

4. 低密度植栽における施業体系の整理

低密度調査で実施した実証植栽試験では、低密度植栽における植栽から5～6年後までの植栽木の生育状況や下刈り終了までの回数等を検証した。一方で低密度植栽については、下刈り以降の保育作業の知見が少なく、また低密度植栽で成林した場合に生産される木材の生産量の減少や強度の低下も懸念されている。

そこで、低密度植栽を実施して数十年が経過している林分について調査した文献等を収集・分析し、低密度調査で得られた知見と合わせて低密度植栽における植栽から主伐までの施業について整理した。また、低密度植栽で生産された木材の材質や材積等について情報の整理を行った。

作成した資料（「低密度植栽における施業イメージ」）を、次ページ以降に記載する。

低密度植栽における施業イメージ



林野庁

はじめに

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、確実な再造林を実施する必要があります。他方、森林所有者の再造林意欲を向上させていくためには、主伐後に再造林を行っても一定の利益が得られるよう、再造林の低コスト化が不可欠となっています。

再造林の低コスト化を図る手段として、コンテナ苗を利用した「伐採と造林の一貫作業システム」の導入や、成長に優れた優良品種の開発、早生樹導入などの検討が進められています。このような中で、低密度植栽技術の導入も低コスト化を進めるための選択肢の一つとして期待されています。

低密度植栽では、従来3,000本/ha程度の密度で行われていた植栽を、1,000～1,500本/ha程度の密度で植栽し、間伐回数を極力減らして主伐に至る施業を想定しています。

低密度植栽により育成する森林では、立木が梢殺（うらごけ）となり木材生産の歩留りの低下が懸念されている一方で、過密とならないために肥大成長が促進されることから、従来の施業と比較して遜色ない林分材積の確保も期待できます。

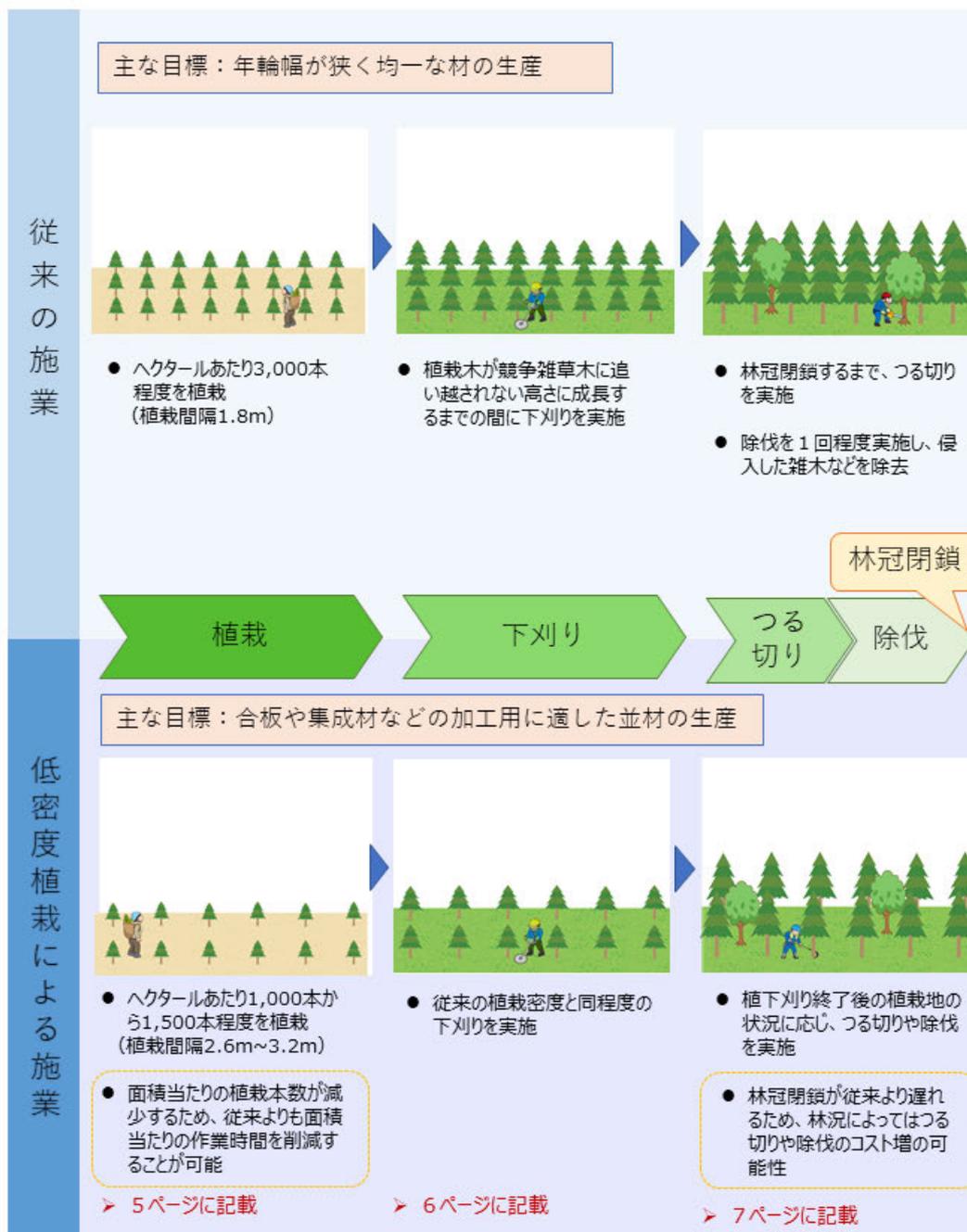
また、従来の施業では年輪幅が狭く均一な材の生産を目標としていたのに対し、近年の木材加工技術の進展や川下における木材需要の変化を踏まえ、低密度植栽では合板・集成材などの加工用に適した並材の生産を念頭に置いた施業となります。

なお、森林の公益的機能という観点から見ると、低密度植栽は、風倒被害を受けにくい形の立木からなる林床植生が豊かな森林を作ることにつながることを期待されています。

※本資料において、先行研究等の内容を参考とした部分には数字を付与し、11ページに「参考文献リスト」としてまとめています。（例 引用¹⁾）

低密度植栽と従来の植栽密度における施業の比較

低密度植栽と従来の密度での植栽における、施業の流れをまとめました。



低密度植栽
のメリット

- ▶ 植栽時の経費が削減できます。
- ▶ 保育間伐を省略し、間伐の回数を削減できます。
- ▶ 主伐時に得られる丸太の直径が大きくなり、また1,500本/ha以上であれば従来と遜色ない材積量の確保ができます。

従来の
施業



- 保育間伐と搬出間伐を合わせて3回以上実施し、形質不良木を除去した上で植栽木のサイズを揃え、適正な密度へ誘導

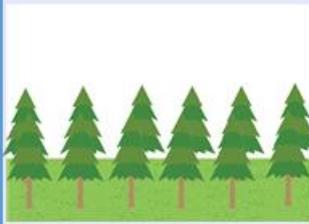
- 年輪幅が均一で良質な木材を生産

保育間伐

搬出間伐

主伐

低密度植栽
による
施業



- 若齢時の保育間伐を省略し、搬出間伐を1～2回程度実施

- 肥大成長が促されるため1,500本/ha以上ならば、従来と遜色ない林分材積が確保できる

▶ 8ページに記載

▶ 9ページに記載

低密度植栽における施業について（①植栽）



- ✓ 低密度植栽では、苗木の購入費だけでなく植栽作業にかかる労務費も削減できます。
- ✓ 低密度植栽では元々の植栽本数が少ないため、獣害などによる枯死にはより一層の注意が必要です。

◆ 植栽作業について

低密度植栽では、面積当たりの植栽本数が減少するため、苗木の購入費を削減できるだけでなく、植栽作業にかかる労務費も削減できます。^{1) 2)} (図1)

低密度植栽における植栽間隔は、表1のとおりです。

従来よりも植栽間隔が広がるため、植栽位置を迷わないように、あらかじめ尺棒などを用意しておくことで作業効率を高めることができます(写真1)。



写真1 尺棒を利用した植栽位置の決定

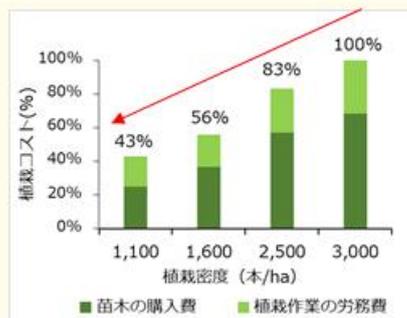


図1 植栽密度と植栽コストの関係 (茨城県・スギの事例)

表1 低密度植栽における植栽間隔

| 植栽密度 | 低密度 | | 従来 |
|------|------------|------------|------------|
| | 1,000本 /ha | 1,500本 /ha | 3,000本 /ha |
| 植栽間隔 | 3.2m | 2.6m | 1.8m |

◆ 植栽密度について

既存の低密度植栽試験の結果等を整理すると、成林や並材としての木材利用に影響が少ない植栽密度は表2のとおりです。¹⁾

ただし、保安林の場合は指定施業要件の中で植栽密度が定められており、各都道府県の補助対象にも最低植栽密度が定められている場合があるため、各自治体の林務担当等に確認ください。

また、低密度植栽では植栽本数が少ないため、獣害等による枯死により一層注意する必要があります。そのため、獣害が多い地域では防鹿柵や、ツリーシェルター等の単木保護資材(写真2)による対策が必須となります。

単木保護資材の設置は防鹿柵に比べてコストがかかりますが、植栽本数が少ない低密度植栽では、コストを低減させることが可能です。

表2 成林や並材としての木材利用に影響が少ないと考えられる植栽密度

| 樹種 | 植栽密度 |
|------|-------------------|
| スギ | 1,000～1,500本/ha以上 |
| ヒノキ | 1,500本/ha以上 |
| カラマツ | 1,000本/ha以上 |



写真2 単木保護資材の設置例

低密度植栽における施業について (②下刈り)



- ✓ 低密度植栽では、下刈りの作業時間を短縮できる可能性があります。
- ✓ 植栽木の成長が良好であれば、林冠閉鎖する前に雑草木から大きく抜け出せるため、低密度植栽であっても従来の植栽密度と同程度の回数で下刈りを終了できます。

◆ 下刈り (全刈り) の作業効率

植栽密度ごとに下刈り作業時間を測定した結果、地形などに大きく影響されるものの、全体として植栽密度が低い方が下刈り作業の時間が短くなる傾向が見られました (図2)。¹⁾

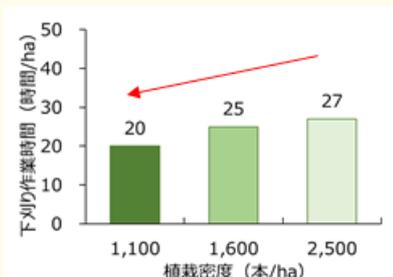


図2 植栽密度ごとの下刈り作業時間 (ヘクタールあたり、試験地19箇所の平均値)

◆ 部分刈り (筋刈り・坪刈り)

部分刈りを行った場合にも、植栽密度が低い方が作業時間が短くなったという研究事例があります^{3) 4)} (図3)。ただし、以下の点に注意しましょう。

- 刈り残した部分の植生 (特につる植物など) が、さらに繁茂する可能性があります。
- 刈り残した部分が、ノネズミ等の生息場所になる可能性があります。

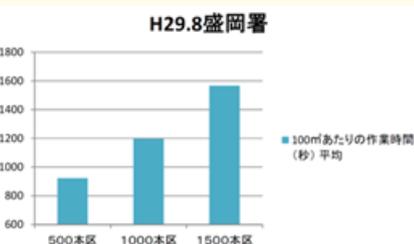
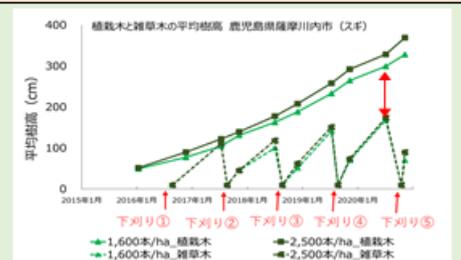


図3 植栽密度ごとの下刈り作業時間 (筋刈り) (100m²あたり)

(山中啓介(2011)「平成22年度低コスト育林高度化事業報告書」から抜粋)

下刈り終了までの回数について (本事業における実証試験の結果)⁵⁾

スギ



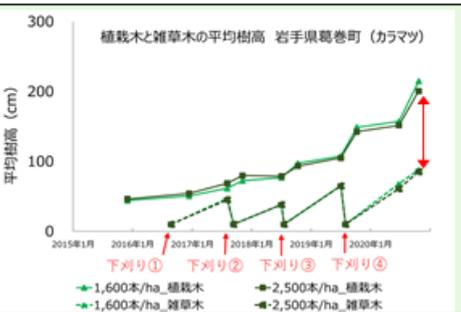
- 鹿児島県薩摩川内市の事例 (スギ)
- 1,600本/ha、2,500本/haともに4回目の下刈りで雑草木との樹高差が開いたため、下刈り終了可能。

ヒノキ



- 長崎県大村市の事例 (ヒノキ)
- 1,600本/ha、2,500本/haともに成長が良好で雑草木との樹高差が大きく開いたため、4回目の下刈りで終了可能。

カラマツ



- 岩手県葛巻町の事例 (カラマツ)
- 1,600本/ha、2,500本/haともに成長が良好で、雑草木との樹高差が大きく開いたため、4回目の下刈りで終了可能。

低密度植栽における施業について（③下刈り後の保育作業）

- ✓ 低密度植栽では、従来よりも林冠閉鎖が遅れるため、下刈り終了後につる植物や広葉樹等の雑木が侵入してくる期間が長くなります。
- ✓ そのため、林況によってはつる切りや除伐のコストが増える可能性があります。下刈りが終了した後も植栽地をよく見回り、特につる植物による被害に注意しましょう。

◆ つる切り

植栽木へにつる植物の巻き付きは、樹幹の変形や折損などの重大な被害を生じさせます（写真3）。

低密度植栽では林冠閉鎖が遅れるため、つる植物の繁茂状況によってはつる切り作業の回数が増える可能性があります。下刈り終了後も植栽地の状況を確認し、つる植物の巻き付きが確認された場合は、つる切り作業を着実に実施しましょう。



写真3 つるの巻き付きで折損した5年生ヒノキ

◆ 除伐

低密度植栽では、従来より植栽木の立木密度が低いため、早期に形質不良木を取り除く必要性は低いと考えられます。

一方で、林冠閉鎖までに侵入する雑木に関しては、植栽地の環境条件や周囲に生育している植生の種組成等によって様々な状況が考えられます。

つる植物と同様、下刈り終了後も植栽地をよく見回り、もし植栽木を強く被圧するような状況になれば除伐の実施を検討しましょう。

林冠閉鎖の時期について

- ✓ 本事業の実証試験で得られた植栽木の樹冠幅の成長量（植栽後6年程度まで）から、低密度植栽下で隣国土の植栽木の樹冠が接する時期※を推定しました。⁵⁾

※ 実際に林冠閉鎖し、林床が暗くなるまでには、さらに数年が必要です。

◆ 鹿児島県薩摩川内市の調査事例（スギ）

| | 低密度 | 従来 |
|----------|-----------|-----------|
| 植栽密度 | 1,600本/ha | 2,500本/ha |
| 樹冠が接する林齢 | 10年生 | 8年生 |

※1,100本区は未設定

◆ 岡山県吉備中央町の調査事例（ヒノキ）

| | 低密度 | | 従来 |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| 植栽密度 | 1,100本/ha | 1,600本/ha | 2,500本/ha |
| 樹冠が接する林齢 | 10年生 | 8年生 | 7年生 |

◆ 岩手県葛巻町の調査事例（カラマツ）

| | 低密度 | 従来 |
|----------|-----------|-----------|
| 植栽密度 | 1,600本/ha | 2,500本/ha |
| 樹冠が接する林齢 | 11年生 | 9年生 |

※1,100本区は未設定

低密度植栽における施業について (④間伐)



- ✓ 低密度植栽では、元々の植栽本数が少ないため、採算性の劣る保育間伐を省略でき、従来の植栽密度よりも間伐回数を減らすことができます。
- ✓ 既存の調査・研究事例を見てみると、(除伐を除いて) 間伐の回数は1,000本/ha程度では1回程度、1,500本/ha程度では1～2回程度です。

スギ

◆ スギの事例 宮崎県日南市 大荷田国有林⁶⁾

【施業履歴】

- 円形に植栽された林分密度試験地
- 除伐1回実施、間伐は未実施

【間伐時期の目安】

- 間伐が必要となる目安の「収量比数 $R_y=0.8$ 」に到達するのは、1128本/haでは概ね30年生の時、1626本/haでは概ね25年生の時(図4)。

スギの成長が良い事例ではありますが、約1,000本/haの場合は概ね30年生の時に間伐すれば、間伐は一度で良さそうです。

※収量比数 R_y ：林分の込み具合の指標。
0.8以上で込み過ぎ→間伐が必要とされる。

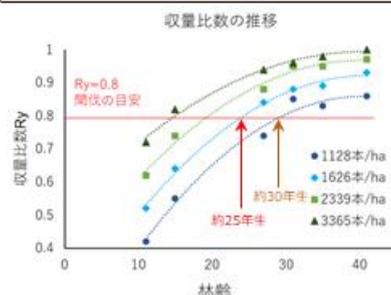


図4 収量比数の推移(宮崎県日南市) 下山・石神(2017)より作成

ヒノキ

◆ ヒノキの事例 広島県福山市 新元重山国有林(46年生時の時点)⁷⁾

【1,000本/ha】→間伐1回実施



- 42年生時に初回の間伐(保育間伐は未実施)
- 46年生時の収量比数は0.58

【1,500本/ha】→間伐2回実施



- 26年生時と42年生時に間伐を実施
- 46年生時の収量比数は0.73

カラマツ

◆ カラマツの事例

(成林したカラマツの事例が少ないため、「北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフト」によるシミュレーションの事例を掲載)⁸⁾

【間伐実施の条件】

- 地位指数 22(北海道の平均的な林地)
26(より良い条件の林地)
- 中庸仕立て(収量比数0.8以上で間伐実施)
- 全層30%間伐

【間伐の回数】※伐期40年の時

- 1,000本/haでは
0回(地位指数22)
1回(地位指数26)
- 1,500本/haでは
1回(地位指数22)
2回(地位指数26)

低密度植栽における施業について (⑤主伐)



- ✓ 低密度植栽で主伐まで至った事例はまだありませんが、参考として低密度植栽を実施した試験地における、40～50年生時のデータを掲載します。
- ✓ 胸高直径は、植栽密度が低いほど大きくなります。林分材積は、1,500本/haでは3,000本/haに遜色なく、1,000本/haでは少し小さくなる事例が多く見られます。

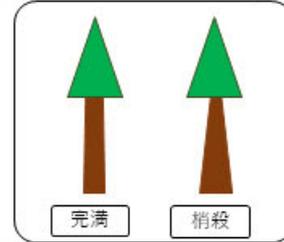
| | | |
|------|---|---|
| スギ | <p>◆ スギの事例 宮崎県日南市大荷田国有林 (45年生時のデータ) ⁹⁾</p> <p>【施業履歴】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 円形に植栽された林分密度試験地 ➢ 除伐1回実施、間伐は未実施 <p>【45年生時の胸高直径と林分材積】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 植栽密度が低いほど、胸高直径は大きい。 ➢ 林分材積は、約2,300本/haで最大となる。約1,600本/haでは約3,300本/haと遜色がないが、約1,100本/haでは低下した。 | <p>図5 植栽密度ごとの胸高直径と林分材積 (宮崎県日南市) 宮崎南部森林管理署(2018)より作成</p> |
| ヒノキ | <p>◆ ヒノキの事例 広島県福山市新元重山国有林 (46年生時) ⁷⁾</p> <p>【施業履歴】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 除伐3回実施 ➢ 間伐2回実施 (1,000本/haは1回) <p>【46年生時の胸高直径と林分材積】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 植栽密度が低いほど、胸高直径は大きい。 ➢ 林分材積は、2,000本/haが最大となる。1,500本/haでは3,000本/haと遜色がないが、1,000本/haでは低下した。 | <p>図6 植栽密度ごとの胸高直径と林分材積 (広島県福山市) 近畿中国森林管理局(2019)より作成</p> |
| カラマツ | <p>◆ カラマツの事例 ¹⁰⁾</p> <p>※「北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフト」によるシミュレーションの事例を掲載</p> <p>【40年生時の末口径別丸太材積】</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 林分材積は、1,500本/ha以上と比較して1,000本/haで僅かに低下。 ➢ 生産目標である末口径14cm以上の丸太材積は、植栽密度が低いほど増加。 | <p>図7 植栽密度ごとの末口径別丸太材積と育林コスト 八坂ら(2011)から抜粋・一部修正</p> |

低密度植栽における木材の形質や強度について

◆ 低密度植栽における樹幹の細りについて

低密度植栽により生産される立木は、梢殺（うらごけ）の樹幹になりやすいことが懸念されています。

そこで、低密度植栽により成林した林分において、樹幹の細り具合を実際に測定した事例を列挙しました。



事例① 広島県福山市（スギ42年生、ヒノキ41年生）¹¹⁾

- ✓ 植栽密度は、1,000・1,500・2,000・3,000本/ha。
- ✓ 間伐伐倒後に、一定の地上高ごとに直径を測定し、樹高1.2m部の直径を1とした時の各部の相対直径を求めた。
- ✓ スギでは、上部における樹冠の細りはほとんど認められなかった。（図8左）
- ✓ ヒノキでは、地上高6.2mから上部について、1,000本/haで樹幹の細りが認められた。（図8右）

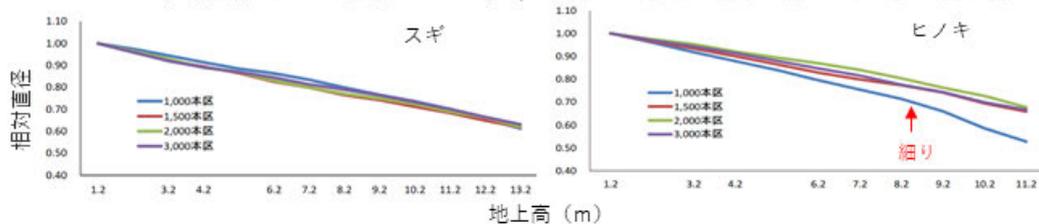


図8 地上高別の相対直径（地上高1.2m部を1とした場合）（左：スギ、右：ヒノキ）
（堂蘭・藤原(2016)より抜粋、一部改変）

事例② 青森県五戸町（スギ65年生）¹²⁾

- ✓ 植栽密度は、1,000本/ha。
- ✓ 樹幹解析を実施したところ、低密度植栽林で、梢殺等の特徴的な形状は見られなかった。（図9）

事例③ 高知県宿毛市（ヒノキ48年生）¹³⁾

- ✓ 植栽密度は、1,500・3,000・6,000本/ha。
- ✓ 伐倒調査を実施し、樹幹の細り具合を調べたところ、植栽密度が異なっても樹幹の細り具合に大きな違いはなかった。

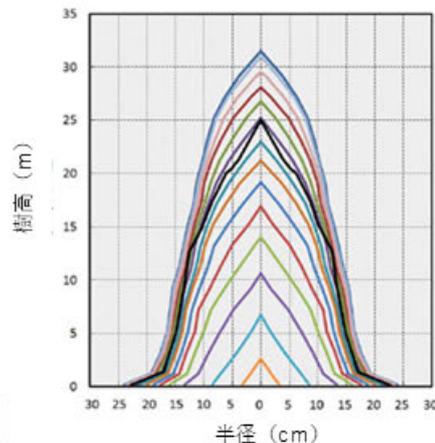


図9 樹幹解析図（青森県五戸町）
※色付きの線は、低密度植栽地（1,000本/ha）の5年毎の樹幹型
※黒線は、対照林（2,000本/ha）における伐採時の樹幹型
（青森県産業技術センター林業研究所(2019)より抜粋、一部改変）

◆ 低密度植栽における木材の強度について

低密度植栽により生産される立木は、肥大成長が促進されて年輪幅が広がるため、木材としての強度が従来より劣る可能性が指摘されています。

そこで、低密度植栽により成林した林分において、木材の強度を測定した事例を列挙しました。

※ヤング率：木材の変形性能を示す基礎常数。
木材の強度と高い相関がある。

事例④宮崎県日南市（スギ35年生）¹⁴⁾

- ✓ 円形に植栽された林分密度試験地であり、植栽密度は376～10,000本/ha。
- ✓ 「ファコップ」を用いて、ハンマーで樹幹上に設置したセンサーを叩き、発生した応力波が樹幹中を一定距離通過するのに要した時間を測定した。
- ✓ 測定の結果、植栽密度が低くなるほど応力波の伝播速度が低下した。音速とヤング率との間には正の直線関係が認められていることから、植栽密度が低くなるほどヤング率が低下することが示唆された。

事例⑤広島県福山市（スギ42年生・ヒノキ41年生）¹¹⁾

- ✓ 植栽密度は、1,000・1,500・2,000・3,000本/ha。
- ✓ 事例④と同様に、「ファコップ」を用いて応力波の伝播速度を測定した。
- ✓ スギ・ヒノキともに、植栽密度が低くなるほど動的ヤング率が低下した。
- ✓ さらに、得られた結果から静的ヤング率を推計して、日本農林規格（JAS）における製材の機械等級で区分したところ、スギでは1,000本/haでもE70（多くの都道府県が製品規格の下限としている）以上が78%あった。また、1,500本/ha以上では、ほとんどがE70を上回っていた。
- ✓ ヒノキでは、どの植栽密度でもほとんどがE90（ヒノキの製品規格の下限）を上回っていた。

事例⑥青森県むつ市（スギ60年生）、五戸町（スギ68年生）¹⁵⁾

- ✓ 植栽密度は、1,700本/ha（むつ市）、1,000本/ha（五戸町）。
- ✓ 伐倒した丸太を製材し、建築に使う柱や梁のサイズで曲げ試験を実施した。
- ✓ 曲げヤング係数と曲げ強さは対照林（2,000・3,000本/ha）に比べてやや低下したものの、曲げヤング係数は日本農林規格（JAS）の機械等級でE50からE90の範囲内にあり、曲げ強さも建築基準の法令で定められるスギの基準強度の下限を上回っていた。
- ✓ 以上より、どちらも建築材としての利用が十分可能な強度を保持していることが分かった。

- 現時点で成林している事例では、スギは1,000本/ha以上、ヒノキは1,500本/ha以上であれば梢殺等の形状は確認されませんでした。
- 植栽密度が低くなるほどヤング率は低下する場合もありましたが、1,000本/ha程度の密度であっても一定の強度を保持していました。

参考文献

- 1) 林野庁(2020)低密度植栽で低コストで効率的な再造林を目指す！
- 2) 山中啓介(2009)平成20年度低コスト育林高度化事業報告書、林業機械化協会、67-72
- 3) 山中啓介(2011)平成22年度低コスト育林高度化事業報告書、林業機械化協会、38-50
- 4) 東北森林管理局森林技術・支援センター(2017)低密度植栽試験
- 5) 林野庁(2021)令和2年度低密度植栽技術追跡調査に関する委託事業報告書
- 6) 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
- 7) 近畿中国森林管理局(2019)植栽本数密度による林分構造変化及び材質試験中間報告
- 8) 立花敏・駒木貴彰・石橋聡・八坂通泰(2011)カラマツ人工林経営の施業と収支との関係、カラマツ資源の循環利用をめざして－新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業成果集－、森林総合研究所・北海道立総合研究機構林協試験場・林産試験場、19-20
- 9) 宮崎南部森林管理署(2018)林分密度試験地資料
- 10) 八坂通泰・山田健四・滝谷美香・中川昌彦・大野泰之(2011)カラマツ人工林における効率的施業モデルの提案、カラマツ資源の循環利用をめざして－新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業成果集－、森林総合研究所・北海道立総合研究機構林協試験場・林産試験場、15-16
- 11) 堂園理一郎・藤原昭博(2016)低密度植栽で造成されたスギ・ヒノキの標準伐期齢を超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、平成27年度森林・林業交流研究発表会集録（近畿中国森林管理局）、30-37
- 12) 青森県産業技術センター林業研究所(2019)青森県版スギ低コスト施業技術指針
- 13) 小谷英司・平田泰雅・都築伸行・門田春夫・弘田孝行・松本剛史(2006)奥足川山ヒノキ人工林収穫試験地の調査結果、森林総合研究所四国支所年報47、25-26
- 14) 福地晋輔・吉田茂二郎・溝上展也・村上拓彦・加治佐剛・太田徹志・長島啓子(2011)低コスト林業に向けた植栽密度の検討－オビスギ植栽密度試験地の結果から－、日本森林学会誌93、303-308
- 15) 上野文明・矢本智之(2019)低密度植栽のスギの木材強度をはかる、低コスト再造林に役立つ"下刈り省略手法"アラカルト、20-21

低密度植栽や低コスト再造林に関する刊行物等

◆ 森林づくりの新たな技術（林野庁）

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

上記のウェブページ内に、以下の資料も掲載されています。

「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」

「低密度植栽技術導入のための事例集」

「低密度植栽で低コストで効率的な再造林を目指す！」

（初版：令和2年3月発行、改訂版：令和3年2月発行）

◆ 低コスト再造林への挑戦——貫作業システム・コンテナ苗と下刈り省力化——

（編著者：中村松三・伊藤哲・山川博美・平田令子、出版社：日本林業調査会、

初版：令和元年8月発行、定価：2,200円＋税）

◆ 植える本数を減らしてみませんか（北海道立林業試験場、平成18年2月発行）

<https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fri/kanko/fukyu/pdf/cd-ueru.pdf>

◆ ここまでやれる再造林の低コスト化——東北地域の挑戦——

（国立研究開発法人 森林総合研究所東北支所、平成28年2月発行）

https://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/business/arc/past_info/documents/3rd-chuukiseika33.pdf

◆ 青森県版 スギ低コスト施業技術指針

（青森県産業技術センター 林業研究所、平成31年3月発行）

https://www.aomori-itc.or.jp/docs/2019040400037/files/H30sugi_lowcost_manual.pdf

◆ 低コスト再造林に役立つ“下刈り省略手法”アラカルト

（国立研究開発法人 森林総合研究所東北支所、平成31年3月発行）

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/4th-chuukiseika22.pdf>

◆ 新たな再造林の手引き（島根県、平成28年9月発行）

https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/ringyo/shubatsu_saizourin/index.data/saizourin-tebiki.pdf

◆ 新たな再造林の手引き（森林再生モデル編）～森林経営で収入を得るために～

（島根県、令和2年7月発行）

https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/ringyo/shubatsu_saizourin/index.data/saiseimoderu.pdf

◆ 岩手県低コスト再造林事例集（岩手県農林水産部森林整備課、平成26年12月発行）

https://www.pref.iwate.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/008/317/2612_low_cost.pdf

◆ 2000本植栽育苗林技術体系（広島県、平成28年3月発行）

<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/86/ikurin.html>