大等、種々の弊害が生じる可能性も懸念されている。

以上のような課題を樹種別、地域別に検証し、成林の確実性やコスト削減効果の評価を通じて、低密度植栽技術の指針を策定することとした。

## 2. 本指針の目的

本指針は、「低密度植栽技術の導入に向けた調査委託事業」内で得られた成果を整理し、再生林時のコスト削減に向け、森林所有者が、利点・特異的性質、問題点を踏まえたうえで、「低密度植栽」の導入を適切に選択・施業できるよう支援を行うものである。

（参考：別冊）地域版施業指針（事例集）

## 3. 低密度植栽と通常植栽の違い

### ① 一般的な植栽密度と木材生産

木材生産の生産目標は、地域や樹種、その用途に応じて変わる。戦後の一般的な施業では、植栽密度3,000本/haとし、枝打ち・多間伐で、無節材・無垢材（柱材や板材）の生産を目標としてきた。一方で、例えば、吉野林業では樽丸（酒樽用材）を生産目標に置き、植栽密度10,000本/ha程度で、枝打ちと多間伐、伐期100年以上の施業でその需要にんでいた。一方、飢肥林業では弁甲材（造船用材）生産を目標とし、植栽密度750～1,500本/ha程度で、枝打ち無し・無間伐、伐期80～100年の施業で収穫していた。

### ② 低密度植栽と木材生産

低密度植栽では、従来、3,000本/ha程度の密度で植栽していたものを、それより少ない密度で、例えば、2,000本/ha以下として、基本的に枝打ちを行わず、間伐を実施しないか、あるいは回数を大幅に減らして主伐に至る施業を想定するものである。このため、生産される立木は節が多く上部に向かってより細くなる梢殺の樹幹になりやすく、したがって、①に示すような複数回の枝打ち間伐を行い良質な丸太生産を行う施業に対して、低密度植栽での生産目標は、短伐期での並材生産が主になると考えられる。

一方で、伐期を延長し、適切な間伐を加え、幹の肥大成長を促進させれば、やがて完満な樹幹へと変化していくことも想定される。

③ 低密度植栽によるコスト削減

植栽密度を従来の 3,000 本/ha から、2,500 本/ha、1,600 本/ha、1,100 本/ha と低密度化された場合、植栽本数が減ることにより、苗木の購入費及び植栽に要する労務費が低減され、再造林コストの削減が可能となる。

また、②に示すように、枝打ち・間伐を行わない、あるいは回数を大幅に削減することにより施業コストの削減も考えられる。

以下に、本事業で実施した植栽密度（1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha）と植栽コスト（税込み）の関係を、スギ、ヒノキ、カラマツについて事例として紹介する。

■スギ植栽の事例（宮崎県椎葉村）

<植栽条件>

- ・ 標高：830～870m
- ・ 傾斜：3～37°
- ・ 地拵え：チェーンソー・刈り払い機で実施
- ・ 植え付け：鍬による
- ・ コンテナ苗を植栽（サイズ：300cc）

項目	1,100 本/ha			1,600 本/ha			2,500 本/ha		
	面積・本数	単価 (円)	経費 (円)	面積・本数	単価 (円)	経費 (円)	面積・本数	単価 (円)	単価 (円)
地拵え	1 ha	324,000	324,000	1 ha	324,000	324,000	1 ha	324,000	324,000
苗木	1,100 本	153	168,300	1,600 本	153	244,800	2,500 本	153	382,500
植栽	1,100 本	69	75,900	1,600 本	69	110,400	2,500 本	69	172,500
鹿柵	400 m	1,224	489,600	400 m	1,224	489,600	400 m	1,224	489,600
その他	1 ha	242,234	242,234	1 ha	242,234	242,234	1 ha	242,234	242,234
計		—	1,300,034		—	1,411,034		—	1,610,834

植栽密度 2,500 本/ha に対して、1,600 本/ha では 12%、1,100 本/ha では 19%のコストの削減となった。

■ヒノキ植栽の事例（長崎県東彼杵町）

<植栽条件>

- ・ 標高：610～620m
- ・ 傾斜：2～16°
- ・ 地拵え：グラップル付きバックホウ・チェーンソー・刈り払い機で実施
- ・ 植え付け：鍬による
- ・ コンテナ苗を植栽（サイズ：300cc）

項目	1,100本/ha			1,600本/ha			2,500本/ha		
	面積・本数	単価 (円)	経費 (円)	面積・本数	単価 (円)	経費 (円)	面積・本数	単価 (円)	経費 (円)
地拵え	1 ha	224,691	224,691	1 ha	224,691	224,691	1 ha	224,691	224,691
苗木	1,100 本	146	160,600	1,600 本	146	233,600	2,500 本	146	365,000
植栽	1,100 本	67	73,700	1,600 本	67	107,200	2,500 本	67	167,500
鹿柵	0 m	0	0	0 m	0	0	0 m	0	0
その他	1 ha	154,535	154,535	1 ha	154,535	154,535	1 ha	154,535	154,535
計		—	613,526		—	720,026		—	911,726

植栽密度 2,500 本/ha に対して、1,600 本/ha では 21%、1,100 本/ha では 33% のコストの削減となった。

#### ■カラマツ植栽の事例（岩手県盛岡市）

<植栽条件>

- ・標高：280～290m
- ・傾斜：20°
- ・地拵え：チェーンソー・刈り払い機で実施
- ・植え付け：ディンプルによる
- ・コンテナ苗を植栽（サイズ：150cc）

項目	1,100本/ha			1,600本/ha			2,500本/ha		
	面積・本数	単価 (円)	経費 (円)	面積・本数	単価 (円)	経費 (円)	面積・本数	単価 (円)	経費 (円)
地拵え	1 ha	268,877	268,877	1 ha	268,877	268,877	1 ha	268,877	268,877
苗木	1,100 本	225	247,500	1,600 本	225	360,000	2,500 本	225	587,500
植栽	1,100 本	77	84,700	1,600 本	77	123,200	2,500 本	77	192,500
鹿柵	0 m	0	0	0 m	0	0	0 m	0	0
その他	1 ha	123,806	123,806	1 ha	123,806	123,806	1 ha	123,806	123,806
計		—	724,883		—	875,883		—	1,172,683

植栽密度 2,500 本/ha に対して、1,600 本/ha では 25%、1,100 本/ha では 38% のコストの削減となった。

## 4. 低密度植栽導入時における技術指針

### (1) 植栽作業

#### ① 樹種の選定

林業上重要な造林樹種を対象に、樹種本来の特性や植栽初期の成長特性等を考慮すると、全国的な造林樹種であるスギやヒノキのほか、冷温帯地方等のカラマツ（グイマツ雑種 F 1 を含む）が対象樹種として考えられる。

## [樹種の特性]

### ○スギ

ほぼ日本全国で主力と成りうる造林樹種である。成長速度はカラマツに比べれば中庸となるが、基本的に成長は良い。低密度で植栽した場合、樹幹形状は梢殺となる可能性があり枝が地際近くまで着生するが、林分閉鎖と共に下枝は次第に枯れ上がり、時間の経過と共に完満となっていく。用材、合板材、集成材と用途が広い。

### ○ヒノキ

ヒノキの成長はスギやカラマツに比べれば遅い。そのため、低密度植栽する場合は、成長が良好な立地を特に選んで行うことが大切である。場所によっては雑草木との競争関係から下刈り期間が長くなる可能性がある。一方で、耐陰性が高いことから、下刈りを隔年に行う等で対応することも可能と考える。また、スギと同様に低密度で梢殺となり太枝が多く着生する。樹種の特性として落枝性が悪く林分閉鎖しても枯枝が残り続ける傾向にあり、これらが死節の原因となることに留意しておく。

### ○カラマツ（グイマツ雑種F1を含む）

北海道や東北・中部地方の冷涼寒冷な地域を中心とした造林樹種である。前述した主要造林樹種の中で最も初期成長が速く、その後の成長も良い。そのため低密度植栽に適合する樹種であり、木材の用途としても合板用材や集成材に適している。

## [適地適木]

植栽木の成長が担保できる場所を選定する。適地適木が基本である。再造林地であれば、前生林分の成長状態を参考にすることができる。ヒノキについては、カラマツやスギに比べ成長が遅いので、低密度植栽する場合は、特に成長が良好な立地を選んで行うことが大切である。

## [植栽本数]

植栽本数は、地域や樹種の生産目標に応じて違ってくる。

長期に渡って継続している密度試験の事例を以下に示す。また、それらの情報や他の文献情報等から植栽密度についての考察を以下に提示する。

### ○スギ

➤昭和49年に宮崎県日南市に設定された林分密度試験林(43年生:無間伐;植栽密度544・783・1,128・1,626・2,339・3,365・4,850・6,987・10,027本/ha)の調査結果では、植栽密度2,339本/ha以上、あるいは783本/ha以下より、植栽密度1,128～1,626本/haの方が、林分蓄積及び原木価格の収益性の面から有利であった。43年生まで無間伐で推移した結果であり、上記の植栽密度範囲であれば間伐無しで主伐に入ることが可能であることを示している(宮崎41年生:三重野2017、宮崎南部署2017、福地ら2008、本事業)。

➤昭和 48 年に広島県福山市に設定された植栽本数別密度試験地（43 年生：除伐 1 回、間伐 2 回；植栽密度 1,000・1,500・2,000・3,000 本/ha）の調査では、植栽密度 1,500 本/ha 以上であれば樹形・形質・強度的に木材としての利用に支障はないとの報告がある。一方で、植栽密度 1,000 本/ha では、成林はしたが、梢殺、枯枝、節抜け材が多く柱材には適さない材となった(佐々木ら 2009)。

○ヒノキ

➤昭和 49 年に広島県福山市に設定された植栽本数別密度試験地（42 年生：除伐 3 回、間伐 2 回；植栽密度 1,000・1,500・2,000・3,000 本/ha）の調査では、植栽密度 1,500 本/ha 以上では樹形・形質・強度的に大きな欠陥はないこと、一方で、1,000 本/ha の低密度植栽では、植栽本数が少ない分、林冠閉鎖が遅れ、下刈りが余計に必要とされ、形質も今までの柱材生産には向かないとの報告がある(佐々木ら 2009)。

○カラマツ（グイマツ雑種 F1 を含む）

➤北海道の 8 年生及び 13 年生のカラマツ密度試験地（植栽密度 1,000 本/ha）での調査では、林冠閉鎖が確認されており、植栽密度 1,000 本/ha でも十分閉鎖すると考えられる。

➤40 年生のカラマツ密度試験での調査から、植栽密度 1,000 本/ha では間伐 1 回で材積 338 m<sup>3</sup>が収穫可能となった（2,000 本/ha だと間伐 3 回で材積 330 m<sup>3</sup>）との報告がある。ちなみに、植栽密度 1,000 本/ha で間伐 2 回の削減が可能となりトータルで育林経費が 3 割削減されている(北海道立林試 2006)。

<まとめ>

現時点の情報等を整理すると、樹種ごとに次に掲げる植栽本数まで低密度としても成林や木材利用への大きな影響がなく、低コスト造林の実践ができるとする事例は以下のとおり。

スギ	1,100 本/ha～1,600 本/ha
ヒノキ	1,500 本/ha 以上
カラマツ（グイマツ雑種 F1）	1,000 本/ha

② 植栽の作業効率

低密度植栽の 1,100 本/ha で植栽間隔は 3.0m である。従来の 3,000 本/ha の 1.8m 間隔とは異なり、作業員自体に低密度植栽の経験がないことから、1 本あたりの植栽効率が落ちる場合がある（ただし、単位面積あたりの植栽本数を減らしたことによる作業時間の短縮にはなる）。

低密度植栽の植栽間隔に慣れて、間隔を測らずに植栽が行えるようになるまでの間は、作業効率を高めるために、竹等の軽量の資材で尺棒を作り利用する等の現場レベルでの工夫が求められる。

## (2) 獣害

低密度植栽では、従来よりも植栽本数が少ないため、獣害に起因する局所的な枯死苗の発生は、その後の成林を危うくする可能性がある。獣害対策を取り、その被害程度の判断から必要であれば補植を行うことも考える。

本事業で確認された獣害は、宮城県のスギ及び三重県のヒノキの植栽地での植栽木へのウサギの食害であった。現時点では、被害は植栽密度の多寡に関係なく発生しており、生息密度・生息環境に影響を受けているように思われる。次年度に改めて分析・検等を行うこととする。

ちなみに、ニホンジカ・カモシカ・ノウサギ・ノネズミ等の生息が確認されている地域においては、シカ柵の設置、忌避剤の散布等を行い、獣害対策を実施することが重要である。

表 6-1 動物種別の対策例

動物種	被害状況	対策例
ノネズミ (ハタネズミ、スミスネズミ、ヤチネズミ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>根元付近の幹の剥皮が見られる。</li> <li>根の摂食が見られる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>樹幹を被覆（被覆高は積雪深を考慮）</li> <li>樹幹に忌避剤を塗布・散布、植栽木の周囲に忌避剤を散粒</li> </ul>
ノウサギ	<ul style="list-style-type: none"> <li>約 70cm 以下の高さで幹の歯跡や切断、枝葉の摂食が見られる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>忌避剤の塗布・散布</li> <li>樹幹を被覆（被覆高は積雪深を考慮）</li> </ul>
ニホンジカ	<ul style="list-style-type: none"> <li>30-150cm 位の高さに幹の剥皮・枝葉の摂食が見られる。</li> <li>角研ぎが見られる。</li> <li>踏み荒らしや折れが見られる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ツリーシェルター、小規模柵、大規模柵の設置</li> <li>忌避剤散布（被害初期）</li> <li>捕獲</li> </ul>
カモシカ	<ul style="list-style-type: none"> <li>20-150cm 位の高さに幹の枝葉の摂食が見られる。マーキングのための角擦りが見られる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>捕獲以外は基本的にニホンジカ対策と同様</li> </ul>

## (3) 気象害

本事業の実証植栽地で顕著な気象害は現時点で認められていない。気象害に関連する情報を以下に示す。次年度に改めて気象害に関わる文献情報を確認することとする。

東北日本海側の多雪地域で 1,000 本/ha 以下のスギの低密度植栽を行う場合には、幼齢期に雪圧害を受け、主伐時の優良木の収穫本数が減少するおそれがあるとの報告がある。この場合 1,000 本/ha よりも高い植栽密度で実施することが推奨されている(野口ら 2014)。

## (4) 下刈り作業

下刈りは、植栽木の競争相手となる雑草木のタイプ（常緑樹・落葉広葉樹・ススキ・キク科草本・ササ類）と、植栽木の成長特性や植栽立地の生産力に起因した植栽木の成長速度と

の関係を判断して行う。

これまでの 3,000 本/ha 程度の植栽密度では、下刈りは 1 年 1 回で 5～6 年で概ね終了している例が多い。一般的な考え方として、低密度植栽では、通常の植栽密度に比較し、植栽間隔が広がるため、雑草木のタイプや植栽立地によっては下刈り終了に至る期間が長くなる可能性がある。本事業の実証植栽地の植栽木の成長速度と雑草木の下刈り後の再生速度の解析を通じて、次年度にその検証を行い取りまとめる。

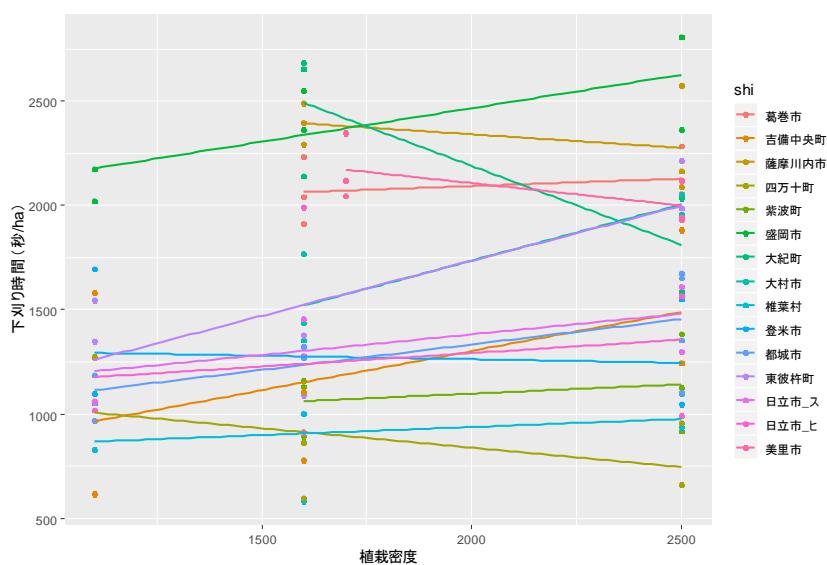
### ① 植栽密度と下刈り作業時間

下刈り作業時間に影響を及ぼすと思われる要因は、植栽密度のほか、下刈り作業地での雑草木の繁茂状態、下刈り作業地の地形や傾斜度、地拵えで存置された枝条の多寡、下刈り作業者の経験年数等である。

本年度の事業で植栽密度別の下刈り作業時間の分析を行った結果では、事例で紹介するように、植栽密度が密になるほど下刈り時間が長くなる傾向が見られたが、一部異なる傾向を示す地域もあり、その他の要因（地域や地形、雑草木の繁茂状況等）も影響を与えていると考えられるため、次年度にその検証を行い取りまとめる。

#### 【事例紹介：低密度植栽と下刈り（全刈り）時間の関係】

本事業で全国に設定した実証植栽地の内 15 箇所について、植栽密度 1,100 本/ha 区、1,600 本/ha 区、2,500 本/ha 区を対象に下刈りの時間分析を行った。下刈り時間データの統計解析から、植栽密度についてみると、植栽密度が高くなるほど下刈り時間が長くなる傾向が見られたが、一方で植栽密度が低い方が下刈り時間が長くなる植栽地もあり、一概に同様の傾向にあるとは認められなかった。





参考：4つの区分を用いた植栽木と雑草木の競争関係の把握

植栽木と雑草木の競争関係を示すのに C 区分判定がある。植栽木に対して、周辺の雑草木がどの程度生い茂っているかを簡潔に示すものである。C 区分判定の詳細は以下に示す。

C 区分判定基準

C-1：雑草木の高さが植栽木の高さの半分未満

C-2：雑草木の高さが植栽木の高さの半分以上で、植栽木の高さ未満

C-3：雑草木の高さが植栽木の高さと同じ

C-4：雑草木の高さが植栽木の高さを超えて覆っている

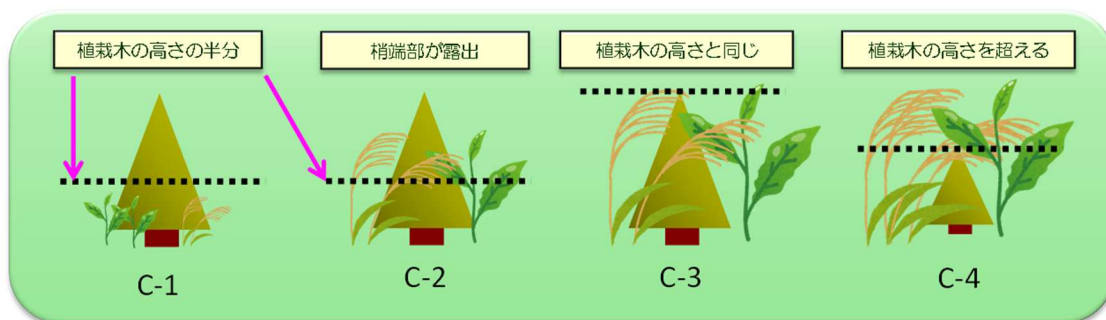
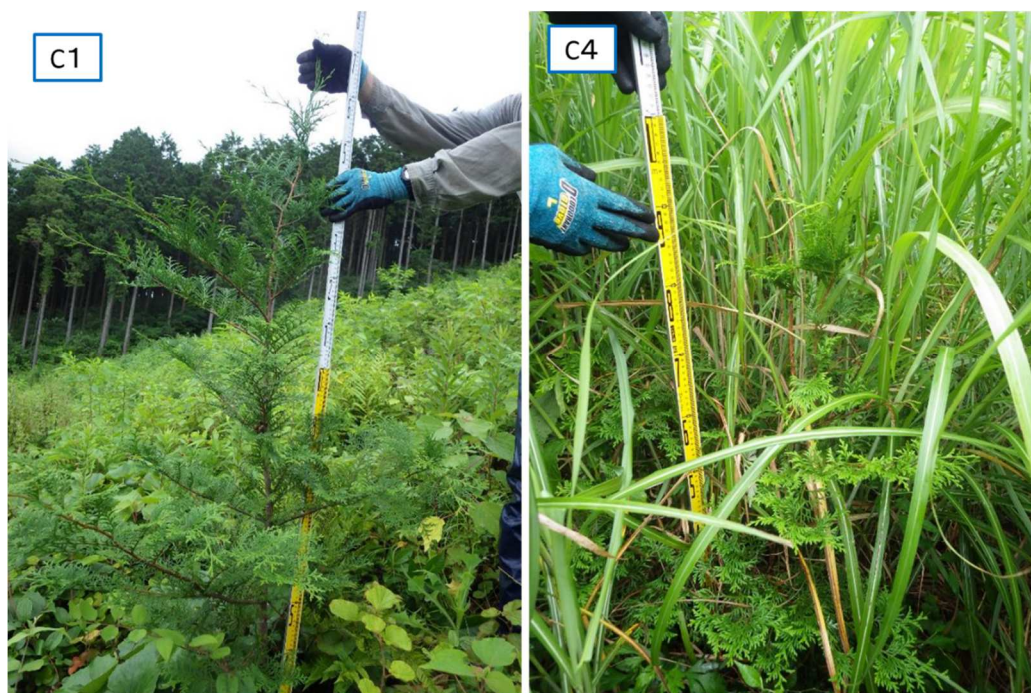


図 C区分の段階

(出典) 山川ら(2013)低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集：下刈りを省くとスギの成長はどうなる？,P26,森林総合研究所



## ② 植栽密度と誤伐

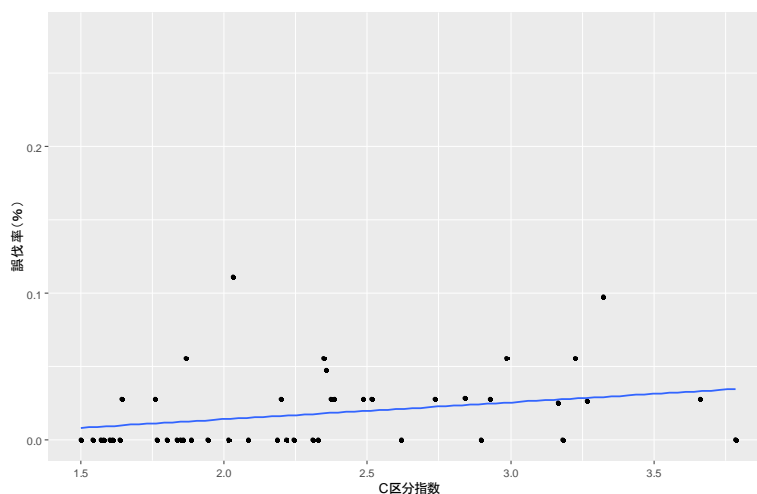
植栽密度 3,000 本/ha での植栽間隔は 1.8m である。低密度植栽になればこの間隔がさらに広がる。例えば、2,500 本/ha で 2.0m、1,600 本/ha で 2.5m、1,100 本/ha で 3.0m となる。当然、従来から下刈り作業に従事してきた作業員の下刈り時の植栽間隔に対する慣れや感覚は 3,000 本/ha の 1.8m や 2,500 本/ha の 2.0m の間隔である。低密度植栽 1,100 本/ha での 3.0m 間隔については感覚が異なり、その結果として誤伐の発生率が高くなると思われる。

しかし、本事業での調査より、誤伐の発生は植栽密度によって左右されないという結果が得られた。一方で、周辺雑草木が繁茂し植栽木の目視確認が難しい場所では、誤伐の可能性が高まることも判明した。

なお、下刈り作業を請け負う事業者によっては、その必要に応じ、誤伐防止のため植栽木への簡易な目印や、比較的大きな苗を使う等の対策を講じていた。推奨事例として以下に紹介する。

### 【事例紹介：誤伐の発生状況と雑草木の繁茂との関係】

本事業にて全国 19 箇所を設置した実証植栽地において、誤伐の発生要因について統計解析を行った結果、誤伐の発生に対して植栽密度の違いによる影響はなく、雑草木の繁茂状況、即ち雑草木が植栽木を覆ってしまっている状況が、下刈り作業時の誤伐を誘発するものであることがわかった。これは、下刈り作業者へのヒアリングの際にも、植栽木の目視確認の可否により下刈りの難易度は変化すると意見と一致している。



### 【事例紹介：誤伐の防止対策について】

各地域で取り組まれている誤伐防止対策について、事業者へのヒアリングを行うとともに、現地での確認を行った。

#### ■ 植栽間隔の徹底

植栽予定箇所とずれた箇所に植えることにより、下草が繁茂した状況下において植栽位置の想定がはずれ、誤伐となる可能性がある。等間隔や等高線に沿う形で出来るだけ植栽を行うと誤伐の防止に繋がる。

#### ■ 苗木への目印

植栽木にピンクテープ等で事前にマーキングをしておく。



#### ■ 植栽位置の目印に竹杭を挿す

先端が赤いペイントで塗られた割り竹で出来た杭を、植栽時の目印として利用し、そのまま下刈り実施時の目印としても利用している。雪起しをする際に、倒れた杭や抜けた杭を元に戻す作業を行う。



## 5. 低密度植栽における技術指針（参考）

本指針は、「低密度植栽技術の導入に向けた調査委託事業」内で得られた成果を整理するものであるが、つる切り以降の保育作業については、実証試験が行なわれていないため、過去の低密度植栽事例等を参考に提示するものである。

### （1）つる切り作業

低密度植栽地でクズ等のつる類が見られる場所では、下刈りが終了し林分閉鎖へ向かう段階でつる切りを確実に実施することが大切である。林分閉鎖がスギやカラマツに比べて相対的に遅くなるヒノキについては、つる被害が拡大するリスクが大きいので特段の注意を払って行うことを勧める。

フジやクズはつる類の中でも特に要注意である。他に、樹幹に巻き付いて悪影響を及ぼすつる類としてツルウメモドキ、テイカカズラ、キズタ、マタタビ等がある。

### （2）除伐作業

除伐は、植栽木の林冠が十分に閉鎖するまでに、林分内に侵入した広葉樹等を除去する作業である。低密度植栽の場合、従来の回数で下刈りを完了させた場合でも、その後に相当数の広葉樹が侵入・再生してくる可能性がある。このような場合には、必要に応じ、従来の除伐時期より前倒しで除伐を実施することも考えておく。

### （3）枝打ち作業

枝打ちは、植栽木の林冠が閉鎖して下枝が枯れ始めて実施する作業で、無節の長い完満な材を生産する目的で行うものである。材の用途として合板や集成材を想定する場合には、基本的に枝打ちは不要と考えられる。

### （4）間伐作業

低密度植栽での生産目標を並材生産とし、枝打ちや間伐を抑えた短伐期施業と考えた場合、基本的には無間伐で収穫するか、間伐を1回行ってから収穫することになると思われ、カラマツ（グイマツ雑種F1を含む）やスギについてはこの施業コースを想定して植栽密度を決めることは妥当である。ヒノキについては、必要に応じて低密度植栽における生産目標とそれに向けての間伐のあり方を考えておく。