

令和元年度
低密度植栽技術の導入に向けた調査委託事業
報 告 書

令和2（2020）年3月
林 野 庁

目 次

1.	事業の概要.....	1
1-1.	事業名	1
1-2.	事業の背景と目的	1
1-2-1.	背景と目的.....	1
1-2-2.	事業の進め方と考え方	1
1-2-3.	全体計画と今年度の位置づけ	2
1-3.	事業実施内容	5
1-4.	検討委員会の設置・運営	8
1-5.	実証試験地一覧.....	10
2.	事業成果要約	12
2-1.	文献調査.....	12
2-2.	既存試験地調査.....	13
2-3.	実証試験地調査.....	14
2-4.	低密度植栽施業指針の作成	17
2-5.	地域版事例集の作成	17
2-6.	林業技術者向けパンフレット原稿の作成	17
3.	平成 27（2015）年度から平成 29（2017）年度植栽の実証試験地における 追跡調査および下刈の実証調査.....	18
3-1.	調査概要.....	18
3-1-1.	追跡調査	18
3-1-2.	下刈り実証調査	22
3-1-3.	初期保育コスト分析.....	24
3-2.	平成 27（2015）年度植栽の実証試験地での実施結果	25
3-2-1.	東北地方	27
(1)	岩手県 紫波町（カラマツ）（No. 1）	27
(2)	岩手県 盛岡市（カラマツ）（No. 2）	40
(3)	岩手県 葛巻町（カラマツ）（No. 3）	53
(4)	宮城県 登米市（スギ）（No. 4）	66
3-2-2.	近畿・中国地方	80
(1)	三重県 大紀町（ヒノキ）（No. 5）	80
3-2-3.	九州地方	93
(1)	長崎県 大村市（ヒノキ）（No. 6）	93
(2)	長崎県 東彼杵町（ヒノキ）（No. 7）	105
(3)	熊本県 美里町（スギ）（No. 8）	119

(4)	宮崎県 椎葉村 (スギ) (No. 9)	132
(5)	鹿児島県 薩摩川内市 (スギ) (No.10)	145
3-3.	平成 28 (2016) 年度植栽の実証試験地での実施結果	159
3-3-1.	関東地方	161
(1)	茨城県 日立市 (ヒノキ) (No.11)	161
(2)	茨城県 日立市 (スギ) (No.12)	175
3-3-2.	中部地方	188
(1)	岐阜県 高山市 (カラマツ) (No.13)	188
3-3-3.	近畿・中国地方	201
(1)	岡山県 吉備中央町 (ヒノキ) (No.14)	201
3-3-4.	四国地方	214
(1)	高知県 四万十町 (ヒノキ) (No.15)	214
3-3-5.	九州地方	228
(1)	宮崎県 都城市 (スギ大苗・スギ普通苗) (No.16)	228
3-4.	平成 29 (2017) 年度植栽の実証試験地での実施結果	246
3-4-1.	北海道地方	248
(1)	北海道 下川町 (カラマツ) (No.17)	248
3-4-2.	東北地方	261
(1)	秋田県 由利本荘市 (スギ) (No.18)	261
3-4-3.	中部地方	274
(1)	富山県 立山町 (スギ) (No.19)	274
3-5.	実証試験地での実施結果まとめ	286
4.	実証調査データを用いた各種分析について	292
4-1.	樹高成長量への影響解析	292
4-1-1.	解析方法	292
4-1-2.	健全個体データを用いた解析結果	294
(1)	スギの解析結果 (健全個体データ)	295
(2)	ヒノキの解析結果 (健全個体データ)	297
(3)	カラマツの解析結果 (健全個体データ)	299
(4)	健全個体データの解析結果まとめ	300
4-1-3.	競合状態データを用いた解析結果	301
(1)	スギの解析結果 (競合状態データ)	301
(2)	ヒノキの解析結果 (競合状態データ)	302
(3)	カラマツの解析結果 (競合状態データ)	304
(4)	競合状態データの解析結果まとめ	305
4-2.	下刈り実施に関する解析	306

4-2-1.	下刈り作業時間の分析	306
(1)	調査方法	306
(2)	解析方法	306
(3)	解析結果	306
(4)	考察	307
4-2-2.	誤伐の発生状況	308
(1)	調査方法	308
(2)	分析方法	308
(3)	分析結果	308
5.	低密度植栽施業指針の作成	310
6.	地域版低密度植栽施業指針の作成	311
7.	林業技術者向けパンフレット原稿の作成	312
巻末資料		313
検討委員会議事概要		313
1.	第1回検討委員会議事概要	313
2.	第2回検討委員会議事概要	317
3.	第3回検討委員会議事概要	320

1. 事業の概要

1-1. 事業名

令和元年度低密度植栽の導入に向けた調査委託事業

1-2. 事業の背景と目的

1-2-1. 背景と目的

森林資源の成熟による主伐（皆伐）の増加が予想される中、森林の多面的機能を十分に発揮していくためには、間伐の推進に加え、主伐後の再生林を確実に実施することが必要となっている。

他方で、森林所有者等の再生林への意欲を向上させるとともに、限られた財源の下で効率的に再生林を行うためには、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。

こうした中、近年、植栽本数を減らして、造林・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ところであるが、そのための技術（以下、「低密度植栽技術」という。）については、成林の確実性、コスト削減効果、気象害や病虫獣害等への耐性等について十分な知見が得られていない状況にある。

このため、本事業では低密度植栽技術について、森林の有する多面的機能の発揮や森林経営などの多様な観点から実証、評価、分析を実施し、その結果を踏まえ、低密度植栽による施業の指針（以下、「低密度植栽施業指針」という。）を作成することを目的とする。

1-2-2. 事業の進め方と考え方

本年度の調査は、平成 27（2015）年度当初に策定した 5 年間の全体計画（図 1-1）および仕様に沿いながら調査を実施するとともに、図 1-2 に示す（1）～（7）の項目について事業を実施するものである。

また、事業の実施および取りまとめに当たっては、以下の点に留意して検討を行う。

- ・再生林の低コスト化を図るためには、コンテナ苗を利用し低密度植栽技術を取り入れた一貫作業システムの導入が期待されている。しかし、低密度植栽による低コスト化を図るためには様々な課題があり、その課題をクリアしながら、事業の最終目的である低密度植栽技術の施業指針を作成する必要がある。
- ・下刈り回数の軽減やシカ被害対策の軽減に伴うコスト削減を目指した場合、大型コンテナ苗（本事業では、スギ 90～100cm 程度のコンテナ苗を試験）の導入ならびに低密度植栽の併用も有効であると考えられることから、これら双方の導入可能性についての検討を行う必要がある。
- ・低密度植栽技術の導入のための事務や基準、補助手段等に対する普及啓発を実施する必要があるため、関係都道府県担当者との低密度植栽技術にかかる意見交換や成果の共有を行う必要がある。

1-2-3. 全体計画と今年度の位置づけ

本事業は5年間での実施を計画しており、本年度は5年間計画の最終年度である。年度ごとに取得データ等に差が生じないようにする必要があることから、調査方法等も含めた低密度植栽技術の指針策定までの工程について、平成 27（2015）年度に5年間の全体計画が策定されている。

過去に行われてきた低密度植栽の実証試験においては、1,000～2,000 本/ha 程度の植栽密度で実施されることが多かった。そこで本事業における実証試験では、植栽間隔の明瞭さも考慮したうえで、1,100 本/ha（植栽間隔 3 m）と 1,600 本/ha（植栽間隔 2.5m）の2つを低密度植栽区として設定し、比較対象として 2,500 本/ha（植栽間隔 2 m）を設定することとした。また、実証試験にあたり使用する植栽木は全てコンテナ苗とした。

なお、より低コスト化を目指すため、スギ「大型 90～100cm 程度のコンテナ苗」の低密度植栽（1,000～1,200 本/ha 程度）の導入の可能性についても、5年間をかけて検討および実証を行い、大型苗植栽技術の導入に伴う成果（下刈り回避によるコスト削減とシカ食害対策の軽減等）および課題（苗木購入費と植栽植穴施工負担によるコスト増加等）の整理も行う。

平成 29（2017）年度に植栽した実証試験地のうち、平成 30（2018）年度の調査時点で枯死率が5割を超えている北海道地方については、将来の追跡調査の実施を念頭に、低密度植栽実証試験地として維持するために補植作業を行う。

また、各実証試験地の追跡調査と下刈りの実証試験を実施し、データを整理する。これらの成果を整理、分析し、5年間の全体計画の最終成果として、低密度植栽技術を地域に普及させるための技術指針、事例集、パンフレット原稿を作成するものとする（図 1-1、図 1-2）。

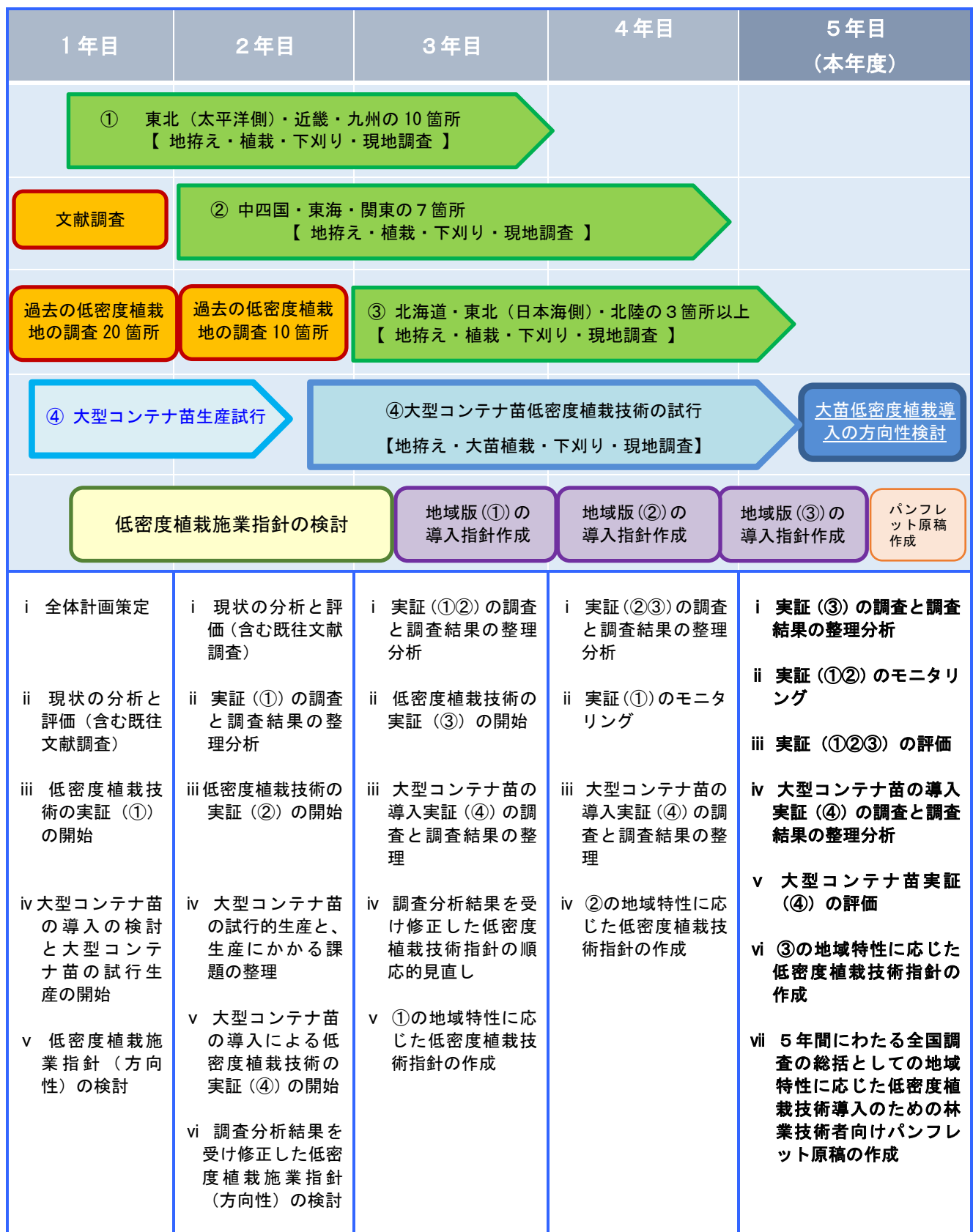


図 1-1 本事業の全体計画

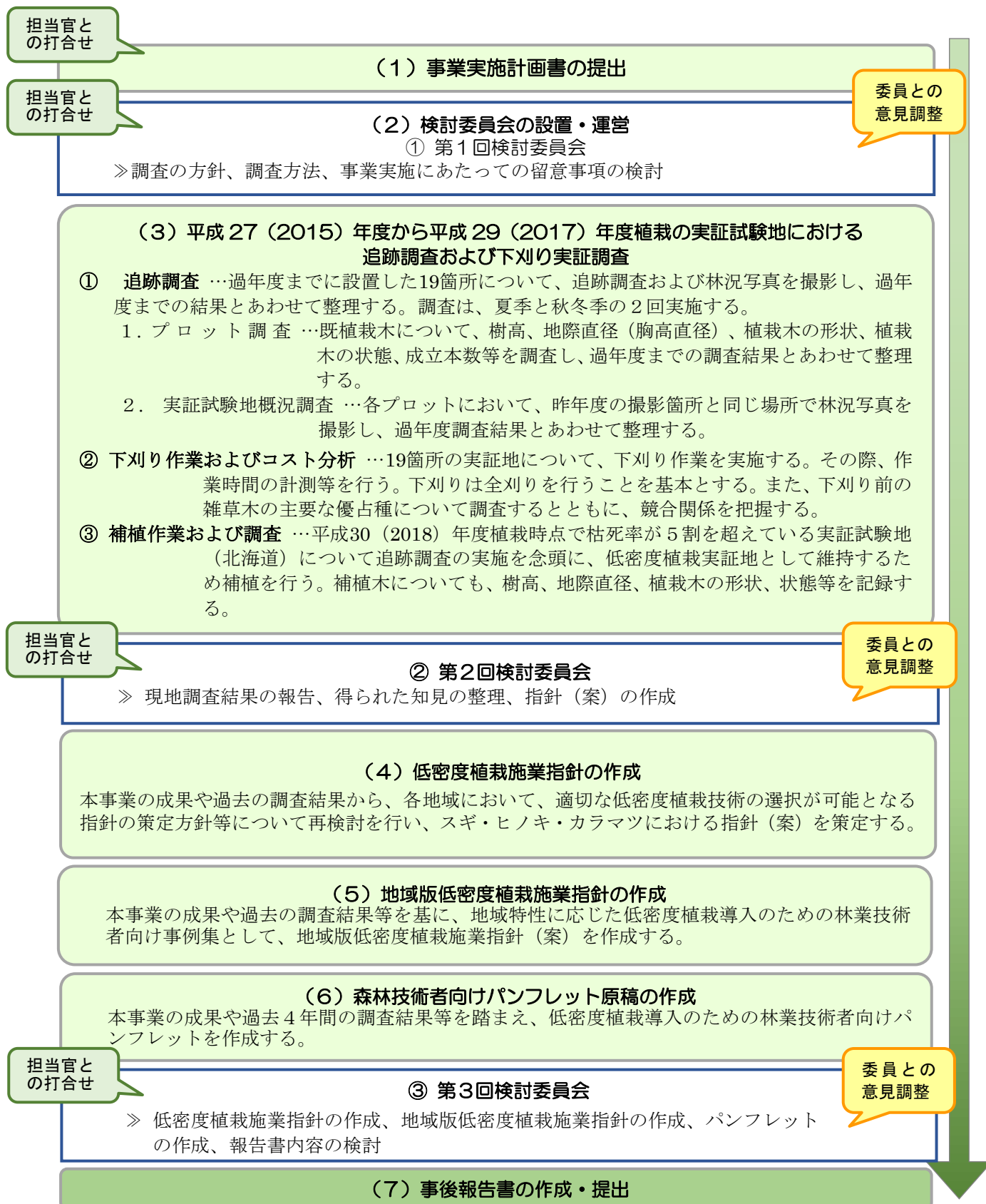


図 1-2 令和元(2019)年度の調査内容および調査の進め方のフロー

1-3. 事業実施内容

本年度事業において、以下（１）～（７）を実施した。

（１）調査計画書の提出

検討委員会および林野庁担当者との協議を経て、調査項目ごとの具体的な調査方法および実施スケジュール、実施体制等を確定し、調査計画書に明記し提出した。

林野庁担当者との打合せおよび協議は、業務計画の作成時、３回の検討委員会開催時、各調査項目の調整および進捗報告時、業務の取りまとめの検討時等に実施した。

（２）検討委員会の設置・運営

事業実施にあたっては、「低密度植栽施業指針検討委員会」を設置し、３回の委員会を開催し、同委員会委員より調査・取りまとめに対しての必要な技術指導および助言を受けた。

なお、検討委員、委員会の実施日および主な検討内容、開催時の状況については「1-4 検討委員会の設置・運営」に、また議事概要については「巻末資料」に後述する。

（３）平成 27（2015）年度から平成 29（2017）年度植栽の実証試験地における追跡調査および下刈り実証調査

① 追跡調査

平成 27（2015）年度から平成 29（2017）年度の調査事業で植栽した 19 箇所の実証試験地（図 1-3、表 1-3）において、次の調査を行った。

i プロット調査

すでに設定されている調査プロット内の植栽木について、樹高、地際直径（胸高直径）、植栽木の形状、植栽木の状態、植栽木の成立本数等を調査（毎木調査）した。また、植栽木と雑草木の競合状態、雑草木の樹高を計測した。これらを過年度事業の結果とあわせて整理した。

ii 実証試験地概況把握

実証試験地ごとに、各調査プロットにおいて昨年度の撮影と同じ場所で林況写真を撮影し、過年度の調査結果と併せて整理した。

② 下刈り作業およびコスト分析

平成 27（2015）年度から平成 29（2017）年度事業で植栽した 19 箇所の実証試験地において、下刈り作業を実施した。作業の実施に当たっては、必要人工数を記録しコスト分析（コストに換算できるような時間計測）を行った。コスト分析は、低密度植栽技術の導入において参考にできる内容として整理した。また、下刈り前の雑草木の主要な優占種について調査をした。なお、下刈りは全刈りで実施した。

③ 補植作業および調査

平成 29 (2017) 年度事業で植栽した 3 箇所の実証試験地のうち、平成 30 (2018) 年度調査時点で枯死率が 5 割を超えていた実証試験地（北海道下川町）について、将来の追跡調査の実施を念頭に、低密度植栽実証試験地として維持するために補植作業を行った。調査プロット内の補植木について、樹高、胸高直径（地際直径）、植栽木の形状、植栽木の状態等を調査した。

④ 生育に与える気象等影響調査

①の現地調査で植栽木の生育不良や被害が確認された場合、気象害、病虫害等の視点から、その原因を分析した。

※なお、実証に当たっては、（一社）日本森林技術協会（以降、日林協と称す。）と森林所有者との間で協定の締結を行った。協定では、森林所有者は日林協に対して実証試験地となる土地の使用を認め、日林協は調査ならびに施業を行うことを記した。その際、日林協は調査終了後の立木の所有権を主張しないこと等を明記した。

（４）低密度植栽施業指針の作成

再造林のコスト削減や近年の木材加工技術の進展・木材需要の変化を踏まえ、新たな造林技術である「低密度植栽技術」の情報を提供し、森林所有者が、その利点・特異的性質、問題点を理解したうえで、「低密度植栽技術」を適切に選択・導入するための目安となるよう『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』を取りまとめた。

なお、この技術指針は、昨年度取りまとめた施業指針（案）を基に検討委員会で議論を行い、各項目の見直しならびに本事業での調査結果や過去の調査結果等を反映したものである。

（５）地域版低密度植栽施業指針の作成

地域版低密度植栽施業指針については、平成 29 (2017) 年度検討委員会において事例集のような形で取りまとめるよう議論されたことを踏まえ、本事業における 5 年間分のデータを掲載し、視覚的に見やすく整理を行い、各地域の林業技術者が、自身の地域に近い事例を参考にして「低密度植栽技術」を導入することができるよう取りまとめた。

なお、タイトルについては、より内容に合致したものとするために「低密度植栽技術導入のための事例集」と変更した。

（６）林業技術者向けパンフレット原稿の作成

本事業の成果や過去 5 年間の調査結果等を基に、森林所有者が「低密度植栽技術」の導入を適切に選択できるよう、パンフレット原稿を作成した。

(7) 事業報告書の作成・提出

上記(1)～(6)において、検討・調査した内容を事業報告書に取りまとめ、令和2(2020)年3月13日に印刷物80部、パンフレット80部、電子媒体(DVD-R)2部を林野庁に提出した。

1-4. 検討委員会の設置・運営

事業実施にあたっては、「低密度植栽施業指針検討委員会」を設置した。検討委員会は、森林施業・造林、森林経営および水土保持等に関する学識経験者で構成され、検討委員5名、オブザーバー2名とした。7月、12月、1月に計3回の委員会を開催し、委員より調査・取りまとめに対しての必要な技術指導および助言を受けた。

なお、検討委員、委員会の開催日、主な検討内容、開催時の状況は、表 1-1、表 1-2 および写真 1-1 のとおりである。

表 1-1 検討委員会の構成（五十音順・敬称略）

<検討委員>

氏名	所属	専門
今富 裕樹	東京農業大学 森林総合科学科 教授	森林施業
駒木 貴彰	ノースジャパン素材流通協同組合 経営企画管理部長	森林経営
澁谷 正人	北海道大学大学院 農学研究院 教授	造林
寺岡 行雄	鹿児島大学 農学部 教授	森林経営
橋本 良二	放送大学 岩手学習センター所長、 岩手大学 名誉教授	造林・植物生理

<オブザーバー>

氏名	所属	専門
大矢 信次郎	長野県林業総合センター 主任研究員	森林施業
山川 博美	森林総合研究所九州支所 主任研究員	造林・低コスト再造林

表 1-2 検討委員会の実施日および主な検討内容

検討委員会実施日	主な検討内容
第1回検討委員会 (令和元(2019)年7月11日)	・過年度の成果について ・本年度の調査方針、方法について ・低密度植栽施業指針について
第2回検討委員会 (令和元(2019)年12月4日)	・本年度の成果(実証試験地の調査結果)について ・低密度植栽施業指針について
第3回検討委員会 (令和2(2020)年1月31日)	・本年度の成果(追加報告)について ・低密度植栽施業指針について ・報告書案について



第 1 回検討委員会



第 2 回検討委員会



第 3 回検討委員会

写真 1-1 開催時の状況

1-5. 実証試験地一覧

本年度実証試験地（全 19 箇所）を図 1-3 および表 1-3 に示す。

なお、岐阜県高山市のヒノキ実証試験地については、平成 28（2016）年度に植栽を実施したものの、平成 30（2018）年度にシカ食害による甚大な被害の発生が確認され、継続して調査することが困難と判断されたため、調査対象から除外している。



図 1-3 実証試験地位置図

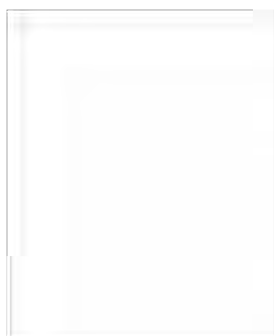


表 1-3 実証試験地一覧

No	地域	場所	植栽年月	苗種	植栽密度(本/ha)	プロット数
1	東北地方	岩手県紫波町	H27(2015).12	カラマツ	1,600、2,500	6
2		岩手県盛岡市	H27(2015).12	カラマツ	1,100、1,600、2,500	6
3		岩手県葛巻町	H27(2015).11	カラマツ	1,600、2,500	6
4		宮城県登米市	H27(2015).12	スギ	1,100、1,600、2,500	6
5	近畿・中国 地方	三重県大紀町	H28(2016).2	ヒノキ	1,600、2,500	5
6	九州地方	長崎県大村市	H28(2016).1	ヒノキ	1,600、2,500	5
7		長崎県東彼杵町	H28(2016).1	ヒノキ	1,100、1,600、2,500	6
8		熊本県美里町	H28(2016).2	スギ	1,700、2,500	6
9		宮崎県椎葉村	H28(2016).2	スギ	1,100、1,600、2,500	6
10		鹿児島県薩摩川内市	H27(2015).12	スギ	1,600、2,500	6
11	関東地方	茨城県日立市 (国有林)	H28(2016).11	ヒノキ	1,100、1,600、2,500	8
12		茨城県日立市 (民有林)	H28(2016).10	スギ	1,100、1,600、2,500	6
13	中部地方	岐阜県高山市	H28(2016).10	カラマツ	1,100、1,600、2,500	6
14	近畿・中国 地方	岡山県吉備中央町	H28(2016).12	ヒノキ	1,100、1,600、2,500	6
15	四国地方	高知県四万十町	H29(2017).2	ヒノキ	1,100、1,600、2,500	6
16	九州地方	宮崎県都城市	H29(2017).1	スギ (大苗)	1,100、1,600、2,500	6
			H29(2017).1	スギ (普通苗)	2,500	2
17	北海道地方	北海道下川町	H29(2017).11	カラマツ	1,100、1,600、2,500	6
18	東北地方	秋田県由利本荘市	H29(2017).11	スギ	1,100、1,600、2,500	6
19	中部地方	富山県立山市	H29(2017).12	スギ	1,100、1,600、2,500	6

2. 事業成果要約

平成 27(2015)年度から令和元(2019)年度における本事業の成果を、以下に要約した。

2-1. 文献調査

【実施年度】

平成 27(2015)年度～平成 28(2016)年度

【調査内容】

低密度植栽技術について、66 件の学術論文などを収集し、技術体系や課題について整理した。また、これらの学術論文などから得られた知見を基にして樹種ごとに考察を行った。

【主な調査結果】

①スギ

- ・ 通常の植栽密度と同じように林冠閉鎖し成林するか、あるいは林冠閉鎖が遅れるかは、立地条件や侵入雑草木の状況などによって決まる。
- ・ 間伐回数を削減できるため、低コスト化を見込める。
- ・ 低密度植栽で成林したスギでも材質に問題がないという報告がある一方で、節が多く梢殺となるため柱材には向かないとの報告もある。ただし、合板や集成材への活用には問題ない。

②ヒノキ

- ・ 比較的ヒノキの初期成長が遅かった地域において、下刈りの回数が通常より多く必要となった。
- ・ 低密度植栽で成林したヒノキは梢殺で節が多く節抜けも見られるため、柱材に向かないという報告がある一方で、植栽密度が 1,500 本/ha 以上であれば樹形や材の強度的に利用が可能であるという報告もある。

③カラマツ・グイマツ雑種 F1

- ・ 成長が速いため、1,000 本/ha 程度の低密度植栽でも十分に林冠閉鎖する。
- ・ 間伐回数を 3 回から 1 回などに削減できるため、十分な低コスト化を見込める。
- ・ 集成材などの並材生産を目標とするのであれば、低密度植栽でも材質に問題はない。

2-2. 既存試験地調査

【実施年度】

平成 27(2015)年度～平成 28(2016)年度

【調査内容】

既存の低密度植栽地（以下、既存試験地とする）の中から、論文や報告書、ヒアリングを基に計 30 箇所を選定し、現地調査を行った。対象とした樹種は、全国的な造林樹種であるスギ・ヒノキのほか、冷温帯地方などで植栽されているカラマツ・グイマツ雑種 F1 とした。

これらの既存試験地および通常の密度で植栽した比較対象地について、既存試験地あたり 100 m²の調査プロットを設置し、植栽木の樹高、胸高直径（または地際直径）、形状、また侵入雑草木について調査を行った。

【主な調査結果】

①スギ

鹿児島県垂水市における 10 年生の既存試験地や岡山県新見市における 17 年生の既存試験地では、低密度植栽区の方が樹高はやや大きく、胸高直径も大きい方に分布が偏っていた。

また、広島県福山市における 43 年生の既存試験地や宮崎県日南市における 43 年生の既存試験地では、樹高は植栽密度間で大きな差が見られなかったものの、胸高直径は低密度植栽区において大きい方に分布が偏っていた。

②ヒノキ

熊本県人吉市における 11 年生の既存試験地では、樹高は植栽密度間で大きな差が見られないものの、胸高直径は低密度植栽区において大きい方に分布が偏っていた。

また、広島県福山市における 42 年生の既存試験地では、樹高は植栽密度間で差が見られなかったものの、胸高直径は低密度植栽区において大きい方に分布が偏っていた。

③カラマツ

岩手県宮古市や岩手県遠野市における 2 年生の既存試験地では、未だ植栽密度間で顕著な成長の違いは見られなかった。

④グイマツ雑種 F1

北海道千歳市における 8 年生の既存試験地では、胸高直径、樹高とも低密度植栽区の方が僅かに小さかったものの、大きな差は見られなかった。

一方で、北海道夕張郡由仁町における 13 年生の既存試験地では、樹高は植栽密度間で差が見られないものの、胸高直径は低密度植栽区において大きい方に分布が偏っていた。

2-3. 実証試験地調査

【実施年度】

平成 27(2015)年度～令和元(2019)年度

【調査内容】（本報告書 25～285 ページ）

平成 27（2015）年度に 10 箇所、平成 28（2016）年度に 6 箇所、平成 29（2017）年度に 3 箇所の実証試験地を設定して調査を行った。対象とする樹種はスギ、ヒノキ、カラマツとし、植栽にあたってはコンテナ苗を使用して秋以降に植栽を実施した。

植栽密度は 2,500 本/ha、1,600 本/ha、1,100 本/ha の 3 つ（または 2,500 本/ha、1,600 本/ha の 2 つ）とし、それぞれの植栽密度ごとに 2～3 箇所ずつ調査プロットを設定した。調査プロット内の植栽木の生育状況について調査を行い、植栽密度間で比較した。

低密度植栽にすることで下刈り回数が余分にかかるかどうかを検証するため、植栽木と雑草木の競合関係について調査を行い、植栽密度間で比較した。

植栽密度の違いが下刈り作業時間に影響するかどうかを検証するため、各調査プロット内における下刈り作業の時間計測を行い、植栽密度間で比較した。

地拵え・植栽から令和元（2019）年度の下刈りまでにかかったコストを算出し、低密度植栽を行うことによりどの程度コストを削減できるかを試算した。

設定した実証試験地のうち宮崎県都城市では、平均樹高が約 90cm 程度のスギ大型コンテナ苗（以下スギ大苗とする）を植栽し、スギ大苗の導入と低密度植栽の併用による、下刈り回数の削減効果およびシカ被害対策コストの削減効果について実証した。

【調査結果】

①低密度植栽における植栽木の活着率（本報告書 286 ページ）

活着率（植栽翌年における生存率）は、全 19 箇所の実証試験地に設置した調査プロットのうち、約 9 割で 80%以上と高い数値を示した。また、植栽密度間で大きな差が見られなかった。このことから、植栽木の活着率は植栽密度によって影響されないと考えられる。

例外として、北海道下川町の実証試験地（平成 29（2017）年 11 月にカラマツを植栽）では、活着率が 30～50%と低かった。今後の成林が危ぶまれるため、令和元（2019）年 9 月に 1,050 本の補植を実施した。

②低密度植栽における植栽木の生存率（本報告書 286～287 ページ）

令和元（2019）年度時点における生存率は、一部の調査プロットにおいて局所的な雑草木の繁茂や獣害の発生などの植栽密度以外の要因で生存率の低下が見られたが、それ以外では植栽密度間で大きな差が見られなかった。このことから、植栽木の生存率（植栽後 4 年程度まで）は植栽密度によって影響されないと考えられる。

③低密度植栽における植栽木の成長量（本報告書 287～288 ページ、292～305 ページ）

植栽木の樹高成長や直径成長について、多くの実証試験地では植栽密度間で大きな差が見られなかった。一部の実証試験地では植栽密度間で成長量に差が見られたが、植栽密度のほかに植栽木と雑草木の競合状態や斜面方位などの立地環境が要因として挙げられた。

そこで、樹高成長量がどの要因に影響を受けているのかを明らかにするため、「一般化線形混合モデル」を用いて地域ごとに解析を行ったところ、一部の実証試験地において植栽密度が樹高成長量に影響を与えているという結果となった。ただし、影響の大きさを示す値はほぼ 0 に近く、植栽密度が樹高成長量に与える影響はごく僅かであることが分かった。本事業の試験期間内では林冠が閉鎖されるまでに至っておらず、初期成長に対する植栽密度の影響は考えにくいことから、地位などの今回調査を行っていない要因が影響している可能性があった。また、植栽木に影響を与えていた要因として、多くの実証試験地では前年度の形状比が挙げられ、前年度の形状比が低い個体ほど樹高成長が良いという結果となった。

なお、「2-2.既存試験地調査の結果」から、今後植栽木が 10 年生程度になり林冠閉鎖する頃になれば、植栽密度間で直径成長などに違いが発生してくると思われる。

④植栽密度と下刈り作業時間の関係（本報告書 306～307 ページ）

下刈り（全刈り）作業時間を植栽密度別に集計・整理した結果、実証試験地によりばらつきはあるものの、全体として植栽密度が低い方が下刈り作業時間が短い傾向が見られた。さらに Tukey の多重比較検定を行ったところ、1,100 本/ha 区と 1,600 本/ha 区の間($p < 0.05$)、1,100 本/ha 区と 2,500 本/ha 区の間($p < 0.001$)で、下刈り作業時間に有意差が認められた。なお、1,600 本/ha 区と 2,500 本/ha 区の間($p > 0.05$)では有意差は検出されなかった。

⑤植栽密度と誤伐の関係（本報告書 308～309 ページ）

植栽密度と誤伐の発生の関係を分析した結果、1,100 本/ha 区では 7.0%、1,600 本/ha 区では 5.9%、2,500 本/ha 区では 5.8%の植栽木に誤伐が発生していた。植栽密度間で大きな差は見られず、誤伐の発生は植栽密度にほとんど影響されないという結果が得られた。

一方で、誤伐の発生と雑草木の繁茂状況の関係を分析したところ、植栽木の樹高が雑草木を下回った時に誤伐の発生が多くなるという結果が得られた。

⑥植栽密度と下刈り回数（本報告書 289～290 ページ）

低密度植栽では植栽間隔が広くなるため、植栽木が雑草木を被圧するのに通常植栽よりも時間を要し、下刈りの回数が余分にかかるという懸念がある。この懸念について検証するため、夏季（下刈り前）における植栽木と雑草木の樹高を計測し、平均樹高の経年変化を比較した。また、植栽木と雑草木の競合状態について、山川ほか（2016）の判断基準を用いて C1～C4 の 4 つのカテゴリに分類（本報告書 20 ページ参照）して評価を行った。これらの調査結果から、低密度植栽区と通常密度の植栽区で下刈り終了までの回数に違いが生じる

かについて検証した。

調査の結果、全 19 箇所の実証試験地のうち、低密度の植栽区と通常密度の植栽区の両方とも令和元（2019）年度の段階で下刈りの終了が判断できる実証試験地が 5 箇所（岩手県紫波町（カラマツ）、長崎県大村市（ヒノキ）、熊本県美里町（スギ）、鹿児島県薩摩川内市（スギ）、宮崎県都城市（スギ大苗））だった。残りの 14 箇所は、令和元（2019）年度の時点では下刈りの終了をまだ判断できない実証試験地であった。ただし、これらの実証試験地では植栽木と雑草木の競合関係は概ね同じ傾向を示しており、下刈り終了の可能性が植栽密度により変わるような事例は見られなかった。

以上から、植栽密度の違いが下刈り回数に影響すると考えられる実証試験地は、現時点では確認されなかった。

⑦初期保育コストの分析（本報告書 291 ページ）

ほとんどの実証試験地において、通常の植栽密度（スギ・ヒノキは 3,000 本/ha、カラマツは 2,500 本/ha）と比べ、1,600 本/ha 区では約 70～90%、1,100 本/ha 区では約 60～80% 程度のコスト削減が可能であることが分かった。ただし、シカ柵の設置や下刈り作業にコストが大きくかかってしまうような実証試験地では、低密度植栽によるコスト削減があまり進まない可能性があることも分かった。

⑧スギ大苗の導入と低密度植栽の併用の有用性（本報告書 228～245 ページ）

下刈り回数の削減やシカ食害による枯死リスクの低減のため、宮崎県都城市の実証試験地において、主伐・地拵え～植栽の一貫作業システムにより、平成 29（2017）年 1 月に平均樹高が約 90cm のスギ大型コンテナ苗（以下、スギ大苗）を植栽した。また、比較対象として、平均樹高が約 60cm のスギコンテナ苗（以下、スギ普通苗）を植栽した。

調査の結果、植栽年（平成 29（2017）年）の初回の下刈りは不要であった。また、スギ大苗は植栽密度間で樹高成長や幹の肥大成長に大きな差は見られず、樹高成長は植栽後 3 成長期で平均 2.2m を超えた。スギ大苗は普通苗より樹高が高くなるのが早く、雑草木との競合関係を早く脱するため、下刈り回数を軽減できる可能性があった。

シカ食害の低減効果については、植栽木の梢端への食害はスギ大苗・スギ普通苗ともにほとんど発生しなかったが、樹幹への皮剥ぎ被害（角研ぎ被害も含む）がスギ大苗に集中して発生した。スギ大苗によるシカ食害の低減効果を立証するためには、樹幹への皮剥ぎ被害がスギ大苗に集中した要因を検証する必要がある。

一貫作業システムによって再造林されたスギ大苗実証地の低密度植栽（1,100 本/ha）での初期保育コスト（地拵えから下刈り終了まで）は、スギ普通苗を 3,000 本/ha で植栽した場合と比べ、約 18% 削減できることがわかった。

2-4. 低密度植栽施業指針の作成

【実施年度】

平成 27(2015)年度～令和元(2019)年度

【概要】

再造林のコスト削減や近年の木材加工技術の進展・木材需要の変化を踏まえ、新たな造林技術である「低密度植栽技術」の情報を提供し、森林所有者が、その利点・特異的性質、問題点を理解したうえで、「低密度植栽技術」を適切に選択・導入するための目安となるよう『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』を取りまとめた。

2-5. 地域版事例集の作成

【実施年度】

平成 29(2017)年度～令和元(2019)年度

【概要】

本事業の成果や過去の調査結果等を基に、地域特性に応じた低密度植栽技術導入のための林業技術者向け事例集として、「低密度植栽技術導入のための事例集」を作成した。

2-6. 林業技術者向けパンフレット原稿の作成

【実施年度】

令和元(2019)年度

【概要】

本事業の成果や過去 5 年間の調査結果等を踏まえ、低密度植栽導入のための林業技術者向けパンフレット原稿を作成した。

3. 平成 27 (2015) 年度から平成 29 (2017) 年度植栽の実証試験地における追跡調査および下刈の実証調査

3-1. 調査概要

平成 27 (2015) 年度植栽の 10 箇所、平成 28 (2016) 年度植栽の 6 箇所、平成 29 (2017) 年度植栽の 3 箇所、計 19 箇所の実証試験地において、追跡調査および下刈の実証調査を実施した。実証試験地での最大 4 年間におよぶ追跡調査と下刈り実証調査の結果を、植栽年度順に取りまとめた。また、各実証試験地において、地拵えから令和元 (2019) 年度の下刈り作業までに要したコストについて「初期保育コスト」として取りまとめ、植栽密度間で比較した。

3-1-1. 追跡調査

19 箇所の実証試験地で、調査プロットを以下のように設定した (図 3-1)。調査プロット内の植栽木を調査対象木とし、ラベリングするなど個体を特定 (写真 3-1) し、同一個体の生育状況について、毎年調査を実施した。

【調査プロットの設定】

- ・実証試験地 (約 1 ヘクタール) を植栽密度ごとに区分
- ・各調査プロット内に植栽木が 36~40 本程度入るよう、植栽密度区ごとに 2~3 つの調査プロットを設置 → 調査対象木とする
- ・調査対象木にナンバーテープや ID 付きアルミタグを付け、個体 ID を特定 (写真 3-1)
- ・同一個体について調査を実施

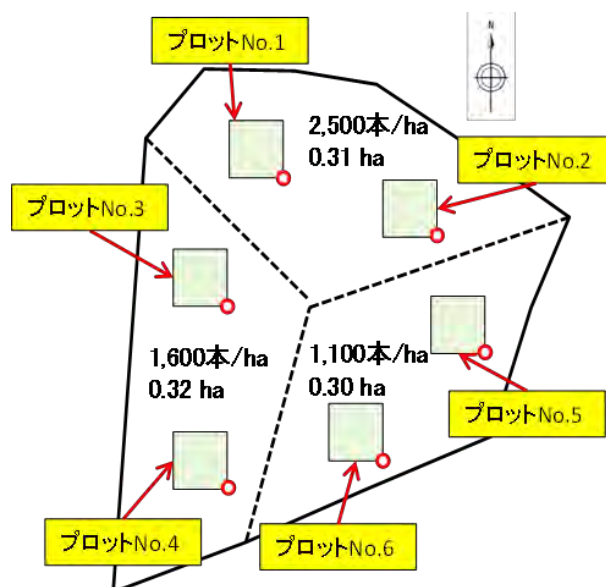


図 3-1 調査プロットの例



写真 3-1 個体 ID の特定（ナンバーテープ（左）と ID 付きアルミタグ（右））

【調査項目】

追跡調査は「夏季（下刈り前）」と「秋冬季（成長休止時）」の 2 回行った。

平成 29（2017）年度からの夏季調査では、下刈り前の植栽木と雑草木の競合関係などを把握した。平成 27（2015）年度からの秋冬季調査では、植栽木の成長量などを把握した。調査項目は表 3-1 のとおりである。

成長状況の取りまとめに当たっては、枯死・食害・曲がり・斜立・折れ等の不健全木のデータを除外し、健全木のデータを利用した。

表 3-1 追跡調査項目

	調査項目	対象プロット
夏季調査 （下刈り前）	1. 植栽木と雑草木の競合状態の記録 2. 植栽木の毎木調査（樹高、樹冠幅の計測および生育状態の記録） 3. 雑草木の樹高の計測 4. 調査プロット内の植生調査 5. 実証試験地の概況把握（概況写真の撮影等）	各植栽密度 1 調査プロット以上
秋冬季調査 （成長休止時）	1. 植栽木の毎木調査（樹高、地際直径、測定できれば胸高直径、樹冠幅の計測および生育状況の記録） 2. 実証試験地の概況把握（概況写真の撮影等）	全調査プロット

【調査方法】

「夏季調査（平成 29（2017）年度より調査）」

① 植栽木と雑草木の競合状態の記録

山川ら（2016）の基準を用い、調査プロット内の植栽木 1 本ごとに C1～C4 の 4 つのカテゴリに分類して（表 3-2、図 3-2、写真 3-2）記録した。

表 3-2 C1～C4 の 4 つのカテゴリについて

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
C2	植栽木の樹冠の半分以上が周辺の雑草木に覆われているが、梢端は露出している
C3	植栽木と雑草木の梢端がほぼ同じ高さにある
C4	植栽木が雑草木に完全に覆われている

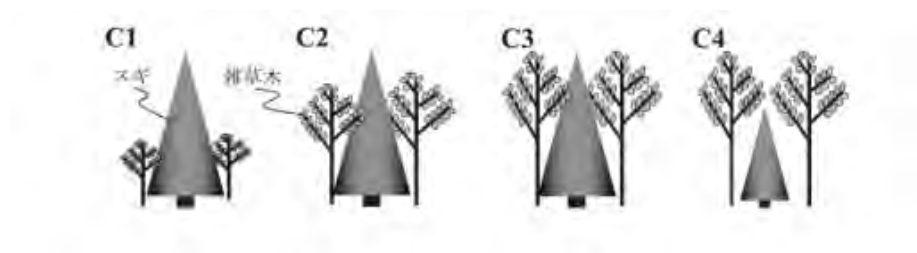


図 3-2 植栽木と雑草木の競合関係の模式図

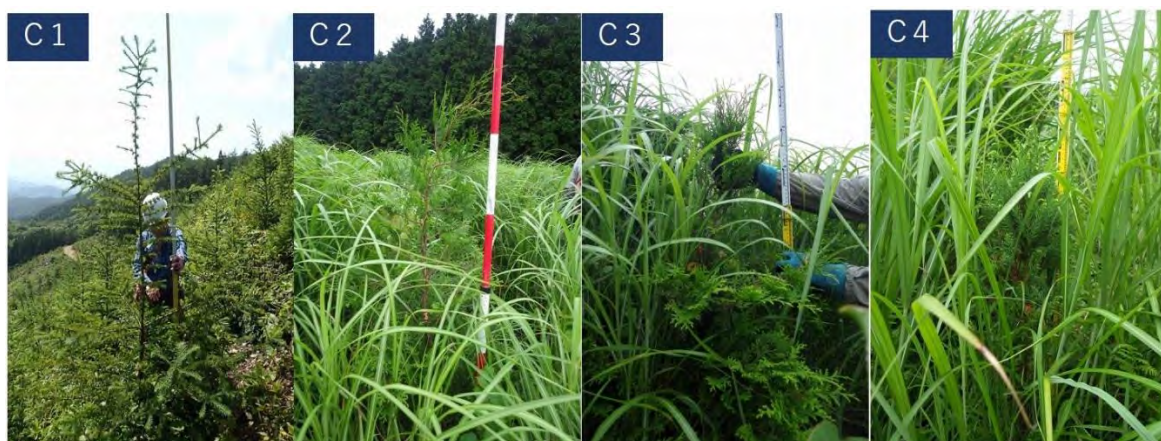


写真 3-2 C1～C4 の例

②植栽木の毎木調査

調査プロット内の植栽木について、樹高、樹冠幅および生育状況（食害の有無、枯れ、形状不良など）を記録した。

③雑草木の樹高の計測

令和元(2019)年度から、植栽木と雑草木の樹高成長を比較するため、植栽木の半径 50cm 内にある最も高い雑草木の樹高を計測し記録した(図 3-3)。

平成 30(2018)年度以前については、C1～C4の4つのカテゴリを用いて雑草木の樹高を推定した。植栽木と雑草木の競合状態が C1であった場合の雑草木の樹高については、 $\text{雑草木の樹高} = \text{植栽木の樹高} \times 0.25$ とした。同様に C2は 0.75、C3は 1.0、C4は 1.25 を乗じた数値を雑草木の樹高の推定値とし、植栽木と雑草木の樹高成長を比較した。

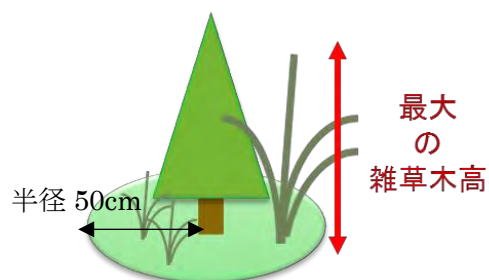


図 3-3 植栽木の半径 50cm にある最大の雑草木の樹高

④調査プロット内の植生調査

調査プロット内に生育する雑草木の種組成を把握するため、簡易的な植生調査を行った。雑草木の階層を便宜的に低木層と草本層に分け、それぞれについて植被率(%)と優占種を記録した。また、その他の出現種についても可能な限り記録した。

⑤実証試験地の現況把握

各調査プロットにおいて定点撮影を行った。また、実証試験地の全容が展望できる地点を選び、同様に定点撮影を行った。

「秋冬季調査(平成 27(2015)年度より調査)」

①植栽木の毎木調査

調査プロット内の植栽木について、樹高、地際直径(測定できれば胸高直径も)、樹冠幅を記録および生育状況(食害や誤伐の有無、枯れ、形状不良など)を記録した。

②実証試験地の現状把握

夏季調査と同じ地点から定点撮影を行った。

3-1-2. 下刈り実証調査

植栽密度の違いにより下刈り作業にどのような影響が出るのかを明らかにするため、平成 30（2018）年度より調査プロット内の下刈り作業に要した時間を計測し、植栽密度別に集計・整理した。下刈りは、全実証試験地において、「全刈り」にて実施した。
（平成 29（2017）年度については、下刈り時の際の作業日誌を元に生産性を把握した。）

【調査項目】

下刈り実証調査項目は表 3-3 のとおりである。

表 3-3 下刈り実証調査項目

	調査項目	対象プロット
下刈り作業時間の調査	1. 調査プロット内の下刈り作業時間計測 2. 調査プロット面積の計測 3. 現場作業員へのヒアリング	全調査プロット

【調査方法】

①調査プロット内の下刈り作業時間計測

実証試験地（全 19 箇所）に設置した既設の調査プロット（図 3-4）内において、全刈りにて下刈りを実施した。下刈り実施の際には開始時刻と終了時刻を記録し、下刈り作業にかかった時間を調査プロットごとに算出した。さらに算出した下刈り作業時間を、ヘクタールあたりの作業時間に換算して植栽密度間で比較した。



図 3-4 調査プロットのイメージ

②調査プロットの花面積の計測

調査プロットごとの下刈り作業時間をヘクタールあたりの作業時間に換算する際には調査プロットの正確な面積が必要であるため、調査プロットの花面積を計測した。面積の算出にはヘロンの公式（三角形の3辺の長さを元にして、面積を計算する公式）を利用した。なお、

三角形の3辺は斜距離で測定した。

(参考：ヘロンの公式)

三角形の3辺 ($a \cdot b \cdot c$) の長さを元にして、面積を求める。

$$S = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \quad \text{ただし、} s = (a+b+c)/2$$

③現場作業員へのヒアリング

下刈り作業時間の計測と同時に下刈りを実施した現場作業員へのヒアリングを行い、意見を取りまとめた。

(主なヒアリング内容)

- ・ 植栽密度によって下刈り作業の難易はあったか
- ・ 植栽密度によって下刈り作業時間に差が生じた場合、その理由はどのようなものか
- ・ 植栽密度による誤伐の可能性、誤伐防止のアイデアなど
- ・ その他、現場からの意見

【実施にあたっての留意点】

個人の資質に起因する作業能率の違いによる影響を排除するため、実証試験地ごとに、一般的な技術レベルを持つ1名に全ての調査プロットを担当していただくよう依頼をした。やむを得ず複数名で分担して下刈りを実施する場合には、技術や経験による偏りが出ないよう同等の技術レベルを持つ現場作業員を揃えるよう要請した。

また、下刈りを実施する現場作業員に対しては、下刈り作業時間を競争するものではないことを説明し、状況に応じて中断や休憩を取るなど安全第一での実施を依頼した。

3-1-3. 初期保育コスト分析

各実証試験地において、地拵えから令和元（2019）年度の下刈り作業までに要したコストについて「初期保育コスト」として取りまとめ、植栽密度間で比較した。

【調査項目】

初期保育コストとして取りまとめた項目は表 3-4 のとおりである。

表 3-4 初期保育コストとして取りまとめた項目

	試算項目	対象プロット
初期保育コストの 分析	・地拵え費 ・苗木購入費 ・植栽労務費 ・シカ柵設置費 ・その他諸経費（森林保険、間接費、資材費・消費税など） ・下刈りコスト	全調査プロット (1 ha あたりに換算)

【分析方法】

地拵え費、苗木購入費、植栽労務費、シカ柵設置費、その他諸経費などの、植栽時のコストは、それぞれの実証試験地でかかった実際の金額をもとに算出した。このうち、地拵え費とシカ柵設置費は、植栽密度にかかわらず、同額である。

下刈りコストについては、植栽密度ごとに算出されていなかった。そのため各実証試験地で下刈りにかかった実際の金額を 2,500 本/ha 区のものとして仮定し、その他の植栽密度区については下刈り作業時間の計測結果を基に算出した。

以上から、「植栽時のコスト」と「下刈りコスト」を含めた「初期保育コスト」を算出し、通常密度の植栽（スギ・ヒノキは 3,000 本/ha、カラマツは 2,500 本/ha）と低密度植栽での初期保育コストを比較した。

3-2. 平成 27（2015）年度植栽の実証試験地での実施結果

平成 27（2015）年度に植栽した実証試験地（表 3-5、図 3-5）の実施結果を以下に示す。

表 3-5 平成 27（2015）年度植栽の実証試験地 一覧（全 10 箇所）

No	実証試験地	苗種	植栽密度 (本/ha)	植栽面積 (ha)		植栽本数 (本)		下刈 時期	調査日 (2019)		備考
									夏季	秋冬季	
1	岩手県紫波郡 紫波町赤沢行 人平 (民有林)	カラマツ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,600	0.50	1.00	800	2,050	7月	7月	10月	
			2,500	0.50		1,250					
2	岩手県盛岡市 猪去上猪去 (民有林)	カラマツ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,100	0.35	1.00	385	1,695	8月	7月	10月	
			1,600	0.35		560					
			2,500	0.30		750					
3	岩手県葛巻町 押田内 (民有林)	カラマツ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,600	0.54	1.07	864	2,189	7月	7月	10月	
			2,500	0.53		1,325					
4	宮城県登米市 東和町米川字 西綱木 (民有林)	スギ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,100	0.38	1.14	418	1,976	7月	7月	10月	
			1,600	0.38		608					
			2,500	0.38		950					
5	三重県大紀町 (民有林)	ヒノキ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,600	0.50	0.90	800	1,800	7月	7月	10月	シカ 柵
			2,500	0.40		1,000					
6	長崎県大村市 (民有林)	ヒノキ 300cc コンテナ苗 (実生苗)	1,600	0.36	0.72	576	1,476	8月	7月	11月	
			2,500	0.36		900					
7	長崎県東彼杵 郡東彼杵町遠 目郷遠ノ久保 (民有林)	ヒノキ 300cc コンテナ苗 (実生苗)	1,100	0.38	1.05	420	1,780	7月	7月	11月	
			1,600	0.35		560					
			2,500	0.32		800					
8	熊本県美里町 大露山団地 (民有林)	スギ 300cc コンテナ苗 (挿し木苗)	1,700	0.56	1.11	952	2,327	7月	7月	11月	
			2,500	0.55		1,375					
9	宮崎県椎葉村 大字大河内 (民有林)	スギ 300cc コンテナ苗 (挿し木苗)	1,100	0.35	1.00	385	1,695	8月	7月	11月	シカ 柵
			1,600	0.35		560					
			2,500	0.30		750					
10	鹿児島県薩摩 川内市祁答院 町大字黒木字 片草 (民有林)	スギ 300cc コンテナ苗 (挿し木苗)	1,600	0.47	0.93	752	1,902	8月	7月	11月	シカ 柵
			2,500	0.46		1,150					

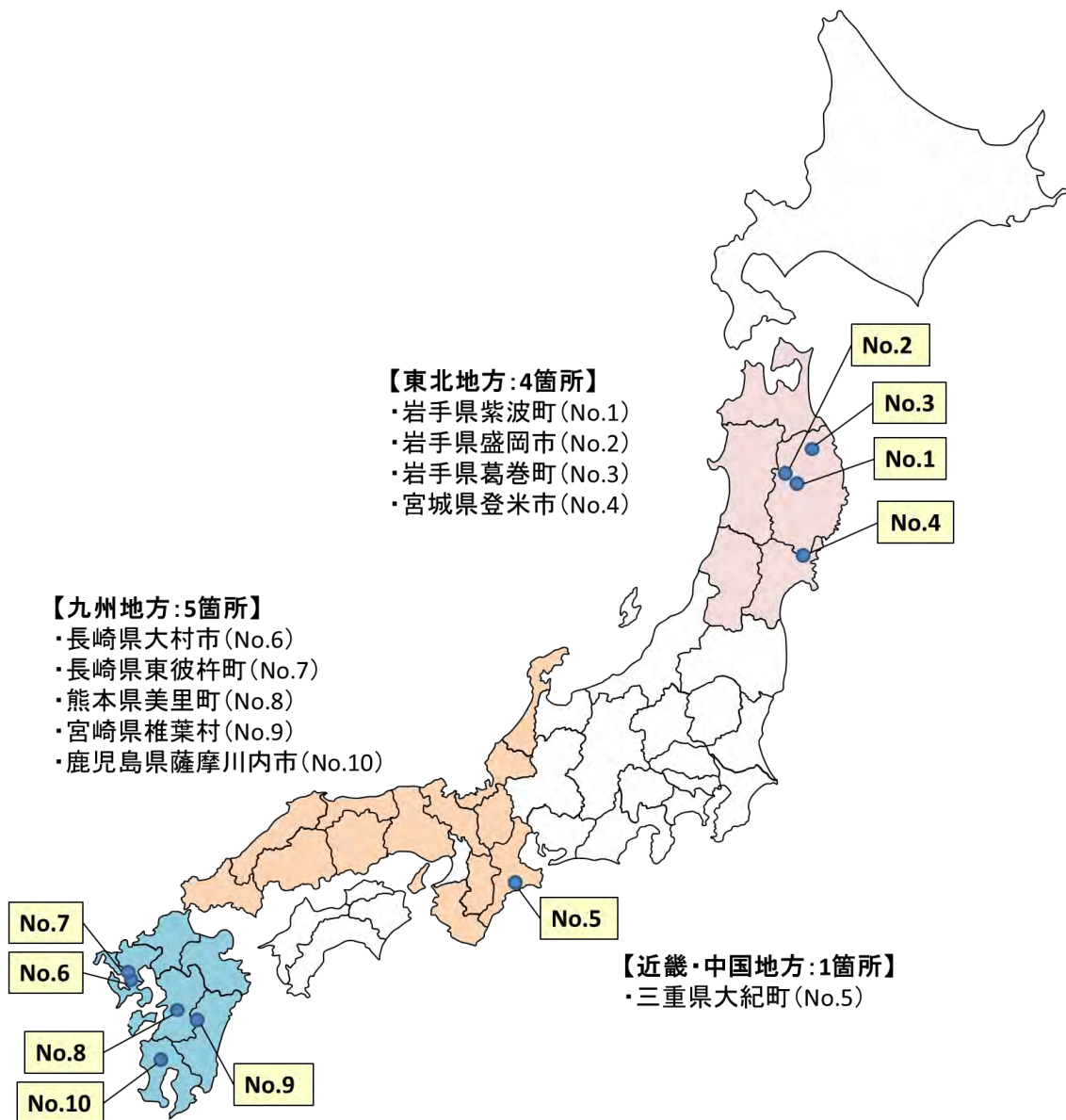


図 3-5 平成 27 (2015) 年度植栽の実証試験地 位置図

3-2-1. 東北地方

(1) 岩手県 紫波町（カラマツ）（No.1）

① 実証試験地の概要

平成 27（2015）年 12 月に、岩手県紫波郡紫波町の実証試験地（1.00ha）に 1,600 本/ha と 2,500 本/ha の 2 つの植栽密度区を設け、カラマツ 150cc コンテナ苗（実生苗）を計 2,050 本植栽した。実証試験地の概要（表 3-6）と位置図（図 3-6）は以下のとおりである。

本実証試験地は傾斜が緩く作業道から近いため、植栽時には、前生樹の伐採（植栽 1 か月前）に使用した林業機械（グラップル）によって機械地帯えを行う「一貫作業システム」が導入された。

表 3-6 実証試験地の概要（岩手県紫波町）

実証試験地	岩手県紫波郡紫波町赤沢行人平		
苗木種	カラマツ 150cc コンテナ苗（実生苗）		
植栽密度	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.50ha	0.50ha	1.00ha
植栽本数	800 本	1,250 本	2,050 本
気温/ 降水量 最深積雪	10.0℃（年平均気温） / 1,239.7mm（年降水量）（平年値、紫波） 39cm（平年値、盛岡）		
標高/ 傾斜/ 方位	550～580m / 10～25° / SW		
土壌	乾性褐色森林土～褐色森林土		
土地所有者	株式会社イワリン		
植栽実施者	ノースジャパン素材流通協同組合		
植栽日	平成 27（2015）年 12 月 24～26 日 （前生林分の伐採は平成 27（2015）年 11 月）		



図 3-6 実証試験地の位置（左）と実証試験地の様子（右）（岩手県紫波町）

② 調査プロットの概要

2つの植栽密度区に、それぞれ3つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計225本（1,600本/ha：113本、2,500本/ha：112本）を調査対象木とした（図3-7、表3-7）。

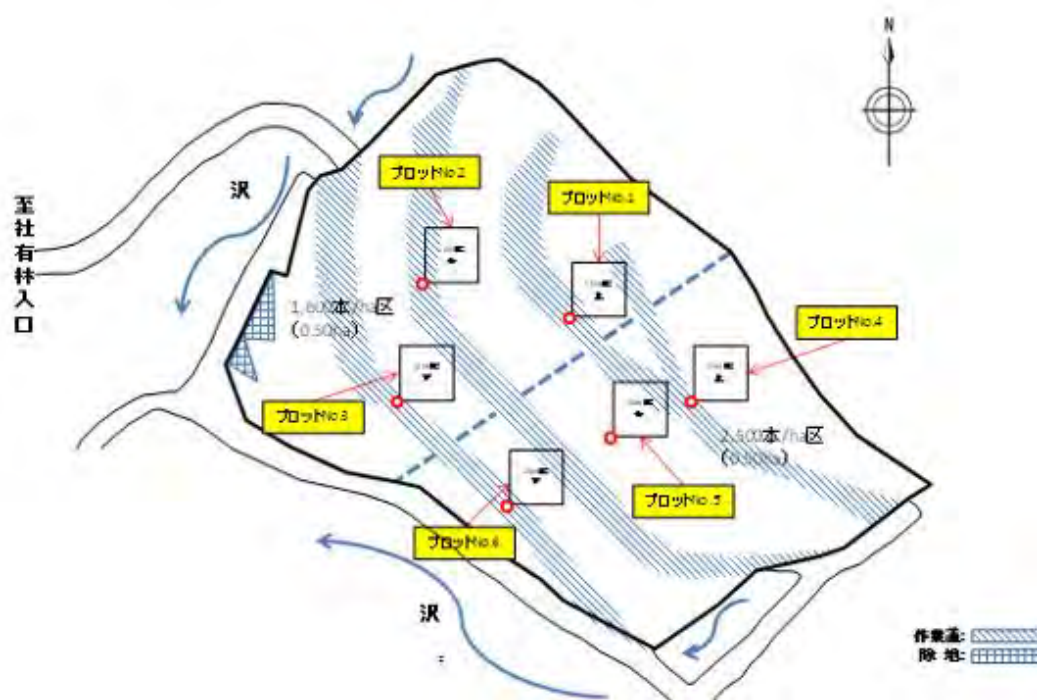


図 3-7 調査プロットの位置図（岩手県紫波町）

表 3-7 調査プロットの概要（岩手県紫波町）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	植栽本数	備 考
1,600 本/ha	No. 1	228.3	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	246.3	36 本	斜面中部に設置
	No. 3	274.2	41 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 4	159.7	36 本	斜面上部に設置
	No. 5	216.2	37 本	斜面中部に設置
	No. 6	195.7	39 本	斜面下部に設置
合計			225 本	

下刈りの実施日および各調査プロットにおける下刈り実施の有無は表 3-8、表 3-9 のとおりである。平成 28（2016）年度はグラップルによる地拵え直後であったため雑草木の繁茂量が少なく、2つの調査プロット（No. 2, 5）内のみ試験的に下刈りを実施した。平成 29（2017）年度以降は、全調査プロットで下刈りを実施している。

表 3-8 下刈りの実施日（岩手県紫波町）

年度	下刈り実施日
平成 27（2015）	—（植栽年）
平成 28（2016）	8 月 19 日
平成 29（2017）	8 月 4～5 日
平成 30（2018）	8 月 8～9 日
令和 元（2019）	7 月 24～29 日
下刈り実施者	株式会社 イワリン

表 3-9 下刈り実施の有無（岩手県紫波町）

植栽密度	プロット No.	H28（2016） 下刈り	H29（2017） ～R 元（2019） 下刈り
1,600 本/ha	No. 1	無	有
	No. 2	有	有
	No. 3	無	有
2,500 本/ha	No. 4	無	有
	No. 5	有	有
	No. 6	無	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-10 のとおりである。

表 3-10 調査実施日（岩手県紫波町）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 27 (2015)	—	平成 28 (2016) 年 1 月 5 日
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 12 月 16 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 8 月 3 日	平成 29 (2017) 年 11 月 7 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 7 月 2 日	平成 30 (2018) 年 10 月 18 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 2 日	令和 元 (2019) 年 10 月 10 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-11 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、1,600 本/ha 区で僅かに低下したものの、どの調査プロットも約 90～100%と高い数値を示した。

令和元（2019）年度時点での生存率は、調査プロット間で多少の差はあるものの、全ての調査プロットで 80%以上だった。植栽密度間で大きな差は見られなかった。また、平成 28（2016）年度に下刈りを実施したかどうかは、植栽木の生存率に影響しなかった。

以上から、活着率および生存率は植栽密度の影響を受けなかったと考えられる。

枯死原因について、令和元（2019）年 10 月における調査で計 5 本の根抜けによる枯死が見られた（写真 3-3）。根抜けの原因として、風害などの気象害の可能性が考えられる。

表 3-11 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（岩手県紫波町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)					活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,600	36	4 (衰弱4)	0	1 (枯れ)	1 (根抜け)	6	88.9	83.3	16.7
2	1,600	36	3 (衰弱2・枯れ1)	1 (先端折れ)	0	1 (根抜け)	5	91.7	86.1	13.9
3	1,600	41	0	1 (枯れ)	0	1 (誤伐)	2	100.0	95.1	4.9
4	2,500	36	0	2 (衰弱2)	0	4 (根抜け3・枯れ1)	6	100.0	83.3	16.7
5	2,500	37	0	1 (衰弱)	0	1 (枯れ)	2	100.0	94.6	5.4
6	2,500	39	0	0	1 (誤伐)	1 (枯れ)	2	100.0	94.9	5.1

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である



写真 3-3 根抜けにより枯死したカラマツ（令和元（2019）年 10 月）

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-12、図 3-8、図 3-9 および写真 3-4 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均地際直径は差が見られなかったものの、平均樹高は差が見られ、令和元（2019）年度には 2,500 本/ha 区で $212.6 \pm 74.5\text{cm}$ 、1,600 本/ha 区で $184.2 \pm 59.9\text{cm}$ と、2,500 本/ha 区で約 28cm 高くなる結果となった。本実証試験地は未だ林冠閉鎖には至っていないため植栽密度による影響とは考えにくく、立地環境の違いなどが要因として考えられる。平均形状比は植栽密度間でほぼ同じ傾向を示し、植栽直後は約 96 であったが翌年には約 60 にまで低下した。その後は大きな変化を見せていない。

表 3-12 植栽木の成長状況（岩手県紫波町）

1,600本/ha						
岩手県紫波町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	45.9±5.7	64±14.2	108.4±24.8	142.9±42.8	184.2±59.9
	最小値	30.0	37.4	67.2	63.0	92.5
	最大値	62.0	101.0	172.1	255.0	368.0
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	1±0.2	1.9±0.4	2.7±0.7	3.3±0.9
	最小値	0.3	0.5	0.9	1.1	1.4
	最大値	0.8	1.8	3.1	4.8	6.3
形状比	平均値	96.2±16.1	63.3±14.3	57.9±11.3	53.3±9.7	55.4±10.2
	最小値	58.8	38.2	35.2	33.1	28.2
	最大値	150.0	111.3	100.0	77.6	81.1
2,500本/ha						
岩手県紫波町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	47.4±5.6	65.2±13	111.1±29.3	158.9±49.9	212.6±74.5
	最小値	32.0	41.0	52.3	61.5	75.0
	最大値	61.0	95.1	188.8	280.0	375.0
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	1±0.2	1.9±0.5	2.7±0.7	3.3±1
	最小値	0.3	0.6	1.1	1.4	1.7
	最大値	0.7	1.5	3.0	4.5	5.9
形状比	平均値	96.6±15.4	65.5±11.8	59.8±10.7	58.8±11.2	63.2±11.8
	最小値	64.0	40.2	41.1	33.1	35.7
	最大値	140.0	103.0	95.6	90.5	92.2

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

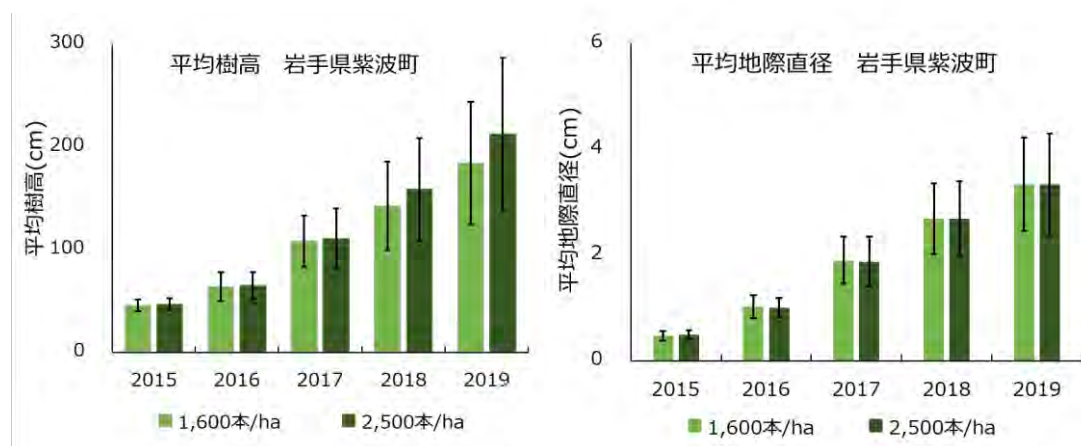


図 3-8 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（岩手県紫波町）

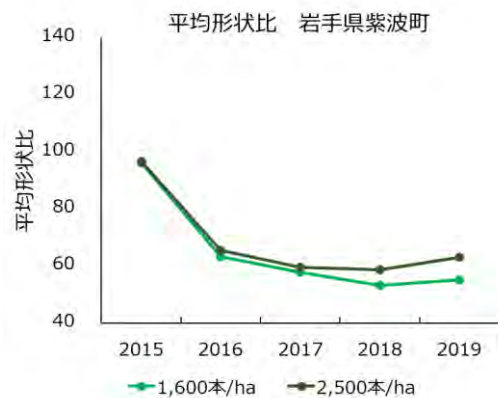


図 3-9 植栽木の形状比の推移（岩手県紫波町）



写真 3-4 1,600 本/ha 区の状態（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-10 に、競合状態の調査結果を図 3-11 に示す。また令和元（2019）年度における植生調査の結果を表 3-13、写真 3-5 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、植栽木と雑草木の樹高の差は植栽密度間でほぼ変わらず、令和元（2019）年度の時点で植栽木と雑草木の樹高に大きな差が生じていた。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、植栽密度間で大きな差は見られなかった。また、どちらの植栽密度も令和元（2019）年度の時点で競合状態 C1 が 9 割を超えていた。

雑草木の種組成については、クマイチゴなどのキイチゴ類、ミヤマガマズミやタラノキなどの落葉広葉樹類などが見られ、植栽密度間で大きな差は見られなかった。

以上より、1,600 本/ha 区、2,500 本/ha 区ともに、植栽木と雑草木の平均樹高の差が大き

く、競合状態 C1 が 9 割を超えており、翌年に 4 回目の下刈りを行えば終了が検討可能であり、低密度植栽区も通常密度の植栽区と同様の回数で下刈りが終了できると考えられる。



図 3-10 植栽木と雑草木の平均樹高
(岩手県紫波町)

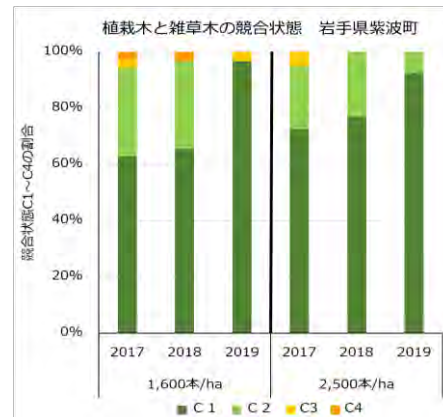


図 3-11 植栽木と雑草木の競合状態
(岩手県紫波町)

表 3-13 植生調査の結果 (岩手県紫波町)

プロット	植栽密度 (本/ha)	区分	R元 (2019)		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
2	1,600	低木層 (高さ1.0m以上)	クマイチゴ エビガライチゴ	5%	・ウリハダカエデ・ミヤマガマズミ
		草本層 (高さ1.0m未満)	ミヤマガマズミ タラノキ アキノキリンソウ	65%	・アカマツ・タガネソウ・ヌルデ ・ヨツバヒヨドリ・ハリギリ・ヤマツツジ ・クマイチゴ・エビガライチゴ・チゴユリ ・ハウチワカエデ・ウリハダカエデ ・アカシデ? サワシバ? ・ホオノキ・ワラビ
5	2,500	低木層 (高さ1.0m以上)	スギ	5%	・クマイチゴ・エビガライチゴ ・ムラサキシキブ
		草本層 (高さ1.0m未満)	クマイチゴ スギ ミヤマガマズミ	65%	・オカトラノオ・タラノキ・アワブキ ・ムラサキシキブ・ホオノキ ・ハクウンボク・キリ・ハウチワカエデ ・ハリギリ・オオバクロモシ・スゲ s p



プロット 2



プロット 5

写真 3-5 植生調査プロットの状況 (令和元 (2019) 年 7 月)

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果（表 3-14）、および植栽密度別にまとめた結果（図 3-12）は以下のとおりである。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算した場合、植栽密度別の比較では、低密度植栽区である 1,600 本/ha 区で下刈り作業時間が短くなる傾向が見られ、2,500 本/ha 区で 22.9 時間、1,600 本/ha 区で 20.9 時間となり、1,600 本/ha 区では約 2 時間の削減となった。

表 3-14 各プロットの下刈り作業時間（岩手県紫波町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,600	24	228.3	20.5	14.9	31.75	23.2
2	1,600	29	246.3	28.6	19.3	30.42	20.6
3	1,600	30	274.2	31.0	18.8	45.92	27.9
4	2,500	27	159.7	18.0	18.7	22.92	23.9
5	2,500	33	216.2	19.9	15.3	33.92	26.2
6	2,500	30	195.7	27.1	23.1	35.17	29.9

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

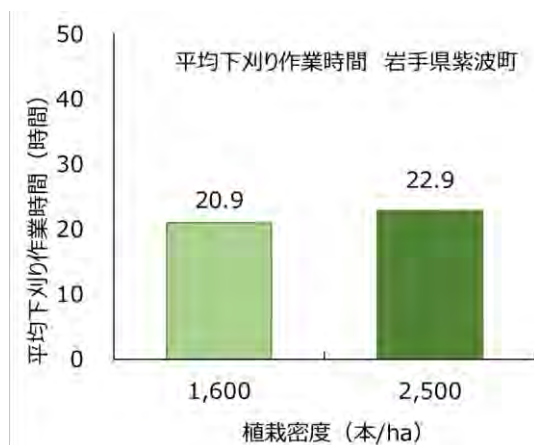


図 3-12 植栽密度別の平均下刈り作業時間（岩手県紫波町、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・ 植栽密度よりも地形で下刈り作業のやりやすさが変わる。
- ・ 斜面が緩いほうが足元に気をつけなくて済む。
- ・ 植栽間隔が 2.0m であると、刈払機の一振りで上段下段に届くが、2.5m 以上であると届かないためやりづらい。

～令和元（2019）年度～

- ・ 植栽密度による難易は感じなかったが、刈り幅と植栽間隔が一致していた方が良い。
- ・ 作業の難易は、植生の繁茂状況や石礫の有無、地拵えの際に枝条を置いた列を跨ぐことなどによった。
- ・ 誤伐を少なくするには、植栽列の方向と並行方向に刈り払いをすることが必要である。
- ・ 林分内で植栽密度が異なることは作業上支障となることが多いが、土地の生産力によって植栽密度を変えるということも考慮してみる必要がある。地力の良い斜面下部は広い間隔で、逆に地力の低い斜面上部では狭い間隔で植栽することにより、その後の下刈り終了の年や徐間伐の実施年が林分内で一致することになるのではないかと。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年度の下刈り（3回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-15 のとおりである。紫波町の下刈り 1 年目は、地拵え直後で下草の繁茂が少なかったため下刈りを省略し、試験的にプロット 2，5 のみ下刈りを行った。そのため、ここでは 1 年目の下刈りを省略したものとしてコスト算出している。

2,500 本/ha での 2,061,870 円と比較して、低密度植栽の 1,600 本/ha では 1,693,474 円と、ヘクタールあたり約 37 万円（18%）のコストが削減できることがわかった。また、苗木購入費のコスト削減効果が大きく、2,500 本/ha と比較して 1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 20 万円削減できた。

表 3-15 初期保育コスト（岩手県紫波町）

岩手県紫波町	単価	2,500本/ha	1,600本/ha
地拵え費		114,950円	114,950円
苗木購入費	225円/本	562,500円	360,000円
植栽労務費	85円/本	212,500円	136,000円
シカ柵設置費		なし	なし
諸経費など		121,128円	121,128円
下刈り1年目		省略	省略
下刈り2年目		342,360円	313,234円
下刈り3年目		354,216円	324,081円
下刈り4年目		354,216円	324,081円
合計		2,061,870円	1,693,474円
コスト削減		—	18%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
植栽後（平成 27（2015）年 12 月）	平成 28（2016）年 8 月
	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-6 実証試験地の様子（遠景、岩手県紫波町）

⑦ 現地写真（近景）

		平成 28（2016）年 8 月（下刈り前）	
		平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
		平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
		令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-7 実証試験地の様子（近景、岩手県紫波町）

(2) 岩手県 盛岡市（カラマツ）（No.2）

① 実証試験地の概要

平成 27（2015）年 11～12 月にかけて、岩手県盛岡市の実証試験地（1.00ha）に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、カラマツ 150cc コンテナ苗（実生苗）を計 1,695 本植栽した。実証試験地の概要（表 3-16）と位置図（図 3-13）は以下のとおりである。

表 3-16 実証試験地の概要（岩手県盛岡市）

実証試験地	岩手県盛岡市猪去上猪去			
苗木種	カラマツ 150cc コンテナ苗（実生苗）			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.35ha	0.35ha	0.30ha	1.00ha
植栽本数	385 本	560 本	750 本	1,695 本
気温/ 降水量 最深積雪	10.2℃（年平均気温） / 1,266.0mm（年降水量）（平年値、盛岡） 39cm（平年値、盛岡）			
標高/ 傾斜/ 方位	280～290m / 20° / SW			
土壌	乾性褐色森林土			
土地所有者	有限会社川又林業			
植栽実施者	ノースジャパン素材流通協同組合			
植栽日	平成 27（2015）年 11 月 30 日～12 月 2 日 （前生林分の伐採は平成 27（2015）年 10 月）			

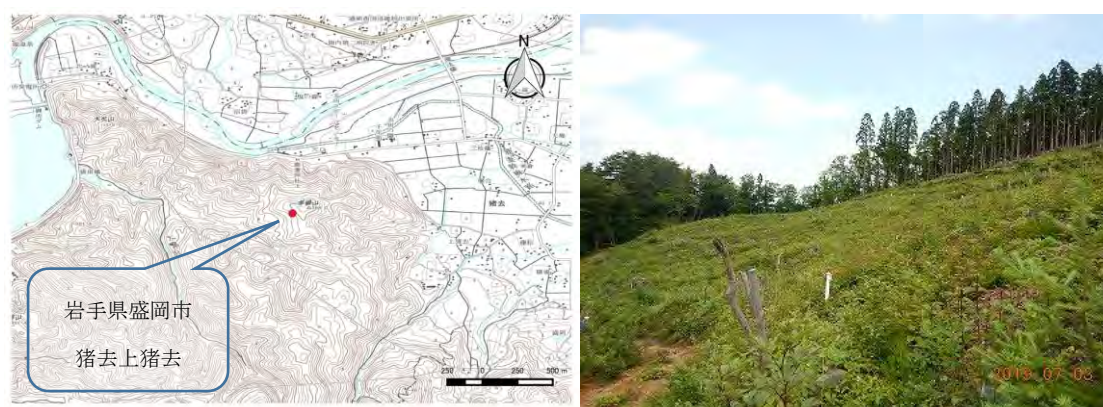


図 3-13 実証試験地の位置（左）と実証試験地の様子（右）（岩手県盛岡市）

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区にそれぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計230本（1,100本/ha：80本、1,600本/ha：78本、2,500本/ha：72本）を調査対象木とした（図3-14、表3-17）。

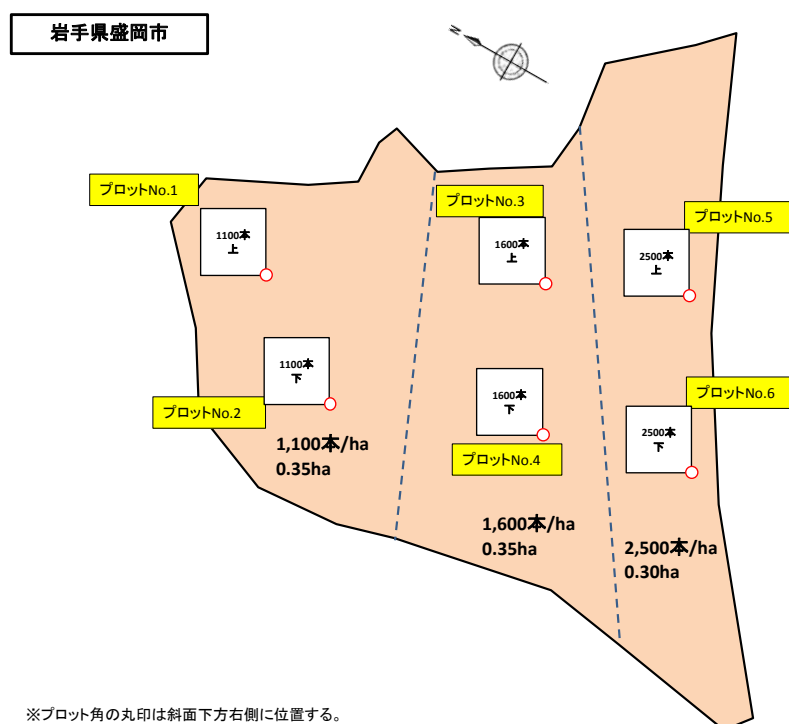


図 3-14 調査プロットの位置図（岩手県盛岡市）

表 3-17 調査プロットの概要（岩手県盛岡市）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m^2)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 1	296.0	40 本	斜面上部に設置
	No. 2	410.8	40 本	斜面下部に設置
1,600 本/ha	No. 3	277.2	41 本	斜面上部に設置
	No. 4	245.4	37 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 5	151.8	36 本	斜面上部に設置
	No. 6	144.8	36 本	斜面下部に設置
合計			230 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-18、表 3-19 のとおりである。

基本的に全ての調査プロットで下刈りを実施するものとしたが、平成 28（2016）年度においては試験的に 3 つの調査プロット（No. 1， 3， 5）で下刈りを実施しなかった。

表 3-18 下刈りの実施日（岩手県盛岡市）

年度	下刈り実施日
平成 27（2015）	—（植栽年）
平成 28（2016）	8 月 19～24 日
平成 29（2017）	8 月 7～11 日
平成 30（2018）	8 月 7～8 日
令和 元（2019）	7 月 24～29 日
下刈り実施者	有限会社 川又林業

表 3-19 下刈り実施の有無（岩手県盛岡市）

植栽密度	プロット No.	H28（2016） 下刈り	H29（2017） ～R 元（2019） 下刈り
1,100 本/ha	No. 1	無	有
	No. 2	有	有
1,600 本/ha	No. 3	無	有
	No. 4	有	有
2,500 本/ha	No. 5	無	有
	No. 6	有	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-20 のとおりである。

表 3-20 調査実施日（岩手県盛岡市）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 27 (2015)	—	平成 27 (2015) 年 12 月 3 日
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 12 月 15 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 8 月 3 日	平成 29 (2017) 年 11 月 9 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 7 月 2 日	平成 30 (2018) 年 10 月 11 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 3 日	令和 元 (2019) 年 10 月 8 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-21 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、どの調査プロットも約 95～100%と高い数値を示し、植栽密度間でほとんど変わらなかった。

令和元（2019）年度時点での生存率は、調査プロット間で多少のばらつきが生じたものの、植栽密度間では大きな差は見られなかった。平成 28（2016）年度に下刈りを実施した調査プロット（プロット 2，4，6）と実施していない調査プロット（プロット 1，3，5）で枯死率を比較したところ、翌年の平成 29（2017）年度にプロット 1（1,100 本/ha 区・下刈りを実施していない）で枯死本数が 5 本と高かったものの、ほかのプロットの枯死本数は 1～2 本であり、大きな差は見られなかった。

枯死原因について、令和元（2019）年度における調査で計 4 本の根抜けによる枯死が見られた。根抜けの原因として、風害などの気象害の可能性が考えられる。

表 3-21 活着率、生存率および枯死原因（岩手県盛岡市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)					活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,100	40	0	5(消失3・枯れ2)	0	0	5	100.0	87.5	12.5
2	1,100	40	2 (消失1・枯れ1)	1 (枯れ)	1 (枯れ)	4 (消失4)	8	95.0	80.0	20.0
3	1,600	41	0	2 (衰弱1・枯れ1)	1 (枯れ)	1 (枯れ)	4	100.0	90.2	9.8
4	1,600	37	0	1 (枯れ)	0	1 (根抜け)	2	100.0	94.6	5.4
5	2,500	36	1 (衰弱)	1 (枯れ)	1 (枯れ)	1 (根抜け)	4	97.2	88.9	11.1
6	2,500	36	0	2 (枯れ2)	0	8 (消失4・根抜け2・枯れ2)	10	100.0	72.2	27.8

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-22、図 3-15、図 3-16 および写真 3-8 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに植栽密度間で差が見られ、どちらも植栽密度が低くなるほど成長量が大きくなった。令和元（2019）年度時点における平均樹高の差は、1,100 本/ha 区と 1,600 本/ha 区の間で約 7 cm、1,100 本/ha 区と 2,500 本/ha 区の間で約 40cm、1,600 本/ha 区と 2,500 本/ha 区の間で約 33cm となっており、2,500 本/ha 区でほかの 2 つの植栽密度区よりも平均樹高が低かった。

一方で平均形状比は植栽密度間ではほぼ同じ傾向を示し、植栽直後から減少傾向を見せたものの平成 30（2018）年度からは 60 前後で推移している。

植栽密度間で成長状況に差が見られたが、本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため、植栽密度が植栽木の成長に影響したとは考えにくい。立地環境などその他の要因による影響が可能性として挙げられる。

表 3-22 植栽木の成長状況（岩手県盛岡市）

1,100本/ha						
岩手県盛岡市		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	53.7±5.5	63.7±8.2	80.8±19.6	97.5±33.4	131±51
	最小値	38.0	50.5	53.9	56.0	60.0
	最大値	64.0	98.6	148.6	230.0	306.0
地際直径(cm)	平均値	0.6±0.1	0.8±0.2	1.2±0.3	1.7±0.5	2.2±0.8
	最小値	0.4	0.4	0.7	0.9	1.0
	最大値	0.8	1.2	2.1	3.6	5.7
形状比	平均値	99.5±15	78.6±14.3	69.8±12.3	58±8.5	59.3±9
	最小値	65.0	53.7	52.9	36.2	41.8
	最大値	137.5	140.0	118.1	75.9	82.6
1,600本/ha						
岩手県盛岡市		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	52.1±5.7	61.7±9.7	75.8±16.5	90.2±26.2	124.2±40.8
	最小値	40.0	44.0	52.2	53.0	63.0
	最大値	64.0	90.5	130.3	227.0	278.0
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.8±0.1	1±0.2	1.5±0.4	2±0.6
	最小値	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
	最大値	0.7	1.1	1.5	3.3	4.7
形状比	平均値	97.8±14.6	79.9±12.2	74.1±14	63±10.3	62.7±11.9
	最小値	70.0	55.3	49.5	41.8	37.0
	最大値	135.0	117.5	111.9	86.4	94.2
2,500本/ha						
岩手県盛岡市		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	51.9±6.1	59.7±8.3	71.8±12.1	76.4±13.6	91.4±20.7
	最小値	38.0	42.1	45.9	50.5	52.0
	最大値	64.0	80.0	102.6	110.0	152.0
地際直径(cm)	平均値	0.6±0.1	0.8±0.1	1±0.2	1.4±0.3	1.7±0.5
	最小値	0.3	0.6	0.8	1.0	1.1
	最大値	0.8	1.0	1.5	2.4	2.9
形状比	平均値	93.4±16	79.8±11.6	69.7±12.8	57.4±10.1	55.1±8.3
	最小値	68.6	60.0	44.6	40.0	39.6
	最大値	143.3	113.4	108.0	90.4	77.3

※平均値の項目において、土の後の数値は標準偏差を示す

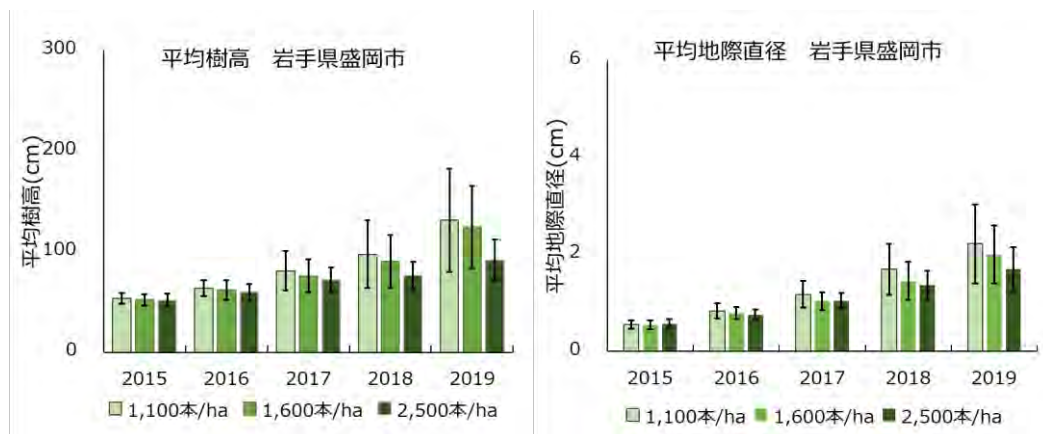


図 3-15 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（岩手県盛岡市）

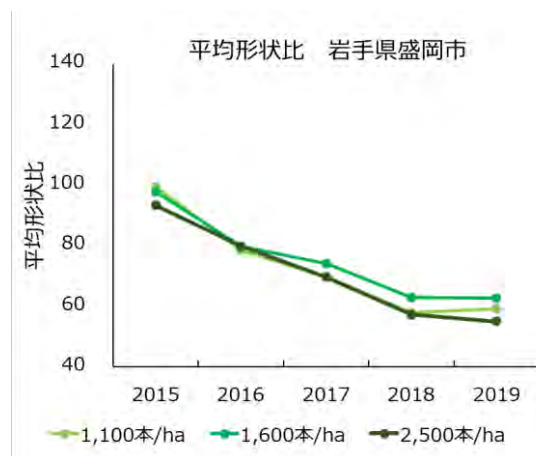


図 3-16 植栽木の形状比の推移（岩手県盛岡市）



写真 3-8 1,100 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-17 に、競合状態の調査結果を図 3-18 に示す。また令和元（2019）年度における植生調査の結果を表 3-23、写真 3-9 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、令和元（2019）年度の時点ではどの植栽密度区も植栽木と雑草木の樹高の差は同程度であり、いずれも植栽木が雑草木よりも 50cm 程度高かった。また、植栽木、雑草木とも 2,500 本/ha 区ではほかの植栽密度区より成長が悪かった。このことから、2,500 本/ha 区ではほかと比べ立地環境に差があり、植栽木と雑草木を含めた植生全体の成長に影響していると考えられる。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、植栽密度間で多少のばらつきが見られるものの、どの植栽密度区も令和元（2019）年度の時点で競合状態 C1 + C2 が 8 割を超えていた。

雑草木の種組成については、クマイチゴなどのキイチゴ類、ミヤマガマズミやタラノキなどの落葉広葉樹類などが見られ、植栽密度間で大きな差は見られなかった。

以上より、どの植栽密度区も競合状態 C1 + C2 が 8 割を超えているが、植栽木と雑草木の平均樹高の差は下刈りの終了が判断できるほど大きく開いているとはいえず、植栽後 4 年が経過した時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。



図 3-17 植栽木と雑草木の平均樹高
(岩手県盛岡市)

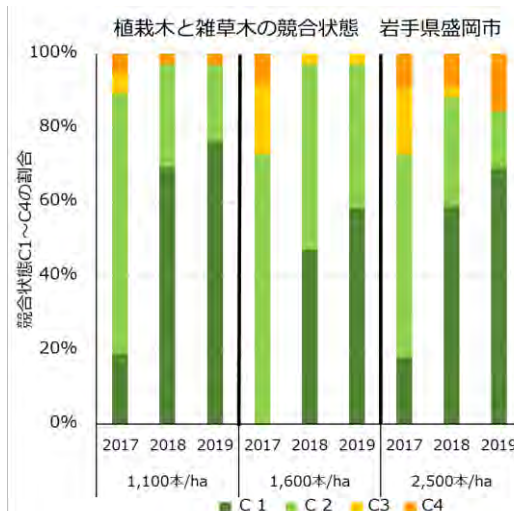


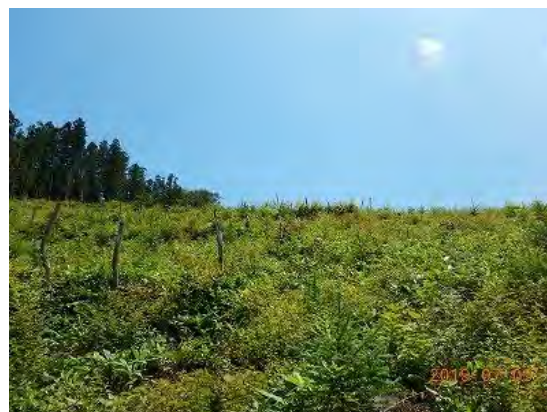
図 3-18 植栽木と雑草木の競合状態
(岩手県盛岡市)

表 3-23 植生調査の結果（岩手県盛岡市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	区分	R元 (2019)		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
2	1,100	低木層 (高さ0.8m以上)	—	—	—
		草本層 (高さ0.8m未満)	クマイザサ コゴメウツギ ミヤマガマズミ	95%	・ウワミズザクラ・マルバアオダモ ・モミジイチゴ・クマイチゴ
4	1,600	低木層 (高さ0.7m以上)	ホオノキ ウワミズザクラ	5%	—
		草本層 (高さ0.7m未満)	クマイザサ キブシ モミジイチゴ	90%	・ホオノキ・スゲ s p・ウワミズザクラ
6	2,500	低木層 (高さ0.8m以上)	クマイチゴ	5%	—
		草本層 (高さ0.8m未満)	クマイザサ クマイチゴ ミヤマガマズミ キブシ アカマツ	90%	—



プロット 2



プロット 4



プロット 6

写真 3-9 植生調査プロットの状態（令和元（2019）年 7 月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-24 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-19 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 36.9 時間、1,600 本/ha 区で 33.0 時間、1,100 本/ha 区で 32.2 時間となり、植栽密度が低いほど下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた。

表 3-24 各プロットの下刈り作業時間（岩手県盛岡市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,100	17	296.0	59.9	33.7	62.83	35.4
2	1,100	12	410.8	89.4	36.3	60.67	24.6
3	1,600	18	277.2	70.8	42.5	40.17	24.2
4	1,600	20	245.4	58.0	39.4	37.83	25.7
5	2,500	15	151.8	35.9	39.4	27.17	29.8
6	2,500	20	144.8	40.6	46.8	27.67	31.9

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

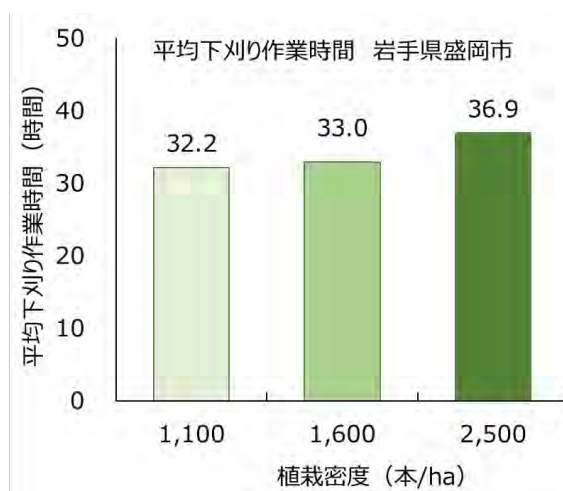


図 3-19 植栽密度別の平均下刈り作業時間（岩手県盛岡市、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・監督者より誤伐が無いよう丁寧な作業をするよう指示されており、時に手鋸を使用するなど、通常よりも慎重に下刈りを実施した。
- ・植栽間隔が広いと次の 1 本が見えにくく、作業がしにくい。気を付けないと誤伐が多くなるのではないかな。
- ・ボサの下に植栽木が埋もれていたり、広葉樹の萌芽が多いと下刈り作業の邪魔になった。

～令和元（2019）年度～

- ・慣れによるものが大きいと思うが、2,500 本/ha で植栽間隔が 2 m の方が植栽木を発見しやすく、下刈り作業がやりやすかった。一方、1,100 本/ha で植栽間隔が 3 m の時は、枯死などにより植栽木が消失していると、次の植栽木を探すのに苦労する。ただし、植栽密度別に大きく効率の差があったという意識はなかった。
- ・誤伐を避けるためには植栽時に植栽木を整然と並べることが基本であると考えているが、細かい起伏や伐根があるため難しい。横のラインだけでも合わせることを意識して植栽することが肝要だと考える。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年度の下刈り（4回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-25 のとおりである。

2,500 本/ha の 2,601,630 円と比較すると、1,600 本/ha では 2,174,826 円、1,100 本/ha では 1,992,038 円となり、2,500 本/ha と比較して 1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 43 万円（16%）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 61 万円（23%）のコストが削減できることがわかった。また、苗木購入費のコスト削減効果が大きく、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 20 万円、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 32 万円の削減となった。

表 3-25 初期保育コスト（岩手県盛岡市）

岩手県盛岡市	単価	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		268,877円	268,877円	268,877円
苗木購入費	225円/本	562,500円	360,000円	247,500円
植栽労務費	77円/本	192,500円	123,200円	84,700円
シカ柵設置費		なし	なし	なし
諸経費など		123,806円	123,806円	123,806円
下刈り1年目		307,197円	274,447円	267,731円
下刈り2年目		384,000円	343,062円	334,666円
下刈り3年目		381,375円	340,717円	332,379円
下刈り4年目		381,375円	340,717円	332,379円
合計		2,601,630円	2,174,826円	1,992,038円
コスト削減		—	16%	23%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」、「諸経費など」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
植栽後（平成 27（2015）年 12 月）	平成 28（2016）年 7 月
	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-10 実証試験地の様子（遠景、岩手県盛岡市）

⑦ 現地写真（近景）

	
平成 28（2016）年 7 月	平成 28（2016）年 8 月
	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-11 実証試験地の様子（近景、岩手県盛岡市）

(3) 岩手県 葛巻町（カラマツ）（No.3）

① 実証試験地の概要

平成 27（2015）年 11 月に、岩手県葛巻町の実証試験地（1.07ha）に 1,600 本/ha、2,500 本/ha の 2 つの植栽密度区を設け、カラマツ 150cc コンテナ苗（実生苗）を計 2,189 本植栽した。実証試験地の概要（表 3-26）と位置図（図 3-20）は以下のとおりである。

表 3-26 実証試験地の概要（岩手県葛巻町）

実証試験地	岩手県葛巻町押田内		
苗木種	カラマツ 150cc コンテナ苗（実生苗）		
植栽密度	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.54ha	0.53ha	1.07ha
植栽本数	864 本	1,325 本	2,189 本
気温/ 降水量 最深積雪	8.4℃（年平均気温） / 1,008.7mm（年降水量）（平年値、葛巻） 52cm（平年値、葛巻）		
標高/ 傾斜/ 方位	220～250m / 10～15° / NW		
土壌	乾性褐色森林土		
土地所有者	個人所有者		
植栽実施者	葛巻森林組合		
植栽日	平成 27（2015）年 11 月 16～18 日（前生林分の伐採は平成 25 年 11 月）		

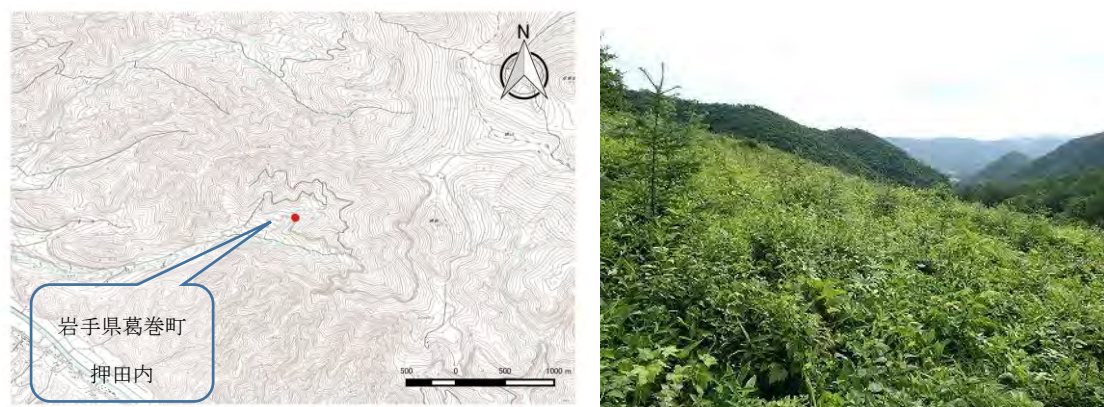


図 3-20 実証試験地の位置（左）と様子（右）（岩手県葛巻町）

② 調査プロットの概要

2つの植栽密度区に、それぞれ3つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計235本（1,600本/ha：117本、2,500本/ha：118本）を調査対象木とした（図3-21、表3-27）。

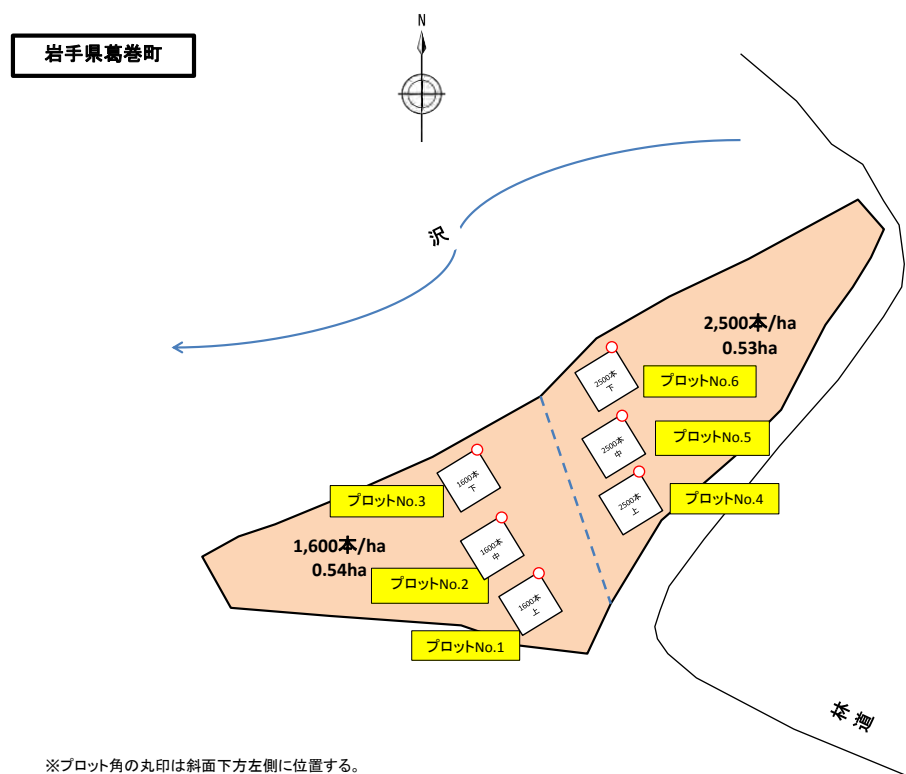


図 3-21 調査プロットの位置図（岩手県葛巻町）

表 3-27 調査プロットの概要（岩手県葛巻町）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,600 本/ha	No. 1	278.3	41 本	斜面上部に設置
	No. 2	256.9	40 本	斜面中部に設置
	No. 3	227.1	36 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 4	183.3	42 本	斜面上部に設置
	No. 5	174.6	40 本	斜面中部に設置
	No. 6	158.9	36 本	斜面下部に設置
合計			235 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-28、表 3-29 のとおりである。

基本的に全ての調査プロットで下刈りを実施するものとしたが、平成 28（2016）年度においては試験的に 2 つの調査プロット（No. 2, 5）で下刈りを実施しなかった。

表 3-28 下刈りの実施日（岩手県葛巻町）

年度	下刈り実施日
平成 27（2015）	—（植栽年）
平成 28（2016）	8 月 25～26 日
平成 29（2017）	9 月 11 日
平成 30（2018）	7 月 18 日
令和 元（2019）	7 月 29 日～8 月 1 日
下刈り実施者	葛巻森林組合

表 3-29 下刈り実施の有無（岩手県葛巻町）

植栽密度	プロット No.	H28（2016） 下刈り	H29（2017）～ R 元（2019） 下刈り
1,600 本/ha	No. 1	有	有
	No. 2	無	有
	No. 3	有	有
2,500 本/ha	No. 4	有	有
	No. 5	無	有
	No. 6	有	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-30 のとおりである。

表 3-30 調査実施日（岩手県葛巻町）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 27 (2015)	—	平成 27 (2015) 年 11 月 30 日
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 12 月 13 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 8 月 3 日	平成 29 (2017) 年 11 月 6 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 7 月 2 日	平成 30 (2018) 年 10 月 12 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 2 日	令和 元 (2019) 年 10 月 9 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-31 のとおりである。

活着率は植栽密度間で大きな差は見られず、どの植栽密度区も 90%以上と高い数値を示した。

生存率および枯死率については、植栽翌年の平成 28（2016）年度に試験的に下刈りを行わなかった 2 つの調査プロット（No. 2, 5）で、翌年の平成 29（2017）年度の枯死本数が僅かに高かった（プロット 2 は 3 本、プロット 5 は 4 本）。令和元（2019）年度時点の生存率については、植栽密度間で大きな差は見られなかった。

以上より、植栽木の初期における生育に植栽密度は影響を与えなかったと考えられる。また、カラマツは植栽直後において雑草木の被圧の影響を受けやすい可能性があり、注意が必要である。

表 3-31 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（岩手県葛巻町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,600	41	3 (幹折れ1・枯れ2)	2 (シカ食1・枯れ1)	0	0	5	92.7	87.8	12.2
2	1,600	40	0	3 (衰弱1・枯れ1・誤伐1)	0	0	3	100.0	92.5	7.5
3	1,600	36	2 (枯れ1・幹折れ1)	1 (誤伐)	1 (誤伐)	0	4	94.4	88.9	11.1
4	2,500	42	1 (枯れ)	2 (梢端折れ)	1 (獣虫害)	0	4	97.6	90.5	9.5
5	2,500	40	1 (枯れ)	4 (衰弱1・梢端折れ1・誤伐1・消失1)	2 (枯れ2)	1 (枯れ)	8	97.5	80.0	20.0
6	2,500	36	1 (枯れ)	1 (梢端折れ)	0	0	2	97.2	94.4	5.6

※活着率は植栽翌年の数値である
※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-32、図 3-22、図 3-23 および写真 3-12 のとおりである。

令和元（2019）年度の時点では平均樹高、平均地際直径、形状比ともに植栽密度間で大きな差は見られなかったことから、本実証試験地では植栽木の初期成長に植栽密度は影響を与えなかったと考えられる。

表 3-32 植栽木の成長状況（岩手県葛巻町）

1,600本/ha						
岩手県葛巻町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	45.9±5.7	52.9±7.5	82.7±18.6	103.8±25.8	152.5±39.8
	最小値	30.0	35.9	35.2	52.0	76.0
	最大値	62.0	72.7	141.0	187.0	264.0
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.7±0.1	1.1±0.2	1.6±0.5	2.3±0.7
	最小値	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0
	最大値	0.7	1.1	1.8	2.9	4.1
形状比	平均値	94.6±16.7	80.8±11.8	79.2±16.3	66.3±10.7	67±10.6
	最小値	60.0	50.7	48.9	40.0	36.4
	最大値	145.0	106.7	133.0	105.7	97.5
2,500本/ha						
岩手県葛巻町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	43.9±5.8	53.4±7.4	85.6±17.9	103.3±27.2	154.4±40.5
	最小値	32.0	27.0	52.5	35.5	67.0
	最大値	57.0	73.1	131.2	187.0	282.0
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.6±0.1	1±0.2	1.5±0.5	2.2±0.7
	最小値	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9
	最大値	0.6	1.0	2.1	3.4	5.1
形状比	平均値	93.8±14.4	86.4±13.3	88.8±18.7	68.7±12.1	70.6±11.2
	最小値	64.0	45.0	51.5	39.0	44.1
	最大値	135.0	121.8	149.0	97.0	101.7

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

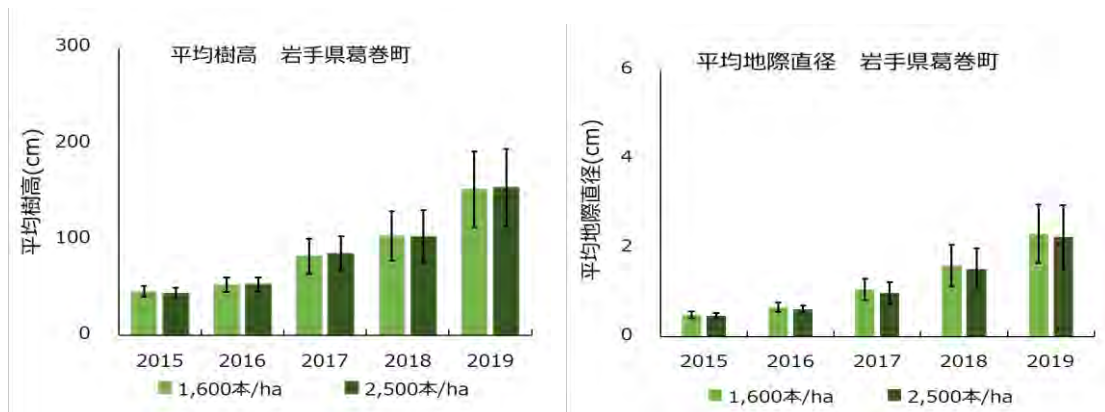


図 3-22 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（岩手県葛巻町）

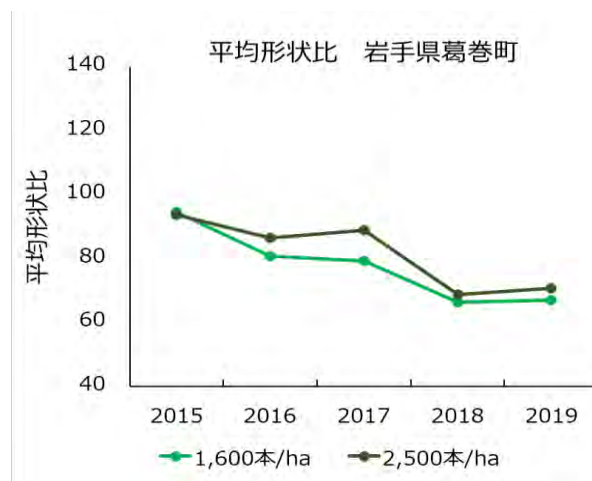


図 3-23 植栽木の形状比の推移（岩手県葛巻町）



写真 3-12 1,600 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-24 に、競合状態の調査結果を図 3-25 に示す。また令和元（2019）年度における植生調査の結果を表 3-33、写真 3-13 に示す。

植栽木と雑草木の平均樹高の差については植栽密度間で差は見られず、令和元（2019）年度の時点で平均樹高の差は約 40cm 程度だった。

競合状態の調査では、植栽密度間で競合状態 C1 + C2 の割合に差は見られず、平成 30（2018）年度の時点で約 8 割、令和元（2019）年度の時点で 9 割程度だった。

雑草木の種組成については、どちらの植栽密度区も植被率は高いものの、スゲ類などの背丈の低い雑草木が優占していた。植栽密度間で種組成に大きな違いは見られなかった。

以上より、どの植栽密度区においても競合状態 C1 + C2 の割合は 9 割程度あるものの、植栽木と雑草木の樹高差は下刈りを終了するのに十分なほど開いているとはいえず、植栽後 4 年が経過した時点での下刈り終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。



図 3-24 植栽木と雑草木の平均樹高
(岩手県葛巻町)



図 3-25 植栽木と雑草木の競合状態
(岩手県葛巻町)

表 3-33 植生調査の結果（岩手県葛巻町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	区分	R元 (2019)		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
1	1,600	低木層 (高さ0.7m以上)	ノアザミ	5%	・ヨツバヒヨドリ・クマイチゴ ・アキカラムツ
		草本層 (高さ0.7m未満)	スゲSp. ヤブレガサ トリアシショウマ	90%	・ヤマカモジグサ・ウワミズザクラ ・モミジイチゴ・クサボタン ・タラノキ・ミズナラ・シロヨメナ ・クマヤナギ・ヨツバヒヨドリ
4	2,500	低木層 (高さ0.6m以上)	ヨツバヒヨドリ モミジイチゴ	5%	・クサボタン・タラノキ ・ウドノキ・アザミSp.
		草本層 (高さ0.6m未満)	スゲSp. チマキザサ節Sp. ノコンギク	90%	・オカトラノオ・トリアシショウマ ・ムラサキシキブ・ウチワドコロ ・タラノキ・ウリハダカエデ ・ヤマオダマキ・ヤマカモジグサ ・サルナシ・ホオノキ・オオバショウマ



プロット 1



プロット 4

写真 3-13 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年 7 月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-34 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-26 に示す。

1,600 本/ha 区でヘクタールあたり 25.2 時間、2,500 本/ha 区でヘクタールあたり 30.2 時間であり、低密度植栽区で下刈り作業時間が減少する傾向が見られた。

表 3-34 各プロットの下刈り作業時間（岩手県葛巻町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,600	18	278.3	62.2	37.2	30.67	18.4
2	1,600	17	256.9	52.5	34.0	22.50	14.6
3	1,600	18	227.1	43.5	31.9	19.22	14.1
4	2,500	15	183.3	41.9	38.1	26.37	24.0
5	2,500	15	174.6	35.9	34.3	28.38	27.1
6	2,500	18	158.9	32.5	34.1	22.17	23.3

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

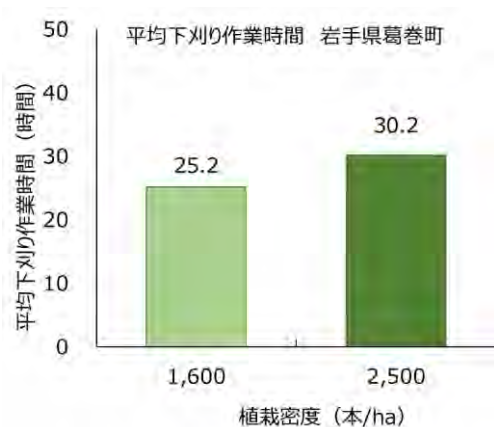


図 3-26 植栽密度別の平均下刈り作業時間（岩手県葛巻町、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・ ツル巻きが多く、見つけた場合は手で取り除きながら作業を行った。（ツルを取る作業も下刈り作業時間に含めている。）
- ・ 植栽間隔よりも、プロットごとの地形によって下刈り作業の難易が変わる。
- ・ 岩がない方が下刈り作業はやりやすい。

～令和元（2019）年度～

- ・ 植栽密度間の比較では、1,600 本/ha 区の方が下刈り作業がやりやすく、2,500 本/ha 区ではやりにくさを感じた。また、場所により草丈が高く植栽木が視認できない場所や、ツル植物や灌木などが存在しており、そういった場所でも下刈り作業はやりにくかった。
- ・ 植栽間隔が異なることに関しては、下刈りを実施していく中で慣れて作業効率がアップした。
- ・ 下刈り作業は、原則として植栽木が 5 年生になるまでは実施する。下刈りが終了した後については、ツル切りや灌木の除伐などを実施して保育管理をしていくことが望ましい。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年度の下刈り（４回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-35 のとおりである。

2,500 本/ha の 2,024,696 円と比較すると、1,600 本/ha では 1,643,998 円となり、2,500 本/ha 区と比較して 1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 38 万円（19%）のコストが削減できることがわかった。また、苗木購入費のコスト削減効果が大きく、2,500 本/ha と比較して 1,600 本/ha では約 19 万円の削減だった。

表 3-35 初期保育コスト（岩手県葛巻町）

岩手県葛巻町	単価	2,500本/ha	1,600本/ha
地拵え費		370,000円	370,000円
苗木購入費	206円/本	515,000円	329,600円
植栽労務費	60円/本	150,000円	96,000円
シカ柵設置費		なし	なし
諸経費など		133,678円	133,678円
下刈り1年目		191,907円	160,230円
下刈り2年目		206,030円	172,022円
下刈り3年目		229,041円	191,234円
下刈り4年目		229,041円	191,234円
合計		2,024,696円	1,643,998円
コスト削減		—	19%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」、「諸経費など」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
施業前（平成 27（2015）年）	植栽後（平成 27（2015）年 11 月）
	
平成 28（2016）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-14 実証試験地の様子（遠景、岩手県葛巻町）

⑦ 現地写真（近景）

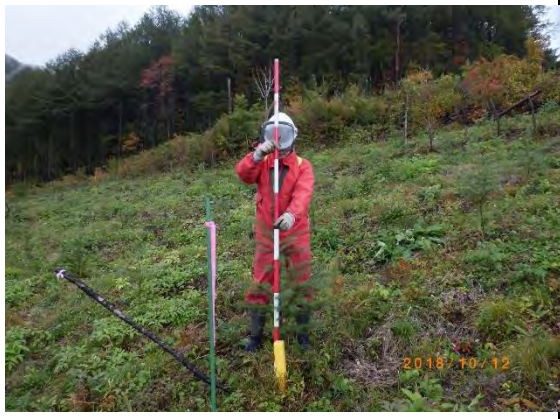
	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-15 実証試験地の様子（近景、岩手県葛巻町）

(4) 宮城県 登米市 (スギ) (No.4)

① 実証試験地の概要

平成 27 (2015) 年 12 月に、宮城県登米市の実証試験地 (1.14ha) に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、スギ 150cc コンテナ苗 (実生苗) を計 1,976 本植栽した。実証試験地の概要 (表 3-36) と位置図 (図 3-27) を以下に示す。

本実証試験地は植栽直後の平成 27 (2015) 年度に多くの植栽木がウサギによると思われる食害を受けて枯死しており、平成 28 (2016) 年度に補植作業を実施した上で忌避剤を使用した (表 3-37、写真 3-16、写真 3-17)。

表 3-36 実証試験地の概要 (宮城県登米市)

実証試験地	宮城県登米市東和町米川字西綱木			
苗木種	スギ 150cc コンテナ苗 (実生苗)			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.38ha	0.38ha	0.38ha	1.14ha
植栽本数	418 本	608 本	950 本	1,976 本
気温/ 降水量 最深積雪	11.3℃(年平均気温) / 1211.5mm (年降水量) (平年値、一関) 24cm (平年値、一関)			
標高/ 傾斜/ 方位	100～130m / 38° / NE			
土壌	乾性褐色森林土			
土地所有者	登米市			
植栽実施者	東和町森林組合			
植栽日	平成 27 (2015) 年 12 月 8～11 日 (前生林分の伐採は平成 24 年 10 月)			
補植日	平成 28 (2016) 年 10 月 7 日			
忌避剤散布	平成 28 (2016) 年 10 月 25 日			

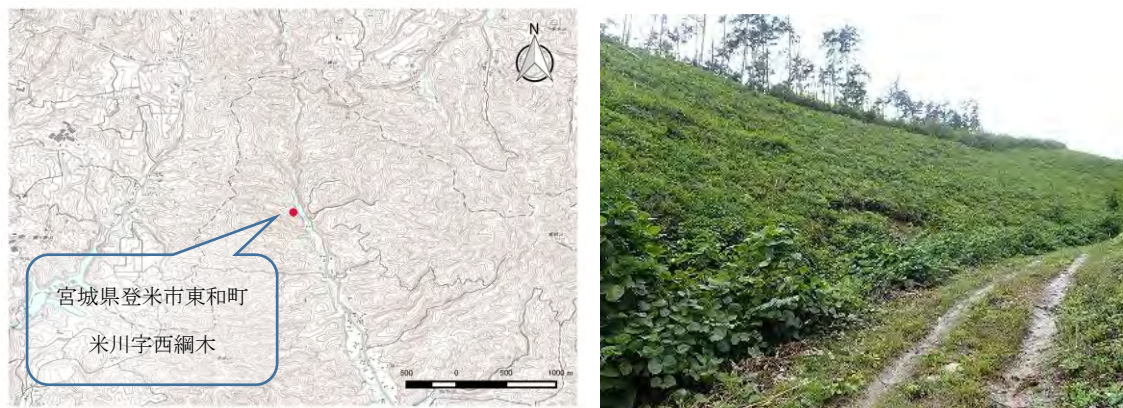


図 3-27 実証試験地の位置 (左) と様子 (右) (宮城県登米市)

表 3-37 植栽密度ごとの食害発生状況および補植本数

植栽密度	植栽面積 (ha)	植栽本数 (本)	食害本数 (本)	食害割合 (%)	補植本数 (本)
1,100 本/ha	0.38	418	85	20.3	85
1,600 本/ha	0.38	608	183	30.1	183
2,500 本/ha	0.38	950	475	50.0	475
合計	1.14	1,976	743	37.6	743



写真 3-16 食害を受け枯死したスギ（平成 28（2016）年 7 月）



写真 3-17 忌避剤の散布状況（平成 28（2016）年 10 月）

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区に、それぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計219本（1,100本/ha：75本、1,600本/ha：73本、2,500本/ha：71本）を調査対象木とした。（図3-28、表3-38）

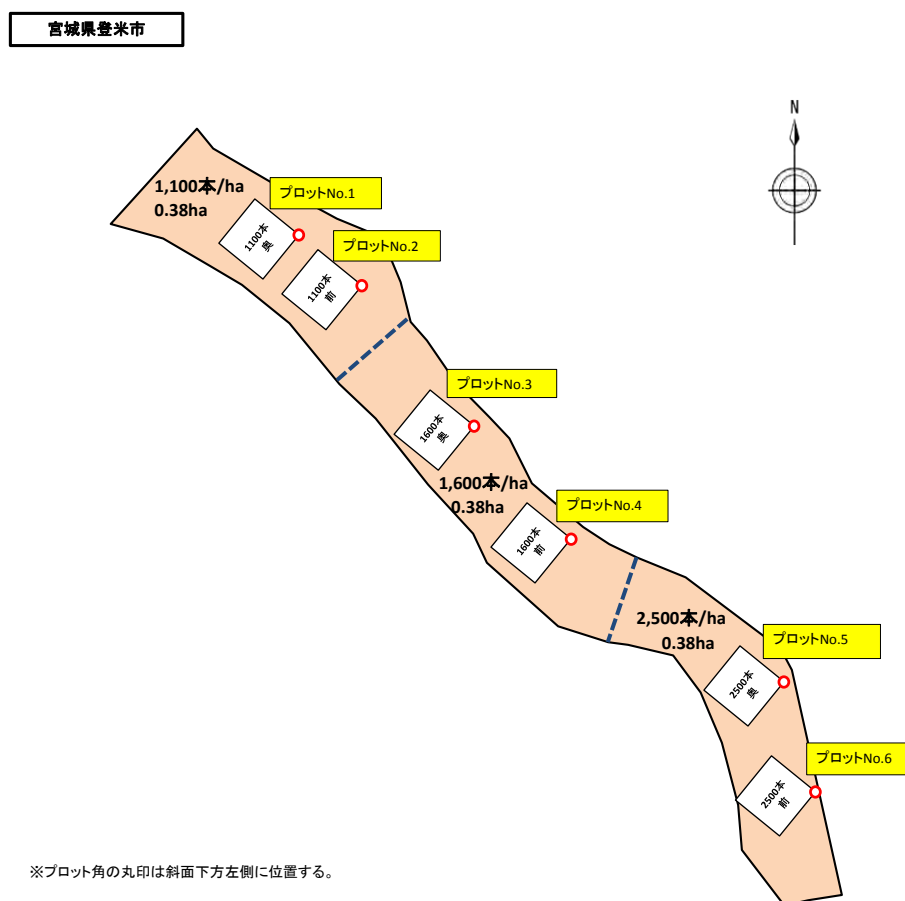


図 3-28 調査プロットの位置図（宮城県登米市）

表 3-38 調査プロットの概要（宮城県登米市）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 1	374.9	39 本	1,100 本区奥側に設置
	No. 2	419.2	36 本	1,100 本区前側に設置
1,600 本/ha	No. 3	277.0	35 本	1,600 本区奥側に設置
	No. 4	266.1	38 本	1,600 本区前側に設置
2,500 本/ha	No. 5	182.0	34 本	2,500 本区奥側に設置
	No. 6	185.0	37 本	2,500 本区前側に設置
合計			219 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-39、表 3-40 のとおりである。基本的に全ての調査プロットで下刈りを実施するものとしたが、平成 28（2016）年度においては試験的に 3 つの調査プロット（No. 2, 4, 6）で下刈りを実施しなかった。

表 3-39 下刈りの実施日（宮城県登米市）

年度	下刈り実施日
平成 27（2015）	—（植栽年）
平成 28（2016）	8 月 25～26 日
平成 29（2017）	9 月 19～21 日
平成 30（2018）	8 月 2 日
令和 元（2019）	7 月 29～31 日
下刈り実施者	東和町森林組合

表 3-40 下刈り実施の有無（宮城県登米市）

植栽密度	プロット No.	H28 (2016) 下刈り	H29（2017）～ R 元（2019） 下刈り
1,100 本/ha	No. 1	有	有
	No. 2	無	有
1,600 本/ha	No. 3	有	有
	No. 4	無	有
2,500 本/ha	No. 5	有	有
	No. 6	無	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-41 のとおりである。

表 3-41 調査実施日（宮城県登米市）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 27 (2015)	—	平成 28 (2016) 年 1 月 12 日
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 12 月 26 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 8 月 4 日	平成 29 (2017) 年 11 月 8 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 7 月 4 日	平成 30 (2018) 年 10 月 19 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 4 日	令和 元 (2019) 年 10 月 11 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-42 のとおりである。なお、前述のとおり本実証試験地は平成 28（2016）年度に多くの植栽木が食害を受けて枯死したため補植を実施しており、以下のデータは補植後のものである。また活着率については補植から 2 か月後の調査データを基にしている。

令和元（2019）年度時点での生存率は、1,100 本/ha 区で低かった。原因については特定が難しいが、ウサギによる食害が一因の可能性はある。

表 3-42 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（宮城県登米市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,100	39	0	8 (枯れ8)	3 (消失1・獣虫害1・枯れ1)	3 (消失2・獣虫害1)	14	100.0	64.1	35.9
2	1,100	36	1 (枯れ1)	1 (ウサギ食害)	6 (枯れ4・ウサギ食害1・消失1)	3 (誤伐1・消失1・枯れ1)	11	97.2	69.4	30.6
3	1,600	35	0	5 (枯れ4・誤伐1)	0	3 (枯れ2・消失1)	8	100.0	77.1	22.9
4	1,600	38	2 (消失2)	1 (枯れ)	2 (消失1・枯れ1)	2 (誤伐2)	7	94.7	81.6	18.4
5	2,500	34	0	1 (誤伐)	3 (誤伐1・枯れ2)	0	4	100.0	88.2	11.8
6	2,500	37	1 (消失1)	0	4 (誤伐2・枯れ2)	2 (枯れ2)	7	97.3	81.1	18.9

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-43、図 3-29、図 3-30 および写真 3-18 のとおりである。なお、平成 28（2016）年度に補植を実施しており、平成 27（2015）年度のデータは、参考データとして掲載している。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高は 1,100 本/ha 区でほかの植栽密度区と比較して高い値を示した。本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため、植栽密度が植栽木の成長に影響したとは考えにくく、立地環境や食害の発生状況、雑草木の繁茂状況など、植栽密度以外の要因による影響が可能性として挙げられる。

平均形状比は植栽密度間でほぼ同じ傾向を示し、植栽直後から減少傾向を見せたものの平成 30（2018）年度からは 60 前後で推移している。

表 3-43 植栽木の成長状況（宮城県登米市）

1,100本/ha						
宮城県登米市		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	39.7±8.1	41.5±9.2	55.5±20	72.6±28	106±42.1
	最小値	26.0	25.0	24.3	36.0	42.0
	最大値	61.0	68.0	125.0	169.0	232.0
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.5±0.1	0.7±0.2	1.1±0.5	1.6±0.8
	最小値	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6
	最大値	0.8	1.1	1.4	2.8	3.9
形状比	平均値	78.6±14.2	76.9±11	80.8±13.4	66±10.5	68.7±11
	最小値	45.0	52.7	48.7	37.4	46.6
	最大値	112.5	104.4	107.0	85.3	92.0
1,600本/ha						
宮城県登米市		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	39.1±8.3	40.3±7.7	57±12.9	71.1±18.8	85±23.9
	最小値	13.0	19.0	36.1	43.0	32.0
	最大値	65.0	60.0	100.2	130.0	170.0
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.5±0.1	0.7±0.1	1±0.3	1.4±0.5
	最小値	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
	最大値	0.7	0.8	1.1	2.1	3.2
形状比	平均値	79±18.1	80.1±17.2	87±14.7	69.2±9.7	62.6±13.1
	最小値	32.5	38.0	59.5	51.2	44.3
	最大値	116.7	115.0	120.2	92.9	111.4
2,500本/ha						
宮城県登米市		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	40.2±6.9	42.1±7	57.2±13.5	74.8±19.9	96.5±29.5
	最小値	29.0	30.0	32.6	39.0	51.0
	最大値	57.0	62.0	92.1	125.0	184.0
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.5±0.1	0.7±0.2	1.2±0.3	1.7±0.5
	最小値	0.4	0.3	0.4	0.6	0.9
	最大値	0.8	0.9	1.3	2.0	2.8
形状比	平均値	78.7±13.2	80±15.9	84±19	65.6±14.5	59.2±10
	最小値	51.4	47.5	47.3	38.8	37.8
	最大値	108.0	115.0	132.8	116.1	77.2

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す
 ※H27は参考データとして掲載

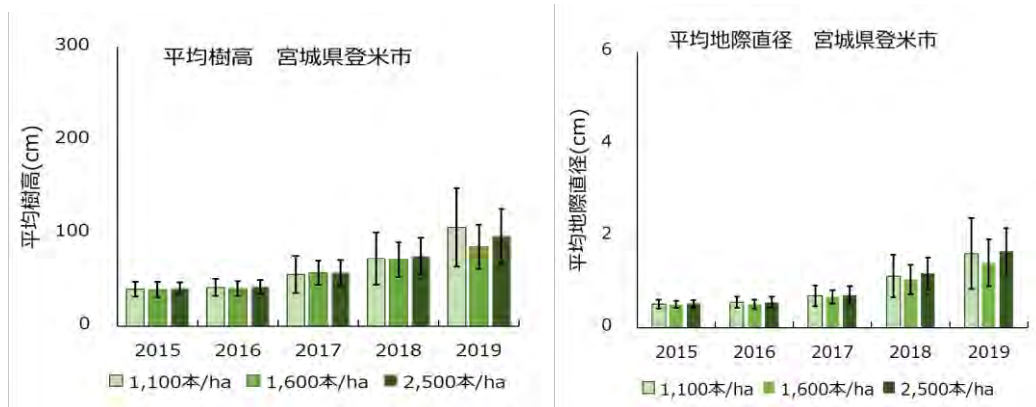


図 3-29 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（宮城県登米市）



図 3-30 植栽木の形状比の推移（宮城県登米市）



写真 3-18 1,100 本/ha 区の状態（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-31 に、競合状態の調査結果を図 3-32 に示す。また令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-44、写真 3-19 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、1,100 本/ha 区で植栽木、雑草木ともわずかに平均樹高が高かったものの、栽密度間で大きな差は見られなかった。またどの植栽密度も植栽木の成長が良好ではなく、植栽後 4 年が経過した令和元（2019）年度の時点でも雑草木との競争に負けている状況であった。

植栽木と雑草木の競合状態の比較でも、令和元（2019）年の時点でどの植栽密度区も競合状態 C4 が約 4～5 割となっており、多くの植栽木が雑草木との競争に負けている状況を示している。

雑草木の種組成については、ススキやクマイチゴなどのキイチゴ類、ウワミズザクラやコゴメウツギなどの落葉広葉樹類などが見られ、植被率は高かった。植栽密度間での比較では、1,100 本/ha 区でキイチゴ類が比較的多く、また低木層に達した雑草木が多かった。

以上より、どの植栽密度区も植栽木が雑草木の平均樹高より低く、競合状態 C4 が約 4～5 割であるため、植栽後 4 年が経過した時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。

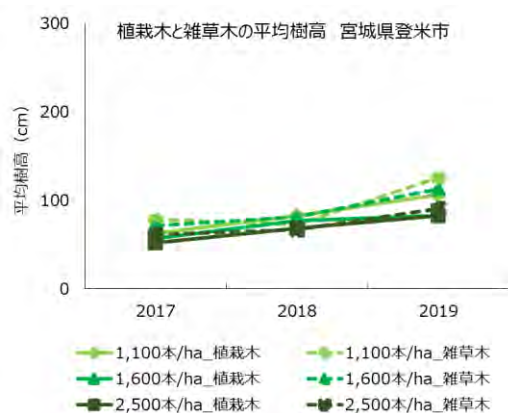


図 3-31 植栽木と雑草木の平均樹高
(宮城県登米市)

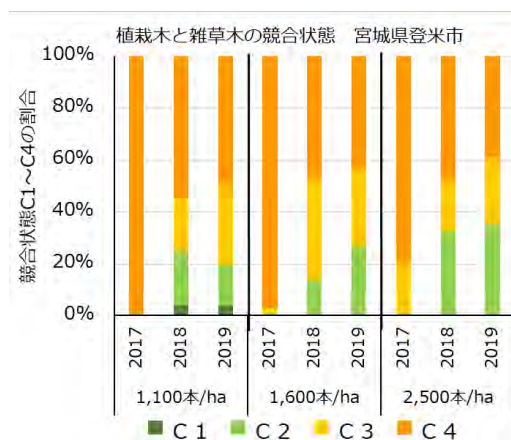


図 3-32 植栽木と雑草木の競合状態
(宮城県登米市)

表 3-44 植生調査の結果（宮城県登米市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
1	1,100	低木層 (高さ1.2m以上)	クマイチゴ タケニグサ ススキ	70%	・ウワミズザクラ・タニウツギ ・ムラサキシキブ
		草本層 (高さ1.2m未満)	ヘビイチゴ トリアシショウマ コゴメウツギ	50%	・ヘビノネコザ（シダ）・クサギ ・ヌルデ・アワブキ・ニガイチゴ ・モミジイチゴ・ゼンマイ ・フジ・ホオノキ
3	1,600	低木層 (高さ1.0m以上)	ススキ イタドリ ウワミズザクラ	20%	・タケニグサ・ヒヨドリバナ・エゴノキ
		草本層 (高さ1.0m未満)	ヘビノネコザ（シダ） モミジイチゴ コゴメウツギ	85%	・ヒメジョオン・タラノキ ・ヤマイヌワラビ・タニウツギ ・オカトラノオ・イタドリ・タケニグサ ・ニガイチゴ・クマイチゴ・タガネソウ ・ヌカボシソウ
5	2,500	低木層 (高さ1.3m以上)	ウワミズザクラ タケニグサ ホオノキ	8%	・クマイチゴ
		草本層 (高さ1.3m未満)	ヤマドリゼンマイ コゴメウツギ ススキ	90%	・ニガイチゴ・モミジイチゴ ・リョウブ・タラノキ・エゴノキ ・フジ・ハクウンボク ・オカトラノオ・ヒヨドリバナ ・クマイチゴ・サンショウ ・ウリハダカエデ・ムラサキシキブ



プロット 1



プロット 3



プロット 5

写真 3-19 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年 7 月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-45 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-33 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 32.5 時間、1,600 本/ha 区で 21.9 時間、1,100 本/ha 区で 19.8 時間となり、植栽密度が低いほど下刈り作業時間が減少する傾向が見られた。

表 3-45 各プロットの下刈り作業時間（宮城県登米市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,100	38	374.9	63.5	28.2	26.92	12.0
2	1,100	37	419.2	45.9	18.3	52.17	20.7
3	1,600	39	277.0	36.7	22.1	28.50	17.1
4	1,600	40	266.1	24.4	15.2	53.33	33.4
5	2,500	42	182.0	28.3	25.9	36.17	33.1
6	2,500	40	185.0	19.4	17.5	59.17	53.3

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

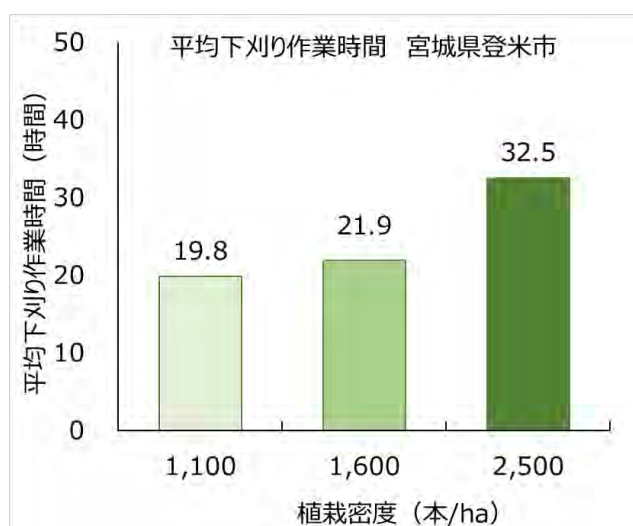


図 3-33 植栽密度別の平均下刈り作業時間（宮城県登米市、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・ どの調査プロットも地形が悪く、特にガレ場があるところでは下刈り作業が難しい。
- ・ 植栽木さえ見えれば植栽間隔は下刈り作業に影響しない。
- ・ 本実証試験地の植栽木の成長は良くない印象である。
- ・ 植栽間隔が 2.0m と 2.5m の場合は植栽木の場所の予測がしやすい。植栽間隔が 3.0m だと上の段の苗が見えず下刈り作業がやりにくい。これは距離感覚の問題である。
- ・ 2,500 本区では植栽木を密植しているため、下刈り作業時に植栽木を避ける分の手間がかかった。

～令和元（2019）年度～

- ・ 植栽密度が違うことにより、下刈り作業の難易度が変化したという実感はなかった。
- ・ 植栽密度によって下刈り作業時間に差が生じた理由として、傾斜や雑草木の繁茂状況の違い、現場作業員の疲労度なども考えられる。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（4回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-46 のとおりである。

3,000 本/ha の 2,664,197 円と比較すると、2,500 本/ha では 2,495,540 円、1,600 本/ha では 1,900,759 円、1,100 本/ha では 1,685,687 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 17 万円（6％）、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 76 万円（29％）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 98 万円（37％）のコストが削減できることがわかった。また、苗木購入費のコスト削減効果が大きく、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 12 万円、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 30 万円、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 44 万円となった。

表 3-46 初期保育コスト（宮城県登米市）

宮城県登米市	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		429,825円	429,825円	429,825円	429,825円
苗木購入費	230円/本	690,000円	575,000円	368,000円	253,000円
植栽労務費	67円/本	201,000円	167,500円	107,200円	73,700円
シカ柵設置費		なし	なし	なし	なし
諸経費など		315,375円	315,375円	315,375円	315,375円
下刈り1年目		252,101円	247,158円	166,848円	150,522円
下刈り2年目		223,239円	218,862円	147,746円	133,290円
下刈り3年目		276,328円	270,910円	182,882円	164,988円
下刈り4年目		276,328円	270,910円	182,882円	164,988円
合計		2,664,197円	2,495,540円	1,900,759円	1,685,687円
コスト削減		—	6%	29%	37%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」、「諸経費など」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
植栽後（平成 28（2016）年 1 月）	平成 28（2016）年 8 月
	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-20 実証試験地の様子（遠景、宮城県登米市）

⑦ 現地写真（近景）

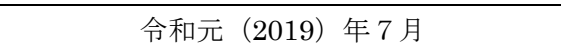
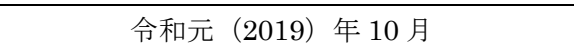
		平成 28（2016）年 8 月
		平成 29（2017）年 11 月
		平成 30（2018）年 10 月
		令和元（2019）年 10 月
		令和元（2019）年 7 月

写真 3-21 実証試験地の様子（近景、宮城県登米市）

3-2-2. 近畿・中国地方

(1) 三重県 大紀町（ヒノキ）（No.5）

① 実証試験地の概要

平成 28（2016）年 2 月に、三重県大紀町の実証試験地（0.9ha）に 1,600 本/ha、2,500 本/ha の 2 つの植栽密度区を設け、ヒノキ 150cc コンテナ苗（実生苗）を計 1,800 本植栽した。実証試験地の概要（表 3-47）と位置図（図 3-34）を以下に示す。

本実証試験地の周辺にはシカが多数生息していることが確認されており、平成 27（2015）年度にシカ柵の設置を行った。しかし、平成 28（2016）年度 12 月にシカによる植栽木への食害がほとんどの植栽木に確認されており、シカ柵には数箇所ピンが確認された。また、平成 30（2018）年 11 月の調査時には、倒木の発生によりシカ柵の破損が確認された。

表 3-47 実証試験地の概要（三重県大紀町）

実証試験地	三重県大紀町崎		
苗木種	ヒノキ 150cc コンテナ苗（実生苗）		
植栽密度	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.50ha	0.40ha	0.90ha
植栽本数	800 本	1,000 本	1,800 本
気温/ 降水量	15.7℃（年平均気温） / 2,261.6mm（年降水量）（平年値、南伊勢）		
標高/ 傾斜/ 方位	170～240m / 36～46° / N、NW、S		
土壌	褐色森林土		
土地所有者	個人所有者		
植栽実施者	大紀森林組合		
植栽日	平成 28（2016）年 2 月 16～18 日（前生林分の伐採は平成 17 年 10 月）		



図 3-34 実証試験地の位置（左）と様子（右）（三重県大紀町）

② 調査プロットの概要

1,600 本/ha の植栽密度区に 3 つ、2,500 本/ha の植栽密度区に 2 つ、合計 5 つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計 180 本（1,600 本/ha : 107 本、2,500 本/ha : 73 本）を調査対象木とした。（図 3-35、表 3-48）

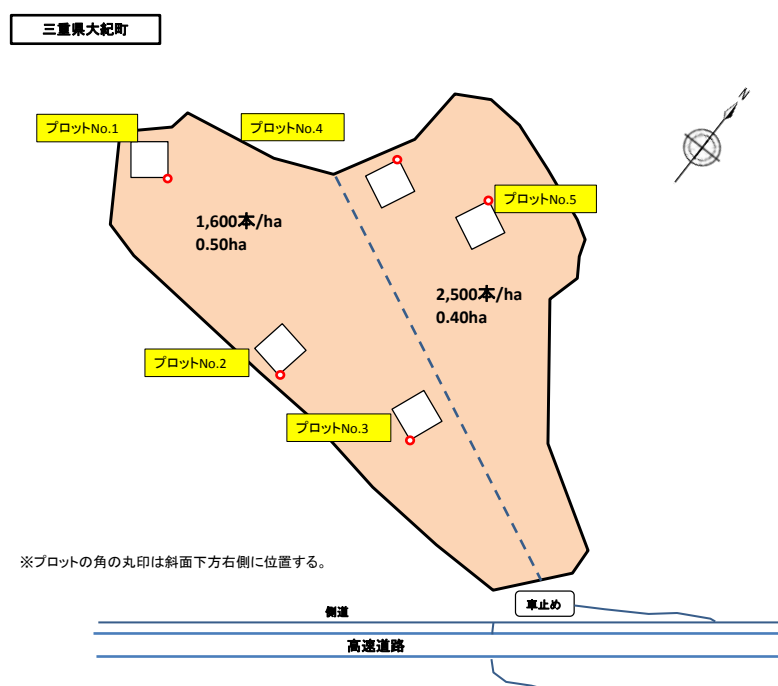


図 3-35 調査プロットの位置図（三重県大紀町）

表 3-48 調査プロットの概要（三重県大紀町）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,600 本/ha	No. 1	300.9	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	372.8	40 本	斜面中部に設置
	No. 3	222.4	31 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 4	160.9	37 本	斜面上部に設置
	No. 5	166.0	36 本	斜面中部に設置
合計			180 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-49、表 3-50 のとおりである。

基本的に全ての調査プロットで下刈りを実施するものとしたが、平成 28（2016）年度においては試験的に 2 つの調査プロット（No. 2, 5）で下刈りを実施しなかった。

表 3-49 下刈りの実施日（三重県大紀町）

年度	下刈り実施日
平成 27（2015）	—（植栽年）
平成 28（2016）	8 月 18～24 日
平成 29（2017）	8 月 22 日～9 月 4 日
平成 30（2018）	7 月 9～19 日
令和 元（2019）	7 月 31 日～8 月 29 日
下刈り実施者	大紀森林組合

表 3-50 下刈り実施の有無（三重県大紀町）

植栽密度	プロット No.	H28（2016） 下刈り	H29（2017）～ R 元（2019） 下刈り
1,600 本/ha	No.1	有	有
	No.2	無	有
	No.3	有	有
2,500 本/ha	No.4	有	有
	No.5	無	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-51 のとおりである。なお、本実証試験地は平成 28（2016）年度の時点でほとんどの植栽木が食害を受けていることから、健全木として採用している植栽木のデータ数が極端に少ない。そのため以降のデータについて、植栽木の樹高や地際直径などの数値は参考値として整理している。

表 3-51 調査実施日（三重県大紀町）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 27（2015）	—	平成 28（2016）年 2 月 17 日
平成 28（2016）	—	平成 28（2016）年 12 月 15 日
平成 29（2017）	平成 29（2017）年 8 月 3 日	平成 29（2017）年 11 月 15 日
平成 30（2018）	平成 30（2018）年 7 月 25 日	平成 30（2018）年 11 月 27 日
令和 元（2019）	令和 元（2019）年 7 月 23 日	令和 元（2019）年 10 月 23 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-52 のとおりである。

活着率は植栽密度間で大きな差が見られなかった。平成 28（2016）年度に試験的に下刈りを実施しなかったプロット 2 でススキの繁茂が激しくなり、生存率が 50%以下と低い値を示している。同じく平成 28（2016）年度に下刈りを省略したプロット 5 では生存率は約 94%と高かったが、プロット 2 ほどススキの繁茂が激しくなかったためと考えられる。

表 3-52 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（三重県大紀町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,600	36	1 (枯れ)	0	0	3 (シカ食害3)	4	97.2	88.9	11.1
2	1,600	40	4 (枯れ4)	7 (枯れ6・消失1)	7 (枯れ4・消失3)	3 (シカ食害3)	21	90.0	47.5	52.5
3	1,600	31	2 (枯れ2)	1 (枯れ1)	3 (枯れ2・消失1)	1 (シカ食害)	7	93.5	77.4	22.6
4	2,500	37	1 (枯れ1)	1 (枯れ1)	0	1 (枯れ)	3	97.3	91.9	8.1
5	2,500	36	0	0	2 (シカ食害1・枯れ1)	0	2	100.0	94.4	5.6

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-53、図 3-36、図 3-37 および写真 3-22 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに植栽密度間で大きな差が見られ、1,600 本/ha 区で高い数値を示した。前述のとおり基となるデータ数が少ないためあくまで参考値としているものの、成長量に差が生じた要因として斜面方位が挙げられ、1,600 本/ha 区（南～南南東向き斜面）と 2,500 本/ha 区（北向き斜面）で斜面方位が異なることが影響したと考えられる（写真 3-23）。

表 3-53 植栽木の成長状況（三重県大紀町）

1,600本/ha						
三重県大紀町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	49.8±6.8	48±10.6	60.9±22.6	116.4±36.3	179.4±11.7
	最小値	27.7	22.5	28.1	40.8	162.0
	最大値	64.6	80.0	122.5	152.0	193.5
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.7±0.1	0.9±0.2	1.7±0.6	3.2±1.1
	最小値	0.4	0.5	0.4	0.8	2.0
	最大値	0.8	1.0	1.5	2.7	5.2
形状比	平均値	104.7±13.3	65.5±12.1	69±17.5	69.6±13.8	61.7±15.8
	最小値	69.3	40.0	40.1	51.0	35.6
	最大値	142.5	100.0	109.2	88.5	84.8
2,500本/ha						
三重県大紀町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	43.9±7.8	47.2±10.8	67.3±22.3	74.6±35.3	107.8±67.5
	最小値	25.2	23.0	32.1	49.0	54.8
	最大値	62.0	87.0	129.0	161.5	222.0
地際直径(cm)	平均値	0.4±0	0.7±0.1	0.9±0.2	1.3±0.4	1.8±0.9
	最小値	0.4	0.5	0.5	0.8	1.0
	最大値	0.5	0.9	1.4	2.1	3.4
形状比	平均値	100.6±18.5	69.1±13.3	78.2±24	57.9±14	57.7±5.8
	最小値	56.4	45.7	33.1	40.7	50.0
	最大値	134.8	116.0	168.5	78.0	65.5

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

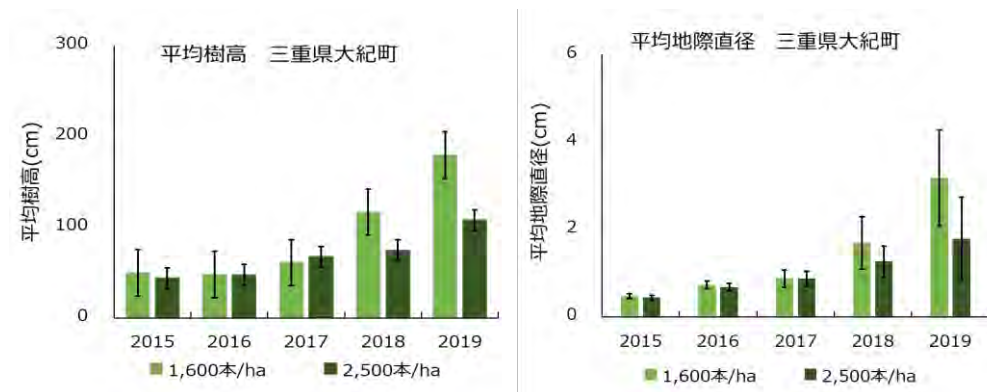


図 3-36 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（三重県大紀町）

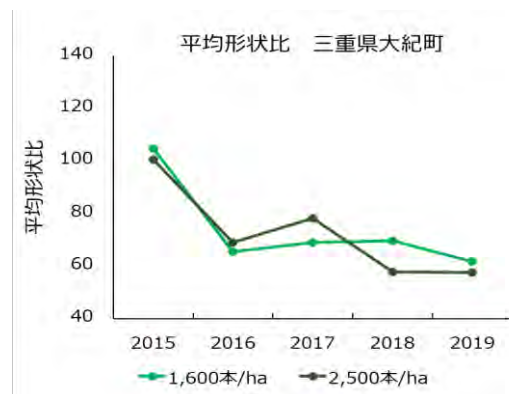


図 3-37 植栽木の形状比の推移（三重県大紀町）



写真 3-22 1,600 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 10 月）



写真 3-23 1,600 本/ha 区と 2,500 本/ha 区の位置関係

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-38 に、競合状態の調査結果を図 3-39 に示す。また令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-54、写真 3-24 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高については、前述のとおり植栽木のデータが少ないため参考として掲載している。

植栽木と雑草木の競合状態の比較では、令和元（2019）年の時点でどの植栽密度も競合状態 C4 が 5 割を超えており、植栽後 4 年が経過しても多くの植栽木が競争に負けている結果となった。

雑草木の種組成については、どの植栽密度区もススキの繁茂が激しく、植被率も高い。

以上より、どの植栽密度区も多くの植栽木が雑草木との競争に負けているため、植栽後 4 年が経過した時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。



図 3-38 植栽木と雑草木の平均樹高
(三重県大紀町)

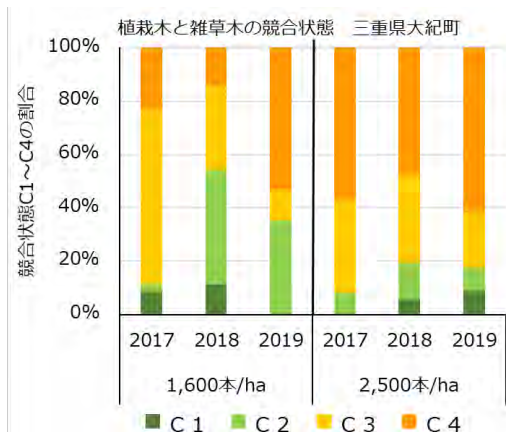


図 3-39 植栽木と雑草木の競合状態
(三重県大紀町)

表 3-54 植生調査の結果 (三重県大紀町)

プロット	植栽密度 (本/ha)	区分	R元 (2019)		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
1	1,600	低木層 (高さ1.0m以上)	ススキ タケニグサ スギ	40%	・ソヨゴ・ナガバモミジイチゴ ・イズセンリョウ
		草本層 (高さ1.0m未満)	ウラボシ ナガバモミジイチゴ サルトリイバラ	60%	・スギ・ツルsp・マメ科sp ・ヒイラギ・ヒサカキ ・アカメガシワ
4	2,500	低木層 (高さ1.0m以上)	ススキ タケニグサ スギ	50%	・ナガバモミジイチゴ
		草本層 (高さ1.0m未満)	ワラビ ヒサカキ サルトリイバラ	40%	・シシガシラ・ベニシダ・スギ ・ヒイラギ・ナガバモミジイチゴ ・シダsp・イタドリ・ススキ



プロット 1



プロット 4

写真 3-24 植生調査プロットの状況 (令和元 (2019) 年 7 月)

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-55 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-40 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 33.0 時間、1,600 本/ha 区で 43.3 時間となり、低密度植栽区である 1,600 本/ha 区で下刈り作業時間が 10 時間ほど長くなる傾向が見られた。要因としては、後述する現場作業員へのヒアリングから、1,600 本/ha 区でススキの繁茂が激しかったこと、地形の複雑さ、残材の多さなどが挙げられた。

表 3-55 各プロットの下刈り作業時間（三重県大紀町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,600	35	300.9	64.3	35.6	78.42	43.4
2	1,600	26	372.8	98.9	44.2	81.75	36.5
3	1,600	29	222.4	59.7	44.7	82.42	61.8
4	2,500	27	160.9	25.6	26.5	29.50	30.6
5	2,500	41	166.0	33.8	33.9	40.73	40.9

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

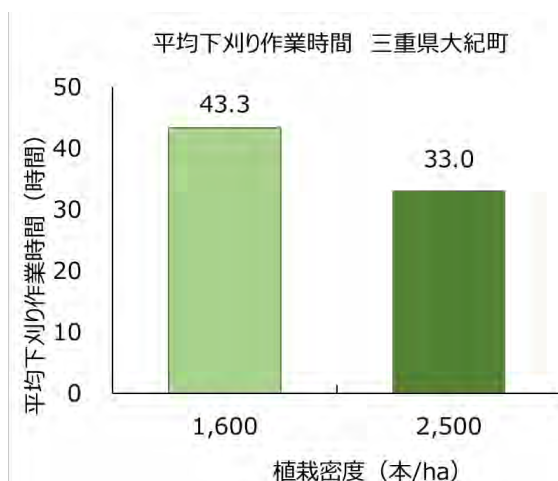


図 3-40 植栽密度別の平均下刈り作業時間（岩手県盛岡市、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・プロット 1（1,600 本/ha 区）では、地形が入り組んだ窪地があり、窪地を避ける必要があった。また、残材が多く、下刈り作業の妨げとなった。
- ・プロット 4・5（2,500 本/ha 区）では、残材がまとめてあり作業しやすかった。
- ・通常の植栽間隔は 1.2m であり、植栽間隔 3 m に慣れていなかった。
- ・植栽間隔 3 m は広く、植栽木が予想した位置に見つからないと誤伐したかと不安になった。ただし、植栽間隔が広いと下刈り作業時の動きの自由度は高かった

～令和元（2019）年度～

- ・ススキの繁茂が激しく、低密度植栽区では植栽木が見つけ辛かった。また、そのような場所では誤伐を避けるために二度刈りを行った。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（4回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-56 のとおりである。本実証試験地は、前生林分の伐採から 10 年が経過していたため、平成 27（2015）年度の地拵え時には侵入木が多く存在していた。また、一部は急傾斜となっているため、地拵え、植栽ともに生産性が上がらなかった。

3,000 本/ha の 4,088,853 円と比較すると、2,500 本/ha では 3,932,511 円、1,600 本/ha では 4,099,072 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 16 万円（4％）のコスト削減、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 1 万円のコスト増加となった。

1,600 本/ha でコストが増加した要因として下刈り作業に時間がかかったことが挙げられる。この結果から、下刈り作業に時間がかかり、下刈りコストが大きくなるような実証試験地では、低密度植栽によるコスト削減がうまく進まない可能性があることが分かった。

表 3-56 初期保育コスト（三重県大紀町）

三重県大紀町	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha
地拵え費		576,000円	576,000円	576,000円
苗木購入費	184円/本	552,000円	460,000円	294,400円
植栽労務費	77円/本	231,000円	192,500円	123,200円
シカ柵設置費(400m)	1,933円/m	773,200円	773,200円	773,200円
諸経費など		638,730円	638,730円	638,730円
下刈り1年目		269,278円	263,998円	346,024円
下刈り2年目		334,789円	328,225円	430,207円
下刈り3年目		356,928円	349,929円	458,655円
下刈り4年目		356,928円	349,929円	458,655円
合計		4,088,853円	3,932,511円	4,099,072円
コスト削減		—	4%	0%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」、「諸経費など」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
施業前（平成 28（2016）年 1 月）	地拵え後（平成 28（2016）年 1 月）
	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月（下刈り後）	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-25 実証試験地の様子（遠景、三重県大紀町）

⑦ 現地写真（近景）

	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-26 実証試験地の様子（近景、三重県大紀町）

3-2-3. 九州地方

(1) 長崎県 大村市（ヒノキ）（No.6）

① 実証試験地の概要

平成 28（2016）年 1 月に、長崎県大村市の実証試験地（0.72ha）に 1,600 本/ha、2,500 本/ha の 2 つの植栽密度区を設け、ヒノキ 300cc コンテナ苗（実生苗）を計 1,473 本植栽した。実証試験地の概要（表 3-57）と位置図（図 3-41）は以下のとおりである。

表 3-57 実証試験地の概要（長崎県大村市）

実証試験地	長崎県大村市		
苗木種	ヒノキ 300cc コンテナ苗（実生苗）		
植栽密度	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.36ha	0.36ha	0.72ha
植栽本数	575 本	898 本	1,473 本
気温/ 降水量	17.3℃（年平均気温） / 1,761.2mm（年降水量）（平年値、大村）		
標高/ 傾斜/ 方位	230～250m / 11～24° / N		
土壌	褐色森林土		
土地所有者	大村市		
植栽実施者	長崎南部森林組合大村支所		
植栽日	平成 28（2016）年 1 月 21～22 日（前生林分の伐採は平成 26 年 10 月）		

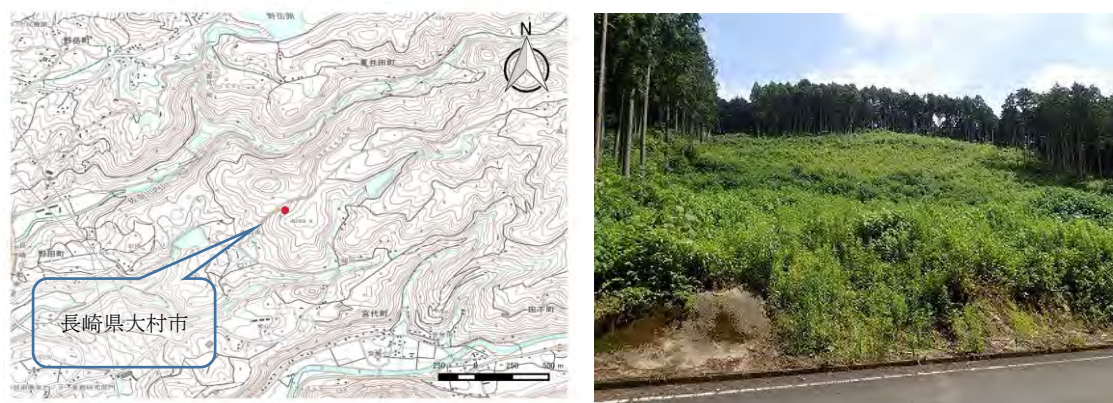


図 3-41 実証試験地の位置（左）と様子（右）（長崎県大村市）

② 調査プロットの概要

1,600 本/ha の植栽密度区に 3 つ、2,500 本/ha の植栽密度区に 2 つ、合計 5 つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計 180 本（1,600 本/ha : 108 本、2,500 本/ha : 72 本）を調査対象木とした。（図 3-42、表 3-58）

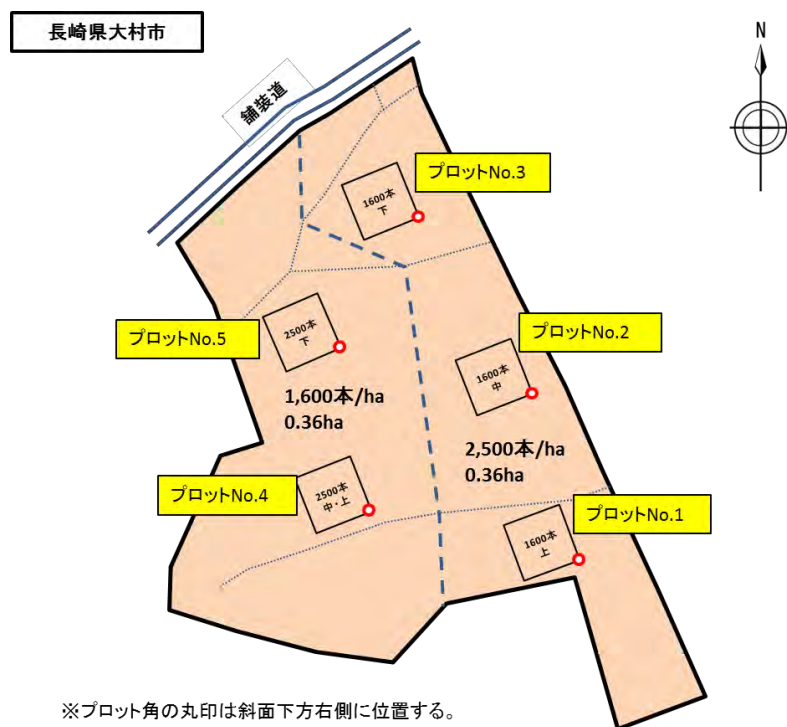


図 3-42 調査プロットの位置図（長崎県大村市）

表 3-58 調査プロットの概要（長崎県大村市）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,600 本/ha	No. 1	224.9	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	203.7	36 本	斜面中部に設置
	No. 3	219.1	36 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 4	156.4	36 本	斜面上部に設置
	No. 5	164.8	36 本	斜面中部に設置
合計			180 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-59、表 3-60 のとおりである。本実証試験地では、全ての調査プロットで下刈りを実施した。

表 3-59 下刈りの実施日（長崎県大村市）

年度	下刈り実施日
平成 27（2015）	—（植栽年）
平成 28（2016）	8 月 19～27 日
平成 29（2017）	8 月 10～18 日
平成 30（2018）	9 月 6～7 日
令和 元（2019）	8 月 10～13 日
下刈り実施者	長崎南部森林組合 大村支所

表 3-60 下刈り実施の有無（長崎県大村市）

植栽密度	プロット No.	H28（2016）～ R 元（2019） 下刈り
1,600 本/ha	No. 1	有
	No. 2	有
	No. 3	有
2,500 本/ha	No. 4	有
	No. 5	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-61 のとおりである。

表 3-61 調査実施日（長崎県大村市）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 27 (2015)	—	平成 28 (2016) 年 2 月 12 日
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 11 月 25 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 7 月 14 日	平成 29 (2017) 年 11 月 10 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 6 月 28 日	平成 30 (2018) 年 12 月 4 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 8 日	令和 元 (2019) 年 11 月 5 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-62 のとおりである。

活着率は植栽密度間で差が見られず、90%前後と高い数値を示した。枯死率は 1,600 本/ha 区のプロット 3 ではほかの調査プロットの約 2 倍の値だったが、原因の特定は難しい。ただしプロット 3 以外の生存率はほとんど同じ値を示しているため、植栽密度が生存率に影響を与えたとは考えにくい。

表 3-62 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（長崎県大村市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,600	36	4 (誤伐2・根浮1・枯れ1)	0	0	0	4	88.9	88.9	11.1
2	1,600	36	3 (誤伐1・枯れ2)	1 (枯れ)	0	0	4	91.7	88.9	11.1
3	1,600	36	4 (枯れ4)	1 (消失)	4 (枯れ4)	0	9	88.9	75.0	25.0
4	2,500	36	3 (枯れ1・消失1)	0	1 (獣虫害)	1 (誤伐)	5	91.7	86.1	13.9
5	2,500	36	4 (誤伐2・枯れ2)	0	1 (誤伐)	0	5	88.9	86.1	13.9

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-63、図 3-43、図 3-44 および写真 3-27 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに植栽密度間で差が見られ、どちらも低密度植栽区で成長量が大きくなった。一方で平均形状比は植栽密度間でほぼ同じ傾向を示し、植栽直後から令和元（2019）年度まで減少が続いている。

本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため、植栽密度が植栽木の成長に影響したとは考えにくく、立地環境などその他の要因による影響が可能性として挙げられる。

表 3-63 植栽木の成長状況（長崎県大村市）

1,600本/ha						
長崎県大村市		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	52.6±6.8	75.4±10	128.6±22.7	198.8±30.4	270.9±39.3
	最小値	34.9	50.2	76.2	109.6	151.6
	最大値	70.0	99.8	190.0	256.7	360.5
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.9±0.1	1.6±0.3	3±0.6	5.6±1.1
	最小値	0.4	0.4	1.0	1.7	3.0
	最大値	0.8	1.3	2.3	4.4	7.7
形状比	平均値	108.3±19.3	84.4±13.9	80.6±13.5	66.9±8.7	49.3±5.9
	最小値	58.7	55.8	53.3	47.6	39.4
	最大値	154.3	155.0	128.2	87.7	64.9
2,500本/ha						
長崎県大村市		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	52.4±6.1	74.3±9.6	115.7±23.4	181±29.1	250.2±36.6
	最小値	36.2	51.6	79.8	124.0	167.2
	最大値	66.1	94.0	184.6	250.0	341.3
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.9±0.1	1.5±0.3	2.5±0.5	4.8±1.1
	最小値	0.4	0.6	1.0	1.4	2.1
	最大値	0.7	1.2	2.5	4.5	8.5
形状比	平均値	109.2±15.5	88.1±14.7	78.3±14.6	73.1±10.4	53±7.9
	最小値	81.8	51.3	41.0	53.2	35.4
	最大値	150.8	133.7	122.9	99.4	78.9

※平均値の項目において、土の後の数値は標準偏差を示す

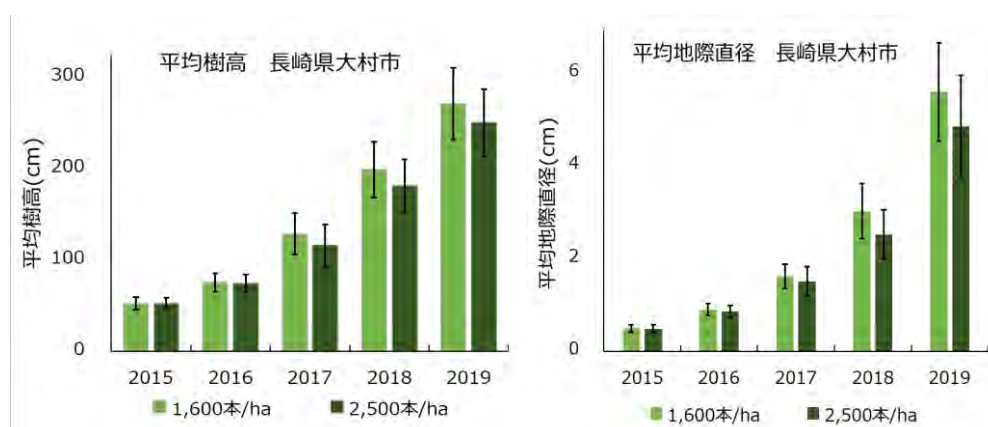


図 3-43 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（長崎県大村市）

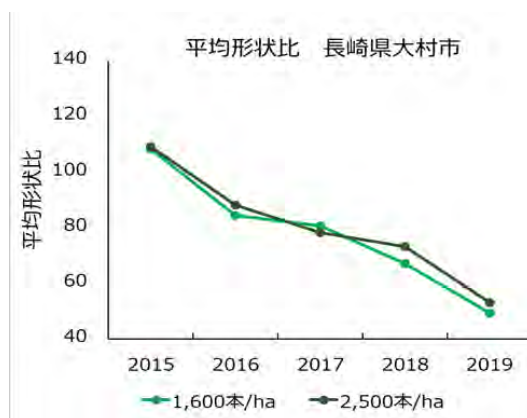


図 3-44 植栽木の形状比の推移（長崎県大村市）



写真 3-27 1,600 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 11 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-45 に、競合状態の調査結果を図 3-46 に示す。また令和元（2019）年度における植生調査の結果を表 3-64、写真 3-28 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、植栽木と雑草木の平均樹高の差は植栽密度間で同様の傾向を示し、またどちらの植栽密度も植栽木が雑草木から大きく抜け出していた。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、どの植栽密度区も令和元（2019）年の時点で競合状態 C1 + C2 が 9 割を超えていた。また低密度植栽区で良好な結果となった。

雑草木の種組成については、一部のアオモジが低木層に達していたほか、草本層ではクサギなどの落葉広葉樹類やツワブキなどの多年生草本類が見られた。植栽密度間で草本層の種組成に多少の違いは見られたものの、被度に大きな違いは見られなかった。

以上より、どの植栽密度区も植栽木と雑草木の平均樹高の差が大きく開いており、競合状

態 C1 + C2 が 9 割を超えている。翌年に 5 回目の下刈りを行えば下刈りの終了が可能であり、低密度植栽区も通常密度の植栽区と同様の回数で下刈りが終了できると考えられる。

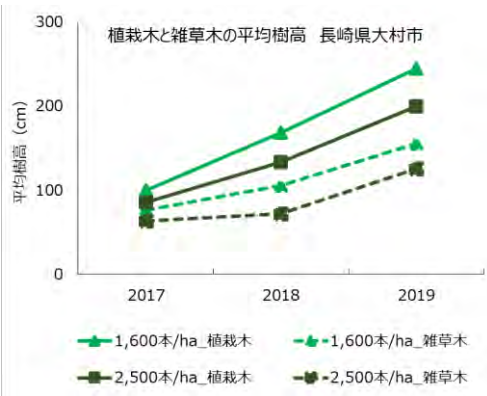


図 3-45 植栽木と雑草木の平均樹高 (長崎県大村市)

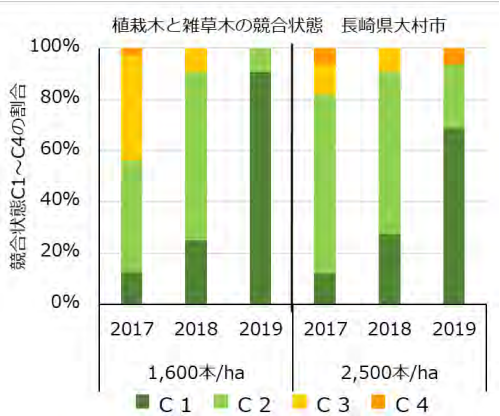


図 3-46 植栽木と雑草木の競合状態 (長崎県大村市)

表 3-64 植生調査の結果 (長崎県大村市)

プロット	植栽密度 (本/ha)	区分	R元 (2019)		
			優占上位種 (平均樹高)	優占種被度	その他：特徴的な出現種
2	1,600	低木層 (高さ1.0m以上)	アオモジ	20%	・クサギ・イヌビワ
		草本層 (高さ1.0m未満)	クサギ	80%	・フユイチゴ・イヌビワ ・フモシダ・ヒヨドリバナ
4	2,500	低木層 (高さ1.0m以上)	アオモジ	20%	ー
		草本層 (高さ1.0m未満)	ツツブキ フユイチゴ	90%	・アオモジ・ベニシダ ・アカメガシワ・ヒヨドリバナ



プロット 2



プロット 4

写真 3-28 植生調査プロットの状況 (令和元 (2019) 年 7 月)

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-65 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-47 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 31.9 時間、1,600 本/ha 区で 26.5 時間となり、植栽密度が低いほど下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた。

表 3-65 各プロットの下刈り作業時間（長崎県大村市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,600	21	224.9	32.3	24.0	41.00	30.4
2	1,600	17	203.7	27.6	22.5	31.12	25.5
3	1,600	11	219.1	38.8	29.5	35.15	26.7
4	2,500	24	156.4	30.6	32.6	26.42	28.2
5	2,500	21	164.8	33.8	34.2	32.13	32.5

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

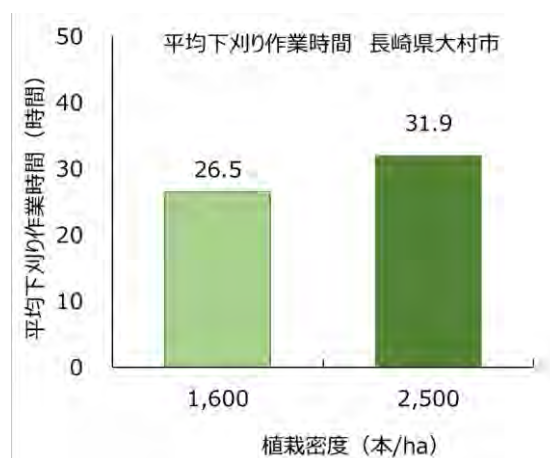


図 3-47 植栽密度別の平均下刈り作業時間（長崎県大村市、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・植栽密度が高いプロットで、下刈り作業に時間がかかった。要因としては、地形や雑草木の繁茂の状況と、雑木や枯木などによるキックバックに注意しながら下刈り作業を実施するためである。
- ・下刈り作業での誤伐を無くすため、植栽時にピンクテープを植栽木の頂部に巻き付けている。下刈り作業の際は、雑草木に埋もれていても見つけやすいため、誤伐は少なくなった。
- ・下刈りにかかる時間は、実施時期の遅れ等にもよる。

～令和元（2019）年度～

- ・全刈りだったため、植栽密度間で下刈り作業に難易の差は感じなかった。
- ・植栽密度間で下刈り作業時間に差が生じた要因として、切り株や石などで足場が悪かったり、誤伐を避けようと注意していたことが挙げられる。
- ・誤伐を避けるためには、植栽時に植栽木の先端に目立つ色のテープを巻いておくといよい。
- ・低密度植栽では下刈りの回数が増えるなどコストの増加が予想されるため、下刈りの時期をずらすなどの工夫が必要ではないか。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（4回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-66 のとおりである。

3,000 本/ha の 2,232,261 円と比較すると、2,500 本/ha では 2,103,452 円、1,600 本/ha では 1,722,513 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 13 万円（6%）、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 51 万円（23%）のコストが削減できることがわかった。また、苗木購入費のコスト削減効果が大きく、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 7 万円、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 20 万円の削減となった。

表 3-66 初期保育コスト（長崎県大村市）

長崎県大村市	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha
地拵え費		286,650円	286,650円	286,650円
苗木購入費	146円/本	438,000円	365,000円	233,600円
植栽労務費	67円/本	201,000円	167,500円	107,200円
シカ柵設置費		なし	なし	なし
諸経費など		168,852円	168,852円	168,852円
下刈り1年目		319,500円	313,235円	260,094円
下刈り2年目		326,117円	319,723円	265,481円
下刈り3年目		246,071円	241,246円	200,318円
下刈り4年目		246,071円	241,246円	200,318円
合計		2,232,261円	2,103,452円	1,722,513円
コスト削減		—	6%	23%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」、「諸経費など」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
施業前（平成 27（2015）年）	植栽直後（平成 28（2016）年 2 月）
	
平成 28（2016）年 7 月	平成 29（2017）年 8 月
	
平成 29（2017）年 11 月	平成 30（2018）年 8 月
	
平成 30（2018）年 10 月	令和元（2019）年 7 月

写真 3-29 実証試験地の様子（遠景、長崎県大村市）

⑦ 現地写真（近景）

	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-30 実証試験地の様子（近景、長崎県大村市）

(2) 長崎県 東彼杵町（ヒノキ）(No.7)

① 実証試験地の概要

平成 28（2016）年 1 月に、長崎県東彼杵郡東彼杵町の実証試験地（1.05ha）に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、ヒノキ 300cc コンテナ苗（実生苗）を計 1,780 本植栽した。植栽時には、前生樹の伐採に使用した林業機械（グラブプル）により機械地拵えを行う「一貫作業システム」が使用された。実証試験地の概要（表 3-67）と位置図（図 3-48）は以下のとおりである。

表 3-67 実証試験地の概要（長崎県東彼杵町）

実証試験地	長崎県東彼杵郡東彼杵町遠目郷遠ノ久保			
苗木種	ヒノキ 300cc コンテナ苗（実生苗）			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.38ha	0.35ha	0.32ha	1.05ha
植栽本数	420 本	560 本	800 本	1,780 本
気温/ 降水量	17.3℃（年平均気温） / 1,761.2mm（年降水量）（平年値、大村）			
標高/ 傾斜/ 方位	610～620m / 2～16° / N			
土壌	褐色森林土			
土地所有者	長崎県			
植栽実施者	東彼杵郡森林組合			
植栽日	平成 28（2016）年 1 月 5～7 日（前生林分の伐採は平成 27（2015）年 12 月）			

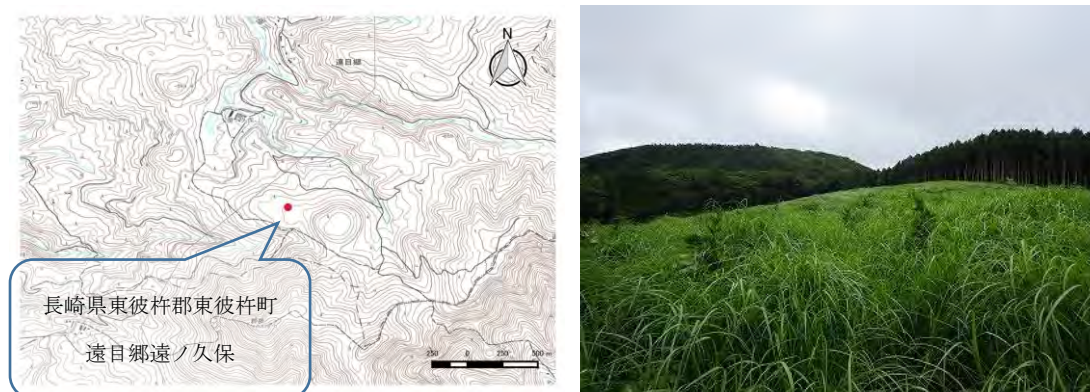


図 3-48 実証試験地の位置（左）と様子（右）（長崎県東彼杵町）

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区に、それぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計216本（1,100本/ha：72本、1,600本/ha：72本、2,500本/ha：72本）を調査対象木とした。（図3-49、表3-68）

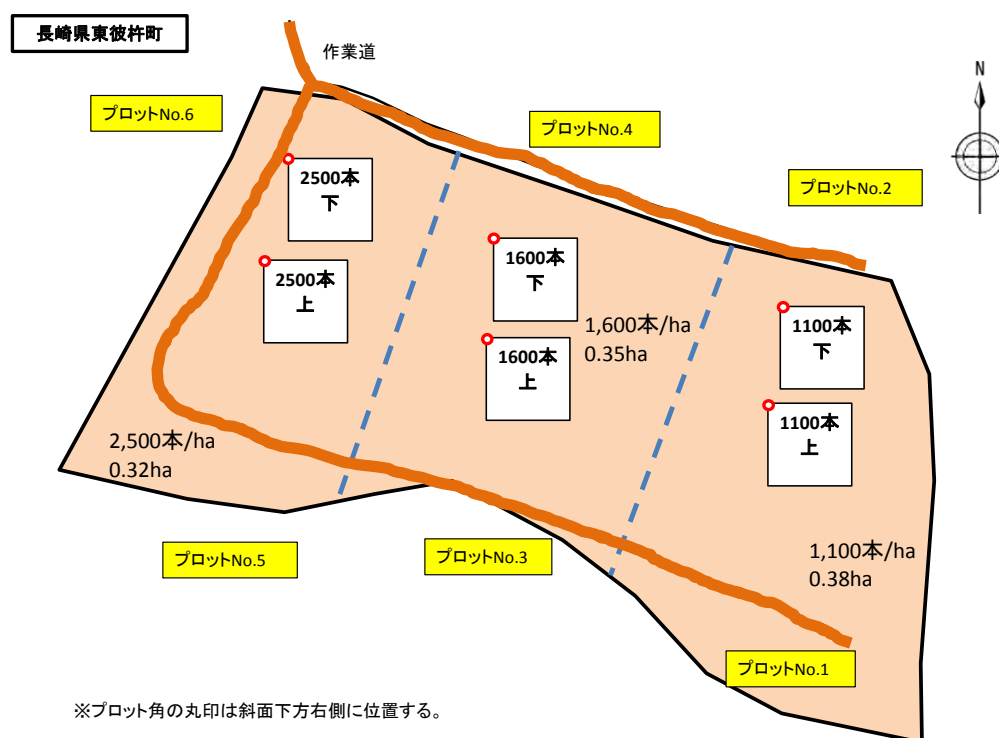


図 3-49 調査プロットの位置図（長崎県東彼杵町）

表 3-68 調査プロットの概要（長崎県東彼杵町）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (㎡)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 1	321.1	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	321.9	36 本	斜面下部に設置
1,600 本/ha	No. 3	225.5	36 本	斜面上部に設置
	No. 4	216.1	36 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 5	144.1	36 本	斜面上部に設置
	No. 6	147.9	36 本	斜面下部に設置
合計			216 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-69、表 3-70 のとおりである。平成 28(2016)年度においては、植栽木を被圧するような雑草木は無かったものの、多くのツル植物の生育を確認したため、調査プロット内の半分について手鎌による坪刈りを実施し、残りの半分は下刈りを実施せず経過観察とした。調査プロット外については、通常どおり刈り払い機での全刈りを行った。

表 3-69 下刈りの実施日（長崎県東彼杵町）

年度	下刈り実施日
平成 27 (2015)	— (植栽年)
平成 28 (2016)	8 月 31 日～9 月 30 日
平成 29 (2017)	8 月 28～31 日
平成 30 (2018)	7 月 24 日
令和 元 (2019)	7 月 16～25 日
下刈り実施者	東彼杵郡森林組合

表 3-70 下刈り実施の有無（長崎県東彼杵町）

植栽密度	プロット No.	H28 (2016) 下刈り	H29 (2017) ～ R 元 (2019) 下刈り
1,100 本/ha	No. 1	プロット内の 半分を手鎌刈 り・半分を経 過観察	有
	No. 2		有
1,600 本/ha	No. 3		有
	No. 4		有
2,500 本/ha	No. 5		有
	No. 6		有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-71 のとおりである。

表 3-71 調査実施日（長崎県東彼杵町）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 27 (2015)	—	平成 28 (2016) 年 1 月 14 日
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 11 月 26 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 8 月 4 日	平成 29 (2017) 年 11 月 9 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 6 月 28 日	平成 30 (2018) 年 12 月 3 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 9 日	令和 元 (2019) 年 11 月 4 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-72 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、どの調査プロットも約 90～100%と高い数値を示し、植栽密度間でほとんど変わらなかった。

令和元（2019）年時点での生存率は、2,500 本/ha 区のプロット 5 でほかの調査プロットより低くなっていたが、原因の特定は難しい。その他の調査プロットではほとんど同じ値を示したことから、植栽密度間は生存率に影響を与えなかったと考えられる。

枯死原因について、平成 28（2016）年度と平成 29（2017）年度に計 4 本のイノシシの掘り返しによる枯死が見られた。

表 3-72 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（長崎県東彼杵町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)					活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,100	36	2 (枯れ1・イノシシ堀1)	2 (イノシシ堀2)	0	1 (誤伐)	5	94.4	86.1	13.9
2	1,100	36	0	0	3 (枯れ3)	1 (消失)	4	100.0	88.9	11.1
3	1,600	36	1 (枯れ1)	0	2 (枯れ2)	1 (枯れ)	4	97.2	88.9	11.1
4	1,600	36	0	1 (消失)	3 (枯れ2・誤伐1)	3 (枯れ3)	7	100.0	80.6	19.4
5	2,500	36	0	5 (枯れ5)	3 (枯れ2・誤伐1)	3 (誤伐3)	11	100.0	69.4	30.6
6	2,500	36	3 (枯れ1・イノシシ堀1・消失1)	1 (誤伐)	0	1 (誤伐)	5	91.7	86.1	13.9

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-73、図 3-50、図 3-51 および写真 3-31 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに 1,100 本/ha 区で成長量が大きくなった。一方で平均形状比は植栽密度間でほぼ同じ傾向を示し、植栽の翌年度に大きく低下して以降は、令和元（2019）年度の時点まで緩やかな減少傾向が続いている。

植栽密度間で成長量に差が見られたが、本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため、植栽密度が植栽木の成長に影響したとは考えにくく、立地環境などその他の要因による影響が可能性として挙げられる。

表 3-73 植栽木の成長状況（長崎県東彼杵町）

1,100本/ha						
長崎県東彼杵町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	54.3±6.8	79.9±8	129.6±17.1	171.8±22.3	205.9±33.3
	最小値	39.5	63.2	74.2	106.7	122.6
	最大値	69.1	97.2	174.5	223.0	274.4
地際直径(cm)	平均値	0.4±0.1	1.1±0.1	1.6±0.3	2.7±0.6	4.3±0.9
	最小値	0.3	0.8	1.0	1.8	2.1
	最大値	0.8	1.6	2.3	4.2	7.1
形状比	平均値	129.7±21.4	75.3±11.1	82.8±15.1	65.2±11.5	49.5±9.5
	最小値	81.4	51.4	54.4	38.1	22.0
	最大値	208.3	108.0	120.4	86.9	65.9
1,600本/ha						
長崎県東彼杵町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	54.4±5.6	73.2±6.9	113.6±13	149.3±18.2	184.4±22.2
	最小値	42.1	60.2	86.0	110.0	138.5
	最大値	66.3	89.2	142.4	186.2	243.6
地際直径(cm)	平均値	0.4±0.1	1±0.2	1.6±0.2	2.6±0.5	3.8±0.7
	最小値	0.3	0.7	0.9	1.4	2.3
	最大値	0.6	1.6	2.3	4.2	5.2
形状比	平均値	136.5±23.3	71.2±10.7	73±10.7	60.1±10.4	49.2±7.6
	最小値	90.3	51.9	50.6	41.9	35.6
	最大値	206.7	107.4	121.7	100.4	66.5
2,500本/ha						
長崎県東彼杵町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	53.2±6.8	73.8±7	114.3±16.3	151.9±22.3	184.8±27.5
	最小値	37.2	58.2	89.8	110.3	113.6
	最大値	67.5	95.8	149.7	202.0	257.5
地際直径(cm)	平均値	0.4±0	1±0.2	1.6±0.4	2.4±0.7	3.9±1.1
	最小値	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
	最大値	0.6	1.4	2.7	4.2	6.2
形状比	平均値	130±17.7	74.5±13.7	76±13.5	66.7±16.2	50.9±13.6
	最小値	86.4	51.1	43.5	42.5	26.9
	最大値	180.3	112.0	108.3	131.8	96.4

※平均値の項目において、土の後の数値は標準偏差を示す

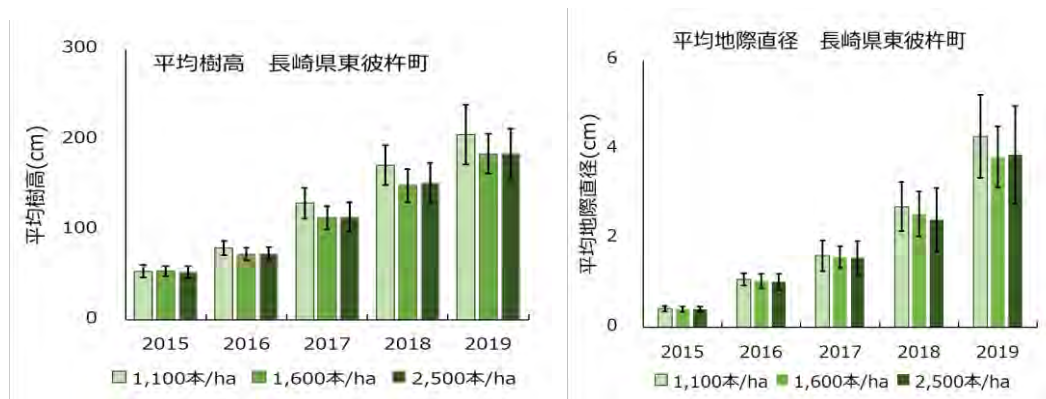


図 3-50 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（長崎県東彼杵町）

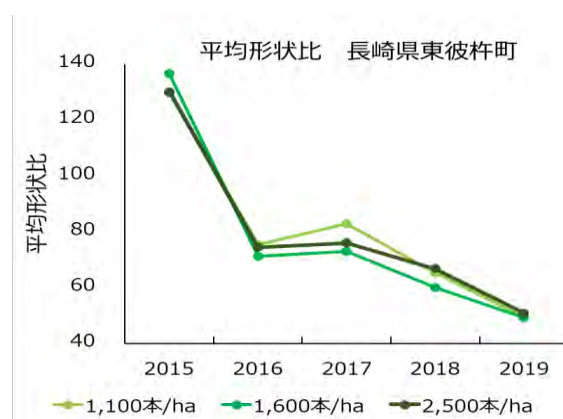


図 3-51 植栽木の形状比の推移（長崎県東彼杵町）



写真 3-31 1,100 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 11 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-52 に、競合状態の調査結果を図 3-53 に示す。また植栽直後である平成 28（2016）年度における植生調査の結果を表 3-74 に、令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-75 に、平成 28（2016）年度と令和元（2019）年度における植生調査プロットの状況を写真 3-32 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、植栽木の樹高成長が良好だった 1,100 本/ha 区で雑草木との平均樹高の差が開いており、令和元（2019）年度では 70cm 程度の差となった。一方で 2,500 本/ha 区では雑草木の樹高が比較的高く、植栽木と雑草木の平均樹高にほとんど差がない状況となっていた。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ低密度植栽区で良好な結果となっており、令和元（2019）年度の時点では 1,100 本/ha 区で競合状態 C 1 + C 2 が約 9 割を占める一方で、2,500 本/ha 区では競合状態 C 1 + C 2 が 4 割以下だった。

以上のように、植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高や競合状態に差が見られるが、本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため、植栽密度の違いがこれらに影響したとは考えにくく、立地環境などその他の要因による影響が可能性として挙げられる。

雑草木の種組成については、本事業の期間内で変化が見られた。植栽直後の平成 28（2016）年度ではアカメガシワやヌルデなどの落葉広葉樹にススキが混生し、草丈は低かった。毎年下刈りが実施される中でススキの繁茂が旺盛になり、令和元（2019）年度にはどの植栽密度区もススキが優占し、植被度、草丈ともに高くなっていた。

現時点では植栽木と雑草木の樹高差がまだ大きく開いていないため、現時点での下刈り終了の判断は植栽密度にかかわらず難しい。

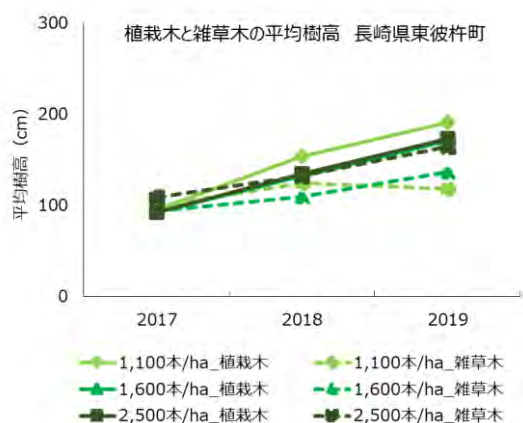


図 3-52 植栽木と雑草木の平均樹高
(長崎県東彼杵町)

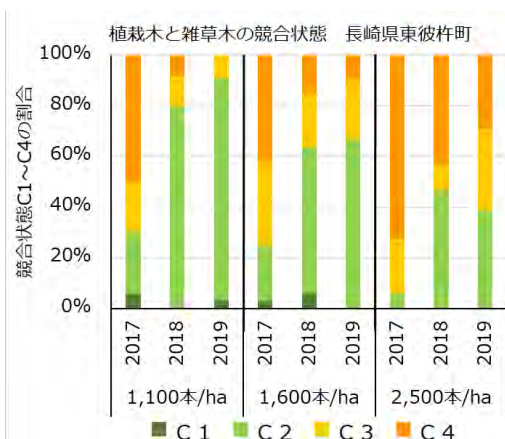


図 3-53 植栽木と雑草木の競合状態
(長崎県東彼杵町)

表 3-74 植生調査の結果（長崎県東彼杵町、平成 28（2016）年度）

プロット	密度	区分	H28（2016）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
2	1,100	低木層 （高さ1.0m以上）	アカメガシワ エゴノキ タラノキ	5%	・ゴンズイ・タブノキ ・ヤブムラサキ
		草本層 （高さ1.0m未満）	ススキ アオモジ アカメガシワ タラノキ	70%	・エゴノキ・アオツツラフジ ・カラスザンショウ・クマイチゴ ・サネカズラ・サルトリイバラ ・セイタカアワダチソウ ・スイカズラ・ヌルデ・フユイチゴ ・ヤブムラサキ・ヤマノイモ
4	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	ヌルデ	10%	・アカメガシワ・エゴノキ ・コセンダングサ・ゴンズイ ・ススキ・タラノキ・ネムノキ ・ヤブムラサキ
		草本層 （高さ1.0m未満）	エゴノキ ゴンズイ サルトリイバラ ススキ ヌルデ メヒシバ ヤブムラサキ	80%	・アオキ・アオモジ・アカメガシワ ・ウド・オトコエシ・カラスザンショウ ・スイカズラ・タラノキ ・ツルウメモドキ・ナガバモミジイチゴ ・ネムノキ・ノブドウ・ヒサカキ ・フユイチゴ・ムラサキシキブ ・ヤブムラサキ・ヤマノイモ
6	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	ススキ サルトリイバラ	10%	・イヌザンショウ・ウリハダカエデ ・クサギ・ガマズミ・コセンダングサ ・タラノキ・ネムノキ・ムラサキシキブ ・ヤブムラサキ
		草本層 （高さ1.0m未満）	アカメガシワ ススキ ナガバモミジイチゴ ネムノキ フユイチゴ ヤブムラサキ	90%	・アオキ・アオモジ・オトコエシ ・クサイチゴ・クサギ・クロガネモチ ・サネカズラ・タブノキ・ノブドウ

表 3-75 植生調査の結果（長崎県東彼杵町、令和元（2019）年度）

プロット	植栽密度 （本/ha）	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
2	1,100	低木層 （高さ1.0m以上）	ススキ	70%	－
		草本層 （高さ1.0m未満）	フユイチゴ ウド ガマズミ ナガバモミジイチゴ ススキ	30%	－
4	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	ススキ	60%	
		草本層 （高さ1.0m未満）	ススキ	30%	・フユイチゴ・タラノキ・アオモジ ・ムラサキシキブ・エゴノキ ・ナガバモミジイチゴ
6	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	ススキ アオモジ	90%	－
		草本層 （高さ1.0m未満）	ススキ フユイチゴ サルトリイバラ ナガバモミジイチゴ ヨモギ	20%	－



プロット2（平成28（2016）年8月）



プロット2（令和元（2019）年7月）



プロット4（平成28（2016）年8月）



プロット4（令和元（2019）年7月）



プロット6（平成28（2016）年8月）



プロット6（令和元（2019）年7月）

写真 3-32 植生調査プロットの状態

（左：平成28（2016）年8月、 右：令和元（2019）年7月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-76 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-54 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 40.4 時間、1,600 本/ha 区で 25.8 時間、1,100 本/ha 区で 23.8 時間となり、植栽密度が低いほど下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた。

表 3-76 各プロットの下刈り作業時間（長崎県東彼杵町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,100	11	321.1	43.3	22.5	43.50	22.6
2	1,100	13	321.9	49.7	25.8	47.17	24.4
3	1,600	11	225.5	24.6	18.2	41.75	30.9
4	1,600	16	216.1	29.8	22.9	40.92	31.6
5	2,500	2	144.1	28.7	33.2	34.42	39.8
6	2,500	6	147.9	32.8	36.9	45.75	51.6

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

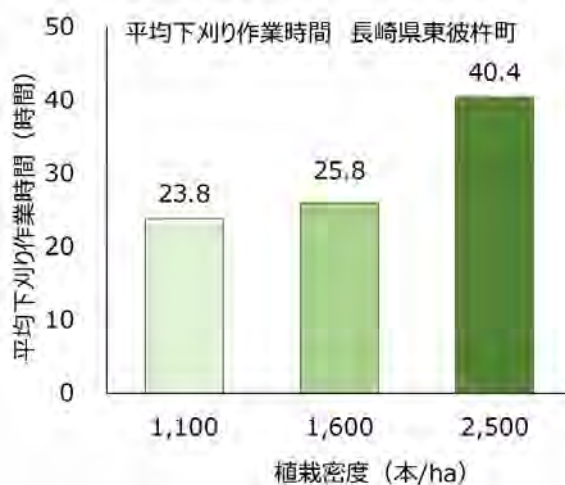


図 3-54 植栽密度別の平均下刈り作業時間（長崎県東彼杵町,ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・ 植栽間隔 2 m× 2 m が慣れているので作業時間が短いと思ったが、計測すると 2.5m× 2.5m 間隔が時間的には短く下刈りできた。これは刈り払い機の長さによるものだと考えられる。
- ・ 2 m 間隔はすぐ近くに植栽があるので大振りできないが、2.5m 間隔であれば、誤伐にならない。2 m 間隔は草が多くなってくるので、体力的に辛い。
- ・ 誤伐が発生している箇所は、石等の障害物があり植栽木を本来の位置とずれた場所に植栽していた箇所である。
- ・ 7 月以降になると雑草木の草丈が急に伸び、植栽木を被覆してしまう。5～6 月に下刈り作業を実施したほうが、誤伐も無くなる。また、暑い盛りに実施する際とは人工も変わってくると思われる。

～令和元（2019）年度～

- ・ 植栽間隔が 2.5m の時（1,600 本/ha）が刈り払い機の長さと合っており、植栽間隔が 2 m（2,500 本/ha）や 3 m（1,100 本/ha）の時よりも作業がしやすかった。刈り払い機の長さが身体の前では 1.5～1.6m になるが、植栽間隔が 2.5m の時だと足を一歩動かせば植栽木に届くためと思われる。3 m 間隔だと足の運びが多くなる。
- ・ 植栽木の周りに灌木や石があった時に、刈刃が跳ね返って誤伐してしまった。
- ・ 植栽木にツルが巻き付いていた時にも誤伐が発生した。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（4回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-77 のとおりである。伐採から植栽までを一貫して行い、伐採時にグラブプルによる機械地拵えを行ったため、その後の地拵えは簡単な枝条整理に留まっている。伐採と植栽は別事業であるため、ここでは機械地拵えについては経費に計上していない。

3,000 本/ha の 2,332,517 円と比較すると、2,500 本/ha では 2,200,247 円、1,600 本/ha では 1,544,318 円、1,100 本/ha では 1,372,714 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 13 万円（6%）、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 79 万円（34%）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 96 万円（41%）のコストが削減できることがわかった。

また苗木購入費のコスト削減効果が大きく、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha では約 7 万円、1,600 本/ha では約 20 万円、1,100 本/ha では約 28 万円が削減できた。その他に下刈り作業時間が低密度植栽区で大きく削減できたことも影響した。

表 3-77 初期保育コスト（長崎県東彼杵町）

長崎県東彼杵町	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		224,691円	224,691円	224,691円	224,691円
苗木購入費	146円/本	438,000円	365,000円	233,600円	160,600円
植栽労務費	67円/本	201,000円	167,500円	107,200円	73,700円
シカ柵設置費	なし	なし	なし	なし	なし
諸経費など		154,535円	154,535円	154,535円	154,535円
下刈り1年目		110,721円	108,550円	69,442円	63,957円
下刈り2年目		252,267円	247,321円	158,216円	145,720円
下刈り3年目		475,652円	466,325円	298,317円	274,756円
下刈り4年目		475,652円	466,325円	298,317円	274,756円
合計		2,332,517円	2,200,247円	1,544,318円	1,372,714円
コスト削減		—	6%	34%	41%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」、「諸経費など」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
地拵え後（平成 27（2015）年）	植栽後（平成 28（2016）年 1 月）
	
平成 28（2016）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-33 実証試験地の様子（遠景、長崎県東彼杵町）

⑦ 現地写真（近景）

	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-34 実証試験地の様子（近景、長崎県東彼杵町）

(3) 熊本県 美里町 (スギ) (No.8)

① 実証試験地の概要

平成 28 (2016) 年 2 月に、熊本県美里町の実証試験地 (1.11ha) に 1,700 本/ha 、2,500 本/ha の 2 つの植栽密度区を設け、スギ 300cc コンテナ苗 (挿し木苗) を計 2,327 本植栽した。実証試験地の概要 (表 3-78) と位置図 (図 3-55) は以下のとおりである。

表 3-78 実証試験地の概要 (熊本県美里町)

実証試験地	熊本県美里町大露山団地		
苗木種	スギ 300cc コンテナ苗 (挿し木苗)		
植栽密度	1,700 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.56ha	0.55ha	1.11ha
植栽本数	952 本	1,375 本	2,327 本
気温/ 降水量	16.1℃ (年平均気温) / 2,096.5mm (年降水量) (平年値、甲佐)		
標高/ 傾斜/ 方位	665~690m / 11~30° / E~SE		
土壌	褐色森林土		
土地所有者	熊本県		
植栽実施者	熊本県森林組合連合会		
植栽日	平成 28 (2016) 年 2 月 10~13 日 (前生林分の伐採は平成 27 (2015) 年 11 月)		



図 3-55 実証試験地の位置 (左) と様子 (右) (熊本県美里町)

② 調査プロットの概要

2つの植栽密度区に、それぞれ3つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計215本（1,700本/ha：108本、2,500本/ha：107本）を調査対象木とした。（図3-56、表3-79）

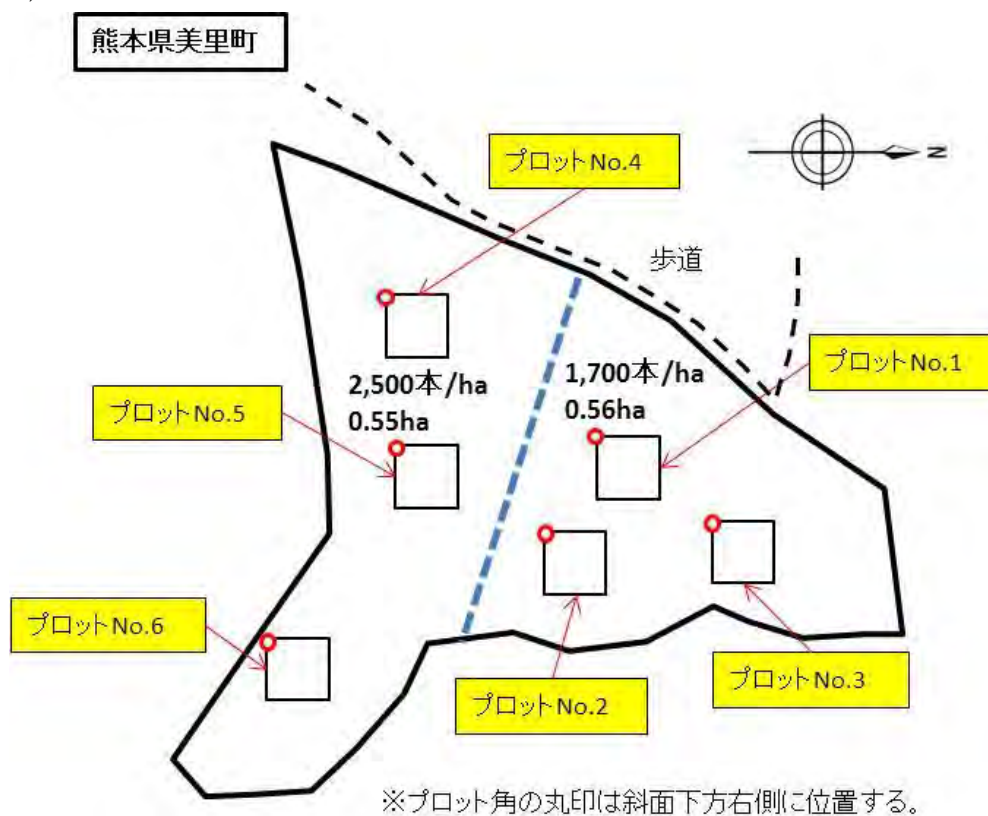


図 3-56 調査プロットの位置図（熊本県美里町）

表 3-79 調査プロットの概要（熊本県美里町）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備考
1,700 本/ha	No. 1	185.0	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	217.6	36 本	斜面中部に設置
	No. 3	256.2	36 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 4	169.4	35 本	斜面上部に設置
	No. 5	159.1	36 本	斜面中部に設置
	No. 6	142.8	36 本	斜面下部に設置
合計			215 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-80、表 3-81 のとおりである。平成 28(2016)年度は 7 月の段階で植栽木を被圧する雑草木が確認されなかったことから、下刈りを省略することとした。

表 3-80 下刈りの実施日（熊本県美里町）

年度	下刈り実施日
平成 27 (2015)	— (植栽年)
平成 28 (2016)	省略
平成 29 (2017)	8 月 23～29 日
平成 30 (2018)	8 月下旬
令和 元 (2019)	7 月 23～25 日
下刈り実施者	熊本県森林組合連合会

表 3-81 下刈り実施の有無（熊本県美里町）

植栽密度	プロット No.	H28 (2016) 下刈り	H29 (2017) ～ R 元 (2019) 下刈り
1,700 本/ha	No. 1	無	有
	No. 2	無	有
	No. 3	無	有
2,500 本/ha	No. 4	無	有
	No. 5	無	有
	No. 6	無	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-82 のとおりである。

表 3-82 調査実施日（熊本県美里町）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 27 (2015)	—	平成 28 (2016) 年 2 月 18 日
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 12 月 14 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 7 月 22 日	平成 29 (2017) 年 11 月 11 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 6 月 29 日	平成 30 (2018) 年 12 月 23 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 8 日	令和 元 (2019) 年 11 月 9 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-83 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、どの調査プロットも約 100%と高い数値を示し、植栽密度間でほとんど変わらなかった。

令和元（2019）年時点での生存率は、調査プロット間で多少のばらつきが生じ、特にシカによる食害が多く発生した 2,500 本/ha 区のプロット 5 で低くなった。植栽密度間では大きな差は見られなかった。平成 28(2016)年に下刈りを省略しているが、翌年の平成 29(2017)年にほとんど枯死木が確認されておらず、下刈りを省略したことによる影響は無かったと考えられる。

表 3-83 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（熊本県美里町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,700	36	0	1 (消失)	1 (消失)	2 (誤伐2)	4	100.0	88.9	11.1
2	1,700	36	0	2 (誤伐1・枯れ1)	3 (誤伐3)	0	5	100.0	86.1	13.9
3	1,700	36	0	0	5 (誤伐5)	0	5	100.0	86.1	13.9
4	2,500	35	0	0	1 (シカ皮剥ぎ)	0	1	100.0	97.1	2.9
5	2,500	36	1 (消失)	1 (枯れ)	5 (獣虫害3・誤伐2)	4 (シカ皮剥ぎ4)	11	97.2	69.4	30.6
6	2,500	36	0	0	1 (獣虫害)	1 (シカ皮剥ぎ)	2	100.0	94.4	5.6

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-84、図 3-57、図 3-58 および写真 3-35 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに 1,700 本/ha 区で成長量が低くなった。一方で平均形状比は植栽密度間でほぼ同じ傾向を示し、植栽直後から令和元（2019）年度まで減少傾向を見せている。

植栽密度間で成長量に差が見られたが、本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため植栽密度が植栽木の成長に影響したとは考えにくく、立地環境などその他の要因による影響が可能性として挙げられる。

表 3-84 植栽木の成長状況（熊本県美里町）

1,700本/ha						
熊本県美里町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	55.4±7.9	65.8±8.9	91.8±12.5	129.2±21.7	171.9±33.7
	最小値	33.8	44.8	61.5	90.1	102.8
	最大値	70.5	92.1	126.6	201.5	267.2
地際直径(cm)	平均値	0.7±0.1	1±0.2	1.4±0.3	2.4±0.6	3.8±0.8
	最小値	0.5	0.7	0.7	1.1	2.1
	最大値	0.8	1.4	2.3	4.4	6.8
形状比	平均値	82±17.1	64.7±9.8	68.2±11.8	56.7±11.7	45.3±5.1
	最小値	40.3	44.6	44.6	32.4	23.9
	最大値	124.0	101.0	110.9	116.1	62.3
2,500本/ha						
熊本県美里町		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	55.5±8.5	65.7±10.3	104.2±23.2	151.8±38.1	197.5±54.6
	最小値	35.0	41.7	56.4	73.6	91.0
	最大値	80.0	96.0	182.2	253.5	326.9
地際直径(cm)	平均値	0.7±0.1	1.1±0.2	1.7±0.5	3±0.8	4.5±1.2
	最小値	0.5	0.7	0.6	1.3	2.1
	最大値	1.0	1.6	3.1	4.8	7.3
形状比	平均値	79.7±13	60.8±9.8	62.5±8.9	51.9±6.7	44.1±6.5
	最小値	50.0	35.5	44.5	29.9	21.2
	最大値	108.4	86.6	100.7	67.3	56.3

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

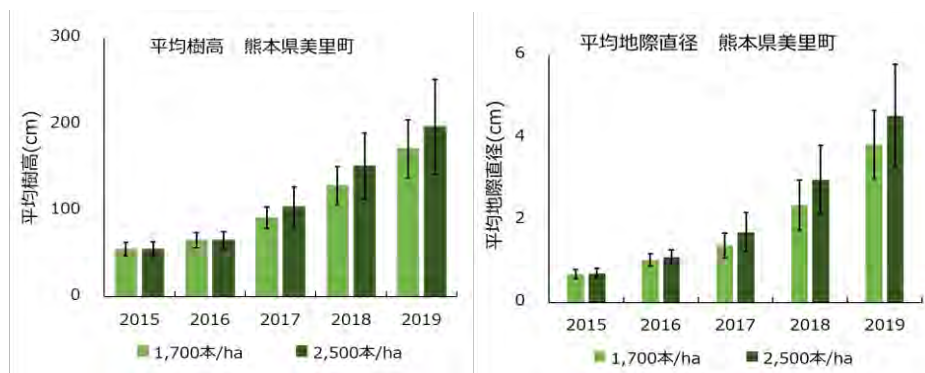


図 3-57 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（熊本県美里町）

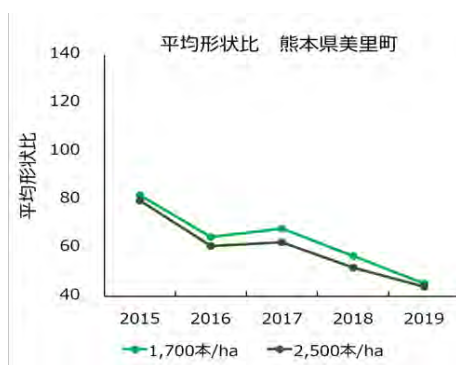


図 3-58 植栽木の形状比の推移（熊本県美里町）



写真 3-35 1,700 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 11 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-59 に、競合状態の調査結果を図 3-60 にそれぞれ示す。また令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-85、写真 3-36 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、どちらの植栽密度区も植栽木の成長が良好であり、令和元（2019）年度の時点で植栽木と雑草木の樹高に 70cm 程度の差が生じていた。また、植栽密度間で差はほとんど見られなかった。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、植栽密度間で多少の違いが見られるものの、どの植栽密度区も令和元（2019）年の時点で競合状態 C1 + C2 が 9 割を超えていた。

雑草木の種組成については、ススキのほかコガクウツギなどの落葉広葉樹類、コチヂミザサなどが見られ、植栽密度間で大きな差は見られなかった。

以上より、1,700 本/ha 区、2,500 本/ha 区ともに、植栽木と雑草木の平均樹高に差があり、競合状態 C1 + C2 が 9 割を超えているため、翌年に 4 回目の下刈りを行えば下刈りの終了が可能であり、低密度植栽区も通常密度の植栽区と同様の回数で下刈りが終了できると考えられる。



図 3-59 植栽木と雑草木の平均樹高
(熊本県美里町)



図 3-60 植栽木と雑草木の競合状態
(熊本県美里町)

表 3-85 植生調査の結果（熊本県美里町）

プロット	密度	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
2	1,700	低木層 (高さ1.0m以上)	ススキ	10%	－
		草本層 (高さ1.0m未満)	コガクウツギ	80%	・ナガバモミジイチゴ・ススキ ・マツカゼソウ
4	2,500	低木層 (高さ1.0m以上)	ススキ	10%	－
		草本層 (高さ1.0m未満)	コチヂミザサ	70%	・コアカソ・ススキ ・ナガバモミジイチゴ・コガクウツギ ・マツカゼソウ



プロット2



プロット4

写真 3-36 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年7月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-86 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-61 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 26.9 時間、1,700 本/ha 区で 24.2 時間となった。低密度植栽区で下刈り作業時間が多くかかったものの差は僅かであり、植栽密度による影響はほとんどないと考えられる。

表 3-86 各プロットの下刈り作業時間（熊本県美里町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り時間 (分)	1ha当たりの 下刈り時間(時間)	下刈り時間 (分)	1ha当たりの 下刈り時間(時間)
1	1,700	22	185.0	37.8	34.1	19.55	17.6
2	1,700	24	217.6	46.1	35.3	20.33	15.6
3	1,700	30	256.2	60.2	39.1	28.68	18.7
4	2,500	30	169.4	32.8	32.2	14.92	14.7
5	2,500	12	159.1	33.8	35.4	17.08	17.9
6	2,500	11	142.8	27.8	32.4	10.55	12.3

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

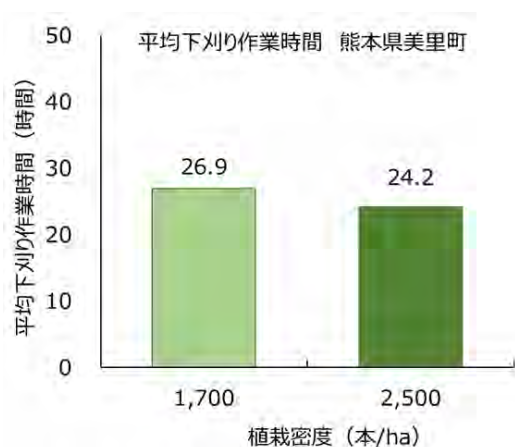


図 3-61 植栽密度別の平均下刈り作業時間（熊本県美里町、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・ 1,700 本/ha 区では、下刈り作業がやりやすい雑草木が多かった。
- ・ 背の高い切り株は、刈り払い機の刃が当たりやすくキックバックが発生しやすい。
- ・ 1,700 本/ha 区は傾斜があり、またススキが密生していた。
- ・ 2,500 本/ha 区はキイチゴ類が多く、背丈の低い雑草木が多かった。
- ・ 誤伐の防止を考えるのであれば、植栽木が 3 年生になるくらいまでは雑草木に覆われるため、下刈りを年 2 回実施する。また、植栽間隔を守ることも誤伐の防止になる。
- ・ 低密度植栽では植栽間隔が広いため、植栽木が枯死した場合は補植の検討が必要。
- ・ 獣害対策と下刈りコストを考え、早く植栽木を成長させ下刈り回数を減らすことも必要ではないか。

～令和元（2019）年度～

- ・ 1,700 本/ha 区ではススキが密生しており、3 枚刃などの笹刈刃が有効である。
- ・ 背丈の低い雑草木が多かった 2,500 本/ha 区では、刃に草が絡みやすかった。
- ・ ススキなどが繁茂して植栽木が隠れてしまうと誤伐しやすい。そういった場所では丁寧な下刈りが必要である。
- ・ 低密度植栽地では植栽間隔が広いため、植栽木の間を 2 回ほど往復する必要があった。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（3回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-87 のとおりである。なお下刈り 1 年目は、植栽木を被圧する雑草木が確認されなかったことから下刈りを省略している。

3,000 本/ha の 2,130,904 円と比較すると、2,500 本/ha では 1,988,136 円、1,700 本/ha では 1,866,114 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 14 万円（7%）、1,700 本/ha ではヘクタールあたり約 26 万円（12%）のコストが削減できることがわかった。苗木購入費のコスト削減効果が大きく、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha では約 7 万円、1,700 本/ha では約 19 万円の削減だった。

表 3-87 初期保育コスト（熊本県美里町）

熊本県美里町	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,700本/ha
地拵え費		325,946円	325,946円	325,946円
苗木購入費	144円/本	432,000円	360,000円	244,800円
植栽労務費	112円/本	336,000円	280,000円	190,400円
シカ柵設置費		なし	なし	なし
諸経費など		283,810円	283,810円	283,810円
下刈り1年目		省略	省略	省略
下刈り2年目		301,995円	296,074円	329,265円
下刈り3年目		225,577円	221,153円	245,946円
下刈り4年目		225,577円	221,153円	245,946円
合計		2,130,904円	1,988,136円	1,866,114円
コスト削減		—	7%	12%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」、「諸経費など」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
施業前（平成 27（2015）年）	植栽後（平成 28（2016）年 2 月）
	
平成 28（2016）年 7 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-37 実証試験地の様子（遠景、熊本県美里町）

⑦ 現地写真（近景）

	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-38 実証試験地の様子（近景、熊本県美里町）

(4) 宮崎県 椎葉村 (スギ) (No.9)

① 実証試験地の概要

平成 28 (2016) 年 2 月に、宮崎県東臼杵郡椎葉村の実証試験地 (1 ha) に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、スギ 300cc コンテナ苗 (挿し木苗) を計 1,695 本植栽した。実証試験地の概要 (表 3-88) と位置図 (図 3-62) は以下のとおりである。

表 3-88 実証試験地の概要 (宮崎県椎葉村)

実証試験地	宮崎県東臼杵郡椎葉村大字大河内			
苗木種	スギ 300cc コンテナ苗 (挿し木苗)			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.35ha	0.35ha	0.30ha	1.00ha
植栽本数	385 本	560 本	750 本	1,695 本
気温/ 降水量	12.7℃ (年平均気温) / 2,364.4mm (年降水量) (平年値、鞍岡)			
標高/ 傾斜/ 方位	830~870m / 13~37° / NW~SW			
土壌	褐色森林土			
土地所有者	椎葉村			
植栽実施者	耳川広域森林組合椎葉支所			
植栽日	平成 28 (2016) 年 2 月 3~5 日 (前生林分の伐採は平成 25 年 11 月)			



図 3-62 実証試験地の位置 (左) と様子 (右) (宮崎県椎葉村)

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区に、それぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計216本（1,100本/ha：72本、1,600本/ha：72本、2,500本/ha：72本）を調査対象木とした。（図3-63、表3-89）

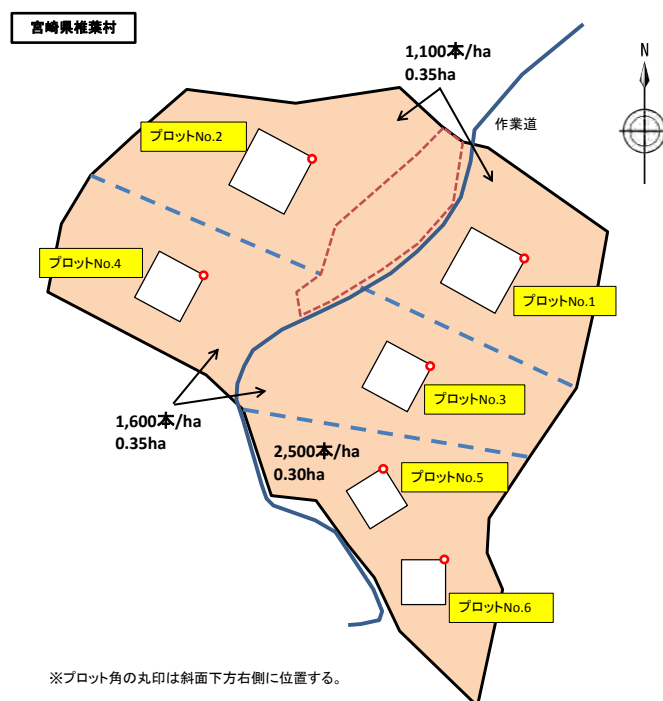


図 3-63 調査プロットの位置図（宮崎県椎葉村）

表 3-89 調査プロットの概要（宮崎県椎葉村）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 1	345.5	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	344.0	36 本	斜面下部に設置
1,600 本/ha	No. 3	231.1	36 本	斜面上部に設置
	No. 4	261.4	36 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 5	186.0	36 本	斜面上部に設置
	No. 6	168.0	36 本	斜面上部に設置
合計			216 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-90、表 3-91 のとおりである。本実証試験地では全ての調査プロットで下刈りを実施している。

表 3-90 下刈りの実施日（宮崎県椎葉村）

年度	下刈り実施日
平成 27（2015）	—（植栽年）
平成 28（2016）	9 月 23～26 日
平成 29（2017）	8 月 30 日～9 月 4 日
平成 30（2018）	8 月下旬
令和 元（2019）	8 月 8～30 日
下刈り実施者	耳川広域森林組合 椎葉支所

表 3-91 下刈り実施の有無（宮崎県椎葉村）

植栽密度	プロット No.	H28（2016）～ R 元（2019） 下刈り
1,100 本/ha	No. 1	有
	No. 2	有
1,600 本/ha	No. 3	有
	No. 4	有
2,500 本/ha	No. 5	有
	No. 6	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-92 のとおりである。

表 3-92 調査実施日（宮崎県椎葉村）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 27 (2015)	—	平成 28 (2016) 年 2 月 17 日
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 11 月 23 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 7 月 12 日	平成 29 (2017) 年 11 月 8 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 6 月 27 日	平成 30 (2018) 年 12 月 14 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 3 日	令和 元 (2019) 年 11 月 6 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-93 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、どの調査プロットも約 100%と高い数値を示し、植栽密度間で差は見られなかった。

令和元（2019）年時点での生存率は、調査プロット間で多少のばらつきが生じたものの、令和元（2019）年度の時点で約 90～100%と高い数値を示した。また植栽密度間では大きな差は見られなかった。

以上より、植栽木の活着率や生存率は植栽密度に影響されなかったと考えられる。

表 3-93 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（宮崎県椎葉村）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,100	36	1 (誤伐)	0	1 (ウサギ食害)	0	2	97.2	94.4	5.6
2	1,100	36	0	1 (誤伐)	0	3 (誤伐2・枯れ1)	4	100.0	88.9	11.1
3	1,600	36	0	0	0	0	0	100.0	100.0	0.0
4	1,600	36	0	1 (枯れ)	0	2 (誤伐2)	3	100.0	91.7	8.3
5	2,500	36	0	0	2 (誤伐1・枯れ1)	0	2	100.0	94.4	5.6
6	2,500	36	0	1 (枯れ)	1 (下敷き)	0	2	100.0	94.4	5.6

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-94、図 3-64、図 3-65 および写真 3-39 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに 1,600 本/ha 区で僅かに低くなっていたものの、植栽密度と成長量の間に特定の傾向は見られなかった。平均形状比は植栽密度間でほぼ同じ傾向を示し、植栽直後から 75～80 と低く、平成 30（2018）年度までは横ばいだったが令和元（2019）年度に減少に転じた。

以上より、植栽木の樹高や地際直径の成長は植栽密度に影響されなかったと考えられる。

表 3-94 植栽木の成長状況（宮崎県椎葉村）

1,100本/ha						
宮崎県椎葉村		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高（cm）	平均値	48.5±7.7	67.6±10.6	90±16.7	114.6±23.6	148.6±32
	最小値	29.0	40.0	44.6	64.3	91.8
	最大値	67.2	94.2	125.2	172.2	231.0
地際直径(cm)	平均値	0.7±0.1	0.9±0.2	1.2±0.2	1.5±0.4	2.5±0.8
	最小値	0.4	0.6	0.7	0.8	1.3
	最大値	0.8	2.0	1.6	2.7	5.7
形状比	平均値	76.1±15.5	74.8±12.2	78.8±11.3	78.4±12.3	62.2±12.7
	最小値	50.0	42.0	49.6	51.4	40.3
	最大値	120.0	97.3	103.9	107.3	133.2
1,600本/ha						
宮崎県椎葉村		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高（cm）	平均値	50.9±6.6	64.2±7.8	82.5±11.2	106.4±15.2	129±22.8
	最小値	37.0	50.2	56.0	74.1	70.2
	最大値	71.0	84.4	114.4	151.4	174.5
地際直径(cm)	平均値	0.7±0.1	0.8±0.1	1.1±0.2	1.5±0.3	2.2±0.5
	最小値	0.5	0.7	0.7	0.8	1.3
	最大値	1.1	1.2	1.6	2.0	3.3
形状比	平均値	79.6±13.7	76.2±7.6	76.5±13.7	73.8±10.5	58.5±7.9
	最小値	54.4	55.5	46.5	51.6	39.8
	最大値	114.0	91.5	113.6	105.0	79.3
2,500本/ha						
宮崎県椎葉村		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高（cm）	平均値	52.3±5.7	64.2±7	84.9±13.4	118.5±19.5	150.4±29.8
	最小値	37.6	46.0	39.0	71.0	54.3
	最大値	66.4	79.2	117.4	169.4	205.0
地際直径(cm)	平均値	0.7±0.1	0.9±0.1	1.1±0.2	1.6±0.3	2.4±0.6
	最小値	0.5	0.6	0.4	0.9	0.7
	最大値	1.1	1.1	1.5	2.7	3.9
形状比	平均値	75.4±12.4	74.9±9.2	79.1±12.7	75.1±10.9	63.4±8.9
	最小値	44.4	54.2	51.2	52.3	43.8
	最大値	108.0	97.9	112.3	107.8	83.9

※平均値の項目において、土の後の数値は標準偏差を示す

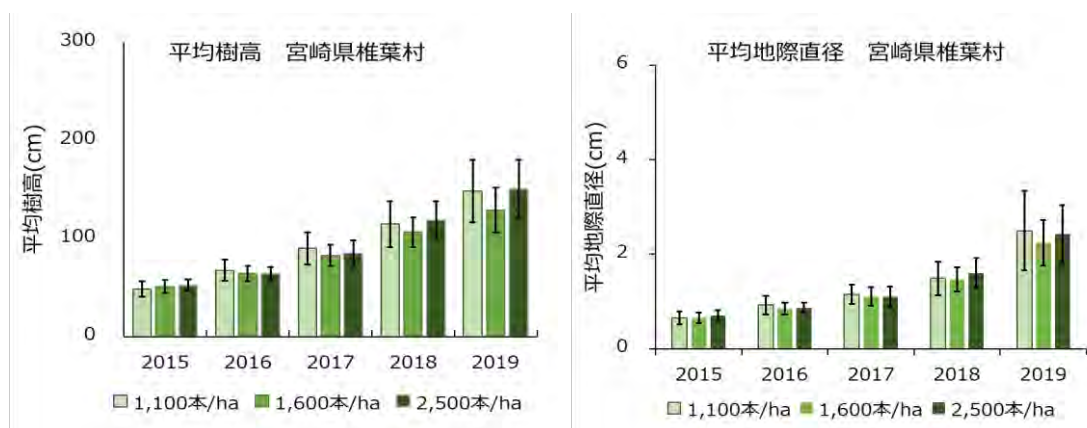


図 3-64 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（宮崎県椎葉村）



図 3-65 植栽木の形状比の推移（宮崎県椎葉村）



写真 3-39 1,100 本/ha 区の状態（令和元（2019）年 11 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-66 に、競合状態の調査結果を図 3-67 に示す。また、令和元（2019）年度における植生調査の結果を表 3-95、写真 3-40 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、どの植栽密度区も令和元（2019）年度の時点で植栽木が雑草木の樹高を抜け出しておらず、未だ競合関係にあることが分かる。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、植栽密度間で差が見られた。また、どの植栽密度区も競合状態 C3 や C4 の割合が多く、特に 1,100 本/ha 区では競合状態 C3 + C4 が 9 割以上に達していた。

雑草木の種組成については、ススキがほとんどを占めており、繁茂も非常に激しかった。また、特に 1,100 本/ha 区でススキの背丈が高く、競合関係において 1,100 本/ha 区で競合状態 C3 や C4 の割合が高い要因の一つと考えられた。なお、本実証試験地は未だ林冠閉鎖には至っていないため、1,100 本/ha 区でススキの草丈が高かった要因が植栽密度の違いによるものとは考えにくい。ほかの要因としては立地環境の違いなどが考えられる。

以上より、どの植栽密度区も植栽木と雑草木の平均樹高の差がなく、競合状態 C3 や C4 の割合が多いため、植栽後 4 年が経過した現時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。



図 3-66 植栽木と雑草木の平均樹高
(宮崎県椎葉村)

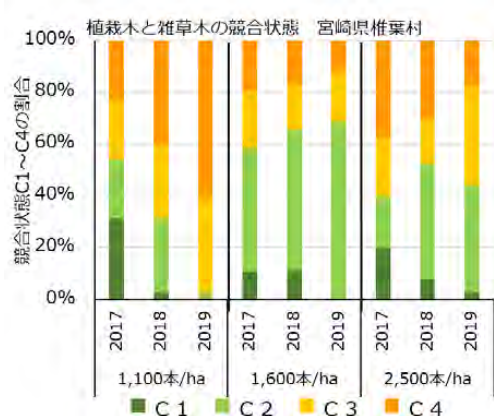


図 3-67 植栽木と雑草木の競合状態
(宮崎県椎葉村)

表 3-95 植生調査の結果（宮崎県椎葉村）

プロット	植栽密度 (本/ha)	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
2	1,100	低木層 (高さ1.0m以上)	ススキ	80%	－
		草本層 (高さ1.0m未満)	ススキ		・ベニバナボロギク・コチヂミザサ ・タケニグサ・ノリウツギ
4	1,600	低木層 (高さ1.0m以上)	ススキ	20%	－
		草本層 (高さ1.0m未満)	ススキ	70%	・ケチジミザサ・タケニグサ ・ナガバモミジイチゴ・スズタケ
5	2,500	低木層 (高さ1.0m以上)	ススキ	30%	－
		草本層 (高さ1.0m未満)	ススキ	60%	・スズタケ・ナガバモミジイチゴ ・タケニグサ



プロット 2



プロット 4



プロット 5

写真 3-40 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年 7 月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-96 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-68 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 18.0 時間、1,600 本/ha 区で 15.4 時間、1,100 本/ha 区で 18.5 時間となった。1,600 本/ha 区で下刈り作業時間が短くなったものの、1,100 本/ha 区と 2,500 本/ha 区では差がなかったことから、下刈り作業時間は植栽密度によってほとんど影響されなかったと考えられる。

表 3-96 各プロットの下刈り作業時間（宮崎県椎葉村）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,100	23	345.5	28.7	13.8	39.33	19.0
2	1,100	22	344.0	36.3	17.6	48.50	23.5
3	1,600	13	231.1	13.4	9.7	20.08	14.5
4	1,600	21	261.4	26.3	16.7	31.08	19.8
5	2,500	36	186.0	20.4	18.3	22.17	19.9
6	2,500	37	168.0	15.8	15.6	18.08	17.9

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

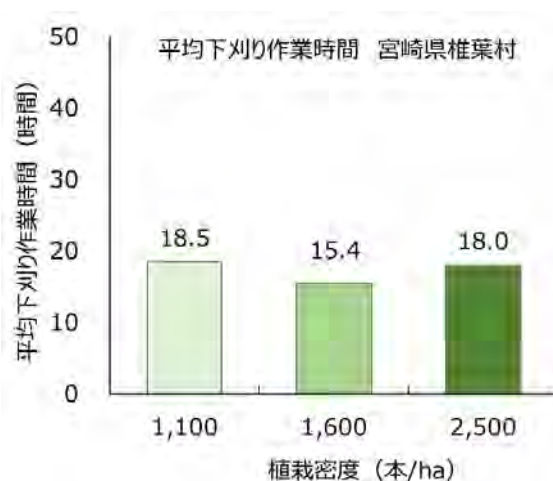


図 3-68 植栽密度別の平均下刈り作業時間（宮崎県椎葉村、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・植栽密度別では、下刈り作業の難易にあまり差はない。差が有るとすれば、低密度植栽区では植栽木を探すのが減る程度だと思う。
- ・植栽密度間で下刈り作業時間に差が生じた理由として、雑草木の繁茂状況の違いや地形の影響が考えられる。
- ・雑草木の繁茂が激しいと、誤伐につながった。
- ・等高線上に植栽をすると、植栽木が見つけやすくなるため誤伐が減ると思う。
- ・低密度植栽だと除間伐の頻度が減るのではないか。また逆に、低密度植栽だと樹冠閉鎖が進まないで、下層植生の繁茂が激しくなるのではないか。
- ・コンテナ苗は活着はいいが、成長はあまり早くない。

～令和元（2019）年度～

- ・植栽木が枯死などで消失していた場合、植栽間隔が広いほど次の植栽木までの距離が広くなり、見つけるのに時間がかかる（6 m先の植栽木を見つけるより 4 m先の植栽木を見つける方が簡単である）。
- ・下刈り作業時間の差は雑草木の成長状況に大きく左右されるため、下刈り作業の時期によってかなり差が生じる。
- ・地形（傾斜の大小など）により、足場の確保や移動に差が生じる。
- ・今回誤伐したのは 3 m間隔の箇所であったが、距離感の間違いによるもの（まだ次の樹木までには距離があるとの思い込み）であった。
- ・作業は等高線に沿って横移動で行うため、植栽するときも縦畝より横畝の方が誤伐は少ない。
- ・今年度は雑草木の繁茂が旺盛だったため、下刈り作業に時間がかかった。林齢の若い時期は、その年その年の雑草木の繁茂の状況により作業時間および労力に大きな差が生じると思われる。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（４回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-97 のとおりである。

3,000 本/ha の 2,677,667 円と比較すると、2,500 本/ha では 2,547,925 円、1,600 本/ha では 2,211,650 円、1,100 本/ha では 2,261,694 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 13 万円（5%）、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 47 万円（17%）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 42 万円（16%）のコストが削減できることがわかった。

1,600 本/ha と 1,100 本/ha で削減率がほとんど変わらなかった要因として、1,600 本/ha と比較して 1,100 本/ha で下刈り作業時間が少し長くなり、その結果下刈りのコストが増加したことが挙げられる。

表 3-97 初期保育コスト（宮崎県椎葉村）

宮崎県椎葉村	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		324,000円	324,000円	324,000円	324,000円
苗木購入費	153円/本	459,000円	382,500円	244,800円	168,300円
植栽労務費	69円/本	207,000円	172,500円	110,400円	75,900円
シカ柵設置費(400m)	1,224円/m	489,600円	489,600円	489,600円	489,600円
諸経費など		242,234円	242,234円	242,234円	242,234円
下刈り1年目		232,812円	228,247円	195,006円	234,231円
下刈り2年目		256,317円	251,291円	214,694円	257,880円
下刈り3年目		233,352円	228,776円	195,458円	234,774円
下刈り4年目		233,352円	228,776円	195,458円	234,774円
合計		2,677,667円	2,547,925円	2,211,650円	2,261,694円
コスト削減		－	5%	17%	16%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」、「諸経費など」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
施業前（平成 27（2015）年）	平成 29（2017）年 8 月
	
平成 29（2017）年 11 月	平成 30（2018）年 7 月
	
平成 30（2018）年 10 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-41 実証試験地の様子（遠景、宮崎県椎葉村）

⑦ 現地写真（近景）

	
植栽直後 平成 28 (2016) 年 2 月	平成 28 (2016) 年 6 月
	
平成 29 (2017) 年 8 月	平成 29 (2017) 年 11 月
	
平成 30 (2018) 年 7 月	平成 30 (2018) 年 10 月
	
令和元 (2019) 年 7 月	令和元 (2019) 年 10 月

写真 3-42 実証試験地の様子（近景、宮崎県椎葉村）

(5) 鹿児島県 薩摩川内市（スギ）(No.10)

① 実証試験地の概要

平成 27 (2015) 年 12 月に、鹿児島県薩摩川内市の実証試験地 (0.93ha) に 1,600 本/ha、2,500 本/ha の 2 つの植栽密度区を設け、スギ 300cc コンテナ苗 (挿し木苗) を計 1,902 本植栽した。実証試験地の概要 (表 3-98) と位置図 (図 3-69) は以下のとおりである。

表 3-98 実証試験地の概要 (鹿児島県薩摩川内市)

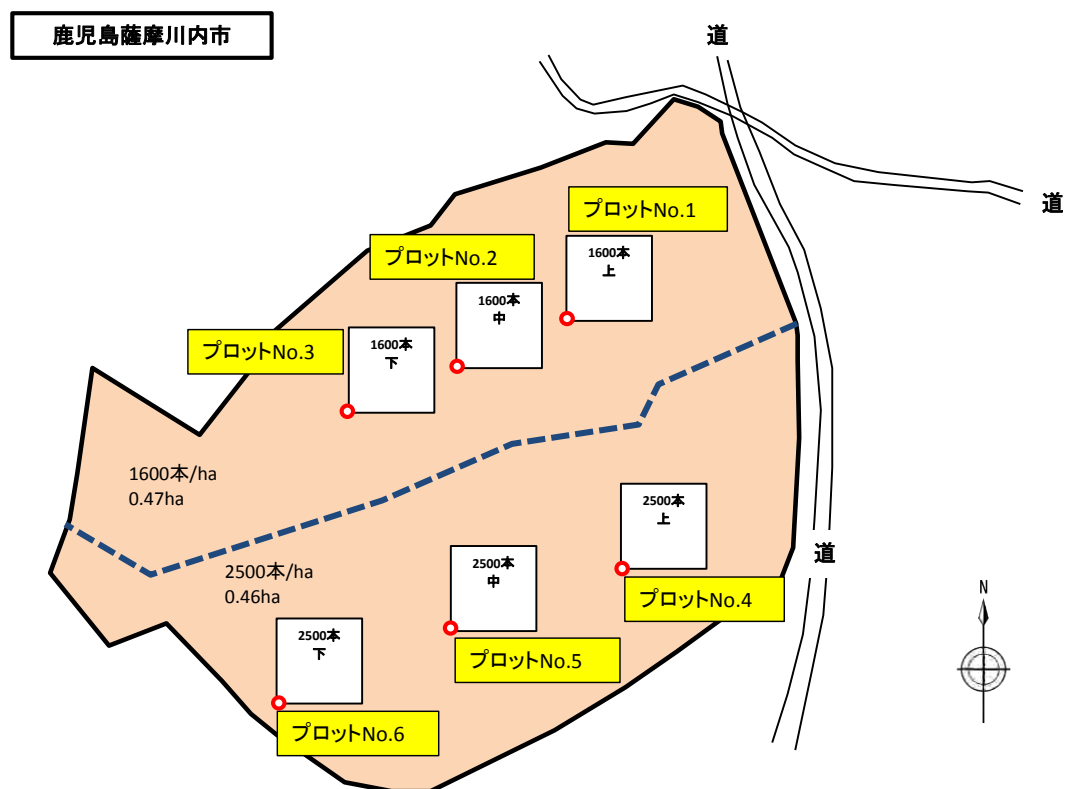
実証試験地	鹿児島県薩摩川内市祁答院町大字黒木字片草		
苗木種	スギ 300cc コンテナ苗 (挿し木苗)		
植栽密度	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.47ha	0.46ha	0.93ha
植栽本数	752 本	1,150 本	1,902 本
気温/ 降水量	17.0℃ (年平均気温) / 2,281.4mm (年降水量) (平年値、川内)		
標高/ 傾斜/ 方位	180~195m / 11~19° / W		
土壌	褐色森林土		
土地所有者	薩摩川内市		
植栽実施者	株式会社はなぶさ		
植栽日	平成 27 (2015) 年 12 月 24 日 (前生林分の伐採は平成 26 年 11 月)		



図 3-69 実証試験地の位置 (左) と様子 (右) (鹿児島県薩摩川内市)

② 調査プロットの概要

2つの植栽密度区に、それぞれ3つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計 213 本（1,600 本/ha：105 本、2,500 本/ha：108 本）を調査対象木とした。（図 3-70、表 3-99）



※プロット角の丸印は斜面下方右側に位置する。

図 3-70 調査プロットの位置図（鹿児島県薩摩川内市）

表 3-99 調査プロットの概要（鹿児島県薩摩川内市）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (㎡)	調査本数	備 考
1,600 本/ha	No.1	223.7	36 本	斜面上部に設置
	No.2	219.5	35 本	斜面中部に設置
	No.3	208.4	34 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No.4	141.5	36 本	斜面上部に設置
	No.5	138.5	36 本	斜面中部に設置
	No.6	142.3	36 本	斜面下部に設置
合計			213 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-100、表 3-101 のとおりである。

基本的に全ての調査プロットで下刈りを実施するものとしたが、平成 28（2016）年度においては試験的に 2 つの調査プロット（No. 2, 5）で下刈りを実施しなかった。

表 3-100 下刈りの実施日（鹿児島県薩摩川内市）

年度	下刈り実施日
平成 27（2015）	—（植栽年）
平成 28（2016）	8 月 23～24 日
平成 29（2017）	8 月 17～24 日
平成 30（2018）	8 月 20 日
令和 元（2019）	8 月 23～24 日
下刈り実施者	株式会社 はなぶさ

表 3-101 下刈り実施の有無（鹿児島県薩摩川内市）

植栽密度	プロット No.	H28（2016） 下刈り	H29（2017）～ R 元（2019） 下刈り
1,600 本/ha	No.1	有	有
	No.2	無	有
	No.3	有	有
2,500 本/ha	No.4	有	有
	No.5	無	有
	No.6	有	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-102 のとおりである。

表 3-102 調査実施日（鹿児島県薩摩川内市）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 27 (2015)	—	平成 28 (2016) 年 1 月 10 日
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 11 月 20 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 7 月 11 日	平成 29 (2017) 年 11 月 7 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 7 月 2 日	平成 30 (2018) 年 11 月 28 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 10 日	令和 元 (2019) 年 11 月 8 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-103 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、ウサギによる食害が発生したプロット 4 でほかより低かったものの、それ以外の調査プロットは 90%以上と高い数値を示し、また植栽密度間でほとんど差は見られなかった。

令和元（2019）年時点での生存率は、調査プロット間で多少のばらつきが生じたものの、植栽密度間では大きな差は見られなかった。また平成 28（2016）年に下刈りを実施した調査プロット（プロット 1, 3, 4, 6）と実施していない調査プロット（プロット 2, 5）で生存率を比較したところ、特に大きな差は見られなかった。

表 3-103 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（鹿児島県薩摩川内市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,600	36	2 (枯れ1・被圧1)	2 (ウサギ食害1・枯れ1)	0	1 (誤伐)	5	94.4	86.1	13.9
2	1,600	35	1 (消失)	2 (消失3)	0	1 (誤伐)	4	97.1	88.6	11.4
3	1,600	34	2 (誤伐2)	4 (消失3・ウサギ食害1)	0	1 (誤伐)	7	94.1	79.4	20.6
4	2,500	36	5 (ウサギ食害1・消失2・枯れ2)	0	0	1 (誤伐)	6	86.1	83.3	16.7
5	2,500	36	1 (枯れ)	2 (消失2)	0	0	3	97.2	91.7	8.3
6	2,500	36	1 (ウサギ食害)	0	1 (枯れ)	0	2	97.2	94.4	5.6

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-104、図 3-71、図 3-72 および写真 3-43 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに成長が非常に良好であり、令和元（2019）年度の時点で 2,500 本/ha 区では平均樹高が 3 m を超えていた。また植栽密度間では大きな差は見られなかった。平均形状比は植栽密度間でほぼ同じ傾向を示し、植栽直後から令和元（2019）年度まで緩やかな減少傾向を示している。

表 3-104 植栽木の成長状況（鹿児島県薩摩川内市）

1,600本/ha						
鹿児島県薩摩川内市		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	49.6±7.7	79.1±15.4	136.9±33.8	199±57.2	280.7±76.7
	最小値	26.4	42.0	78.2	105.0	140.2
	最大値	69.0	115.2	208.0	333.0	446.3
地際直径(cm)	平均値	0.6±0.1	1±0.2	1.8±0.7	3.6±1.5	5.5±2
	最小値	0.4	0.6	0.7	1.1	2.2
	最大値	0.8	1.8	3.6	7.8	10.5
形状比	平均値	86.2±16.2	84.2±15.4	81.2±16	58.8±11.7	53±7.8
	最小値	52.8	52.2	51.3	38.3	39.7
	最大値	153.5	147.3	143.1	101.8	86.6
2,500本/ha						
鹿児島県薩摩川内市		H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	50.9±7.4	91.3±13.9	146.2±30.6	216±42	303±57.2
	最小値	31.0	60.4	53.5	109.0	146.6
	最大値	69.0	125.6	213.0	308.0	402.2
地際直径(cm)	平均値	0.6±0.1	1.1±0.2	2±0.6	3.9±1.1	5.7±1.5
	最小値	0.4	0.6	0.8	1.3	1.7
	最大値	0.8	1.8	3.2	6.1	9.0
形状比	平均値	88.3±15.3	86.4±12.5	76.3±12.9	57.9±9.4	54.7±7.6
	最小値	51.7	62.0	46.5	43.3	41.3
	最大値	133.3	124.7	112.3	84.4	88.4

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

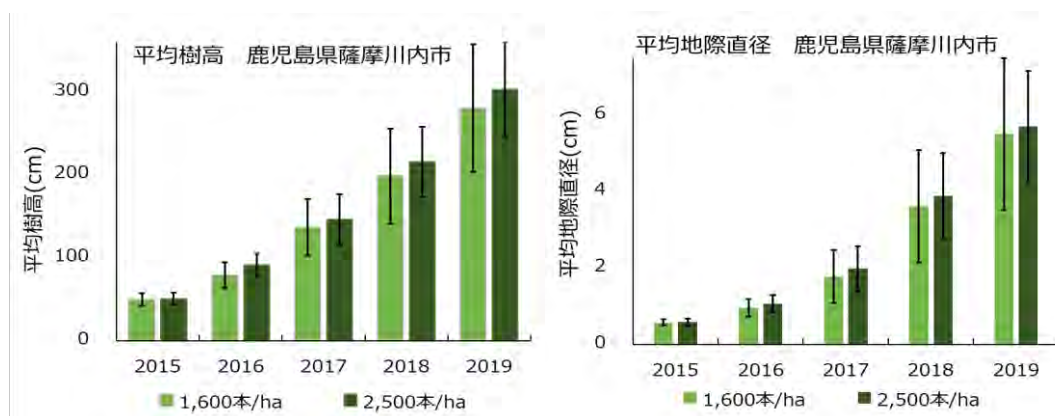


図 3-71 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（鹿児島県薩摩川内市）



図 3-72 植栽木の形状比の推移（鹿児島県薩摩川内市）



写真 3-43 1,600 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-73 に、競合状態の調査結果を図 3-74 に示す。また平成 28（2016）年度における植生調査の結果を表 3-105 に、令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-106 に、植生調査プロットの状態を写真 3-44 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、植栽密度間でほぼ同じ景況を示した。どちらの植栽密度区も植栽木の成長が良好であり、令和元（2019）年度には植栽木が雑草木から大きく抜け出している。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、植栽密度間で多少のばらつきが見られるものの、どの植栽密度区も令和元（2019）年の時点で競合状態 C1 + C2 が 7 割を超えていた。また平成 28（2016）年度に下刈りを省略した調査プロットと下刈りを実施した調査プロットを比較したところ、令和元（2019）年度における競合状態に大きな差は見られなかった。

雑草木の種組成については本事業の期間内で変化が見られた。植栽直後の平成 28（2016）年度ではセンダンやクマイチゴなどの落葉広葉樹が優占していたが、毎年下刈りが実施される中で次第にススキの繁茂が旺盛になり、令和元（2019）年度にはどの植栽密度区もススキが優占し、植被度、草丈ともに高くなっていた。

以上より、どちらの植栽密度も、植栽木の成長が良好であり、植栽木と雑草木の平均樹高の差が大きく、競合状態 C1 + C2 が 7 割を超えており、令和元（2019）年度（下刈り 4 回目）で下刈りの終了を検討できる。低密度植栽区も通常密度の植栽区と同じ回数で下刈りが終了できると考えられる。

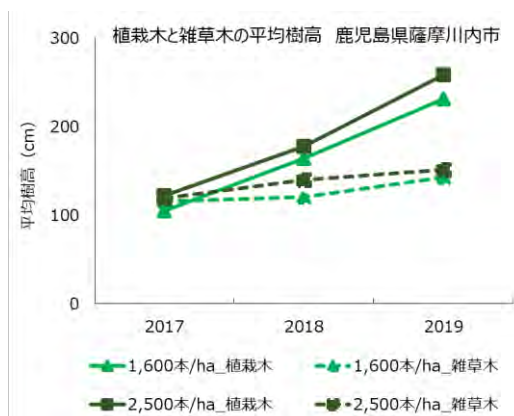


図 3-73 植栽木と雑草木の平均樹高
(鹿児島県薩摩川内市)

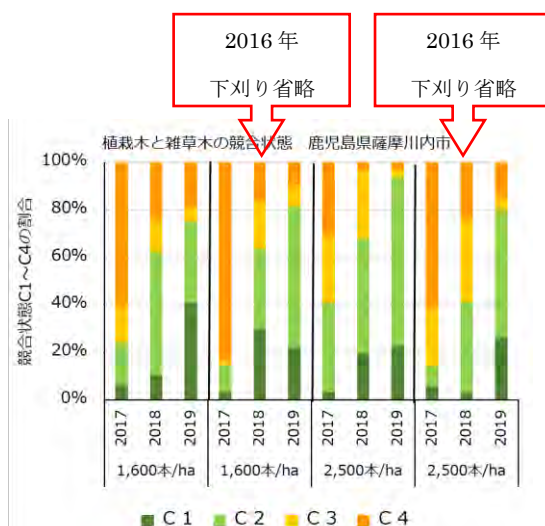


図 3-74 植栽木と雑草木の競合状態
(鹿児島県薩摩川内市)

表 3-105 植生調査の結果（鹿児島県薩摩川内市、平成 28（2016）年度）

プロット	密度	区分	H28（2016）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
1	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	センダン クマイチゴ カラスザンショウ	30%	・セイタカアワダチソウ・クサギ ・アカメガシワ・ジャケツイバラ ・エゴノキ
		草本層 （高さ1.0m未満）	クマイチゴ ダンドボロギク ヒメバライチゴ ヤブムラサキ	60%	・ススキ・ナガバモミジイチゴ ・タケニグサ・カラスザンショウ ・ヌルデ・タラノキ・アカメガシワ ・アオモジ・クマヤナギ
2	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	クマイチゴ センダン カラスザンショウ	30%	・ヨウシュヤマゴボウ・タケニグサ ・ジャケツイバラ
		草本層 （高さ1.0m未満）	クマイチゴ ナガバモミジイチゴ ダンドボロギク	50%	・カラスザンショウ・シロダモ ・ヤブムラサキ・アカメガシワ ・ナガバヤブマオ
4	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	センダン	20%	・カラスザンショウ・ジャケツイバラ ・ヒメムカシヨモギ・クマイチゴ ・セイタカアワダチソウ
		草本層 （高さ1.0m未満）	ヒメバライチゴ	50%	・アカメガシワ・チシャノキ ・アラカシ・エゴノキ
5	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	ジャケツイバラ	20%	・センダン・カラスザンショウ ・クマイチゴ・ヒメムカシヨモギ ・ナガバヤブマオ
		草本層 （高さ1.0m未満）	ダンドボロギク	40%	・ヌルデ・ナンテン・タブノキ ・エゴノキ・カラスザンショウ・クサギ ・オカトラノオ・ヒメバライチゴ

表 3-106 植生調査の結果（鹿児島県薩摩川内市、令和元（2019）年度）

プロット	植栽密度 （本/ha）	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
1	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	ススキ	60%	・アオモジ・アカメガシワ
		草本層 （高さ1.0m未満）	フユイチゴ ススキ クサギ イヌビワ ツルコウソ スゲ s p	30%	－
2	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	ススキ	60%	・アカメガシワ・クサギ
		草本層 （高さ1.0m未満）	ススキ	40%	・チガヤ・フユイチゴ・クサギ ・ヌルデ
4	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	ススキ	60%	・アオモジ・クズ
		草本層 （高さ1.0m未満）	ススキ ヌルデ オカトラノオ フユイチゴ	40%	－
5	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	ススキ	60%	・アカメガシワ・アオモジ・クズ
		草本層 （高さ1.0m未満）	ススキ	40%	・チガヤ・オカトラノオ・フユイチゴ



プロット1（平成28（2016）年7月）



プロット1（令和元（2019）年7月）



プロット2（平成28（2016）年7月）



プロット2（令和元（2019）年7月）



プロット4（平成28（2016）年7月）



プロット4（令和元（2019）年7月）



プロット5（平成28（2016）年7月）



プロット5（令和元（2019）年7月）

写真 3-44 植生調査プロットの状態

（左：平成28（2016）年7月、 右：令和元（2019）年7月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-107 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-75 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 36.0 時間、1,600 本/ha 区で 38.7 時間となり、低密度植栽区で僅かに下刈り作業時間が長くなる傾向が見られた。なお、後述する現場作業員へのヒアリングでは、雑草木の繁茂状況が下刈り作業時間に影響したという回答があった。

表 3-107 各プロットの下刈り作業時間（鹿児島県薩摩川内市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,600	19	223.7	55.8	41.5	53.33	39.7
2	1,600	17	219.5	52.6	39.9	48.67	37.0
3	1,600	14	208.4	47.8	38.2	44.57	35.6
4	2,500	14	141.5	36.4	42.9	28.42	33.5
5	2,500	14	138.5	28.9	34.8	30.12	36.2
6	2,500	11	142.3	30.8	36.1	27.80	32.6

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

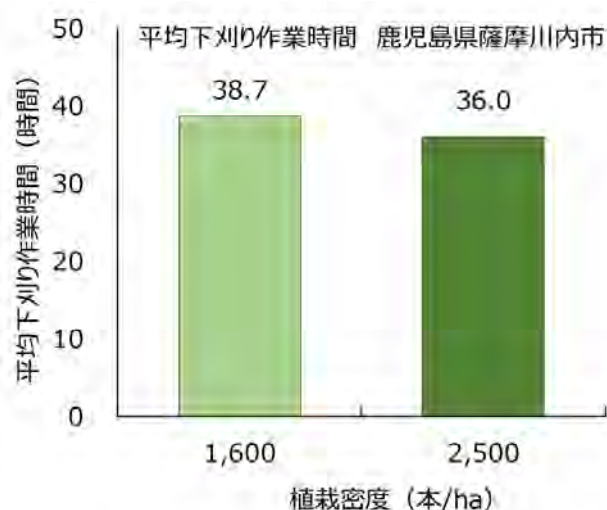


図 3-75 植栽密度別の平均下刈り作業時間（鹿児島県薩摩川内市、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・ 植栽密度の違いによる下刈り作業の難易の差は感じなかった。
- ・ 植栽密度よりも、雑草木の繁茂状況の違いが下刈り作業時間に影響した。
- ・ 1,600 本/ha 区では植栽木の間隔がつかめず、誤伐の危険性を感じた。

～令和元（2019）年度～

- ・ 昨年度と同様、植栽密度の違いによる下刈り作業の難易の差は感じなかった。
- ・ 植栽密度よりも、雑草木の高さや繁茂状況の違いと悪天候による視界不良が下刈り作業時間に影響した。
- ・ 植栽木が大きく成長しており視認しやすかったため、誤伐の危険性は少なかった。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（4回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-108 のとおりである。

3,000 本/ha の 3,670,526 円と比較すると、2,500 本/ha では 3,523,114 円、1,600 本/ha では 3,381,927 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 15 万円（4%）、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 29 万円（8%）のコストが削減できることがわかった。

本実証試験地ではシカ柵の設置費や諸経費に大きなコストがかかってしまったため、苗木購入費や植栽労務費などのコスト削減効果が相対的に小さくなってしまう結果となった。

表 3-108 初期保育コスト（鹿児島県薩摩川内市）

鹿児島県薩摩川内市	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha
地拵え費		253,763円	253,763円	253,763円
苗木購入費	153円/本	459,000円	382,500円	244,800円
植栽労務費	97円/本	291,000円	242,500円	155,200円
シカ柵設置費(400m)	1,933円/m	773,200円	773,200円	773,200円
諸経費など		750,570円	750,570円	750,570円
下刈り1年目		309,071円	303,011円	325,674円
下刈り2年目		299,728円	293,851円	315,829円
下刈り3年目		267,097円	261,860円	281,445円
下刈り4年目		267,097円	261,860円	281,445円
合計		3,670,526円	3,523,114円	3,381,927円
コスト削減		—	4%	8%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」、「諸経費など」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
施業前（平成 27（2015）年）	地拵え後（平成 28（2016）年 1 月）
	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-45 実証試験地の様子（遠景、鹿児島県薩摩川内市）

⑦ 現地写真（近景）

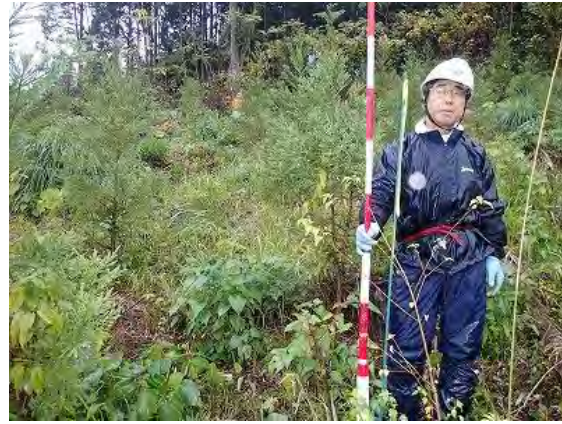
	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-46 実証試験地の様子（近景、鹿児島県薩摩川内市）

3-3. 平成 28（2016）年度植栽の実証試験地での実施結果

平成 28（2016）年度に植栽した実証試験地（表 3-109、図 3-76）の実施結果を以下に示す。

表 3-109 平成 28（2016）年度植栽の実証試験地 一覧（全 6 箇所）

No.	実証試験地	苗木種	植栽密度 (本/ha)	植栽面積 (ha)	植栽本数 (本)	下刈 時期	調査日 (2019)		備考
							夏季	秋冬季	
11	茨城県日立市 (小松沢国有林)	ヒノキ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,100	0.83	900	8月	7月	11月	
			1,600	0.39	600				
			2,500	0.37	900				
12	茨城県日立市 (民有林)	スギ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,100	0.35	385	8月	7月	11月	
			1,600	0.35	560				
			2,500	0.33	750				
13	岐阜県高山市 (民有林)	カラマツ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,100	0.30	330	8月	8月	10月	シカ 柵
			1,600	0.30	480				
			2,500	0.30	750				
14	岡山県加賀郡 (加茂山国有林)	ヒノキ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,100	0.29	323	7月	7月	10月	
			1,600	0.29	468				
			2,500	0.28	701				
15	高知県四万十町 (大谷山国有林)	ヒノキ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,100	0.31	341	8月	7月	10月	
			1,600	0.33	528				
			2,500	0.34	864				
16	宮崎県都城市 (民有林)	スギ大型 コンテナ苗 (挿し木苗)	1,100	0.35	387	8月	7月	11月	シカ 柵
			1,600	0.28	443				
			2,500	0.37	923				
		スギ 300cc コンテナ苗 (挿し木苗)	2,500	0.20	501				

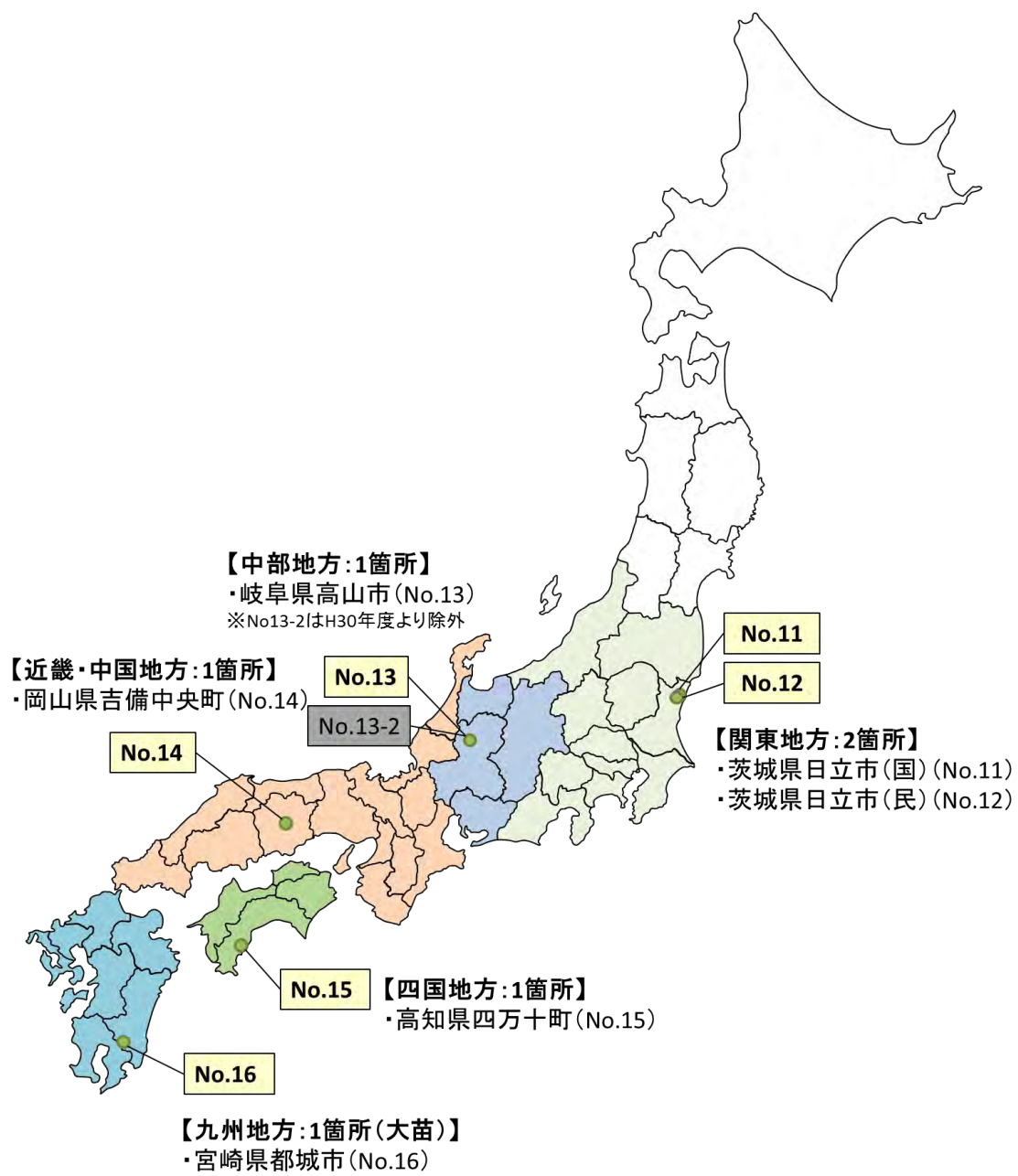


図 3-76 平成 28 (2016) 年度植栽の実証試験地 位置図

3-3-1. 関東地方

(1) 茨城県 日立市 (ヒノキ) (No.11)

① 実証試験地の概要

平成 28 (2016) 年 10～11 月に、茨城県日立市の実証試験地 (1.59ha) に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、ヒノキ 150cc コンテナ苗 (実生苗) を計 2,400 本植栽した。実証試験地の概要 (表 3-110) と位置図 (図 3-77) は以下のとおりである。

表 3-110 実証試験地の概要 (茨城県日立市 (ヒノキ))

実証試験地	茨城県日立市十王町高原小松沢国有林			
苗木種	ヒノキ 150cc コンテナ苗 (実生苗)			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.83ha	0.39ha	0.37ha	1.59ha
植栽本数	900 本	600 本	900 本	2,400 本
気温/ 降水量	13.9℃ (年平均気温) / 1,477.3mm (年降水量) (平年値、日立市)			
標高/ 傾斜/ 方位	260～310m / 10～25° / N～S			
土壌	褐色森林土壌			
土地所有者	国有林			
植栽実施者	有限会社 佐川運送			
植栽日	平成 28 (2016) 年 10 月 31 日、11 月 2 日・3 日 (前生林分の伐採は平成 26 年)			



図 3-77 実証試験地の位置 (左) と様子 (右)
(茨城県日立市 (ヒノキ))

② 調査プロットの概要

1,100 本/ha 区に 4 つ、1,600 本/ha 区と 2,500 本/ha 区に 2 つの調査プロットをそれぞれ設定し、調査プロット内の植栽木、計 273 本（1,100 本/ha：123 本、1,600 本/ha：78 本、2,500 本/ha：72 本）を調査対象木とした（図 3-78、表 3-111）。

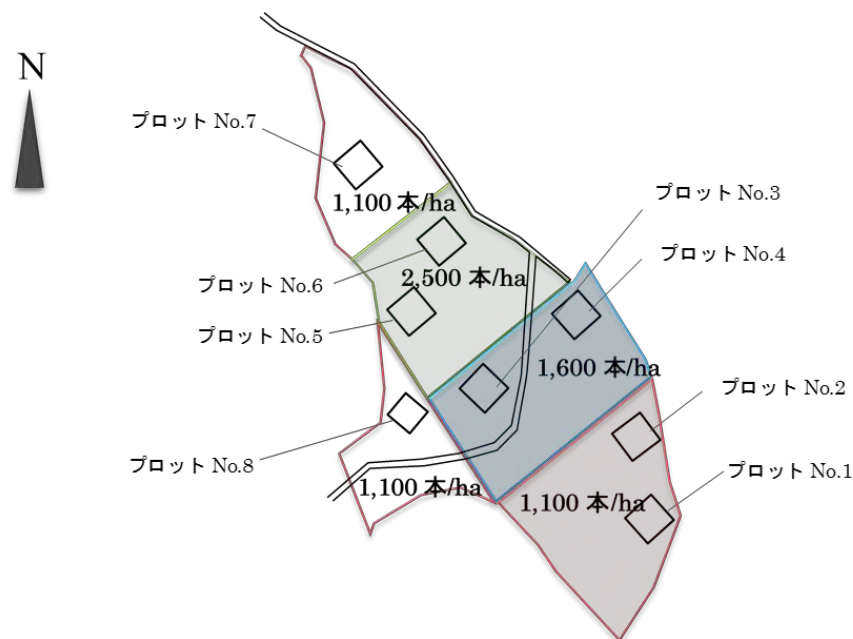


図 3-78 調査プロットの位置図（茨城県日立市（ヒノキ））

表 3-111 調査プロットの概要（茨城県日立市（ヒノキ））

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 1	307.0	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	306.5	35 本	斜面下部に設置
	No. 7	261.2	36 本	斜面中部に設置
	No. 8	224.0	16 本	斜面中部に設置
1,600 本/ha	No. 3	152.0	42 本	斜面上部に設置
	No. 4	139.6	36 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 5	307.0	36 本	斜面上部に設置
	No. 6	306.5	36 本	斜面下部に設置

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-112、表 3-113 のとおりである。本実証試験地では全ての調査プロットで下刈りを実施している。

表 3-112 下刈りの実施日（茨城県日立市（ヒノキ））

年度	下刈り実施日
平成 28（2016）	—（植栽年）
平成 29（2017）	9 月 4～9 日
平成 30（2018）	8 月 30 日
令和 元（2019）	8 月 29～30 日
下刈り実施者	有限会社 佐川運送

表 3-113 下刈り実施の有無（茨城県日立市（ヒノキ））

植栽密度	プロット No.	H29（2017）～ R 元（2019） 下刈り
1,100 本/ha	No. 1	有
	No. 2	有
1,600 本/ha	No. 3	有
	No. 4	有
2,500 本/ha	No. 5	有
	No. 6	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-114 のとおりである。

表 3-114 調査実施日（茨城県日立市（ヒノキ））

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 11 月 18 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 7 月 18 日	平成 29 (2017) 年 10 月 9 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 7 月 13 日	平成 30 (2018) 年 12 月 11 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 18 日	令和 元 (2019) 年 11 月 6 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-115 のとおりである。

活着率、生存率ともに植栽密度間および調査プロット間でばらつきが見られ、特に令和元（2019）年度における生存率は 1,600 本/ha 区のプロット 4 で 11.1%、2,500 本/ha 区のプロット 6 で 38.9%と、いずれも非常に低い数値を示した。これらの調査プロットではウサギによると思われる食害の発生が見られたほか、樹高が 2 m 以上のタケニグサが密生しており（写真 3-47）、植栽木が強い被圧を受けたことによる枯死や、植栽木がタケニグサに埋もれ視認し辛くなったことによる誤伐の発生が多かったと考えられる。

以上より、本実証試験地では植栽密度間で活着率や生存率に差が生じているが、これは食害の発生状況や局地的な雑草木の繁茂状況の違いによるものであり、植栽密度の違いによる影響ではないと考えられた。



写真 3-47 タケニグサに覆われたプロット 4（令和元（2019）年 7 月）

表 3-115 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（茨城県日立市（ヒノキ））

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)				活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,100	36	1（誤伐）	2（誤伐1・ウサギ食害1）	1（誤伐）	4	97.2	88.9	11.1
2	1,100	35	7（枯れ6・誤伐1）	2（獣虫害1・消失1）	3（獣虫害2・消失1）	12	80.0	65.7	34.3
7	1,100	36	17（消失10・枯れ6・誤伐1）	1（枯れ）	2（消失1・ウサギ食害1）	21	52.8	41.7	58.3
8	1,100	16	0	3（枯れ2・誤伐1）	0	3	100.0	81.3	18.8
3	1,600	42	5（枯れ3・誤伐2）	0	3（誤伐2・枯れ1）	8	88.1	81.0	19.0
4	1,600	36	14（誤伐9・枯れ5）	8（獣虫害3・枯れ2・消失2・誤伐1）	10（ウサギ食害6・誤伐3・消失1）	32	61.1	11.1	88.9
5	2,500	36	7（枯れ4・消失2・誤伐1）	0	0	7	80.6	80.6	19.4
6	2,500	36	17（消失10・枯れ6・誤伐1）	3（誤伐2・消失1）	2（誤伐2）	22	52.8	38.9	61.1

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-116、図 3-79、図 3-80 および写真 3-48 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに植栽密度間で差が見られ、令和元（2019）年度の時点で 1,600 本/ha 区で最も高い数値を示した。ただし、前述のとおり本実証試験地は場所によって立地環境や雑草木の種組成および繁茂状況が大きく異なるため、植栽密度の違いよりもそういった要因が植栽木の成長に影響を与えていると考えられた。

表 3-116 植栽木の成長状況（茨城県日立市（ヒノキ））

1,100本/ha					
茨城県日立市ヒノキ		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	42.9±5.8	62.3±14.1	95.4±22.9	138.7±37
	最小値	30.9	37.5	55.0	66.6
	最大値	59.5	92.5	159.0	231.4
地際直径(cm)	平均値	0.4±0	0.7±0.2	1.4±0.5	2.5±0.9
	最小値	0.3	0.4	0.6	1.1
	最大値	0.8	1.2	2.9	5.2
形状比	平均値	120.7±16.7	97.8±14.8	71±14.2	57±10.1
	最小値	81.3	65.6	43.9	39.3
	最大値	159.4	137.5	123.6	81.8
1,600本/ha					
茨城県日立市ヒノキ		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	45.2±4.7	66.3±12.6	109.2±23.1	159.7±34.9
	最小値	34.0	44.0	64.0	93.0
	最大値	56.0	107.3	173.0	252.0
地際直径(cm)	平均値	0.4±0	0.7±0.2	2.1±0.5	3.8±0.7
	最小値	0.3	0.4	0.9	2.1
	最大値	0.5	1.2	3.2	5.0
形状比	平均値	123.9±14.8	98.5±23	53.6±10.8	42.8±8.7
	最小値	91.3	62.5	38.9	29.6
	最大値	179.6	153.3	86.1	68.6
2,500本/ha					
茨城県日立市ヒノキ		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	46.1±6.3	60.2±8.3	86.7±17.4	127.3±27
	最小値	27.7	39.3	55.0	85.1
	最大値	65.0	75.9	126.0	201.0
地際直径(cm)	平均値	0.4±0	0.7±0.1	1.6±0.5	3±0.7
	最小値	0.3	0.5	0.7	1.6
	最大値	0.5	1.0	2.6	4.9
形状比	平均値	122.4±16.3	90.1±14.6	57.2±16.3	43.4±10.7
	最小値	86.3	64.4	34.8	24.0
	最大値	159.4	121.9	95.5	69.3

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

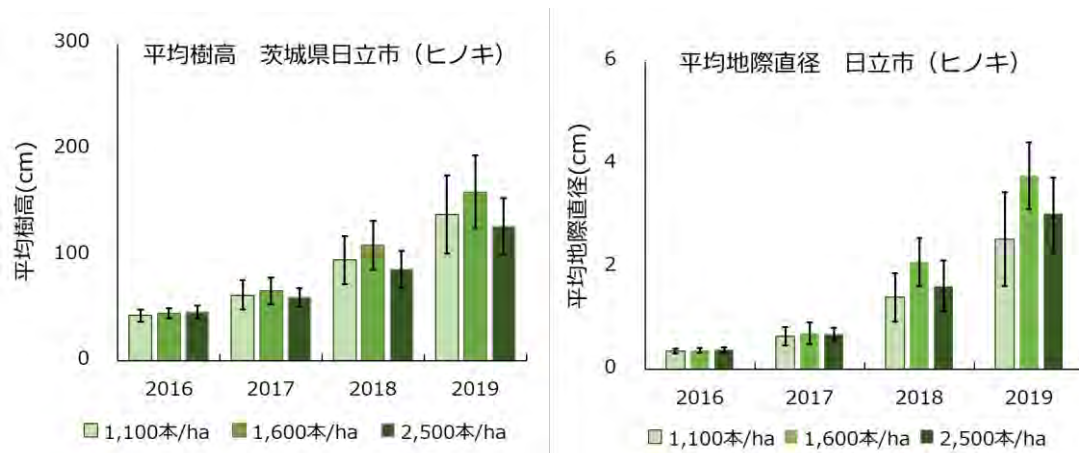


図 3-79 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移
（茨城県日立市（ヒノキ））

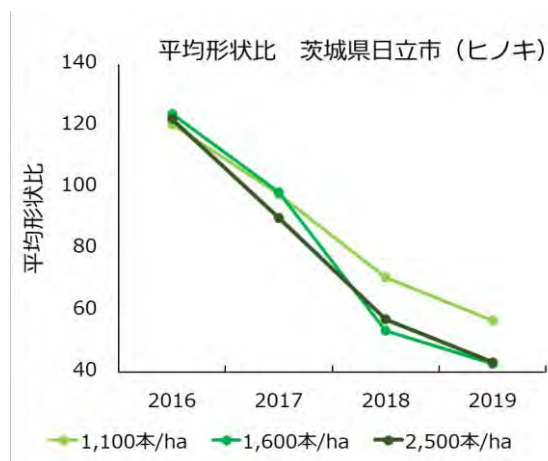


図 3-80 植栽木の形状比の推移（茨城県日立市（ヒノキ））



写真 3-48 1,100 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-81 に、競合状態の調査結果を図 3-82 に示す。また、令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-117、写真 3-49 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、植栽密度間で傾向に差が見られるものの、どの植栽密度区も植栽木と雑草木の樹高差はまだ大きく開いていない。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、平均樹高と同様に植栽密度間でばらつきが見られ、2,500 本/ha 区では競合状態 C1 + C2 が 10 割だったのに比べ、1,600 本/ha 区では競合状態 C1 + C2 が約 5 割であり、1,100 本/ha 区では競合状態 C1 が無く C2 が約 2 割となった。

雑草木の種組成を見てみると、プロット 2（1,100 本/ha 区）とプロット 3（1,600 本/ha 区）ではススキのほかクマイチゴなどのキイチゴ類が優占しており、低木層（樹高が 1 m 以上）の植被率も 30%程度だったが、プロット 5（2,500 本/ha 区）では低木層の植被率は 5 %程度と低く、優占する種は背丈の低いアズマネザサなどであった。このような局所的な雑草木の種組成や繁茂状況の違いによって、植栽木と雑草木の成長具合や競合状態に植栽密度間で差が生じたと考えられる。

以上より、植栽木と雑草木の平均樹高や競合状態に植栽密度間で違いが見られるものの、どの植栽密度区も植栽木と雑草木の樹高差が大きく開いていないため、下刈りの終了の判断は植栽密度にかかわらず難しい。



図 3-81 植栽木と雑草木の平均樹高
（茨城県日立市（ヒノキ））

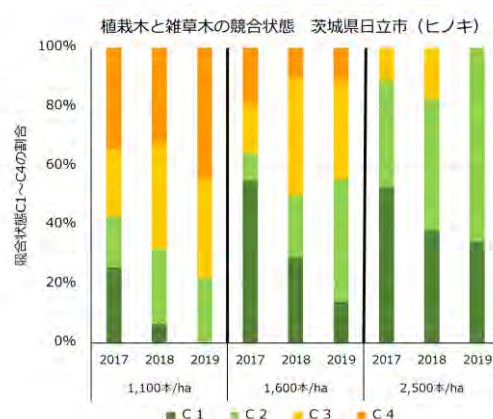


図 3-82 植栽木と雑草木の競合状態
（茨城県日立市（ヒノキ））

表 3-117 植生調査の結果（茨城県日立市（ヒノキ））

プロット	密度	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
2	1,100	低木層 （高さ1.0m以上）	ススキ ウワミズザクラ タケニグサ	30%	・タラノキ・クマイチゴ・ニガイチゴ
		草本層 （高さ1.0m未満）	クマイチゴ ヤマウルシ アカメガシワ	70%	・タラノキ・ムラサキシキブ ・オカトラノオ・タケニグサ ・サンショウ・シダsp・ヌルデ ・ヘクソカズラ・スゲsp・コシアブラ ・ヤマグワ・ホオノキ
3	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	クマイチゴ ススキ ニガイチゴ	30%	・タケニグサ・ウワミズザクラ ・ヨウシュヤマゴボウ
		草本層 （高さ1.0m未満）	アカメガシワ クマイチゴ オカトラノオ	70%	・ヤマウルシ・コシアブラ ・ムラサキシキブ・タラノキ・ニガイチゴ ・ヌルデ・サンショウ・スゲsp・シダsp ・タケニグサ・ネムノキ・コナラ
5	2,500	低木層 （高さ0.7m以上）	ヤマウルシ ウワミズザクラ	5%	・ススキ・クマイチゴ
		草本層 （高さ0.7m未満）	アズマネザサ アカメガシワ	70%	・ヤマウルシ・コシアブラ・クマイチゴ ・ススキ・ヌルデ・サルトリイバラ ・タラノキ・ムラサキシキブ ・ニガイチゴ・ウワミズザクラ ・サンショウ・ネムノキ



プロット 2



プロット 3



プロット 5

写真 3-49 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年 7 月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-118 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-83 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 22.7 時間、1,600 本/ha 区で 22.2 時間、1,100 本/ha 区で 19.8 時間となった。植栽密度が低いほど下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた。

表 3-118 各プロットの下刈り作業時間（茨城県日立市（ヒノキ））

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,100	5	307.0	31.3	17.0	45.47	24.7
2	1,100	5	306.5	32.6	17.7	36.30	19.7
3	1,600	5	261.2	23.8	15.2	22.97	14.7
4	1,600	10	224.0	44.6	33.2	37.83	28.1
5	2,500	5	152.0	15.1	16.6	20.07	22.0
6	2,500	20	139.6	21.9	26.1	22.12	26.4

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

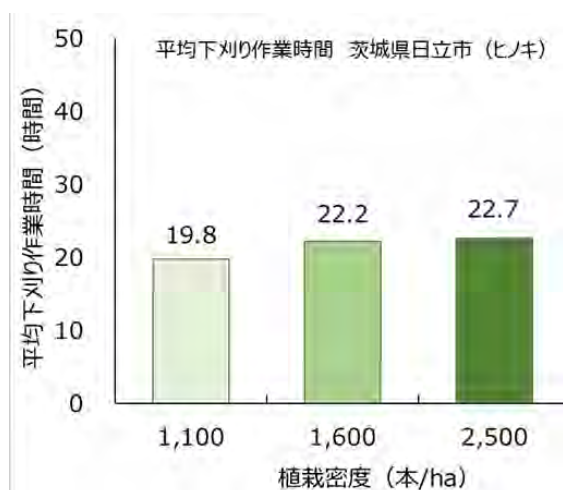


図 3-83 植栽密度別の平均下刈り作業時間
(茨城県日立市（ヒノキ）,ヘクタールあたり)

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・刈り払い機による作業では刈り幅が 1.5m 程度で一定のため、植栽密度によって刈り幅が大きくなるといったことは無い。そのため、植栽密度によって下刈り作業の難易度に変化は無いと思われる。
- ・下刈り作業時間に差が生じた理由として、地形の状況、雑草木の繁茂状況、植栽木の成長度合い（雑草木よりも成長して視認が容易になる）などが考えられる。プロット 4、6 のようにタケニグサやオオアレチノギクといった背丈が高い雑草木が密生する場所では、植栽木の成長度合いも悪く、作業時間に大きく影響する。ツル植物の繁茂状況も作業時間に大きく影響する。
- ・誤伐については、植栽木の周辺の雑草木の繁茂状況や、長時間の作業による疲労や気のゆるみが影響する。また、コンテナ苗のような小さい苗を植栽したときに誤伐を避ける方法については、作業員を多く入れて植栽木の周りの雑草木を手作業で刈り取ったり、植栽木に目印をつけるなどが考えられる。ただし、現在の請負費では不可能である。
- ・コンテナ苗の植栽は植栽時期を問わないといわれているが、積雪がなく植栽木が寒風にさらされるようなところには向かない（深植えが必要）と思われる。
- ・地拵え、植栽、下刈りといった造林時の一連の作業の中で、植栽密度によって変化があるものは植栽（苗木購入費、植栽労務費）だけだと思う。

～令和元（2019）年度～

- ・植栽密度が低くなることにより雑草木の繁茂状況に違いが生じるため、雑草木の 2 段刈りを行うなどで雑草木による被圧を防ぐ必要がある。
- ・数年前から、植栽年に下刈り作業を行わないところがある。従前のヒノキ林は草本が少ないが、スギ林は草本類が繁茂するため初年度ほど下刈りを行うべきだと思う。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（3回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-119 のとおりである。

3,000 本/ha の 2,396,762 円と比較すると、2,500 本/ha では 2,253,649 円、1,600 本/ha では 2,009,742 円、1,100 本/ha では 1,790,388 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 14 万円（6％）、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 38 万円（16％）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 60 万円（25％）のコストが削減できることがわかった。

また、苗木購入費のコスト削減効果が大きく、3,000 本/ha と比較すると、2,500 本/ha では約 9 万円、1,600 本/ha では約 25 万円、1,100 本/ha では約 33 万円の削減となった。

表 3-119 初期保育コスト（茨城県日立市（ヒノキ））

茨城県日立市（ヒノキ）	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		337,263円	337,263円	337,263円	337,263円
苗木購入費	175円/本	525,000円	437,500円	280,000円	192,500円
植栽労務費	76円/本	228,000円	190,000円	121,600円	83,600円
シカ柵設置費		なし	なし	なし	なし
諸経費など		408,248円	408,248円	408,248円	408,248円
下刈り1年目		285,283円	279,689円	273,970円	244,162円
下刈り2年目		306,484円	300,474円	294,331円	262,307円
下刈り3年目		306,484円	300,474円	294,331円	262,307円
合計		2,396,762円	2,253,649円	2,009,742円	1,790,388円
コスト削減		—	6%	16%	25%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」、「諸経費など」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
植栽後（平成 28（2016）年 11 月）	平成 29（2017）年 10 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-50 実証試験地の様子（遠景、茨城県日立市（ヒノキ））

⑦ 現地写真（近景）

	
平成 28 (2016) 年 7 月	平成 28 (2016) 年 8 月
	
平成 29 (2017) 年 8 月	平成 29 (2017) 年 11 月
	
平成 30 (2018) 年 7 月	平成 30 (2018) 年 10 月
	
令和元 (2019) 年 7 月	令和元 (2019) 年 10 月

写真 3-51 実証試験地の様子（近景、茨城県日立市（ヒノキ））

(2) 茨城県 日立市（スギ）(No.12)

① 実証試験地の概要

平成 28 (2016) 年 10 月に、茨城県日立市の実証試験地 (1.03ha) に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、スギ 150cc コンテナ苗 (実生苗) を計 1,695 本植栽した。実証試験地の概要 (表 3-120) と位置図 (図 3-84) は以下のとおりである。

表 3-120 実証試験地の概要 (茨城県日立市 (スギ))

実証試験地	茨城県日立市十王町高原沼久保			
苗木種	スギ 150cc コンテナ苗 (実生苗)			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.35ha	0.35ha	0.33ha	1.03ha
植栽本数	385 本	560 本	750 本	1,695 本
気温/ 降水量	13.9℃ (年平均気温) / 1477.3mm (年降水量) (平年値、日立市)			
標高/ 傾斜/ 方位	400～450m / 20～25° / NW			
土壌	褐色森林土壌			
土地所有者	個人所有者			
植栽実施者	高萩市森林組合			
植栽日	平成 28 (2016) 年 10 月 25・26 日 (前生林分の伐採は平成 28 (2016) 年 6 月)			

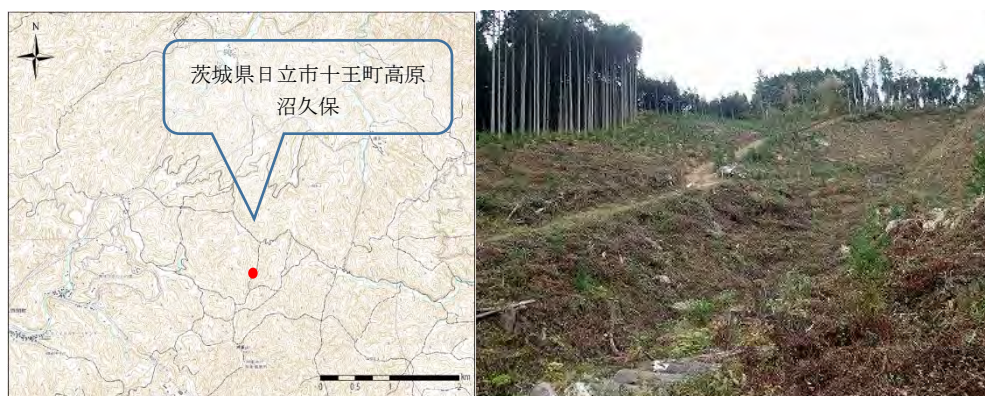


図 3-84 実証試験地の位置 (左) と様子 (右) ((茨城県日立市 (スギ))

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区に、それぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計223本（1,100本/ha：80本、1,600本/ha：71本、2,500本/ha：72本）を調査対象木とした（図3-85、表3-121）。

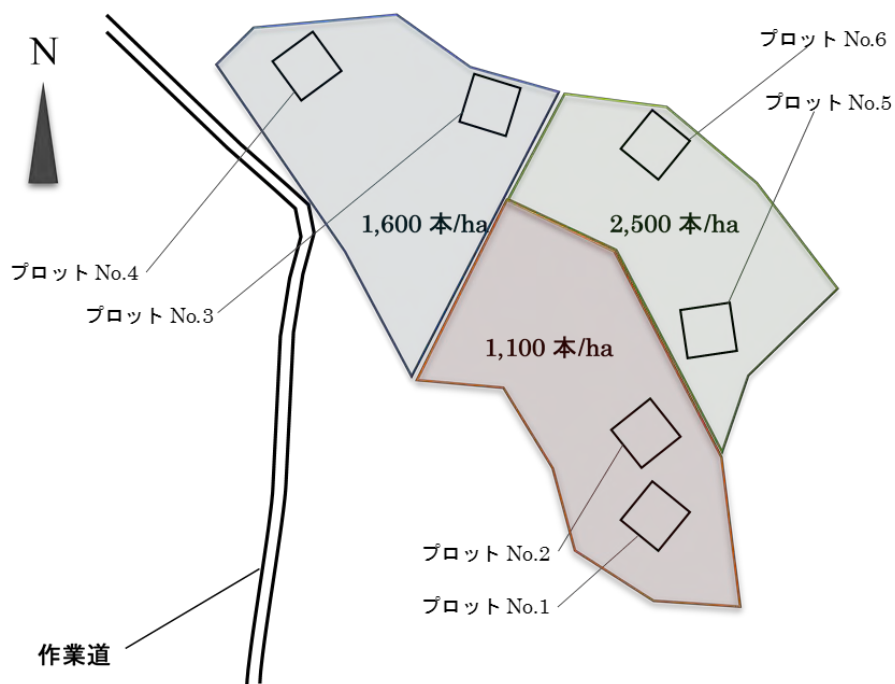


図 3-85 調査プロットの位置図（茨城県日立市（スギ））

表 3-121 調査プロットの概要（茨城県日立市（スギ））

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 1	306.2	39 本	斜面上部に設置
	No. 2	346.7	41 本	斜面下部に設置
1,600 本/ha	No. 3	232.5	35 本	斜面上部に設置
	No. 4	216.5	36 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 5	152.1	36 本	斜面上部に設置
	No. 6	143.8	36 本	斜面下部に設置
合計			223 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-122、表 3-123 のとおりである。本実証試験地では、全ての調査プロットで下刈りを実施している。

表 3-122 下刈りの実施日（茨城県日立市（スギ））

年度	下刈り実施日
平成 28（2016）	—（植栽年）
平成 29（2017）	9 月 29～30 日
平成 30（2018）	8 月 18～20 日
令和 元（2019）	9 月 20～27 日
下刈り実施者	高萩市森林組合

表 3-123 下刈り実施の有無（茨城県日立市（スギ））

植栽密度	プロット No.	H29（2017）～ R 元（2019） 下刈り
1,100 本/ha	No. 1	有
	No. 2	有
1,600 本/ha	No. 3	有
	No. 4	有
2,500 本/ha	No. 5	有
	No. 6	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-124 のとおりである。

表 3-124 調査実施日（茨城県日立市（スギ））

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 11 月 17 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 8 月 4 日	平成 29 (2017) 年 10 月 10 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 7 月 12 日	平成 30 (2018) 年 12 月 12 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 17 日	令和 元 (2019) 年 11 月 7 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-125 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、調査プロット間でばらつきが生じたものの、どの植栽密度でも平均して約 80%以上であった。

令和元（2019）年時点での生存率は、調査プロット間で多少のばらつきが生じていた。枯死原因を見ると、1,100 本/ha 区で 10 本、1,600 本/ha 区で 4 本、2,500 本/ha 区で 5 本と、計 19 本（全体の 8%）が誤伐により枯死している。本実証試験地はキイチゴ類などの雑草木が密生しており、植栽木の視認性が低くなったことにより誤伐が多く発生したと思われる、生存率の差は植栽密度によって生じたものではないと考えられる。

表 3-125 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（茨城県日立市（スギ））

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)				活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,100	39	3 (枯れ3)	2 (消失2)	5 (誤伐4・枯れ1)	10	92.3	74.4	25.6
2	1,100	41	6 (誤伐4・枯れ2)	2 (枯れ1・消失1)	3 (誤伐2・枯れ1)	11	85.4	73.2	26.8
3	1,600	35	2 (消失1・枯れ1)	0	3 (消失2・誤伐1)	5	94.3	85.7	14.3
4	1,600	36	8 (消失4・誤伐1・枯れ3)	0	3 (誤伐2・消失1)	11	77.8	69.4	30.6
5	2,500	36	11 (誤伐3・枯れ7・消失1)	0	0	11	69.4	69.4	30.6
6	2,500	36	0	2 (誤伐2)	3 (ウサギ食害1・消失1・枯れ1)	5	100.0	86.1	13.9

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-126、図 3-86、図 3-87 および写真 3-52 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに植栽密度間で大きな差は見られなかった。平均形状比は、植栽直後はどの植栽密度も 90 程度であったがその後緩やかに減少傾向にあり、令和元（2019）年度の時点では 1,100 本/ha 区で約 60、1,600 本/ha 区と 2,500 本/ha 区では約 50 前後と多少の差が見られ、低密度植栽区である 1,100 本/ha 区で僅かに高くなる結果となった。

表 3-126 植栽木の成長状況（茨城県日立市（スギ））

1,100本/ha					
茨城県日立市スギ		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	42.9±6.1	52.2±8.9	88.9±20.1	147.4±30.9
	最小値	29.8	37.0	58.0	86.8
	最大値	60.0	76.0	150.0	250.3
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.7±0.1	1.4±0.4	2.6±0.7
	最小値	0.3	0.5	0.9	1.3
	最大値	0.8	1.0	2.9	5.3
形状比	平均値	92.7±14.9	78.5±12.3	65.8±10.8	59.2±8.3
	最小値	59.6	55.3	45.0	43.0
	最大値	135.4	117.3	87.4	82.1
1,600本/ha					
茨城県日立市スギ		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	42.5±6.5	58±10.5	89.1±19.5	139.1±35.1
	最小値	30.5	34.1	53.0	82.6
	最大値	60.0	93.5	139.0	236.5
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.8±0.2	1.5±0.4	2.7±0.8
	最小値	0.3	0.5	0.9	1.5
	最大値	0.7	1.2	2.9	4.6
形状比	平均値	92.6±18.2	76.2±17.3	61.1±16.6	52.2±11.1
	最小値	50.8	46.5	33.5	28.7
	最大値	129.4	119.1	131.0	85.5
2,500本/ha					
茨城県日立市スギ		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	42.9±6.6	58.9±15.8	91.5±33.2	137.4±47.3
	最小値	30.8	36.3	51.0	65.2
	最大値	61.0	96.5	181.0	255.9
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	0.8±0.3	1.8±0.9	2.9±1.4
	最小値	0.3	0.5	0.6	1.0
	最大値	0.6	1.8	4.3	6.7
形状比	平均値	93.8±13.4	73.3±12.8	53.6±9.8	49.7±10.2
	最小値	58.1	42.9	31.8	27.6
	最大値	123.1	115.9	93.1	81.7

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

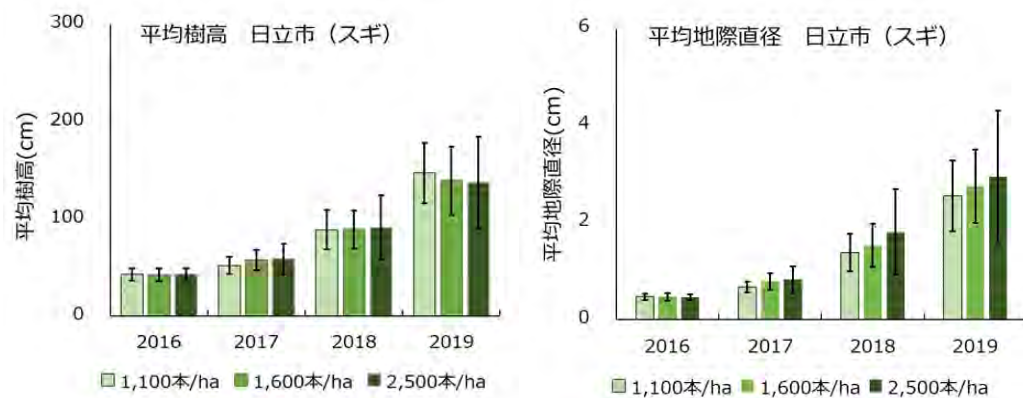


図 3-86 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移
（茨城県日立市（スギ））

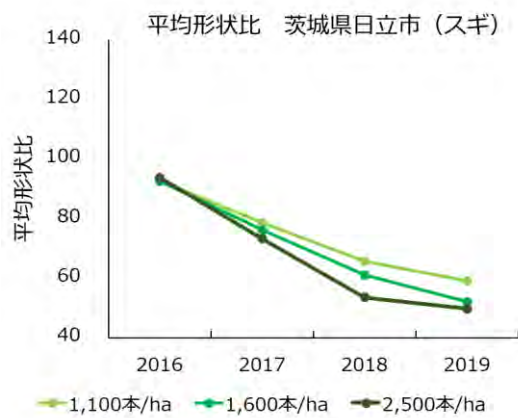


図 3-87 植栽木の形状比の推移（茨城県日立市（スギ））



写真 3-52 1,100 本/ha 区の状態（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-88 に、競合状態の調査結果を図 3-89 に示す。また令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-127、写真 3-53 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、植栽木、雑草木とも植栽密度間で多少の差が見られた。植栽後 3 年が経過した令和元（2019）年時点では、どの植栽密度でも植栽木が雑草木を抜け出し始めているが、植栽木と雑草木の樹高差は下刈りを終了できるほど開いていない。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、植栽密度間で多少のばらつきが見られ、2,500 本/ha 区では競合状態 C 1 + C 2 が 8 割、1,600 本/ha 区では競合状態 C 1 + C 2 が約 9 割だったのに比べ、1,100 本/ha 区では競合状態 C 1 + C 2 が約 6 割となった。これは、立地環境が大きく影響したと考えられ、植栽密度による影響については不明である。

競合雑草木の種組成については、モミジイチゴなどのキイチゴ類が多く見られ、植被率は 1,600 本/ha 区で他の植栽密度区よりも低い値を示した。

以上のように、植栽木と雑草木の競合関係には植栽密度間で多少の差が見られた。ただし本実証試験地は植栽密度間で立地環境に差があり（1,100 本/ha 区や 2,500 本/ha 区は斜面上方に、1,600 本/ha 区は斜面下方に位置する。）、そういった要因が影響していると考えられる。

以上より、どの植栽密度区も植栽木と雑草木の平均樹高の差が大きく開いていないため、植栽後 3 年が経過した現時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。



図 3-88 植栽木と雑草木の平均樹高
（茨城県日立市（スギ））

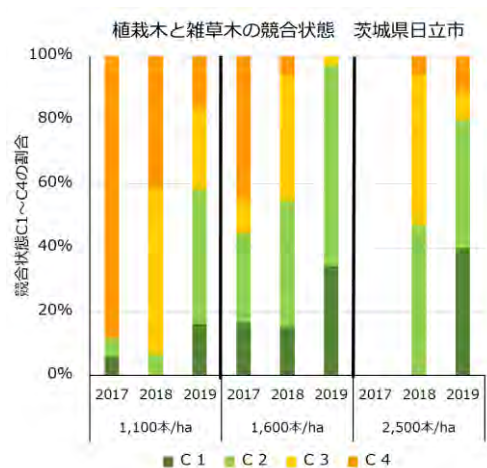


図 3-89 植栽木と雑草木の競合状態
（茨城県日立市（スギ））

表 3-127 植生調査の結果（茨城県日立市（スギ））

プロット	密度	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
2	1,100	低木層 （高さ1.0m以上）	モミジイチゴ ニガイチゴ	5%	・タラノキ・クマイチゴ・タケニグサ
		草本層 （高さ1.0m未満）	モミジイチゴ シダsp タラノキ	95%	・ムラサキシキブ・オカトラノオ ・イネ科sp・ヤマウルシ・コナラ ・ニガイチゴ・アカメガシワ ・ススキ・ササsp・ヌルデ ・ヨウシュヤマゴボウ
3	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	ススキ モミジイチゴ タケニグサ	5%	－
		草本層 （高さ1.0m未満）	モミジイチゴ ヤマウルシ アカメガシワ	80%	・シダsp・ヒサカキ・ススキ ・ムラサキシキブ・タラノキ・ヒノキ
6	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	モミジイチゴ ススキ タケニグサ	20%	・スギ・ヤマウルシ
		草本層 （高さ1.0m未満）	モミジイチゴ アカメガシワ ヒサカキ	75%	・ヤマウルシ・ヒノキ



プロット 2



プロット 3



プロット 6

写真 3-53 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年 7 月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-128 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-90 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 25.7 時間、1,600 本/ha 区で 24.1 時間、1,100 本/ha 区で 20.0 時間となった。植栽密度が低いほど下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた。

表 3-128 各プロットの下刈り作業時間（茨城県日立市（スギ））

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,100	25	306.2	38.9	21.2	42.72	23.3
2	1,100	25	346.7	36.6	17.6	38.83	18.7
3	1,600	20	232.5	29.7	21.3	33.60	24.1
4	1,600	20	216.5	31.6	24.3	34.67	26.7
5	2,500	25	152.1	19.8	21.7	25.33	27.8
6	2,500	25	143.8	23.2	26.9	23.08	26.7

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

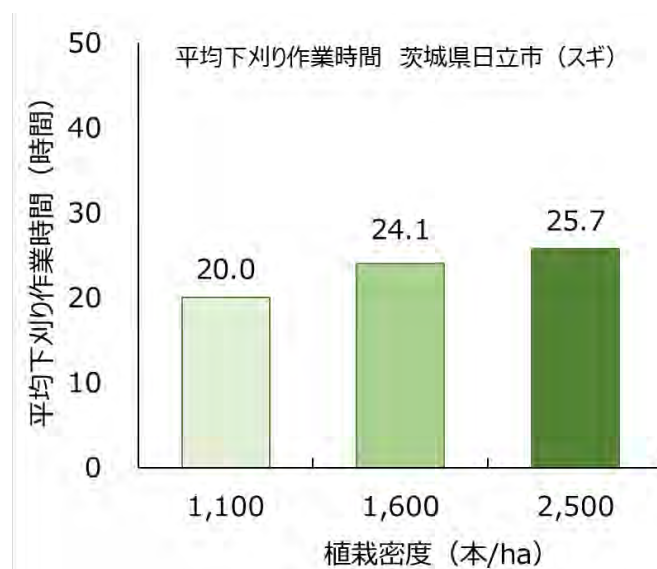


図 3-90 植栽密度別の平均下刈り作業時間（茨城県日立市（スギ）,ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・ 1,100 本/ha 区は植栽間隔が空きすぎて作業しづらい。一本の誤伐が大きな影響を生むので慎重になり、どうしても作業に時間がかかる。1,600 本/ha 区も、1,100 本/ha 区ほどではないが作業しづらい。2,500 本/ha 区は 3,000 本/ha 区と感覚的な違いは感じなかった。
- ・ 3,000 本/ha の下刈り作業に慣れているため、低密度植栽だと感覚が狂い時間がかかる。
- ・ 1,100 本/ha 区の実証試験地は雑草木の生育が非常によく、3.0m間隔で苗木の植栽箇所が判りづらいこともあり作業時間がかかっている。
- ・ 1,600 本/ha の実証試験地はキイチゴ類が非常に多く、作業に支障をきたしている。
(雑草木の繁茂が、植栽本数が少ないことによるものかどうかは不明)
- ・ 植栽木の間隔が 2.5mや 3.0mは広すぎて、次の植栽木の位置の予測が難しい。誤伐を減らすなら一旦坪刈りを行うか、2 回刈りを行った方がいい。手間とコスト増になるが植栽木の脇に目印の支柱を立てる方法もある。
- ・ 下刈りに誤伐はつきものなので、どんなに注意しても避けることはできない。

～令和元（2019）年度～

- ・ 1,100 本/ha は植栽間隔が空きすぎて、次の植栽木が把握しづらい。1,600 本/ha も間隔が広いと感じる。2,500 本/ha は 3,000 本/ha とあまり変わらないように感じた。
- ・ 1,100 本/ha の実証試験地は雑草木の生育が良く、3 m間隔で植栽木の植栽箇所が分かりづらいこともあり、下刈り作業時間がかかった。1,600 本/ha ではキイチゴ類が非常に多く、作業に支障をきたした。天然更新しているスギが多く、植栽木と区別しづらかった。
- ・ 植栽木の間隔が 2.5m や 3 m だと、広すぎて探しているうちに誤伐することがあった。
- ・ キイチゴ類が繁茂しているため 2 段刈りをしたが、その際に植栽木の頭を切ってしまうことがあった。
- ・ 本実証試験地は秋植えなので今年度で 4 年生になるが、春植えと比較すると 1 年くらい成長が遅い気がする。コンテナ苗は通年での植栽が可能であることが利点の一つではあるが、春植えが良いと思う。
- ・ コンテナ苗の特徴として、初期に上方向よりも横方向に成長しやすいと聞いたことがあるが、上方向に成長してくれた方が下刈りはやりやすい。
- ・ 林業関係者からは、低密度植栽の場合に枝が多く張ったり、まっすぐ成長しないのはいいか、また最終的に用材となり得るのか、といった疑問を受けることがある。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（3回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-129 のとおりである。

3,000 本/ha の 2,160,746 円と比較すると、2,500 本/ha では 2,024,017 円、1,600 本/ha では 1,772,437 円、1,100 本/ha では 1,553,490 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 13 万円（6%）1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 38 万円（18%）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 60 万円（28%）のコストが削減できることがわかった。

また、苗木購入費のコスト削減効果が大きく、3,000 本/ha と比較すると、2,500 本/ha では約 8 万円、1,600 本/ha では約 23 万円、1,100 本/ha では約 31 万円の削減となった。

表 3-129 初期保育コスト（茨城県日立市（スギ））

茨城県日立市（スギ）	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		350,000円	350,000円	350,000円	350,000円
苗木購入費	165円/本	495,000円	412,500円	264,000円	181,500円
植栽労務費	※	228,000円	190,000円	140,000円	129,998円
シカ柵設置費		なし	なし	なし	なし
諸経費など		260,030円	260,030円	260,030円	260,030円
下刈り1年目		256,973円	251,934円	235,455円	196,199円
下刈り2年目		285,372円	279,776円	261,476円	217,881円
下刈り3年目		285,372円	279,776円	261,476円	217,881円
合計		2,160,746円	2,024,017円	1,772,437円	1,553,490円
コスト削減		—	6%	18%	28%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」は実際に掛かったコストである

※「植栽労務費」は、3,000 本/ha および 2,500 本/ha は 118.2 円/本、1,600 本/ha は 87.5 円/本、1,100 本/ha は 76 円/本でそれぞれ算出

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
(平成 27 (2015) 年 12 月)	植栽後 (平成 28 (2016) 年 7 月)
	
平成 29 (2017) 年 8 月	平成 29 (2017) 年 11 月
	
平成 30 (2018) 年 7 月	平成 30 (2018) 年 10 月
	
令和元 (2019) 年 7 月	令和元 (2019) 年 10 月

写真 3-54 実証試験地の様子（遠景、茨城県日立市（スギ））

⑦ 現地写真（近景）

	
植栽後（平成 28（2016）年 11 月）	平成 29（2017）年 10 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 12 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 11 月

写真 3-55 実証試験地の様子（近景、茨城県日立市（スギ））

3-3-2. 中部地方

(1) 岐阜県 高山市 (カラマツ) (No.13)

① 実証試験地の概要

平成 28 (2016) 年 10 月に、岐阜県高山市の実証試験地 (0.90ha) に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、カラマツ 150cc コンテナ苗 (実生苗) を計 1,560 本植栽した。実証試験地の概要 (表 3-130) と位置図 (図 3-91) は以下のとおりである。

表 3-130 実証試験地の概要 (岐阜県高山市)

実証試験地	岐阜県高山市荘川寺河戸カヤノ			
苗木種	カラマツ 150cc コンテナ苗 (実生苗)			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.30ha	0.30ha	0.30ha	0.90ha
植栽本数	330 本	480 本	750 本	1,560 本
気温/ 降水量 最深積雪	11.4℃ (年平均気温) / 3,003.5mm (年降水量) (平年値、長滝) 97cm (平年値、長滝)			
標高/ 傾斜/ 方位	1,020~1,040m / 0~10° / S			
土壌	褐色森林土壌			
土地所有者	個人所有者			
植栽実施者	特定非営利活動法人農林業経営支援センター			
植栽日	平成 28 (2016) 年 10 月 14・15 日 (前生林分の伐採は平成 28 (2016) 年 1 月~9 月)			



図 3-91 実証試験地の位置 (左) と様子 (右) (岐阜県高山市)

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区に、それぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計215本（1,100本/ha：72本、1,600本/ha：71本、2,500本/ha：72本）を調査対象木とした（図3-92、表3-131）。

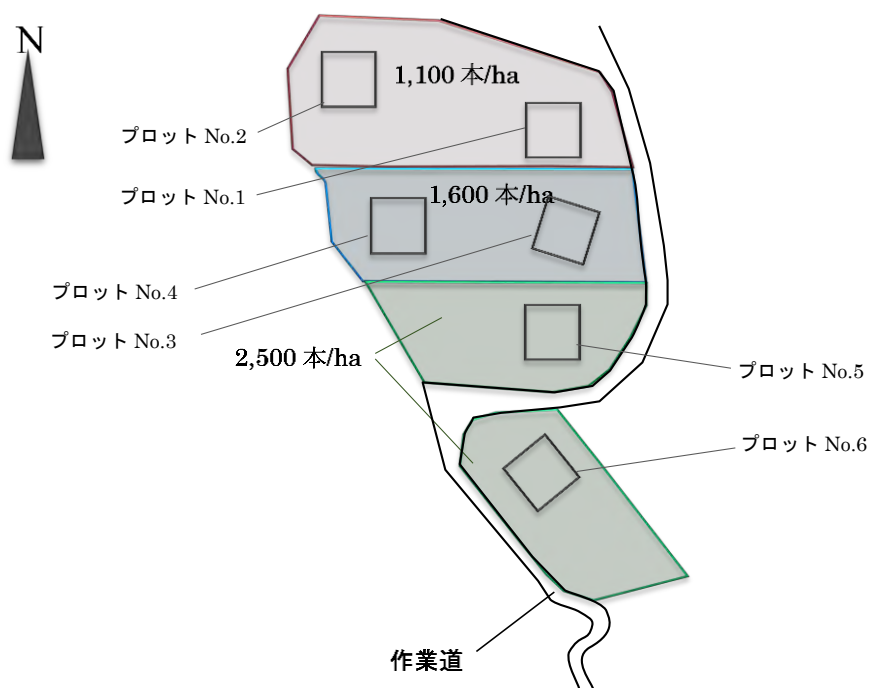


図 3-92 調査プロットの位置図（岐阜県高山市）

表 3-131 調査プロットの概要（岐阜県高山市）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 1	295.7	36 本	試験地の東部に設置
	No. 2	265.8	36 本	試験地の西部に設置
1,600 本/ha	No. 3	196.0	35 本	試験地の東部に設置
	No. 4	190.7	36 本	試験地の西部に設置
2,500 本/ha	No. 5	146.6	36 本	試験地の北部に設置
	No. 6	108.9	36 本	試験地の南部に設置
合計			215 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-132、表 3-133 のとおりである。本実証試験地では全ての調査プロットで下刈りを実施している。

表 3-132 下刈りの実施日（岐阜県高山市）

年度	下刈り実施日
平成 28（2016）	—（植栽年）
平成 29（2017）	10 月 5 ～10 日
平成 30（2018）	8 月 11～17 日
令和 元（2019）	8 月 8 ～12 日
下刈り実施者	株式会社 北栄工事

表 3-133 下刈り実施の有無（岐阜県高山市）

植栽密度	プロット No.	H29（2017）～ R 元（2019） 下刈り
1,100 本/ha	No. 1	有
	No. 2	有
1,600 本/ha	No. 3	有
	No. 4	有
2,500 本/ha	No. 5	有
	No. 6	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-134 のとおりである。

表 3-134 調査実施日（岐阜県高山市）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 11 月 14 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 7 月 27 日	平成 29 (2017) 年 12 月 20 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 8 月 9 日	平成 30 (2018) 年 11 月 8 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 8 月 7 日	令和 元 (2019) 年 10 月 3 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-135 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、どの調査プロットも約 80～100%と高い数値を示し、植栽密度間でほとんど差は見られなかった。

一方、令和元（2019）年時点の生存率は、調査プロット間でばらつきが生じており、1,100 本/ha 区のプロット 1、1,600 本/ha 区のプロット 3、2,500 本/ha 区のプロット 5 で 30～40%と低くなった。

枯死原因について、原因の特定は難しかった。ただし平成 30（2018）年度には、シカの侵入により隣接していたヒノキ実証試験地が甚大な被害を受けており、本実証試験地もシカの食害による影響を受けた可能性が考えられる。

表 3-135 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（岐阜県高山市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)				活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,100	36	4 (枯れ3・消失1)	17 (枯れ13 ・獣虫害2・消失2)	3 (消失3)	24	88.9	33.3	66.7
2	1,100	36	0	14 (枯れ11・消失3)	1 (枯れ)	15	100.0	58.3	41.7
3	1,600	35	4 (枯れ2・食害1 ・先端切れ1)	7 (消失5・枯れ2)	11 (消失10 ・枯れ1)	22	88.6	37.1	62.9
4	1,600	36	データ無	10 (枯れ4・獣虫害3 ・消失3)	0	10	100.0	72.2	27.8
5	2,500	36	0	15 (枯れ15)	6 (消失6)	21	100.0	41.7	58.3
6	2,500	36	データ無	5 (枯れ3・消失2)	0	5	100.0	86.1	13.9

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-136、図 3-93、図 3-94 および写真 3-56 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高や平均地際直径は植栽密度間で差が見られ、令和元（2019）年の平均樹高は 2,500 本/ha で約 194cm、1,600 本/ha で約 171cm、1,100 本/ha で約 149cm と、植栽密度が低くなるほど成長量が小さくなった。

本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため、植栽密度が植栽木の成長に影響したとは考えにくく、立地環境などその他の要因による影響が可能性として挙げられる。

表 3-136 植栽木の成長状況（岐阜県高山市）

1,100本/ha					
岐阜県高山市		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	32.6±3.1	53±12.2	98.1±24.2	149.1±47.6
	最小値	26.0	31.4	47.0	63.0
	最大値	41.0	79.5	136.9	240.0
地際直径(cm)	平均値	0.5±0.1	1±0.2	1.8±0.4	2.6±0.9
	最小値	0.3	0.6	1.0	0.8
	最大値	0.8	1.4	2.8	4.5
形状比	平均値	70.7±11.2	51.7±12.7	54.2±11.5	59.2±14.1
	最小値	41.2	24.5	29.7	35.8
	最大値	94.7	90.3	74.4	101.0
1,600本/ha					
岐阜県高山市		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	33.5±2.9	51.3±12.5	103.6±31.9	171.8±47.8
	最小値	27.2	35.0	60.8	71.7
	最大値	39.6	87.5	203.3	288.0
地際直径(cm)	平均値	0.4±0.1	1.2±0.2	1.8±0.5	2.9±0.8
	最小値	0.3	0.9	1.1	1.7
	最大値	0.6	1.7	3.3	5.0
形状比	平均値	77.1±11.6	44.1±9.7	57.3±11.9	60.1±11.7
	最小値	59.6	26.1	38.2	33.5
	最大値	105.4	71.8	91.1	84.5
2,500本/ha					
岐阜県高山市		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	32.3±3.1	51.3±12.2	125.7±27.1	194.9±55.9
	最小値	25.8	35.2	53.0	34.4
	最大値	41.0	81.5	182.2	280.0
地際直径(cm)	平均値	0.4±0.1	1.3±0.3	1.9±0.5	3.1±0.9
	最小値	0.3	0.7	0.8	0.7
	最大値	0.6	1.9	3.1	4.9
形状比	平均値	75.3±13.5	41±8.6	66.2±11.3	63.3±10.8
	最小値	54.0	25.2	37.6	36.8
	最大値	118.2	58.2	88.5	80.5

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

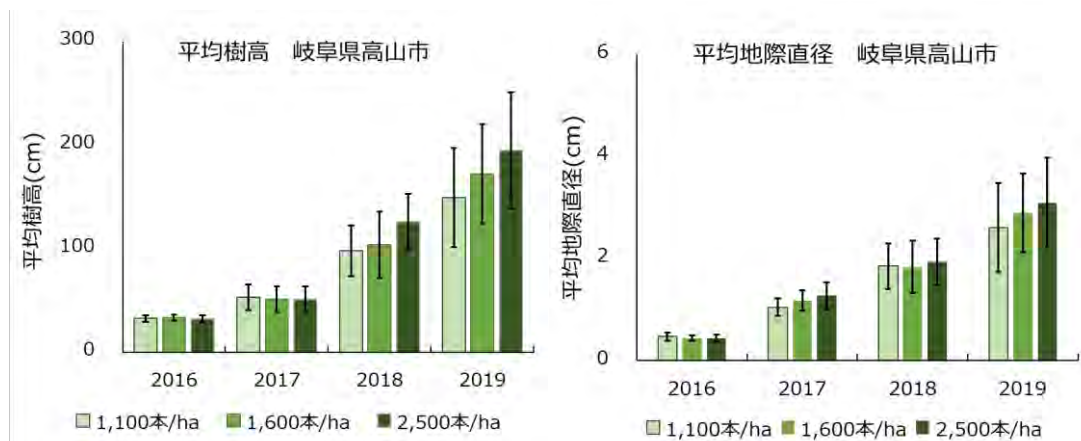


図 3-93 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（岐阜県高山市）



図 3-94 植栽木の形状比の推移（岐阜県高山市）



写真 3-56 1,100 本/ha 区の状態（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-95 に、競合状態の調査結果を図 3-96 に示す。また、令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-137、写真 3-57 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、どの植栽密度も植栽木の樹高成長が良好であり、植栽後 3 年経過した令和元（2019）年には、雑草木との樹高差が開いている。ただし、下刈りを終了するのに十分な樹高差が開いているとまでは言えない。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、植栽密度間で多少のばらつきが見られるものの、どの植栽密度区も令和元（2019）年の時点で競合状態 C 1 + C 2 が 7 割を超えていた。

雑草木の種組成については、スゲ類やタニウツギなどの落葉広葉樹類など、樹高 1 m 未満の草本層の植被率が 9 割であり、植栽密度間で大きな差は見られなかった。

以上より、どの植栽密度も競合状態 C 1 + C 2 が 7 割を超えてはいるものの、植栽木と雑草木の平均樹高の差が十分に開ききっておらず、植栽後 3 年が経過した現時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。

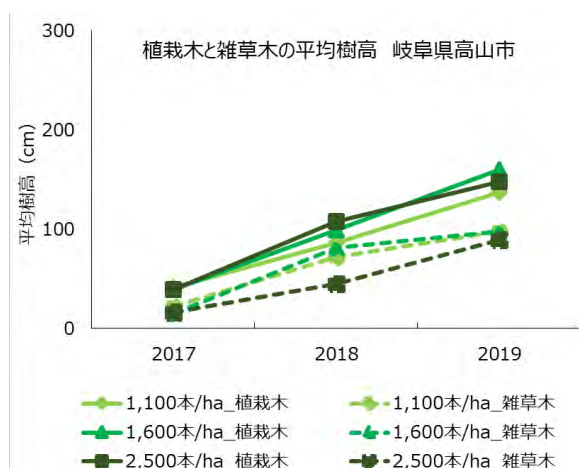


図 3-95 植栽木と雑草木の平均樹高
(岐阜県高山市)

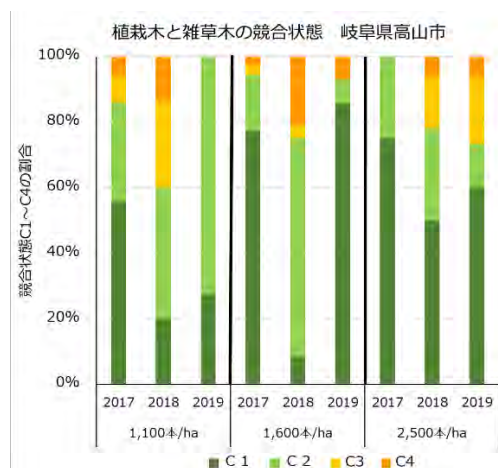


図 3-96 植栽木と雑草木の競合状態
(岐阜県高山市)

表 3-137 植生調査の結果（岐阜県高山市）

プロット	密度	区分	2019		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
1	1,100	低木層 (高さ1.0m以上)	タニウツギ ススキ	5%	—
		草本層 (高さ1.0m未満)	スゲSp. タニウツギ ワラビ	90%	・タラノキ・エビガライチゴ ・エゴノキ・タンナサワフタギ ・アザミSp・ヒヨドリバナ・イタドリ ・イボタノキ
3	1,600	低木層 (高さ1.1m以上)	ススキ	5%	・ヒヨドリバナ
		草本層 (高さ1.1m未満)	スゲSp. ヒヨドリバナ タニウツギ	90%	・タンナサワフタギ・オカトラノオ ・バライチゴ・クマイチゴ・タラノキ ・アザミSp・オトコエシ・オニグルミ ・ワラビ
5	2,500	低木層 (高さ1.0m以上)	ススキ	5%	・ヒヨドリバナ
		草本層 (高さ1.0m未満)	スゲSp. タニウツギ バライチゴ	90%	・ヒヨドリバナ・ワラビ・エゴノキ ・タラノキ・クリ・オカトラノオ



プロット 1



プロット 3



プロット 5

写真 3-57 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年 7 月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-138 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-97 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 29.2 時間、1,600 本/ha 区で 20.5 時間、1,100 本/ha 区で 18.2 時間となり、低密度植栽区の 1,600 本/ha 区および 1,100 本/ha 区で下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた。

表 3-138 各プロットの下刈り作業時間（岐阜県高山市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,100	0	295.7	計測未実施		36.23	20.4
2	1,100	5	265.8			24.95	15.6
3	1,600	0	196.0			30.93	26.3
4	1,600	5	190.7			16.63	14.5
5	2,500	0	146.6			21.08	24.0
6	2,500	5	108.9			23.65	36.2

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

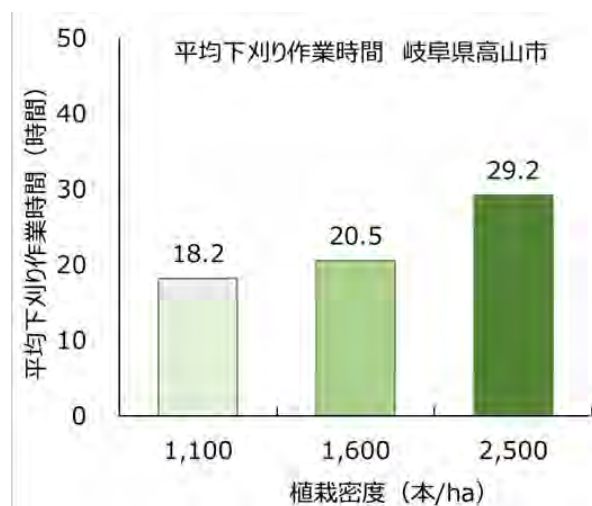


図 3-97 植栽密度別の平均下刈り作業時間（岐阜県高山市、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～令和元（2019）年度～

- ・ 植栽間隔が広いと刈り払い機を振れる幅が広く、楽に感じた。
- ・ 地形にもよるが、下刈り作業の際に 1,100 本/ha 区と 1,600 本/ha 区の差は少なく感じた（特に、現在のように植栽木が成長して雑草木から突出している場合）。それらの植栽密度と 2,500 本/ha との差は感じた。
- ・ 下刈り作業時間に差が生じた理由として、雑草木の多さや地形の影響が大きい。地形について、水平な場所の方が斜面よりも作業しやすい。
- ・ この辺りはシカやカモシカの害が多い。雪が積もるので、柵があっても雪が積もった部分から柵を越えて中に入ってしまう。そのため、場所によっては植栽木一本一本にツリーシェルターをかぶせている。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（3回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-139 のとおりである。

2,500 本/ha の 2,975,525 円と比較すると、1,600 本/ha では 2,408,823 円、1,100 本/ha では 2,163,130 円となり、2,500 本/ha と比較して 1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 57 万円（19%）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 81 万円（27%）のコストが削減できることがわかった。

また、苗木購入費のコスト削減効果が大きく、2,500 本/ha と比較すると、1,600 本/ha では約 21 万円、1,100 本/ha では約 32 万円の削減となった。また下刈りコストの削減効果も大きかった。

表 3-139 初期保育コスト（岐阜県高山市）

岐阜県高山市	単価	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		328,666円	328,666円	328,666円
苗木購入費	230円/本	575,000円	368,000円	253,000円
植栽労務費	131円/本	327,500円	209,600円	144,100円
シカ柵設置費(400m)	1,731円/m	692,400円	692,400円	692,400円
諸経費など		238,667円	238,667円	238,667円
下刈り1年目		421,531円	296,204円	262,415円
下刈り2年目		202,072円	141,993円	125,796円
下刈り3年目		189,689円	133,292円	118,087円
合計		2,975,525円	2,408,823円	2,163,130円
コスト削減		—	19%	27%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
植栽後（平成 28（2016）年 10 月）	平成 29（2017）年 7 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 12 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 11 月

写真 3-58 実証試験地の様子（遠景、岐阜県高山市）

⑦ 現地写真（近景）

	
植栽後（平成 28（2016）年 11 月）	平成 29（2017）年 8 月
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-59 実証試験地の様子（近景、岐阜県高山市）

3-3-3. 近畿・中国地方

(1) 岡山県 吉備中央町（ヒノキ）(No.14)

① 実証試験地の概要

平成 28（2016）年 12 月 14 日に、岡山県加賀郡吉備中央町の実証試験地（0.86ha）に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、ヒノキ 150cc コンテナ苗を計 1,491 本植栽した。

実証試験地の概要（表 3-140）と位置図（図 3-98）は以下のとおりである。

表 3-140 実証試験地の概要（岡山県吉備中央町）

実証試験地	岡山県加賀郡吉備中央町加茂山国有林			
苗木種	ヒノキ 150cc コンテナ苗（実生苗）			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.29ha	0.39ha	0.37ha	0.86ha
植栽本数	323 本	468 本	700 本	1,491 本
気温/ 降水量	12.1℃（年平均気温） / 1,354.3mm（年降水量）（平年値、新見）			
標高/ 傾斜/ 方位	350～370m / 10～20° / SE～SW			
土壌	褐色森林土壌			
土地所有者	国有林			
植栽実施者	岡山森林組合			
植栽日	平成 28（2016）年 12 月 14 日（前生林分の伐採は平成 27（2015）年）			

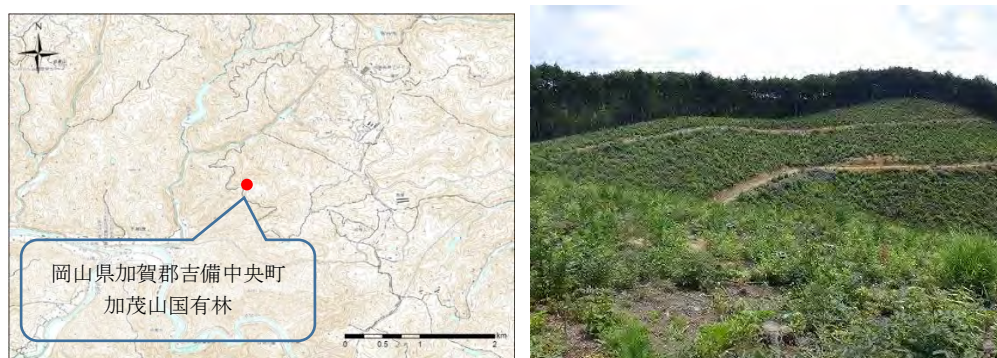


図 3-98 実証試験地の位置（左）と様子（右）（岡山県吉備中央町）

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区に、それぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、216本（1,100本/ha：72本、1,600本/ha：72本、2,500本/ha：72本）を調査対象木とした（図3-99、表3-141）。

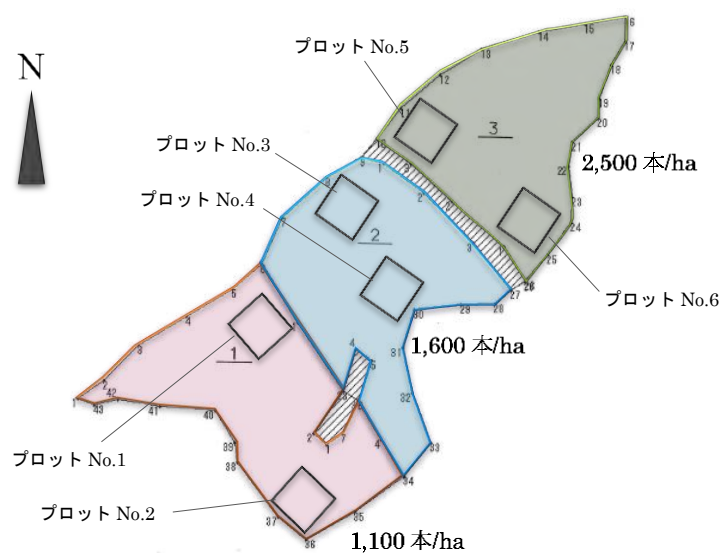


図 3-99 調査プロットの位置図（岡山県吉備中央町）

表 3-141 調査プロットの概要（岡山県吉備中央町）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m^2)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 1	351.3	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	393.6	36 本	斜面下部に設置
1,600 本/ha	No. 3	248.4	36 本	斜面上部に設置
	No. 4	269.7	36 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 5	154.7	36 本	斜面上部に設置
	No. 6	154.7	36 本	斜面下部に設置
合計			216 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-142、表 3-143 のとおりである。本実証試験地では全ての調査プロットで下刈りを実施している。

表 3-142 下刈りの実施日（岡山県吉備中央町）

年度	下刈り実施日
平成 28 (2016)	— (植栽年)
平成 29 (2017)	8 月 17～25 日
平成 30 (2018)	8 月 21 日
令和 元 (2019)	7 月 9～10 日
下刈り実施者	岡山森林組合

表 3-143 下刈り実施の有無（岡山県吉備中央町）

植栽密度	プロット No.	H29 (2017) ～ R 元 (2019) 下刈り
1,100 本/ha	No. 1	有
	No. 2	有
1,600 本/ha	No. 3	有
	No. 4	有
2,500 本/ha	No. 5	有
	No. 6	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-144 のとおりである。

表 3-144 調査実施日（岡山県吉備中央町）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 28 (2016)	—	平成 28 (2016) 年 12 月 16 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 7 月 24 日	平成 29 (2017) 年 12 月 5 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 8 月 21 日	平成 30 (2018) 年 10 月 30 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 3 日	令和 元 (2019) 年 11 月 1 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-145 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、どの調査プロットも約 95～100%と高い数値を示し、植栽密度間でほとんど変わらなかった。

令和元（2019）年時点での生存率は、2,500 本/ha 区のプロット 5 を除き、80～100%となっており、植栽密度間では大きな差は見られなかった。プロット 5 で枯死が多かったことについて、局所的な雑草木の繁茂による影響などが考えられるが、原因の特定は難しい。

表 3-145 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（岡山県吉備中央町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)				活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,100	36	0	0	0	0	100.0	100.0	0.0
2	1,100	36	0	3 (枯れ)	0	3	100.0	91.7	8.3
3	1,600	36	1 (誤伐1)	2 (枯れ)	3 (枯れ2・獣虫害1)	6	97.2	83.3	16.7
4	1,600	36	0	0	0	0	100.0	100.0	0.0
5	2,500	36	2 (枯れ2)	10 (枯れ)	0	12	94.4	66.7	33.3
6	2,500	36	1(枯れ1)	1 (枯れ)	2 (枯れ2)	4	97.2	88.9	11.1

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-146、図 3-100、図 3-101 および写真 3-60 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに植栽密度間で差が見られ、令和元（2019）年の平均樹高は 2,500 本/ha で約 128cm、1,600 本/ha で約 143cm、1,100 本/ha で約 164cm と、植栽密度が低くなるほど成長量が大きくなった。一方、平均形状比は植栽密度間でほぼ同じ傾向を示し、植栽直後 120 程度だった形状比は急激に減少し、令和元（2019）年度は 50 程度となった。

本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っておらず、植栽密度が植栽木の成長に影響したとは考えにくい。そのため立地環境など植栽密度以外の要因が影響した可能性がある。

表 3-146 植栽木の成長状況（岡山県吉備中央町）

1,100本/ha					
岡山県吉備中央町		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	45.7±5.8	60.1±15.9	117.1±22.3	164.7±30.2
	最小値	33.5	36.5	68.5	89.5
	最大値	60.5	95.5	163.8	226.5
地際直径(cm)	平均値	0.4±0.1	0.7±0.3	2.1±0.5	3.5±0.9
	最小値	0.3	0.3	1.3	2.0
	最大値	0.8	1.3	4.3	6.0
形状比	平均値	119.3±20.3	92.3±20.4	58.3±10.3	47.9±7.7
	最小値	70.0	57.8	33.3	33.2
	最大値	181.7	145.7	83.1	67.1
1,600本/ha					
岡山県吉備中央町		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	44±6.3	66.3±16.1	102.9±27.6	143.2±46.1
	最小値	30.0	20.4	51.5	57.7
	最大値	57.0	105.0	162.5	233.8
地際直径(cm)	平均値	0.4±0.1	0.9±0.2	1.8±0.5	2.8±0.9
	最小値	0.3	0.5	0.9	1.0
	最大値	0.5	1.4	3.3	5.2
形状比	平均値	119.7±20.1	77.5±11.7	57.4±8.5	51.3±8
	最小値	81.1	35.2	37.2	36.3
	最大値	178.1	101.4	79.3	70.1
2,500本/ha					
岡山県吉備中央町		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	42±5.8	64.1±11.8	93.3±23.9	128.4±42.2
	最小値	29.0	37.5	54.1	57.2
	最大値	56.7	88.0	138.5	198.3
地際直径(cm)	平均値	0.3±0.1	0.8±0.2	1.6±0.5	2.6±0.9
	最小値	0.2	0.5	0.8	1.0
	最大値	0.5	1.4	2.5	4.5
形状比	平均値	121.4±13.5	77.5±11.3	60±8.6	50.1±6.8
	最小値	93.8	50.5	42.4	35.7
	最大値	151.7	98.3	86.9	63.0

※平均値の項目において、土の後の数値は標準偏差を示す

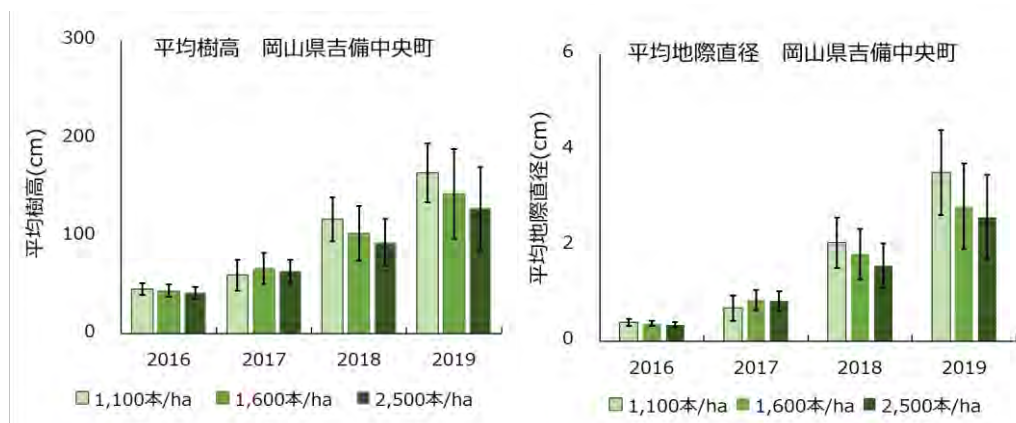


図 3-100 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（岡山県吉備中央町）

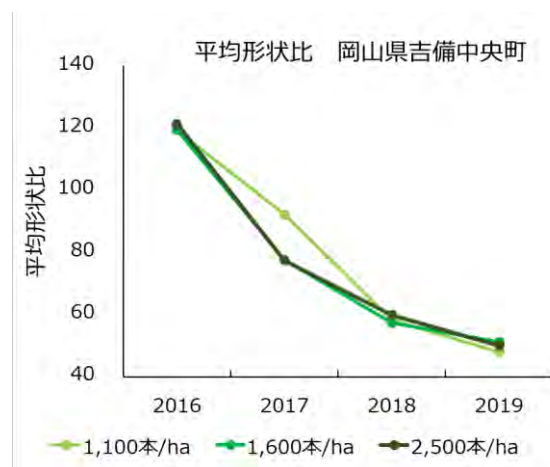


図 3-101 植栽木の形状比の推移（岡山県吉備中央町）



写真 3-60 1,100 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-102 に、競合状態の調査結果を図 3-103 に示す。また令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-147、写真 3-61 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、植栽木の成長が良好だった 1,100 本/ha 区で、雑草木との樹高差が大きかった。一方で、植栽木の成長があまり良くなかった 2,500 本/ha 区では、雑草木との樹高差はほとんど開いていない。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、どの植栽密度区も植栽後 3 年が経過した令和元（2019）年の時点で競合状態 C 1 + C 2 の割合が 7 割以上となった。特に、1,100 本/ha 区では競合状態 C 1 + C 2 の割合が 10 割となっていた。

雑草木の種組成については、アカメガシワなどの落葉広葉樹類が見られ、植栽密度間で大きな差は見られなかった。

以上より、植栽木と雑草木の平均樹高に植栽密度間で違いが見られたが、本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため、植栽密度の違いがこれらに影響したとは考えにくく、立地環境などその他の要因による影響が可能性として挙げられる。また、どの植栽密度区も競合状態 C 1 + C 2 が 7 割を超えているものの、植栽木と雑草木の平均樹高の差が下刈り終了に十分なほど開ききっているとは言えず、植栽後 3 年が経過した現時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。



図 3-102 植栽木と雑草木の平均樹高
(岡山県吉備中央町)

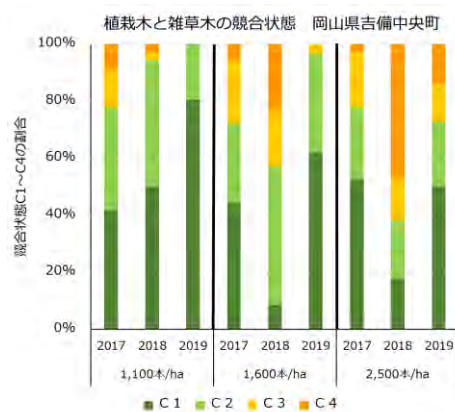


図 3-103 植栽木と雑草木の競合状態
(岡山県吉備中央町)

表 3-147 植生調査の結果（岡山県吉備中央町）

プロット	密度	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
1	1,100	低木層 （高さ0.6m以上）	アカメガシワ アラカシ サルトリイバラ	60%	・クマイチゴ・ヌルデ・モチツツジ
		草本層 （高さ0.6m未満）	－	－	－
3	1,600	低木層 （高さ0.6m以上）	アカメガシワ クマイチゴ ヌルデ	60%	・ヤブムラサキ・サルトリイバラ ・ネズミモチ・サカキ・ツゲ ・ススキ・ノダフジ・カラスザンショウ
		草本層 （高さ0.6m未満）	タケニグサ	－	－
5	2,500	低木層 （高さ0.6m以上）	ヌルデ ヤブムラサキ アカメガシワ	60%	・クマイチゴ・サルトリイバラ・モチツツジ
		草本層 （高さ0.6m未満）	ススキ オカトラノオ	5%	－



プロット 1



プロット 3



プロット 5

写真 3-61 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年 7 月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-148 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-104 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 19.2 時間、1,600 本/ha 区で 14.1 時間、1,100 本/ha 区で 15.9 時間となり、低密度植栽区の 1,600 本/ha 区および 1,100 本/ha 区で下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた。

表 3-148 各プロットの下刈り作業時間（岡山県吉備中央町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,100	10	351.3	21.7	10.3	22.50	10.7
2	1,100	20	393.6	62.2	26.3	35.33	15.0
3	1,600	10	248.4	19.4	13.0	20.17	13.5
4	1,600	20	269.7	29.8	18.4	18.03	11.1
5	2,500	10	154.7	29.1	31.4	8.50	9.2
6	2,500	10	154.7	19.3	20.8	14.50	15.6

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

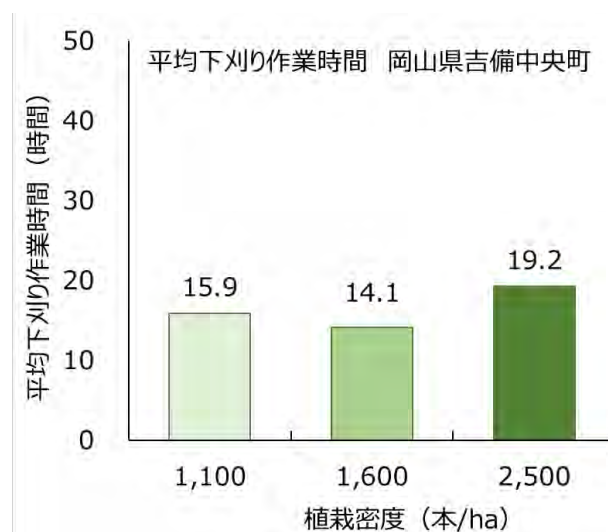


図 3-104 植栽密度別の平均下刈り作業時間（岡山県吉備中央町,ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・多くは無いが、ツル巻きがあったため、手作業で取り除いた。
- ・本実証試験地は、雑草木は生育しているが、植栽木の成長が良好なため、植栽木を見つけやすかった。
- ・下刈り作業の難易は、植栽密度よりも地形要因のほうが大きい。

～令和元（2019）年度～

- ・下刈り作業時間に差が生じた理由として、雑草木の繁茂状況が異なることが考えられる。
- ・雑草木による植栽木への被圧が著しかったり、植栽木にツルが絡んでいたたりする場合は、折損の可能性があるため慎重な作業が求められる。
- ・植栽木が視認しやすく、植栽間隔よりも地形の方が作業時間への影響が大きい

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（3回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-149 のとおりである。

3,000 本/ha の 2,635,442 円と比較すると、2,500 本/ha は 2,412,722 円、1,600 本/ha は 1,846,397 円、1,100 本/ha は 1,704,078 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 22 万円（8%）、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 78 万円（30%）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 93 万円（35%）のコストが削減できることがわかった。

特に苗木購入費と植栽労務費の削減効果が大きく、それら二つを合わせた削減効果を 3,000 本/ha と比較すると、2,500 本/ha は 20 万円、1,600 本/ha は 58 万円、1,100 本/ha は 79 万円の削減となった。

表 3-149 初期保育コスト（岡山県吉備中央町）

岡山県吉備中央町	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		432,800円	432,800円	432,800円	432,800円
苗木購入費	200円/本	600,000円	500,000円	320,000円	220,000円
植栽労務費	217円/本	651,000円	542,500円	347,200円	238,700円
シカ柵設置費		なし	なし	なし	なし
諸経費など		226,440円	226,440円	226,440円	226,440円
下刈り1年目		234,837円	230,232円	168,374円	189,805円
下刈り2年目		245,182円	240,375円	175,792円	198,167円
下刈り3年目		245,182円	240,375円	175,792円	198,167円
合計		2,635,442円	2,412,722円	1,846,397円	1,704,078円
コスト削減		—	8%	30%	35%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
平成 29（2017）年 7 月	平成 29（2017）年 12 月
	
平成 30（2018）年 8 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 8 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-62 実証試験地の様子（遠景、岡山県吉備中央町）

⑦ 現地写真（近景）

	
平成 29（2017）年 7 月	平成 29（2017）年 12 月
	
平成 30（2018）年 8 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 8 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-63 実証試験地の様子（近景、岡山県吉備中央町）

3-3-4. 四国地方

(1) 高知県 四万十町（ヒノキ）(No.15)

① 実証試験地の概要

平成 29（2017）年 2～3 月に、高知県四万十町の実証試験地（0.98ha）に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、ヒノキ 150cc コンテナ苗を計 1,719 本植栽した。

実証試験地の概要（表 3-150）と位置図（図 3-105）は以下のとおりである。

表 3-150 実証試験地の概要（高知県四万十町）

実証試験地	高知県高岡郡四万十町金上野大谷山国有林			
苗木種	ヒノキ 150cc コンテナ苗（実生苗）			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.31ha	0.33ha	0.34ha	0.98ha
植栽本数	341 本	528 本	850 本	1,719 本
気温/ 降水量	14.8℃（年平均気温） / 3089.2mm（年降水量）（平年値、窪川）			
標高/ 傾斜/ 方位	410～480m / 35～40° / S			
土壌	乾性褐色森林土壌			
土地所有者	国有林			
植栽実施者	四万十町森林組合窪川支所			
植栽日	平成 29（2017）年 2 月 28 日～3 月 2 日（前生林分の伐採は平成 26 年）			



図 3-105 実証試験地の位置（左）と様子（右）（高知県四万十町）

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区に、それぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計219本（1,100本/ha：72本、1,600本/ha：75本、2,500本/ha：72本）を調査対象木とした（図3-106、表3-151）。

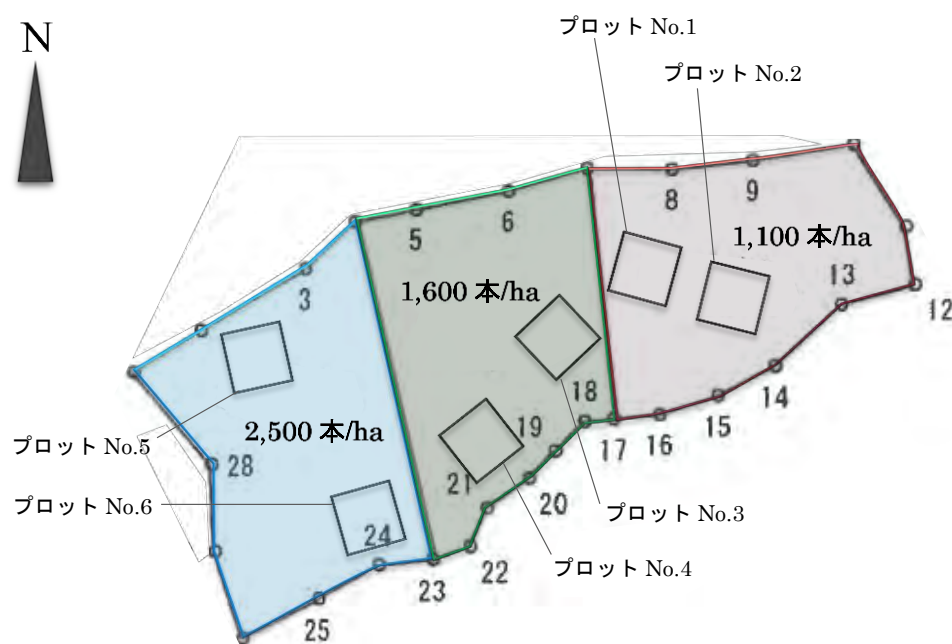


図 3-106 調査プロットの位置図（高知県四万十町）

表 3-151 調査プロットの概要（高知県四万十町）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 1	314.6	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	336.7	36 本	斜面下部に設置
1,600 本/ha	No. 3	249.9	39 本	斜面上部に設置
	No. 4	215.7	36 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 5	172.4	36 本	斜面上部に設置
	No. 6	199.1	36 本	斜面下部に設置
合計			219 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-152、表 3-153 のとおりである。本実証試験地では全ての調査プロットで下刈りを実施している。

表 3-152 下刈りの実施日（高知県四万十町）

年度	下刈り実施日
平成 28（2016）	—（植栽年）
平成 29（2017）	9 月 23～26 日
平成 30（2018）	7 月 15 日
令和 元（2019）	8 月 24～27 日
下刈り実施者	四万十町森林組合窪川支所

表 3-153 下刈り実施の有無（高知県四万十町）

植栽密度	プロット No.	H29（2017）～ R 元（2019） 下刈り
1,100 本/ha	No. 1	有
	No. 2	有
1,600 本/ha	No. 3	有
	No. 4	有
2,500 本/ha	No. 5	有
	No. 6	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-154 のとおりである。

表 3-154 調査実施日（高知県四万十町）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 28 (2016)	—	平成 29 (2017) 年 3 月 1 日
平成 29 (2017)	平成 29 (2017) 年 7 月 20 日	平成 29 (2017) 年 12 月 26 日
平成 30 (2018)	平成 30 (2018) 年 7 月 16 日	平成 30 (2018) 年 10 月 26 日
令和 元 (2019)	令和 元 (2019) 年 7 月 30 日	令和 元 (2019) 年 10 月 29 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-155 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、どの調査プロットも約 70～90%と高い数値を示した。また、調査プロット間でばらつきが見られた。

令和元（2019）年時点での生存率は、調査プロット間で多少のばらつきが生じており、2,500 本/ha 区のプロット 5 の令和元（2019）年度時点の生存率は約 60%だった。

枯死原因について、ウサギによると思われる食害（写真 3-64）による枯死が多く見られ、特に 2,500 本/ha 区のプロット 5 では 6 本と多かった。同じ植栽密度間でも斜面の上方に位置する調査プロット（1，3，5）でウサギによる食害が多く発生した。このことが、活着率や生存率に調査プロット間で差が生じた一因と考えられる。

表 3-155 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（高知県四万十町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)				活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,100	36	9 (枯れ9)	1 (枯れ)	2 (獣虫害1・消失1)	12	75.0	66.7	33.3
2	1,100	36	5 (枯れ4・消失1)	4 (枯れ3・獣虫害1)	1 (枯れ)	10	86.1	72.2	27.8
3	1,600	39	4 (枯れ3・食害1)	1 (ウサギ食害)	0	5	89.7	87.2	12.8
4	1,600	36	1 (食害)	1 (消失1)	0	2	97.2	94.4	5.6
5	2,500	36	6 (枯れ5・ウサギ食害1)	4 (誤伐1・ウサギ食害1・枯れ1・消失1)	5 (ウサギ食害4・枯れ1)	15	83.3	58.3	41.7
6	2,500	36	4 (枯れ4)	0	0	4	88.9	88.9	11.1

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である



写真 3-64 食害の状況

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-156、図 3-107、図 3-108 および写真 3-65 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに植栽密度間で差が見られ、どちらも 1,100 本/ha 区で成長量が小さかった。一方で平均形状比は植栽密度間でほぼ同じ傾向を示し、植栽直後 120 程度だった形状比は急激に減少し、令和元（2019）年度は 50 程度となった。

本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため、植栽密度が植栽木の成長に影響したとは考えにくく、立地環境などその他の要因による影響が可能性として挙げられる。

表 3-156 植栽木の成長状況（高知県四万十町）

1,100本/ha					
高知県四万十町		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	36.4±4.2	48.8±6.7	67.2±11.4	86.3±15.3
	最小値	27.4	36.2	52.3	66.0
	最大値	46.5	66.5	94.3	123.5
地際直径(cm)	平均値	0.3±0	0.5±0.1	1±0.3	1.8±0.6
	最小値	0.2	0.4	0.6	0.9
	最大値	0.8	0.7	1.5	3.4
形状比	平均値	119.1±17	90.9±13	73.9±18.3	52.3±20.7
	最小値	85.6	64.1	46.1	29.6
	最大値	177.8	122.0	113.7	112.9
1,600本/ha					
		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	33.6±4.1	51.8±5.9	77.4±10.3	113.3±23.1
	最小値	24.5	41.5	61.3	72.1
	最大値	46.5	71.6	107.5	173.5
地際直径(cm)	平均値	0.3±0	0.6±0.1	1.2±0.3	2.3±0.8
	最小値	0.2	0.4	0.7	1.0
	最大値	0.4	0.9	2.0	4.8
形状比	平均値	112±16.4	89.7±16.1	67.8±17.9	52.1±13.8
	最小値	79.0	55.9	40.7	23.7
	最大値	152.1	140.9	113.6	84.6
2,500本/ha					
		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	36.8±4.4	53.8±7.5	70.2±16	102.3±24
	最小値	26.1	40.0	35.1	55.3
	最大値	49.0	71.7	92.1	138.7
地際直径(cm)	平均値	0.3±0	0.6±0.1	1.1±0.4	2.3±0.8
	最小値	0.2	0.4	0.4	0.6
	最大値	0.5	0.8	1.7	3.3
形状比	平均値	115.7±16.7	88.9±13.2	66.2±13.7	50.3±16.5
	最小値	76.7	66.5	49.2	24.3
	最大値	159.1	135.7	101.0	95.3

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

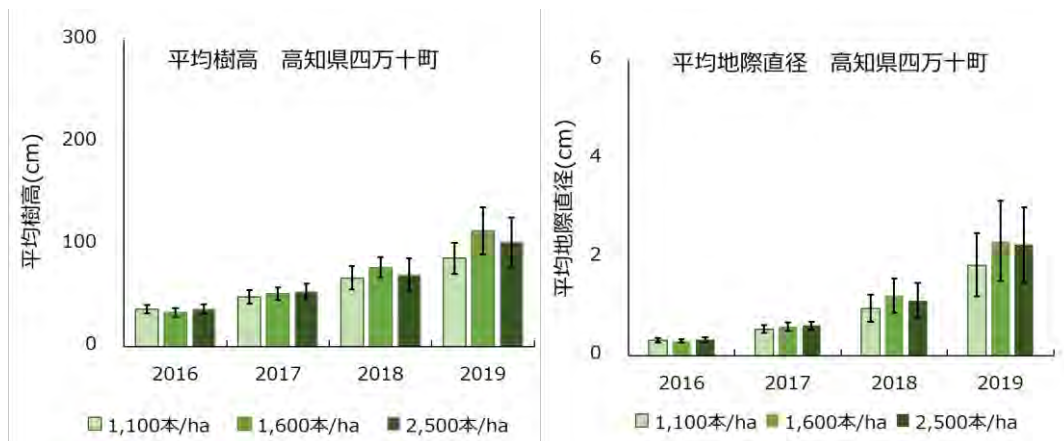


図 3-107 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（高知県四万十町）

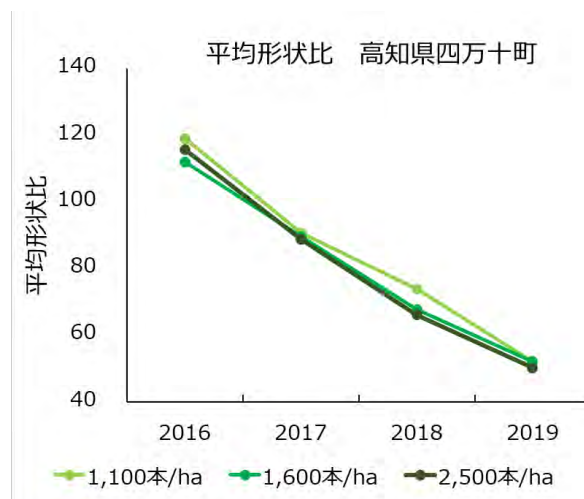


図 3-108 植栽木の形状比の推移（高知県四万十町）



写真 3-65 1,100 本/ha 区の状態（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-109 に、競合状態の調査結果を図 3-110 に示す。また令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-157、写真 3-66 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、どの植栽密度区も植栽木の樹高成長が良好とはいえず、植栽木と雑草木の樹高差はどの植栽密度区も大きくなかった。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、植栽密度間で大きな差は見られず、どの植栽密度区も令和元（2019）年の時点で競合状態競合状態 C1 + C2 が 9 割前後に達していた。

雑草木の種組成については、植栽密度間で大きな差はなく、コシダやウラジロなどのシダ植物が優占しており、雑草木の草丈や密度が比較的低かった。

以上より、どの植栽密度区も競合状態 C1 + C2 が 9 割前後に達しているものの、植栽木と雑草木の平均樹高に下刈り終了に十分な差が開いているとはいえず、植栽後 3 年が経過した現時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。



図 3-109 植栽木と雑草木の平均樹高
(高知県四万十町)

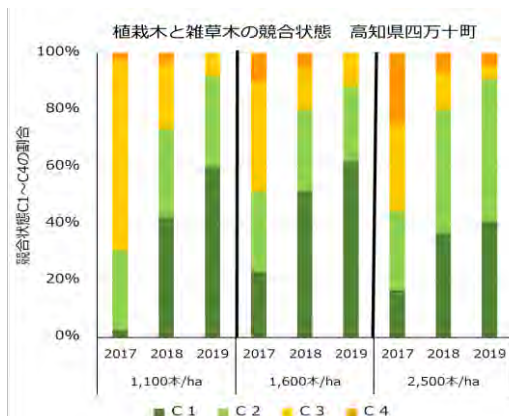


図 3-110 植栽木と雑草木の競合状態
(高知県四万十町)

表 3-157 植生調査の結果（高知県四万十町）

プロット	密度	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
1	1,100	低木層 （高さ0.7m以上）	イヌザンショウ ヒサカキ	10%	・アカメガシワ・ナンテン・ススキ ・ホオノキ
		草本層 （高さ0.7m未満）	ウラジロ コシダ	60%	・ヌルデ・サルトリイバラ・アカメガシワ ・イヌザンショウ・ヒサカキ・シキミ ・シダ s p・フユイチゴ
3	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	ヒサカキ	5%	・ヤマウルシ・アカメガシワ ・イヌザンショウ・サカキ
		草本層 （高さ1.0m未満）	ウラジロ コシダ アカメガシワ	65%	・ヌルデ・サルトリイバラ・ヒサカキ ・ナツフジ・ススキ・フユイチゴ ・ナガバモミジイチゴ・ニガイチゴ
5	2,500	低木層 （高さ0.8m以上）	ヤブムラサキ ヒサカキ ウワミズザクラ	5%	－
		草本層 （高さ0.8m未満）	ウラジロ コシダ ヌルデ	70%	・アカメガシワ・イヌザンショウ ・クサキ・ヒメコウソ・ヒサカキ ・ススキ・タケニグサ



プロット1



プロット3



プロット5

写真 3-66 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年7月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-158 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-111 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 16.1 時間、1,600 本/ha 区で 15.4 時間、1,100 本/ha 区で 16.6 時間となり、植栽密度による差はほとんど見られなかった。

表 3-158 各プロットの下刈り作業時間（高知県四万十町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	傾斜 (度)	プロット 面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間 (分)	1ha当たりの 下刈り作業時間(時間)
1	1,100	42	314.6	40.2	21.3	27.25	14.4
2	1,100	42	336.7	32.6	16.1	29.83	14.8
3	1,600	36	249.9	15.0	10.0	25.08	16.7
4	1,600	35	215.7	18.7	14.4	27.20	21.0
5	2,500	35	172.4	16.5	16.0	22.33	21.6
6	2,500	34	199.1	13.2	11.0	19.83	16.6

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

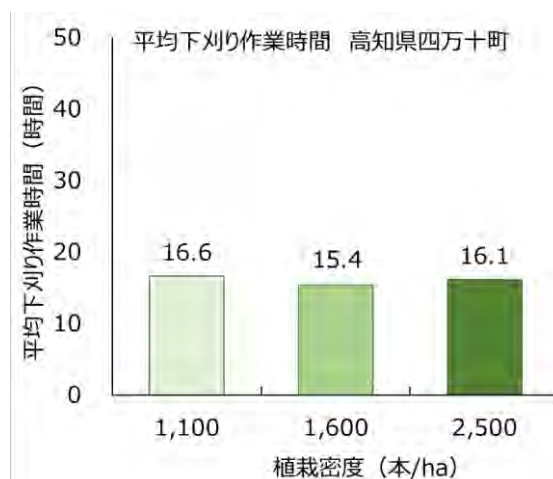


図 3-111 植栽密度別の平均下刈り作業時間（高知県四万十町,ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・基本的に普段は 2,500～3,000 本/ha くらいで植栽を実施している。
- ・植栽木が小さいうちは、植栽密度が低いと間隔があいていて植栽木の位置が分かりづらい。ただ今くらいの樹高であれば問題ない。
- ・地形が複雑である箇所は、下刈り作業をしづらい。
- ・梢端が上に出ても下刈りは必要である。細くなってしまい、良い木にならない。
- ・植栽後 3 年ほどたっており、周囲の植生はかなり減っている。また低いものが主であるため植栽木はだいたい視認できる。

～令和元（2019）年度～

- ・植栽密度が低い場所は植栽木を探すのに苦労した。
- ・誤伐をしないためには、植栽間隔を把握して作業を行うこと、刈り払い機を大振りしないことが挙げられる。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（3回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-159 のとおりである。

3,000 本/ha の 2,015,531 円と比較すると、2,500 本/ha では 1,860,170 円、1,600 本/ha では 1,575,234 円、1,100 本/ha では 1,469,807 円となり、3,000 本/ha と比較して 2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 15 万円（8%）、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 44 万円（22%）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 54 万円（27%）のコストが削減できることがわかった。

3,000 本/ha と比べると、1,100 本/ha では苗木購入費が約 32 万円、植栽労務費が約 22 万円削減でき、その 2 つの削減効果が大きいといえる。

表 3-159 初期保育コスト（高知県四万十町）

高知県四万十町	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		345,000円	345,000円	345,000円	345,000円
苗木購入費	170円/本	510,000円	425,000円	272,000円	187,000円
植栽労務費	120円/本	360,000円	300,000円	192,000円	132,000円
シカ柵設置費		なし	なし	なし	なし
諸経費など		272,130円	272,130円	272,130円	272,130円
下刈り1年目		234,837円	230,232円	219,594円	237,182円
下刈り2年目		146,782円	143,904円	137,255円	148,248円
下刈り3年目		146,782円	143,904円	137,255円	148,248円
合計		2,015,531円	1,860,170円	1,575,234円	1,469,807円
コスト削減		—	8%	22%	27%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 12 月
	
平成 30（2018）年 8 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-67 実証試験地の様子（遠景、高知県四万十町）

⑦ 現地写真（近景）

	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 12 月
	
平成 30（2018）年 8 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-68 実証試験地の様子（近景、高知県四万十町）

3-3-5. 九州地方

(1) 宮崎県 都城市（スギ大苗・スギ普通苗）(No.16)

① 実証試験地の概要

平成 29（2017）年 1 月、宮崎県都城市実証試験地（1.21ha）に、1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設定した。

宮崎県都城市の実証試験地では、下刈り回数の削減によるコスト削減とシカ食害の回避を目的として、3 つの植栽密度区（1.02ha）に 465cc のスギ大型コンテナ苗（以下、スギ大苗とする）を計 1,753 本植栽した。また対照区として、隣接する実証試験地（0.20ha）の 2,500 本/ha 植栽密度区に、300cc のスギコンテナ苗（以下、スギ普通苗とする）を計 501 本植栽した。実証試験地の概要（表 3-160）と位置図（図 3-112）は以下のとおりである。

表 3-160 実証試験地の概要（宮崎県都城市）

実証試験地	宮崎県都城市高野町				
苗木種	スギ大型コンテナ苗（挿し木苗、465cc）			スギ コンテナ苗 （挿し木苗、 300cc）	合計
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	2,500 本/ha	
植栽面積	0.35ha	0.28ha	0.37ha	0.20ha	1.21ha
植栽本数	387 本	443 本	923 本	501 本	大苗:1,753 本 普通苗:501 本
気温/ 降水量	16.5℃（年平均気温） / 2481.8mm（年降水量）（平年値、都城）				
標高/ 傾斜/ 方位	295～355m / 6～20° /				
土壌	黒色火山灰土壌				
土地所有者	都城森林組合				
植栽実施者	都城森林組合				
植栽日	平成 29（2017）年 1 月 23 日（一貫作業による伐採・地拵え）				



図 3-112 実証試験地の位置（左）と実証試験地の様子（右）（宮崎県都城市）

② 調査プロットの概要

スギ大苗を植栽した3つの植栽密度区ならびにスギ普通苗を植栽した1つの植栽密度区の合計4つの植栽密度区において、それぞれの面積の約半分を囲むようにシカ柵を設置した(図3-113)。このようにしてできた、植栽密度、苗木サイズ、シカ柵有無がそれぞれ異なる計8つの実証試験地に、それぞれ1つずつ調査プロットを設定した(写真3-69、表3-161)。

調査プロット内の植栽木、計288本(1,100本/ha大苗:72本、1,600本/ha大苗:72本、2,500本/ha大苗:72本、2,500本/ha普通苗:72本)を調査対象木とした。

なお、植栽前のスギ大苗とスギ普通苗のサイズを表3-162に、苗木の写真を写真3-70にそれぞれ示す。

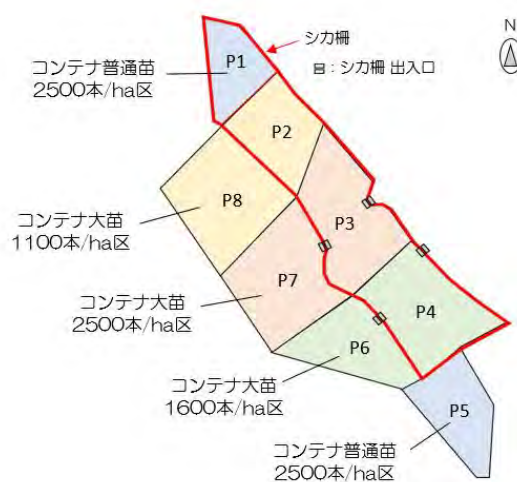


図 3-113 調査プロットの位置図 (宮崎県都城市)

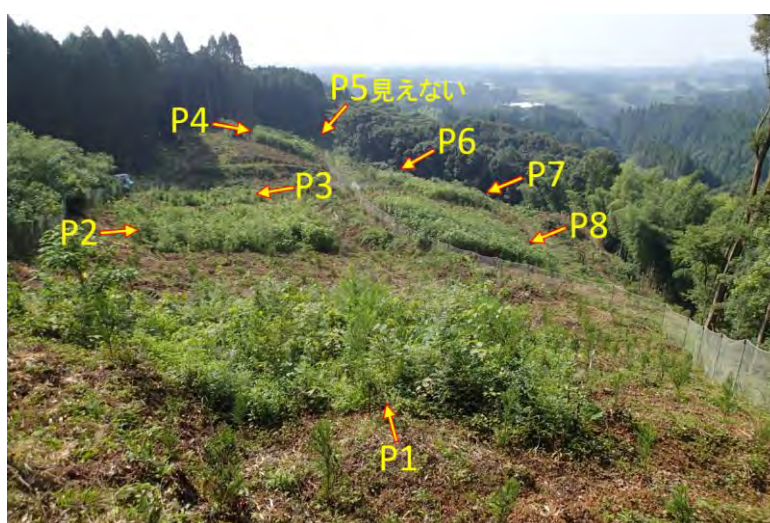


写真 3-69 実証試験地の全景 (宮崎県都城市)

表 3-161 調査プロットの概要（宮崎県都城市）

植栽密度		プロット No.	プロット面積 (㎡)	調査本 数	シカ柵 内・外	備 考
スギ大型 コンテナ 苗 (465cc)	1,100 本/ha	No. 2	317.7	36 本	内	1,100 本区上側に設置
		No. 8	323.0	36 本	外	1,100 本区下側に設置
	1,600 本/ha	No. 4	218.2	36 本	内	1,600 本区上側に設置
		No. 6	228.0	36 本	外	1,600 本区下側に設置
	2,500 本/ha	No. 3	144.5	36 本	内	2,500 本区上側に設置
		No. 7	141.6	36 本	外	2,500 本区下側に設置
合計				216 本	－	-
スギ コンテナ 苗 (300cc)	2,500 本/ha	No. 1	148.7	36 本	内	2,500 本区上側に設置
		No. 5	144.8	36 本	外	2,500 本区下側に設置
合計				72 本	－	-
計				288 本	－	-

表 3-162 山出し直前の苗サイズ（宮崎県都城市）

苗種	スギ大苗	スギ普通苗
苗長	92±5.6cm	57±5.3cm
地際直径	1.0±0.18cm	0.9±0.11cm
形状比	94±17.5	63±17.5
重量	339±24g	211±14g
容量	466±13.4cc	300cc

※それぞれ 10 個体をサンプルとして抜き取り測定した



写真 3-70 植栽したスギ大苗（左）とスギ普通苗（右）（宮崎県都城市）

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-163、表 3-164 のとおりである。

宮崎県都城市実証試験地は、平成 29（2017）年 1 月に、伐採～地拵え～植栽の一貫作業システムによる再生林を実施したため、植栽翌年度（平成 29（2017）年度）の下刈りは不要であると判断し、実施しなかった。平成 30（2018）年度以降については、全調査プロットでの下刈りを実施した。

表 3-163 下刈りの実施日（宮崎県都城市）

年度	下刈り実施日
平成 28（2016）	—（植栽年）
平成 29（2017）	省略
平成 30（2018）	8 月上旬
令和 元（2019）	8 月 3～20 日
下刈り実施者	都城森林組合

表 3-164 下刈り実施の有無（宮崎県都城市）

植栽密度	プロット No.	H29（2017） 下刈り	H30（2018）～ R 元（2019） 下刈り
1,100 本/ha 大苗	No. 2	無	有
	No. 8	無	有
1,600 本/ha 大苗	No. 4	無	有
	No. 6	無	有
2,500 本/ha 大苗	No. 3	無	有
	No. 7	無	有
2,500 本/ha 普通苗	No. 1	無	有
	No. 5	無	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-165 のとおりである。

表 3-165 調査実施日（宮崎県都城市）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 28（2016）	—	平成 29（2017）年 2 月 3 日
平成 29（2017）	平成 29（2017）年 8 月 18 日	平成 29（2017）年 11 月 6 日
平成 30（2018）	平成 30（2018）年 6 月 26 日	平成 30（2018）年 11 月 29 日
令和 元（2019）	令和 元（2019）年 7 月 1 日	令和 元（2019）年 11 月 7 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-166 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、どの調査プロットも約 90～100%と高い数値を示し、植栽密度間でほとんど変わらなかった。また苗サイズの違いによる差もなかった。

令和元（2019）年時点での生存率は、どの調査プロットも約 80～100%と高く、多少のばらつきはあるものの植栽密度間で大きな差はなかったが、大苗より普通苗の方が生存率は高かった。

枯死原因について、平成 30（2018）年以降、シカによる食害・皮剥ぎ被害が発生し、大苗 1,100 本/ha 区で 3 本、大苗 1,600 本/ha 区で 5 本の計 8 本の枯死が見られた。これらはシカ柵を設置していない調査プロット（プロット 8 と 6）で発生し、植栽密度の違いを要因とするものではなかった。

表 3-166 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（宮崎県都城市）

樹種	プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)				活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
				H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計			
スギ大苗	2	1,100	36	1 (枯れ)	6 (枯れ4・誤伐1・消失1)	0	7	97.2	80.6	19.4
スギ大苗	8	1,100	36	1 (枯れ)	1 (シカ食害)	2 (シカ皮剥ぎ1・シカ食害)	4	97.2	88.9	11.1
スギ大苗	4	1,600	36	0	1 (枯れ)	0	1	100.0	97.2	2.8
スギ大苗	6	1,600	36	1(枯れ)	1 (獣虫害)	5 (シカ皮剥ぎ4・誤伐1)	7	97.2	80.6	19.4
スギ大苗	3	2,500	36	3 (枯れ3)	4 (枯れ4)	1 (誤伐)	8	91.7	77.8	22.2
スギ大苗	7	2,500	36	3 (枯れ3)	4 (誤伐2・枯れ2)	0	7	91.7	80.6	19.4
スギ普通苗	1	2,500	36	1(枯れ)	1 (誤伐1)	1 (誤伐)	3	97.2	91.7	8.3
スギ普通苗	5	2,500	36	0	0	0	0	100.0	100.0	0.0

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【シカ被害の発生状況】

平成 30（2018）年 11 月の秋冬季（成長休止期）調査前に、シカによる被害が発生した。シカ柵内でも、シカ柵の閉まりが緩んだ出入り口からシカの侵入を受けた。シカ被害の発生状況は表 3-167、表 3-168 および写真 3-71 のとおりである。

シカの枝葉への食害については、スギ普通苗を植栽したシカ柵内の調査プロット（プロット 1）で 2 本のシカ食害の被害があった。シカ柵外に植栽したスギ普通苗や、スギ大苗では発生しなかった。

一方で、シカによる皮剥ぎ・角研ぎ被害は多く発生し、シカ柵外に植栽したスギ大苗に 40 本、シカ柵内に植栽したスギ大苗に 5 本、シカ柵外に植栽したスギ普通苗に 1 本の被害があり、特に柵外に植栽したスギ大苗で 37%と高い発生率となった。植栽密度別では、シカ柵外の 1,100 本/ha 区（プロット 8）で 18 本、シカ柵外の 1,600 本/ha 区（プロット 6）で 16 本と多く発生しており、シカ柵内においても 1,100 本/ha 区で 5 本発生と、低密度植栽区で比較的被害が多かった。スギ大苗とシカ皮剥ぎ角研ぎ被害の因果関係、あるいは植栽密度とシカ皮剥ぎ角研ぎ被害の因果関係については、現時点では不明である。

このことから、スギ大苗は植栽木の枝葉へのシカ食害の回避効果が期待できるといえるが、スギ大苗のシカ皮剥ぎ被害が多いことから、下刈り方法や下刈り時期を工夫するなど、シカ皮剥ぎ被害を回避するための対策が必要である。

表 3-167 シカ被害の発生状況（宮崎県都城市）

シカ柵	コンテナ苗サイズ	枝葉の食害		皮剥ぎ	角研ぎ	被害本数／全本数	被害率（%）
		主軸	側枝				
柵外	大苗	0	0	33	7	40／108	37%
	普通苗	0	0	1	0	1／36	3%
柵内	大苗	0	0	5	0	5／108	5%
	普通苗	1	1	0	0	2／36	6%

表 3-168 植栽密度別シカ被害の発生本数（宮崎県都城市）

コンテナ苗サイズ	大苗						普通苗		合計
	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	2,500 本/ha	2,500 本/ha	
植栽密度	柵内	柵内	柵内	柵外	柵外	柵外	柵内	柵外	
プロットNo.	2	4	3	8	6	7	1	5	
シカ被害発生本数	5	0	0	18	16	6	2	1	48



写真 3-71 シカ皮剥ぎ被害（宮崎県都城市）

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-169、表 3-170、図 3-114、図 3-115 および写真 3-72 のとおりである。

スギ大苗の成長状況を植栽密度間で比較したところ、令和元（2019）年度の平均樹高は 1,100 本/ha 区で 260cm、1,600 本/ha 区で 223cm、2,500 本/ha 区で 251cm と、植栽密度間で差が見られ、1,600 本/ha 区で成長が低かったが、いずれの植栽密度でも植栽後 3 年経過時点で樹高 2.2m を越えた。平均形状比は植栽密度間でほぼ同じ傾向を示し、平成 28(2016) 年度の植栽直後には 100 近くあったが平成 30（2018）年度には 60 前後となり、令和元（2019）年度は 45 前後となっている。

スギ普通苗の成長状況は、令和元（2019）年度の平均樹高は 198cm と良好な成長を見せているが、大苗よりも 25～60cm 程度低かった。平均形状比は、植栽直後は約 60 だったが翌年には約 93 まで上昇した。その後は減少傾向を示している。

植栽密度間で成長量に差が見られるが、本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため植栽密度が植栽木の成長に影響したとは考えにくく、立地環境などその他の要因による影響が可能性として挙げられる。

表 3-169 植栽木の成長状況（宮崎県都城市・スギ大苗）

1,100本/ha 大苗					
宮崎県都城市		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	88.7±8.1	114.4±10.4	158.3±26	260.2±48.7
	最小値	73.4	89.0	106.0	146.2
	最大値	111.2	143.2	215.0	359.4
地際直径(cm)	平均値	0.9±0.1	1.4±0.2	3±0.6	5.7±1.1
	最小値	0.7	0.8	1.8	3.3
	最大値	0.8	2.0	4.4	7.2
胸高直径(cm)	平均値				2.3±0.8
	最小値				0.7
	最大値				3.7
形状比	平均値	100.2±14.6	81.4±14.6	54.2±7	46.3±5.4
	最小値	64.5	59.3	34.9	35.4
	最大値	138.6	133.6	69.1	57.7
1,600本/ha 大苗					
宮崎県都城市		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	86.7±9.2	112.2±9.4	156.3±23.3	223.4±43.8
	最小値	69.8	91.1	119.0	151.2
	最大値	111.0	134.2	215.0	321.4
地際直径(cm)	平均値	0.8±0.1	1.5±0.2	2.7±0.4	4.9±0.9
	最小値	0.6	1.0	1.7	3.1
	最大値	1.1	2.2	3.5	6.7
胸高直径(cm)	平均値				2±0.7
	最小値				0.7
	最大値				4.4
形状比	平均値	103.3±11.9	75.7±7.6	58.3±6.6	45.9±6.1
	最小値	79.2	55.2	43.4	34.6
	最大値	135.2	94.4	72.4	63.3
2,500本/ha 大苗					
宮崎県都城市		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	79.3±7.3	103.3±6.7	151.2±18	251.8±38.2
	最小値	59.1	85.9	105.0	147.6
	最大値	93.8	119.8	199.0	330.2
地際直径(cm)	平均値	0.8±0.1	1.4±0.2	2.9±0.5	5.5±1
	最小値	0.6	1.0	1.7	2.9
	最大値	1.2	1.7	4.8	8.6
胸高直径(cm)	平均値				2.3±0.6
	最小値				0.8
	最大値				3.8
形状比	平均値	95.2±15.1	77.3±10.2	52.5±7	46.1±5.4
	最小値	61.3	59.7	40.3	34.2
	最大値	124.1	106.8	66.4	59.8

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

表 3-170 植栽木の成長状況（宮崎県都城市・スギ普通苗）

2,500本/ha 普通苗					
宮崎県都城市		H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	45.7±6	88.1±8.3	132.9±16.1	198.4±31.6
	最小値	29.1	65.0	87.0	127.2
	最大値	61.8	107.2	173.0	268.9
地際直径(cm)	平均値	0.8±0.1	1±0.2	2.2±0.7	3.8±1
	最小値	0.6	0.6	1.3	1.8
	最大値	1.2	1.4	4.6	5.8
胸高直径(cm)	平均値				1.5±0.5
	最小値				0.4
	最大値				2.6
形状比	平均値	59.5±11.7	93±16.5	64.3±13.7	53.9±8.1
	最小値	38.5	57.7	24.2	35.4
	最大値	97.6	145.3	93.6	74.5

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

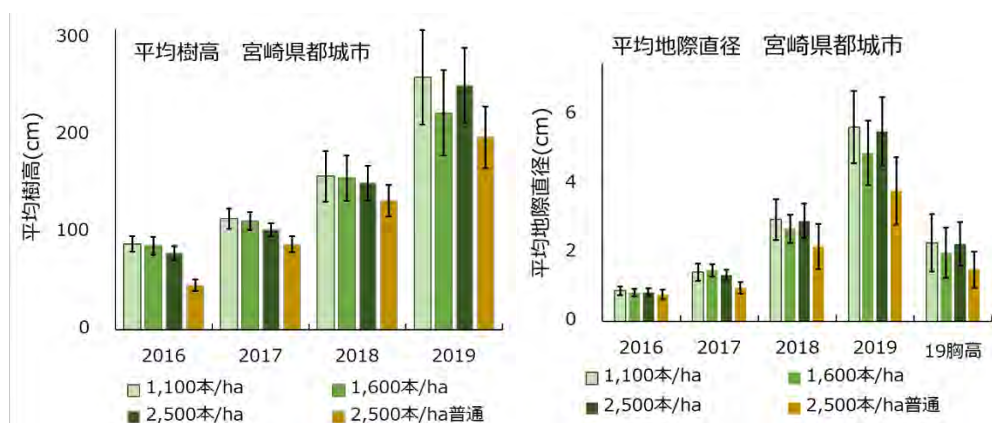


図 3-114 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（宮崎県都城市）



図 3-115 植栽木の形状比の推移（宮崎県都城市）



写真 3-72 1,100 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 11 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高と競合状態の調査結果を図 3-116 に示す。また令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-171、表 3-172、写真 3-73 に示す。

宮崎県都城市の実証試験地は、平成 28（2016）年度の植栽時に一貫作業システムによる再造林を実施したことにより、平成 29（2017）年度は全調査プロットにおいて下刈りを省略することができた。そのため、翌年の平成 30（2018）年度の調査時に植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をした結果、競合雑草木の被圧が見られる箇所が多くあった。しかし令和元（2019）年度の調査時には、スギ大苗を植栽した全ての植栽密度区において、植栽木の平均樹高は雑草木よりも高くなった。雑草木からの被圧を受けることによる成長への影響は脱したと考えられる。

スギ普通苗を植栽した 2,500 本/ha 区では、ほかの植栽密度区より雑草木の平均樹高が低く、植栽したスギ普通苗を大きく被圧しなかったことから、スギ普通苗の成長に影響しなかったと考えられる。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、植栽密度間で多少のばらつきが見られるものの、どの植栽密度区も植栽木の成長が良好であり、令和元（2019）年の時点で競合状態競合状態 C1 と C2 の割合が 8 割を超えていた。

競合雑草木の種組成については、アカメガシワやクサギなどの落葉広葉樹類などが見られ、植栽密度間で大きな差は見られなかった。

以上より、スギ大苗を植栽した全ての植栽密度区では、植栽木の成長が速く、植栽後 3 年が経過した令和元（2019）年の時点で、平均樹高が約 2 m を超えている。また、植栽木と雑

草木の平均樹高の差は大きく、競合状態 C1 + C2 の割合が 8 割を超えているため、翌年の下刈りは全ての植栽密度区で不要と考えられる。よって、本実証試験地のスギ大苗を植栽した全ての植栽密度区で、令和元（2019）年度（下刈り 2 回目）で下刈りの終了を検討でき、低密度植栽区も通常密度の植栽区と同様の回数で下刈りが終了できると考えられる。

スギ大苗による下刈り回数の削減効果については、スギ大苗はスギ普通苗よりも植栽木が雑草木の樹高よりも早く高くなるため、普通苗よりも下刈り回数を削減できる可能性があるといえる。

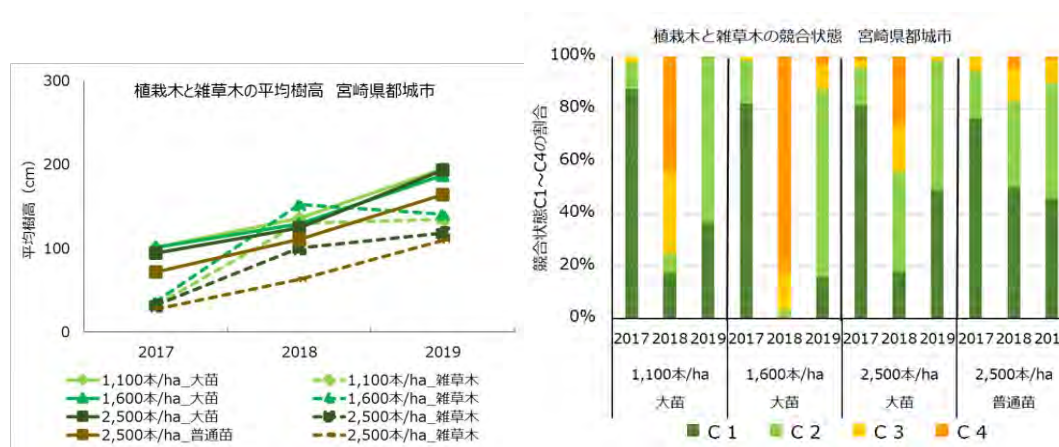


図 3-116 植栽木と雑草木の平均樹高（左）と植栽木と雑草木の競合状態（右）
（宮崎県都城市）

表 3-171 植生調査の結果（宮崎県都城市・スギ大苗）

樹種	プロット	密度	区分	R元（2019）		
				主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
スギ大苗	2	1,100	低木層 （高さ1.0m以上）	アカメガシワ クサギ	30%	・ウルシSp.
			草本層 （高さ1.0m未満）	ヘクソカズラ	85%	・フユイチゴ・ネザサ・スイカズラ ・ススキ
	8	1,100	低木層 （高さ1.0m以上）	アカメガシワ	60%	・クマイチゴ
			草本層 （高さ1.0m未満）	アカメガシワ	90%	・フユイチゴ・ネザサ・スゲSp.
	4	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	アカメガシワ ヤマハギ	60%	－
			草本層 （高さ1.0m未満）	フユイチゴ	70%	・ネザサ・ススキ・スゲSp.
	6	1,600	低木層 （高さ1.0m以上）	アカメガシワ	70%	－
			草本層 （高さ1.0m未満）	アカメガシワ	90%	・オカトラノオ・スゲSp.・ネコハギ ・ヘクソカズラ
	3	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	アカメガシワ クサギ	10%	－
			草本層 （高さ1.0m未満）	スイカズラ	90%	・ヘクソカズラ・フユイチゴ
	7	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	アカメガシワ	60%	・タラノキ
			草本層 （高さ1.0m未満）	アカメガシワ	70%	・フユイチゴ・ネザサ・スゲSp.

表 3-172 植生調査の結果（宮崎県都城市・スギ普通苗）

スギ普通苗	1	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	アカメガシワ クサギ ウルシSp.	60%	－
			草本層 （高さ1.0m未満）	フユイチゴ コアカソ オカトラノオ ネザサ ヘクソカズラ ススキ ゼンマイ	90%	－
	5	2,500	低木層 （高さ1.0m以上）	アカメガシワ クサギ	10%	－
			草本層 （高さ1.0m未満）	スゲSp. ネザサ	70%	・フユイチゴ・アカメガシワ・ヘクソカズラ



プロット1



プロット2



プロット3



プロット4



プロット5



プロット6



プロット7



プロット8

写真 3-73 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年7月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-173 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-117 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、スギ大苗を植栽した 1,100 本/ha 区で 18.0 時間、1,600 本/ha 区で 19.1 時間、2,500 本/ha 区で 19.1 時間となり、下刈り作業時間は植栽密度にほとんど影響されなかった。スギ普通苗の 2,500 本植栽区での平均下刈り作業時間は 26.0 時間と、スギ大苗に比べ 7～8 時間長い結果となったが、後述する現場作業員へのヒアリングでは、ツル植物の多さや雑草木の繁茂状況が要因として挙げられた。

表 3-173 各プロットの下刈り作業時間（宮崎県都城市）

樹種	プロット	植栽密度(本/ha)	傾斜(度)	プロット面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
					下刈り作業時間(分)	1ha当たりの下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間(分)	1ha当たりの下刈り作業時間(時間)
スギ大苗	2	1,100	5	317.7	30.7	16.1	28.58	15.0
	8	1,100	16	323.0	38.2	19.7	41.12	21.2
	4	1,600	18	218.2	27.7	21.1	25.53	19.5
	6	1,600	17	228.0	30.2	22.1	18.98	13.9
	3	2,500	6	144.5	24.2	27.9	11.33	13.1
	7	2,500	12	141.6	19.2	22.5	10.87	12.8
スギ普通苗	1	2,500	22	148.7	24.5	27.5	23.45	26.3
	5	2,500	20	144.8	15.9	18.3	27.52	31.7

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

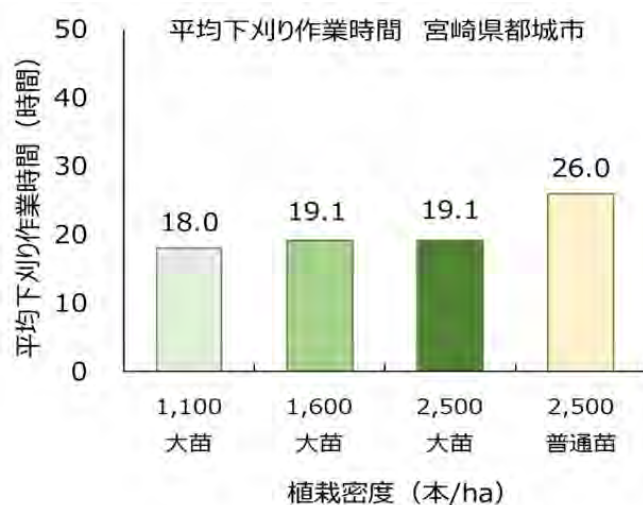


図 3-117 植栽密度別の平均下刈り作業時間（宮崎県都城市、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～平成 30（2018）年度～

- ・ 植栽間隔が 3 m では、下刈り作業の際に動く歩数が増え、作業がやりにくかった。
- ・ 普段が植栽間隔 2 m に慣れているので、2.5～3 m はやりにくい。
- ・ 雑草木の高さが 2 m 近くあり、2 段切りする必要があった。
- ・ 2 m 間隔ではツル植物が多く、作業が困難だった。
- ・ 3 m と 2.5 m で誤伐が 1 本あった。植栽間隔が違うのと、雑草木の高さがあり、植栽木を見つけづらかった。
- ・ 誤伐をなくすためには、ゆっくり作業を行う必要がある。
- ・ 2 m の間隔に慣れている。2 m は半歩、2.5 m は一歩、3 m は約 2 歩と間隔の違いに苦勞した。それぞれの間隔に体が慣れれば、効率よく作業が出来ると思う。

～令和元（2019）年度～

- ・ ツル植物の多さや雑草木の繁茂状況により、普通苗区で作業時間が増加した
- ・ 普段の植栽間隔 2 m がやりやすかった
- ・ シカ柵内はツル植物が多かった
- ・ 雑草木の樹高が 2 m 近くあり、作業が困難だった

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（2回目）までのヘクタールあたり初期保育コストを通常の 3,000 本/ha（スギ普通苗）植栽と比較した結果は表 3-174 のとおりである。なお、植栽翌年度の下刈りは省略したため、コストも省略とした。

3,000 本/ha 普通苗区の 2,650,871 円と比較すると、2,500 本/ha 大苗区では 2,722,323 円となり、苗木購入費と植栽労務費の単価が割高となる分、コスト削減は出来ない結果となった。一方、1,600 本/ha 大苗区では 2,391,779 円、1,100 本/ha 大苗区では 2,177,343 円となり、ヘクタールあたりそれぞれ約 25 万円（10%）、約 47 万円（18%）のコスト削減ができることがわかった。

スギ大苗とスギ普通苗では苗木購入費や植栽労務費の単価の違いが大きいが、1,600 本/ha 以下の植栽密度では、それを上回るコスト削減の効果があることがわかった。

表 3-174 初期保育コスト（宮崎県都城市）

宮崎県都城市	単価	普通苗	
		3,000本/ha	2,500本/ha
地拵え費		269,000円	269,000円
苗木購入費	130円/本	390,000円	325,000円
植栽労務費	90円/本	270,000円	225,000円
シカ柵設置費(400m)	1,895円/m	758,000円	758,000円
諸経費など	234,503円/ha	234,503円	234,503円
下刈り1年目		(省略)	(省略)
下刈り2年目		364,685円	364,685円
下刈り3年目		364,685円	364,685円
合計		2,650,871円	2,540,871円
コスト削減		—	4%

宮崎県都城市	単価	大苗		
		2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		269,000円	269,000円	269,000円
苗木購入費	260円/本	650,000円	416,000円	286,000円
植栽労務費	108円/本	270,000円	172,800円	118,800円
シカ柵設置費(400m)	1,895円/m	758,000円	758,000円	758,000円
諸経費など	238,787円/ha	238,787円	238,787円	238,787円
下刈り1年目		(省略)	(省略)	(省略)
下刈り2年目		268,269円	268,597円	253,378円
下刈り3年目		268,269円	268,597円	253,378円
合計		2,722,323円	2,391,779円	2,177,343円
コスト削減		-3%	10%	18%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
地拵え完了（平成 29（2017）年 1 月）	植栽後（平成 29（2017）年 2 月）
	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 6 月	平成 30（2018）年 11 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 11 月

写真 3-74 実証試験地の様子（遠景、宮崎県都城市）

⑦ 現地写真（近景）

	
植栽後（平成 29（2017）年 2 月）	
	
平成 29（2017）年 8 月	平成 29（2017）年 11 月
	
平成 30（2018）年 6 月	平成 30（2018）年 11 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 11 月

写真 3-75 実証試験地の様子（近景、宮崎県都城市）

3-4. 平成 29（2017）年度植栽の実証試験地での実施結果

平成 29（2017）年度に植栽した実証試験地（表 3-175、図 3-118）の実施結果を以下に示す。

表 3-175 平成 29（2017）年度植栽の実証試験地 一覧（全 3 箇所）

No.	実証試験地	苗木種	植栽密度 (本/ha)	植栽面積 (ha)		植栽本数 (本)		下刈 時期	調査日 (2019)		備考
									夏季	秋冬季	
17	北海道上川郡 下川町溪和 (民有林)	カラマツ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,100	0.30	1.00	330	1,657	7月	7月	11月	
			1,600	0.47		752					
			2,500	0.23		575					
18	秋田県由利本 荘市矢島町城 内字下谷地沢 (民有林)	スギ 150cc コンテナ苗 (実生苗)	1,100	0.30	0.93	330	1,617	7月	7月	10月	
			1,600	0.32		512					
			2,500	0.31		775					
19	富山県中新川 郡立山町座主 坊中ノ谷 (民有林)	無花粉スギ Mスターコン テナ苗 (実生苗)	1,100	0.31	0.93	341	1,612	8月	8月	10月	
			1,600	0.31		496					
			2,500	0.31		775					

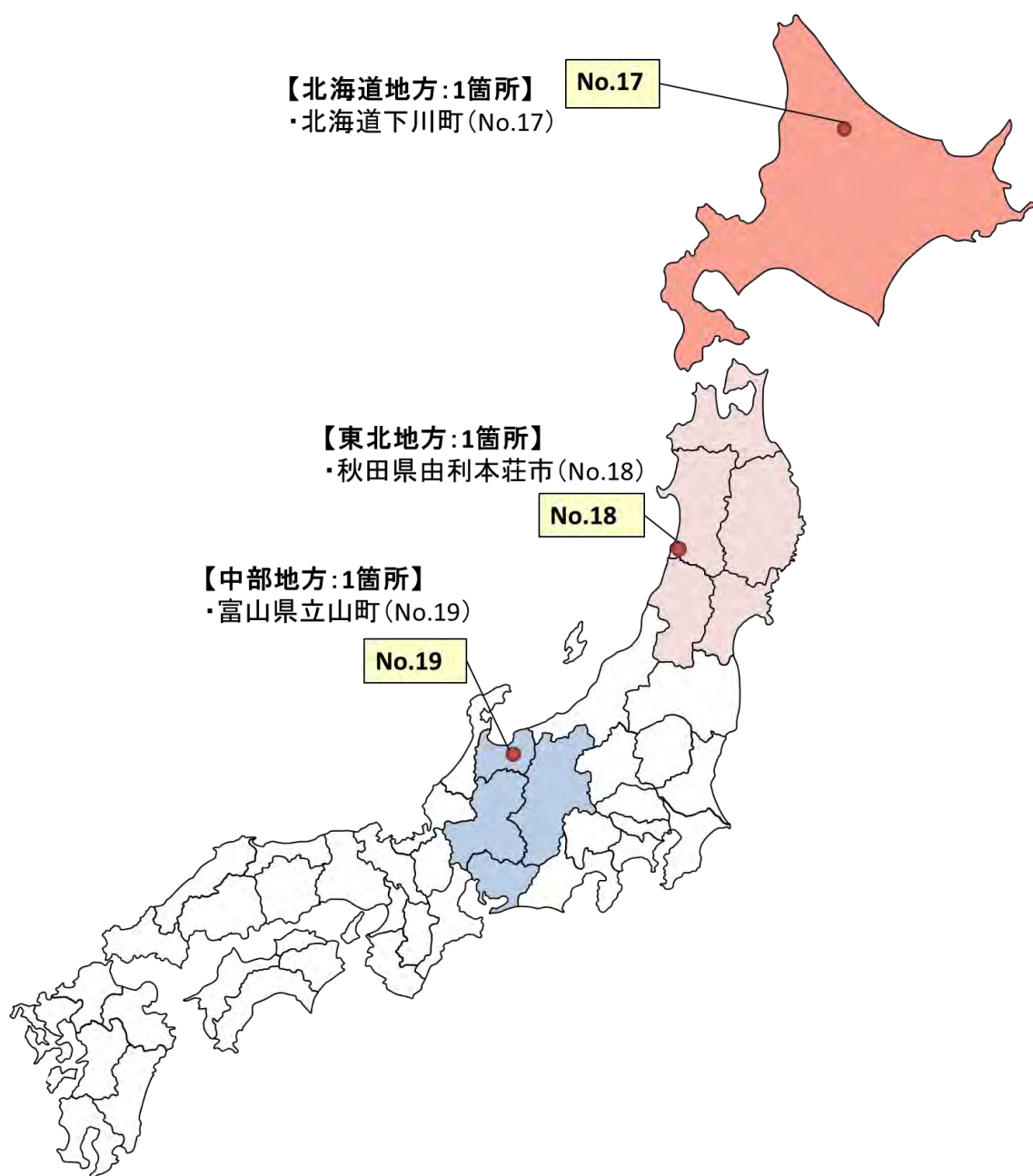


図 3-118 平成 29 (2017) 年度植栽の実証試験地 位置図

3-4-1. 北海道地方

(1) 北海道 下川町 (カラマツ) (No.17)

① 実証試験地の概要

平成 29 (2017) 年 11 月 10 日に、北海道下川町の実証試験地 (1.00ha) に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、カラマツ 150cc コンテナ苗を計 1,657 本植栽した。

平成 30 (2018) 年 7 月の調査時点で、植栽木の 5 割を超える枯死が確認された。将来の追跡調査の実施を念頭に、低密度植栽実証試験地として維持するため、令和元 (2019) 年 9 月に約 1,050 本の補植作業を行った。

実証試験地の概要 (表 3-176) と位置図 (図 3-119) は以下のとおりである。

表 3-176 実証試験地の概要 (北海道下川町)

実証試験地	北海道上川郡下川町溪和			
苗木種	カラマツ 150cc コンテナ苗 (実生苗)			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.30ha	0.47ha	0.23ha	1.00ha
植栽本数	330 本	752 本	575 本	1,657 本
気温/ 降水量 最深積雪	5.1℃ (年平均気温) / 911.7mm (年降水量) / (平年値、下川) 124cm (平年値、下川)			
標高/ 傾斜/ 方位	320~340m / 10~15° / S			
土壌	褐色森林土			
土地所有者	下川町			
植栽実施者	下川町森林組合			
植栽日	平成 29 (2017) 年 11 月 10 日			

補植苗提供元	北海道種苗協同組合
補植実施者	下川町森林組合
補植日	令和元 (2019) 年 9 月 24~25 日



図 3-119 実証試験地の位置（左）と実証試験地の様子（右）（北海道下川町）

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区に、それぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計214本（1,100本/ha：71本、1,600本/ha：72本、2,500本/ha：71本）を調査対象木とした。（図3-120、表3-177）

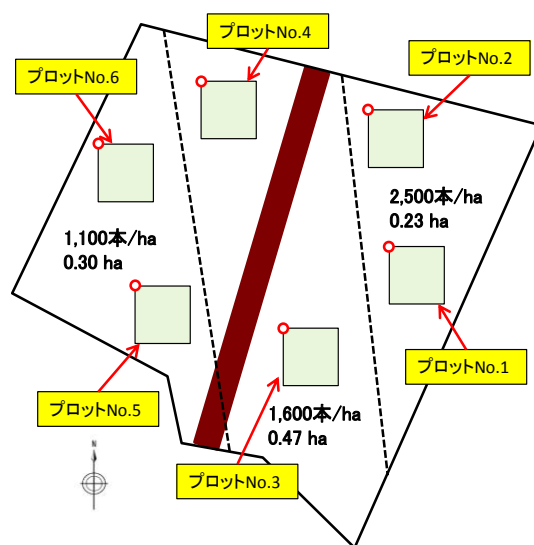


図 3-120 調査プロットの位置図（北海道下川町）

表 3-177 調査プロットの概要（北海道下川町）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 5	310.5	36 本	斜面上部に設置
	No. 6	321.1	36 本	斜面下部に設置
1,600 本/ha	No. 3	234.2	36 本	斜面上部に設置
	No. 4	229.4	36 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 1	152.0	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	143.6	36 本	斜面下部に設置
合計			214 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-178、表 3-179 のとおりである。平成 30 (2018) 年および令和元 (2019) 年ともに、全ての調査プロットで下刈りを実施した。

表 3-178 下刈りの実施日（北海道下川町）

年度	下刈り実施日
平成 29 (2017)	— (植栽年)
平成 30 (2018)	8 月 3 日
令和 元 (2019)	7 月 31 日～8 月 14 日
下刈り実施者	下川町森林組合

表 3-179 下刈り実施の有無（北海道下川町）

植栽密度	プロット No.	H30 (2018) ～ R 元 (2019) 下刈り
1,100 本/ha	No. 5	有
	No. 6	有
1,600 本/ha	No. 3	有
	No. 4	有
2,500 本/ha	No. 1	有
	No. 2	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-180 のとおりである。

表 3-180 調査実施日（北海道下川町）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 29（2017）	—	平成 29（2017）年 11 月 11 日
平成 30（2018）	平成 30（2018）年 7 月 24 日	平成 30（2018）年 10 月 10 日
令和 元（2019）	令和 元（2019）年 7 月 17 日	令和 元（2019）年 10 月 9 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-181 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、どの調査プロットも約 25～50%と低かった。主軸が残っており、折れなども確認されなかったことから、獣害、気象害や病害は考えにくく、原因の特定はできなかった。今後の成林が危ぶまれるため、2019 年 9 月に約 1,050 本の補植を行った。

表 3-181 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（北海道下川町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)			活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H30(2018)	R元(2019)	合計			
5	1,100	36	27 (枯れ14・消失12・誤伐1)	2 (枯れ2)	29	25.0	19.4	80.6
6	1,100	36	20 (枯れ12・消失8)	1 (枯れ)	21	44.4	41.7	58.3
3	1,600	36	24 (枯れ22・消失2)	0	24	33.3	33.3	66.7
4	1,600	36	20 (枯れ16・消失4)	1 (枯れ)	21	44.4	41.7	58.3
1	2,500	36	20 (枯れ20)	1 (枯れ)	21	44.4	41.7	58.3
2	2,500	36	17 (枯れ17)	0	17	52.8	52.8	47.2

※活着率は植栽翌年の数値である
※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-182、図 3-121、図 3-122 および写真 3-76 のとおりである。なお、本実証試験地は平成 30（2018）年度の時点で約 5 割の植栽木が枯死し、翌令和元（2019）年度に補植を実施している（表 3-183）。そのため成長量の調査結果については、補植木は除外して整理している。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに植栽密度間ではほとんど差が見られなかったが、1,600 本/ha 区で成長が少し落ちていた。これは局所的な雑草木の繁茂による被圧が影響したと考えられることから、現時点では植栽密度による初期成長への影響は無いと考えられる。

表 3-182 植栽木の成長状況（北海道下川町）

1,100本/ha				
北海道下川町		H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	33.5±3.1	38.4±5	83.2±21.9
	最小値	28.2	25.0	32.5
	最大値	43.9	46.0	111.0
地際直径(cm)	平均値	0.3±0	0.7±0.2	1.5±0.4
	最小値	0.2	0.5	0.8
	最大値	0.8	1.1	2.2
形状比	平均値	105.7±11.4	56.1±9.2	58.7±13.5
	最小値	74.0	39.4	40.1
	最大値	137.4	72.9	96.8
1,600本/ha				
北海道下川町		H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	30.7±3.7	36.6±3.7	68.6±18.1
	最小値	20.7	31.0	44.0
	最大値	39.0	43.0	100.5
地際直径(cm)	平均値	0.3±0	0.6±0.1	1.2±0.4
	最小値	0.2	0.5	0.6
	最大値	1.8	0.8	2.1
形状比	平均値	104.6±12.1	58.1±9.7	57.7±9.5
	最小値	62.7	43.7	41.2
	最大値	127.0	73.7	83.9
2,500本/ha				
北海道下川町		H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	34.2±3.7	38.2±4.6	80.6±18.5
	最小値	24.1	29.0	37.9
	最大値	40.2	46.0	118.2
地際直径(cm)	平均値	0.3±0	0.7±0.1	1.6±0.4
	最小値	0.3	0.5	0.8
	最大値	2.8	0.9	2.7
形状比	平均値	102.6±12.5	55.2±10.2	52±7.9
	最小値	76.3	34.3	37.9
	最大値	137.4	77.2	71.4

※平均値の項目において、土の後の数値は標準偏差を示す

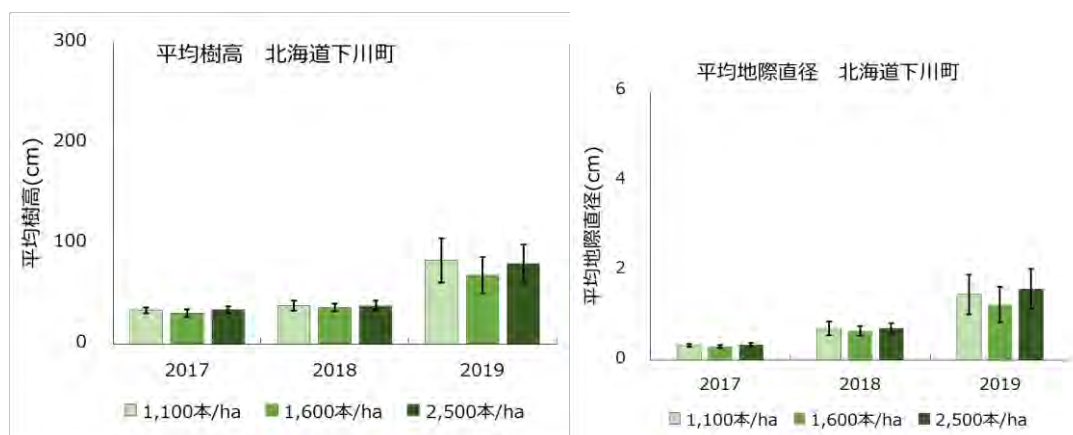


図 3-121 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（北海道下川町）

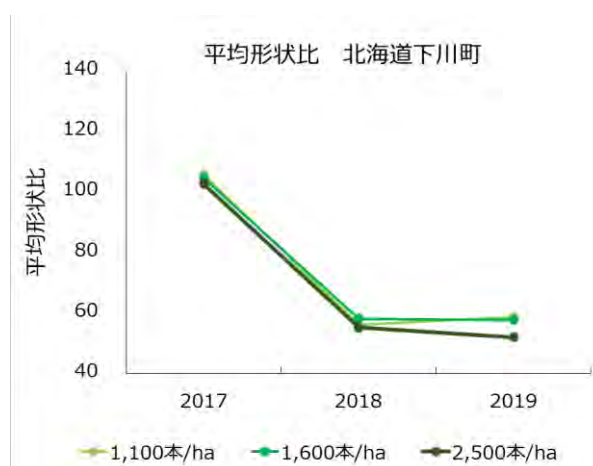


図 3-122 植栽木の形状比の推移（北海道下川町）



写真 3-76 1,100 本/ha 区の状態（令和元（2019）年 7 月）

表 3-183 令和元（2019）年 10 月の補植木の初期計測値（平均値）

植栽密度（本/ha）	1,100	1,600	2,500
樹高（cm）	42.5	44.4	44.4
地際直径（cm）	0.6	0.6	0.6
形状比	71	74	74

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-123 に、競合状態の調査結果を図 3-124 に示す。また令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-184、写真 3-77 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、どの植栽密度においても、雑草木の平均樹高が植栽木を上回っており、前年よりも競争に負けている植栽木が多かった。特に 1,100 本/ha 区と 1,600 本/ha 区で雑草木の樹高が高くなっていた。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、1,100 本/ha 区と 1,600 本/ha 区で競合状態 C3 + C4 の割合が高かった。特に 1,600 本/ha 区では C4 の割合が 9 割近くに達しており、1,600 本/ha 区ではほとんどの植栽木が雑草木に埋もれていたことが分かる。

また、雑草木の種組成を見てみると、ハルジオン、イタドリ、ヨモギなどの多年生草本類が見られ、植栽密度間の比較では 1,600 本/ha 区と 2,500 本/ha 区で雑草木の植被率が低かった。

以上より、植栽密度間で競合関係にばらつきは見られるものの、どの植栽密度区も植栽木が雑草木の平均樹高に負けており、植栽後 2 年が経過した現時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。

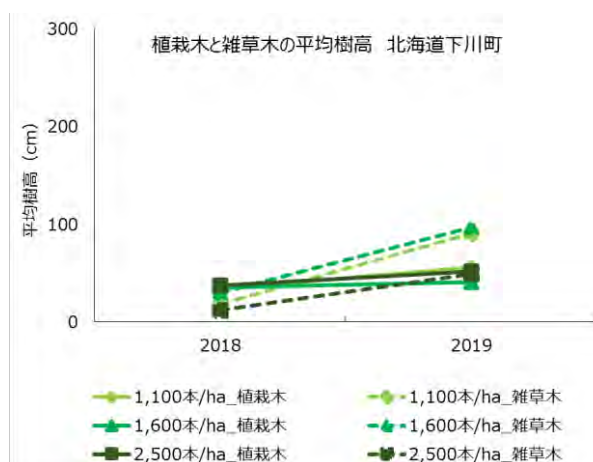


図 3-123 植栽木と雑草木の平均樹高
(北海道下川町)

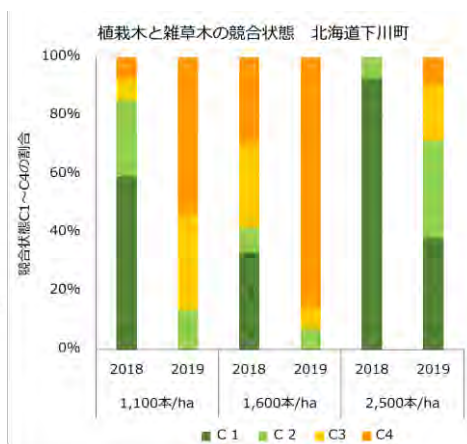


図 3-124 植栽木と雑草木の競合状態
(北海道下川町)

表 3-184 植生調査の結果（北海道下川町）

プロット	密度	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
6	1,100	低木層 （高さ1.5m以上）	－	－	－
		草本層 （高さ1.5m未満）	ヨモギ	30%	－
4	1,600	低木層 （高さ1.5m以上）	－	－	－
		草本層 （高さ1.5m未満）	ハルジオン イタドリ ヨモギ	70%	－
2	2,500	低木層 （高さ1.5m以上）	－	－	－
		草本層 （高さ1.5m未満）	ハルジオン イタドリ ヨモギ	70%	－



プロット6



プロット4



プロット2

写真 3-77 植生調査プロットの状態（令和元（2019）年7月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-185 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-125 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 13.3 時間、1,600 本/ha 区で 18.4 時間、1,100 本/ha 区で 13.7 時間となり、1,600 本/ha 区で下刈り作業時間が長くなり、1,100 本/ha 区と 2,500 本/ha 区では作業時間はほぼ変わらなかった。現場作業員からのヒアリングでは、1,600 本/ha 区で局所的な雑草木の繁茂具合が影響したとの回答があった。

表 3-185 各プロットの下刈り作業時間（北海道下川町）

プロット	植栽密度(本/ha)	傾斜(度)	プロット面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間(分)	1ha当たりの下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間(分)	1ha当たりの下刈り作業時間(時間)
5	1,100	12	310.5	計測未実施		24.08	12.9
6	1,100	10	321.1			27.67	14.4
3	1,600	14	234.2			23.00	16.4
4	1,600	12	229.4			28.17	20.5
1	2,500	12	152.0			10.33	11.3
2	2,500	11	143.6			13.33	15.5

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

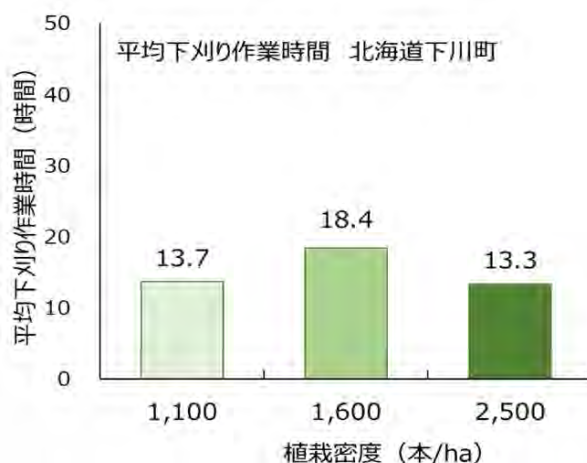


図 3-125 植栽密度別の平均下刈り作業時間（北海道下川町、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～令和元（2019）年度～

- ・ 生え切れしており、なおかつ雑草木が1 mを超えて繁茂しており、**25cm** 程度のコンテナ苗を見つけながら下刈り作業を実施するのは困難だった。
- ・ コンテナ苗は裸苗より小さいため、植栽1、2年後の環境が重要である。
- ・ 雑草木の繁茂の程度で下刈り作業時間に差が出た。
- ・ 下刈り作業時間を効率的に行うため、また誤伐を避けるためにも、雑草木が伸びきらない時期に下刈り実施工程を組むべきである。
- ・ 苗木が一番伸びる時期は6月7月のため、下刈りの時期はそれ以前にすべきである。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（2回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-186 のとおりである。

2,500 本/ha の 1,175,424 円と比較すると、1,600 本/ha では 1,088,883 円、1,100 本/ha では 907,927 円となり、2,500 本/ha と比較して 1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 8 万円（7%）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 26 万円（23%）のコストが削減できることがわかった。

表 3-186 初期保育コスト（北海道下川町）

北海道下川町	単価	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		130,000円	130,000円	130,000円
苗木購入費	120円/本	300,000円	192,000円	132,000円
植栽労務費	75円/本	187,500円	120,000円	82,500円
シカ柵設置費		なし	なし	なし
諸経費など		323,099円	323,099円	323,099円
下刈り1年目		117,412円	161,892円	120,164円
下刈り2年目		117,412円	161,892円	120,164円
合計		1,175,424円	1,088,883円	907,927円
コスト削減		—	7%	23%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
地拵え前（平成 29（2017）年 11 月）	植栽後（平成 29（2017）年）
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-78 実証試験地の様子（遠景、北海道下川町）

⑦ 現地写真（近景）

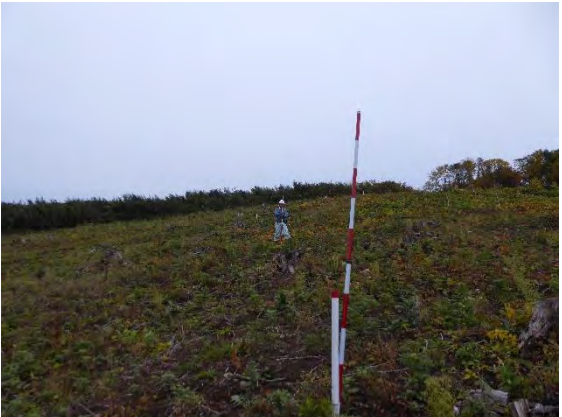
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-79 実証試験地の様子（近景、北海道下川町）

3-4-2. 東北地方

(1) 秋田県 由利本荘市（スギ）（No.18）

① 実証試験地の概要

平成 29（2017）年 10～11 月に、秋田県由利本荘市の実証試験地（0.93ha）に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3つの植栽密度区を設け、スギ 150cc コンテナ苗を計 1,617 本植栽した。

実証試験地の概要（表 3-187）と位置図（図 3-126）は以下のとおりである。

表 3-187 実証試験地の概要（秋田県由利本荘市）

実証試験地	秋田県由利本荘市矢島町城内字下谷地沢			
苗木種	スギ 150cc コンテナ苗（実生苗）			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.30ha	0.32ha	0.31ha	0.93ha
植栽本数	330 本	512 本	775 本	1,617 本
気温/ 降水量 最深積雪	11.4℃（年平均気温）/ 2,185.5mm（年降水量）（平年値、矢島） 98cm（年降雪量）（平年値、矢島）			
標高/ 傾斜/ 方位	400m / 0° / ー			
土壌	黒色火山灰土			
土地所有者	由利本荘市			
植栽実施者	本荘由利森林組合			
植栽日	平成 29（2017）年 10 月 31 日～11 月 3 日			



図 3-126 実証試験地の位置（左）と実証試験地の様子（右）（秋田県由利本荘市）

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区に、それぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計219本（1,100本/ha：75本、1,600本/ha：72本、2,500本/ha：72本）を調査対象木とした。（図3-127、表3-188）

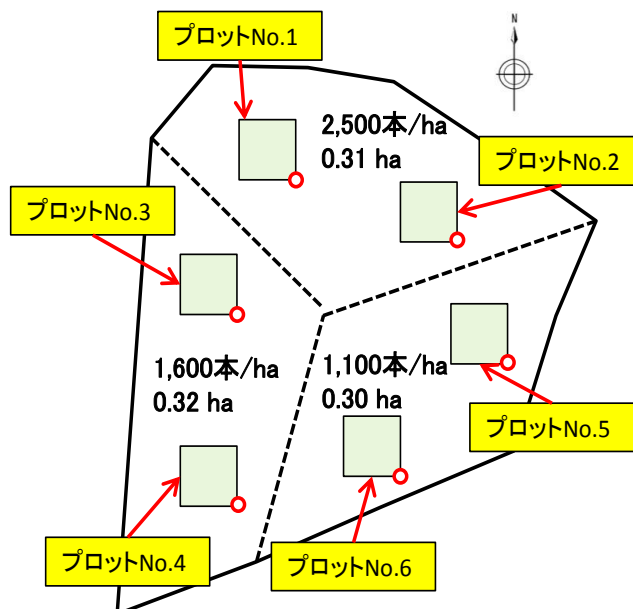


図 3-127 調査プロットの位置図（秋田県由利本荘市）

表 3-188 調査プロットの概要（秋田県由利本荘市）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 5	347.5	39 本	東側
	No. 6	307.0	36 本	西側
1,600 本/ha	No. 3	233.3	36 本	北側
	No. 4	223.4	36 本	南側
2,500 本/ha	No. 1	157.4	36 本	西側
	No. 2	138.7	36 本	東側
合計			219 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-189、表 3-190 のとおりである。平成 30 (2018) 年および令和元 (2019) 年ともに、全ての調査プロットで下刈りを実施した。

表 3-189 下刈りの実施日 (秋田県由利本荘市)

年度	下刈り実施日
平成 29 (2017)	— (植栽年)
平成 30 (2018)	8 月 20～22 日
令和 元 (2019)	7 月 25～27 日
下刈り実施者	本荘由利森林組合

表 3-190 下刈り実施の有無 (秋田県由利本荘市)

植栽密度	プロット No.	H30 (2018) ～ R 元 (2019) 下刈り
1,100 本/ha	No. 5	有
	No. 6	有
1,600 本/ha	No. 3	有
	No. 4	有
2,500 本/ha	No. 1	有
	No. 2	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-191 のとおりである。

表 3-191 調査実施日（秋田県由利本荘市）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 29（2017）	—	平成 29（2017）年 11 月 7 日
平成 30（2018）	平成 30（2018）年 7 月 12 日	平成 30（2018）年 10 月 16 日
令和 元（2019）	令和 元（2019）年 7 月 24 日	令和 元（2019）年 10 月 1 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-192 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、1,100 本/ha 区で 60%以下と低くなった。植栽密度自体が影響したとは考えにくく、ススキやワラビなどの雑草木による被圧などが要因の一つと考えられる。

令和元（2019）年時点での生存率も、1,100 本/ha 区で低かった。これについても活着率と同様に、雑草木の被圧が要因の一つと考えられる。

表 3-192 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（秋田県由利本荘市）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)			活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H30(2018)	R元(2019)	合計			
5	1,100	39	16（消失14・誤伐1・枯れ1）	7（枯れ5・消失2）	23	59.0	41.0	59.0
6	1,100	36	21（消失14・枯れ7）	4（消失4）	25	41.7	30.6	69.4
3	1,600	36	12（消失6・枯れ5・ウサギ被害1）	7（消失4・枯れ3）	19	66.7	47.2	52.8
4	1,600	36	8（消失5・枯れ3）	1（消失）	9	77.8	75.0	25.0
1	2,500	36	7（消失6・枯れ1）	2（消失1・枯れ1）	9	80.6	75.0	25.0
2	2,500	36	11（枯れ8・消失3）	4（消失4）	15	69.4	58.3	41.7

※活着率は植栽翌年の数値である
※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-193、図 3-128、図 3-129 および写真 3-80 のとおりである。

本実証試験地の植栽木の樹高成長は植栽密度にかかわらず遅く、植栽翌年は平均して1～5 cm 程度しか伸びなかった。平均形状比も植栽密度間でほとんど同じ傾向を示し、植栽後の形状比は110 前後と非常に高かったが、植栽後2年が経過した令和元（2019）年は、60 前後に落ち着いた。

本実証試験地は植栽後2年が経過したのみで、未だ林冠閉鎖に至っていないため、植栽密度の違いによる植栽木の成長差は見られない。

表 3-193 植栽木の成長状況（秋田県由利本荘市）

1,100本/ha				
秋田県由利本荘市		H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	44.3±4.5	45.6±6.5	66.3±16.1
	最小値	35.5	27.5	45.6
	最大値	53.3	58.5	95.5
地際直径(cm)	平均値	0.4±0.1	0.6±0.1	1.2±0.2
	最小値	0.2	0.4	0.7
	最大値	0.8	0.8	1.6
形状比	平均値	115.1±20.7	78.7±18.9	56.4±9.4
	最小値	79.2	38.7	39.3
	最大値	185.4	143.9	73.4
1,600本/ha				
秋田県由利本荘市		H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	43.6±5.6	47.1±6.5	66.5±14.5
	最小値	30.0	34.1	49.2
	最大値	56.2	58.5	106.6
地際直径(cm)	平均値	0.4±0.1	0.6±0.1	1.1±0.3
	最小値	0.3	0.5	0.7
	最大値	1.8	1.0	1.8
形状比	平均値	118.1±20.6	77.6±13.4	63.8±10.5
	最小値	76.4	47.6	39.6
	最大値	172.0	102.9	84.2
2,500本/ha				
秋田県由利本荘市		H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	45.3±6	50.5±7.3	79±21.7
	最小値	33.7	41.0	29.5
	最大値	70.4	72.5	126.0
地際直径(cm)	平均値	0.4±0.1	0.7±0.1	1.3±0.4
	最小値	0.3	0.4	0.6
	最大値	2.8	1.0	2.4
形状比	平均値	109.4±20.7	75.4±16.2	61.2±9.5
	最小値	72.6	56.4	46.4
	最大値	163.7	131.1	89.2

※平均値の項目において、土の後の数値は標準偏差を示す

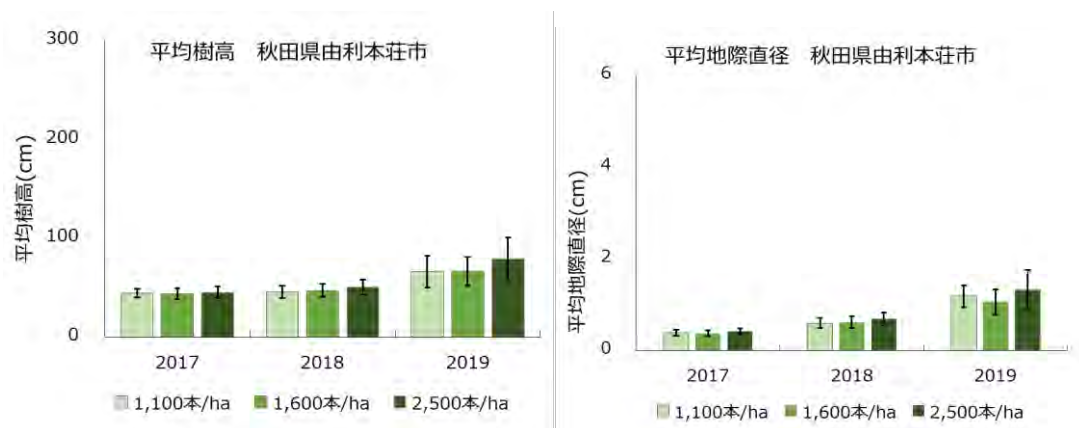


図 3-128 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（秋田県由利本荘市）

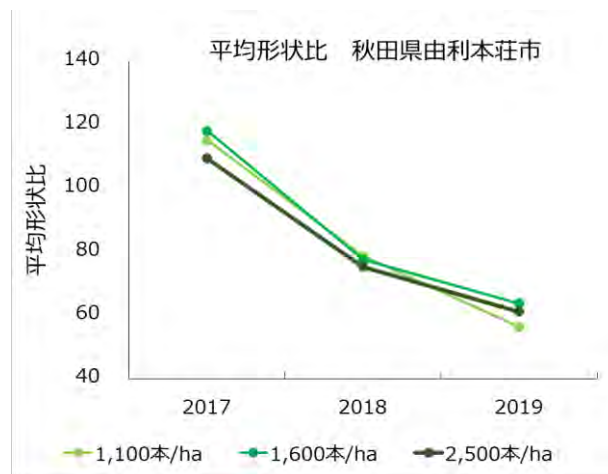


図 3-129 植栽木の形状比の推移（秋田県由利本荘市）



写真 3-80 1,100 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-130 に、競合状態の調査結果を図 3-131 に示す。また令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-194、写真 3-81 に示す。

本実証試験地は、全体にススキやワラビが密生し、植栽木が強く被圧されており、植栽木の成長は遅い。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、雑草木の成長が早く、どの植栽密度区も植栽木の平均樹高が雑草木を下回っている。

競合状態の比較でも同様の傾向を示しており、令和元（2019）年の時点でどの植栽密度区も植栽木の 6 割～8 割以上が競合状態 C4 と判定されている。

雑草木の種組成については、全体的にワラビやススキの繁茂が激しく、1,100 本/ha 区および 1,600 本/ha 区ではワラビのほかクマイチゴやエゾアジサイなど、2,500 本/ha 区ではススキのほかオオイタドリなどが見られた。

以上より、どの植栽密度区も植栽木が雑草木の平均樹高より低く、競合状態 C3 + C4 の割合も高いため、植栽後 2 年が経過した現時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。

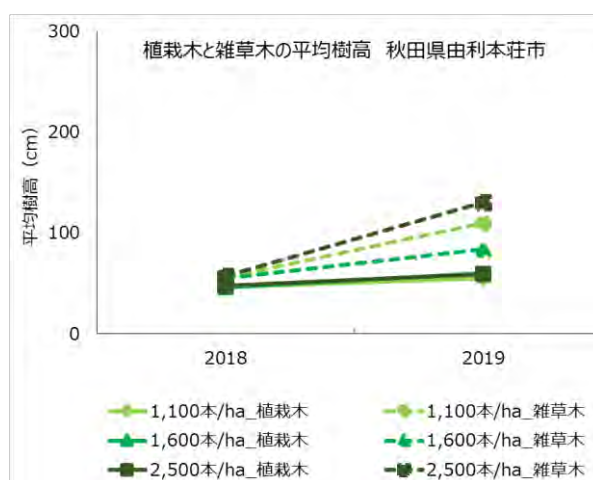


図 3-130 植栽木と雑草木の平均樹高
(秋田県由利本荘市)

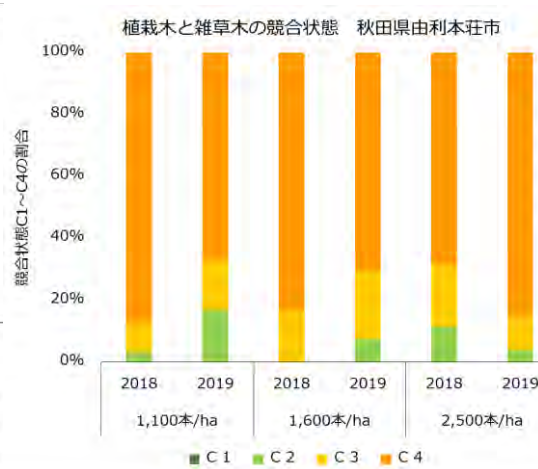


図 3-131 植栽木と雑草木の競合状態
(秋田県由利本荘市)

表 3-194 植生調査の結果（秋田県由利本荘市）

プロット	密度	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
6	1,100	低木層 （高さ1.2m以上）	ススキ クマイチゴ	20%	・タラノキ・ウワミズザクラ
		草本層 （高さ1.2m未満）	ワラビ クマイチゴ ススキ	80%	・タラノキ・オカトラノオ ・エゾアジサイ・ヤマモミジ ・ヤマユリ・ヤマウルシ・ハルニレ ・モミジイチゴ・ウワミズザクラ ・ヤマグワ・ナワシロイチゴ
4	1,600	低木層 （高さ1.2m以上）	ワラビ	5%	・クマイチゴ
		草本層 （高さ1.2m未満）	ワラビ クマイチゴ エゾアジサイ	95%	・ウワミズザクラ・モミジイチゴ ・ススキ・ヤマグワ・タニウツギ ・トリアシショウマ・ヒヨドリバナ ・イワガラミ・ミズキ・シシガシラ
2	2,500	低木層 （高さ1.3m以上）	ススキ オオイタドリ・ケイタドリ クマイチゴ	50%	ー
		草本層 （高さ1.3m未満）	ススキ オオイタドリ・ケイタドリ イ	70%	・クマイチゴ・ヨモギ・ヒヨドリバナ ・タラノキ・ドクダミ・ミヤマベニシダ ・モミジイチゴ・スゲ s p ・エゾアジサイ・ヤマグワ・ニフトコ



プロット 6



プロット 4



プロット 2

写真 3-81 植生調査プロットの状況（令和元（2019）年 7 月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-195 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-132 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 24.9 時間、1,600 本/ha 区で 22.7 時間、1,100 本/ha 区で 19.3 時間となり、植栽密度が低いほど下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた。

表 3-195 各プロットの下刈り作業時間（秋田県由利本荘市）

プロット	植栽密度(本/ha)	傾斜(度)	プロット面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間(分)	1ha当たりの下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間(分)	1ha当たりの下刈り作業時間(時間)
5	1,100	2	347.5	計測未実施		40.13	19.2
6	1,100	1	307.0			35.50	19.3
3	1,600	0	233.3			30.50	21.8
4	1,600	1	223.4			31.78	23.7
1	2,500	2	157.4			20.33	21.5
2	2,500	0	138.7			23.92	28.7

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

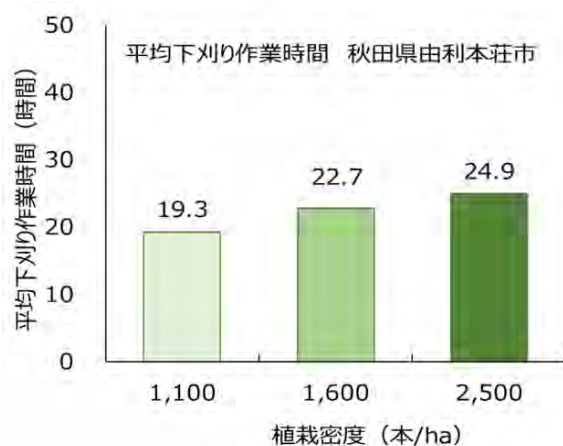


図 3-132 植栽密度別の平均下刈り作業時間（秋田県由利本荘市、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～令和元（2019）年度～

- ・刈り払い機を左右に振った距離が約 2 m のため、植栽間隔が 2 m 以下など狭いと刈りにくい。植栽間隔は最低 2 m50cm あったほうがよい。
- ・植栽間隔が一定であれば、体が覚えていくため、慣れれば下刈り作業をやりやすくなる。
- ・地拵えをしていないと地面に枝条が散乱し、地際で刈れなくなる。
- ・平らな場所だと刈った草がどこにも逃せないため、作業しにくい。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（2回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-196 のとおりである。

3,000 本/ha の 1,606,280 円と比較すると、2,500 本/ha では 1,459,097 円、1,600 本/ha では 1,170,579 円、1,100 本/ha では 968,628 円となり、3,000 本/ha と比較して 1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 43 万円（27%）、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 63 万円（40%）のコストが削減できることがわかった。

表 3-196 初期保育コスト（秋田県由利本荘市）

秋田県由利本荘市	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		97,800円	97,800円	97,800円	97,800円
苗木購入費	200円/本	600,000円	500,000円	320,000円	220,000円
植栽労務費	76円/本	228,000円	190,000円	121,600円	83,600円
シカ柵設置費		なし	なし	なし	なし
諸経費など		212,118円	212,118円	212,118円	212,118円
下刈り1年目		234,181円	229,589円	209,530円	177,555円
下刈り2年目		234,181円	229,589円	209,530円	177,555円
合計		1,606,280円	1,459,097円	1,170,579円	968,628円
コスト削減		—	9%	27%	40%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
地拵え前	植栽後（平成 29（2017）年）
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-82 実証試験地の様子（遠景、秋田県由利本荘市）

⑦ 現地写真（近景）

	
植栽後（平成 29（2017）年 11 月）	
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-83 実証試験地の様子（近景、秋田県由利本荘市）

3-4-3. 中部地方

(1) 富山県 立山町 (スギ) (No.19)

① 実証試験地の概要

平成 29 (2017) 年 12 月 5～8 日に、富山県立山町の実証試験地 (0.93ha) に 1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha の 3 つの植栽密度区を設け、無花粉スギ M スターコンテナ苗 (300～400cc) を計 1,612 本植栽した。

実証試験地の概要 (表 3-197) と位置図 (図 3-133) は以下のとおりである。

表 3-197 実証試験地の概要 (富山県立山町)

実証試験地	富山県中新川郡立山町座主坊中ノ谷			
苗木種	無花粉スギ M スターコンテナ苗 (300～400cc)			
植栽密度	1,100 本/ha	1,600 本/ha	2,500 本/ha	合計
植栽面積	0.31ha	0.31ha	0.31ha	0.93ha
植栽本数	341 本	496 本	775 本	1,612 本
気温/ 降水量 最深積雪	14.1℃ (年平均気温) / 2300.0mm (年降水量) (平年値、富山) 62cm (平年値、富山)			
標高/ 傾斜/ 方位	500～550m / 15～25° / NW			
土壌	褐色森林土			
土地所有者	富山県			
植栽実施者	立山山麓森林組合			
植栽日	平成 29 (2017) 年 12 月 5 日～8 日			



図 3-133 実証試験地の位置 (左) と実証試験地の様子 (右) (富山県立山町)

② 調査プロットの概要

3つの植栽密度区に、それぞれ2つの調査プロットを設定し、調査プロット内の植栽木、計219本（1,100本/ha：74本、1,600本/ha：70本、2,500本/ha：75本）を調査対象木とした（図3-134、表3-198）。

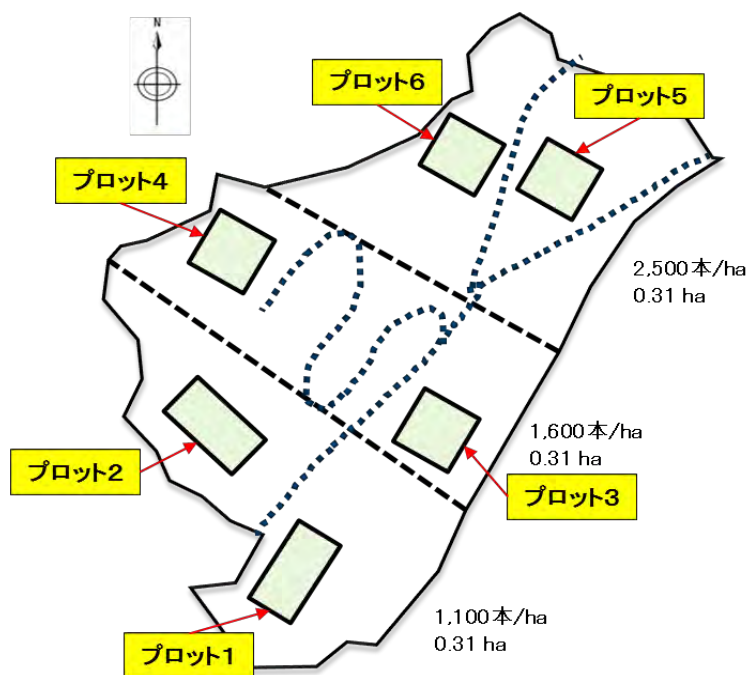


図 3-134 調査プロットの位置図（富山県立山町）

表 3-198 調査プロットの概要（富山県立山町）

植栽密度	プロット No.	プロット面積 (m ²)	調査本数	備 考
1,100 本/ha	No. 1	216.2	36 本	斜面上部に設置
	No. 2	298.6	38 本	斜面下部に設置
1,600 本/ha	No. 3	176.8	35 本	斜面上部に設置
	No. 4	220.0	35 本	斜面下部に設置
2,500 本/ha	No. 5	165.0	39 本	斜面上部に設置
	No. 6	212.4	36 本	斜面下部に設置
合計			219 本	

下刈り実施日および下刈り実施の有無は表 3-199、表 3-200 のとおりである。平成 30 (2018) 年および令和元 (2019) 年ともに、全ての調査プロットで下刈りを実施した。

表 3-199 下刈りの実施日（富山県立山町）

年度	下刈り実施日
平成 29 (2017)	— (植栽年)
平成 30 (2018)	7 月 27～29 日
令和 元 (2019)	8 月 29 日
下刈り実施者	細木建設株式会社

表 3-200 下刈り実施の有無（富山県立山町）

植栽密度	プロット No.	H30 (2018) ～ R 元 (2019) 下刈り
1,100 本/ha	No. 1	有
	No. 2	有
1,600 本/ha	No. 3	有
	No. 4	有
2,500 本/ha	No. 5	有
	No. 6	有

③ 追跡調査結果

夏季調査および秋冬季調査の実施日は表 3-201 のとおりである。

表 3-201 調査実施日（富山県立山町）

年度	夏季調査	秋冬季調査
平成 29（2017）	—	—
平成 30（2018）	平成 30（2018）年 6 月 9 日	平成 30（2018）年 11 月 6 日
令和 元（2019）	令和 元（2019）年 8 月 5 日	令和 元（2019）年 10 月 1 日

【活着率、生存率、枯死率および枯死原因】

植栽直後から令和元（2019）年度までの各調査プロットの植栽木の生存および枯死の状況は表 3-202 のとおりである。

活着率（植栽翌年の生存率）は、どの調査プロットも約 90%以上と高い数値を示し、植栽密度間でほとんど変わらなかった。

令和元（2019）年時点での生存率は、2,500 本/ha 区のプロット 6 で低くなっているが、局地的な雑草の繁茂による被圧の影響のほか、根抜けによる枯死については雪害や凍上害などの気象害の可能性があり、植栽密度によるものとは考えにくい。

表 3-202 活着率、生存率、枯死率および枯死原因（富山県立山町）

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)			活着率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)
			H30(2018)	R元(2019)	合計			
1	1,100	36	0	1（消失）	1	100.0	97.2	2.8
2	1,100	36	0	2（枯れ2）	2	100.0	94.4	5.6
3	1,600	35	0	1（枯れ）	1	100.0	97.1	2.9
4	1,600	35	1（根抜け）	1（誤伐）	2	97.1	94.3	5.7
5	2,500	39	0	0	0	100.0	100.0	0.0
6	2,500	34	4（枯れ3 ・根抜け1）	4（枯れ4）	8	88.2	76.5	23.5

※活着率は植栽翌年の数値である

※生存率は令和元（2019）年度時点の数値である

【成長状況】

植栽直後から令和元（2019）年度までの植栽木の成長状況は表 3-203、図 3-135、図 3-136 および写真 3-84 のとおりである。

成長状況を植栽密度間で比較したところ、平均樹高、平均胸高直径ともに植栽密度間で大きな差が見られなかった。またどの植栽密度も植栽後2年が経過した平均樹高が 50cm 以下と小さく、雑草木による被圧が影響している可能性がある。

本実証試験地は未だ林冠閉鎖に至っていないため、植栽密度が植栽木の成長に影響を及ぼすことは考えにくい。

表 3-203 植栽木の成長状況（富山県立山町）

1,100本/ha				
富山県立山町		H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	31.5±7	32.9±7	42.2±11.8
	最小値	18.0	15.3	18.1
	最大値	51.6	51.5	73.9
地際直径(cm)	平均値		0.5±0.1	0.8±0.2
	最小値		0.3	0.5
	最大値		0.8	1.5
形状比	平均値		63.5±13.1	57.4±15.2
	最小値		31.9	25.1
	最大値		91.8	82.4
1,600本/ha				
富山県立山町		H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	30.1±6.2	36.4±8.1	47.4±15.8
	最小値	19.0	20.8	24.9
	最大値	46.2	57.1	111.0
地際直径(cm)	平均値		0.6±0.1	0.8±0.2
	最小値		0.4	0.3
	最大値		0.8	1.3
形状比	平均値		62.3±11.8	60.3±13.1
	最小値		34.1	23.9
	最大値		90.0	88.1
2,500本/ha				
富山県立山町		H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)
樹高 (cm)	平均値	29.8±6.5	31.1±7.9	33.3±8.8
	最小値	18.0	20.0	15.2
	最大値	49.5	54.3	54.9
地際直径(cm)	平均値		0.5±0.1	0.6±0.2
	最小値		0.3	0.3
	最大値		0.8	1.3
形状比	平均値		69±13.8	58.6±17.2
	最小値		37.2	11.7
	最大値		97.9	98.9

※平均値の項目において、±の後の数値は標準偏差を示す

※植栽時初期値（樹高のみ。地際直径は不明。）



図 3-135 植栽木の平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（富山県立山町）

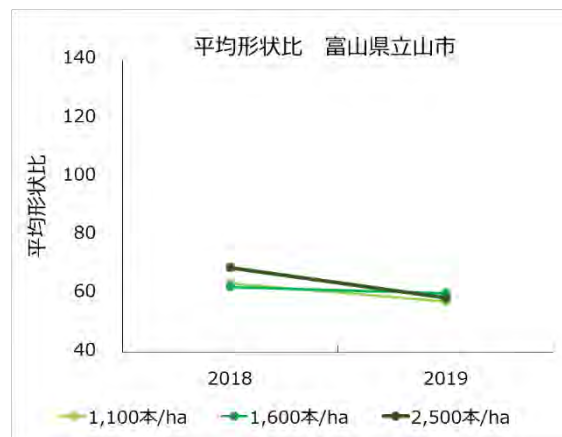


図 3-136 植栽木の形状比の推移（富山県立山町）



写真 3-84 1,100 本/ha 区の状況（令和元（2019）年 10 月）

【雑草木との競合関係】

植栽木と雑草木の平均樹高の調査結果を図 3-137 に、競合状態の調査結果を図 3-138 に示す。また令和元（2019）年における植生調査の結果を表 3-204、写真 3-85 に示す。

植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高の比較をしたところ、2,500 本/ha 区の雑草木の平均樹高が若干高いものの、どの植栽密度区も植栽木より雑草木の樹高成長が早く、現時点では植栽木が競争に負け、雑草木に被圧されている。

植栽木と雑草木の競合状態を比較したところ、令和元（2019）年の時点でどの植栽密度区も競合状態 C3 + C4 の割合が 80%以上だった。特に 1,600 本/ha 区と 2,500 本/ha 区では競合状態 C3 + C4 の割合が 10 割に達しており、ほとんどの植栽木が雑草木に埋もれている状況だった。

雑草木の種組成については、ススキやモミジイチゴなどのキイチゴ類が見られ、植栽密度間で大きな差は見られなかった。

以上より、どの植栽密度区も植栽木が雑草木の平均樹高より低く、競合状態 C3 + C4 の割合も高いため、植栽後 2 年が経過した現時点での下刈りの終了の判断は、植栽密度にかかわらず難しい。

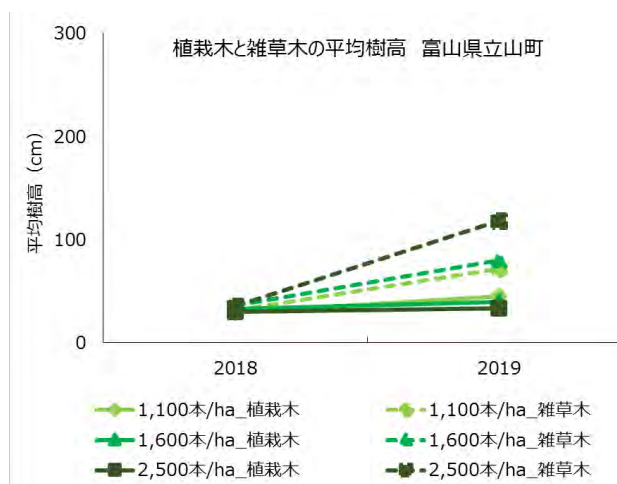


図 3-137 植栽木と雑草木の平均樹高
(富山県立山町)

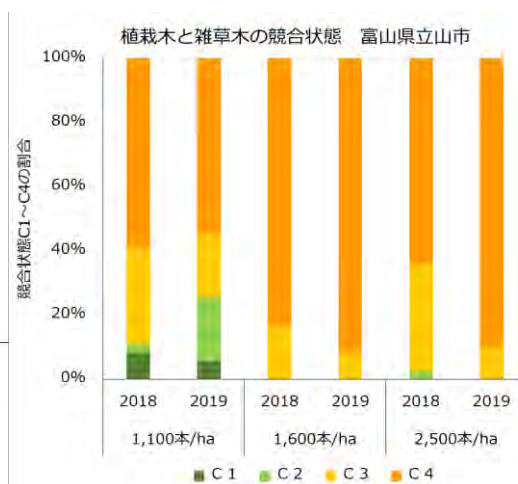


図 3-138 植栽木と雑草木の競合状態
(富山県立山町)

表 3-204 植生調査の結果（富山県立山町）

プロット	密度	区分	R元（2019）		
			主な優占種	植被率	その他：特徴的な出現種
1	1,100	低木層 （高さ1.2m以上）	ススキ タケニグサ	10%	－
		草本層 （高さ1.2m未満）	モミジイチゴ チシマザサ	85%	・ススキ・クサギ・ヤマアジサイ ・クマイチゴ・ヌルデ・ウワミズザクラ ・ムラサキシキブ・タラノキ
3	1,600	低木層 （高さ1.1m以上）	ススキ	5%	・ホオノキ
		草本層 （高さ1.1m未満）	モミジイチゴ ササSp. クサギ	90%	・クマイチゴ・ススキ・タラノキ ・ヤマアジサイ・アカメガシワ ・ヤマウルシ・ムラサキシキブ ・ヒヨドリバナ・シダSp.・チシマザサ
5	2,500	低木層 （高さ0.8m以上）	ススキ モミジイチゴ	40%	・タケニグサ・ヤマアジサイ・クマイチゴ
		草本層 （高さ0.8m未満）	モミジイチゴ ヤマアジサイ	60%	・クマイチゴ・ササSp.・クサギ ・ススキ・シダSp.・ヒヨドリバナ ・オカトラノオ・タラノキ ・ムラサキニガナ・ヌルデ ・ウワミズザクラ



プロット1



プロット3



プロット5

写真 3-85 植生調査プロットの状態（令和元（2019）年7月）

④ 下刈り実証調査結果

【下刈り作業時間の計測結果】

各調査プロットにおける下刈り作業時間の計測結果を表 3-205 に、植栽密度別にまとめた結果を図 3-139 に示す。

ヘクタールあたりの下刈り作業時間に換算して比較したところ、2,500 本/ha 区で 26.1 時間、1,600 本/ha 区で 20.1 時間、1,100 本/ha 区で 24.5 時間となった。1,600 本/ha 区ではかよりも下刈り作業時間が短くなったものの、1,100 本/ha 区と 2,500 本/ha 区の間にほとんど差はなかったことから、植栽密度と下刈り作業時間の間に特に傾向は見られなかったといえる。

表 3-205 各プロットの下刈り作業時間（富山県立山町）

プロット	植栽密度(本/ha)	傾斜(度)	プロット面積 (㎡)	H30(2018)		R元(2019)	
				下刈り作業時間(分)	1ha当たりの下刈り作業時間(時間)	下刈り作業時間(分)	1ha当たりの下刈り作業時間(時間)
1	1,100	37	216.2	計測未実施		25.53	19.7
2	1,100	36	298.6			50.15	28.0
3	1,600	29	176.8			24.17	22.8
4	1,600	32	220.0			23.63	17.9
5	2,500	32	165.0			24.82	25.1
6	2,500	45	212.4			34.28	26.9

※棒グラフは、各実証試験地において最も下刈りに時間がかかった調査プロットを 100%としたときの、各調査プロットにおける割合を示す。

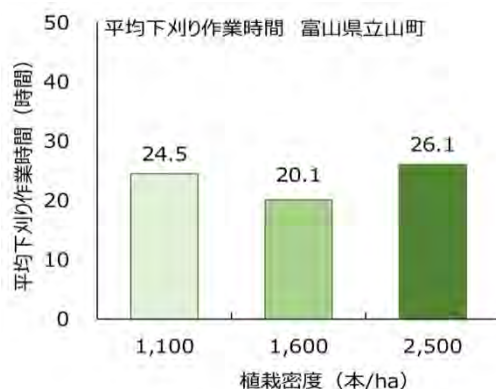


図 3-139 植栽密度別の平均下刈り作業時間（富山県立山町、ヘクタールあたり）

【下刈り作業におけるヒアリング結果】

下刈り実施後に現場作業員へヒアリングを行った。結果の概要は以下のとおりである。

～令和元（2019）年度～

- ・ 植栽間隔に慣れるのに時間がかかった。

⑤ 植栽密度別の初期保育コスト分析結果

【初期保育コスト】

地拵えから令和元（2019）年の下刈り（2回目）までのヘクタールあたり初期保育コストは表 3-206 のとおりである。

3,000 本/ha の 3,364,918 円と比較すると、2,500 本/ha で 3,107,942 円、1,600 本/ha で 2,533,655 円、1,100 本/ha で 2,385,222 円となり、3,000 本/ha とヘクタールあたりで比較すると、2,500 本/ha で約 25 万円（8%）、1,600 本/ha で約 83 万円（25%）、1,100 本/ha で約 97 万円（29%）のコスト削減ができることがわかった。

本実証試験地は無花粉Mスターコンテナ苗を植栽しており、苗木単価は1本あたり 370 円と高く、通常のスギコンテナ苗と比べて苗木購入費が多くかかった。その分、低密度植栽によるコスト削減効果は大きく、苗木購入費を 3,000 本/ha と比較すると、2,500 本/ha ではヘクタールあたり約 19 万円、1,600 本/ha ではヘクタールあたり約 52 万円、1,100 本/ha ではヘクタールあたり約 70 万円の削減となった。

表 3-206 初期保育コスト（富山県立山町）

富山県立山町	単価	3,000本/ha	2,500本/ha	1,600本/ha	1,100本/ha
地拵え費		400,000円	400,000円	400,000円	400,000円
苗木購入費	370円/本	1,110,000円	925,000円	592,000円	407,000円
植栽労務費	121円/本	363,000円	302,500円	193,600円	133,100円
シカ柵設置費		なし	なし	なし	なし
諸経費など		906,628円	906,628円	906,628円	906,628円
下刈り1年目		292,645円	286,907円	220,714円	269,247円
下刈り2年目		292,645円	286,907円	220,714円	269,247円
合計		3,364,918円	3,107,942円	2,533,655円	2,385,222円
コスト削減		—	8%	25%	29%

※「地拵え費」、「苗木購入費」、「植栽労務費」は実際に掛かったコストである

※「諸経費など」には資材費、森林保険料を含む

※下刈りコストは、④下刈り実証調査結果を基に算出した

⑥ 現地写真（遠景）

	
地拵え前（平成 29（2017）年）	植栽後（平成 29（2017）年）
	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-86 実証試験地の様子（遠景、富山県立山町）

⑦ 現地写真（近景）

	
平成 30（2018）年 7 月	平成 30（2018）年 10 月
	
令和元（2019）年 7 月	令和元（2019）年 10 月

写真 3-87 実証試験地の様子（近景、富山県立山町）

3-5. 実証試験地での実施結果まとめ

平成 27 (2015) 年度から平成 29 (2017) 年度に植栽された全 19 箇所の実証試験地の調査結果を、植栽密度別に取りまとめた。結果を以下に示す。

【活着率（植栽木の植栽翌年における生存率）】

各植栽密度における、活着率ごとの調査プロット数の割合を図 3-140 に示す。全 19 箇所の実証試験地のうち、約 9 割の調査プロットにおいて活着率は 80%以上であり、その多くが 90%以上であった。また、植栽密度による大きな差は見られなかった。このことから、植栽密度の違いが植栽木の活着率に影響を与えることは無いと考えられる。



図 3-140 各植栽密度における活着率ごとの調査プロット数の割合

【植栽木の生存率】

令和元 (2019) 年度時点における、各樹種の植栽密度ごとの平均生存率を図 3-141 に示す。なお、各植栽密度について同じ条件で比較するために、3つの植栽密度区(1,100 本/ha、1,600 本/ha、2,500 本/ha)を設定した実証試験地（スギ：宮城県登米市、宮崎県椎葉村、茨城県日立市、宮崎県都城市、秋田県由利本荘市、富山県立山町の 6 箇所。ヒノキ：茨城県日立市、岡山県吉備中央町、高知県四万十町、長崎県東彼杵町の 4 箇所。カラマツ：北海道下川町、岩手県盛岡市、岐阜県高山市の 3 箇所。）のデータのみを採用している。

カラマツの生存率が全体的に低く、またスギとカラマツの 1,100 本/ha 区で生存率が低くなっているが、これは秋田県由利本荘市のスギ実証試験地や岐阜県高山市、北海道下川町のカラマツ実証試験地などの生存率の低い一部の調査プロットが影響しており、これらの調査プロットでは局所的な雑草の繁茂や獣害の発生など、植栽密度以外の要因により生存率が低下したと考えられた。その他については、植栽密度間で生存率に大きな差は見られなかった。

以上より、植栽密度が植栽木の生存率（植栽後 4 年程度まで）に影響を与えることはないと考えられる。

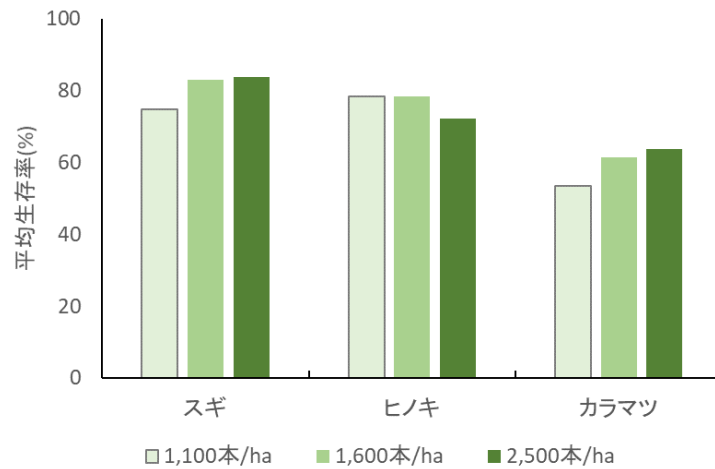


図 3-141 各樹種における植栽密度ごとの平均生存率

【植栽木の成長量】

平成 27（2015）年度に植栽した実証試験地における植栽木の平均樹高ならびに平均地際直径を、植栽密度ごとに整理し成長量の推移を表したものを図 3-142 から図 3-144 に示す。

スギの成長量について、1,100 本/ha 区でほかの植栽密度区よりも低くなっているが、平成 27（2015）年度にスギを植栽した 4 箇所の実証試験地のうち、1,100 本/ha 区を設定したのは 2 箇所（宮城県登米市、宮崎県椎葉村）であり、ほかの 2 箇所と比べ成長量が悪かったことが大きく影響したと考えられる。その他の樹種については、植栽密度間で大きな差は見られなかった。

既往文献などでは、低密度植栽では特に直径成長が促進されるという報告があるが、本事業の実証試験ではそういった傾向は見られなかった。植栽密度間で直径成長に差が出てくるのは、林冠閉鎖した後と考えられる。

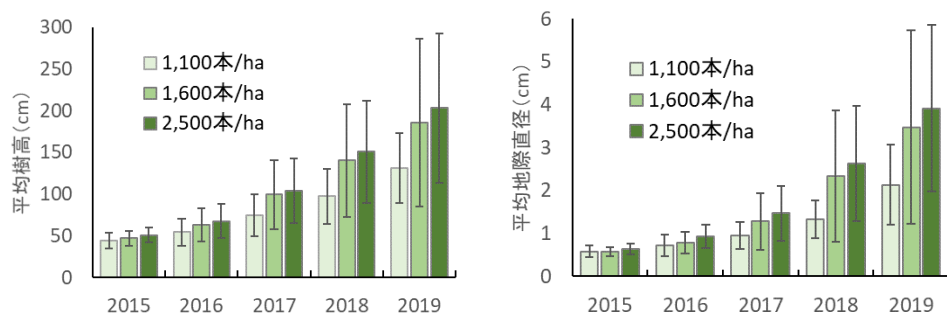


図 3-142 各植栽密度におけるスギの平均樹高の推移

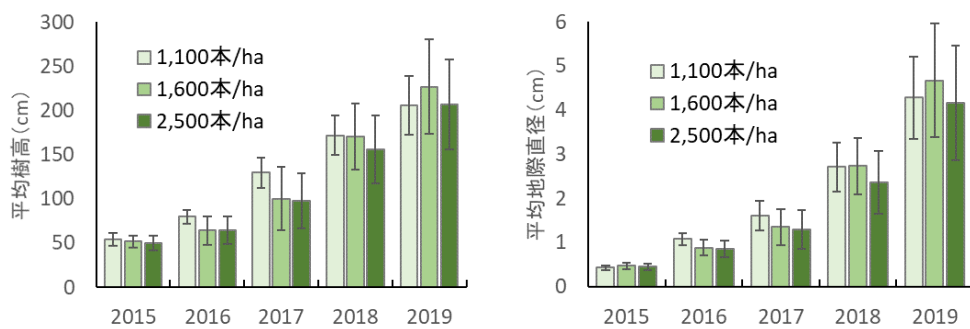


図 3-143 各植栽密度におけるヒノキの平均樹高の推移

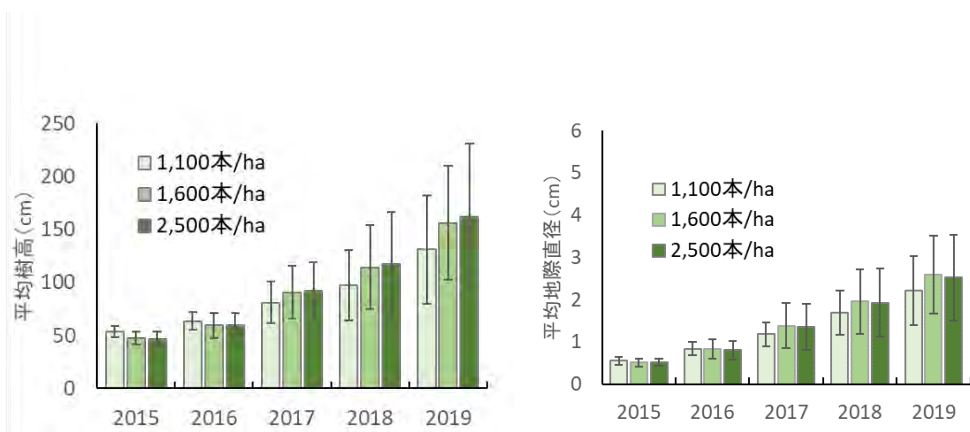


図 3-144 各植栽密度におけるカラマツの平均樹高の推移

【植栽密度と下刈り回数】

低密度植栽では植栽間隔が広くなり林冠閉鎖が遅れるため、通常密度の植栽と比較して下刈り回数が増えるのではないかという懸念がある。そこで19箇所の実証試験地について、夏季（下刈り前）における植栽木と雑草木の平均樹高を比較した。また、植栽木と雑草木の競合状態について、山川ほか（2016）の判断基準を用いてC1～C4の4つのカテゴリに分類（24 ページ）した。さらに、各植栽密度区において雑草木の種組成を調査した。

これらの調査結果から、低密度植栽区と通常密度の植栽区で下刈り終了までの回数に違いが生じるかについて分析したところ、実証試験地によって以下の2つに分類できた。

① 低密度植栽区と通常密度の植栽区の両方とも、下刈りが令和元（2019）年度あるいは令和2（2020）年度の段階で終了できると考えられた実証試験地

- ・岩手県紫波町 （平成 27（2015）年度植栽、カラマツ）→4 回目の下刈りで終了
（初回の下刈りを省略）
- ・長崎県大村市 （平成 27（2015）年度植栽、ヒノキ）→5 回目の下刈りで終了
- ・熊本県美里町 （平成 27（2015）年度植栽、スギ）→4 回目の下刈りで終了
（初回の下刈りを省略）
- ・鹿児島県薩摩川内市（平成 27（2015）年度植栽、スギ）→4 回目の下刈りで終了
- ・宮崎県都城市 （平成 28（2016）年度植栽、スギ大苗）→2 回目の下刈りで終了
（初回の下刈りを省略）

② 低密度植栽区と通常密度の植栽区の両方とも、令和元（2019）年度の時点では下刈り終了の判断が難しい実証試験地

- ・岩手県盛岡市 （平成 27（2015）年度植栽、カラマツ）
- ・岩手県葛巻町 （平成 27（2015）年度植栽、カラマツ）
- ・宮城県登米市 （平成 27（2015）年度植栽、スギ）
- ・三重県大紀町 （平成 27（2015）年度植栽、ヒノキ）
- ・長崎県東彼杵町 （平成 27（2015）年度植栽、ヒノキ）
- ・宮崎県椎葉村 （平成 27（2015）年度植栽、スギ）
- ・茨城県日立市 （平成 28（2016）年度植栽、ヒノキ）
- ・茨城県日立市 （平成 28（2016）年度植栽、スギ）
- ・岐阜県高山市 （平成 28（2016）年度植栽、カラマツ）
- ・岡山県吉備中央町 （平成 28（2016）年度植栽、ヒノキ）
- ・高知県四万十町 （平成 28（2016）年度植栽、ヒノキ）
- ・北海道下川町 （平成 29（2017）年度植栽、カラマツ）
- ・秋田県由利本荘市 （平成 29（2017）年度植栽、スギ）
- ・富山県立山町 （平成 29（2017）年度植栽、スギ）

以上の調査結果から、19箇所の実証試験地のうち5箇所（岩手県紫波町、長崎県大村市、熊本県美里町、鹿児島県薩摩川内市、宮崎県都城市）において、どの植栽密度区も令和元（2019）年度あるいは令和2（2020）年度で下刈りを終了できると判断した。これらの実証試験地では、低密度植栽区も通常密度の植栽区と同じ下刈り回数で終了できると考えられた。

一方で、残りの14箇所の実証試験地（岩手県盛岡市、岩手県葛巻町、宮城県登米市、三重県大紀町、長崎県東彼杵町、宮崎県椎葉村、茨城県日立市（ヒノキ）、茨城県日立市（スギ）、岐阜県高山市、岡山県吉備中央町、高知県四万十町、北海道下川町、秋田県由利本荘市、富山県立山町）では、現時点で下刈りが終了できるかどうかまだ判断できなかった。ただし、これらの実証試験地では植栽木と雑草木の競合関係は概ね同じ傾向を示しており、現時点で下刈り終了の可能性が植栽密度により変わるような事例は見られなかった。

このように、本事業の実証試験では植栽密度の違いによって競合関係に違いが見られない事例が多く、これらの実証試験地では現時点で低密度の植栽地と通常密度の植栽地で下刈り回数は変わらないと考えられた。

【初期保育コスト】

低密度植栽をすることにより、どの程度コストを削減できるかを評価するため、実証試験地ごとに地拵えから令和元（2019）年の下刈り作業までにかかった費用を算出し、通常の植栽密度である 3,000 本/ha（カラマツは 2,500 本/ha）と比較した(表 3-207)。

調査の結果、ほとんどの実証試験地において、通常の植栽密度と比べ 1,600 本/ha 区では約 70～90%、1,100 本/ha 区では約 60～80%程度のコスト削減が可能であることが分かった。ただし、シカ柵の設置や下刈り作業にコストが大きくなってしまうような実証試験地では、低密度植栽によるコスト削減が進まない可能性があることも分かった。

表 3-207 実証試験地における植栽密度別初期保育コスト

苗種	地域	実証試験地	植栽	各植栽密度(本/ha)でのコスト割合			
			年月	3,000	2,500	1,600	1,100
スギ	東北地方	宮城県登米市	H27(2015).12	100%	94%	71%	63%
	東北地方	秋田県由利本荘市	H29(2017).11	100%	91%	73%	60%
	関東地方	茨城県日立市	H28(2016).10	100%	94%	82%	72%
	中部地方	富山県立山市	H29(2017).12	100%	92%	75%	71%
	九州地方	熊本県美里町	H28(2016).2	100%	93%	88%※2	
	九州地方	宮崎県椎葉村※1	H28(2016).2	100%	95%	83%	84%※3
	九州地方	鹿児島県薩摩川内市※1	H27(2015).12	100%	96%	92%	
スギ大苗	九州地方	宮崎県都城市※1	H29(2017).1	100%	95%		
				100%	93%	82%	75%
ヒノキ	関東地方	茨城県日立市	H28(2016).11	100%	94%	84%	75%
	近畿・中国地方	三重県大紀町※1	H28(2016).2	100%	96%	100%※3	
	近畿・中国地方	岡山県吉備中央町	H28(2016).12	100%	92%	70%	65%
	四国地方	高知県四万十町	H29(2017).2	100%	92%	78%	73%
	九州地方	長崎県大村市	H28(2016).1	100%	94%	77%	
	九州地方	長崎県東彼杵町	H28(2016).1	100%	94%	66%	59%
カラマツ	北海道地方	北海道下川町	H29(2017).11		100%	92%	77%
	東北地方	岩手県紫波町	H27(2015).12		100%	82%	
	東北地方	岩手県盛岡市	H27(2015).12		100%	84%	76%
	東北地方	岩手県葛巻町	H27(2015).11		100%	81%	
	中部地方	岐阜県高山市※	H28(2016).10		100%	81%	73%

※1 シカ柵を設置した実証試験地

※2 1,700 本/ha

※3 下刈りに時間がかかったため、コスト割合が高くなった実証試験地

4. 実証調査データを用いた各種分析について

4-1. 樹高成長量への影響解析

本事業において全国 19 箇所で行われた実証試験のデータを用い、低密度植栽をすることにより植栽木の初期における樹高成長がどのような影響を受けるのかを調査、分析した。その結果、植栽密度間で樹高成長に差が見られる実証試験地が存在した。しかしながら、植栽密度は一般的に植栽木の樹高成長に影響を与えないとされているため、斜面方位や雑草木との競合状態など、その他の要因が影響している可能性がある。

そこで、これまでの調査で得られた各実証試験地のデータを利用し、植栽木の樹高成長が植栽密度に影響を受けているのか、また植栽密度以外にどのような要因に影響を受けているかを解析・評価した。

4-1-1. 解析方法

地域ごとに成長期¹に対する樹高成長量を線形回帰モデルにより解析したところ、図 4-1 に示すように、植栽密度よりも地域によって樹高成長速度（傾き）や平均樹高成長量（切片）が大きく異なった。単純な線形回帰モデルでは、植栽密度による影響を抽出できないことがわかったため、「一般化線形混合モデル（Generalized Linear Mixed Models）」²を用いて、地域ごとの樹高成長量の違いを考慮しながら、『樹高成長量』がどの要因に影響を受けているのかを解析した。

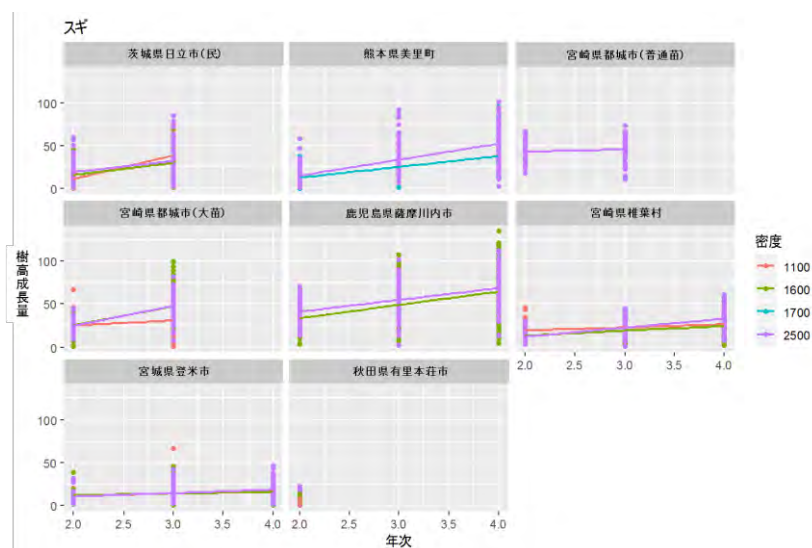


図 4-1 スギの植栽年次と樹高成長量の地域ごとの線形回帰

¹ 成長期は、植栽後 n 年目を意味する。また、樹高成長量は、 n 年目の成長期の樹高－ $n+1$ 年目の樹高で計算する。

²、固定効果（fixed effect）と変量効果（random effect）を共に含む線形の統計学的モデル

解析を行うにあたり、目的変数は「樹高成長量」とし、誤差構造を正規分布と仮定した。説明変数は、「植栽密度」、「斜面方位」、「前年度形状比」、「成長期」、「植栽木と雑草木の競合状態 C1～C4（以下「競合状態」とする）」とした。さらに地域ごとの樹高成長の速度の違いを考慮するため、ランダム効果として、「地域における植栽年次の樹高成長量」をランダム傾き効果とした。さらに繰り返し同じ個体を計測しているため、反復計測の影響を考慮する必要がある。そこで、「個体 ID」をランダム切片効果とした。統計モデルで示すと下の式で表される。

$$\text{樹高成長量} \sim \text{植栽密度} + \text{斜面方位} + \text{前年度形状比} + \text{成長期} + \text{競合状態} \\ + (1 + \text{成長期} | \text{地域}) + (1 | \text{個体 ID})$$

作成したモデルは、Satterthwaite による自由度推定法を用いたワルド検定を用いて、後方ステップワイズ法による変数選択を行い、最善モデルを選択した。

データの利用に際しては、枯死・消失、誤伐、先端折れ、食害などの不健全木、またマイナス成長等が見られる例外的な個体は樹高成長量を正確に算出できないため除外し、健全木の個体のデータのみを利用した。なお、競合状態の調査は一部の調査プロットでのみ行ったため、解析は全ての調査プロット（以下、「健全個体データ」とする）および競合状態の調査を行った調査プロット（以下、「競合状態データ」とする）に分けて行った。

解析にあたっては、R³ (ver3.5.2) および R の追加パッケージ lmerTest⁴を利用した。上述のデータの利用構造は、図 4-2 のとおりである。

³ R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

⁴ Kuznetsova A, Brockhoff PB, Christensen RHB (2017). “lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models.” *Journal of Statistical Software*, **82**(13), 1–26.

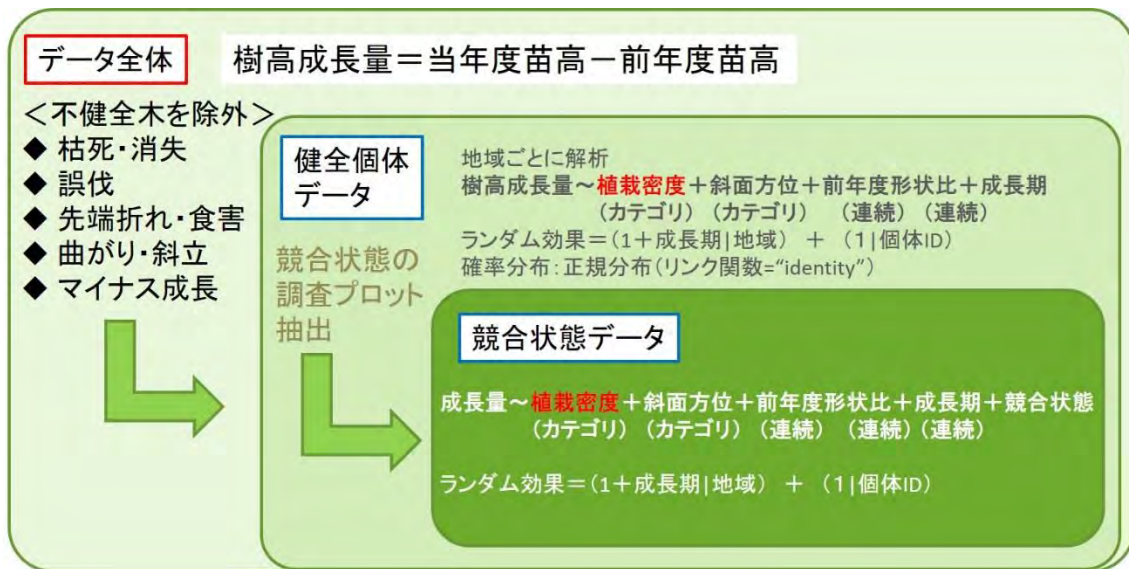


図 4-2 解析データの利用構造解析結果

4-1-2. 健全個体データを用いた解析結果

健全個体データを用いて解析した一例（岩手県紫波町）を表 4-1 に示す。項目（緑枠）は「樹高成長量に影響がある」として選択された項目、推定値（赤枠）はその影響の大きさ（数値）と方向（±）、P 値（青枠）は変数の有意性を示している。この解析手法を 19 箇所全ての実証試験地に用い、樹種ごとに分析を行った。

表 4-1 健全個体データを用いた解析結果の一例

1. 岩手県紫波町					
項目	推定値	推定値の標準誤差	T値	自由度	P値
切片	0.929	0.061	15.3	375.3	0.000
植栽密度	0.000	0.000	2.0	127.3	0.049
前年度形状比	-0.005	0.000	-11.6	563.3	0.000
成長期	-0.111	0.008	-13.9	507.3	0.000

□ : 効果のある項目

□ : 効果の方向と大きさ
※数値が大きければ効果は大きい
※+ - は効果の方向を示す

□ : P値 (P<0.05なら有意差あり)

- ・ 項目：モデル選択により選択された、樹高成長量に影響がある要因。
- ・ 推定値：モデル分析により計算された、樹高成長量に対しての影響の大きさ。値の正負は影響の方向を示しており、正は樹高成長量を高める効果、負は樹高成長量を低くする効果。絶対値は、影響の大きさを示す。
- ・ 斜面方位：カテゴリ変数であるため、E（東斜面）を基準（切片）にしてそれぞれの項目が正か負の影響を示している。
- ・ 植栽密度：1,100 本/ha を基準（切片）にしている。
- ・ 前年度形状比：連続変数であるため、単純に推定値の絶対値が樹高成長量に対する影響

の大きさを表す。

- ・ P 値：モデル分析によりそれぞれの項目の T 値と自由度を計算し、そこで求められる P 値から推定値の有意性を検定。P<0.05 であれば有意差があるとした。

(1) スギの解析結果（健全個体データ）

スギの健全個体データを用いて解析した結果を表 4-2 に、スギの樹高成長量に影響を与えていた要因を表 4-3 に示す。

秋田県由利本荘市を除く全ての実証試験地に共通して前年度形状比が挙げられた。このことは、スギの前年度形状比は樹高成長量に影響を与えたことを示している。

また、3 箇所の実証試験地（宮崎県椎葉村、秋田県由利本荘市、富山県立山町）において植栽密度が樹高成長量に影響を与えているという解析結果が出た。ただし推定値は非常に 0 に近く、植栽密度の影響は少ないと考えられる。

以上より、スギの健全個体データを用いた解析では、主に前年度形状比が樹高成長量に影響を与えていることが分かった。

表 4-2 解析結果の一覧（スギ）

地域	項目		推定値	推定値の 標準誤差	T値	自由度	P値
宮城県登米市	切片		0.408	0.051	8.0	232.6	0.000
	前年度形状比		-0.002	0.001	-3.1	236.0	0.002
熊本県美里町	切片		0.638	0.026	24.8	573.0	0.000
	前年度形状比		-0.005	0.000	-13.6	573.0	0.000
宮崎県椎葉村	切片		0.537	0.040	13.5	606.0	0.000
	植栽密度		0.000	0.000	-3.1	606.0	0.002
	斜面方位	南西	0.059	0.028	2.1	606.0	0.034
		西北西	-0.018	0.011	-1.7	606.0	0.094
		西南西	0.084	0.028	3.0	606.0	0.003
	前年度形状比		-0.002	0.000	-6.4	606.0	0.000
鹿児島県薩摩川内市	切片		0.912	0.041	22.0	573.0	0.000
	前年度形状比		-0.003	0.000	-7.4	573.0	0.000
	成長期（年度）		-0.100	0.006	-16.3	573.0	0.000
茨城県日立市	切片		0.472	0.069	6.8	351.0	0.000
	前年度形状比		-0.002	0.001	-3.4	351.0	0.001
	成長期（年度）		0.045	0.014	3.1	351.0	0.002
宮崎県都城市	切片		0.681	0.024	28.3	343.0	0.000
	前年度形状比		-0.004	0.000	-13.9	343.0	0.000
秋田県由利本荘市	切片		-0.371	0.064	-5.8	100.9	0.000
	植栽密度		0.000	0.000	3.2	55.0	0.002
	成長期（年度）		0.302	0.025	12.0	56.0	0.000
富山県立山町	切片		0.547	0.096	5.7	83.0	0.000
	植栽密度		0.000	0.000	-2.2	80.3	0.032
	前年度形状比		-0.002	0.001	-1.8	80.9	0.072
全体	切片		0.486	0.069	7.0	3.7	0.003
	斜面方位	東北東	-0.001	0.013	-0.1	3053.3	0.922
		東南東	0.040	0.014	2.9	3053.4	0.004
		水平	0.316	0.102	3.1	4.3	0.033
		北東	0.002	0.096	0.0	3.5	0.985
		北西	0.098	0.076	1.3	3.6	0.271
		南西	0.152	0.077	2.0	4.0	0.123
		南西	0.078	0.076	1.0	3.6	0.365
		西	0.155	0.096	1.6	3.4	0.194
		西北西	0.074	0.076	1.0	3.7	0.389
		西南西	0.101	0.077	1.3	3.8	0.261
	前年度形状比		-0.003	0.000	-17.2	3039.9	0.000

表 4-3 樹高成長量に影響を与えた要因（スギ）

影響を与えた要因	宮城県 登米市	熊本県 美里町	宮崎県 椎葉村	鹿児島県 薩摩川内市	茨城県 日立市	宮崎県 都城市	秋田県 由利本荘市	富山県 立山町	全体
植栽密度			○				○	○	
斜面方位			○						○
前年度形状比	○	○	○	○	○	○		○	○
成長期（年度）				○	○		○		

(2) ヒノキの解析結果（健全個体データ）

ヒノキの健全個体データを用いて解析した結果を表 4-4 に、ヒノキの樹高成長量に影響を与えていた要因を表 4-5 に示す。

全ての実証試験地に共通して前年度形状比が挙げられた。このことは、ヒノキの前年度形状比が樹高成長量に影響を与えたことを示している。

また、2箇所の実証試験地（長崎県東彼杵町、茨城県日立市）において植栽密度が樹高成長量に影響を与えているという解析結果が出た。ただし推定値は非常に0に近く、植栽密度による影響は少ないと考えられる。なお、茨城県日立市については、場所により立地環境や雑草木の繁茂状況が大きく異なるため、そのようなモデルに組み込めなかった要因の影響によって差が生じていると考えられる。また長崎県東彼杵町についても、未だ林冠閉鎖に至っていないため植栽密度による影響とは考えにくく、立地環境の違いなど、ほかの要因が考えられる。

さらに、三重県大紀町を除く全ての実証試験地で成長期が挙げられた。このことは、これらの実証試験地では成長期ごとに樹高成長量に差が見られたことを示している。

以上より、ヒノキの健全個体データを用いた解析では、主に前年度形状比と成長期が樹高成長量に影響を与えていたことが分かった。

表 4-4 解析結果の一覧（ヒノキ）

地域	項目		推定値	推定値の 標準誤差	T値	自由度	P値
三重県大紀町	切片		0.701	0.141	5.0	29.8	0.000
	前年度形状比		-0.005	0.002	-3.1	29.5	0.004
長崎県大村市	切片		0.719	0.054	13.4	349.0	0.000
	前年度形状比		-0.002	0.000	-5.1	349.0	0.000
	成長期		-0.049	0.008	-6.1	349.0	0.000
長崎県東彼杵町	切片		0.855	0.029	29.2	548.0	0.000
	植栽密度		0.000	0.000	-2.0	548.0	0.043
	前年度形状比		-0.003	0.000	-15.1	548.0	0.000
	成長期		-0.109	0.005	-21.7	548.0	0.000
茨城県日立市	切片		0.855	0.029	29.2	548.0	0.000
	植栽密度		0.000	0.000	-2.0	548.0	0.043
	前年度形状比		-0.003	0.000	-15.1	548.0	0.000
	成長期		-0.109	0.005	-21.7	548.0	0.000
岡山県吉備中央町	切片		0.034	0.122	0.3	300.0	0.778
	前年度形状比		0.003	0.001	3.6	300.0	0.000
	成長期		0.061	0.029	2.1	300.0	0.033
高知県四万十町	切片		0.878	0.086	10.2	150.0	0.000
	前年度形状比		-0.003	0.001	-5.1	150.0	0.000
	成長期		-0.112	0.017	-6.6	141.0	0.000
全体	切片		0.626	0.061	10.3	11.3	0.000
	斜面方位	北	0.004	0.056	0.1	6.3	0.942
		北東	-0.043	0.048	-0.9	195.8	0.373
		北西	0.048	0.033	1.5	1563.6	0.145
		南	0.043	0.053	0.8	9.0	0.439
		南東	-0.004	0.053	-0.1	9.9	0.938
		南南東	0.067	0.033	2.1	1563.3	0.038
		南西	0.039	0.055	0.7	1563.3	0.475
		西南西	-0.007	0.033	-0.2	1563.5	0.828
	前年度形状比		-0.002	0.000	-8.2	1505.2	0.000
	成長期		-0.059	0.013	-4.7	4.2	0.008

表 4-5 樹高成長量に影響を与えた要因（ヒノキ）

影響を与えた要因	三重県 大紀町	長崎県 大村市	長崎県 東彼杵町	茨城県 日立市	岡山県 吉備中央町	高知県 四万十町	全体
植栽密度			○	○			
斜面方位							○
前年度形状比	○	○	○	○	○	○	○
成長期		○	○	○	○	○	○

(3) カラマツの解析結果（健全個体データ）

カラマツの健全個体データを用いて解析した結果を表 4-6 に、カラマツの樹高成長量に影響を与えていた要因を表 4-7 に示す。

全ての実証試験地に共通して前年度形状比が挙げられた。このことは、カラマツの前年度形状比は樹高成長量に影響を与えたことを示している。

また、3箇所の実証試験地（岩手県紫波町、岩手県盛岡市、岩手県葛巻町）において植栽密度が樹高成長量に影響を与えているという解析結果が出た。ただしいずれも推定値は非常に 0 に近く植栽密度による影響は少ないと考えられる。

以上より、カラマツの健全個体データを用いた解析では、主に前年度形状比がカラマツの樹高成長量に影響を与えていることが分かった。

表 4-6 解析結果の一覧（カラマツ）

地域	項目	推定値	推定値の 標準誤差	T値	自由度	P値
岩手県紫波町	切片	0.929	0.061	15.3	375.3	0.000
	植栽密度	0.000	0.000	2.0	127.3	0.049
	前年度形状比	-0.005	0.000	-11.6	563.3	0.000
	成長期	-0.111	0.008	-13.9	507.3	0.000
岩手県盛岡市	切片	0.455	0.037	12.2	309.9	0.000
	植栽密度	0.000	0.000	-4.2	116.6	0.000
	前年度形状比	-0.002	0.000	-6.3	454.8	0.000
岩手県葛巻町	切片	0.647	0.045	14.3	532.0	0.000
	植栽密度	0.000	0.000	2.8	532.0	0.006
	前年度形状比	-0.005	0.000	-11.9	532.0	0.000
岐阜県高山市	切片	1.328	0.182	7.3	66.0	0.000
	前年度形状比	-0.010	0.002	-4.7	65.5	0.000
	成長期	-0.103	0.042	-2.5	50.4	0.017
北海道下川町	切片	0.367	0.224	1.6	81.0	0.105
	前年度形状比	-0.006	0.001	-4.0	81.0	0.000
	成長期	0.378	0.075	5.1	81.0	0.000
全体	切片	0.719	0.055	13.1	6.1	0.000
	前年度形状比	-0.004	0.000	-15.6	1626.0	0.000

表 4-7 樹高成長量に影響を与えた要因（カラマツ）

影響を与えた要因	岩手県紫波町	岩手県盛岡市	岩手県葛巻町	岐阜県高山市	北海道下川町	全体
植栽密度	○	○	○			
斜面方位						
前年度形状比	○	○	○	○	○	○
成長期	○			○	○	

(4) 健全個体データの解析結果まとめ

以上より、樹高成長量に影響を与える要因として、ほぼ全樹種に共通して前年度形状比が挙げられた。ただしその影響は大きくはなかった。また、一部の実証試験地において植栽密度が樹高成長量に影響したという結果が出たが、その影響は少ないと考えられた。一方、場所により立地環境や雑草木繁茂状況が異なる等、モデルに組み込めなかったその他の隠れた要因の存在が考えられた。そこで、その他の要因として考えられる項目として、競合状態データを用いた解析を実施した。

4-1-3. 競合状態データを用いた解析結果

競合状態データを用いて、植栽木と雑草木の競合状態も勘案した解析を行った。前項と同様の解析手法を用い、選択された樹高成長量に影響がある項目を○で示した。

(1) スギの解析結果（競合状態データ）

スギの競合状態データを用いて解析した結果を表 4-8 に、スギの樹高成長量に影響を与えていた要因を表 4-9 に示す。

秋田県由利本荘市と富山県立山町を除く実証試験地に共通して前年度形状比が挙げられ、またその推定値は小さかった。このことは、スギの前年度形状比は樹高成長量に影響を少し与えたことを示している。

また、2箇所の実証試験地（宮城県登米市、富山県立山町）において植栽密度が樹高成長量に影響を与えているという解析結果が出た。ただし推定値は非常に 0 に近く、植栽密度による影響は少ないと考えられる。

なお、競合状態が樹高成長に影響を与える要因として選択されたのは、茨城県日立市の実証試験地のみであった。

以上より、スギの競合状態データを用いた解析では、主に前年度形状比がスギの樹高成長量に影響を与えていることが分かった。

表 4-8 解析結果の一覧（スギ、競合状態データ）

地域	項目	推定値	推定値の 標準誤差	T値	自由度	P値
宮城県登米市	切片	0.741	0.094	7.9	97.0	0.000
	植栽密度	0.000	0.000	-3.0	97.0	0.003
	前年度形状比	-0.002	0.001	-2.4	97.0	0.017
	成長期	-0.064	0.015	-4.3	97.0	0.000
熊本県美里町	切片	0.530	0.063	8.5	151.0	0.000
	前年度形状比	-0.003	0.001	-3.2	151.0	0.002
宮崎県椎葉村	切片	0.475	0.044	10.8	217.0	0.000
	前年度形状比	-0.003	0.001	-5.0	217.0	0.000
鹿児島県薩摩川内市	切片	1.003	0.057	17.6	291.0	0.000
	前年度形状比	-0.003	0.000	-7.5	291.0	0.000
	成長期	-0.118	0.010	-12.3	291.0	0.000
茨城県日立市	切片	0.370	0.123	3.0	158.0	0.003
	前年度形状比	-0.002	0.001	-2.5	158.0	0.014
	成長期	0.057	0.026	2.2	158.0	0.033
	競合状態	0.043	0.017	2.5	158.0	0.015
宮崎県都城市	切片	0.681	0.024	28.3	343.0	0.000
	前年度形状比	-0.004	0.000	-13.9	343.0	0.000
秋田県由利本荘市	切片	-0.190	0.047	-4.1	38.9	0.000
	成長期	0.268	0.029	9.1	31.0	0.000
富山県立山町	切片	0.382	0.045	8.4	69.8	0.000
	植栽密度	0.000	0.000	-3.8	66.8	0.000
全体	切片	0.578	0.027	21.2	15.7	0.000
	前年度形状比	-0.003	0.000	-13.2	1595.5	0.000

表 4-9 樹高成長量に影響を与えた要因（スギ、競合状態データ）

影響を与えた要因	宮城県 登米市	熊本県 美里町	宮崎県 椎葉村	鹿児島県 薩摩川内市	茨城県 日立市	宮崎県 都城市	秋田県 由利本荘市	富山県 立山町	全体
植栽密度	○							○	
斜面方位									
前年度形状比	○	○	○	○	○	○			○
成長期（年度）	○			○	○		○		
競合状態					○				

(2) ヒノキの解析結果（競合状態データ）

ヒノキの競合状態データを用いて解析した結果を表 4-10 に、ヒノキの樹高成長量に影響を与えていた要因を表 4-11 に示す。

茨城県日立市と長崎県大村市を除く実証試験地に共通して前年度形状比が挙げられた。またその推定値は小さかった。このことは、ヒノキの前年度形状比は樹高成長量に影響を少し与えたことを示している。

また、三重県大紀町の実証試験地において植栽密度が樹高成長量に影響を与えていると

いう解析結果が出た。ただし推定値が非常に 0 に近いほか、解析結果には表れていないものの、三重県大紀町の実証試験地では植栽密度間で斜面方位が大きく異なっており、このことが樹高成長量に大きく影響を与えていたと考えられるため、植栽密度自体の影響はほとんどないと考えられる。

さらに、茨城県日立市を除く実証試験地では、成長期が挙げられた。このことは、これらの実証試験地では成長期ごとに樹高成長量に差が見られたことを示している。

なお、競合状態が樹高成長に影響を与える要因として選択された実証試験地はなかった。

以上より、ヒノキの競合状態データを用いた解析では、主に前年度形状比が樹高成長量に影響を与えていたことが分かった。

表 4-10 解析結果の一覧（ヒノキ、競合状態データ）

地域	項目	推定値	推定値の 標準誤差	T値	自由度	P値
三重県大紀町	切片	1.787	0.391	4.6	14.0	0.000
	植栽密度	0.000	0.000	-2.5	14.0	0.023
	前年度形状比	-0.007	0.002	-3.1	14.0	0.008
	成長期	-0.110	0.040	-2.7	14.0	0.016
長崎県大村市	切片	0.619	0.043	14.3	82.0	0.000
	成長期	-0.068	0.014	-4.9	82.0	0.000
長崎県東彼杵町	切片	0.793	0.041	19.2	213.0	0.000
	前年度形状比	-0.001	0.000	-3.4	213.0	0.001
	成長期	-0.127	0.007	-17.2	213.0	0.000
茨城県日立市	切片	0.373	0.012	31.0	37.0	0.000
岡山県吉備中央町	切片	-0.873	0.222	-3.9	102.0	0.000
	前年度形状比	0.008	0.001	5.2	102.0	0.000
	成長期	0.304	0.054	5.6	102.0	0.000
高知県四万十町	切片	0.888	0.091	9.7	128.9	0.000
	前年度形状比	-0.003	0.001	-4.8	128.8	0.000
	成長期	-0.117	0.018	-6.5	120.5	0.000
全体	切片	0.397	0.015	25.6	4.3	0.000

表 4-11 樹高成長量に影響を与えた要因（ヒノキ、競合状態データ）

影響を与えた要因	三重県 大紀町	長崎県 大村市	長崎県 東彼杵町	茨城県 日立市	岡山県 吉備中央町	高知県 四万十町	全体
植栽密度	○						
斜面方位							
前年度形状比	○		○		○	○	
成長期	○	○	○		○	○	
競合状態							

(3) カラマツの解析結果（競合状態データ）

カラマツの競合状態データを用いて解析した結果を表 4-12 に、カラマツの樹高成長量に影響を与えていた要因を表 4-13 に示す。

岩手県盛岡市を除く実証試験地に共通して前年度形状比が挙げられたものの、その推定値は小さかった。このことは、カラマツの前年度形状比が樹高成長量に少し影響を与えたことを示している。

また、岩手県盛岡市の実証試験地において植栽密度が樹高成長量に影響を与えているという解析結果が出た。ただし推定値は非常に 0 に近く、植栽密度による影響は少ないと考えられる。

なお、競合状態が樹高成長に影響を与える要因として選択された実証試験地は岩手県盛岡市と全体のみであった。

以上より、カラマツの競合状態データを用いた解析では、植栽密度は樹高成長量に影響を与えないこと、主に前年度形状比が樹高成長量に影響を与えていることが分かった。

表 4-12 解析結果の一覧（カラマツ、競合状態データ）

地域	項目	推定値	推定値の 標準誤差	T値	自由度	P値
岩手県紫波町	切片	0.992	0.098	10.2	149.1	0.000
	前年度形状比	-0.003	0.001	-2.4	142.6	0.019
	成長期	-0.154	0.014	-11.0	117.1	0.000
岩手県盛岡市	切片	0.014	0.082	0.2	139.3	0.864
	植栽密度	0.000	0.000	-2.0	52.3	0.050
	成長期	0.073	0.014	5.2	140.5	0.000
	競合状態	0.045	0.019	2.3	163.6	0.021
岩手県葛巻町	切片	0.735	0.074	9.9	145.0	0.000
	前年度形状比	-0.005	0.001	-5.3	145.0	0.000
岐阜県高山市	切片	0.948	0.123	7.7	54.0	0.000
	前年度形状比	-0.007	0.002	-3.1	54.0	0.003
北海道下川町	切片	0.719	0.345	2.1	53.0	0.042
	前年度形状比	-0.008	0.002	-3.6	53.0	0.001
	成長期	0.253	0.116	2.2	53.0	0.034
全体	切片	0.745	0.086	8.7	9.6	0.000
	前年度形状比	-0.005	0.001	-8.2	456.2	0.000
	競合状態	0.028	0.010	2.8	521.6	0.006

表 4-13 樹高成長量に影響を与えた要因（カラマツ、競合状態データ）

影響を与えた要因	岩手県紫波町	岩手県盛岡市	岩手県葛巻町	岐阜県高山市	北海道下川町	全体
植栽密度		○				
斜面方位						
前年度形状比	○		○	○	○	○
成長期	○	○			○	
競合状態		○				○

(4) 競合状態データの解析結果まとめ

統計解析によると、植栽木の樹高成長量（植栽から令和元（2019）年度）について、植栽後数年間は樹種を問わず、前年度形状比が低い個体ほど樹高成長量が高くなる結果となった。また、競合状態が樹高成長へ影響を与える要因として選択される実証試験地は少なく、植栽密度による影響が検出された実証試験地も一部あったが、その影響は少ないと考えられた。

一方、立地環境等、モデルに組み込めなかった別の隠れた要因もあるため、そうした要因が樹高成長に影響を与えた可能性は考えられる。

4-2. 下刈り実施に関する解析

従来の 3,000 本/ha や 2,500 本/ha といった植栽密度（植栽間隔はそれぞれ 1.8m、2.0m）に慣れている現場作業員にとって、1,600 本/ha や 1,100 本/ha といった低密度植栽（植栽間隔はそれぞれ 2.5m、3.0m）では、幅の広い植栽間隔に慣れていないため、下刈り作業に時間がかかり、また誤伐の発生が誘引されるのではないかと懸念があった。

平成 29（2017）年度までの下刈り実施の分析にあたっては、作業日報をベースとして、実証試験地全体の下刈り作業時間・日数の把握を行ってきた（植栽密度ごとの把握が不可）。また、誤伐については発生本数ならびに生存状況の把握を行ってきた。

平成 30（2018）年度以降は、各実証試験地に植栽密度ごとに設置した各調査プロット内において、下刈り作業時間を計測し、植栽密度により下刈り作業時間や誤伐に違いがあるかを分析した。

4-2-1. 下刈り作業時間の分析

(1) 調査方法

全国 19 箇所の実証試験地に設定した調査プロット内において、全刈りでの下刈り作業時間を計測した。また、下刈りを実施した現場作業員へ聞き取り調査を行った。

詳細については「3-1-2. 下刈り実証調査（22 ページ）」を参照。

(2) 解析方法

下刈りを実施した現場作業員への聞き取り調査結果からは、下刈り作業時間に影響を及ぼすと考えられる要因として、雑草木の種類、地形や傾斜度、地拵えで存置された枝条の多寡、植栽間隔への作業員の慣れなどが挙げられた。

そこで、平成 30（2018）年度および令和元（2019）年度の「下刈り作業時間」に対して、「植栽密度」および「傾斜」が影響を与えるかどうかについて、尤度比（ゆうどひ）検定を用いて解析した。また、「下刈り作業時間」と「植栽密度」の関係について Tukey の多重比較検定を行い、植栽密度ごとに有意差があるかどうかを分析した。

(3) 解析結果

「下刈り作業時間」に対する「植栽密度」および「傾斜」の関係を解析した結果を表 4-14 に示す。解析の結果、「下刈り作業時間」と「植栽密度」に関係性は見られたが、「傾斜」との関係性は見られなかった。

以上の結果から、下刈り作業時間は実証試験地の傾斜には影響されず、植栽密度により影響されると考えられる。

表 4-14 傾斜と下刈り作業時間の関係

下刈り密度と傾斜の下刈り時間との関係解析(尤度比検定)結果					
項目	df	Deviance	Residual Df	Residual Deviance	P値
Null			203	17920.71	
傾斜	1	0.38	202	17920.33	0.95
密度	1	1024.98	201	16895.34	0.00 ***
傾斜×密度	1	59.18	200	16836.16	0.40

次に、「下刈り作業時間」と「植栽密度」の関係について植栽密度ごとに解析した結果を図 4-3 に示す。解析の結果、植栽密度が低くなるほど下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた。また、1,100 本/ha 区と 1,600 本/ha 区の間($p<0.05$)、1,100 本/ha 区と 2,500 本/ha 区の間($p<0.001$)で有意差が認められた。なお、1,600 本/ha 区と 2,500 本/ha 区の間($p>0.05$)では有意差は検出されなかった。

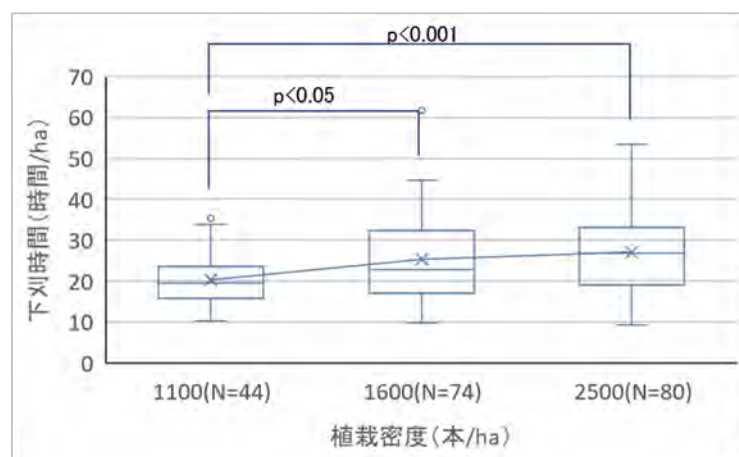


図 4-3 植栽密度と下刈り作業時間の関係

(4) 考察

以上の結果から、実証試験地によりばらつきはあるものの、全体として植栽密度が低いほど下刈り作業時間が減少する傾向があることが分かった。

4-2-2. 誤伐の発生状況

(1) 調査方法

前項、「3-1 調査概要 (P18)」内の「①現地調査」実施時において誤伐の有無を確認するとともに、「②下刈り作業時間およびコスト分析」内ヒアリングの実施結果より誤伐についての作業者の意見を取りまとめた。

(2) 分析方法

誤伐が発生した植栽木について、植栽密度ごと、また植栽木と雑草木の競合状態 C1～C4 ごとにそれぞれ集計した。

(3) 分析結果

植栽密度ごとの誤伐発生率について、図 4-4 に示す。1,100 本/ha 区では 7.0%、1,600 本/ha 区では 5.9%、2,500 本/ha 区では 5.8%の植栽木に誤伐が発生していた。1,100 本/ha 区で僅かに高い値を示したものの差は約 1 %であり、植栽密度による差はほとんど見られなかったことから、植栽密度は誤伐の発生率にほとんど影響を与えないといえる。

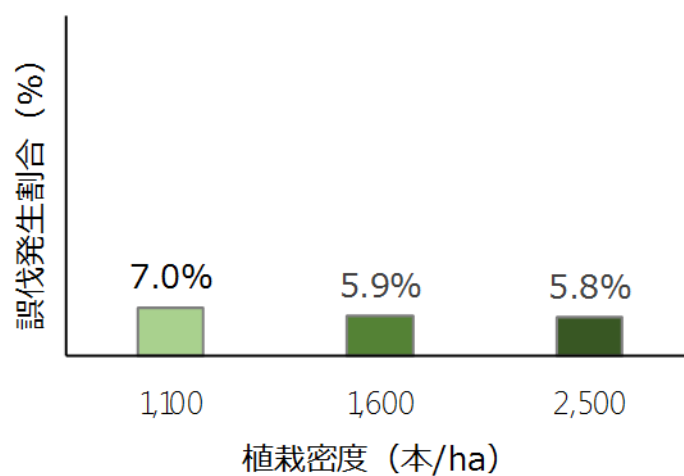


図 4-4 植栽密度ごとの誤伐の発生率

次に、植栽木と雑草木の競合状態 C1～C4 と誤伐発生本数の関係を図 4-5 に示す。植栽木が雑草木に埋もれている状態（C4）になると、誤伐本数が上がる傾向が見られた。この結果は、現場作業員へのヒアリング調査より得られた、植栽木の目視確認ができない箇所において下刈り作業は難しくなり、誤伐の発生に注意が必要となるという証言を裏付けるものである。

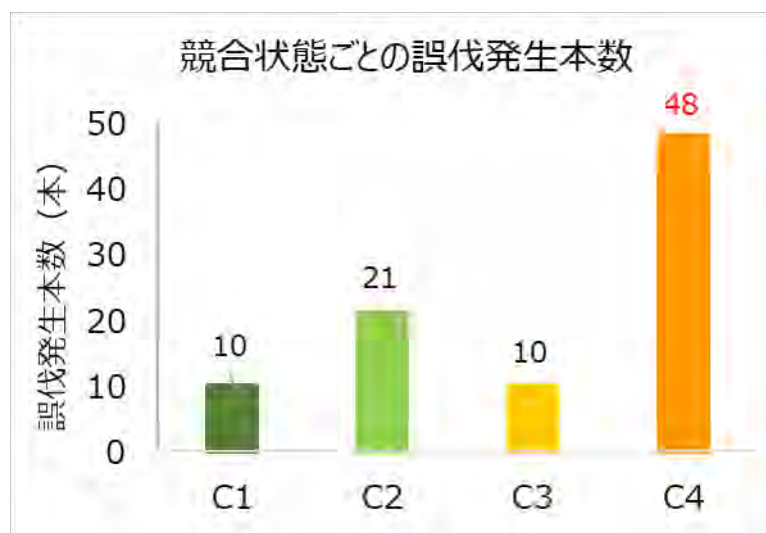


図 4-5 誤伐発生本数と競合状態（C1～C4）の関係

以上より、誤伐の発生は植栽密度には影響されず、植栽木と雑草木の競合状態が激しくて植栽木が雑草木に埋もれてしまい、目視確認が難しいような状態のときに誤伐の発生率が上昇すると考えられた。

5. 低密度植栽施業指針の作成

再造林のコスト削減や近年の木材加工技術の進展・木材需要の変化を踏まえ、新たな造林技術である「低密度植栽技術」の情報を提供し、森林所有者が、その利点・特異的性質、問題点を理解したうえで、「低密度植栽技術」を適切に選択・導入するための目安となるよう『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』を取りまとめた。

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

内容

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（案）	1
1. 背景	1
2. 本指針の目的	1
3. 低密度植栽と通常植栽の違い	3
(1) 低密度植栽とは	3
(2) 低密度植栽と木材生産	3
4. 低密度植栽導入時における技術指針	4
(1) 植栽	4
① 樹種の選定	4
② 植栽地の選定	4
③ 植栽本数の設定	4
④ 植栽密度と活着および初期成長	5
⑤ 植栽コストの削減	7
(2) 下刈り	8
① 下刈り作業時間	8
② 下刈りと誤伐	10
③ 下刈り回数（期間）	11
(3) 植栽から下刈りまでの初期保育コスト	17
(4) 獣害対策	20
(5) 気象害への対応	20
5. 低密度植栽地における生育状況・育林に関する情報	21
(1) 既存試験地における初期保育以降の植栽木の生育状況	21
① スギ	21
② ヒノキ	23
③ カラマツ	23
(2) 既往文献における低密度植栽に関する育林などの情報	24

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、確実な再造林を実施する必要がある。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を徹底することが不可欠となっている。

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る。そのような中、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1つとして期待されている。

従来、主要な造林樹種の植栽密度は、スギ、ヒノキが3,000本/ha程度、カラマツが2,000～2,500本程度であることが多いが、低密度植栽では、植栽本数を減らすことにより、苗木購入費や植栽労務費を縮減し、再造林・保育の低コスト化を図ることが可能となる。一方、低密度植栽では、気象害・鳥獣害などによる本数の減少に加え、林冠閉鎖の遅延による生立木の梢殺（うらごけ）化や、下刈り・ツル切り・除伐など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。

以上のような必要性・課題を踏まえ、「低密度植栽技術の導入に向けた調査委託事業」（以下、「本事業」とする。）では、2,500本/ha、1,600本/ha、1,100本/ha（樹種：スギ、ヒノキ、カラマツ）の植栽試験地（以下、「実証試験地」とする。）を全国19箇所に設け（表1）、5年にわたり実証試験を行い、樹種別、地域別の植栽密度による成長状況などの違いの検証や成林の確実性、コスト削減効果、病虫獣害などに関する知見を得た。本指針は、これらの知見および既存の低密度植栽試験地（以下、「既存試験地」とする。）と既往文献情報を整理し、「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」としてとりまとめたものである。

2. 本指針の目的

本指針は、再造林のコスト削減や近年の木材加工技術の進展・木材需要の変化を踏まえ、新たな造林技術である「低密度植栽技術」の情報を提供し、森林所有者が、その利点・特異的性質、問題点を理解したうえで、「低密度植栽技術」を適切に選択・導入するための目安となるものである。

表 1 実証試験地一覧

No	地域	場所	植栽年月	苗種	植栽密度(本/ha)	プロット数
1	東北地方	岩手県紫波町	H27(2015).12	カラマツ	2,500、1,600	6
2		岩手県盛岡市	H27(2015).12	カラマツ	2,500、1,600、1,100	6
3		岩手県葛巻町	H27(2015).11	カラマツ	2,500、1,600	6
4		宮城県登米市	H27(2015).12	スギ	2,500、1,600、1,100	6
5	近畿・中国地方	三重県大紀町	H28(2016).2	ヒノキ	2,500、1,600	5
6	九州地方	長崎県大村市	H28(2016).1	ヒノキ	2,500、1,600	5
7		長崎県東彼杵町	H28(2016).1	ヒノキ	2,500、1,600、1,100	6
8		熊本県美里町	H28(2016).2	スギ	2,500、1,700	6
9		宮崎県椎葉村	H28(2016).2	スギ	2,500、1,600、1,100	6
10		鹿児島県薩摩川内市	H27(2015).12	スギ	2,500、1,600	6
11	関東地方	茨城県日立市 (国有林)	H28(2016).11	ヒノキ	2,500、1,600、1,100	8
12		茨城県日立市 (民有林)	H28(2016).10	スギ	2,500、1,600、1,100	6
13	中部地方	岐阜県高山市	H28(2016).10	カラマツ	2,500、1,600、1,100	6
14	近畿・中国地方	岡山県吉備中央町	H28(2016).12	ヒノキ	2,500、1,600、1,100	6
15	四国地方	高知県四万十町	H29(2017).2	ヒノキ	2,500、1,600、1,100	6
16	九州地方	宮崎県都城市	H29(2017).1	スギ (大苗)	2,500、1,600、1,100	6
			H29(2017).1	スギ (普通苗)	2,500	2
17	北海道地方	北海道下川町	H29(2017).11	カラマツ	2,500、1,600、1,100	6
18	東北地方	秋田県由利本荘市	H29(2017).11	スギ	2,500、1,600、1,100	6
19	中部地方	富山県立山市	H29(2017).12	スギ	2,500、1,600、1,100	6

3. 低密度植栽と通常植栽の違い

(1) 低密度植栽とは

低密度植栽とは、従来 3,000 本/ha 程度の密度で植栽していたものを、1,000～1,500 本/ha 程度の密度で植栽し、間伐の回数を減らして主伐に至る施業を想定するものである。

(2) 低密度植栽と木材生産

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る一方、肥大成長が促されるため、短伐期での林業が可能となると考えられている。

したがって、従来の密度での植栽が、複数回の間伐により良質な丸太生産を行う施業であるのに対して、低密度植栽は、間伐の回数削減により、合板材・集成材などの加工向けなどの並材の生産を念頭に置いた施業であると考えられる。

【日本における低密度植栽による林業地】

民有林では、林業経営者の生産目的やその地域の林業事情などによって、1,000 本/ha 程度から 10,000 本/ha を超えるような植栽密度が採用されている（表 2）。このうち、低密度植栽を古くより実施している天竜・日田・小国ではほぼ無間伐または弱度の間伐での短伐期の林業が行われ、一般用材や電柱、下駄材などを用途とした木材生産が行われてきた。

表 2 主な林業地における保育形式

植栽密度	間伐	伐期の長短	林業地	主な丸太の用途
密植	ほぼ無間伐	短	旧四ツ谷	足場丸太、旗竿など
	弱度	短	西川、青梅、尾鷲、芦北	足場丸太、柱材、杭木など
	早期にしばしば	長	吉野	優良体系材、樽丸
中庸	弱度	長	智頭	優良体系材、樽丸
	しばしば適度に	長	旧国有林	体系一般材
疎植	ほぼ無間伐または弱度	短	天竜、日田、小国、木頭、ボカスギ	一般用材、電柱
	単木の成長に重点	長	飢肥	弁甲材（造船用材）

転載：丹下健，小池孝良，2016，造林学 第 4 版，朝倉出版，P149 より

4. 低密度植栽導入時における技術指針

本項目以降では、低密度植栽を選択する際の留意点などを示す。また、実際の取組事例については、「低密度植栽導入のための事例集」で整理しており、低密度植栽を実施する地域や条件に近い事例を参考にしていきたい。

(1) 植栽

① 樹種の選定

本指針では、林業上重要な造林樹種のうち、樹種本来の特性や植栽初期の成長特性などを考慮し、全国的な造林樹種であるスギやヒノキ、冷温帯地方などのカラマツを対象とする。植栽樹種の選定については、以下の樹種特性や表3の各樹種の植栽密度、P. 21以降の既存試験地や既往文献情報などを参考にしていきたい。

【樹種特性について】

○スギ

ほぼ日本全国で主力となる造林樹種である。成長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、林冠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選ぶことが特に大切であり、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。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冠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する必要がある。

○カラマツ

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。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ため、低密度植栽に適合する樹種である。木材の用途としては合板材や集成材に適している。

② 植栽地の選定

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。ヒノキについては、カラマツやスギに比べ成長が遅いため、低密度植栽する場合は、特に立地の選定が大切であり、良好な成長が期待できる場所の選定が重要である。

③ 植栽本数の設定

植栽本数は、地域や樹種の生産目標に応じて異なる。植栽後、年数の経った既存試験地での調査結果や既往文献情報などを整理すると、樹種ごとに表3に示す本数まで減らしても成林や木材利用に影響が少ない（事例については5. 低密度植栽地における生育状況・育林に関する情報を参照）。

表 3 成林や木材利用に影響が少ないとされる植栽密度

樹種	植栽密度※
スギ	1,000 本/ha～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

※ただし、保安林の場合には指定施業要件の中で植栽密度が定められている。

また、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。

④ 植栽密度と活着および初期成長

<活着率>

本事業の実証試験地では、コンテナ苗を使用して秋以降に植栽を実施した。調査結果から、植栽密度が活着率に影響を与えることはないと考えられる。ただし、植栽後、誤伐や獣害などの影響により枯死が発生することがある。低密度植栽では、従来よりも植栽本数が少ないため、局所的な枯死苗の発生がその後の成林を危うくする可能性があり、注意が必要である。

【植栽密度と活着率の事例】

本事業で設置した全国 19 箇所の実証試験地のうち約 9 割（101/117 プロット）において、活着率が 80%以上であり、その多くが 90%以上であった（図 1）。また、植栽密度による活着率の違いや樹種による違いもほとんど見られなかった（図 2）。このことから低密度植栽による活着への影響はないと考えられる。

なお、活着率が低い調査区が一部見られたが、寒冷地域であったため（北海道下川町）、植栽時期による影響が考えられる。

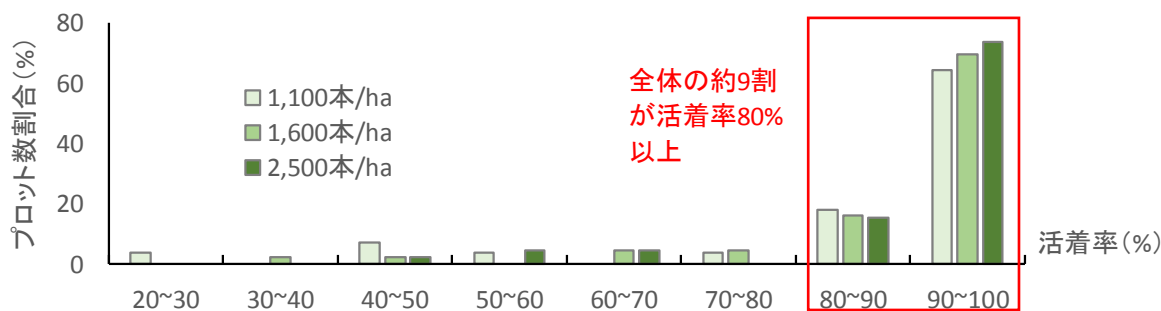


図 1 各植栽密度における活着率ごとのプロット数

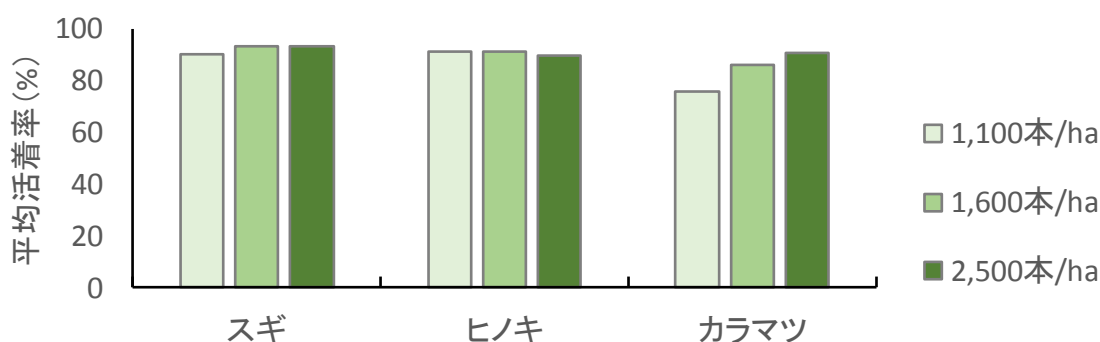


図 2 各植栽密度における樹種ごとの平均活着率

<初期成長>

樹高成長は一般的に植栽密度に関係はない。幹の肥大成長は、密度効果による影響を受けるが、植栽直後から下刈りへの初期保育作業の段階では、下刈りを適切に行っている限り植栽木は個々に孤立した状態で生育しているため、その影響はほとんどないと考えられる。本事業の実証試験地においても、林冠閉鎖していない現時点では低密度植栽による肥大成長の促進はほとんど見られなかった。幹の肥大成長に密度効果が目立って現れてくるのは林冠閉鎖後と考えられる。

なお、実証試験地間では植栽木の成長の違いにばらつきが見られたが、統計解析を行ったところ、苗木の形状比と立地環境（斜面方位などの環境要因）が影響を及ぼした要因として推測された。このため、良質な苗を用い、適地適木を目指すことが重要である。

【植栽密度と樹高・地際直径の事例】

本事業において平成 27（2015）年度に 2,500 本/ha、1,600 本/ha、1,100 本/ha の全植栽密度で植栽を行った実証試験地について、平均樹高と平均地際直径の成長の推移を図 3～5 に示す。

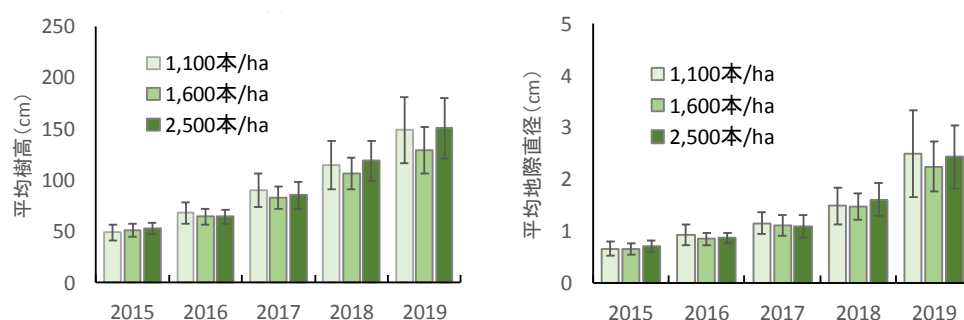


図 3 スギの平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（宮崎県椎葉村の事例）

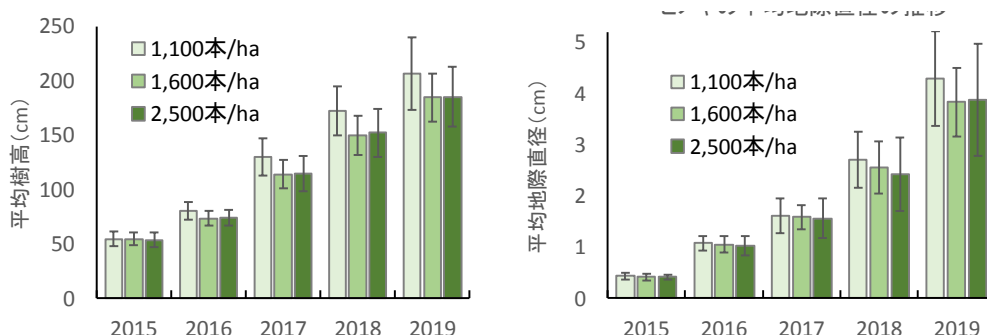


図 4 ヒノキの平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（長崎県東彼杵町の事例）

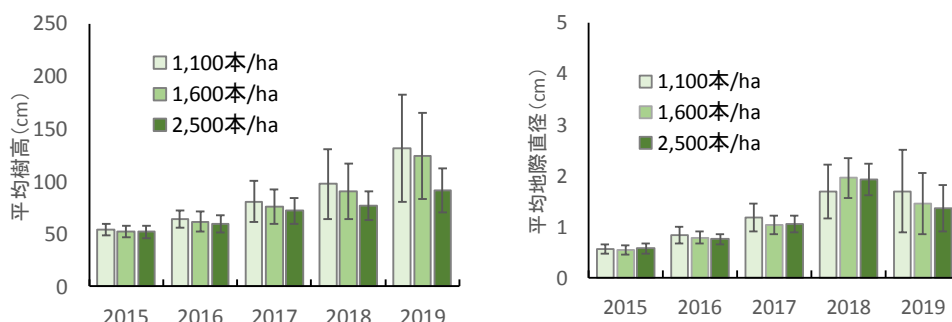


図 5 カラマツの平均樹高（左）と平均地際直径（右）の推移（岩手県盛岡市の事例）

⑤ 植栽コストの削減

植栽密度を 3,000 本/ha から、2,500 本/ha、1,600 本/ha、1,100 本/ha と低密度にした場合、地拵えの費用は変わらないが、植栽本数が減ることにより、苗木の購入費およ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。植栽コストに占める苗木代の割合は高いため、低密度植栽によるコスト削減効果は大きい。

また、低密度化により単位面積あたりの植栽本数が少なくなることで間伐の回数削減が可能となり、施業コスト全体の削減も期待できる。もちろん、間伐を行わず、直接主伐を実施することも選択肢の一つである。

【植栽コスト削減の事例（既往文献情報）】

■スギの事例

- ・ 広島県におけるスギの 1,000～3,000 本/ha の植栽密度比較試験では、下刈りなどの保育は通常通り実施し、低密度によるトータルコストとしては、苗木植栽経費と 1 回の間伐費用の削減ができた（岩田ほか 2005、広島県森林管理署 2001、低コスト林業経営等実証事業委託事業報告書別Ⅲ 2009）。

■ヒノキの事例

- ・ 島根県安来市の試験地では、ヒノキを 1,000 本/ha と 3,000 本/ha で植栽し、コストを比較している。低密度植栽では植栽間隔が広がるため一本あたりの植栽時間は増加したが、面積あたりの植栽本数が普通植栽の 1/3 にまで減少したことから、ヘクタールあたりの植栽経費は、普通植栽では約 47 万円のところ低密度植栽では約 17 万円と、約 1/3 まで減少した（森林総研：近畿・中国四国の省力再造林事例集 2015）。

■カラマツの事例

- ・ 福島県金山町におけるカラマツの低密度植栽（1,000 本/ha）では、地拵え費が従来 2,500 本植えの 3/5（植栽木周辺の坪状地拵え）、苗木代が 2/5 になり、経費削減が図られた（低コスト林業経営等実証事業委託事業報告書別Ⅲ 2009）。

なお、植栽密度 3,000 本/ha での植栽間隔が 1.8m であるのに対し、低密度植栽の 1,100 本/ha では約 3.0m であるため（表 4）、現場作業員に低密度植栽の経験がない場合、1 本あたりの植栽効率が落ちる場合がある。

低密度植栽の植栽間隔に慣れ、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、竹などの軽量の資材で尺棒を作り利用するなどの工夫が有効である。

表 4 植栽密度と植栽間隔

植栽密度（本/ha）	植栽間隔
3,000	1.8m
2,500	2.0m
1,600	2.5m
1,100	3.0m

(2) 下刈り

① 下刈り作業時間

本事業で下刈りを依頼した現場作業員へヒアリングを行ったところ、下刈り作業時間に影響を及ぼす要因として、実証試験地での雑草木の種類、地形や傾斜度、地拵えで残地された枝条の多寡、植栽間隔への作業員の慣れなどが挙げられた。

そこで、植栽密度による作業時間の違いを見るため、現場作業員の下刈り（全刈り）時間を植栽密度別に集計・整理した結果、実証試験地によりばらつきはあるものの、全体として植栽密度が低い方が下刈り作業時間が短い傾向が見られた。低密度植栽により、下刈りの作業時間を短くし、下刈り人工を軽減させることが期待できる。

【植栽密度による下刈り作業時間への影響例】

本事業で全国に設定した実証試験地の 19 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の計測を行った。2018・2019 年度の下刈り作業時間データから、植栽密度が低いほど下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた（表 5）。

表 5 植栽密度と下刈り作業時間

植栽密度（本/ha）	下刈り作業時間（平均時間±標準偏差）
2,500	27±9.2
1,600	25±10.2
1,100	20±5.9

なお、下刈りの効率化には、必要部分だけを下刈りする部分的な刈り払い（筋刈りや坪刈り）の実施や、隔年で実施をする方法もある。ただし、雑草木が繁茂しやすい立地では、逆に作業が大変になるため、植生条件により判断することが必要である。

【筋刈りや坪刈りによる下刈り工程の低減例（既往文献情報）】

＜筋刈り＞

東北森林管理署森林技術支援センター（2017）による太平洋側および日本海側でのスギ・カラマツの低密度植栽試験（500 本/ha 区、1,000 本/ha 区、1,500 本/ha 区、2,500 本/ha 区を設定）の事例では、下刈りとして筋刈りを実施し、その工期を調査している。その結果、筋刈りの工期は、植栽密度が疎であるほど上がる傾向がみられた（図6）。

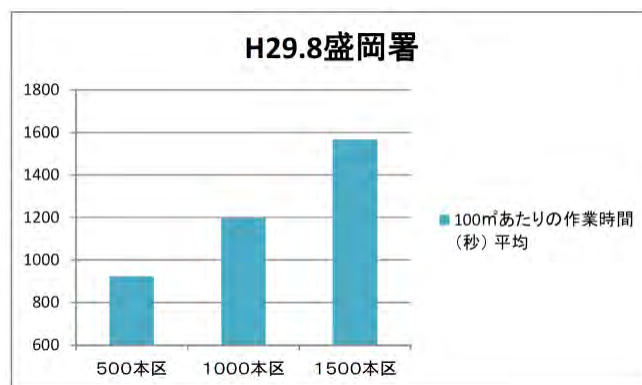


図6 植栽密度別の100m²あたりの作業時間

（東北森林管理局森林技術・支援センター（2017）「低密度植栽試験完了報告」から抜粋）

＜坪刈り＞

山中（2011）による島根県の事例では、密度試験区（1,000 本/ha、2,000 本/ha、3,000 本/ha で設定）で、1,000 本/ha 区では坪刈りのみ、2,000 本/ha 区では全刈りと坪刈り、3,000 本/ha 区では全刈りのみという下刈りを2年間にわたって実施し、その工期を調査している。

その結果、全刈りでは植栽密度による作業時間の違いは見られなかったものの、坪刈りでは、植栽密度が低い方が作業時間は短くなった。また、1年目よりも2年目の方が作業時間は短くなった。しかし、2,000 本/ha 区内での全刈りと坪刈りを比較すると、1年目では坪刈りの方が作業時間は長くなった（図7）。これは、坪刈りを行う植栽木間を移動するために本来刈る必要のない部分も一部刈り払う必要が生じたこと、刈り残し部分の雑草木が植栽木を被覆しないように刈払機を振り上げて雑草木の枝条を刈り払う必要が生じたことなどが要因と考えられた。

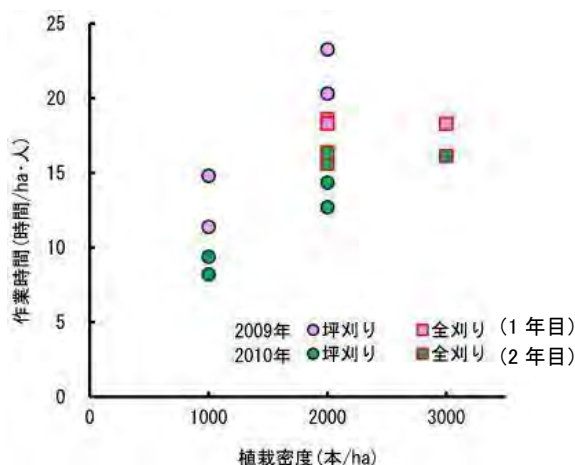


図7 各植栽密度における下刈り方法別の作業時間

（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）

② 下刈りと誤伐

植栽密度 3,000 本/ha での植栽間隔は 1.8m である。低密度植栽ではこの間隔が広がり、1,600 本/ha で 2.5m、1,100 本/ha で 3.0m となる。下刈り作業に従事している現場作業員は、3,000 本/ha の 1.8m や 2,500 本/ha の 2.0m の間隔に慣れていることから、低密度植栽においては、間隔の違いから誤伐の可能性が高まるとの懸念がある。

しかし、本事業の実証試験地で発生した誤伐の状況と植栽密度との関係を解析した結果、誤伐の発生は植栽密度には関係がないという結果が得られた。

一方、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明らかとなった。このため、誤伐については植栽密度ではなく、雑草木の繁茂状況に影響されると考えられる。下刈り作業を請け負う事業者によっては、必要に応じ、誤伐防止のため植栽木への標識テープの設置や目印となる棒の設置、比較的大きな苗を使うなどの対策を講じていた。

【誤伐の発生状況と雑草木の繁茂との関係】

本事業で全国 19 箇所に設置した実証試験地の誤伐発生箇所（N=89）について植栽密度別に誤伐の発生割合を整理した。その結果、植栽密度が低くなっても誤伐割合はいずれも約 6～7%とあまり変わらないことが明らかとなった（図 8）。

なお、誤伐の発生は雑草木が植栽木より高いときに多く、現場作業員へのヒアリングでも、植栽木の目視確認の可否により下刈りの難易度が変化するとの意見があった。

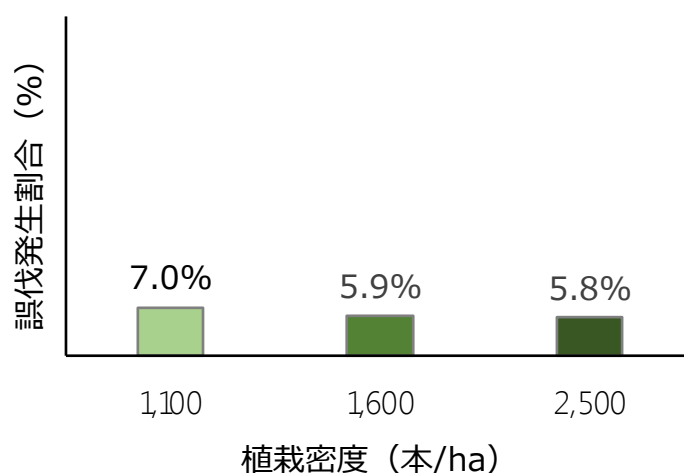


図 8 植栽密度別の誤伐発生割合

③ 下刈り回数（期間）

従来の 3,000 本/ha 程度の植栽密度では、下刈りは年 1 回、5～6 年継続して行い、概ね終了している例が多い。一方、低密度植栽では、林冠閉鎖が遅れるため、3,000 本/ha 程度の植栽密度に比較して下刈り回数が増加するとの懸念がある。

実際、既往文献でも以下のとおり、低密度植栽地において下刈り回数が増加したなどの報告がある。

【下刈りコストの増大が懸念された報告事例（既往文献情報）】

■スギの事例

- ・青森県むつ市のスギ試験地（1,300 本/ha）では、下刈りが通常より 4 年多い 10 年必要となり幹曲り木が多くなった（青森県林業試験場 2001）。
- ・宮崎県南那賀郡のスギ試験地（1,500 本/ha）では、林冠閉鎖まで 8 年間下刈りを実施した（九州森林管理局 2005）。
- ・広島県（1,000 本/ha）や愛媛県四国中央市（750 本/ha）のスギ試験地では、つる類の繁茂が激しいため、通常より 1～2 年長い下刈り期間や回数を必要とした（広島森林管理署 2001、低コスト林業経営等実証事業委託事業報告書別Ⅲ2009、宇摩森林組合・住友林業 FS2009、九州森林管理局 2005）。

■ヒノキの事例

- ・広島県や高知県の植栽地では林冠閉鎖が通常密度（3,000～5,000 本/ha）の植栽地より 1～2 年遅れる傾向が見られた。そのため、通常より下刈り（もしくはツル切り）期間を余計に取らないと成林しない可能性があり、特に広島県では、ヒノキの成長の遅さから下刈り回数を増やす必要があった（岩田ほか 2005、広島森林管理署 2005、低コスト林業経営等実証事業委託事業報告書別Ⅲ2009、四国森林管理局森林技術・支援センター）。

■カラマツの事例

- ・カラマツやグイマツ雑種 F1 については成長が速いため、極端に低密度に植えなければ通常通り林冠閉鎖するという報告がある一方、低密度植栽にした場合に林冠閉鎖が遅れツルや広葉樹が侵入できる期間が長くなる可能性がある（来田ほか 2007）。

このため、2015 年度に植栽した実証試験地 8 箇所（岩手県紫波町、盛岡市、葛巻町、長崎県大村市、東彼杵町、熊本県美里町、宮崎県椎葉村、鹿児島県薩摩川内市）での調査結果を用い、低密度植栽で下刈りが 5 回程度の通常回数で終了可能か検証した。

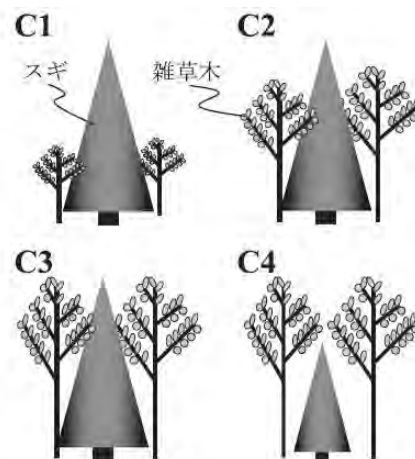
なお、2015 年度植栽のうち、宮城県登米市については、活着が悪く翌年補植をしており、三重県大紀町については、シカ食害が多く計測サンプル数が少ないため、それぞれ検証から除外した。

検証は、低密度植栽区（1,100 本/ha 区、1,600 本/ha 区）の植栽木と雑草木について、その下刈り前の競合状態を P.12 に示す C1～C4 の割合やその推移で判定するとともに、両者の平均樹高や樹高成長量の連年の推移から、2019 年度（下刈り 4 回目）または 2020 年度（下刈り 5 回目）での終了可能性を判断した。

【植栽木と雑草木の競合状態を把握する方法】

植栽木と雑草木の垂直的な競争関係に基づき、C1～C4の四つのカテゴリに分類して評価する方法がある。C1～C4の基準は以下のとおりである。

- 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。
- C2：植栽木の樹冠の半分以上が周辺の雑草木に覆われているが、梢端は露出している。
- C3：植栽木と雑草木の梢端がほぼ同じ高さにある。
- C4：植栽木が雑草木に完全に覆われている。



(出典：山川ほか(2016)スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響、日林誌 98：241-246)

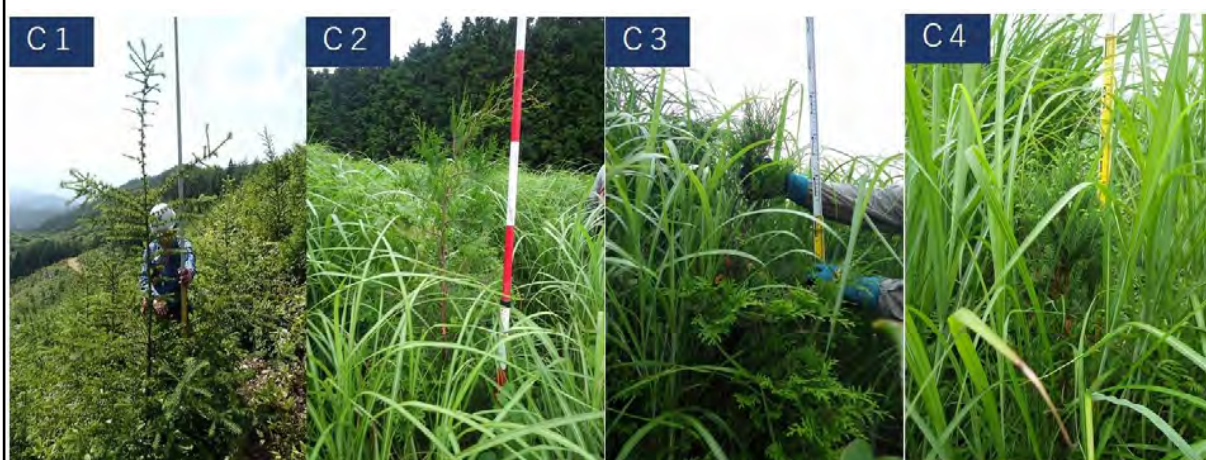


写真 1 C1～C4の例

この結果、実証試験地のうち、2019 年時点で C1 + C2 の割合が 70%以上と高く、植栽木の樹高が 1.5～2m 程度に達し、加えて植栽木と雑草木の樹高に大きな差があり、植栽木が雑草木より多く突き出している試験地では、下刈りが 5 回程度の通常回数で終了可能と判断した（鹿児島県薩摩川内市、長崎県大村市、岩手県紫波町、熊本県美里町）。他方、C1 + C2 の割合が低い、または、植栽木と雑草木の樹高にあまり差がない実証試験地は、現時点で通常の数回で下刈りが終了可能かどうかまだ判断できないとした（宮崎県椎葉村、岩手県盛岡市、岩手県葛巻町、長崎県東彼杵町）。

その上で、同一の実証試験地において植栽密度ごとの違いを見ると、植栽密度によって C1 + C2 の割合が異なる試験地も一部にあったものの、植栽木と雑草木の競合状態は概ね同じ傾向を示しており、通常回数での下刈りの終了可能性が植栽密度の違いにより変わる事例はなかった。

下刈りが通常回数で終了可能かどうかは、P. 13～16 で紹介する事例のとおり、植栽密度ではなく、植栽木の初期成長や雑草木の組成・再生力などによると考えられる。

なお、低密度植栽の場合、通常密度での植栽に比べて林冠閉鎖が遅れるため、下刈り終了後にツル類が巻き上がるリスクが高くなる懸念もあるが、本事業期間ではこの検証はできなかった。

実証試験地のうち、低密度植栽において下刈りが通常の数で終了可能と考えられる事例と通常の数で終了不可能と考えられる事例を紹介する。各地の現場での判断の参考にして頂きたい。

【下刈りが通常の数（期間）で終了可能と考えられる実証試験地の例：鹿児島県薩摩川内市】

鹿児島県薩摩川内市のスギの実証試験地では、植栽後4年目の下刈り時期に1,600本/ha区のC1+C2の割合が8割程度であり（図9）、雑草木の平均樹高が1.5m近くあるが、植栽木は2.3m程度とさらに高く（図10）、それぞれの樹高成長量の連年の推移から、下刈りはこの時点（4回目）で終了可能と考えられた。また現地の様子から植栽木がススキなどの雑草木から完全に突出していることがわかる（写真2）。

また、こうした植栽木と雑草木の競合状態について、植栽密度による違いはほとんど見られな

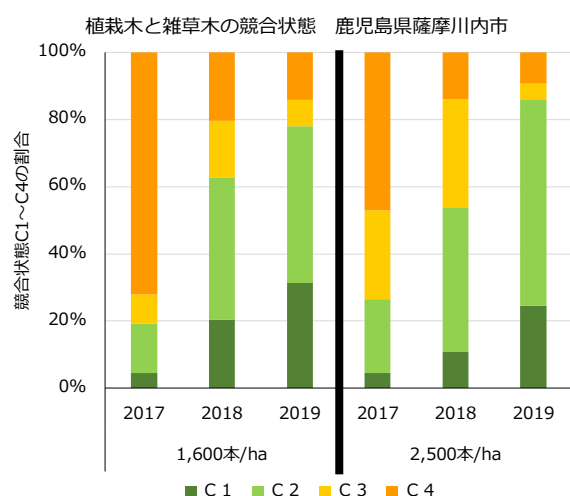


写真2 雑草木から突出した植栽木(スギ)

図9 植栽密度別のC1～C4の割合の変化

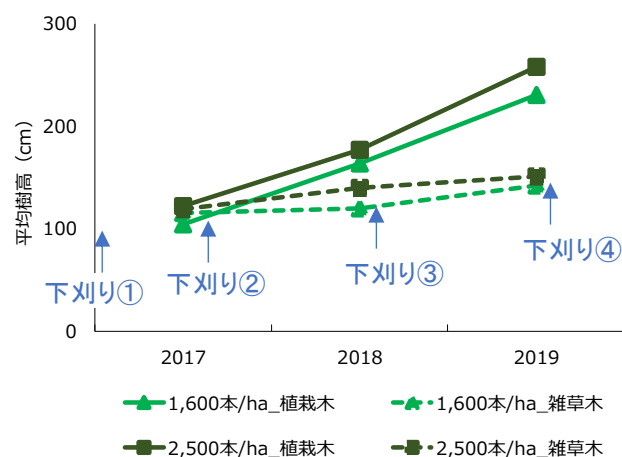


図10 植栽密度別の植栽木と雑草木の平均樹高の推移

本実証試験地は、ススキが繁茂する場所でも、植栽木の樹高が高く、初期成長が雑草木より良いところでは、下刈りが4回で終了可能と考えられる事例である。

【下刈りが通常回数（期間）で終了可能と考えられる実証試験地の例：長崎県大村市】

長崎県大村市のヒノキの実証試験地では、植栽後4年目の下刈り時期に1,600本/ha区のC1+C2の割合が100%であり（図11）、植栽木の平均樹高も2.5m程度と高く（図12）、植栽木と雑草木の樹高差から下刈りについては通常どおり翌年（5回目）行えば終了可能と考えられた。また、現地の様子から植栽木が雑草木から完全に突出していることがわかる（写真3）。

また、こうした植栽木と雑草木の競合状態について、植栽密度による違いはほとんど見られな

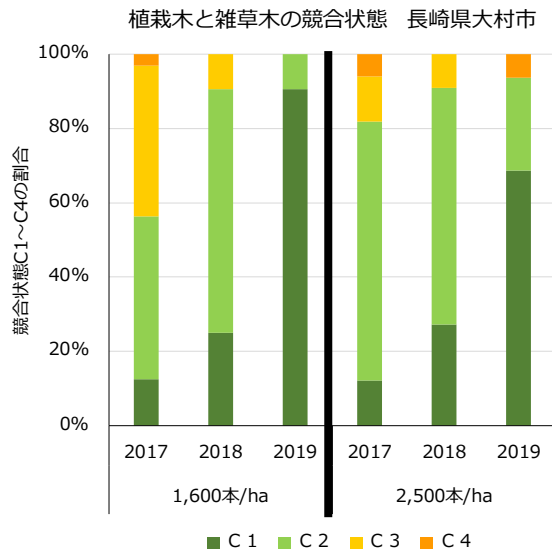
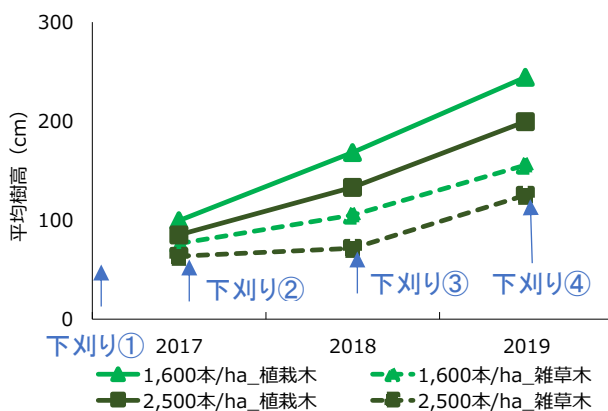


写真 3 雑草木から突出した植栽木(ヒノキ)

図 11 植栽密度別の C 1 ～ C 4 の割合の変化



の推移

本実証試験地は、雑草木の成長がよい場所でも、植栽木の樹高が高く、植栽木と雑草木に樹高差があるところでは、下刈りが5回で終了可能と考えられる事例である。

【参考】鶴崎ほか(2016)による福岡県八女市におけるスギ幼齢木と雑草木の成長に関する研究では、アカメガシワやヌルデなどの先駆性落葉広葉樹が優占している環境において、スギ植栽木の平均樹高が220cmを越えるとそれらの競争木の下刈り時期の樹高が被圧で前年よりも低下しはじめることを報告している。この報告は2,000～3,000本/ha植栽についてのものである。低密度植栽ではその高さが変わる可能性があるものの、植栽木の高さが下刈り終了の判断基準となりうることを示唆している。ただし、ツル類が繁茂する場合には、植栽木の幹の変形のもととなる可能性の指摘があり、留意が必要である。

【下刈りが通常回数（期間）で終了可能と考えられる実証試験地の例：岩手県紫波町】

岩手県紫波町のカラマツ実証試験地では、植栽後4年目の下刈り時期に1,600本/ha区のC1の割合が9割を越えており（図13）、植栽木の樹高は1.5m程度で雑草木の樹高より高く（図14）、それぞれの樹高差および樹高成長量の連年の推移から、下刈りについてはこの時点（4回目）あるいは翌年（5回目）で終了可能と考えられた。また、現地の様子から植栽木が雑草木から完全に突出していることがわかる（写真4）。

また、こうした植栽木と雑草木の競合状態について、植栽密度による違いはほとんど見られな

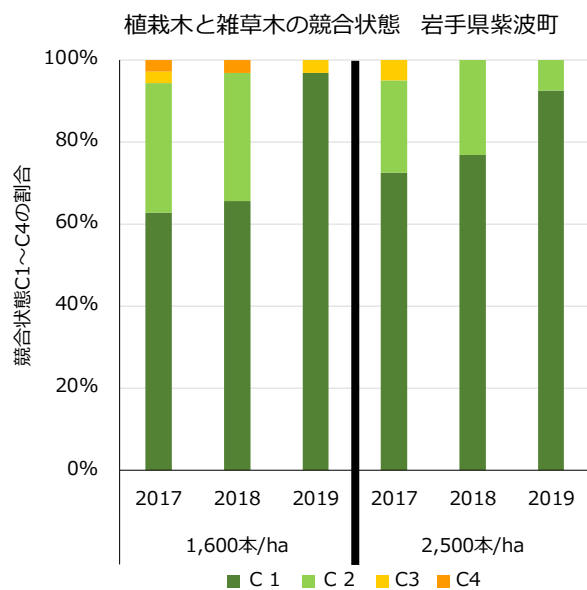


写真4 雑草木から突出した植栽木(カラマツ)

図13 植栽密度別のC1～C4の割合の変化

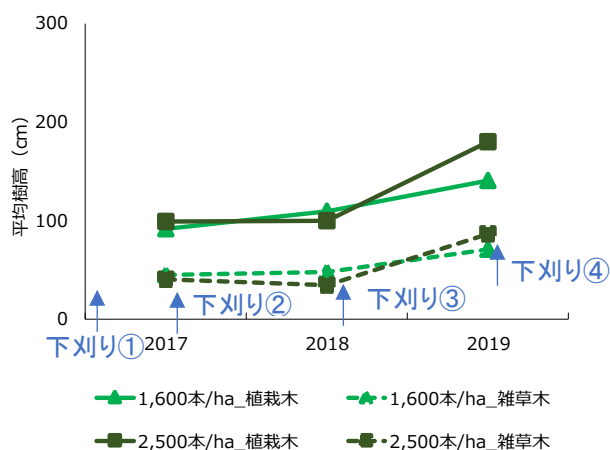


図14 植栽密度別の植栽木と雑草木の平均樹高の推移

本実証試験地は、植栽木の樹高が1.5m程度の場所でも、雑草木の樹高が低く、植栽木と雑草木に樹高差があるところでは、下刈りが4回あるいは5回で終了可能と考えられる事例である。

【下刈りが通常回数（期間）で終了可能かどうか判断できない実証試験地の例：宮崎県椎葉村】

宮崎県椎葉村のスギ実証試験地では、植栽後4年目の下刈り時期に1,100本/ha区のC1+C2の割合が1割未満であり（図15）、植栽木と雑草木の樹高および樹高成長量の連年の推移は2017年から2019年までほぼ変わらず（図16）、下刈りについては翌年（5回目）行っても終了可能かどうかまだ判断できない状況であった。また、現地の様子から一帯にススキが繁茂し、植栽木がススキに埋もれて見えなくなっていることがわかる（写真5）。

また、こうした植栽木と雑草木の競合状態について、C1+C2の割合は1,100本/ha区に比べ1,600本/ha区、2,500本/ha区で多くなっているが（図15）、植栽木と雑草木の樹高の平均

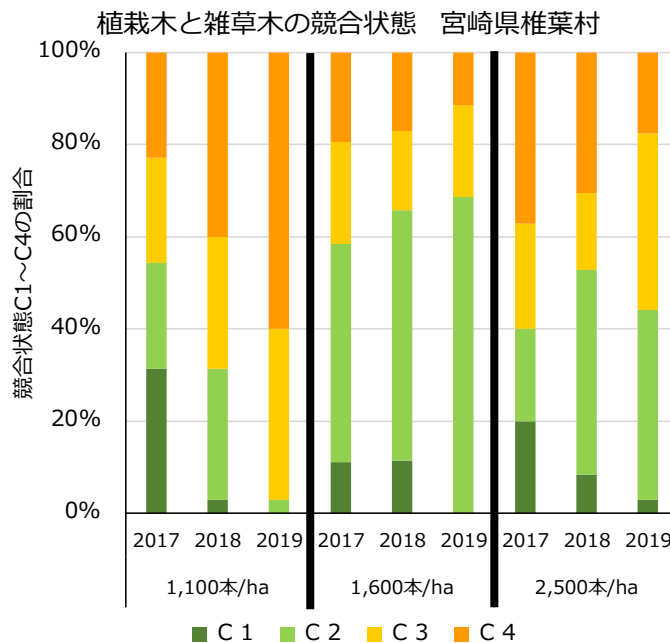


図15 植栽密度別のC1～C4の割合の変化



写真5 繁茂するススキ

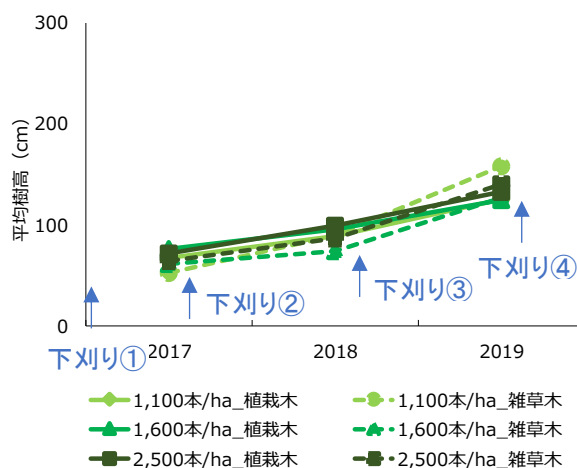


図16 植栽密度別の植栽木と雑草木の平均樹高の推移

本実証試験地は、ススキなどの雑草木の成長が激しい場所で、現時点では下刈りが5回程度の通常回数で終了可能かどうかまだ判断できない事例である。

(3) 植栽から下刈りまでの初期保育コスト

植栽コストに占める苗木購入費の割合は高く、低密度植栽による初期保育コストの削減効果は大きい。

実証試験地において、通常植栽での植栽経費と低密度での植栽経費を比較すると各樹種とも1,100本/ha植栽の場合、植栽から下刈りまでの初期保育コストを概ね通常植栽の60～80%に抑えられることがわかった。

以下に、通常植栽（スギ・ヒノキ：3,000本/ha、カラマツ：2,500本/ha）を基準（100%）として植栽密度別に植栽から2019年の下刈りまでの各項目のコスト割合を算出した結果を実証試験地別に示す（表6）。

表6 通常植栽を基準（100%）とした際の実証試験地における植栽密度別コスト割合

地域	場所	植栽年月	苗種	各植栽密度(本/ha)でのコスト割合			
				3,000	2,500	1,600	1,100
北海道地方	北海道下川町	2017.11	カラマツ		100%	92%	77%
東北地方	岩手県紫波町	2015.12	カラマツ		100%	82%	
	岩手県盛岡市	2015.12	カラマツ		100%	84%	76%
	岩手県葛巻町	2015.11	カラマツ		100%	81%	
	宮城県登米市	2015.12	スギ	100%	94%	71%	63%
	秋田県由利本荘市	2017.11	スギ	100%	91%	73%	60%
関東地方	茨城県日立市(国有林)	2016.11	ヒノキ	100%	94%	84%	75%
	茨城県日立市(民有林)	2016.10	スギ	100%	94%	82%	72%
中部地方	富山県立山市	2017.12	スギ	100%	92%	75%	71%
	岐阜県高山市	2016.10	カラマツ		100%	81%	73%
近畿・中国地方	三重県大紀町	2016.2	ヒノキ	100%	96%	100%*	
	岡山県吉備中央町	2016.12	ヒノキ	100%	92%	70%	65%
四国地方	高知県四万十町	2017.2	ヒノキ	100%	92%	78%	73%
九州地方	長崎県大村市	2016.1	ヒノキ	100%	94%	77%	
	長崎県東彼杵町	2016.1	ヒノキ	100%	94%	66%	59%
	熊本県美里町	2016.2	スギ	100%	93%	88%	
	宮崎県椎葉村	2016.2	スギ	100%	95%	83%	84%*
	宮崎県都城市	2017.1	スギ(大苗)	100%	93%	82%	75%
		2017.1	スギ(普通苗)	100%	95%		
	鹿児島県薩摩川内市	2015.12	スギ	100%	96%	92%	

*この2箇所については、下刈りに時間がかかったため、コスト割合が高くなっている。

【植栽から下刈りまでの初期保育コスト削減の詳細事例（本事業実証試験地での調査結果）】

植栽から下刈りまでの初期保育コスト削減の詳細事例として、実証試験地の中でも植栽木の生育が良かった鹿児島県薩摩川内市のスギ試験地、長崎県大村市のヒノキ試験地、岐阜県高山市のカラマツ試験地の事例を挙げる。

各実証試験地とも、地拵え代やシカ柵設置などの経費は変わらないものの、植栽苗の本数が減るため、コスト比率の高い苗木購入費やその植栽経費が減少し、植栽密度が低いほどコストが削減されている。

■スギ植栽の事例

＜鹿児島県薩摩川内市＞

- ・ 植栽：2015 年 12 月
- ・ 下刈り：2016、2017、2018、2019 年
- ・ 標高：180～195m
- ・ 傾斜：11～19°
- ・ シカ柵：有り
- ・ 苗：300cc コンテナ苗

■ヒノキ植栽の事例

＜長崎県大村市＞

- ・ 植栽：2016 年 1 月
- ・ 下刈り：2016、2017、2018、2019 年
- ・ 標高：230～250m
- ・ 傾斜：11～24°
- ・ シカ柵：無し
- ・ 苗：300cc コンテナ苗

■カラマツ植栽の事例

＜岐阜県高山市＞

- ・ 植栽：2016 年 10 月
- ・ 下刈り：2017、2018、2019 年
- ・ 標高：1020～1040m
- ・ 傾斜：0～10°
- ・ シカ柵：有り
- ・ 苗：150cc コンテナ苗

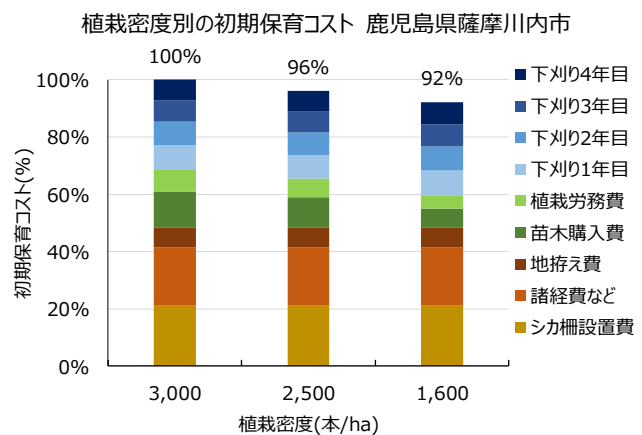


図 17 植栽密度別の初期保育コスト

(鹿児島県薩摩川内市:スギ)

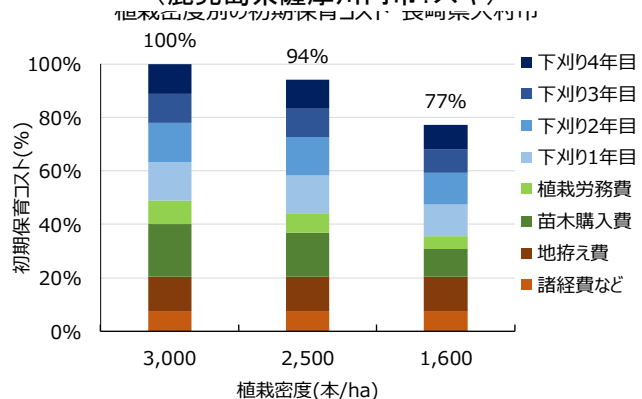


図 18 植栽密度別の初期保育コスト

(長崎県大村市:ヒノキ)

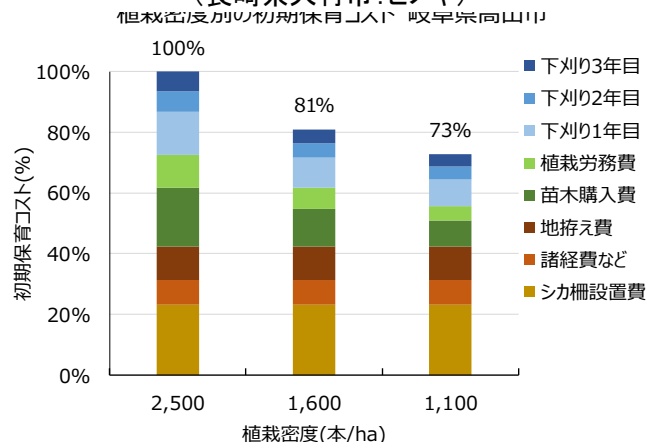


図 19 植栽密度別の初期保育コスト

(岐阜県高山市:カラマツ)

本事業は5年間であったため、下刈り以降の状況については実証できていないが、既往文献では、伐り捨て間伐をなくし、間伐回数も減らすことができることが報告され、更なる低コスト化を図ることも期待できる。

以下に低密度植栽において初期保育以降のコスト削減やトータルでの収益性向上ができた既往文献情報を紹介する。

【初期保育以降のコスト削減やトータルでの収益性向上ができた事例（既往文献情報）】

■スギの事例

- ・宮崎県の2500本/haのスギ試験地では林齢30年以前に間伐が必要だが、1500本/ha未満の試験地ではいったん林冠閉鎖すれば林齢40年まで間伐は不要であった(九州森林管理局2005)。
- ・1972(昭和47)年に宮崎県日南市に設定された林分密度試験林(43年生)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、林分蓄積および原木価格の収益性の面から有利であった(三重野2017、宮崎南部署2017、福地ほか2008)。
- ・青森のスギ試験地(1300本/ha)では3000本/haと比較し間伐回数を3回から1回に削減でき、間伐の経費を35%削減できた(青森県林業試験場2001)。
- ・宮城(1100本/ha)、愛媛(750本/ha)、宮崎(1500本/ha)のスギの試験地では通常3回の間伐を1回に削減でき、保育間伐をせず最初から利用間伐を2回実施できた(福島県森林組合連合会2010、宇摩森林組合・住友林業FS2009、九州森林管理局2005)。

■カラマツの事例

- ・北海道のグイマツF1の試験地において植栽後40年の間伐回数・材積を見ると、2,000本/haでは間伐を3回(18・25・35年目)行い、材積330m³が収穫できるのに対し、1,000本/haでは、間伐を1回(33年目)に削減でき、材積338m³が収穫可能となった。また、間伐回数削減によりトータルの育林経費が3割削減された(北海道立林業試験場2006)。

(4) 獣害対策

低密度植栽では、獣害等に起因する局所的な枯死苗の発生がその後の成林を危うくする可能性がある。植栽時より獣害対策を取り、それでも被害が発生した場合は、その被害の程度により補植を検討する必要がある。

なお、本事業では全体として獣害発生数が少なかったため、植栽密度と獣害発生率との関係はわからなかった。

一般的に、ニホンジカ・カモシカ・ノウサギ・ノネズミなどの生息が確認されている地域においては、シカ柵の設置、忌避剤の散布などの獣害対策を実施することが重要である（表7）。

表 7 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、エゾヤチネズミ)	・根元付近の幹の剥皮が見られる。 ・根の摂食が見られる。	・樹幹を被覆（被覆高は積雪深を考慮） ・樹幹に忌避剤を塗布・散布、植栽木の周囲に忌避剤を散粒
ノウサギ (ニホンノウサギ、エゾユキウサギ)	・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。	・忌避剤の塗布・散布 ・樹幹を被覆（被覆高は積雪深を考慮）
ニホンジカ	・30-150cm 位の高さに幹の剥皮・枝葉の摂食が見られる。 ・角研ぎが見られる。 ・踏み荒らしや折れが見られる。	・ツリーシェルター、小規模柵、大規模柵の設置 ・忌避剤散布（被害初期） ・有害鳥獣捕獲
カモシカ	・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。	・基本的にニホンジカ対策と同様、ただし、特別天然記念物であるため、捕獲はできない場合が多い

（参考：樋口・豊島著 1987「造林地における獣害とその対策」、森林総合研究所鳥獣生態研究室編「哺乳類による森林被害ウォッチング」）

(5) 気象害への対応

本事業の実証試験地で顕著な気象害は現時点で認められなかった。

文献調査（以下参照）では、東北日本海側の多雪地域で 1,000 本/ha の低密度植栽を実施した時に雪圧害を受けたと報告もあることから、多雪地域において植栽密度を選択する際は留意が必要である。

【気象害（雪害）発生の事例】

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。多雪地域では、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た（野口ほか 2014）。

5. 低密度植栽地における生育状況・育林に関する情報

既存試験地の計測値データおよび既往文献によれば、初期保育以降（下刈り以降）の生育や育林の状況については、以下のとおりである。

（１）既存試験地における初期保育以降の植栽木の生育状況

スギ・ヒノキ・カラマツ（グイマツ雑種 F1 含む）の既存試験地における初期保育以降の植栽木の生育状況を見ると、低密度植栽の植栽木は、直径が大きいものが多く、樹高についてはあまり変わらないかやや高いという状況であった。以下樹種ごとに整理する。

① スギ

鹿児島県垂水市 10 年生

1,500 本/ha、3,000 本/ha の既存試験地における植栽木について、低密度植栽の方が直径は大きい方に分布が偏り、樹高もやや大きくなっていた。

なお、施業履歴としては、下刈りが植栽翌年から 6 回（毎年）実施されている。

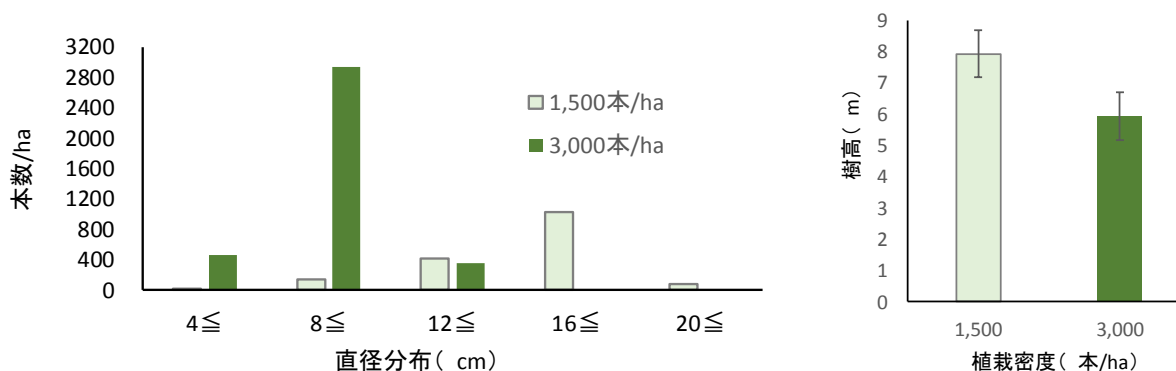


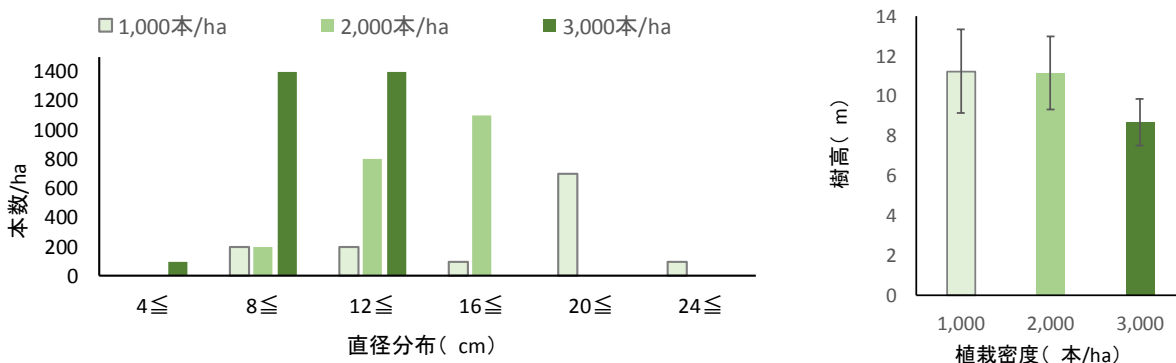
図 鹿児島県垂水市 スギ10年生

直径分布（左）と樹高（右）

岡山県新見市 17 年生

1,000 本/ha、2,000 本/ha、3,000 本/ha の既存試験地における植栽木について、直径は低密度になるほど大きい方に分布が偏り、樹高は 1,000 本/ha と 2,000 本/ha では変わらないものの、通常の 3,000 本/ha 区と比べやや大きかった。

なお、施業履歴としては、下刈りが植栽翌年から 4 回（毎年）されている。



岡山市新見市 スギ17年生 無枝打ち

直径分布（左）と樹高（右）

広島県福山市 43 年生

1,000 本/ha、3,000 本/ha の既存試験地における植栽木について、樹高はほとんど変わらないものの、直径は低密度の 1,000 本/ha 区において大きい方に分布が偏っていた。材積は 1,000 本/ha 区で 557.8 m³/ha、3,000 本/ha 区で 756.8 m³/ha であった。

なお、施業履歴としては、下刈りが植栽年から 4 回（毎年）、ツル切りが植栽 3 年後から 13 回、除伐が 2 回、間伐が 1,000 本/ha 区では植栽 41 年後に 1 回、3,000 本/ha 区では植栽 26 年後と 41 年後に 2 回実施されている。

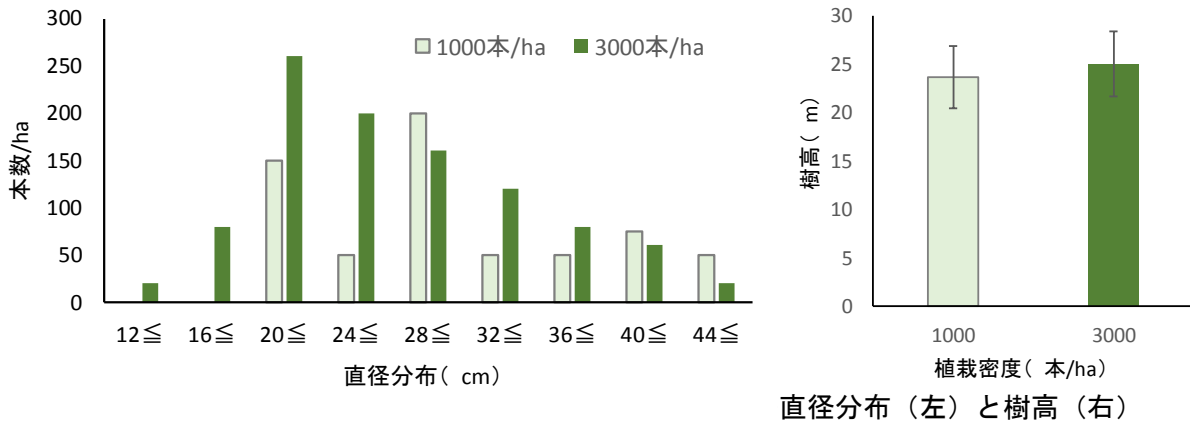
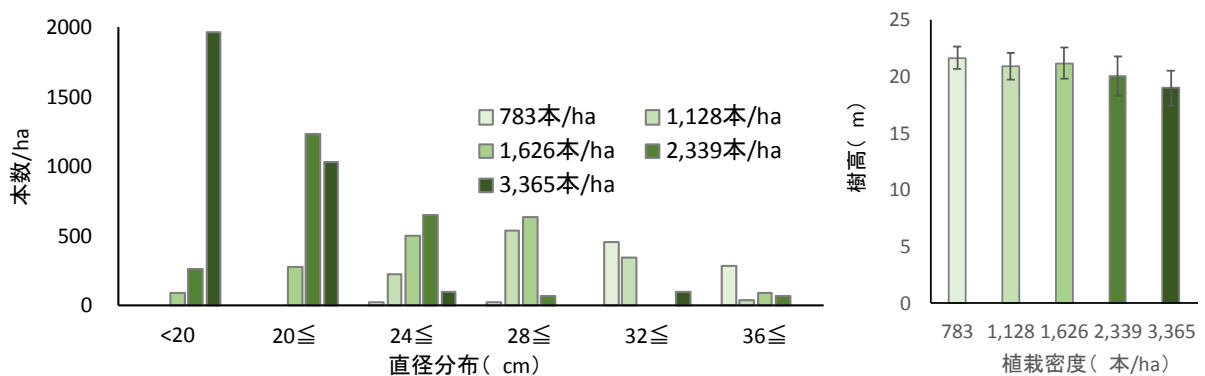


図 広島県福山市 スギ43年生

宮崎県日南市 43 年生

783 本/ha、1,128 本/ha、1,626 本/ha、2,339 本/ha、3,365 本/ha の既存試験地における植栽木について、樹高は密度間の違いはあまりなかったものの、直径分布は低密度になるほど大きい方に分布が偏っていた。植栽 41 年後の材積は 783 本/ha 区で 658m³/ha、1,128 本/ha 区で 744m³/ha、1,626 本/ha 区で 837m³/ha、2,339 本/ha 区で 864m³/ha、3,365 本/ha 区で 858m³/ha であった（九州森林管理局宮崎南部森林管理署）。

なお、施業履歴としては、下刈りが植栽 7 年後までに 9 回（2 年目、3 年目が 2 回刈）、ツル切りが植栽 4 年後から 3 回、施肥が 2 年後に 1 回、選木枝打ちが 2 回実施されている。



宮崎県日南市 密度試験地 (スギ43年生)

分布 (左) と樹高 (右)

② ヒノキ

広島県福山市 42 年生

1,000 本/ha、3,000 本/ha の既存試験地における植栽木について、樹高はほとんど変わらないものの、直径は低密度の 1,000 本/ha 区において大きい方に分布が偏っていた。材積は 1,000 本/ha 区では 434.8 m³/ha、3,000 本/ha 区では 410.3 m³/ha であった。

なお、施業履歴としては、下刈りが植栽年から 5 回（毎年）、ツル切りが植栽 7 年後から 3 回、除伐が 3 回、間伐が 1,000 本/ha 区では植栽 40 年後に 1 回、3,000 本/ha 区では植栽 25 年後、40 年後に 2 回実施されている。

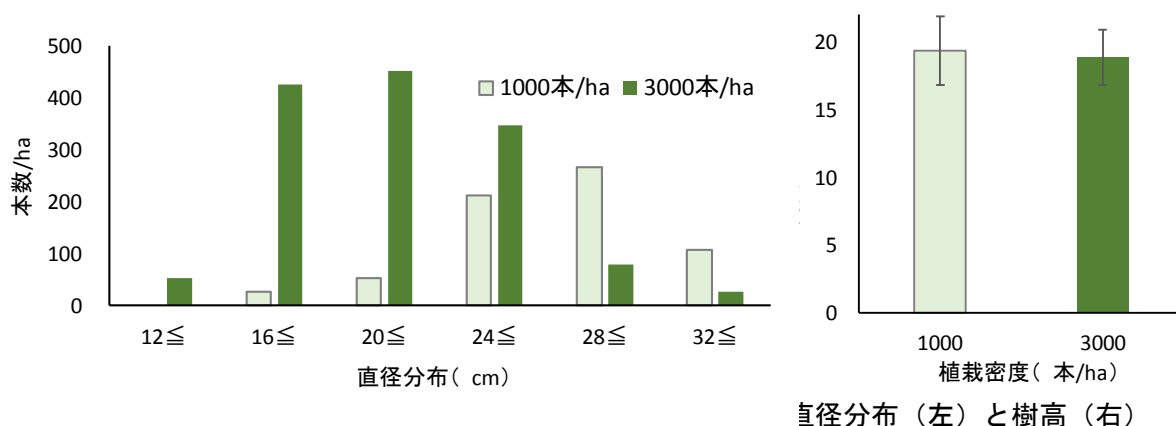


図 広島県福山市 ヒノキ42年生

③ カラマツ

北海道夕張郡由仁町 13 年生 (グイマツ雑種 F1)

625 本/ha、1,000 本/ha の既存試験地における植栽木について、樹高はほとんど変わらないものの、直径はより低密度の 625 本/ha 区において大きい方に分布が偏っていた。

なお、施業履歴としては、下刈りが植栽翌年と翌々年、および 11 年後の計 3 回実施されている。

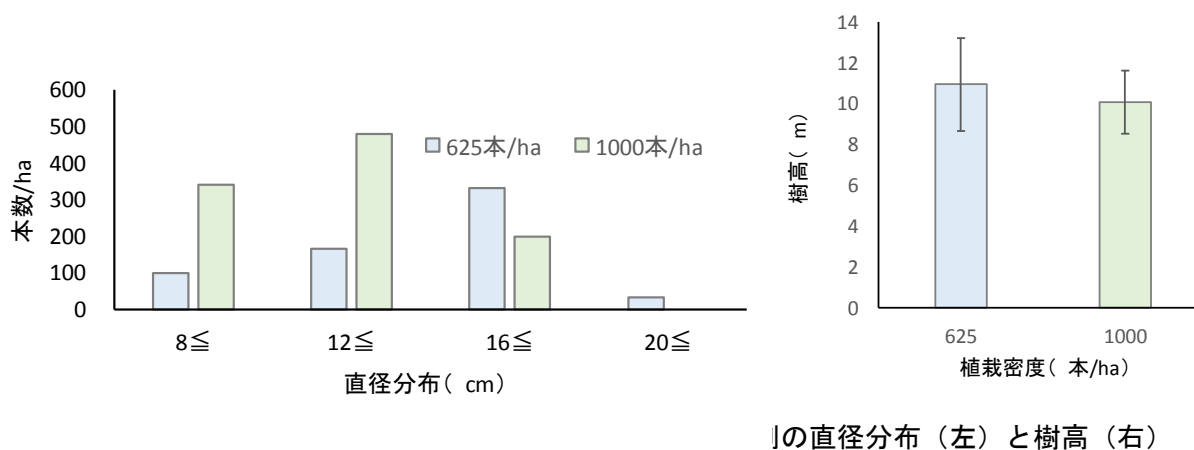


図 北海道夕張郡由仁町 グイマツ雑種F1 13年生

(2) 既往文献における低密度植栽に関する育林などの情報

スギ・ヒノキ・カラマツ（グイマツ雑種 F1 含む）を低密度で植栽した場合の初期保育以降の育林や材質などに関する情報を整理すると次のとおりである（表 8）。

表 8 下刈り以降の樹種別の保育や材質に関する既往文献情報

樹種	幼齢～若齢期の保育状況	壮齢期の施業・材質などの状況
スギ	・広島（1,000 本/ha）^{1,2}や愛媛（750 本/ha）³の低密度植栽地ではツル類の繁茂が多いため、クズ切り回数は多くなる。¹	・青森（1,300 本/ha）では根曲り木が多くなるが、間伐は 1 回に削減できる。⁶ ・愛媛（750 本/ha）³、宮城（1,000 本/ha）⁷、青森（1,300 本/ha）、宮崎（1,500 本/ha）⁸では、間伐回数を通常の 3 回から 1 回に削減でき、保育間伐をせず最初から利用間伐ができる。 ・宮城（1,000 本/ha）では 60 年後に梢殺（うらごけ）だが高蓄積な林分となる。⁷ ・愛媛（750 本/ha）では 60 年後に形質良好な高蓄積な林分になる。³ ・広島では、1,000～1,500 本/ha 以上であれば、形質・強度などに問題ない。⁸
ヒノキ	・三重（1,000 本/ha・1,500 本/ha・2,000 本/ha）では植栽後 6 年間において、無下刈りでは成長が遅れたものの、被圧害は見られない。⁴	・広島の低密度植栽地では、低密度植栽の原木は建材には向かず、合板向きである。² ・広島では、1,000 本/ha では形質が悪く柱材生産には向かないが、1,500 本/ha 以上であれば、形質・強度などに問題ない。^{9,10}
カラマツ	・北海道では、植栽木の成長による被陰効果（照度 10%以下）が認められるのは、通常（2,000 本/ha）では 11 年、低密度（1,000 本/ha）では 14 年と推定され、ツル切り・除伐が通常では 2 回に対し、低密度では 3 回必要となる。⁵	・北海道では、植栽後 40 年で、2,000 本/ha では間伐 3 回で材積 330m³/ha が収穫できるのに対し、1,000 本/ha では 1 回の間伐だけで材積 338m³/ha が収穫可能となり、トータル育林経費が 3 割削減できる。¹¹

【参照文献】

表 8（P. 24）において引用した文献は以下のとおりである（表 9）。

表 9 引用した文献リスト

文献 No.	報告 年	筆者・発行者	樹種	植栽密度	植栽 年	出典
1	2001	広島森林管理署	スギ、 ヒノキ	1,000- 3,000	1973	平成 13 年度広島森林管理署植 栽本数比較試験地報告
2	2009	日本林業技士会	スギ、 ヒノキ	1,000- 3,000	1973 2010	平成 21 年度低コスト林業経営 等実証事業委託事業報告書別Ⅲ
3	2005	岩田ほか	スギ、 ヒノキ	1,000- 3,000	1974	平成 17 年度近畿中国森林管理 局 森林・林業交流研究発表収録
4	2015	独立行政法人 森林総合研究所	スギ、 ヒノキ	1,000- 3,000	2010	近畿・中国四国の省力再造林事 例集
5	2000	八坂道泰	グイ マツ	500- 32,000	1985	光珠内季報
6	2001	青森県林業試験場 （中島ほか）	スギ	1,000- 1,700	1949	平成 13 年度、平成 26 年度青森 県林業試験場報告
7	2010	福島県森林組合連合会	スギ	1,000	1943	平成 22 年度福島県森林組合連 合会調査報告書
8	2005	九州森林管理局	スギ	1,500	2005	平成 17 年度九州森林管理局技 術研究発表集
9	2015	近畿中国森林管理局・ 広島森林管理署	スギ、 ヒノキ	1,000- 3,000	1973 1974	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 分の林分構造および材質（幹形・ 強度）調査結果について
10	2009	佐々木・竹内・寺岡	スギ、 ヒノキ	1,000- 3,000	2009	植栽密度の違いが植栽木の成長 に及ぼす影響（九州森林研究 62:14-17）
11	2006	北海道立林業試験場	グイマ ツ雑種 F1	1,000- 2,000	2006	平成 18 年度北海道立林業試験 場報告

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
(発行) 令和 2 (2020) 年 3 月 林野庁

(作成) 一般社団法人 日本森林技術協会
〒102-0085 東京都千代田区六番町 7 番地
TEL (03) 3261-5281 (代表) / FAX (03) 3261-5393
<http://www.jafta.or.jp>

6. 地域版低密度植栽施業指針の作成

地域版低密度植栽施業指針については、平成 29（2017）年度検討委員会において事例集のような形で取りまとめるよう議論された。これを踏まえ、本事業において平成 27（2015）年度から平成 29（2017）年度に植栽を実施した 19 箇所の実証試験地における 5 年間分のデータを掲載し、視覚的に見やすく整理を行い、各地域の林業技術者が、自身の地域に近い事例を参考にして「低密度植栽技術」を導入することができるよう取りまとめた。

なお、タイトルについては、より内容に合致したものとするために「低密度植栽技術導入のための事例集」と変更した。

低密度植栽技術導入のための 事 例 集



林 野 庁

目次

1.	はじめに	3
2.	本事例集について	4
3.	試験地一覧	5
	・ 全国地図	
	・ 一覧表	6
	・ 樹種別 一覧表	7
4.	調査項目および調査方法	8
	・ 調査項目について	8
	・ 調査方法について	11
	・ 競合状態について	12
5.	本事例集の見方	13
6.	各地域別の調査結果	
1.	北海道 下川町	17
2.	岩手県 紫波町	21
3.	岩手県 盛岡市	25
4.	岩手県 葛巻町	29
5.	宮城県 登米市	33
6.	秋田県 由利本荘市	37
7.	茨城県 日立市（国有林・ヒノキ）	41
8.	茨城県 日立市（民有林・スギ）	45
9.	富山県 立山町	49
10.	岐阜県 高山市	53
11.	三重県 大紀町	57
12.	岡山県 吉備中央町	61
13.	高知県 四万十町	65
14.	長崎県 大村市	69
15.	長崎県 東彼杵町	73
16.	熊本県 美里町	77
17.	宮崎県 椎葉村	81
18.	宮崎県 都城市	85
19.	鹿児島県 薩摩川内市	91

はじめに

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していくためには、主伐後の再造林を確実に実施する必要があります。他方で、森林所有者などの再造林意欲を向上させ、限られた財源の下で効率的に再造林を行うために、再造林の低コスト化を徹底することが不可欠になっています。

このような中で、植栽本数を減らして再造林や保育の低コスト化を図るための選択肢の1つとして「低密度植栽技術」への期待が高まっています。

低密度植栽とは？

低密度植栽とは、従来3,000本/ha程度で行われていた植栽を、1,000本/haから1,500本/ha程度の密度で行うことをいいます。植栽本数が減ることにより、苗木の購入費および植栽に要する労務費が低減され、初期保育コストの削減が可能となります。

また低密度植栽では、間伐の回数を減らして主伐に至る施業を想定しており、全体的な育林コストの削減も可能であると考えられています。

このような施業下では、肥大成長は促進されるものの、樹幹が梢殺（ウラゴケ）になりやすいことが懸念されています。ただし、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、年輪幅が一定で稠密な無節材を目指すのではなく、合板や集成材といった加工向けなどの並材を主な生産目標とすることにより、再造林の際の選択肢の一つとして十分なり得ると考えられています。

本事例集について

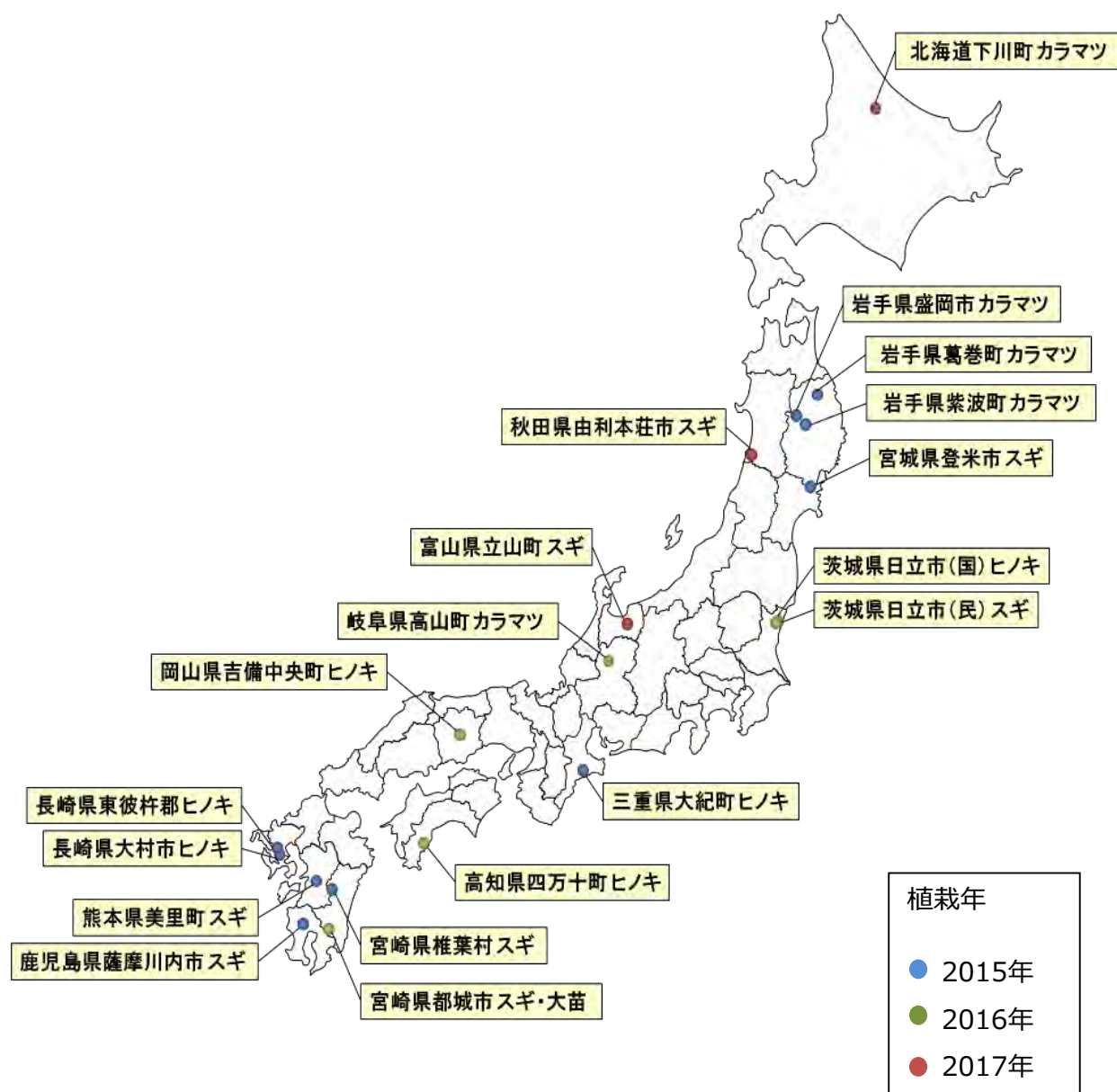
平成27(2015)年度から令和元(2019)年度までの5年間において林野庁が実施した『低密度植栽技術の導入に向けた調査委託事業』では、全国19箇所に「2,500本/ha」「1,600本/ha」「1,100本/ha」の実証試験地（以下「試験地」とする）を設け、最大で5か年にわたり調査を実施し、**低密度植栽の初期（植栽後4年程度まで）における植栽木の生育状況や初期保育のコスト**などについての知見を得ました。

その結果を基に、**地域特性に応じた低密度植栽技術導入のための林業技術者向け事例集**として、本冊子を作成しました。

本冊子は、各地域の林業技術者が、より自身の地域に近い状況での事例を参考にし、「低密度植栽」を導入する一助となることを目的としています。



試験地一覧



試験地一覧

No	場所	苗種	植栽密度 (本/ha)			植栽年月	植生タイプ	ページ
			1100	1600	2500			
1	北海道 下川町	カラマツ	○	○	○	2017年11月	多年生草本類	17
2	岩手県 紫波町	カラマツ		○	○	2015年12月	落葉広葉樹類 キイチゴ類	21
3	岩手県 盛岡市	カラマツ	○	○	○	2015年12月	ササ類 落葉広葉樹類	25
4	岩手県 葛巻町	カラマツ		○	○	2015年11月	スゲ類 多年生草本類	29
5	宮城県 登米市	スギ	○	○	○	2015年12月	キイチゴ類 落葉広葉樹類	33
6	秋田県 由利本荘市	スギ	○	○	○	2017年11月	シダ植物 ススキ	37
7	茨城県 日立市 (ヒノキ)	ヒノキ	○	○	○	2016年11月	ススキ キイチゴ類	41
8	茨城県 日立市 (スギ)	スギ	○	○	○	2016年10月	キイチゴ類	45
9	富山県 立山市	スギ	○	○	○	2017年12月	ススキ キイチゴ類	49
10	岐阜県 高山市	カラマツ	○	○	○	2016年10月	スゲ類 落葉広葉樹類	53
11	三重県 大紀町	ヒノキ		○	○	2016年2月	ススキ	57
12	岡山県 吉備中央町	ヒノキ	○	○	○	2016年12月	落葉広葉樹類	61
13	高知県 四万十町	ヒノキ	○	○	○	2017年2月	シダ植物	65
14	長崎県 大村市	ヒノキ		○	○	2016年1月	落葉広葉樹類 多年生草本類	69
15	長崎県 東彼杵町	ヒノキ	○	○	○	2016年1月	落葉広葉樹類 →ススキ	73
16	熊本県 美里町	スギ		1700	○	2016年2月	ススキ	77
17	宮崎県 椎葉村	スギ	○	○	○	2016年2月	ススキ	81
18	宮崎県 都城市	スギ (大苗)	○	○	○	2017年1月	落葉広葉樹類	85
		スギ (普通苗)			○			
19	鹿児島県 薩摩川内市	スギ		○	○	2015年12月	落葉広葉樹類 →ススキ	91

樹種別 一覧表

スギ	ヒノキ	カラマツ
5. 宮城県 登米市 … 33	7. 茨城県 日立市 … 41	1. 北海道 下川町 … 17
6. 秋田県 由利本荘市 … 37	11. 三重県 大紀町 … 57	2. 岩手県 紫波町 … 21
8. 茨城県 日立市 … 45	12. 岡山県 吉備中央町 … 61	3. 岩手県 盛岡市 … 25
9. 富山県 立山市 … 49	13. 高知県 四万十町 … 65	4. 岩手県 葛巻町 … 29
16. 熊本県 美里町 … 77	14. 長崎県 大村市 … 69	10. 岐阜県 高山市 … 53
17. 宮崎県 椎葉村 … 81	15. 長崎県 東彼杵町 … 73	
18. 宮崎県 都城市 … 85		
19. 鹿児島県 薩摩川内市 … 91		
スギ大苗		
18. 宮崎県 都城市 … 85		



調査項目および調査方法

本冊子では、以下に挙げた4つの項目について
地域ごとにとりまとめています。

① 植栽木の活着率、枯死率、成長量

低密度植栽により、植栽木の活着、初期における枯死率や成長量が影響されるかを調査しました。

【調査方法】

試験地に設定した調査プロット内の植栽木について、次の項目を調査しました。

- ・植栽木の活着率（植栽の翌年における苗木の生存率）
- ・植栽木の枯死率および枯死原因
- ・植栽木の樹高、地際直径（測定できれば胸高直径も）、植栽木の形状や状態（食害や誤伐の発生状況など）

② 植栽密度と下刈り作業時間

低密度植栽では植栽間隔が変わるため、下刈りの作業効率に影響が出るのではないかという懸念があります。

そこで、植栽密度を変えることにより、下刈りの作業時間にどのような影響があるかを調査しました。

【調査方法】

試験地内に設定した調査プロットにおいて、下刈り（全刈り）にかかった時間を計測しました。その結果から植栽密度ごとにヘクタールあたりの下刈り作業時間を算出して比較しました。

また、実際に下刈り作業に従事した方へのヒアリングを行い、現場では植栽密度の違いをどのように感じたかなどを調査しました。

調査項目および調査方法

③ 植栽木と雑草木の競合関係

低密度植栽では、通常の植栽密度と比べて下刈りの回数が増えるのではないかと懸念があります。

そこで、植栽木と周囲の雑草木の競合関係を調査し、低密度植栽で通常密度の植栽よりも下刈りを終了するまでの回数が増えるかどうかを検証しました。

【調査方法】

- 下刈り前における植栽木と雑草木の樹高の比較を行いました。
- 植栽木と雑草木の競合状態を、山川ほか（2016）によるC 1～C 4の4つのカテゴリに分類（12ページ参照）して評価しました。
- 雑草木の種組成を調査しました。

上記の調査項目を総合的に判断し、低密度植栽で通常密度の植栽と同じ回数で下刈りが終了できるかどうかを検証しました。

なお、下刈りの終了を判断するにあたり、以下の研究事例を参考にしています。

- スギ植栽木の平均樹高が2.2mを超えると、雑草木を被圧し始める。
（鶴崎ほか 2106）
- 植栽木と雑草木の競合状態がC 1、C 2、C 3であれば植栽木の樹高成長は低下せず、C 4になると植栽木の樹高成長が低下する。（山川ほか 2016）

調査項目および調査方法

④ 低密度植栽によるコスト削減の効果

低密度植栽を行うことにより、どの程度コストを削減できるかを試算し、従来の3,000本/ha（カラマツは2,500本/ha）と比較しました。

試算したコスト（ヘクタールあたり）は、以下の2通りです。

- 地拵えから苗木の購入、植栽までの「植栽時のコスト」
- 植栽時のコストに下刈り（2019年まで）のコストを含めた「初期保育コスト」

【調査方法】

植栽時のコスト（地拵え費、苗木購入費、植栽労務費、シカ柵設置費、その他森林保険、資材費、諸経費など）や下刈り時のコストを調査しました。

「地拵え費」「苗木購入費」「植栽労務費」「シカ柵設置費」「その他諸経費など（森林保険料、資材費などを含む）」については、実際に掛かったコストを基に算出しました。

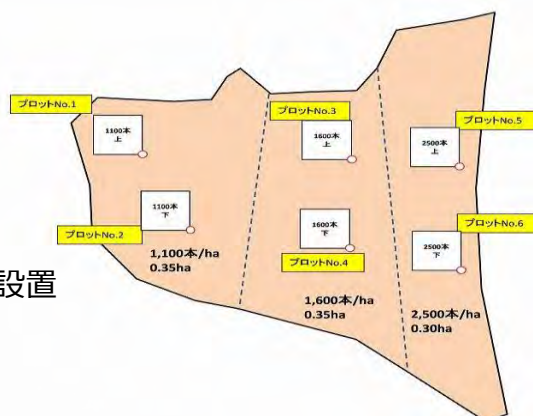
「下刈りコスト」については、②で調査した結果を基に、植栽密度ごとに算出しました。

調査項目および調査方法

本事業において実施された調査方法は、以下の通りです。

「調査プロットの設定」

- ・試験地（1ヘクタール）を植栽密度ごとに区分
- ・植栽密度区ごとに2～3つの調査プロットを設定
- ・植栽木が36～40本程度入るように各調査プロットを設置
→調査対象木とする



「夏季調査」・・・主に植栽木と雑草木の競合関係を把握するための調査

調査時期：	6～8月（ <u>下刈りの前</u> ）
調査内容：	・プロット内の<u>毎木調査</u>（樹高、樹冠幅の計測） ・プロット内の植栽木の<u>生育状況</u>の記録（枯死、曲がり、食害など） ・プロット内の植栽木と雑草木の<u>競合状態</u>（12ページ参照）の記録 ・プロット内の雑草木の<u>植生調査</u>（<u>植被率</u>、<u>主な優占種</u>、<u>雑草木の高さ</u>の記録） ・定点からの写真撮影

「下刈り調査」・・・植栽密度と下刈り作業時間の関係を把握するための調査

調査時期：	夏季（ <u>下刈り時</u> ）
調査内容：	・各プロットの<u>面積測定</u> ・各プロットにおける下刈り作業の<u>時間計測</u> ・現場作業員への<u>ヒアリング</u>

「秋季調査」・・・主に植栽木の成長を把握するための調査

調査時期：	10～11月（ <u>下刈りの後、成長休止期</u> ）
調査内容：	・プロット内の<u>毎木調査</u>（樹高、<u>地際直径</u>・<u>胸高直径</u>、樹冠幅の計測） ・プロット内の植栽木の<u>生育状況</u>の記録（枯死、曲がり、食害、誤伐など） ・定点からの写真撮影

調査項目および調査方法

植栽木と雑草木の競合状態（C1～C4）について

植栽木と雑草木の競合状態を、山川ほか（2016）の基準を用いて以下の4つのカテゴリで簡潔に示しました。

- 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
- C2：植栽木の樹冠の半分以上が周辺の雑草木に覆われているが、梢端は露出している
- C3：植栽木と雑草木の梢端が同じ位置にある
- C4：植栽木が雑草木に完全に覆われている

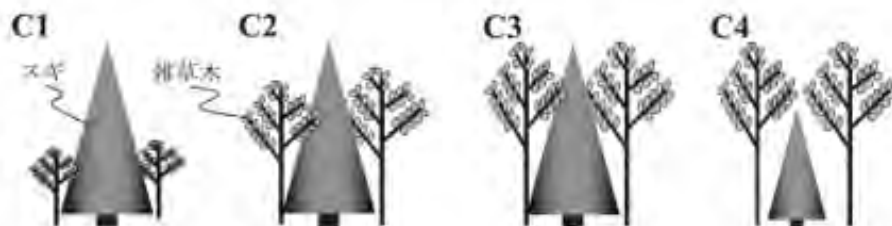


図 植栽木と雑草木の競合状態（C1～C4）について
山川ほか(2016) スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響,
日林誌（2016）98:241-246

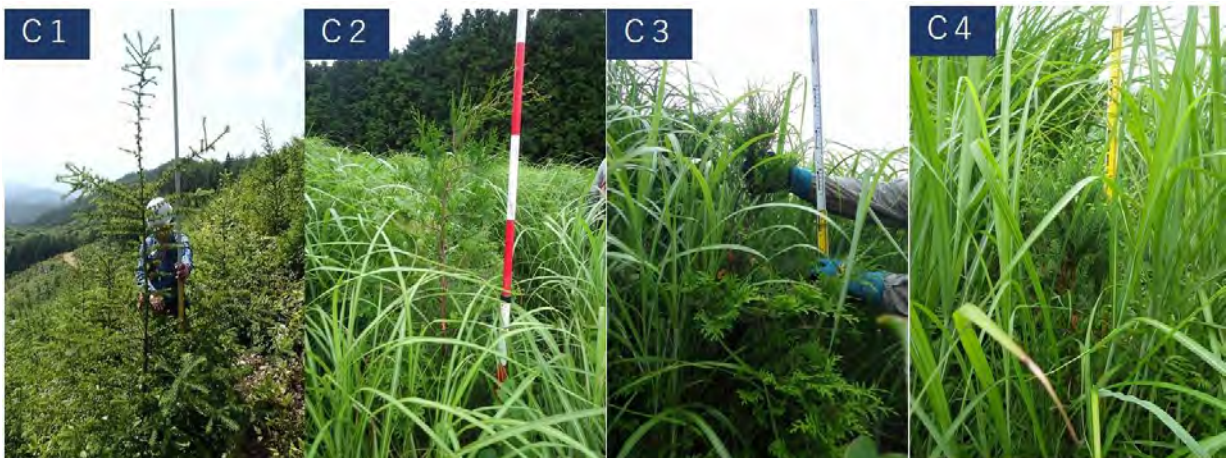


写真 C1～C4の例

本事例集の見方

本事例集では、一つの地域につき4ページに渡ってデータを掲載しています。

①試験地の概要

試験地の気候や地形、施業履歴などを記載しています。

最深積雪・・・植栽木の保育に影響が生じるような積雪がある地域については、その地域（あるいは最も近い観測地点）における最深積雪の平年値を記載しています。

一貫または通常・・・伐採、搬出と並行して地拵え、植栽を行う「一貫作業システム」を用いたかどうかの項目です。

②試験地の地図

試験地の位置を示した地図です。

③植生タイプ

試験地における雑草木群落を、主な優占種に着目して以下のようにタイプ分けしました。

落葉広葉樹類

キイチゴ類

常緑広葉樹類

多年生草本類

ススキ類

スゲ類

シダ植物

ササ類

植被率と主な優占種

植被率とは、試験地の地表が植生にどのくらい覆われているかを％で示したものです。
優占種については、試験地に生育している植生のうち、よく見られた種を記載しています。その中でも特に優占している種については、種名の前に◎をつけています。

なお、植栽してから現時点までの間に植生タイプに変化が見られた場合には、変化前と変化後の両方を記載しています。

④試験地の写真

- ・ 6～8月に撮影 → 下刈り前の様子
- ・ 10～11月に撮影 → 下刈り後の様子



本事例集の見方

⑤ 植栽木の活着率について

活着率（植栽の翌年に植栽木が生存していた割合）を、植栽密度ごとに％で示しています。

活着率が90％を越えていた場合は、赤字で示しています。

⑥ 植栽木の枯死率・枯死原因について

植栽してから2019年までに枯死した植栽木のデータです。

※**枯死率** = 枯死本数の合計 ÷ 設定本数

※**設定本数** = 各プロット内の植栽時の本数

枯死原因について、確実に判別できないものについては「枯れ」としています。

⑦ 植栽木の成長量について

植栽木の樹高、地際直径の平均値を植栽密度ごとに比較したデータです。

グラフ中の「I」は標準偏差で、データのばらつき具合を示しています。

以下のような正常な成長をしていない植栽木は、データから除外しています。

- ・ 形状に問題が見られた植栽木（曲がり、折れ、斜立など）
- ・ 食害や誤伐などが見られた植栽木



本事例集の見方

⑧ 植栽密度と下刈り作業時間

植栽密度の違いによって、下刈りの作業時間に差があるかを示したグラフです。

植栽密度ごとに設定した調査プロットにおいて下刈り作業時間を計測し、ヘクタールあたりの作業時間に換算して比較しています。

⑨ 植栽木と雑草木の樹高成長の比較

植栽木と競合する雑草木の樹高成長の経年変化を示したグラフです。

実線：植栽木の平均樹高（下刈り前）
破線：雑草木の平均樹高（下刈り前）

グラフ中の「↓下刈り○」（○は数字）は、植栽してから○回目の下刈りが実施されたこと示しています。

なお、本項目では雑草木の調査を開始した2017年からのデータを示しています。

3. 岩手県盛岡市

カラマツ

1,100本/ha 1,600本/ha 2,500本/ha

② 植栽密度と下刈り作業時間



- ・低密度区である1100本区と1600本区で、作業時間がわずかに短くなった。
- ・下刈り作業者からは、低密度区で植栽間隔が広いと次の一本が見えにくく、作業が大変だったとの意見があった。ただし、実際の作業効率はこの通りである。

③ 植栽木と雑草木の競争関係



植栽木と雑草木の樹高成長の比較



2019年7月撮影



C区分判定の経年変化

- ・樹高成長の比較では、植栽後2年目の2017年に植栽木が雑草木から抜け出し始め、翌年にはさらに差が開いた。
- ・C区分判定では、C1+C2の割合が植栽後2年目（2017年）の時点で7割以上、植栽後3年目（2018年）では9割前後となっていた。
- ・以上から、4年目から下刈りの省略を検討できる。

⑩ 植栽木と雑草木の競合関係

調査プロット内の各植栽木について競合状態の判定（12ページ参照）を行い、その割合を植栽密度ごとに示したグラフです。

なお、本項目では雑草木の調査を開始した2017年からのデータを示しています。

⑪ 植栽木の写真

下刈り前における植栽木と雑草木の競合関係を示した写真を掲載しています。

本事例集の見方



3. 岩手県盛岡市

カラマツ 1,100本/ha 1,600本/ha 2,500本/ha

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】



【地ごしらえから植栽後4年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは空の結果を踏まえて植栽密度ごとに算出した。



岩手県盛岡市まとめ

試験地	2015年11月にカラマツを植栽。植栽後4年が経過。 - クマイザサが優占し、落葉広葉樹類が混生している。
調査結果	- 低密度ほど成長が早い結果となった。 - 植栽後4年目(2019年)には、どの植栽密度もC1+C2が8割以上となっている。低密度植栽であっても、通常どおりの期間で下刈りを終了できると考えられる。
課題	2019年に3本の根抜けによる枯死が見られたが、風害、雪害の他に凍上害による可能性がある。

29

⑫植栽時のコストの削減効果

各植栽密度における地拵えから植栽までの植栽コストを、従来の3,000本/ha（カラマツは2,500本/ha）を100%として比較しています。

※「諸経費など」については、資材費や森林保険料などを含みます。

※「地拵え費」「諸経費など」については、植栽密度によらず同額としています。

⑬初期保育コストの削減効果

「⑫植栽時のコスト削減効果」に2019年までの下刈り作業のコストも含めたものを、従来の3,000本/ha（カラマツは2,500本/ha）を100%として比較しています。

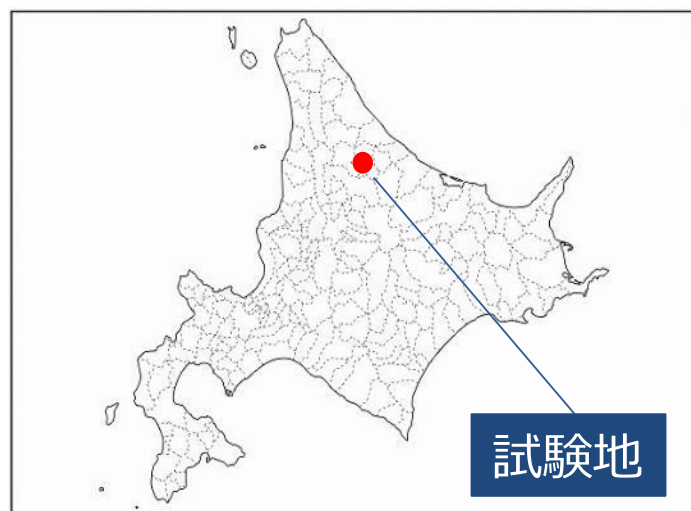
下刈りのコストについては、「⑧植栽密度と下刈り作業時間」の結果をもとに、各植栽密度ごとに算出しています。

⑭各地域ごとのまとめ

これまで記載してきた試験地のデータについて、結果や課題などをまとめています。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	5.1℃	苗木の種類	カラマツ コンテナ苗 150cc (実生苗)
年降水量	911.7mm	前生林種	トドマツ・カラマツ
最深積雪	124cm	伐採年	2017年
標 高	320～340m	植栽年月	2017年11月
傾 斜	10～15°	補植年月	2019年9月
斜面方位	S	一貫 または 通常	通常作業
土 壌	褐色森林土	シカ柵の 有無	無し



【植生タイプ】

多年生草本類

【植被率と主な優占種】

(1,100本/ha区)

植被率30%

ヨモギ

(1,600本/ha区)

(2,500本/ha区)

植被率70%

◎ハルジオン

イタドリ、ヨモギ



2019年7月撮影



2019年10月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
40%以下	40%以下	50%以下

※植栽の翌年に半数以上が
枯死（原因は不明）



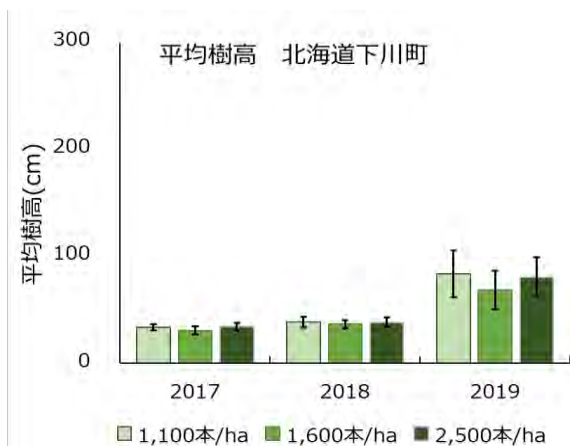
2019年9月に約1050本の
補植を実施

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

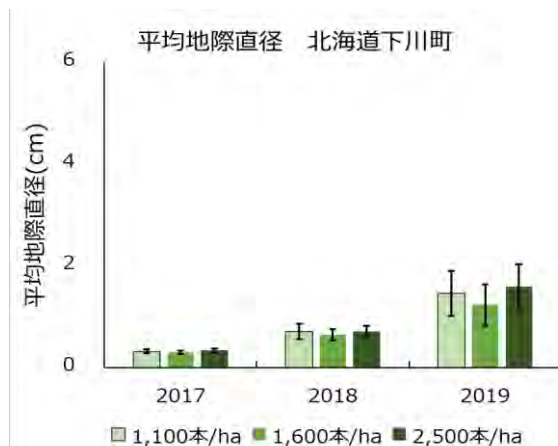
プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)			合計	枯死 率 (%)
			2018	2019			
5	1,100	36	27 (枯れ14・消失12・誤伐1)	2 (枯れ2)	補植 (9月)	29	80.6
6	1,100	36	20 (枯れ12・消失8)	1 (枯れ)		21	58.3
3	1,600	36	24 (枯れ22・消失2)	0		24	66.7
4	1,600	36	20 (枯れ16・消失4)	1 (枯れ)		21	58.3
1	2,500	36	20 (枯れ20)	1 (枯れ)		21	58.3
2	2,500	36	17 (枯れ17)	0		17	47.2

3. 植栽木の成長量について

※成長量の各データに、2019年に補植した苗木の
データは含まれていない。



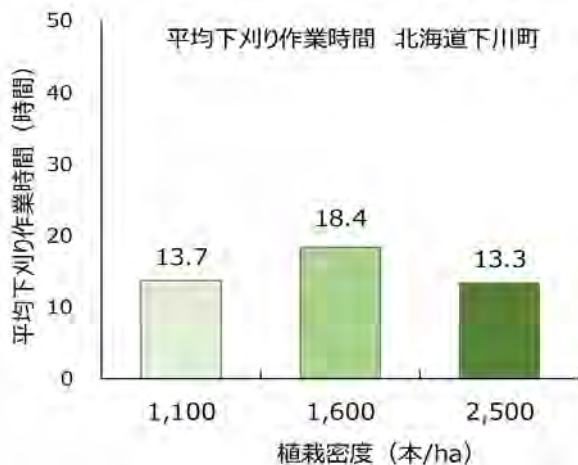
植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

- すべての植栽密度で活着率は50%以下と低かった。主軸が残っており、折れなども確認されなかったことから、獣害、気象害、病害などは考えにくく、原因の特定はできなかった。今後の成林が危ぶまれるため、2019年9月に約1,050本の補植を行った。
- 1,600本/ha区で成長が少し落ちているが、局所的な雑草木の繁茂による被圧が影響したと考えられる（次ページ③の競合関係の調査を参照）。1,100本/ha区と2,500本/ha区の比較では成長は変わらなかったことから、現時点では植栽密度による初期成長への影響は無いと考えられる。

②植栽密度と下刈り作業時間

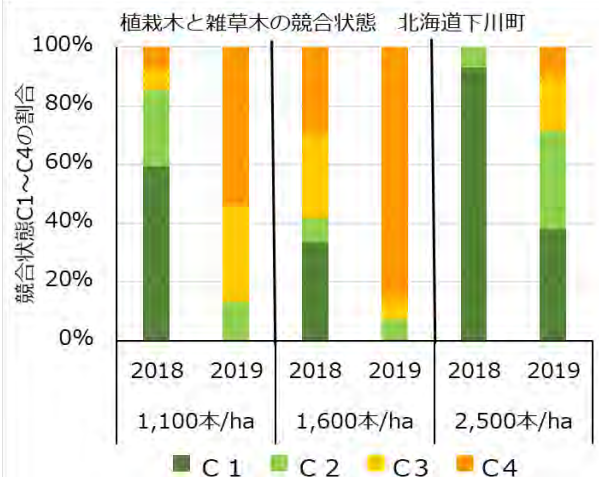


- 1,600本/ha区で作業時間が長くなっているが、現場作業員からのヒアリングでは、局所的な雑草木の繁茂具合が影響したとの回答があった。
- 1,100本/ha区と2,500本/ha区では作業時間はほぼ変わらなかった。
- 以上から、下刈り作業時間は植栽密度にほとんど影響されなかったと考えられる。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1～C4) の経年変化



2019年7月撮影

- 2019年の時点で雑草木の成長量が植栽木を上回っており、前年よりも競合に負けている植栽木が多い。
- 競合状態の比較では、1,600本/ha区で他の植栽密度区より被圧されていた。これは局所的な雑草木の繁茂により生じたと思われる。(左の写真：写真の手前側と奥側で草本類の繁茂状況が異なる)
- 2019年の時点では、植栽密度にかかわらずまだ下刈り終了の判断は難しい。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

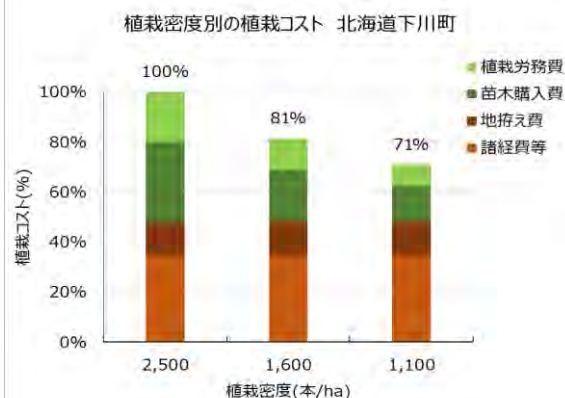
※苗木：一本 120円

2,500本/haと比較して・・・

・1,600本/ha → 81%

・1,100本/ha → 71%

にコスト削減が可能



【地ごしらえから植栽後2年目までの初期保育コスト削減効果】

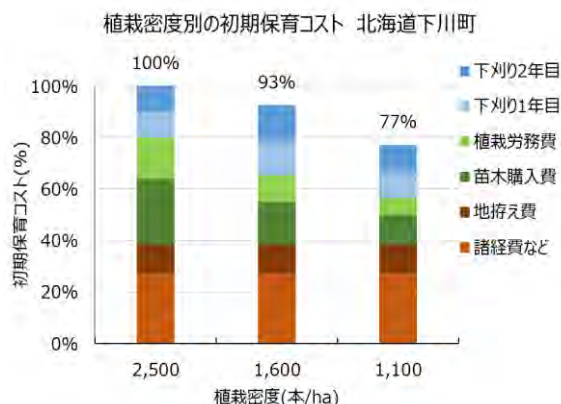
※下刈りのコストは②の結果を踏まえて植栽密度ごとに算出した。

2,500本/haと比較して・・・

・1,600本/ha → 93%

・1,100本/ha → 77%

にコスト削減が可能



北海道下川町まとめ

試験地

- ・ 2017年11月にカラマツを植栽し、植栽後2年が経過している。
- ・ ハルジオン、ヨモギなどの多年生草本が優占しており、繁茂具合に局所的なばらつきがある。

調査結果

- ・ 植栽の翌年に半数以上が枯死した。獣害、気象害、病害については考えにくく、原因の特定はできなかった。
- ・ 局所的に雑草木の繁茂が多かった1,600本/ha区で、カラマツの成長が低下した。植栽密度自体はカラマツの成長に影響しなかった。
- ・ 下刈り作業時間についても局地的な雑草木の繁茂具合により影響されたが、植栽密度による影響はほとんどなかった。
- ・ 2019年の時点では、植栽密度にかかわらず下刈り終了の判断は難しい。

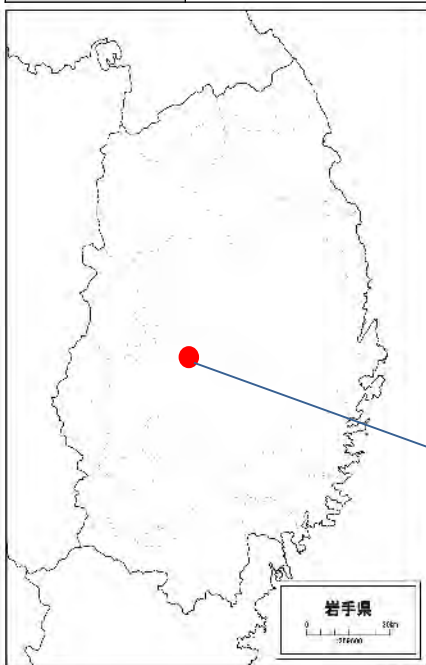
課題など

- ・ カラマツは初期成長の際に、雑草木による被圧の影響をより強く受けってしまう恐れがある。本試験地では優占している多年生草本の成長が速いため、競合から抜けるまでは丁寧な下刈りが必要と考えられる。
- ・ ハルジオン、ヨモギなどは樹高があまり高くないため、カラマツがある程度まで成長してしまえば早期に下刈りを終了でき、更なるコスト削減も期待できる。

試験地の概要

試験地の概要

年平均気温	10.0℃	苗木の種類	カラマツ コンテナ苗 150cc (実生苗)
年降水量	1,239.7mm	前生林種	広葉樹・一部スギ
最深積雪	39cm (盛岡)	伐採年	2015年11月
標高	550～580m	植栽年月	2015年12月
傾斜	10～25°	一貫 または 通常	一貫作業
斜面方位	SW	シカ柵の 有無	無し
土 壌	乾性褐色森林土～褐色森林土		



試験地

【植生タイプ】

落葉広葉樹類

キイチゴ類

【植被率と主な優占種】

植被率75%

ミヤマガマズミ

クマイチゴ

タラノキ



2019年7月撮影



2019年10月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

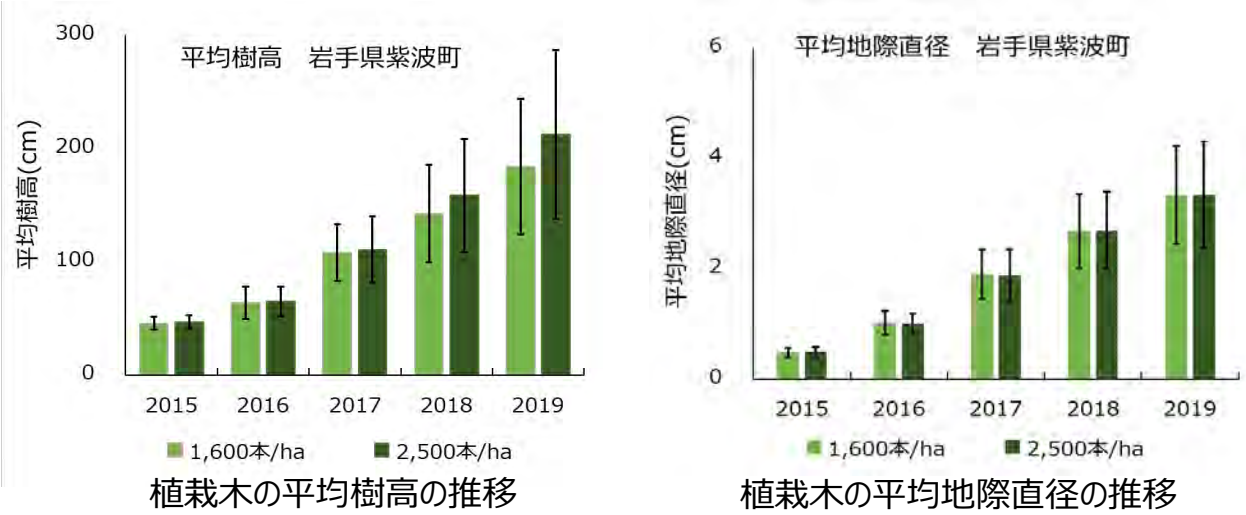
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
-	90 %以上	100%

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

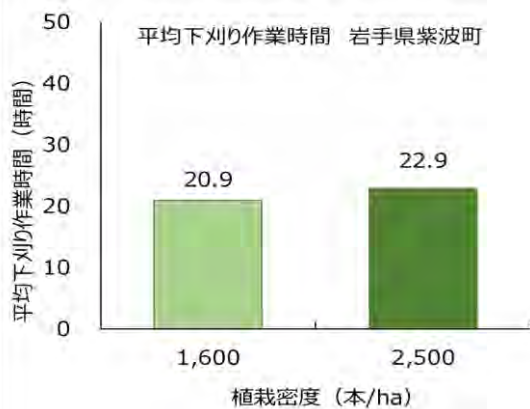
プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					枯死率 (%)
			2016	2017	2018	2019	合計	
1	1,600	36	4 (衰弱4)	0	1 (枯れ)	1 (根抜け)	6	16.7
2	1,600	36	3 (衰弱2・枯れ1)	1 (先端折れ)	0	1 (根抜け)	5	13.9
3	1,600	41	0	1 (枯れ)	0	1 (誤伐)	2	4.9
4	2,500	36	0	2 (衰弱2)	0	4 (根抜け3・枯れ1)	6	16.7
5	2,500	37	0	1 (衰弱)	0	1 (枯れ)	2	5.4
6	2,500	39	0	0	1 (誤伐)	1 (枯れ)	2	5.1

3. 植栽木の成長量について



- 活着率は植栽密度間で差が見られず、90%以上と高い数値を示した。
- 枯死率はプロット間でばらつきがみられるものの、植栽密度間で大きな差は見られなかった。2019年10月に根抜けによる枯死が5本見られたが、風害などが原因として考えられる。
- 平均樹高は、2019年には1,600本/ha区で約28cmほど低くなったが、林冠閉鎖まで至っていないため、植栽密度による影響とは考えにくい。平均地際直径は植栽密度間で変わらなかった。

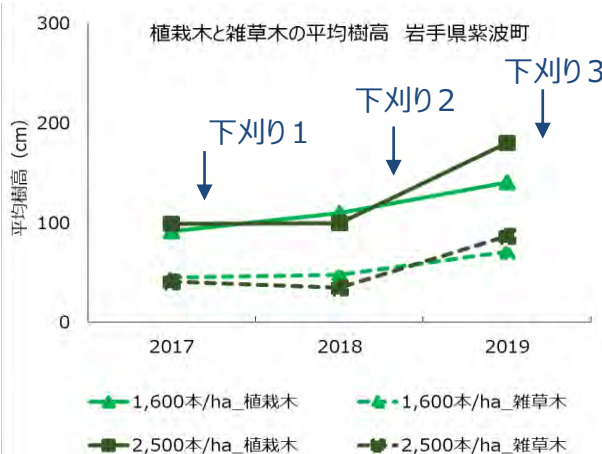
②植栽密度と下刈り作業時間



- ・ 植栽密度による下刈り作業時間の差は、ほとんど見られなかった。
- ・ 現場作業員からのヒアリングでは、作業の難易は植栽密度の違いよりも、周囲の植生の繁茂状況の差や植生種の違いに影響されたという回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係

※2016年は「一貫作業システム」による地拵え直後で雑草の繁茂が少なく、下刈りを省略できた。



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1～C4) の経年変化



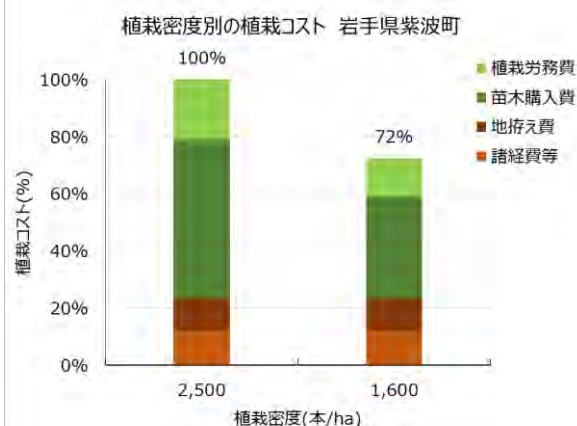
2019年7月撮影

- ・ 「一貫作業システム」による地拵えを行い、初回の下刈りを省略できた。
- ・ 平均樹高の比較では、植栽後4年目の2019年にはどの植栽密度も植栽木が雑草木から大きく抜け出している。
- ・ 競合状態の比較では、植栽密度間で大きな差は見られない。植栽後4年目（2019年）にはどの植栽密度もC1が9割以上に達していた。
- ・ 以上から、どの植栽密度も翌年の下刈り（4回目）で終了することが検討できる。低密度植栽区も通常密度の植栽区と同じ回数で下刈りを終了できると考えられる。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 225円



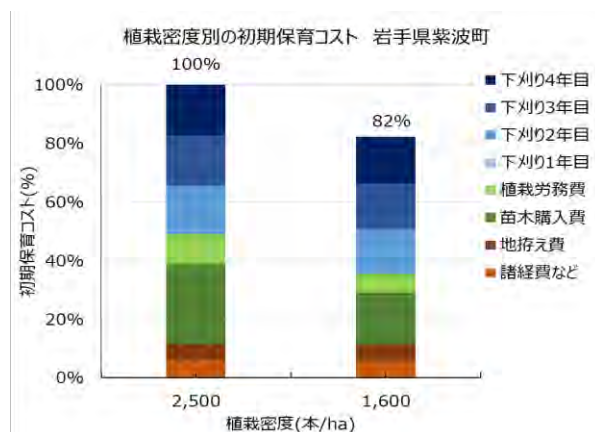
2,500本/haと比較して・・・

・1,600本/ha → 72%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後4年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。



2,500本/haと比較して・・・

・1,600本/ha → 82%

にコスト削減が可能

※下刈り1年目（2016年）は地拵え直後で雑草の繁茂が少なく、下刈りを省略できた。

岩手県紫波町まとめ

試験地	2015年12月にカラマツを植栽し、植栽後4年が経過している。 - ミヤマガズミやタラノキ、クマイチゴといった落葉広葉樹が優占しているが、植被率は高くない。
調査結果	「一貫作業システム」による地拵えにより、初回の下刈りを省略できた。 1,600本/ha区で樹高成長が約28cmほど低かったが、植栽密度以外の要因と考えられる。その他に、初期成長について植栽密度間で大きな差は見られなかった。 - どの植栽密度も雑草木との競合から大きく脱しており、低密度植栽区も通常密度の植栽区と同じ回数で下刈りを終了できると考えられる。
課題など	2019年に5本の根抜けによる枯死が見られたが、風害による可能性がある。局所的な枯死はその後の成林にも影響するため、注意が必要である。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	10.2℃	苗木の種類	カラマツ コンテナ苗 150cc (実生苗)
年降水量	1266.0mm	前生林種	－
最深積雪	39cm	伐採年	2015年10月
標 高	280～290m	植栽年月	2015年11月
傾 斜	20°	一貫 または 通常	一貫作業
斜面方位	SW	シカ柵の 有無	無し
土 壌	乾性褐色森林土		



【植生タイプ】

ササ類 落葉広葉樹類

【植被率と主な優占種】

植被率90%以上

◎クマイザサ
コメウツギ
ミヤマガマズミ
クマイチゴ



2019年 7 月撮影



2019年10月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

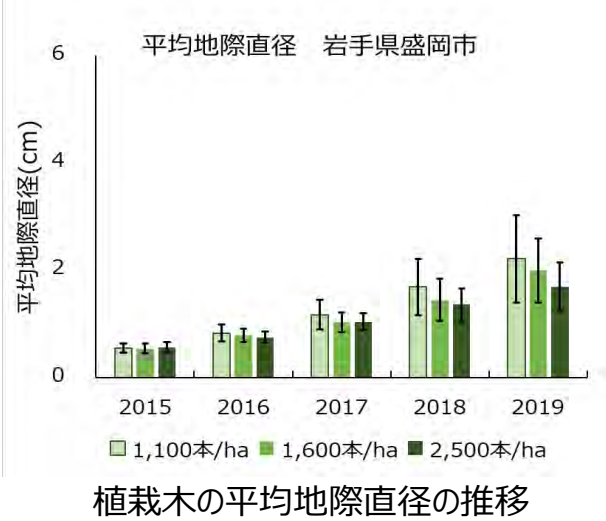
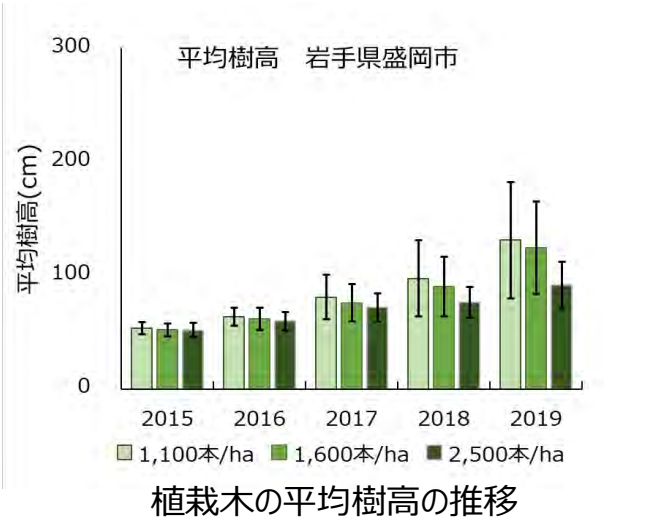
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
90 %以上	100%	90 %以上

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

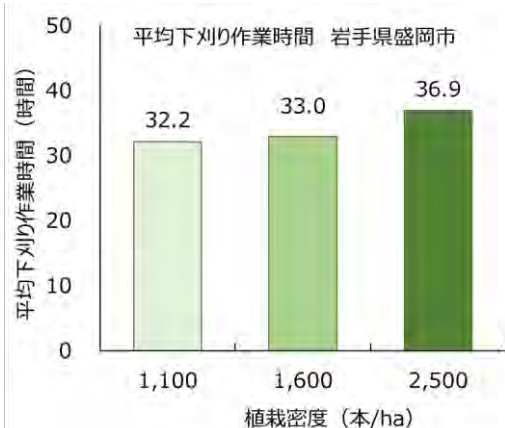
プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					枯死率 (%)
			2016	2017	2018	2019	合計	
1	1,100	40	0	5(消失3・枯れ2)	0	0	5	12.5
2	1,100	40	2 (消失1・枯れ1)	1 (枯れ)	1 (枯れ)	4 (消失4)	8	20.0
3	1,600	41	0	2 (衰弱1・枯れ1)	1 (枯れ)	1 (枯れ)	4	9.8
4	1,600	37	0	1 (枯れ)	0	1 (根抜け)	2	5.4
5	2,500	36	1 (衰弱)	1 (枯れ)	1 (枯れ)	1 (根抜け)	4	11.1
6	2,500	36	0	2 (枯れ2)	0	8 (消失4・根抜け2・枯れ2)	10	27.8

3. 植栽木の成長量について



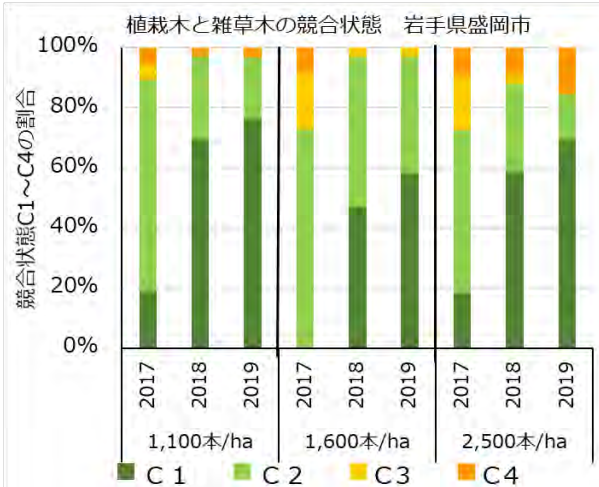
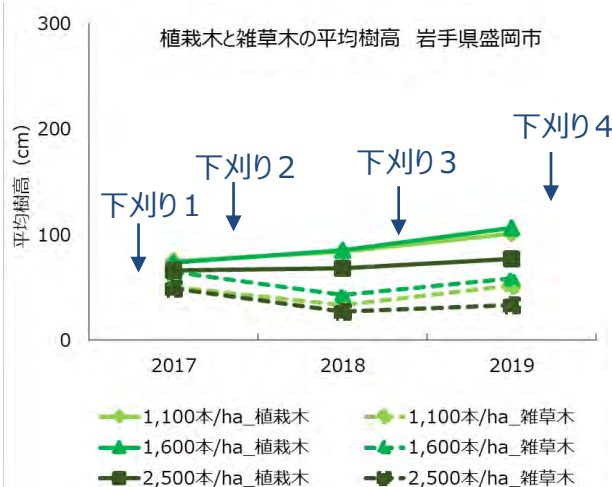
- 活着率は植栽密度間で差が見られず、どの植栽密度区も90%と高い数値を示した。
- 枯死率は一部の調査プロットで高くなったが、原因は不明である。2019年に根抜けによる枯死が3本見られたが、風害などの気象害が考えられる。
- 成長量は樹高、地際直径ともに密度が低くなるほど大きくなった。本試験地は未だ林冠閉鎖まで至っていないため、植栽密度による影響とは考えにくく、立地環境など他の要因によるものと考えられる。

②植栽密度と下刈り作業時間



- 低密度植栽区ほど下刈り作業時間が短くなる傾向が見られた。
- 現場作業員からのヒアリングでは、低密度植栽区で植栽間隔が広いと次の一本が見えにくく、作業が大変だったとの回答があった。ただし、実際の作業効率は左図の通りである。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較

競合状態 (C1 ~ C4) の経年変化



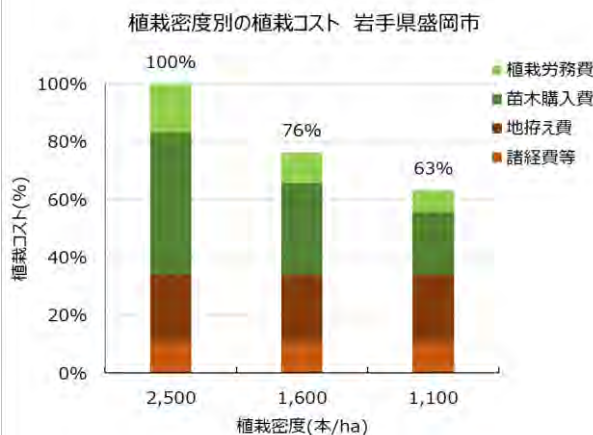
2019年7月撮影

- 平均樹高の比較では、どの植栽密度でも、植栽後4年目（2019年）には植栽木が雑草木から抜け出しているものの、樹高差はまだ大きくない。
- 競合状態の比較では、植栽後4年目（2019年）にはどの植栽密度もC1 + C2の割合が8割以上となっていた。
- 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に大きな違いは見られなかった。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 225円



2,500本/haと比較して・・・

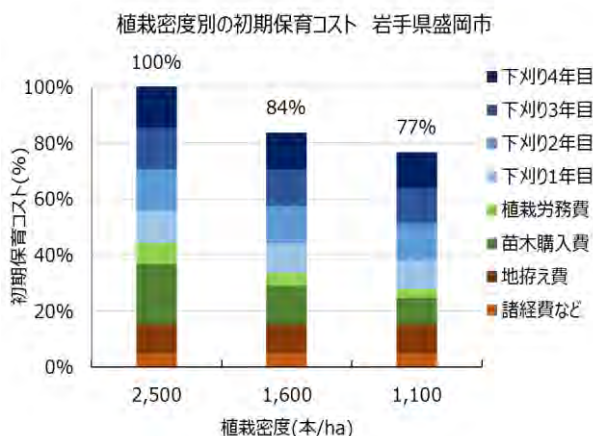
・1,600本/ha → 76%

・1,100本/ha → 63%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後4年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて植栽密度ごとに算出した。



2,500本/haと比較して・・・

・1,600本/ha → 84%

・1,100本/ha → 77%

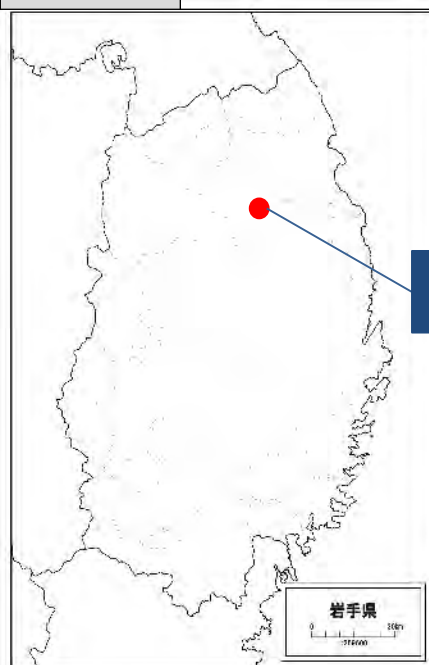
にコスト削減が可能

岩手県盛岡市まとめ

試験地	2015年11月にカラマツを植栽し、植栽後4年が経過している。 - クマイザサが優占しており、落葉広葉樹類が混生している。
調査結果	- 低密度ほど樹高、地際直径ともに成長量が大きくなった。ただし本試験地は未だ林冠閉鎖まで至っていないため、植栽密度による影響とは考えにくく、立地環境など他の要因によるものと考えられる。 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に大きな違いは見られなかった。
課題など	2019年に3本の根抜けによる枯死が見られたが、風害による可能性がある。局所的な枯死はその後の成林にも影響するため、注意が必要である。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	8.4℃	苗木の種類	カラマツ コンテナ苗 150cc (実生苗)
年降水量	1,008.7mm	前生林種	—
最深積雪	52cm	伐採年	2013年11月
標高	220～250m	植栽年月	2015年11月
傾斜	10～15°	一貫 または 通常	通常作業
斜面方位	NW	シカ柵の有無	無し
土壌	乾性褐色森林土～褐色森林土		



試験地

【植生タイプ】

スゲ類

多年生草本類

【植被率と主な優占種】

植被率90%以上

◎スゲSp.

トリアシショウマ

ヤブレガサ

チマキザサ節Sp.



2019年7月撮影



2019年10月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

1. 植栽木の活着率について

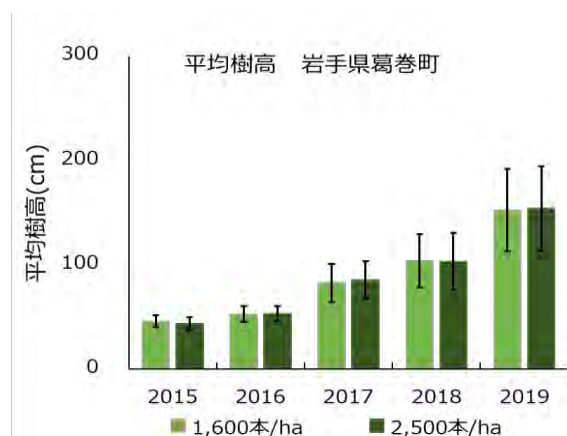
1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
-	90 %以上	90 %以上

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

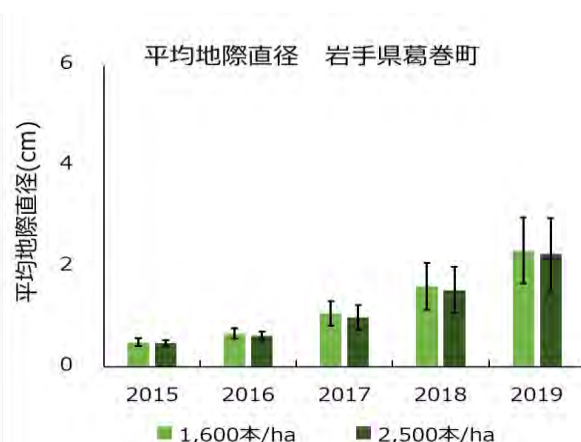
プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)					枯死率 (%)
			2016	2017	2018	2019	合計	
1	1,600	41	3 (幹折れ1・枯れ2)	2 (シカ食1・枯れ1)	0	0	5	12.2
2	1,600	40	0	3 (衰弱1・枯れ1・誤伐1)	0	0	3	7.5
3	1,600	36	2 (枯れ1・幹折れ1)	1 (誤伐)	1 (誤伐)	0	4	11.1
4	2,500	42	1 (枯れ)	2 (梢端折れ)	1 (獣虫害)	0	4	9.5
5	2,500	40	1 (枯れ)	4 (衰弱1・梢端折れ1・誤伐1・消失1)	2 (枯れ2)	1 (枯れ)	8	20.0
6	2,500	36	1 (枯れ)	1 (梢端折れ)	0	0	2	5.6

※プロット2およびプロット5については、試験的に2016年の下刈りを省略している。

3. 植栽木の成長量について



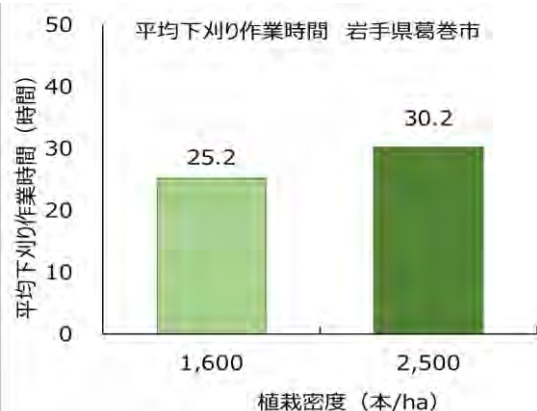
植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

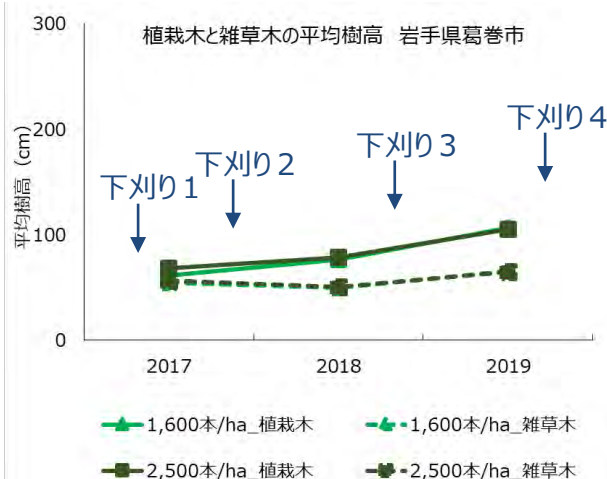
- ・ 活着率は植栽密度間で差が見られず、どの植栽密度も90%以上と高い数値を示した。
- ・ 枯死率については、2016年に下刈りを実施しなかったプロット2とプロット5で、翌2017年の枯死本数が多かった。植栽密度間では大きな差が見られなかった。
- ・ 成長量は植栽密度間で差が見られなかった。
- ・ 以上から、植栽木の初期における生育に植栽密度は影響しなかったと考えられる。

②植栽密度と下刈り作業時間

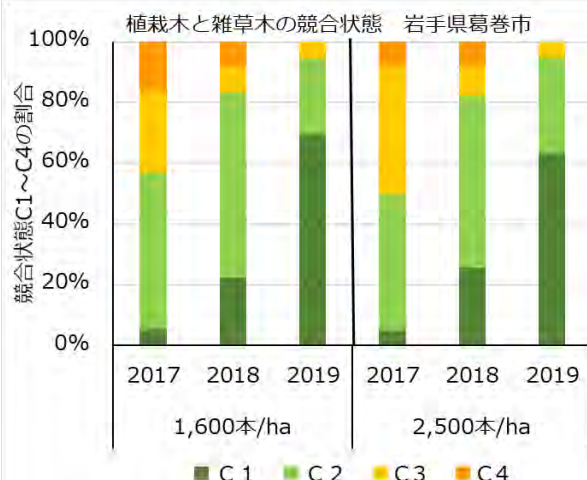


- 低密度植栽区で下刈り作業時間が減少する傾向が見られた。
- 現場作業員からのヒアリングでは、1,600本/ha区の方が作業がやりやすかったが、植栽間隔よりも地形の影響のほうが大きいとの回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1 ~ C4) の経年変化



2019年7月撮影

- 平均樹高の比較では、どの植栽密度も植栽木が雑草木から抜け出しているものの、樹高差はまだ大きくない。
- 競合状態の比較では、植栽後4年目(2019年)にはどの植栽密度もC1 + C2が9割以上となっており、植栽密度間で大きな差は見られなかった。
- 以上より、2019年の時点ではどの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に違いは見られなかった。

④低密度植栽によるコスト削減効果

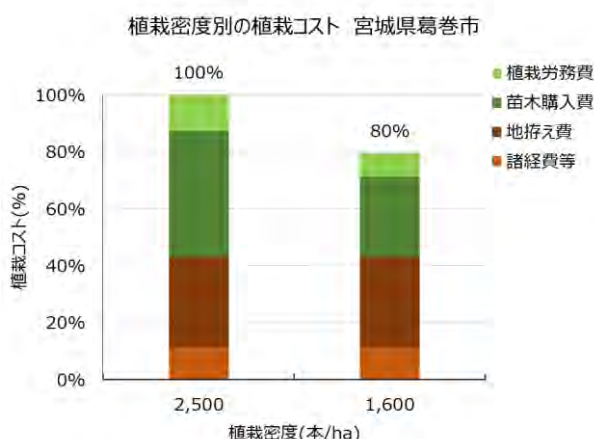
【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 206円

2,500本/haと比較して・・・

・1,600本/ha → 80%

にコスト削減が可能



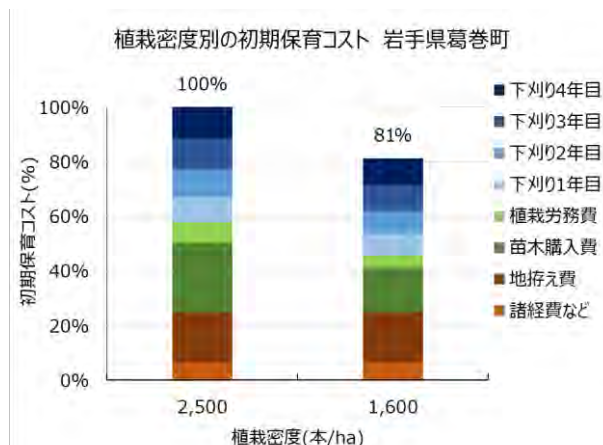
【地ごしらえから植栽後4年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。

2,500本/haと比較して・・・

・1,600本/ha → 81%

にコスト削減が可能



岩手県葛巻市まとめ

試験地	2015年11月にカラマツを植栽し、植栽後4年が経過している。 - 雑草木の植被率は高いが、スゲ類など背丈の低い植物が多い。
調査結果	- 植栽木の初期における生育に、植栽密度間で差は見られなかった。 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に違いは見られなかった。
課題など	植栽翌年の下刈りを試験的に省略したプロットで枯死本数が多くなったことから、カラマツは植栽直後において雑草木による被圧の影響を受けやすいことが考えられる。植栽直後は丁寧な下刈りを行う必要がある。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	11.3℃（一関）	苗木の種類	スギ コンテナ苗 150cc（実生苗）
年降水量	1211.5mm（一関）	前生林種	－
最深積雪	24cm（一関）	伐採年	2012年
標 高	100～130m	植栽年月	2015年12月
傾 斜	38°	補植年月	2016年10月
斜面方位	NE	一貫 または 通常	通常作業
土 壌	乾性褐色森林土～褐色森林土	シカ柵の有無	無し （2016年10月に忌避剤を散布）



試験地

【植生タイプ】

キイチゴ類

落葉広葉樹類

【植被率と主な優占種】

植被率95%以上

クマイチゴ

コゴメウツギ

シダ類（ヘビノネゴザ・ヤマドリゼンマイ）

ススキ



2019年7月撮影



2019年10月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
90 %以上	90 %以上	90 %以上

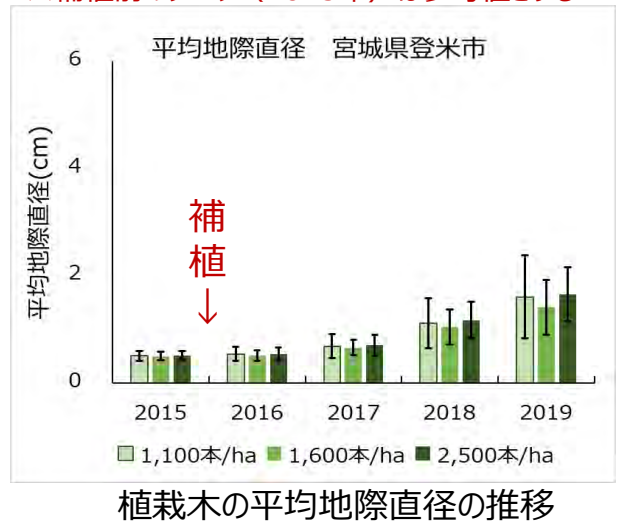
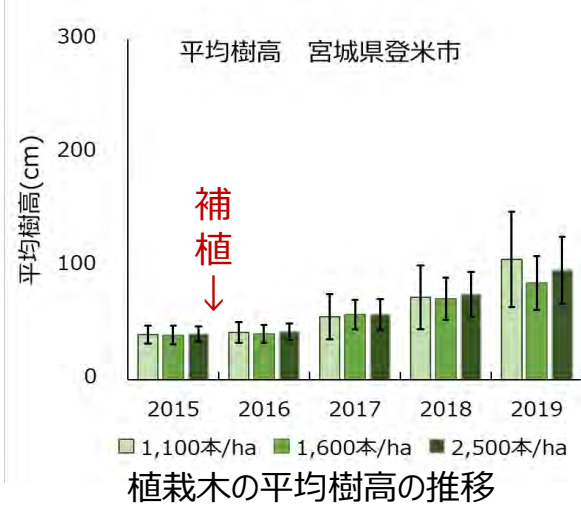
植栽直後に4割近い植栽木が食害を受け枯死
↓
2016年に補植
(左の数値は補植後のデータである)

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

ポット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					枯死率 (%)
			2016	2017	2018	2019	合計	
1	1,100	39	0	8 (枯れ8)	3 (消失1・獣虫害1・枯れ1)	3 (消失2・獣虫害1)	14	35.9
2	1,100	36	1 (枯れ1)	1 (ウサギ食害)	6 (枯れ4・ウサギ食害1・消失1)	3 (誤伐1・消失1・枯れ1)	11	30.6
3	1,600	35	0	5 (枯れ4・誤伐1)	0	3 (枯れ2・消失1)	8	22.9
4	1,600	38	2 (消失2)	1 (枯れ)	2 (消失1・枯れ1)	2 (誤伐2)	7	18.4
5	2,500	34	0	1 (誤伐)	3 (誤伐1・枯れ2)	0	4	11.8
6	2,500	37	1 (消失1)	0	4 (誤伐2・枯れ2)	2 (枯れ2)	7	18.9

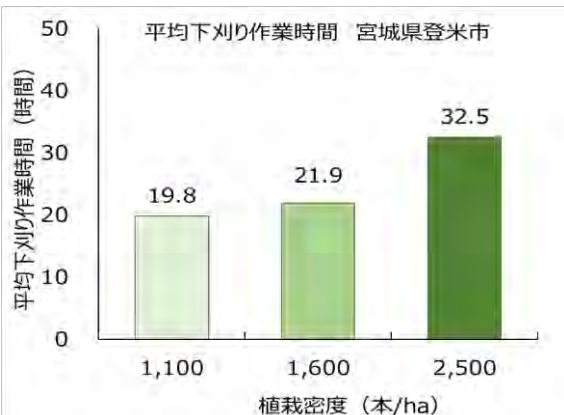
3. 植栽木の成長量について

※補植前のデータ(2015年)は参考値とする



- 植栽直後にウサギによると思われる食害を受け、4割近い植栽木が枯死した。そのため植栽翌年(2016年)に補植を実施し、忌避剤を塗布した。
- 枯死率は1,100本/ha区で高かった。ウサギによる食害の発生が一因と考えられる。
- 補植後の植栽木の成長量は、植栽密度間で大きな傾向が見られなかった。

②植栽密度と下刈り作業時間

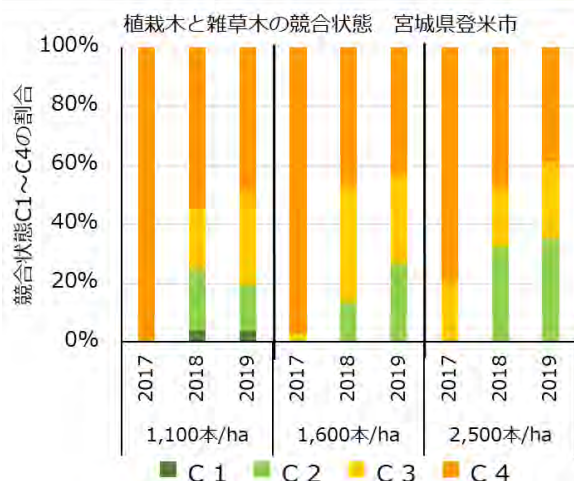


- 低密度植栽区で下刈り作業時間が大きく減少する傾向が見られた。
- 現場作業員からのヒアリングでは、「1,100本/ha区の3m間隔だと植栽木が見つけにくく刈りにくいが、植栽木が見えていれば植栽間隔は作業効率に影響しない」という回答や、「2,500本/ha区では苗木が密植されているため、下刈り時に苗木を避ける手間がかかる」との回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1 ~ C4) の経年変化



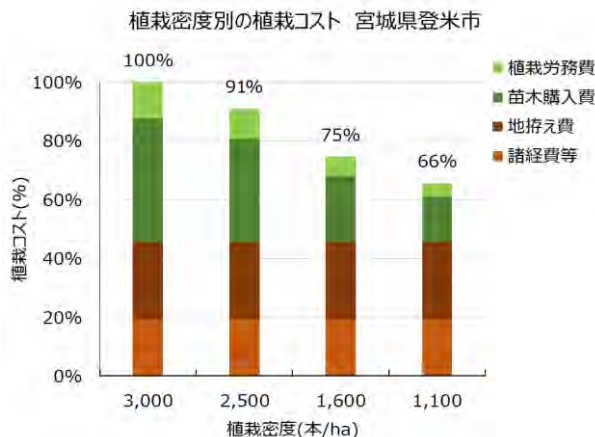
2019年7月撮影

- 平均樹高の比較では、雑草木の樹高が高く、植栽木の成長が悪いため、どの植栽密度も未だ競合に負けている。
- 競合状態の比較では、植栽密度間で大きな差は見られなかった。また、植栽後4年目（2019年）の時点でも、4～5割の植栽木がC4判定だった。
- 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に違いは見られなかった。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 230円



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 91%

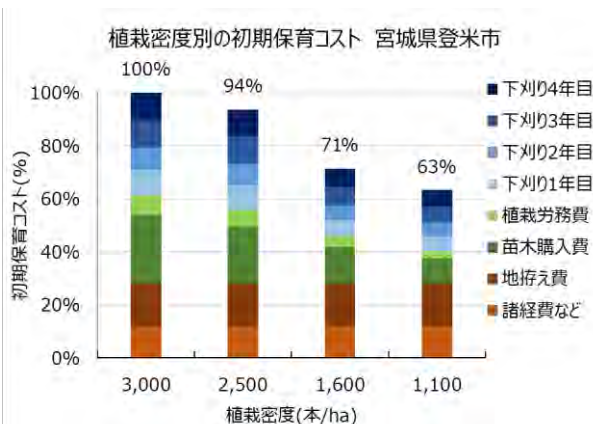
・1,600本/ha → 75%

・1,100本/ha → 66%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後4年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 94%

・1,600本/ha → 71%

・1,100本/ha → 63%

にコスト削減が可能

宮城県登米市まとめ

試験地

- ・ 2015年12月にスギを植栽し、植栽後4年が経過している。
- ・ 急傾斜地であり、クマイチゴなどの雑草木の繁茂が激しい。
- ・ 植栽直後に多くの植栽木がウサギによると思われる食害を受け枯死。植栽翌年の2016年に補植を実施し、忌避剤を塗布した。

調査結果

- ・ 補植後における植栽木の活着率や成長量については、植栽密度間で大きな差は見られなかった。
- ・ 植栽後4年が経過したが、どの植栽密度も未だ雑草木とは競合関係にあり、2019年の時点ではどの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に違いは見られなかった。

課題など

- ・ 獣害が想定される場所で低密度植栽を導入する場合、通常密度の植栽と比べて元々の植栽本数が少なく、一本一本の価値がより高くなるため、従来よりも獣害対策の必要性が大きくなる。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	11.4℃（矢島）	苗木の種類	スギ コンテナ苗 150cc（実生苗）
年降水量	2185.5mm（矢島）	前生林種	－
最深積雪	98cm（矢島）	伐採年	年
標 高	400～m	植栽年月	2017年11月
傾 斜	0°	一貫 または 通常	通常作業
斜面方位	-	シカ柵の 有無	無し
土 壌	黒色火山灰土		



試験地

【植生タイプ】

シダ植物

ススキ類

【植被率と主な優占種】

植被率90%以上

◎ワラビ

◎ススキ

オオイタドリ

クマイチゴ



2019年7月撮影



2019年10月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

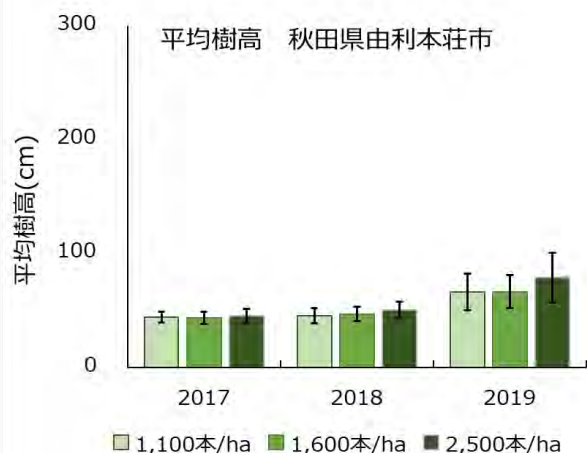
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
50%以下	70%以上	70%以上

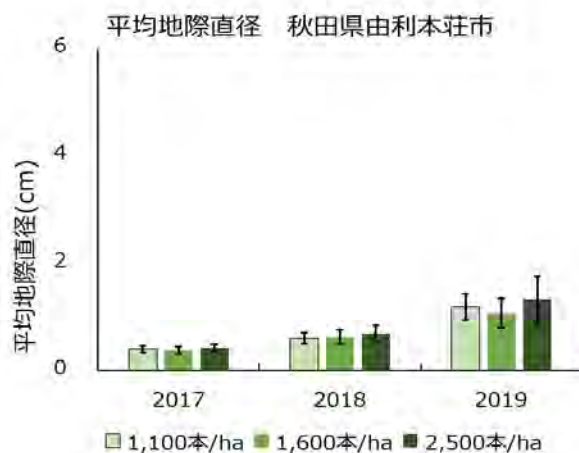
2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)			枯死率 (%)
			2018	2019	合計	
5	1,100	39	16 (消失14・誤伐1・枯れ1)	7 (枯れ5・消失2)	23	59.0
6	1,100	36	21 (消失14・枯れ7)	4 (消失4)	25	69.4
3	1,600	36	12 (消失6・枯れ5・ウサギ食害1)	7 (消失4・枯れ3)	19	52.8
4	1,600	36	8 (消失5・枯れ3)	1 (消失)	9	25.0
1	2,500	36	7 (消失6・枯れ1)	2 (消失1・枯れ1)	9	25.0
2	2,500	36	11 (枯れ8・消失3)	4 (消失4)	15	41.7

3. 植栽木の成長量について



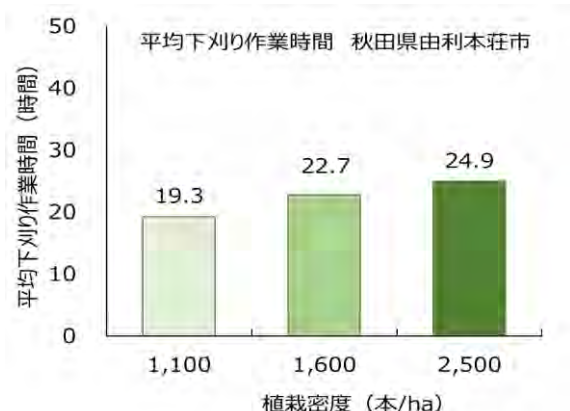
植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

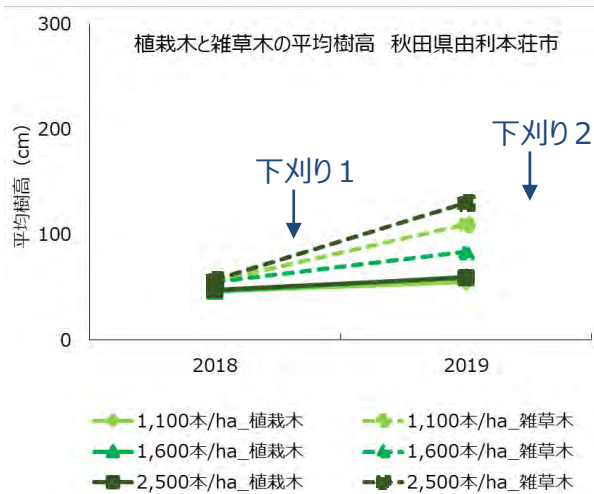
- ・ 活着率は1,100本/ha区で60%以下と低くなった。植栽密度自体が影響したとは考えにくく、ススキやワラビなどの雑草木による被圧などが要因の一つと考えられる。
- ・ 枯死率は1,100本/ha区で高かった。これについても活着率と同様に、雑草木の被圧が要因の一つと考えられる。
- ・ 成長量は植栽密度間で大きな差が見られなかった。

②植栽密度と下刈り作業時間

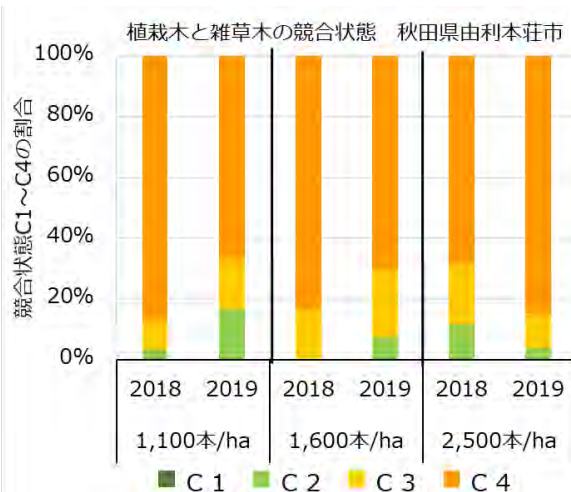


- 低密度植栽区で、下刈り作業時間が減少する傾向が見られた。
- 現場作業員からのヒアリングでは、植栽間隔が2 m以下など狭いと刈りにくく、ある程度間隔が広い方が作業しやすいとの回答があった。
- また、地ごしらえをしていないと地面に枝条が散乱し、地際で刈れないとの意見や、平らな場所だと刈った草がどこにも逃せないため作業しにくいという回答もあった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1～C4) の経年変化



2019年7月撮影

- 本試験地は全体にススキやワラビが密生して植栽木が強く被圧されているため、植栽木の成長は良くない。
- 平均樹高の比較では、雑草木の成長が速く、どの植栽密度区も植栽木の平均樹高が雑草木を下回っている。
- 競合状態の比較でも同様の傾向を示しており、2019年の時点でどの植栽密度区も植栽木の6割～8割以上がC4と判定されている。
- 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に違いは見られなかった。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 200円

3,000本/haと比較して・・・

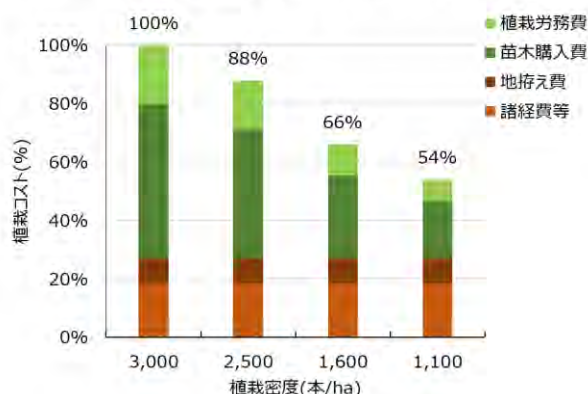
・2,500本/ha → 88%

・1,600本/ha → 66%

・1,100本/ha → 54%

にコスト削減が可能

植栽密度別の植栽コスト 秋田県由利本荘市



【地ごしらえから植栽後2年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。

3,000本/haと比較して・・・

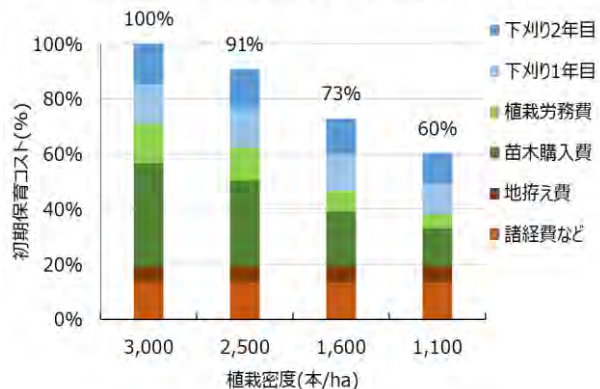
・2,500本/ha → 91%

・1,600本/ha → 73%

・1,100本/ha → 60%

にコスト削減が可能

植栽密度別の初期保育コスト 秋田県由利本荘市



秋田県由利本荘市まとめ

試験地

- ・ 2017年11月にスギを植栽し、植栽後2年が経過している。
- ・ 平坦地であり、ススキやワラビが優占し雑草木の繁茂が旺盛である。

調査結果

- ・ 1,100本/ha区で活着率が低く、枯死率が高かった。植栽密度自体による影響とは考えにくく、雑草木の繁茂状況などが影響していると考えられる。
- ・ ススキやワラビなどの雑草木が密生して植栽木が強く被圧されており、2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に違いは見られなかった。

課題など

- ・ ススキやワラビが密生する立地では、植栽木に強い被圧効果を与えてしまう可能性がある。低密度植栽では従来より植栽本数が低く、一本一本の価値が高くなるため、植栽木が雑草木を草丈を抜けるまでは、被圧による成長不良や枯死に対して注意が必要である。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	13.9℃	苗木の種類	ヒノキ コンテナ苗 150cc (実生苗)
年降水量	1477.3mm	前生林種	ヒノキ林・スギ林
標高	260～310m	伐採年	2014年
傾斜	10～25°	植栽年月	2016年10月・11月
斜面方位	N～S	一貫 または 通常	通常作業
土 壌	褐色森林土	シカ柵の 有無	無し



【植生タイプ】

ススキ類

キイチゴ類

【植被率と主な優占種】

植被率75～95%

◎ススキ

◎クマイチゴ

アズマネザサ

アカメガシワ

タケニグサ



2019年7月撮影



2019年11月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

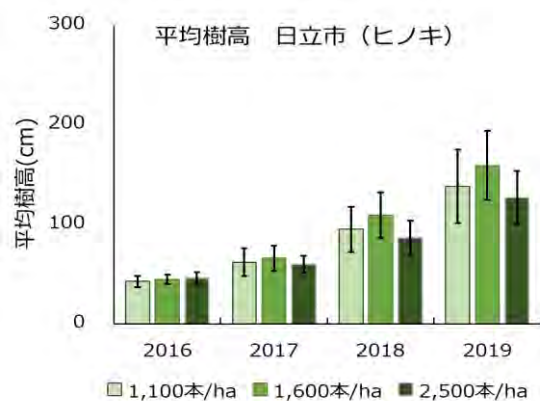
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
80%以上	70%以上	60%以上

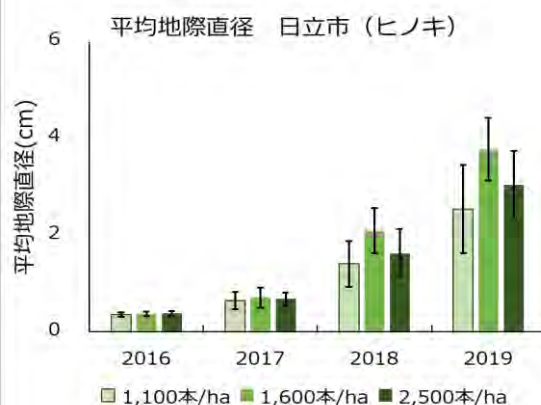
2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)				枯死率 (%)
			H29(2017)	H30(2018)	R元(2019)	合計	
1	1,100	36	1 (誤伐)	2 (誤伐1・ウサギ食害1)	1 (誤伐)	4	11.1
2	1,100	35	7 (枯れ6・誤伐1)	2 (獣虫害1・消失1)	3 (獣虫害2・消失1)	12	34.3
7	1,100	36	17 (消失10・枯れ6・誤伐1)	1 (枯れ)	2 (消失1・ウサギ食害1)	21	58.3
8	1,100	16	0	3 (枯れ2・誤伐1)	0	3	18.8
3	1,600	42	5 (枯れ3・誤伐2)	0	3 (誤伐2・枯れ1)	8	19.0
4	1,600	36	14 (誤伐9・枯れ5)	8 (獣虫害3・枯れ2・消失2・誤伐1)	10 (ウサギ食害6・誤伐3・消失1)	32	88.9
5	2,500	36	7 (枯れ4・消失2・誤伐1)	0	0	7	19.4
6	2,500	36	17 (消失10・枯れ6・誤伐1)	3 (誤伐2・消失1)	2 (誤伐2)	22	61.1

3. 植栽木の成長量について



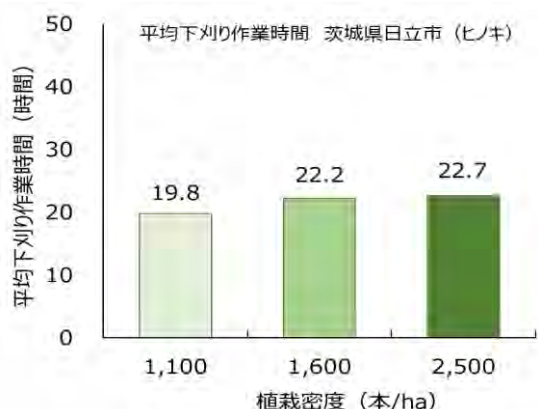
植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

- ・ 活着率、枯死率、成長量ともに植栽密度間やプロット間で差が見られるが、本試験地は場所によって立地環境や雑草木の繁茂状況が異なるため、植栽密度よりもそういった要因の影響を受けていると考えられる。
- ・ 特に2～3mのタケニグサが密生するプロット4とプロット6で、枯死率が非常に高かった。

②植栽密度と下刈り作業時間

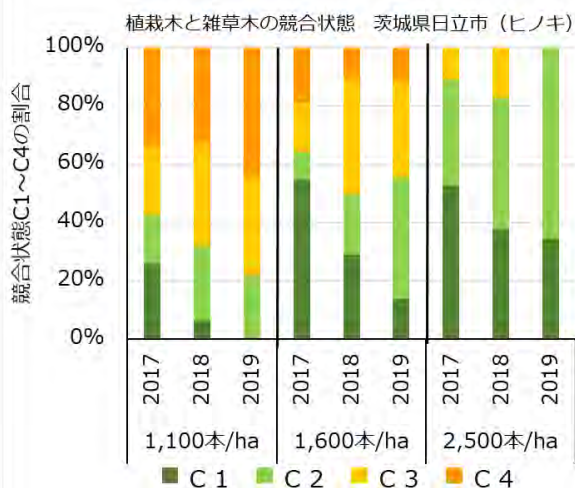


- 1,100本/ha区で僅かに減少しているが、全体として植栽密度による影響はほとんど見られなかった。
- 現場作業員からのヒアリングでは、タケノガサやオオアレチノギクなどの背丈の高い雑草が密生していると、植栽木の成長や下刈り作業の効率に強い悪影響を与えたとの回答があった。
- つる植物の繁茂状況によっても作業効率が大きく変化するというコメントがあった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態（C1～C4）の経年変化

- 平均樹高の比較および競合状態の比較では植栽密度間で差が見られるが、地形の違いや雑草木の元々の種組成の違いなどによる影響が大きく、植栽密度による影響については判断が難しい。
- 背丈が低いアズマネザサが優占する2,500本/ha区ではほとんどの植栽木が競合に勝っているが、1,100本/ha区や1,600本/ha区では植栽木はまだ競合段階にある。
- 現時点では立地の差による影響が大きく、植栽密度の違いが下刈り回数に影響するかどうかの判断は難しい。



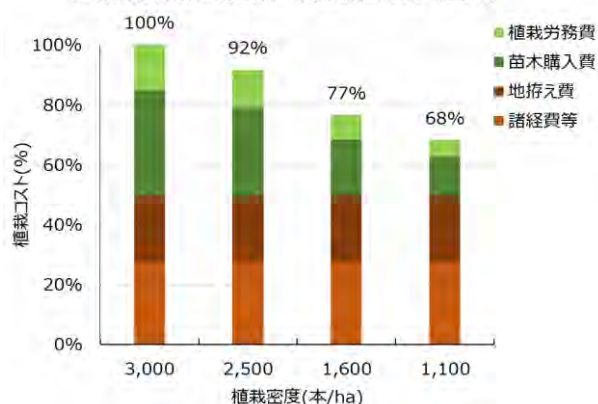
2019年7月撮影

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 175円

植栽密度別の植栽コスト 茨城県日立市（ヒノキ）



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 92%

・1,600本/ha → 77%

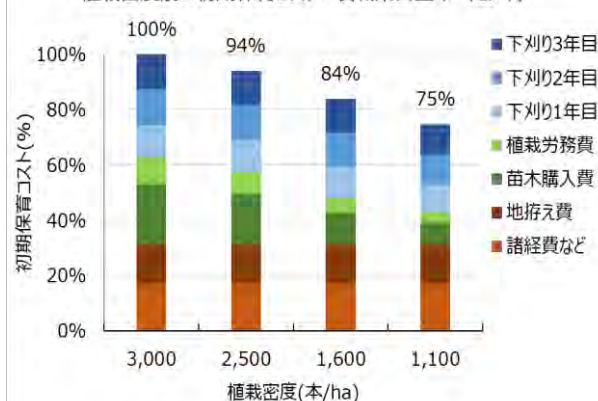
・1,100本/ha → 68%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後3年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。

植栽密度別の初期保育コスト 茨城県日立市（ヒノキ）



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 94%

・1,600本/ha → 84%

・1,100本/ha → 75%

にコスト削減が可能

茨城県日立市（ヒノキ）まとめ

試験地

- ・ 2016年の10月・11月にヒノキを植栽し、植栽後3年が経過している。
- ・ 基本的にススキやクマイチゴなどが優占しているが、場所によってはアズマネザサやタケニグサが密生しているなど、立地により植生の差が激しい。

調査結果

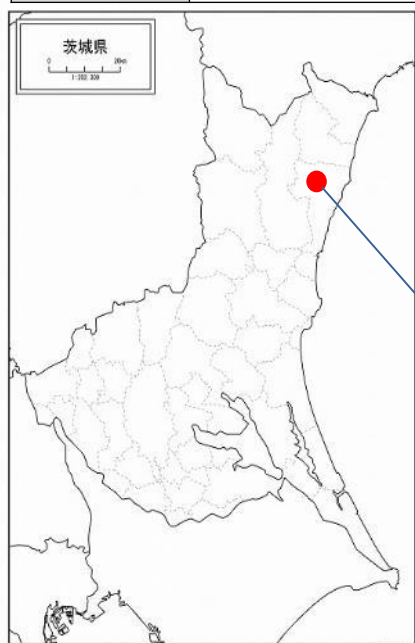
- ・ 活着率、枯死率、成長量ともに植栽密度間で差が出たが、地形や植生の違いによる影響が大きく、植栽密度自体による影響は不明である。
- ・ 植栽木と雑草木の平均樹高や競合状態の比較でも、立地による差が大きいため、植栽密度の違いが下刈り回数に影響するかどうかの判断は難しい。

課題など

- ・ 雑草木の繁茂の局所的な違いに注意が必要である。特にタケニグサが密生する場所では、植栽木の生育に強い悪影響がある。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	13.9℃	苗木の種類	スギ コンテナ苗 150cc (実生苗)
年降水量	1477.3mm	前生林種	ヒノキ林・スギ林
標 高	400～450m	伐採年	2016年6月
傾 斜	20～25°	植栽年月	2016年10月
斜面方位	NW	一貫 または 通常	通常作業
土 壌	褐色森林土	シカ柵の 有無	無し



試験地

【植生タイプ】

キイチゴ類

【植被率と主な優占種】

植被率85～100%

◎モミジイチゴ

ススキ

アカメガシワ

タケニグサ

シダSP.



2019年7月撮影



2019年11月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

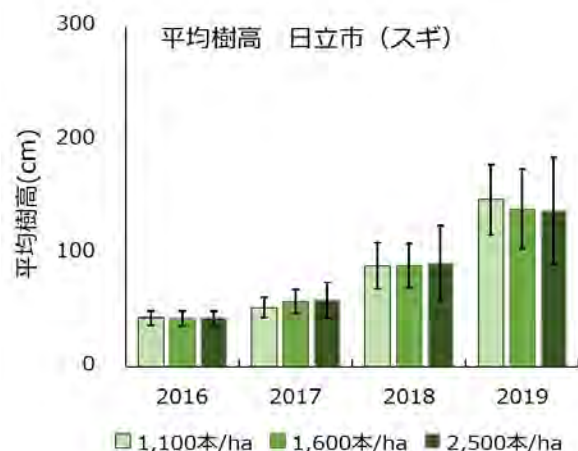
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
80%以上	80%以上	80%以上

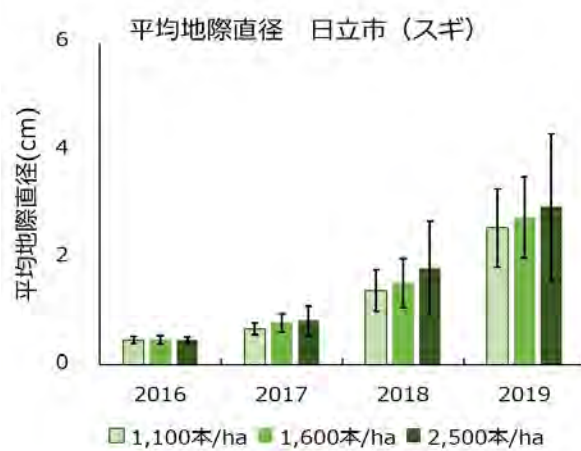
2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)				枯死率 (%)
			2017	2018	2019	合計	
1	1,100	39	3 (枯れ3)	2 (消失2)	5 (誤伐4・枯れ1)	10	25.6
2	1,100	41	6 (誤伐4・枯れ2)	2 (枯れ1・消失1)	3 (誤伐2・枯れ1)	11	26.8
3	1,600	35	2 (消失1・枯れ1)	0	3 (消失2・誤伐1)	5	14.3
4	1,600	36	8 (消失4・誤伐1・枯れ3)	0	3 (誤伐2・消失1)	11	30.6
5	2,500	36	11 (誤伐3・枯れ7・消失1)	0	0	11	30.6
6	2,500	36	0	2 (誤伐2)	3 (ウサギ食害1・消失1・枯れ1)	5	13.9

3. 植栽木の成長量について



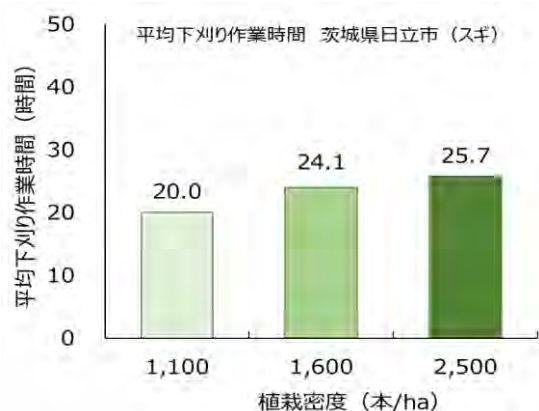
植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

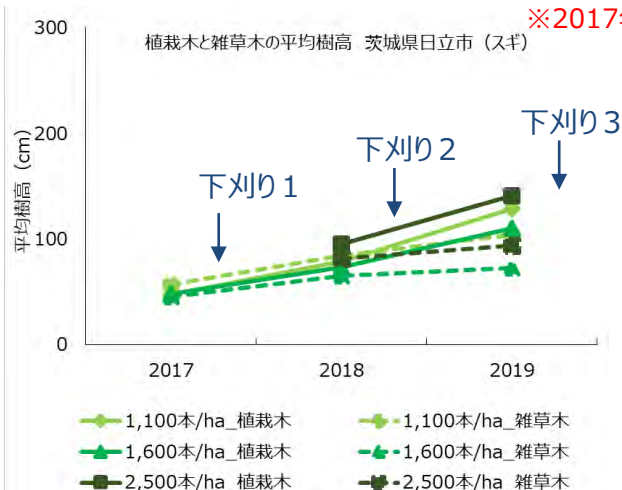
- ・ 活着率や成長量について、いずれも植栽密度間で大きな差が見られなかった。このことから、植栽木の初期における生育に植栽密度は影響しなかったと考えられる。
- ・ 枯死率についてはプロット間で差が生じているが、雑草木の繁茂が激しい場所で誤伐が多く発生していたことが一因と考えられる。

②植栽密度と下刈り作業時間

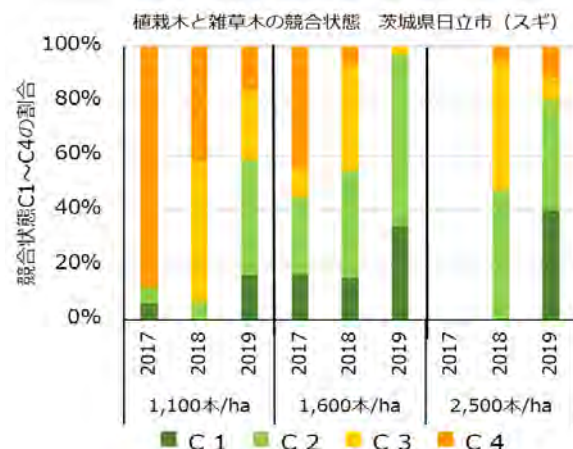


- 低密度植栽区ほど下刈り作業時間が減少する傾向が見られた。
- 現場作業員からのヒアリングでは、1,100本/ha区は植栽間隔が空きすぎて次の苗が把握しづらいとの回答があった。ただし、実際の作業効率に関しては左図の通りである。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態（C1～C4）の経年変化



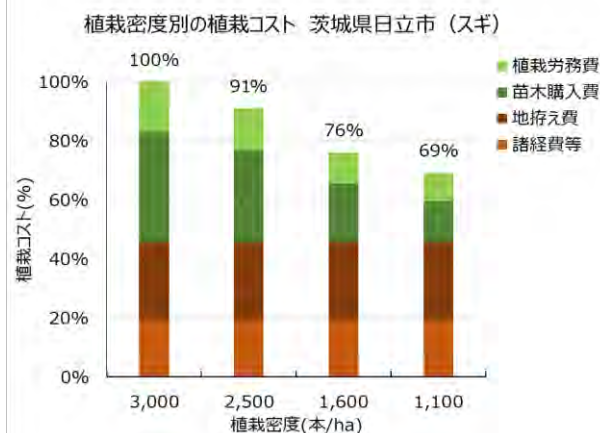
2019年7月撮影

- 平均樹高の比較では、どの植栽密度も植栽後3年目の2019年には植栽木が雑草木から抜け出し始めているが、樹高の差は大きくない。
- 競合状態の比較では、植栽密度間で差が見られた。1,100本/ha区ではC1+C2の割合が6割に達していない一方で、1,600本/ha区では9割以上に達している。立地環境が大きく影響したと考えられ、植栽密度による影響については不明である。
- 現時点では立地の差による影響が大きく、植栽密度の違いが下刈り回数に影響するかどうかの判断は難しい。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 165円



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 91%

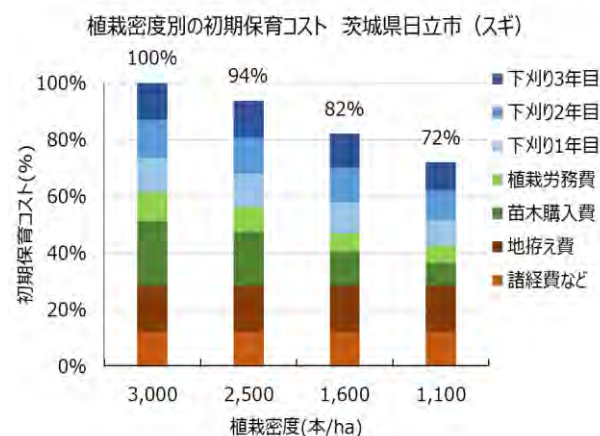
・1,600本/ha → 76%

・1,100本/ha → 69%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後3年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 94%

・1,600本/ha → 82%

・1,100本/ha → 72%

にコスト削減が可能

茨城県日立市（スギ）まとめ

試験地	2016年10月にスギを植栽し、植栽後3年が経過している。 - 傾斜地であり、モミジチゴが優占しススキが混生している。
調査結果	- 植栽密度による初期の生育状況への影響は見られない。 - 植栽密度間で植栽木と雑草木の平均樹高や競合状態に差が生じていたが、立地環境による影響が大きいと考えられる。植栽密度の違いが下刈り回数に影響するかどうかは不明である。
課題など	キイチゴ類などが密生している場所では、植栽木の視認性が低くなることにより誤伐の危険性が高まる恐れがある。低密度植栽では一本一本をより大切に保育していくことが重要であり、植栽木に目印をつけておくなどの対策を考える必要がある。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	14.1℃（富山）	苗木の種類	無花粉スギ Mスターコンテナ苗300～400cc
年降水量	2300.0mm（富山）	前生林種	－
最深積雪	62cm（富山）	伐採年	－
標高	500～550m	植栽年月	2017年12月
傾斜	15～25°	一貫 または 通常	通常作業
斜面方位	NW	シカ柵の有無	無し
土壌	褐色森林土		



【植生タイプ】

ススキ類

キイチゴ類

【植被率と主な優占種】

植被率95%以上

◎ススキ

◎モミジイチゴ

ササSP.



2019年8月撮影



2019年8月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

1. 植栽木の活着率について

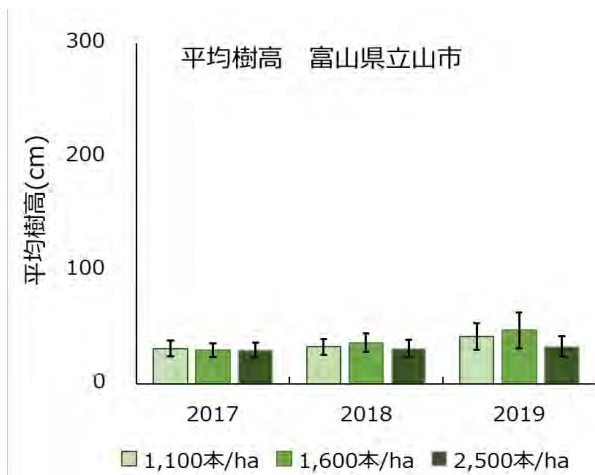
1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
100%	90%以上	90%以上

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

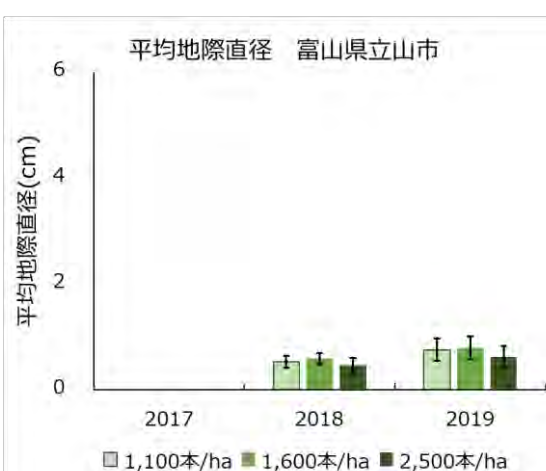
プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)			枯死率 (%)
			2018	2019	合計	
1	1,100	36	0	1 (消失)	1	2.8
2	1,100	36	0	2 (枯れ2)	2	5.6
3	1,600	35	0	1 (枯れ)	1	2.9
4	1,600	35	1 (根抜け)	1 (誤伐)	2	5.7
5	2,500	39	0	0	0	0.0
6	2,500	34	4 (枯れ3・根抜け1)	4 (枯れ4)	8	23.5

3. 植栽木の成長量について

※2017年は積雪のため地際直径を計測できなかった。



植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

- ・活着率は植栽密度間で差が見られず、どの植栽密度区も90%以上と高い数値を示した。
- ・枯死率は2,500本/ha区の一部のプロットで大きくなっているが、局地的な雑草の繁茂による被圧の影響のほか、根抜けによる枯死については雪害や凍上害などの気象害の可能性もある。
- ・成長量は植栽密度間で大きな差が見られなかった。またどの植栽密度も成長量が小さく、雑草木による被圧が影響している可能性がある。

②植栽密度と下刈り作業時間

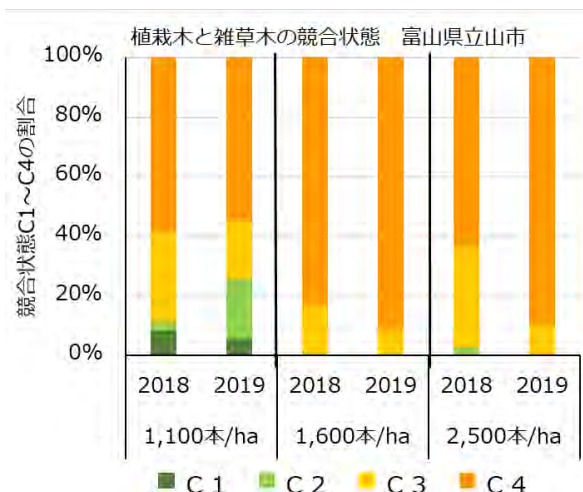


- 1,600本/ha区で作業時間が大きく減少しているものの、植栽密度と下刈り作業時間の間に特に傾向は見られなかった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1 ~ C4) の経年変化

- 平均樹高の比較では、雑草木の成長の方が速く、現時点では植栽木が競合に負けていることが分かる。
- 競合状態の比較では、ほとんどの植栽木がC4判定で、雑草木に埋もれていることが分かる。
- 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に大きな違いは見られなかった。

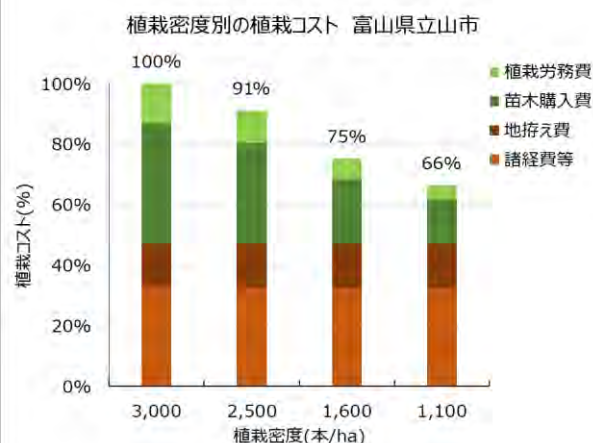


2019年8月撮影

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 370円



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 91%

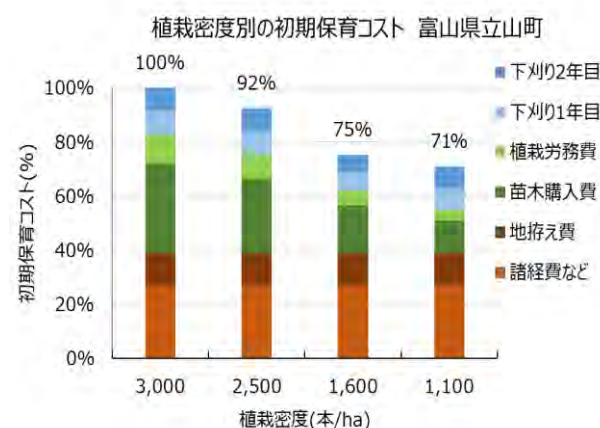
・1,600本/ha → 75%

・1,100本/ha → 66%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後2年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 92%

・1,600本/ha → 75%

・1,100本/ha → 71%

にコスト削減が可能

富山県立山町まとめ

試験地

- ・ 2017年12月にスギを植栽し、植栽後2年が経過している。
- ・ ススキの他、モミジイチゴなどのキイチゴ類が優占し、雑草木の植被率は高い。

調査結果

- ・ 現時点では、植栽密度間で活着率や成長量に大きな差は見られない。
- ・ 未だ多くの植栽木がC4判定であり、競合に負けているため、2019年の時点ではどの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に違いは見られなかった。

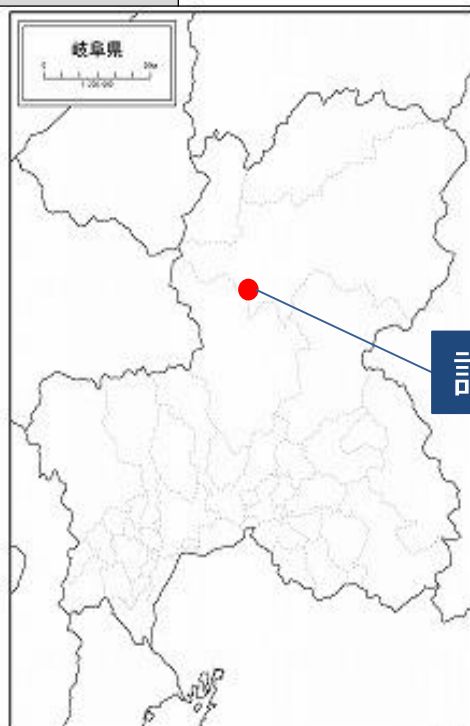
課題など

- ・ 無花粉スギは一本370円と、通常のスギコンテナ苗と比較して苗木購入費が多くなる。その分、低密度植栽によるコスト削減効果は大きく、3,000本/ha区と比較してヘクタールあたりの植栽時のコストを66%まで削減可能である。

試験地の概要

試験地の概要

年平均気温	11.4℃（長滝）	苗木の種類	カラマツ コンテナ苗 150cc（実生苗）
年降水量	3003.5mm（長滝）	前生林種	スギ林
最深積雪	97cm（長滝）	伐採年	2016年1-9月
標高	1020～1040m	植栽年月	2016年10月
傾斜	0～10°	一貫 または 通常	一貫作業
斜面方位	S	シカ柵の有無	有り
土壌	褐色森林土		



試験地

【植生タイプ】

スゲ類

落葉広葉樹類

【植被率と主な優占種】

植被率90%以上

◎スゲSp.

◎タニウツギ

ススキ

バライチゴ



2019年8月撮影



2019年10月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

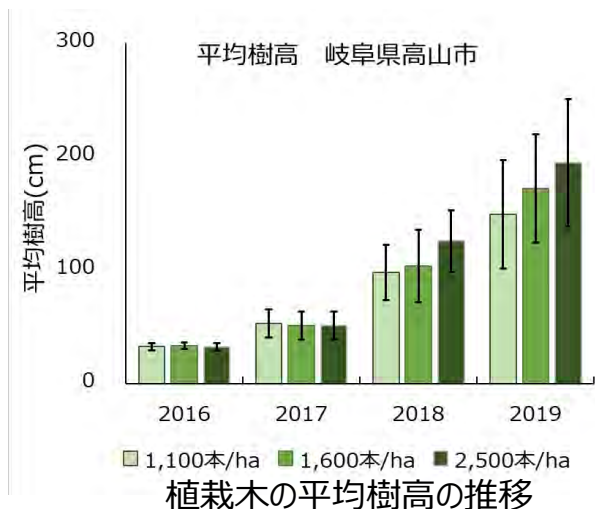
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
90%以上	90%以上	100%

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

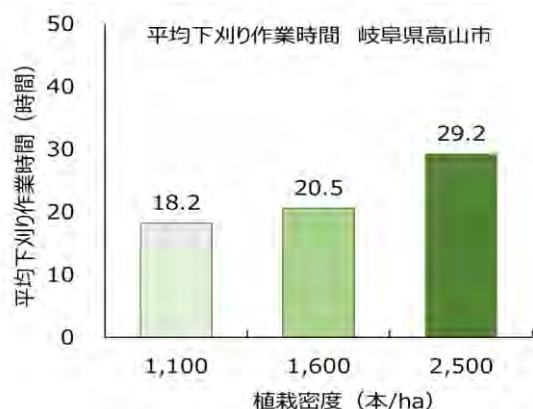
プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)				枯死率 (%)
			2017	2018	2019	合計	
1	1,100	36	4 (枯れ3・消失1)	17 (枯れ13・獣虫害2・消失2)	3 (消失3)	24	66.7
2	1,100	36	0	14 (枯れ11・消失3)	1 (枯れ)	15	41.7
3	1,600	35	4 (枯れ2・食害1・先端切れ1)	7 (消失5・枯れ2)	11 (消失10・枯れ1)	22	62.9
4	1,600	36	データ無	10 (枯れ4・獣虫害3・消失3)	0	10	27.8
5	2,500	36	0	15 (枯れ15)	6 (消失6)	21	58.3
6	2,500	36	データ無	5 (枯れ3・消失2)	0	5	13.9

3. 植栽の成長量について



- ・ 活着率は植栽密度間で大きな差が見られず、90～100%と高い値を示した。
- ・ 枯死率はどの植栽密度においても高かった。原因の特定は難しいが、植栽実施者からは降雨が少なかった事による乾燥の影響を指摘された。また、2018年にはシカの侵入により隣接していたヒノキ植栽地が甚大な被害を受けており、本試験地もシカの食害による影響を受けた可能性がある。
- ・ 成長量は低密度植栽区ほど小さくなった。本試験地は未だ林冠閉鎖まで至っていないため、植栽密度による影響とは考えにくく、立地環境の違いなどが要因として挙げられる。

②植栽密度と下刈り作業時間

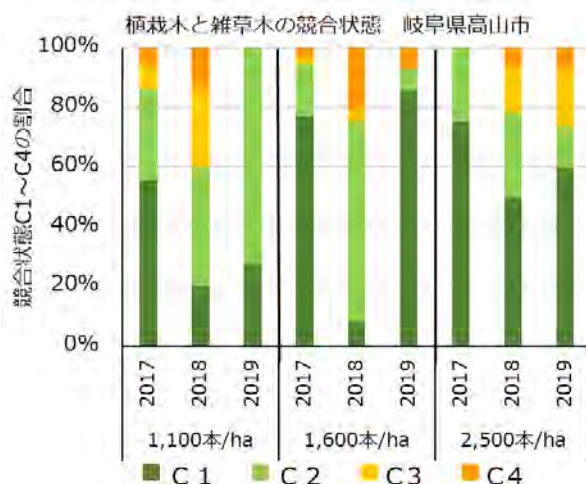


- 低密度植栽区で下刈り作業時間が大きく減少した。
- 現場作業員からのヒアリングでは、植栽間隔が広いと刈払機を振れる幅が広くて楽に感じたという回答や、1,100本/ha区と1,600本/ha区の差は余り感じなかったが、その2つと2,500本/ha区との差は感じたとの回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1 ~ C4) の経年変化



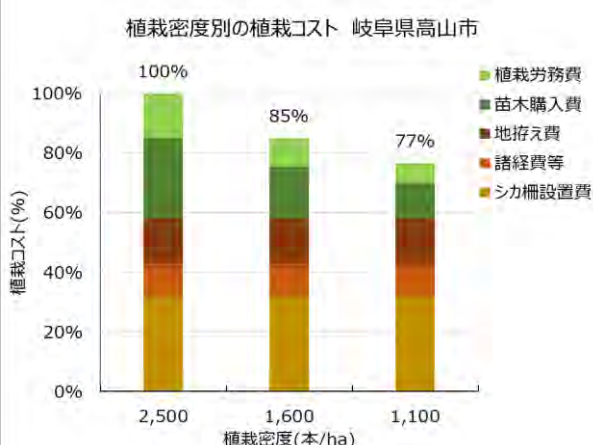
2019年8月撮影

- 平均樹高の比較では、どの植栽密度も植栽木の成長が良好であり、植栽後3年目の2019年には雑草木との樹高差が開き始めた。ただし、現時点で下刈りの終了に十分な樹高差が開いているとは言えない。
- 競合状態の比較では植栽密度ごとにばらつきが見られるものの、2019年にはどの植栽密度もC1+C2が7割を超えている。
- 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に大きな違いは見られなかった。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 230円



2,500本/haと比較して・・・

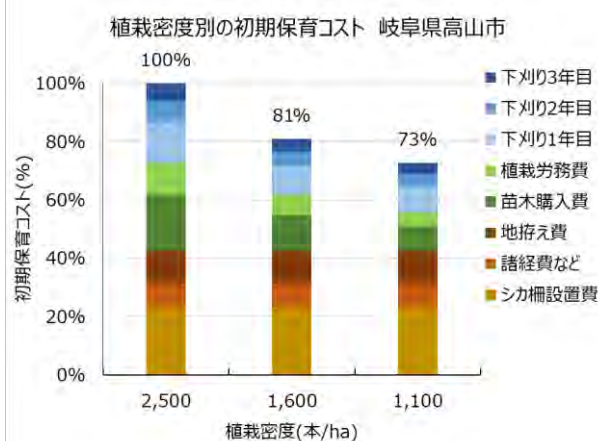
・1,600本/ha → 85%

・1,100本/ha → 77%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後3年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。



2,500本/haと比較して・・・

・1,600本/ha → 81%

・1,100本/ha → 73%

にコスト削減が可能

岐阜県高山市まとめ

試験地	2016年10月にカラマツを植栽し、植栽後3年が経過している。 - 平坦地であり、背丈の低いスゲ類のほかタニウツギなどの落葉広葉樹が優占している。
調査結果	2018年に多くの植栽木が枯死したが、降雨が少なかったことによる乾燥の影響やシカによる食害の影響が挙げられた。 - 低密度植栽区で成長量が小さくなったが、本試験地は未だ林冠閉鎖まで至っていないため、植栽密度による影響とは考えにくく、立地環境の違いなどが要因として挙げられる。 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に大きな違いは見られなかった。
課題など	どの植栽密度も枯死率が高かった。低密度植栽では枯死率の高さが成林するかどうか直結するため、注意が必要である。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	15.7℃（南伊勢）	苗木の種類	ヒノキ コンテナ苗 150cc （実生苗）
年降水量	2261.6mm（南伊勢）	前生林種	－
標 高	170～240m	伐採年	2005年10月
傾 斜	36～46°	植栽年月	2016年2月
斜面方位	N/NW/S	一貫 または 通常	通常作業
土 壌	褐色森林土	シカ柵の 有無	有り



試験地

【植生タイプ】

ススキ類

【植被率と主な優占種】

植被率90%

◎ススキ

ナガバモミジイチゴ

タケニグサ



2019年7月撮影



2019年10月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

1. 植栽木の活着率について

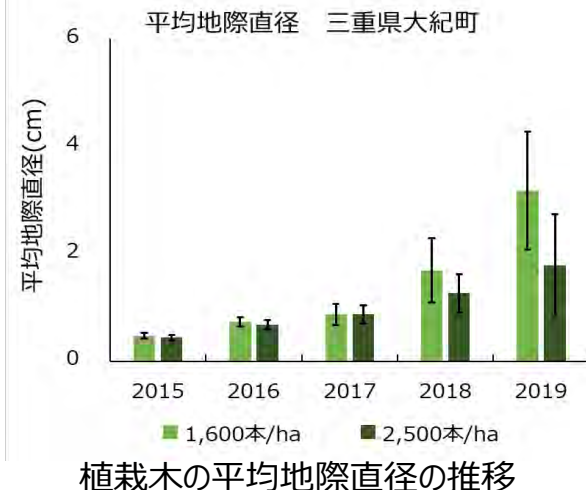
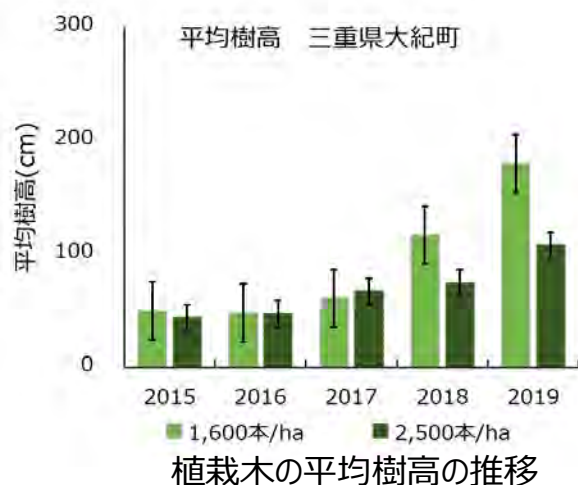
1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
-	90 %以上	90 %以上

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					枯死率 (%)
			2016	2017	2018	2019	合計	
1	1,600	36	1 (枯れ)	0	0	3 (シカ食害3)	4	11.1
2	1,600	40	4 (枯れ4)	7 (枯れ6・消失1)	7 (枯れ4・消失3)	3 (シカ食害3)	21	52.5
3	1,600	31	2 (枯れ2)	1 (枯れ1)	3 (枯れ2・消失1)	1 (シカ食害)	7	22.6
4	2,500	37	1 (枯れ1)	1 (枯れ1)	0	1 (枯れ)	3	8.1
5	2,500	36	0	0	2 (シカ食害1・枯れ1)	0	2	5.6

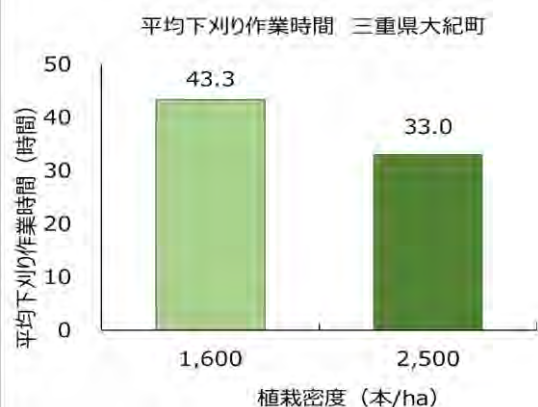
※プロット2およびプロット5は、試験的に2016年の下刈りを実施しなかった。

3. 植栽木の成長量について



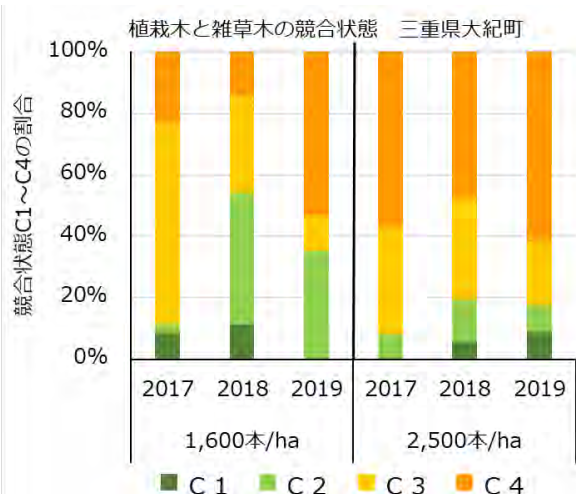
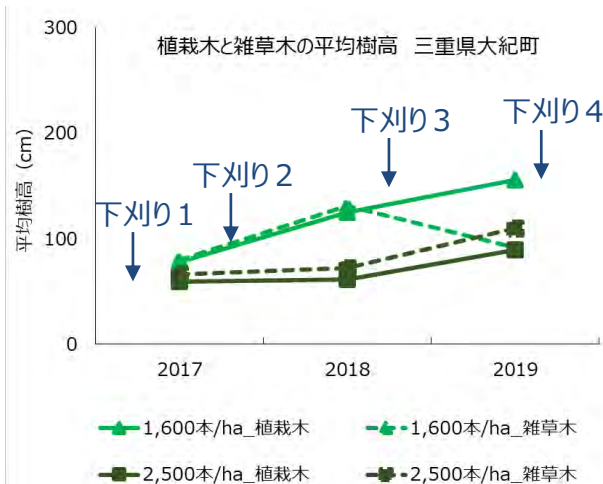
- 活着率は植栽密度間で大きな差が見られなかった。
- 枯死率については、2016年の下刈りを省略したプロット2でススキが繁茂し、多くの植栽木が枯死した。同じく2016年の下刈りを省略したプロット5は枯死が少なかったが、比較的ススキの繁茂が少なかったためと考えられる。
- 成長量は植栽密度間で大きな差が出たが、これは斜面方位の違い（1,600本/ha区は南～南南東向き斜面、2,500本/ha区は北向き斜面）による影響が大きく出たと考えられる。なお、本試験地は大半の植栽木がシカによる食害を受けており、成長量についてはあくまで参考データとする。

②植栽密度と下刈り作業時間



- 低密度植栽区のほうが作業時間が長くなる結果となった。
- 低密度植栽区である1,600本/ha区で時間がかかった理由としては、現場作業員へのヒアリングから、地形が入り組んでいたことやススキが繁茂して刈りにくかったことが原因であったとの回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



2019年7月撮影

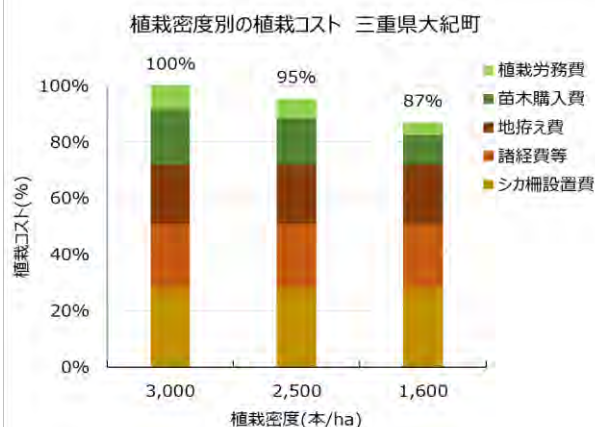
競合状態 (C1～C4) の経年変化

- シカ食害を受けた植栽木は成長量のデータから除外しているため、平均樹高の比較は参考データとする。
- ススキの繁茂が激しく、競合状態の比較では、2019年（植栽後4年目）の時点でどの植栽密度区もC4が全体の半分以上を占めている。
- 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に大きな違いは見られなかった。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 184円



3,000本/haと比較して・・・

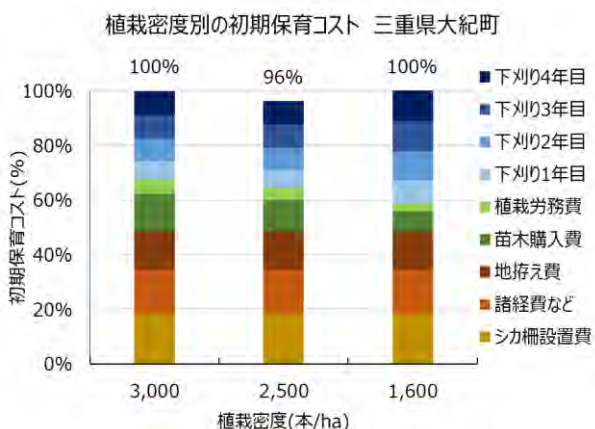
・2,500本/ha → 95%

・1,600本/ha → 87%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後4年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 96%

・1,600本/ha → 100%

にコスト削減が可能

※②の結果より1,600本/ha区では下刈り作業時間が大きくなり、下刈りコストが増大したため初期保育コストが削減できない結果となった。

三重県大紀町まとめ

試験地

- ・2016年2月にヒノキを植栽し、植栽後4年が経過している。
- ・試験地全体でススキが優占しており、繁茂が激しい。
- ・シカ柵を設置したが一部が破損し、シカによる食害が多発した。

調査結果

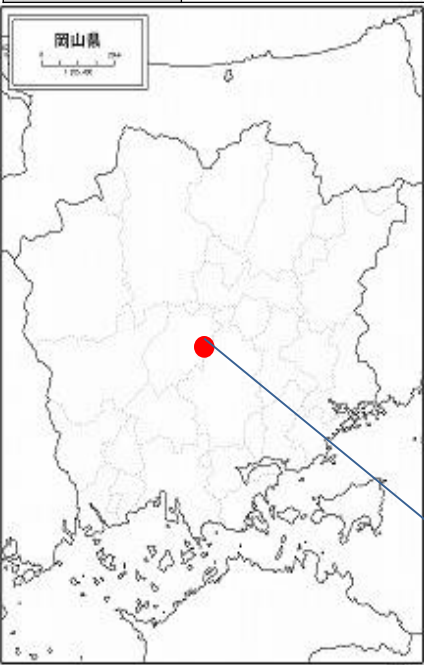
- ・シカによる食害のため成長量については正当な評価ができないが、斜面方位の違いが成長量に大きく影響していた。
- ・ススキの繁茂が激しい1,600本/ha区で、試験的に下刈りを省略したプロットの枯死率が高くなった。
- ・どの植栽密度区も、2019年の時点で植栽木と雑草木の競合関係ではC4が半数を占めており、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に大きな違いは見られなかった。

課題など

- ・ススキの繁茂が激しい立地では、下刈りを省略すると被圧による枯死の可能性が高くなる。低密度植栽では成林を危うくする可能性があり、注意が必要である。
- ・またそのような場所では下刈り効率が悪くなるため、低密度植栽であってもコストの削減がうまくいかない可能性がある。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	12.1℃（新見）	苗木の種類	ヒノキ コンテナ苗 150cc（実生苗）
年降水量	1354.3mm（新見）	前生林種	ヒノキ林・一部スギ林
標 高	350～370m	伐採年	2015年
傾 斜	10～20°	植栽年月	2016年12月
斜面方位	SE～SW	一貫 または 通常	通常作業
土 壌	褐色森林土	シカ柵の 有無	有り



試験地

【植生タイプ】

落葉広葉樹類

【植被率と主な優占種】

植被率60%

◎アカメガシワ

ヌルデ

クマイチゴ



2019年7月撮影



2019年11月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

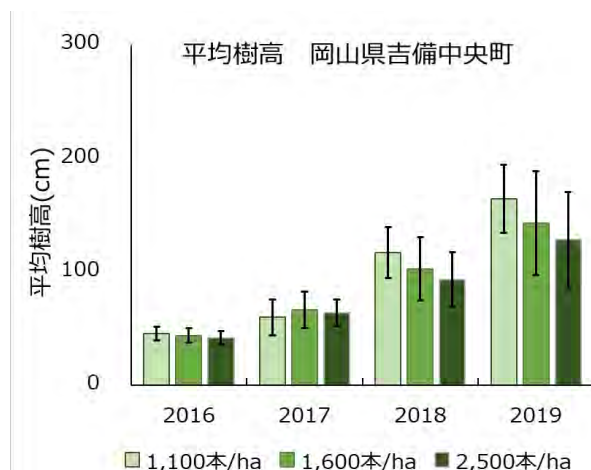
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
100%	90%以上	90%以上

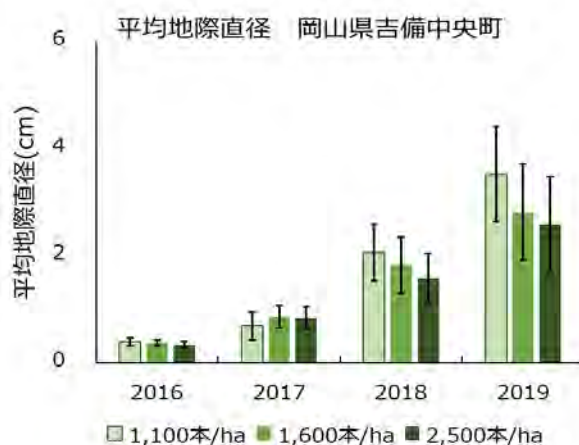
2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)				枯死率 (%)
			2017	2018	2019	合計	
1	1,100	36	0	0	0	0	0.0
2	1,100	36	0	3 (枯れ)	0	3	8.3
3	1,600	36	1 (誤伐1)	2 (枯れ)	3 (枯れ2・獣虫害1)	6	16.7
4	1,600	36	0	0	0	0	0.0
5	2,500	36	2 (枯れ2)	10 (枯れ)	0	12	33.3
6	2,500	36	1(枯れ1)	1 (枯れ)	2 (枯れ2)	4	11.1

3. 植栽木の成長量について



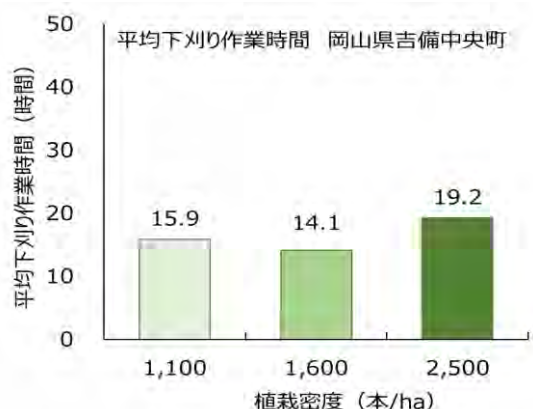
植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

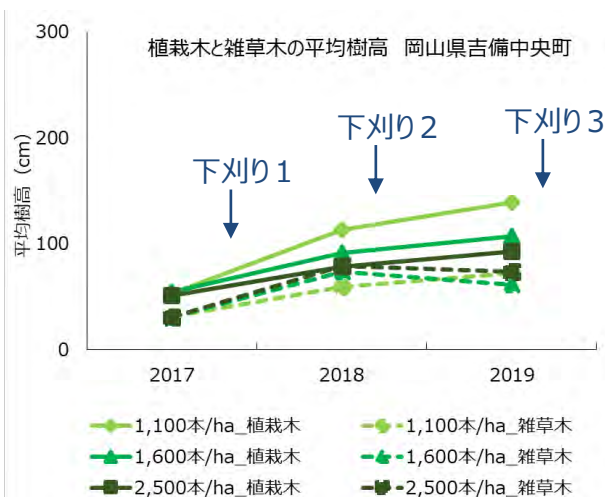
- ・ 活着率は植栽密度間で大きな差が見られず、どの植栽密度も90～100%と高い数値を示した。
- ・ 枯死率は一部のプロットで大きくなっている。局所的な雑草木の繁茂による影響などが考えられるが、原因の特定は難しい。
- ・ 成長量は低密度植栽区ほど大きくなった。本試験地は未だ林冠閉鎖には至っていないため、立地環境の違いなど植栽密度以外の要因によると考えられる。

②植栽密度と下刈り作業時間

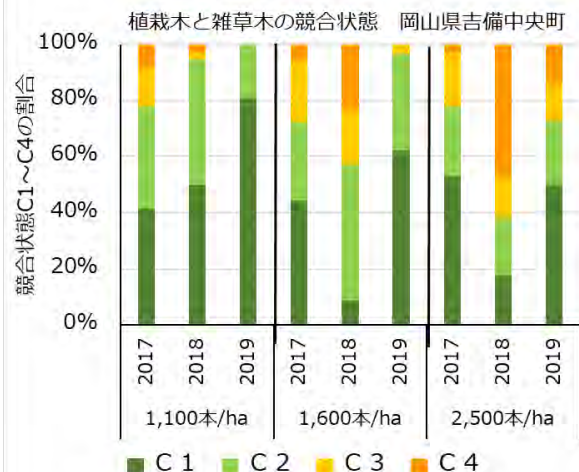


- 低密度植栽区で下刈り作業時間が減少する傾向が見られた。
- 現場作業員へのヒアリングでは、本試験地は植栽木が視認しやすく、植栽間隔よりも地形の方が作業時間への影響が大きいとの回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1～C4) の経年変化

- 平均樹高の比較では、植栽木の成長が良好だった1,100本/ha区で雑草木を大きく抜け出していた。一方で、植栽木の成長があまり良くなかった2,500本/ha区では、雑草木との樹高差は大きく開いていない。
- 競合状態の比較では、植栽後3年目（2019年）にはどの植栽密度もC1 + C2が7割以上となっている。
- 2019年の時点では、まだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、低密度植栽区で競合関係が悪くなるような傾向は見られなかった。

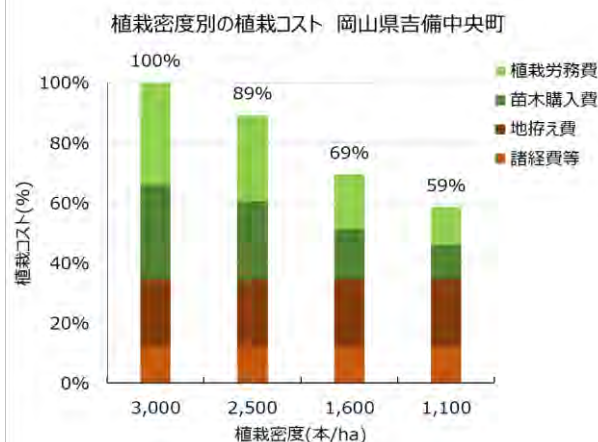


2019年7月撮影

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 200円



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 89%

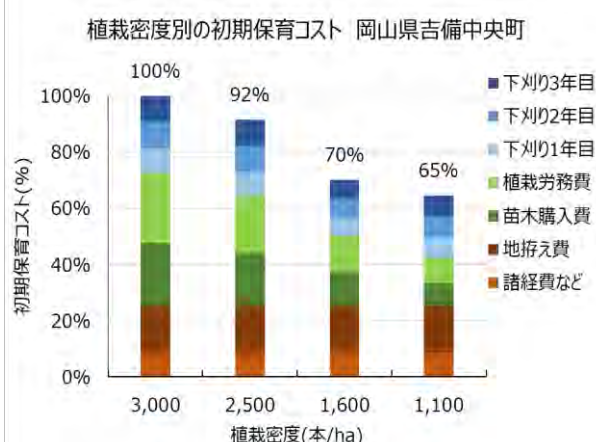
・1,600本/ha → 69%

・1,100本/ha → 59%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後3年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 92%

・1,600本/ha → 70%

・1,100本/ha → 65%

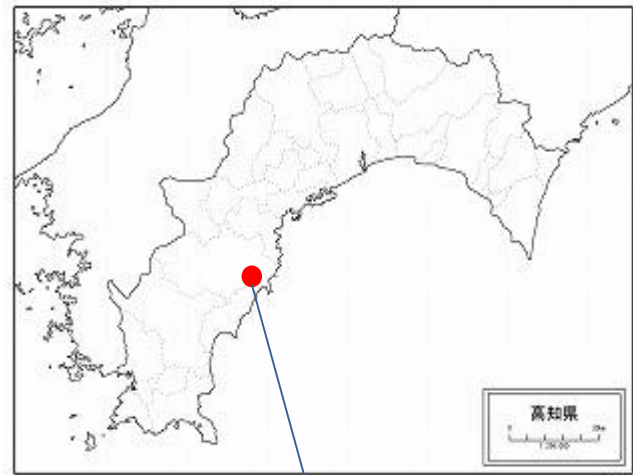
にコスト削減が可能

岡山県吉備中央町まとめ

試験地	2016年12月にヒノキを植栽し、植栽後3年が経過している。 - アカメガシワなどの落葉広葉樹が優占するが、植被率は高くない。
調査結果	- 低密度植栽区ほど枯死率が低く、また成長が良い。本試験地は未だ林冠閉鎖には至っていないため、立地環境の違いなど植栽密度以外の要因によると考えられる。 2019年の時点ではまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、低密度植栽区で競合関係が悪くなるような傾向は見られなかった。
課題など	アカメガシワなどの落葉高木は成長すると樹高10mに達するため、このような樹種が優占している植栽地では、下刈り終了の判断を慎重に行う必要がある。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	14.8℃	苗木の種類	ヒノキ コンテナ苗 150cc (実生苗)
年降水量	3089.2mm (窪川)	前生林種	スギ林・ヒノキ林
標 高	410～480m (窪川)	伐採年	2014年
傾 斜	35～40°	植栽年月	2017年2月・3月
斜面方位	S	一貫 または 通常	通常作業
土 壤	褐色森林土	シカ柵の 有無	有り



試験地

【植生タイプ】

シダ植物

【植被率と主な優占種】

植被率60～70%

◎ウラジロ

◎コシダ

ヒサカキ



2019年7月撮影



2019年10月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

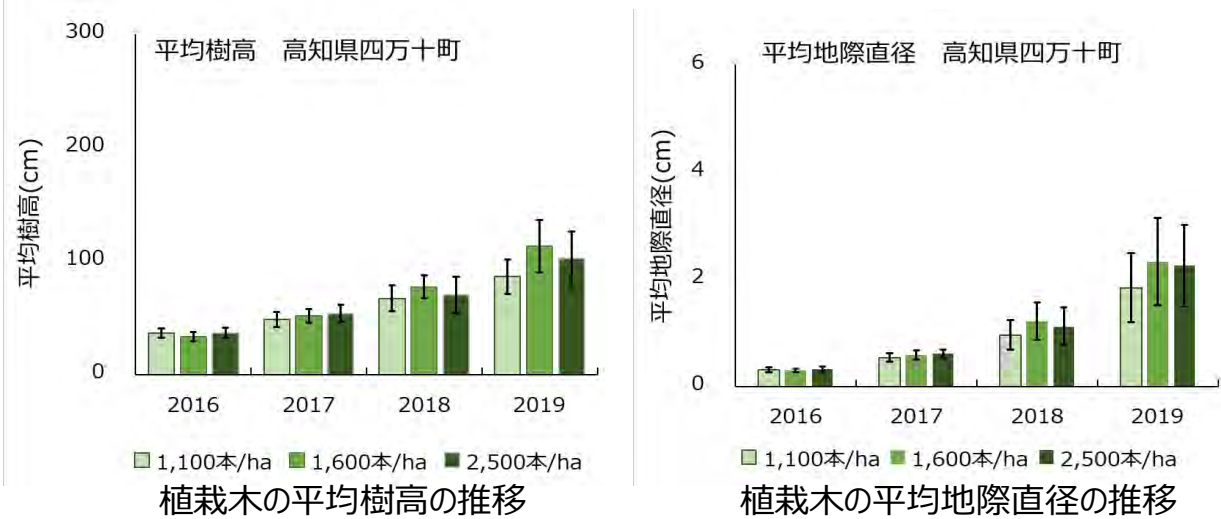
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
80%以上	90%以上	80%以上

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

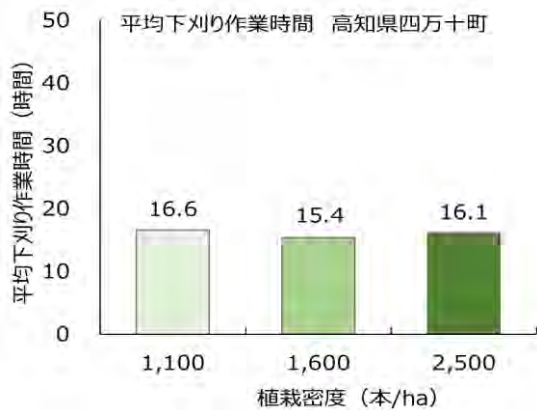
プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)				枯死率 (%)
			2017	2018	2019	合計	
1	1,100	36	9 (枯れ9)	1 (枯れ)	2 (獣虫害1・消失1)	12	33.3
2	1,100	36	5 (枯れ4・消失1)	4 (枯れ3・獣虫害1)	1 (枯れ)	10	27.8
3	1,600	39	4 (枯れ3・食害1)	1 (ウサギ食害)	0	5	12.8
4	1,600	36	1 (食害)	1 (消失1)	0	2	5.6
5	2,500	36	6 (枯れ5・ウサギ食1)	4 (誤伐1・ウサギ食害1・枯れ1・消失1)	5 (ウサギ食害4・枯れ1)	15	41.7
6	2,500	36	4 (枯れ4)	0	0	4	11.1

3. 植栽木の成長量について



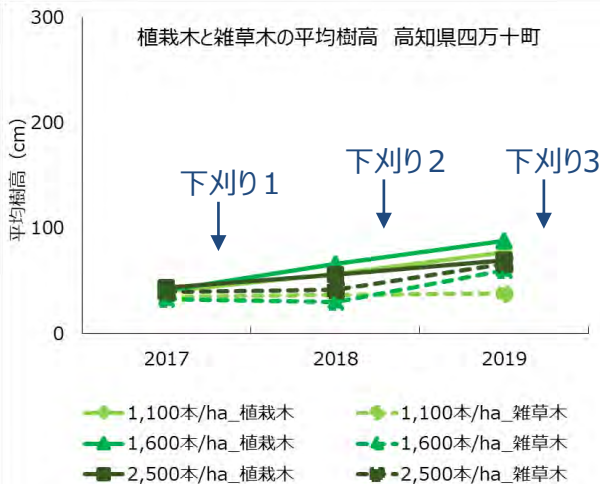
- 活着率は植栽密度間で差がほとんど見られなかった。
- 枯死率はプロット間でばらつきが生じていた。本試験地はウサギによる食害（主に剥皮害）が多発していたが、同じ植栽密度間でも斜面の上方に位置するプロット(1,2,5)はウサギによる食害の発生が多かった。
- 成長量は低密度植栽区である1,100本/ha区で小さかったが、ウサギ害が多発していたエリアであるため影響を受けている可能性がある。

②植栽密度と下刈り作業時間

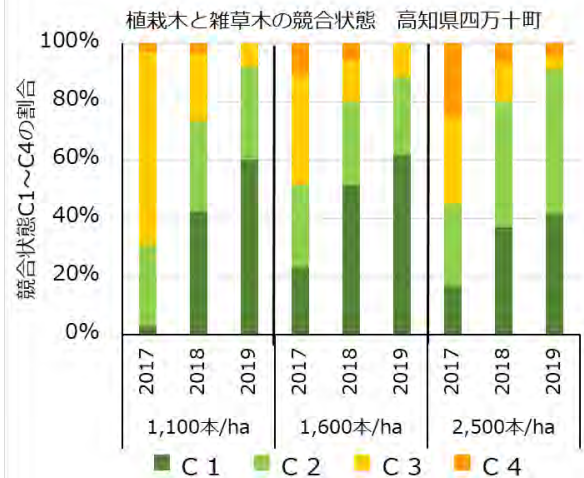


- 下刈り作業時間は、植栽密度による差がほとんど見られなかった。
- 現場作業員からのヒアリングでは、低密度植栽区では植栽間隔が広く、苗木が小さいうちは下刈りの際に苗木を探すのに苦労したとの回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1～C4) の経年変化



2019年7月撮影

- 本試験地はコシダやウラジロなどのシダ植物が優占しており、雑草木の草丈や密度が比較的低い。
- 平均樹高の比較では、植栽密度間で植栽木と雑草木の樹高にあまり差が見られない。
- 競合状態の比較では、植栽密度間で差は見られず、2019年にはどの植栽密度もC1+C2が9割前後に達していることが分かる。
- 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に違いは見られなかった。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 170円

3,000本/haと比較して・・・

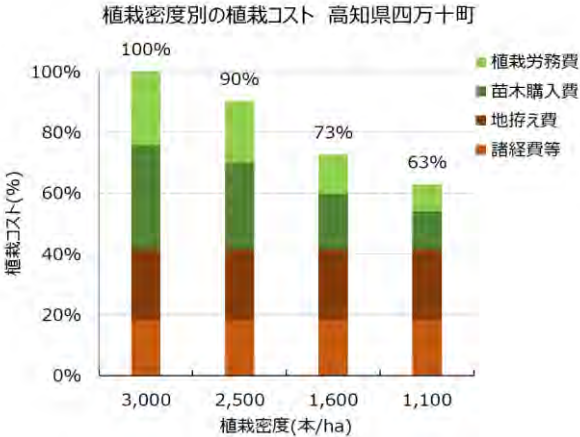
・2,500本/ha → 90%

・1,600本/ha → 73%

・1,100本/ha → 63%

にコスト削減が可能

植栽密度別の植栽コスト 高知県四万十町



【地ごしらえから植栽後3年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。

3,000本/haと比較して・・・

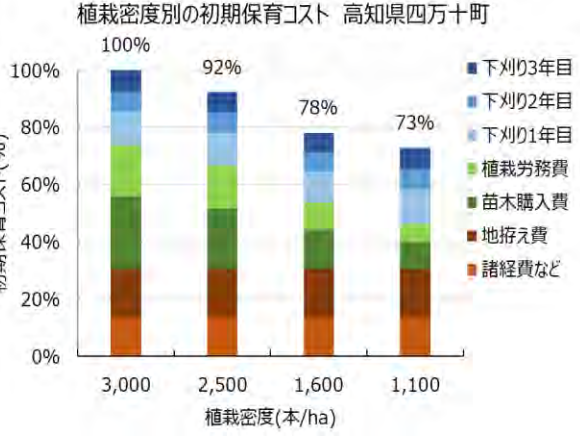
・2,500本/ha → 92%

・1,600本/ha → 78%

・1,100本/ha → 73%

にコスト削減が可能

植栽密度別の初期保育コスト 高知県四万十町



高知県四万十町まとめ	
試験地	・ 2017年の2～3月にかけてヒノキを植栽し、植栽後3年が経過している。 ・ 急傾斜地にウラジロやコシダなどのシダ植物が優占しており、雑草木の背丈は低い。植被率も比較的低く、ところどころ裸地が見える環境である。
調査結果	・ ウサギによる剥皮害が多くみられた斜面上部で枯死率が高く、また成長量が低かった。植栽密度による初期成長への影響は不明である。 ・ 2019年には、どの植栽密度もC1+C2が9割前後に達しているが、植栽木と雑草木の樹高差は大きくないため、2019年の時点ではどの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、植栽密度間で競合関係に違いは見られなかった。
課題など	・ 本試験地では、ウサギによる剥皮害が多くみられた。低密度植栽では局所的な枯死が成林に影響するため、枯死が多くみられる場合は忌避剤の使用も検討する必要がある。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	17.3℃	苗木の種類	ヒノキ コンテナ苗 300cc (実生苗)
年降水量	1761.2mm	前生林種	ヒノキ林
標 高	230～250m	伐採年	2014年10月
傾 斜	11～24°	植栽年月	2016年1月
斜面方位	N	一貫 または 通常	通常作業
土 壌	褐色森林土	シカ柵の 有無	無し



【植生タイプ】

落葉広葉樹類

多年生草本類

【植被率と主な優占種】

植被率90%以上

アオモジ

クサギ

ツワブキ

フユイチゴ



2019年7月撮影



2019年10月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

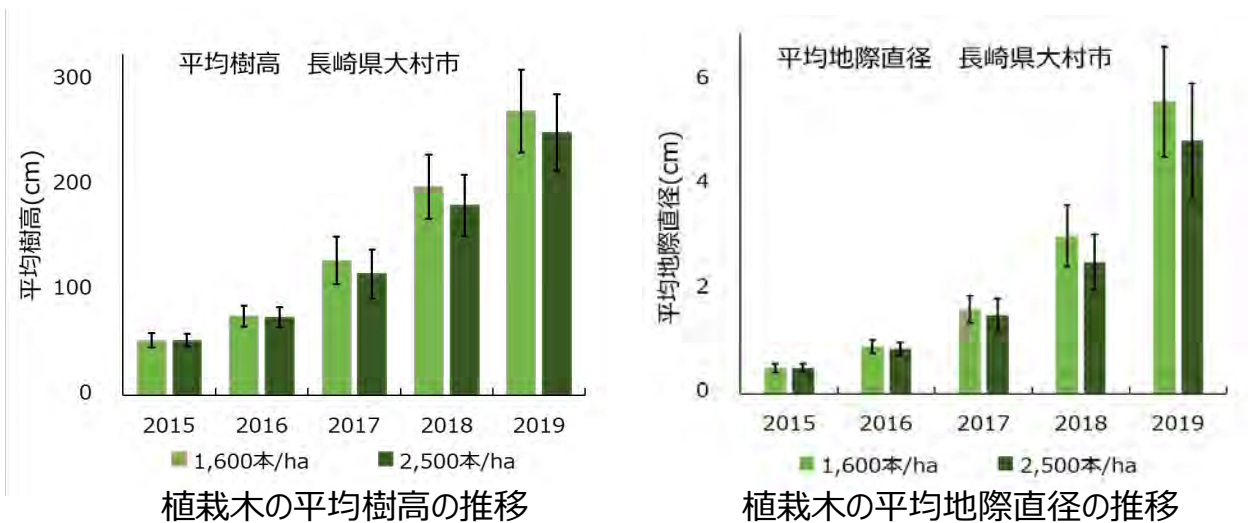
1.植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
-	90 %以上	90 %以上

2.植栽木の枯死率・枯死原因について

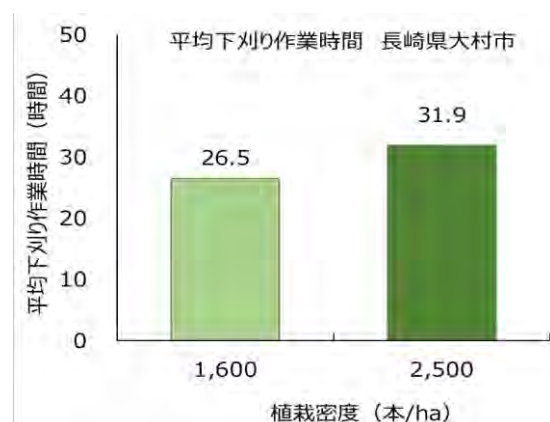
プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)					合計	枯死率 (%)
			2016	2017	2018	2019			
1	1,600	36	4 (誤伐2・根浮1・枯れ1)	0	0	0	4	4	11.1
2	1,600	36	3 (誤伐1・枯れ2)	1 (枯れ)	0	0	4	4	11.1
3	1,600	36	4 (枯れ4)	1 (消失)	4 (枯れ4)	0	9	9	25.0
4	2,500	36	3 (枯れ1・消失1)	0	1 (獣虫害)	1 (誤伐)	5	5	13.9
5	2,500	36	4 (誤伐2・枯れ2)	0	1 (誤伐)	0	5	5	13.9

3.植栽木の成長量について



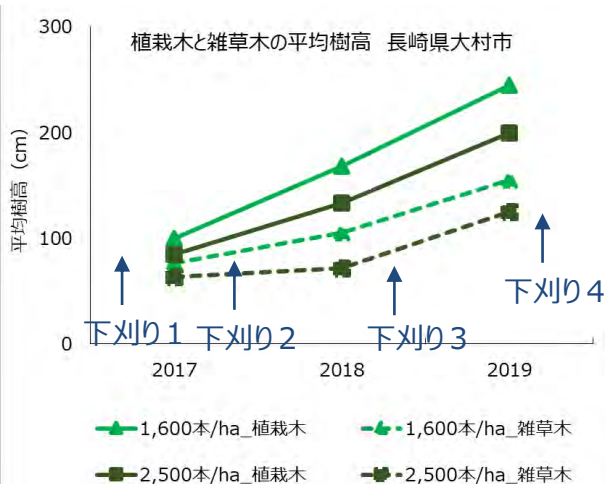
- ・ 活着率は植栽密度による差がほとんど見られなかった。
- ・ 枯死率は1,600本/ha区のプロット3で他の2倍ほど大きかった。原因の特定は難しく、植栽密度の違いによる影響も不明である。そのほかのプロットでは、植栽密度間で差は見られなかった。
- ・ 成長量は低密度植栽区である1,600本/ha区で良好だった。本試験地は未だ林冠閉鎖には未だ至っていないため、植栽密度以外の要因による影響と考えられる。

②植栽密度と下刈り作業時間

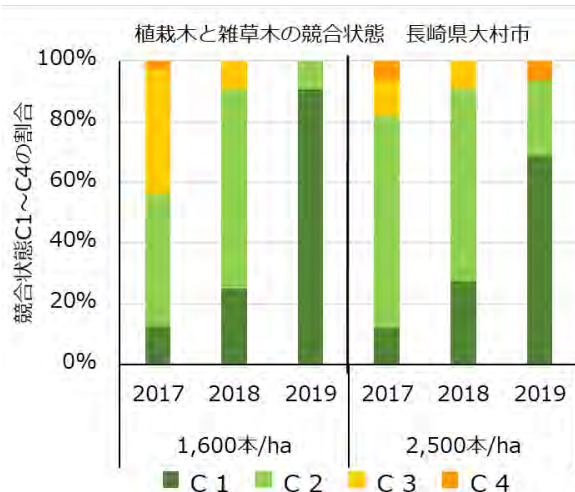


- 低密度植栽区で下刈り作業時間が減少する傾向が見られた。
- 現場作業員へのヒアリングでは、植栽時に植栽木の頂部にピンクテープを巻きつけており、雑草木に埋もれていても見つけやすかったという回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1 ~ C4) の経年変化



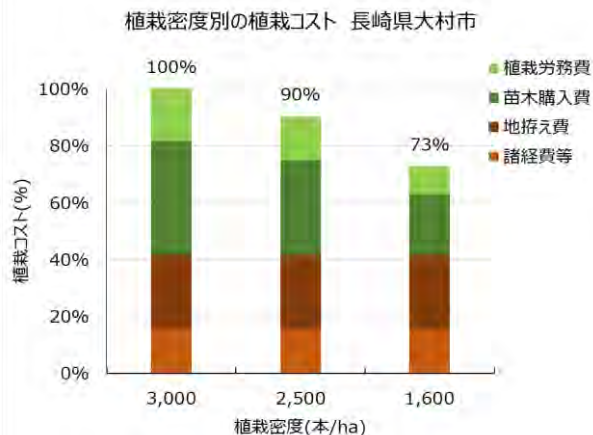
2019年7月撮影

- 平均樹高の比較では、植栽密度間で同様の傾向を示しており、植栽木と雑草木の樹高には大きな差が開いている。
- 競合状態の比較では、どの植栽密度も、植栽後3年目（2018年）にはC1 + C2の割合が9割をこえていた。また、低密度植栽区で良好な結果となった。
- 以上より、どの植栽密度も翌年（5回目）で下刈りの終了を検討できる。低密度植栽でも、通常密度と同じ回数で下刈りを終了できると考えられる。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 146円



3,000本/haと比較して・・・

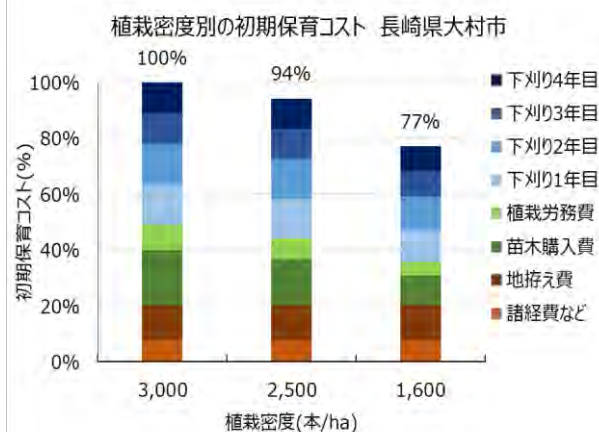
・2,500本/ha → 90%

・1,600本/ha → 73%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後3年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 94%

・1,600本/ha → 77%

にコスト削減が可能

長崎県大村市まとめ

試験地

- ・ 2016年1月にヒノキを植栽し、植栽後4年が経過している。
- ・ アオモジなどの落葉樹とツワブキなどの多年生草本が混生している。

調査結果

- ・ 樹高と地際直径の成長量は、低密度植栽区である1,600本/ha区で良好だった。本試験地は未だ林冠閉鎖には未だ至っていないため、植栽密度以外の要因による影響と考えられる。
- ・ 植栽木の成長が良好であり、どの植栽密度も5回目の下刈りで終了を検討できる。低密度植栽でも通常密度と同じ回数で下刈りを終了できると考えられる。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	17.3℃（大村）	苗木の種類	ヒノキ コンテナ苗 300cc（実生苗）
年降水量	1761.2mm（大村）	前生林種	－
標 高	610～620m	伐採年	2015年12月
傾 斜	2～16°	植栽年月	2016年1月
斜面方位	N	一貫 または 通常	一貫作業
土 壌	褐色森林土	シカ柵の 有無	無し



【植生タイプ】



【植被率と主な優占種】

（2016年）	（2019年）
植被率70-90%	植被率90%以上
エゴノキ	◎ススキ
アカメガシワ	アオモジ
タラノキ	ナガバモミジイチゴ
ヌルデ	フユイチゴ



2016年8月撮影



2019年7月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

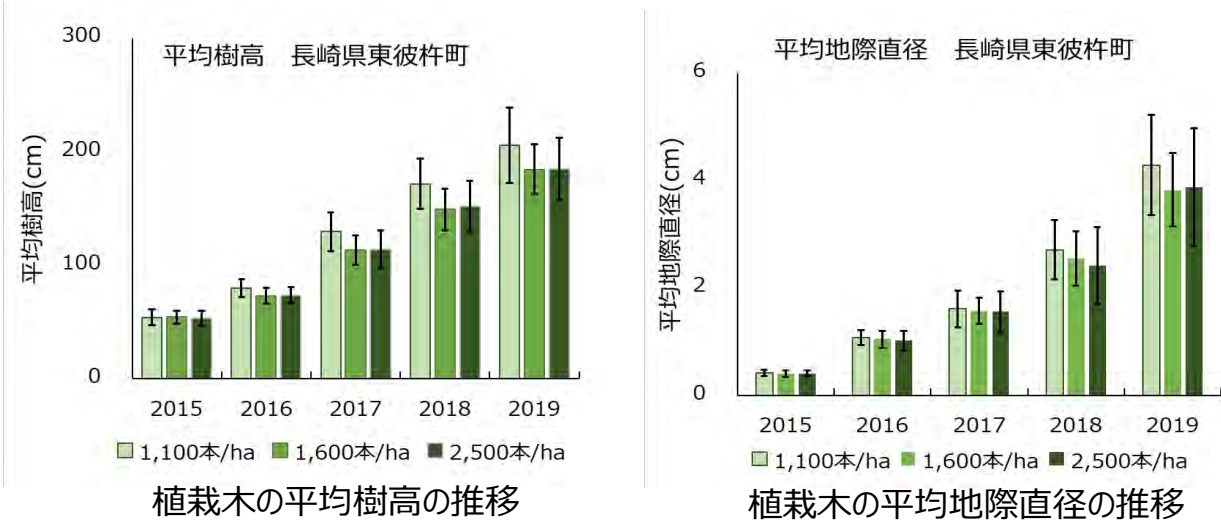
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
90 %以上	90 %以上	90 %以上

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					枯死率 (%)
			2016	2017	2018	2019	合計	
1	1,100	36	2 (枯れ1・イノシシ堀1)	2 (イノシシ堀2)	0	1 (誤伐)	5	13.9
2	1,100	36	0	0	3 (枯れ3)	1 (消失)	4	11.1
3	1,600	36	1 (枯れ1)	0	2 (枯れ2)	1 (枯れ)	4	11.1
4	1,600	36	0	1 (消失)	3 (枯れ2・誤伐1)	3 (枯れ3)	7	19.4
5	2,500	36	0	5 (枯れ5)	3 (枯れ2・誤伐1)	3 (誤伐3)	11	30.6
6	2,500	36	3 (枯れ1・イノシシ堀1・消失1)	1 (誤伐)	0	1 (誤伐)	5	13.9

3. 植栽木の成長量について



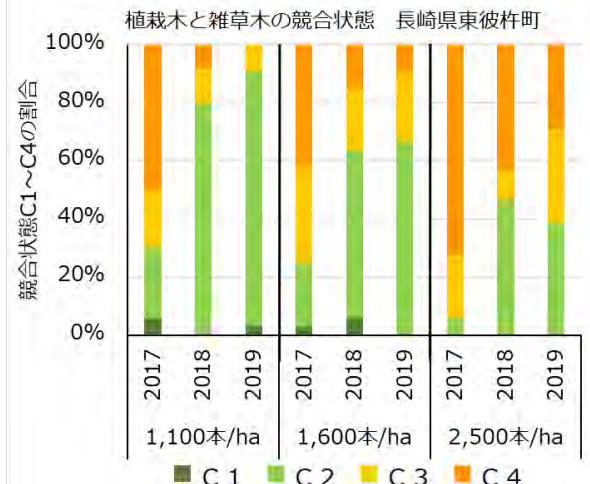
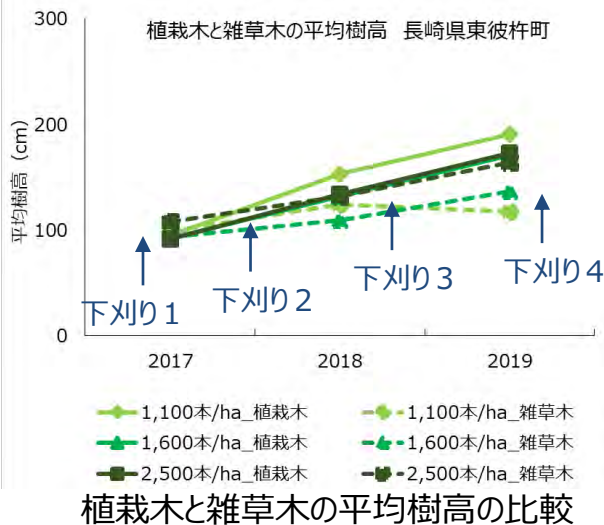
- 活着率は植栽密度による差が見られなかった。
- 枯死率は一部のプロットで高かったが、誤伐の本数が他の密度区よりも多かったのが一因と考えられる。植栽年の秋に、イノシシの掘り返しによる枯死が見られた。
- 成長量は1,100本/ha区で僅かに良好だった。林冠閉鎖には未だ至っていないため、植栽密度以外の要因による影響と考えられる。

②植栽密度と下刈り作業時間



- 低密度植栽区で下刈り作業時間が大きく減少する傾向が見られた。
- 現場作業員からのヒアリングでは、1,600本/ha区で植栽間隔が2.5mの時は、草刈機の長さに合い作業がしやすく、また草刈機を大振りしても誤伐が発生しない間隔のようであったとの回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係



2019年11月撮影

- 本試験地は植栽当初は落葉広葉樹が優占していたが、ススキが優占する環境に変化していった。
- 平均樹高の比較では、1,100本/ha区では植栽木の樹高が雑草木を上回っているが、ほかの植栽密度では完全に抜け出していると言えない状況である。
- 競合状態の比較では、植栽密度間で差が生じており、低密度植栽区ほど良好な結果となった。
- 以上より、2019年の時点ではまだ下刈り終了の判断は難しい。ただし、低密度植栽区で競合関係が悪くなるような傾向は見られなかった。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 146円

植栽密度別の植栽コスト 長崎県東彼杵町

植栽密度(本/ha)	植栽コスト(%)
3,000	100%
2,500	90%
1,600	71%
1,100	60%

3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 90%

・1,600本/ha → 71%

・1,100本/ha → 60%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後 4 年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは③の結果を踏まえて算出した。

植栽密度別の初期保育コスト 長崎県東彼杵町

植栽密度(本/ha)	初期保育コスト(%)
3,000	100%
2,500	94%
1,600	66%
1,100	59%

3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 94%

・1,600本/ha → 66%

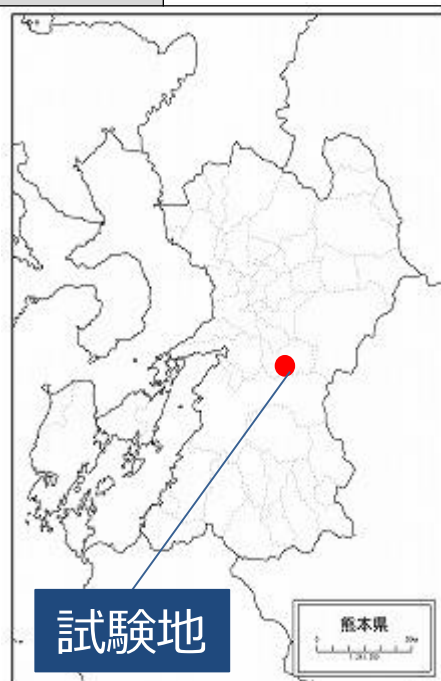
・1,100本/ha → 59%

にコスト削減が可能

長崎県東彼杵町まとめ	
試験地	・ 2016年1月にヒノキを植栽し、植栽後4年が経過している。 ・ 植栽当初は落葉広葉樹が優占していたが、ススキが優占する環境に変化していった。
調査結果	・ 植栽密度による活着率や成長量への影響は見られなかった。 ・ 競合状態の比較では、低密度植栽区ほど良好な結果となった。2019年の時点ではまだ下刈り終了の判断は難しいが、低密度植栽区で競合関係が悪くなるような傾向は見られなかった。
課題など	・ ススキの繁茂が激しい立地では、下刈り終了の判断が難しくなる可能性がある。 ・ イノシシがよく見られる地域では、植栽直後に掘り返しによる被害を受ける可能性があるため、注意が必要である。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	16.1℃（甲佐）	苗木の種類	スギ コンテナ苗 300cc （挿し木苗）
年降水量	2096.5mm（甲佐）	前生林種	－
標 高	665～690m	伐採年	2015年11月
傾 斜	11～30°	植栽年月	2016年2月
斜面方位	E～SE	一貫 または 通常	一貫作業
土 壌	褐色森林土	シカ柵の 有無	無し



【植生タイプ】

ススキ類

【植被率と主な優占種】

植被率90%

◎ススキ

コガクウツギ

コチヂミザサ



2019年7月撮影



2019年11月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

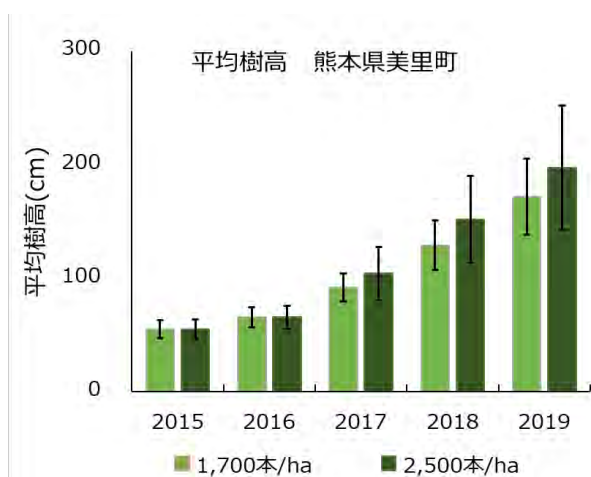
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
-	100%	90 %以上

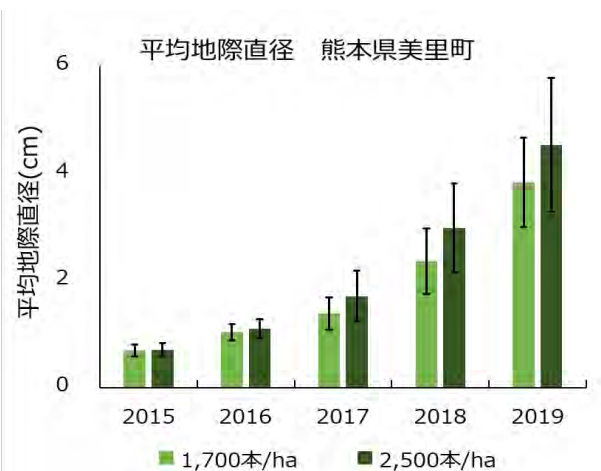
2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)					枯死率 (%)
			2016	2017	2018	2019	合計	
1	1,700	36	0	1 (消失)	1 (消失)	2 (誤伐2)	4	11.1
2	1,700	36	0	2 (誤伐1・枯れ1)	3 (誤伐3)	0	5	13.9
3	1,700	36	0	0	5 (誤伐5)	0	5	13.9
4	2,500	35	0	0	1 (シカ皮剥ぎ)	0	1	2.9
5	2,500	36	1 (消失)	1 (枯れ)	5 (獣虫害3・誤伐2)	4 (シカ皮剥ぎ4)	11	30.6
6	2,500	36	0	0	1 (獣虫害)	1 (シカ皮剥ぎ)	2	5.6

3. 植栽木の成長量について



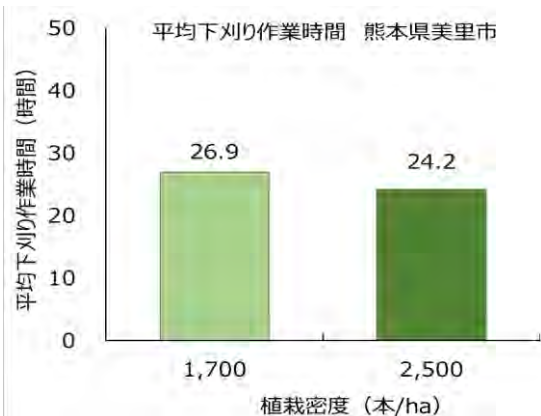
植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

- ・ 活着率は植栽密度による差が見られず、どの植栽密度区も90%以上と高い数値を示した。
- ・ 枯死率は調査プロット間でばらつきが見られた。誤伐のほか、シカによる食害が影響したと考えられる。
- ・ 成長量は低密度植栽区の1,700本/ha区で僅かに低かった。雑草木の繁茂状況の違いなどが影響していると考えられる。

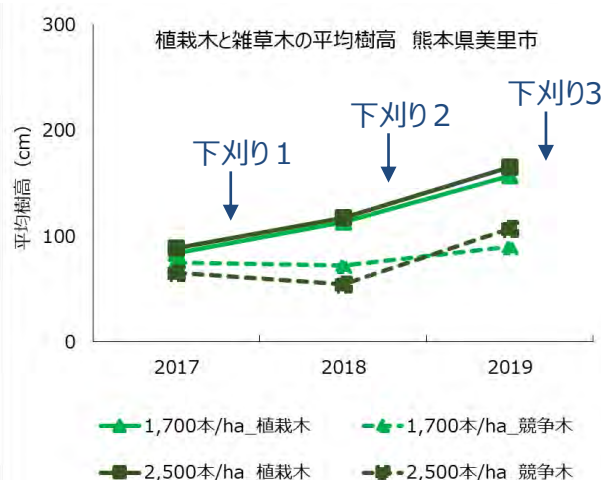
②植栽密度と下刈り作業時間



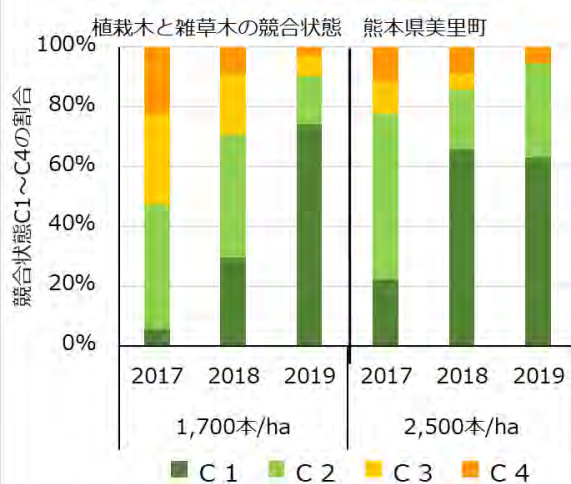
- 植栽密度による下刈り作業時間への影響はほとんど見られなかった。
- 現場作業員からのヒアリングでは、1,700本/ha区では植栽間隔が広く、間を2往復することもあったという回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係

※2016年は雑草の繁茂が少なく、下刈りを実施していない。



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1 ~ C4) の経年変化



2019年7月撮影

- 平均樹高の比較では、どの植栽密度も植栽後4年目（2019年）には植栽木が雑草木を大きく上回っている。
- 競合状態の比較では、どの植栽密度区も植栽後4年目（2019年）にはC1 + C2が9割を越えていた。
- 以上より、どの植栽密度も翌年（4回目）で下刈りの終了を検討できる。低密度植栽区も通常密度の植栽区と同じ回数で下刈りを終了できると考えられる。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

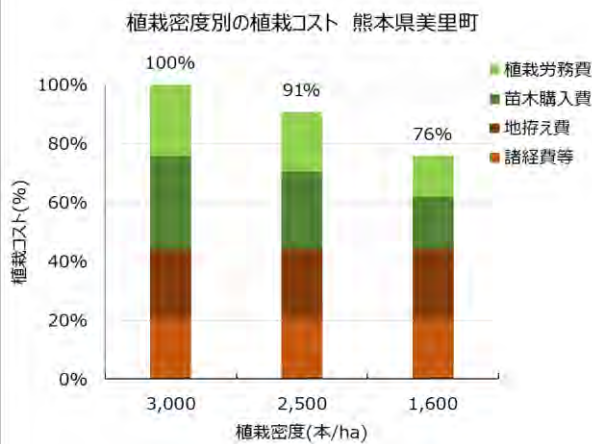
※苗木：一本 144円

3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 91%

・1,700本/ha → 76%

にコスト削減が可能



【地ごしらえから植栽後4年目までの初期保育コスト削減効果】

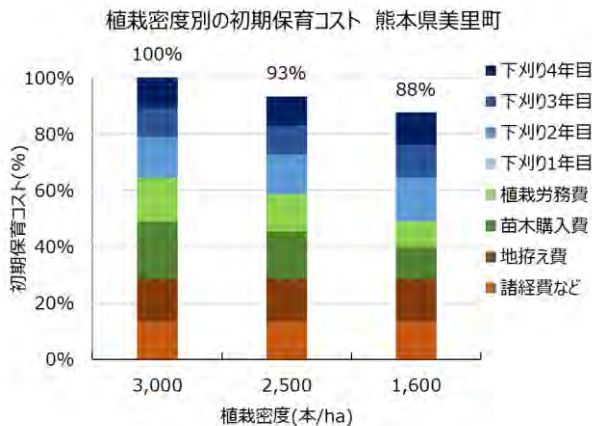
※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。

3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 93%

・1,700本/ha → 88%

にコスト削減が可能



熊本県美里町まとめ

試験地

- ・ 2016年2月にスギを植栽し、植栽後4年が経過している。
- ・ ススキが優占しているが、ほかにコガクウツギなどの落葉広葉樹やコチヂミザサが混生している。

調査結果

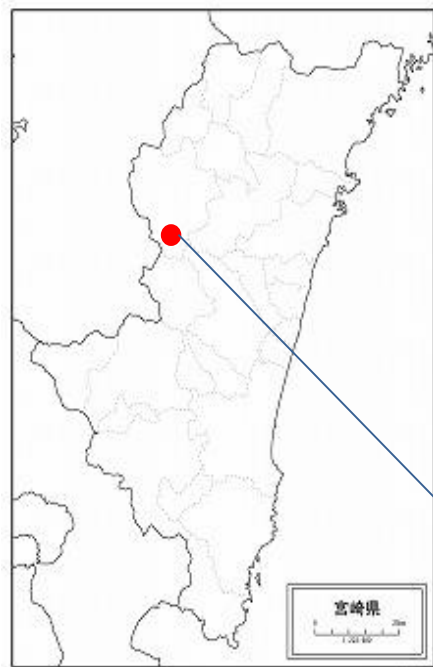
- ・ 成長量は低密度植栽区の1,700本/ha区で僅かに低かった。雑草木の繁茂状況の違いなどが影響していると考えられる。
- ・ 植栽後4年目（2019年）にはどの植栽密度も競合関係を大きく脱しており、4回目の下刈りで終了を検討できる。低密度植栽区でも、通常密度の植栽区と同じ回数で下刈りを終了できると考えられる。

課題など

- ・ ススキが優占しているが、長崎県東彼杵町の事例ほど繁茂が激しくないため、雑草木との競合関係は比較的に良好な結果となった。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	12.7℃（鞍岡）	苗木の種類	スギ コンテナ苗 300cc （挿し木苗）
年降水量	2364.4mm（鞍岡）	前生林種	広葉樹など
標高	830～870m	伐採年	2013年11月
傾斜	13～37°	植栽年月	2016年2月
斜面方位	NW～SW	一貫 または 通常	通常作業
土壌	褐色森林土	シカ柵の有無	有り



試験地

【植生タイプ】

ススキ類

【植被率と主な優占種】

植被率90%

◎ススキ



2019年7月撮影



2019年11月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

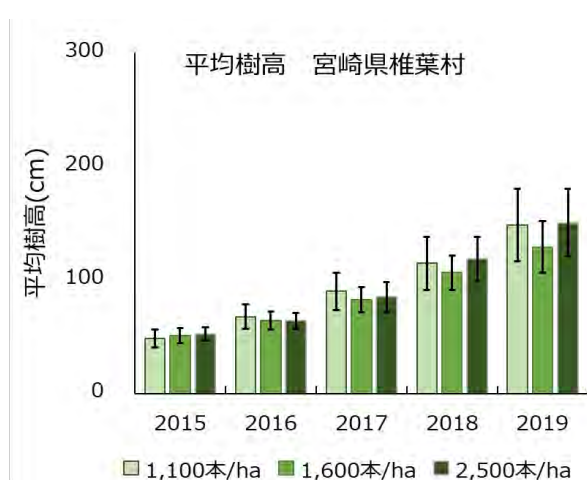
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
90 %以上	100%	100%

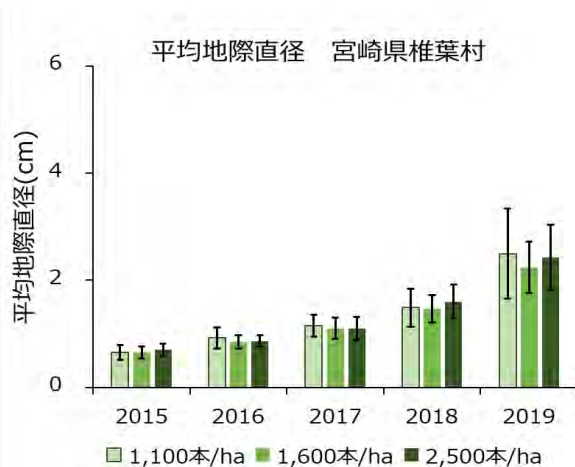
2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

プロット	植栽密度 (本/ha)	設定本数 (本)	枯死本数(本)					枯死率 (%)
			2016	2017	2018	2019	合計	
1	1,100	36	1 (誤伐)	0	1 (ウサギ被害)	0	2	5.6
2	1,100	36	0	1 (誤伐)	0	3 (誤伐2・枯れ1)	4	11.1
3	1,600	36	0	0	0	0	0	0.0
4	1,600	36	0	1 (枯れ)	0	2 (誤伐2)	3	8.3
5	2,500	36	0	0	2 (誤伐1・枯れ1)	0	2	5.6
6	2,500	36	0	1 (枯れ)	1 (下敷き)	0	2	5.6

3. 植栽木の成長量について



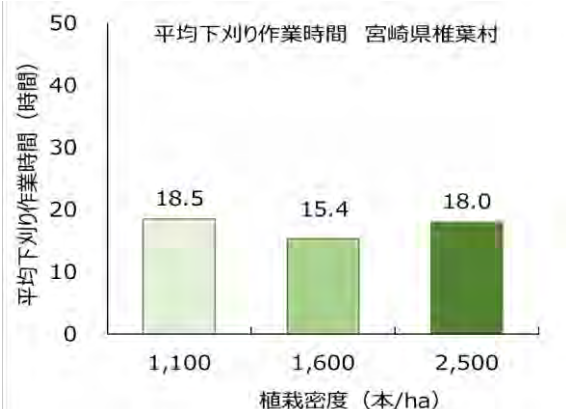
植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

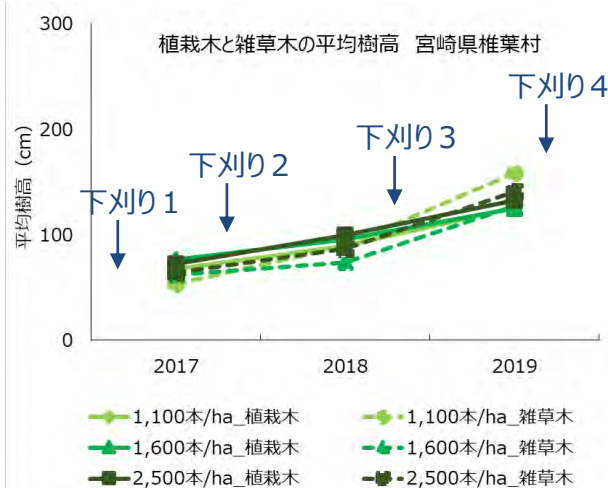
- ・ 活着率は植栽密度間で差が見られず、どの植栽密度区も90%以上と高い数値を示した。
- ・ 枯死率は全体的に低く、また植栽密度間で大きな差は見られなかった。
- ・ 成長量は植栽密度間で大きな差は見られなかった。

②植栽密度と下刈り作業時間

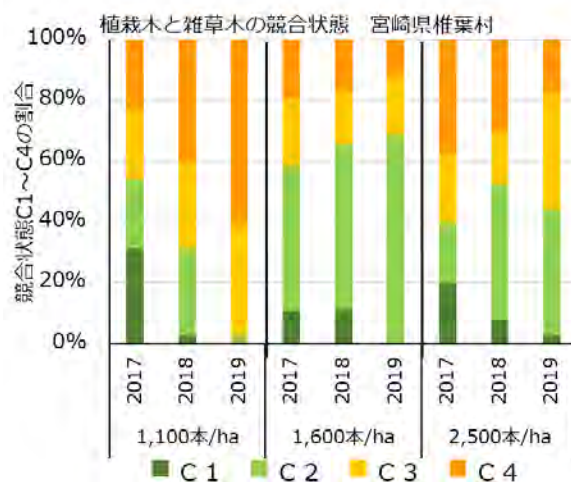


- 植栽密度によって下刈り作業時間はほとんど影響されなかった。
- 現場作業員からのヒアリングは、枯死して消失した植栽木があった場合、低密度植栽区では次の植栽木までの距離がより長くなり、見つけるのに時間がかかったとの回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1～C4) の経年変化



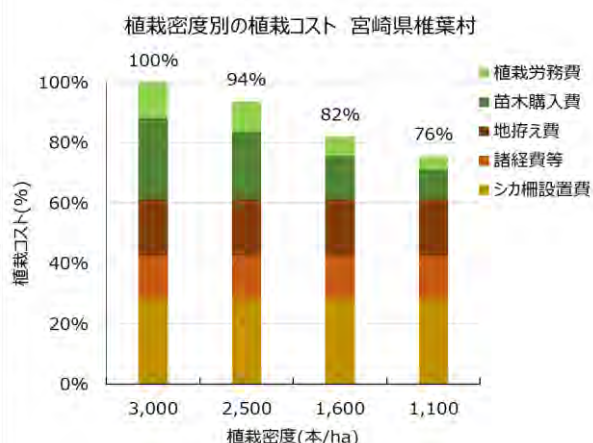
2019年7月撮影

- 平均樹高の比較では、植栽後4年目（2019年）でもどの植栽密度も未だ競合状態にあることが分かる。
- 競合状態の比較でも、どの植栽密度も未だ多くの植栽木が競合状態を脱していない事が分かる。1,100本/ha区で競合状態が悪くなっているが、本試験地は未だ林冠閉鎖に至っておらず、植栽密度の影響とは考えにくい。
- 2019年の時点では、どの植栽密度区もまだ下刈り終了の判断は難しい。

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 153円



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 94%

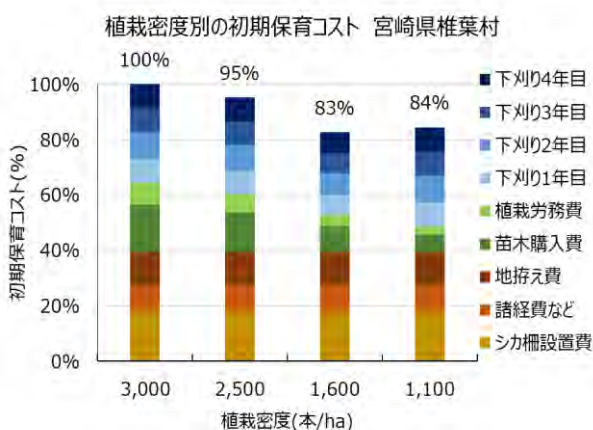
・1,600本/ha → 82%

・1,100本/ha → 76%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後4年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 95%

・1,600本/ha → 83%

・1,100本/ha → 84%

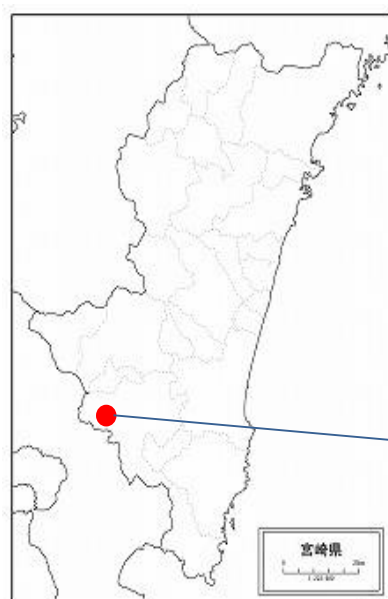
にコスト削減が可能

宮崎県椎葉村まとめ

試験地	2016年2月にスギを植栽し、植栽後4年が経過している。 - ススキが優占しており、植被率も高い。
調査結果	- 植栽密度による植栽木の生育への影響はほとんど見られなかった。 - どの植栽密度も植栽後4年目（2019年）で未だ競合状態であり、下刈り終了の判断は難しい。
課題など	長崎県東彼杵町の事例と同様、ススキの繁茂の激しい立地では下刈り終了の判断が難しくなる可能性がある。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	16.5℃	苗木の種類	スギ コンテナ苗（挿し木苗） 470cc（大苗） 300cc（普通苗）
年降水量	2481.8mm	前生林種	スギ林
標高	295～355m	伐採年	2017年
傾斜	6～20°	植栽年月	2017年1月
斜面方位	-	一貫 または 通常	一貫作業
土壌	黒色火山灰土	シカ柵の有無	部分的に有り



試験地

【植生タイプ】

落葉広葉樹類

【植被率と主な優占種】

植被率80～95%

◎アカメガシワ

◎クサギ

フユイチゴ



2018年6月撮影



2019年11月撮影

試験地の概要

本試験地では、以下の2つの項目を実証するために
スギ コンテナ大苗（約465cc）を植栽しました。

項目① 大苗による下刈り回数の削減効果

項目② 大苗によるシカ食害の回避効果



実証試験に使用したスギ大苗

苗長 : $92 \pm 5.6 \text{ cm}$
地際直径 : $1.0 \pm 0.18 \text{ cm}$
形状比 : 94 ± 17.5



※比較対象としたスギ コンテナ普通苗
（2,500本/haの密度で植栽）

苗長 : $57 \pm 5.3 \text{ cm}$
地際直径 : $0.9 \pm 0.11 \text{ cm}$
形状比 : 63 ± 17.5



実証試験地における調査プロット設置状況



①植栽木の活着率、枯死率、成長量

1. 植栽木の活着率について

大苗			普通苗
1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha	2,500本/ha
90%以上	90%以上	90%以上	90%以上

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

樹種	プロット	植栽密度 (本/ha)	シカ柵 内外	設定 本数 (本)	枯死本数(本)				枯死率 (%)
					2017	2018	2019	合計	
スギ大苗	2	1,100	内	36	1 (枯れ)	6 (枯れ4・誤伐1 ・消失1)	0	7	19.4
	8	1,100	外	36	1 (枯れ)	1 (シカ食害)	2 (シカ皮剥ぎ1 ・シカ食害)	4	11.1
	4	1,600	内	36	0	1 (枯れ)	0	1	2.8
	6	1,600	外	36	1(枯れ)	1 (獣虫害)	5 (シカ皮剥ぎ4 ・誤伐1)	7	19.4
	3	2,500	内	36	3 (枯れ3)	4 (枯れ4)	1 (誤伐)	8	22.2
	7	2,500	外	36	3 (枯れ3)	4 (誤伐2・枯れ2)	0	7	19.4
スギ普通苗	1	2,500	内	36	1(枯れ)	1 (誤伐1)	1 (誤伐)	3	8.3
	5	2,500	外	36	0	0	0	0	0.0

- ・ 植栽木の活着率は、植栽密度間や大苗・普通苗間で差が見られなかった。
- ・ 枯死率は、普通苗より大苗のほうが高かった。
- ・ シカを原因とする枯死については、大苗に対し7本発生したが、これらは皮剥ぎや角研ぎによるものであり、梢端に対する食害は大苗、普通苗ともに見られなかった。



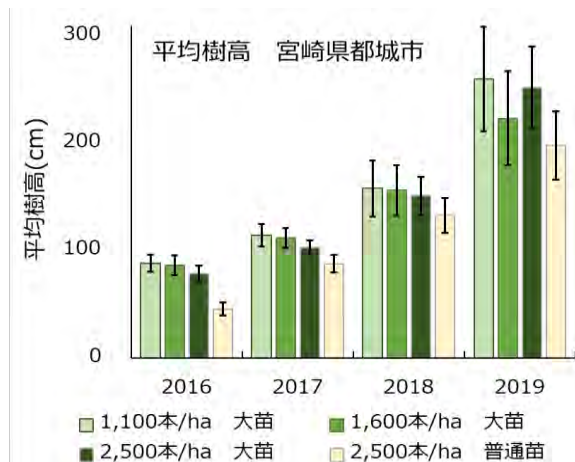
シカによる被害を受けたスギ大苗



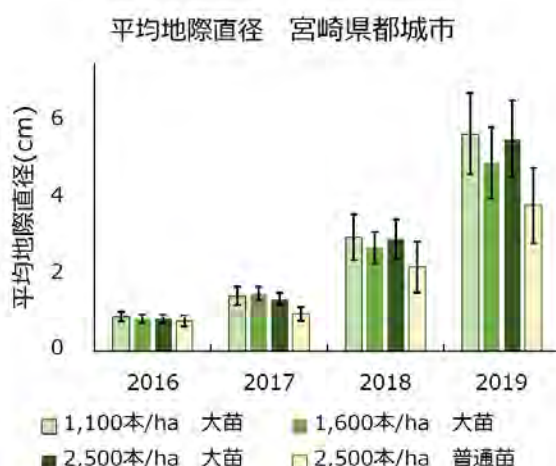
シカ柵の設置状況

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

3. 植栽木の成長量について



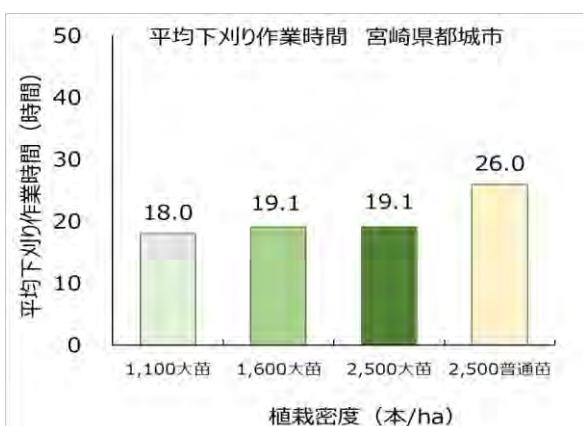
植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

- 成長量は、大苗と普通苗で同様の増加傾向を示した。2019年時点での樹高は普通苗の方が低くなったが、植栽時の樹高の差がそのまま影響したと考えられる。
- 大苗の平均樹高が2019年の時点で2.2mを超えているが、これは下刈りの終了も検討できる樹高である。
- 植栽密度間の比較では、大苗の1,600本/ha区で成長が少し低くなっているが、原因は不明である。

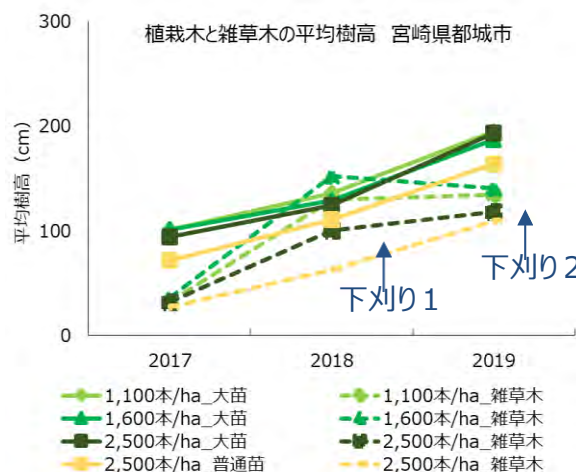
②植栽密度と下刈り作業時間



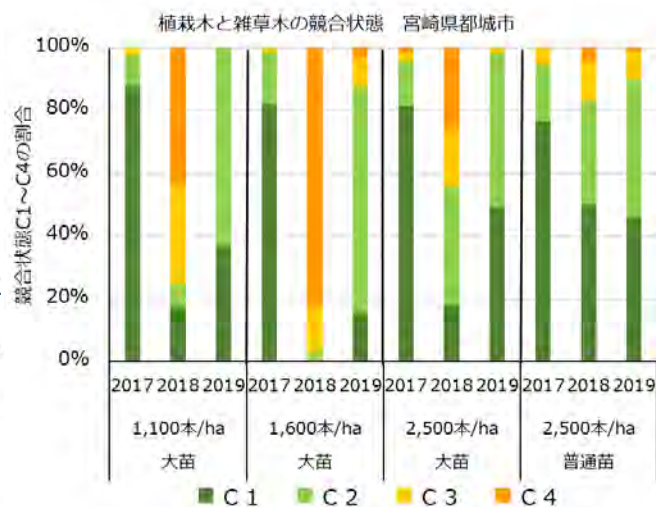
- 下刈り作業時間は植栽密度にほとんど影響されなかった。
- 普通苗区では、大苗区と比べ作業時間が長くなっていた。
- 現場作業員へのヒアリングでは、普通苗区で作業時間が増加した理由としてツル植物の多さや雑草の繁茂状況が理由として挙げられていた。

③植栽木と雑草木の競合関係

※2017年は下刈りを実施していない



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1～C4) の経年変化

- 「一貫作業システム」により、植栽年（2017年）の下刈りを省略することが可能であった。
- 植栽木の成長が良好であり、競合状態の比較ではどの植栽密度も2019年にはC1+C2が8割を超えている。
- 大苗の方が普通苗よりも平均樹高が高くなるため、より早く下刈りを終了できる樹高まで達すると考えられる。本事例では、大苗を使えば計2回程度の下刈りで終了を検討できることが分かった。



2019年7月撮影
(2,500本/ha区、大苗)



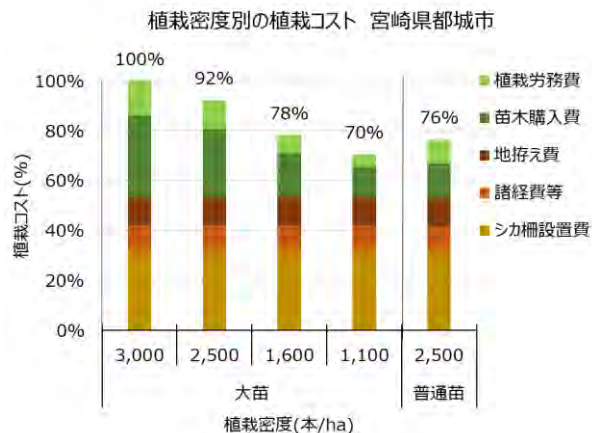
2019年7月撮影
(2,500本/ha区、普通苗)

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

※苗木：一本 260円（大苗）

一本 130円（普通苗）



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha(大苗) → 92%

・1,600本/ha(大苗) → 78%

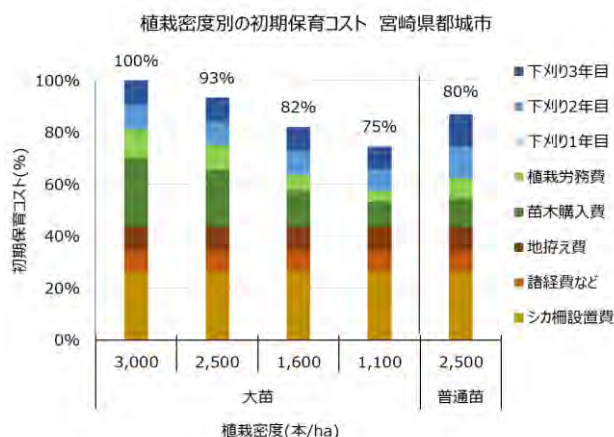
・1,100本/ha(大苗) → 70%

・2,500本/ha(普通苗) → 76%

にコスト削減が可能

【地ごしらえから植栽後3年目までの初期保育コスト削減効果】

※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。



3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha(大苗) → 93%

・1,600本/ha(大苗) → 82%

・1,100本/ha(大苗) → 75%

・2,500本/ha(普通苗) → 80%

にコスト削減が可能

宮崎県都城市まとめ

試験地

- ・ 2017年1月にスギ大苗と普通苗を植栽し、大苗による下刈り回数の削減効果とシカによる食害の低減効果を検証した。
- ・ 試験地は、アカメガシワやクサギなどの落葉広葉樹が優占している。

大苗による 下刈り回数削減

- ・ 大苗の方が平均樹高が高くなり、2019年秋の時点で下刈りの終了を検討できる樹高となった。
- ・ 大苗の方が下刈りの終了を判断できる樹高により早く達することで、普通苗よりも下刈りの回数を削減できる可能性がある。
- ・ 「一貫作業システム」による地ぼりと大苗の植栽を組み合わせることで、計2回程度の下刈りで終了できる可能性があることが分かった。

大苗による シカ食害低減

- ・ 梢端に対するシカの食害は見られなかったことから、大苗によるシカ被害の軽減には一定の効果があると考えられる。ただし樹幹への剥皮害・角研ぎ害による枯死が見られたのは全て大苗である。今後は、シカによる剥皮や角研ぎが大苗に集中した要因を検証する必要がある。

試験地の概要

試験地の概要			
年平均気温	17.0℃（川内）	苗木の種類	スギ コンテナ苗 300cc （挿し木苗）
年降水量	2281.4mm（川内）	前生林種	－
標高	180～195m	伐採年	2014年11月
傾斜	11～19°	植栽年月	2015年12月
斜面方位	W	一貫 または 通常	通常作業
土壌	褐色森林土	シカ柵の有無	有り



【植生タイプ】

落葉広葉樹類

ススキ類

【植被率と主な優占種】

(2016年)

植被率90%

カラスザンショウ

クマイチゴ

センダン

ジャケツイバラ

(2019年)

植被率90%

◎ススキ

ヌルデ

フユイチゴ



2016年11月撮影



2019年7月撮影

①植栽木の活着率、枯死率、成長量

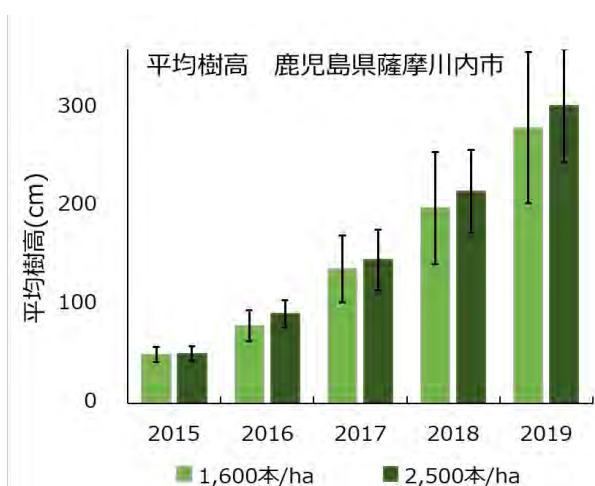
1. 植栽木の活着率について

1,100本/ha	1,600本/ha	2,500本/ha
-	90 %以上	90 %以上

2. 植栽木の枯死率・枯死原因について

ﾌｵｯﾄ	植栽 密度 (本/ha)	設定 本数 (本)	枯死本数(本)					枯死率 (%)
			2016	2017	2018	2019	合計	
1	1,600	36	2 (枯れ1・被圧1)	2 (ウサギ食害1 ・枯れ1)	0	1 (誤伐)	5	13.9
2	1,600	35	1 (消失)	2 (消失3)	0	1 (誤伐)	4	11.4
3	1,600	34	2 (誤伐2)	4 (消失3 ・ウサギ食害1)	0	1 (誤伐)	7	20.6
4	2,500	36	5 (ウサギ食害1 ・消失2・枯れ2)	0	0	1 (誤伐)	6	16.7
5	2,500	36	1 (枯れ)	2 (消失2)	0	0	3	8.3
6	2,500	36	1 (ウサギ食害)	0	1 (枯れ)	0	2	5.6

3. 植栽木の成長量について



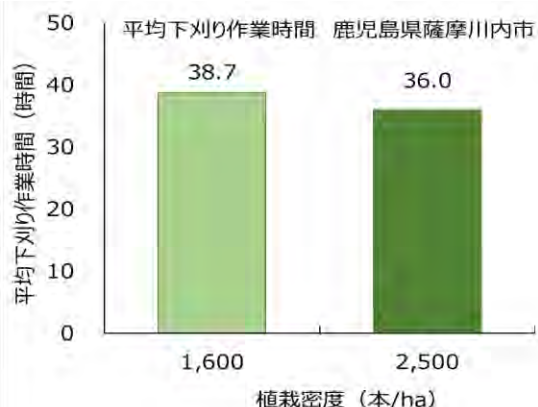
植栽木の平均樹高の推移



植栽木の平均地際直径の推移

- ・ 活着率は植栽密度による差が見られず、どの植栽密度区も90%以上と高い数値を示した。
- ・ 枯死率は1,600本/ha区の方が高かったが、誤伐の本数が要因の一つと考えられる。
- ・ 成長量は植栽密度によって大きな差が見られず、樹高成長、直径成長ともに良好であった。

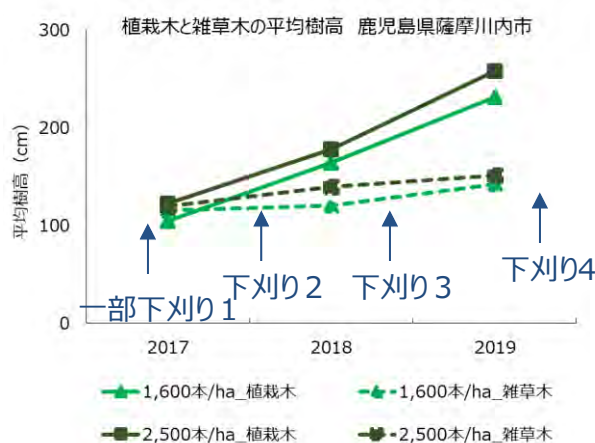
②植栽密度と下刈り作業時間



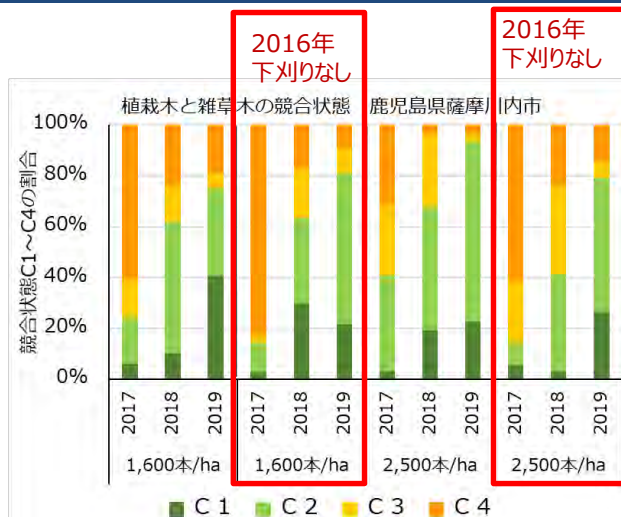
- 下刈り作業時間は植栽密度にほとんど影響されなかった。
- 現場作業員からのヒアリングでは、植栽密度によって作業の難易の差は無かったとの回答があった。

③植栽木と雑草木の競合関係

※一部のプロットでは試験的に2016年の下刈りを省略している。



植栽木と雑草木の平均樹高の比較



競合状態 (C1 ~ C4) の経年変化

- 平均樹高の比較では、どの植栽密度も植栽後4年目の2019年には植栽木と雑草木の樹高に大きな差が見られる。
- 競合状態の比較では、植栽後4年目の2019年には、どの植栽密度もC1 + C2の割合が8割を超えていた。2016年に下刈りを省略したプロットについては、2019年には毎年下刈りをしたプロットとほぼ変わらない割合を示した。
- どの植栽密度も今年(4回目)で下刈りの終了が検討できる。低密度植栽でも、通常密度と同じ回数で下刈りを終了することが可能と判断できる。



2019年7月撮影

④低密度植栽によるコスト削減効果

【植栽時のコスト削減効果】

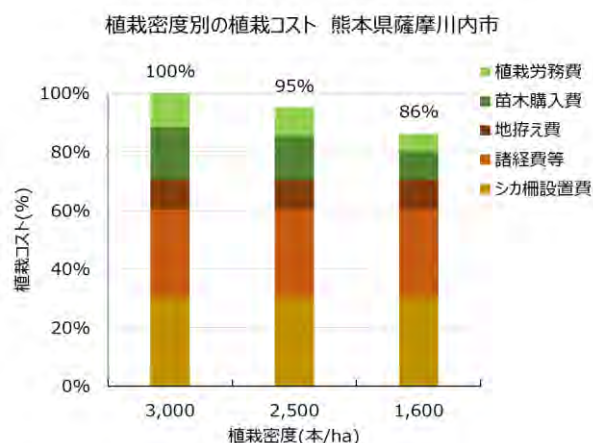
※苗木：一本 153円

3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 95%

・1,600本/ha → 86%

にコスト削減が可能



【地ごしらえから植栽後4年目までの初期保育コスト削減効果】

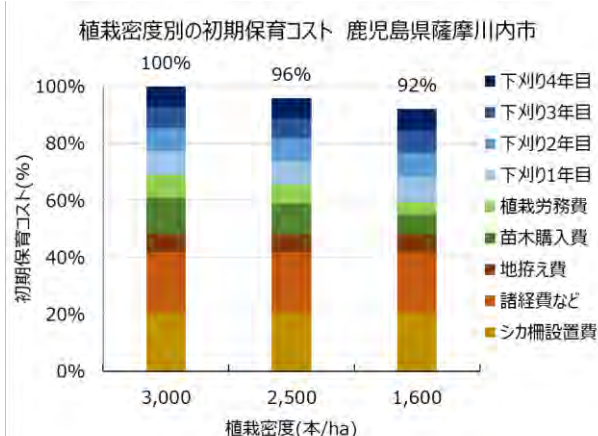
※下刈りのコストは②の結果を踏まえて算出した。

3,000本/haと比較して・・・

・2,500本/ha → 96%

・1,600本/ha → 92%

にコスト削減が可能



鹿児島県薩摩川内市まとめ

試験地

- ・ 2015年12月にスギを植栽し、植栽後4年が経過している。
- ・ カラスザンショウなどの落葉広葉樹が優占していたが、次第にススキが優占する植生へ変化していった。

調査結果

- ・ 植栽密度による初期の生育状況への差はほとんど見られなかった。
- ・ どの植栽密度もスギの成長が良好であり、植栽後4年目には雑草木から大きく突出しているため、2019年（4回目）で下刈りの終了を検討できる。低密度植栽でも、通常密度と同じ回数で下刈りを終了できると考えられる。

課題など

- ・ 植栽木の成長が速ければ、ススキが優占している立地であっても下刈りの省略や早期の下刈り終了による低コスト化が検討できる。

＜低密度植栽技術導入のための事例集＞
（発行）令和2（2020）年3月 林野庁

（作成）一般社団法人 日本森林技術協会
TEL (03) 3261-5281（代表）
FAX (03) 3261-5393
<http://www.jafta.or.jp>

7. 林業技術者向けパンフレット原稿の作成

本事業の5年間における成果を踏まえ、低密度植栽導入のための林業技術者向けパンフレット原稿を作成した。

低密度植栽技術の導入に向けた調査委託事業

低密度植栽で 低コストで効率的な再造林を目指す！



林 野 庁

1. はじめに

近年、主伐の増加が予想される中で、主伐後の再生林を低コストで効率的に行うための選択肢の一つとして、「低密度植栽技術」の導入が期待されています。

—低密度植栽とは—

低密度植栽とは、従来3,000本/ha程度の密度で植栽していたものを、1,000本/ha から1,500本/ha程度の密度で植栽することです。

植栽本数が減ること、苗木の購入費や植栽に要する労務費が削減され、再生林の低コスト化を図ることができます。

また、間伐の回数を減らして主伐に至る施業を想定しているため、全体的な育林コストの削減も期待できます。

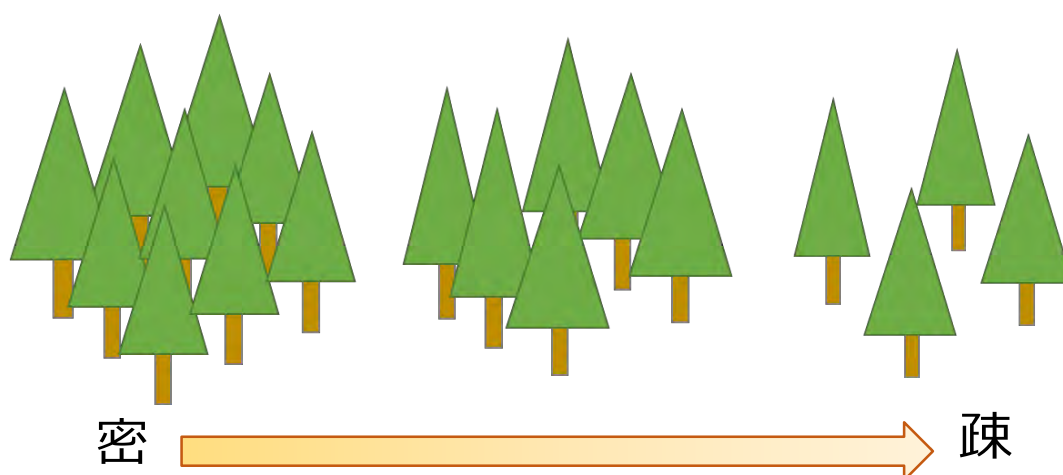


写真1 2,500本/ha植栽の例
(植栽間隔 2 m)



写真2 1,100本/ha植栽の例
(植栽間隔3m)

2. 本パンフレットの概要

本パンフレットは、平成27（2015）年度から令和元（2019）年度にかけ林野庁が実施した「低密度植栽技術の導入に向けた調査委託事業」の調査結果をもとに、

低密度植栽における初期（植栽後4年程度まで）の植栽木の生育状況や初期保育コストなどについて要点を簡潔に取りまとめたものです。

本事業では以下の資料も作成しており、合わせてご活用ください。

- 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

3. 本パンフレットでの対象樹種

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を対象とします。



写真3 岩手県紫波町 カラマツ植栽地



写真4 鹿児島県薩摩川内市 スギ植栽地

なお、本事業における実証試験には、
すべてコンテナ苗を使用しています。



写真5 スギ コンテナ苗

4.低密度植栽のメリット

低密度植栽をすることで、以下のように初期保育時の低コスト化が図れます。

➤ 植栽コストの削減

植栽本数が減ることにより、苗木代および植栽時の労務費を削減することが可能です。



図1 植栽密度と植栽コストの関係
(例：茨城県日立市 スギ植栽地)

1,100本/haでは、
3,000本/haに比べて

**苗木代と
植栽時の労務費を合わせて
43%にコスト削減！**

(茨城県日立市スギ植栽地の事例
スギ・150ccコンテナ苗
一本165円で計算)

※地拵えのコストは低密度植栽にしても変わらないため、試算から外しています。

➤ 下刈りコストの削減の可能性

低密度植栽にした場合に、下刈りの作業時間を削減できる可能性があることが分かりました。(6ページを参照)

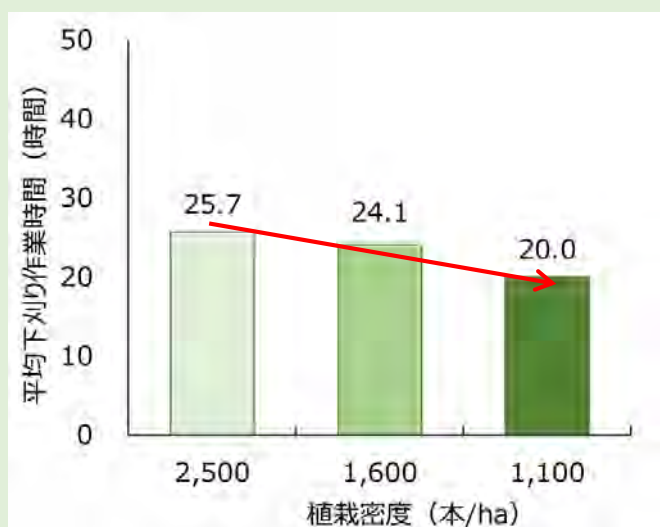


図2 植栽密度と下刈り作業時間
(ヘクタール当たり) の関係
(例：茨城県日立市 スギ植栽地)

低密度植栽にした場合、

**下刈りの作業時間を
削減できる可能性がある！**

(茨城県日立市スギ植栽地の事例)

5. 低密度植栽に関するQ&A

Q1. どのくらいの植栽密度にすればいいの？

A. 樹種によりますが、ヘクタル当たり1,000本から1,500本程度の植栽密度が想定されています。

これまでの研究などでは、以下に示した植栽密度であれば、成林や木材利用への影響が少ないことが分かっています。

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

※都道府県によっては、補助対象に最低植栽密度が定められている場合があります。

Q2. 低密度植栽における生産目標は？

A. 合板、集成材といった加工向けなどの並材が主な生産目標となります。

これまでの研究によると、低密度植栽では・・・

- ✓ 通常の植栽密度よりも、成長が速くなることが多い。
- ✓ 特に肥大成長が促進され、年輪幅が広がる。
- ✓ 樹幹がウラゴケになりやすい。

近年の木材加工技術の進展
集成材や合板の利用拡大といった木材需要の変化

年輪幅が一定で稠密な無節材ではなく、
加工向けなどの並材の生産を目指すのであれば、
再造林の際の選択肢の一つになり得ます。

5. 低密度植栽に関するQ&A

Q3. 低密度植栽では活着に悪い影響はないの？

A. 植栽密度の違いによる活着への影響はほとんどありません。

ただし植栽本数が少ないため、獣害などによる局所的な枯死がその後の成林を危うくする可能性もあります。

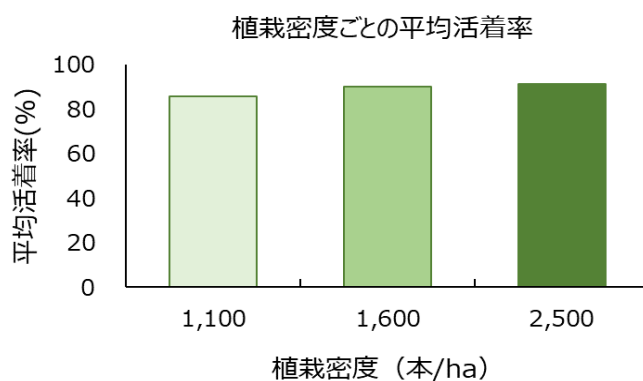


図3 植栽密度ごとの平均活着率

Q4. 低密度植栽では雑草木の繁茂が激しくなるため初期成長が悪くなるのでは？

A. 低密度植栽によって初期成長（植栽後4年程度）が悪くなるような傾向は見られませんでした。

植栽木の成長、特に幹の肥大成長に影響が出てくるのは、林冠が閉鎖した後と考えられます。

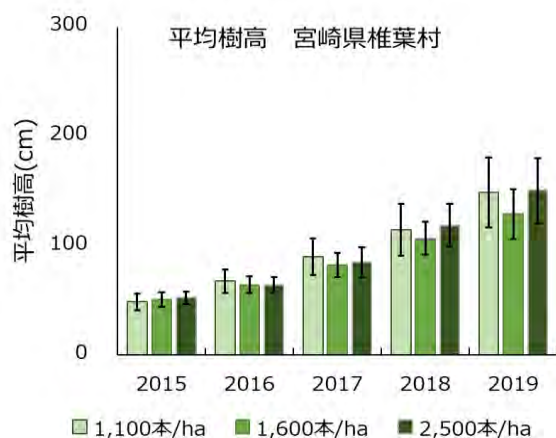


図4 植栽密度ごとの樹高成長量
(宮崎県椎葉村 スギの事例)



Q5. 植栽の間隔が変わると、下刈り作業の効率が悪くなるのでは？

A. 植栽密度が低くなるほど、下刈りの作業時間が減少する傾向があることが分かりました。

全国19箇所の実証試験地で、下刈り（全刈り）の時間を計測
(2,500本/ha、1,600本/ha、1,100本/haの3つの植栽密度)



全体的な傾向として、植栽密度が低いほど
下刈り作業時間が減少する傾向が見られた

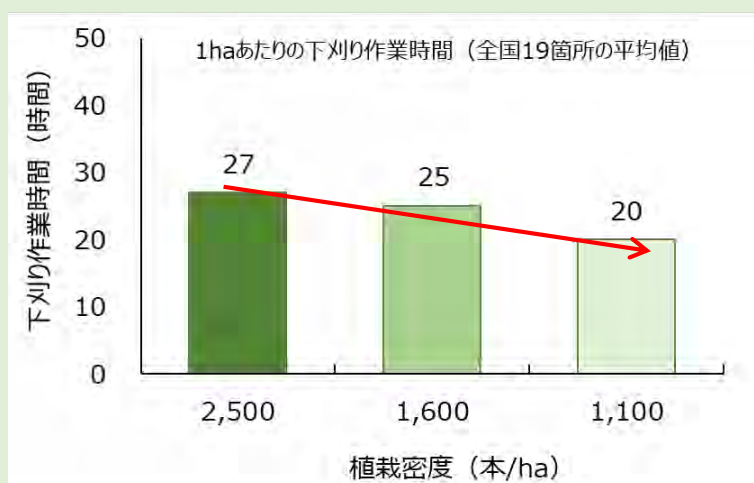


図5 植栽密度ごとのヘクタールあたり下刈り作業時間
(全国19箇所における計測結果の平均値)

なお、**坪刈り**や**筋刈り**を行った場合も、
植栽密度が低いほど下刈り作業時間が減少する
との報告があります。

ただし、雑草木が繁茂しやすい環境では、
逆に翌年の下刈りが大変になる場合があります。



5. 低密度植栽に関するQ&A

Q6. 植栽間隔が変わると、下刈り時の誤伐が増えるのでは？

A. 植栽密度の違いによる、誤伐の発生への影響は
ほとんどありません。

一方で、低密度植栽では植栽する苗木の数が少ないため、一本一本をより大切に保育していく必要があります。

以下のような事に注意しつつ作業を行うと良いでしょう。

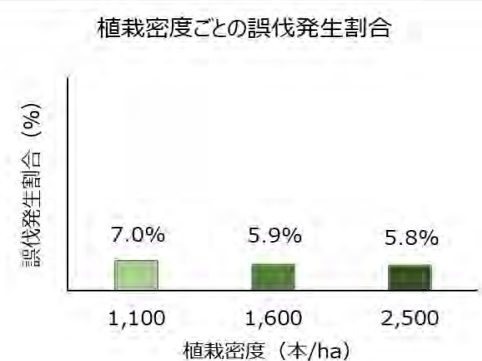


図6 植栽密度ごとの誤伐発生割合

－ 誤伐を避けるために －

- 岩や切り株などの障害物により植栽位置がずれると、誤伐の危険性が増してしまいます。等間隔に植栽するのが難しい場合でも、できるかぎり等高線上に植栽をしていった方がいいでしょう。
- 誤伐を少なくするためには、植栽列の並びと平行方向に刈り払いをすることが大切です。
- 雑草の繁茂がひどく、植栽木が見えなくなってしまうような立地では、植栽木にカラーテープや竹杭などで目印をつけておくと見つけやすくなります。



写真6 等間隔に植栽し、植栽列と平行（矢印の方向）に刈り進むことで誤伐を減らせる。



写真7 竹杭による植栽木への目印

Q7. 低密度植栽だと通常よりも雑草木が繁茂して、 下刈り回数が増えるのでは？

A. 下刈り回数は植栽木と雑草木の競合状態の強弱によって決まります。
本事業の実証試験では植栽密度の違いによって競合状態に違いが見られない事例が多く、これらの実証試験地では**低密度の植栽地と通常密度の植栽地で下刈り回数は変わりませんでした。**

(事例1) 長崎県大村市 ヒノキ植栽後4年目
→どの植栽密度もヒノキが成長して雑草木から突出しており、
翌年に下刈り(5回目)すれば終了できると考えられる。

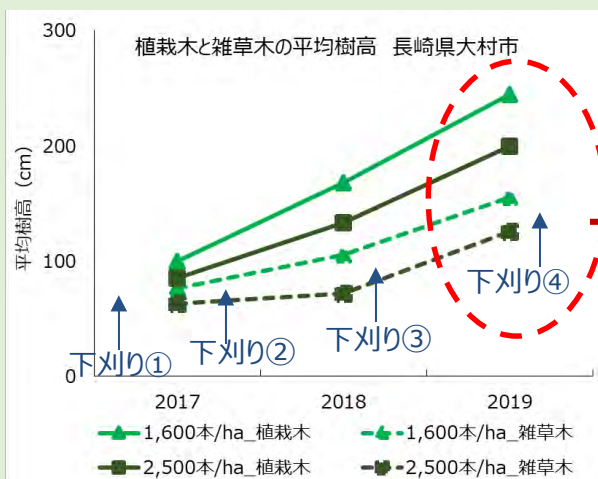


図7 植栽木と雑草木の樹高の比較
(植栽：2016年1月)



写真8 植栽後4年目のヒノキ
(1,600本/ha 2019年7月撮影)

(事例2) 鹿児島県薩摩川内市 スギ植栽後4年目
→どの植栽密度もスギが十分成長したため、
翌年の下刈り(5回目)は不要と考えられる。

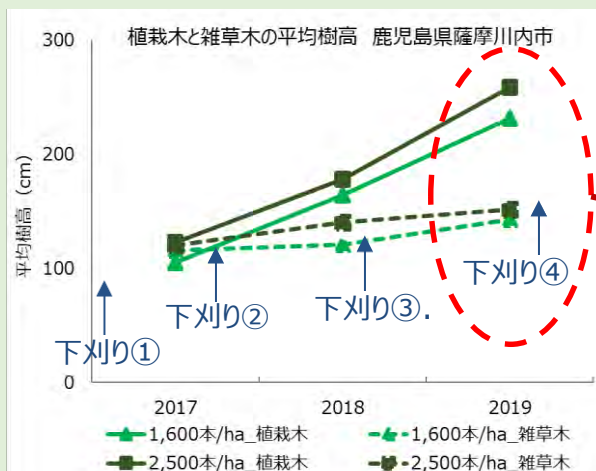


図8 植栽木と雑草木の樹高の比較
(植栽：2015年12月)



写真9 植栽後4年目のスギ
(1,600本/ha 2019年7月撮影)

5. 低密度植栽に関するQ&A

(Q7.の続き)

通常の回数で下刈りを終了できる可能性が高い植栽地

植栽木の成長状況、植栽地における雑草木の種類や繁茂状況により、下刈りを終了できるかどうか判断します。

そのためには、植栽地の定期的な見回りが大切です。

○通常の下刈り回数で終了できる可能性が高い植栽地

- 植栽木の初期成長が速い
- 草本層の被度が低い（地面がところどころ見えている等）
- 雑草木の草丈が高くない



写真10 岩手県紫波町 カラマツ植栽地

○岩手県紫波町の事例（植栽後4年目）

カラマツは初期成長が比較的速く、雑草木との競争を早期に抜け出すことができます。

△通常の下刈り回数で終了するかの判断が難しい植栽地

- 植栽木の成長が遅い
- 草本層の被度や草丈が高い（特にススキなど）
- つる植物が多い



写真11 宮崎県椎葉村 スギ植栽地

△宮崎県椎葉村の事例（植栽後4年目）

ススキが密生しており、多くのスギが埋もれています。本事業の期間では、下刈りをいつ終了できるかの判断ができませんでした。

6. 低密度植栽や低コスト再造林に関係する刊行物

- 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）
- 低密度植栽技術導入のための事例集（林野庁）
https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sinrin_seibi/houkoku.html
- 植える本数を減らしてみませんか（北海道立林業試験場）
<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）
https://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/research/research_results/documents/3rd-chuukiseika33_1.pdf
- 青森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）
https://www.aomori-itc.or.jp/docs/2019040400037/files/H30sugi_lowcost_manual.pdf
- スギの再造林を低コストで行うために
（秋田県農林水産部 林業研究研修センター）
https://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive_0000008535_00/ringyou_no25-light.pdf
- 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－
（中村松三・伊藤哲・山川博美・平田令子/編）
- 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）
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/4th-chuukiseika22.pdf>



低密度植栽で低コストで効率的な再造林を目指す！

（発行）令和2（2020）年3月 林野庁

（作成）一般社団法人 日本森林技術協会

TEL (03) 3261-5281（代表）

FAX (03) 3261-5393

<http://www.jafta.or.jp>

巻末資料

検討委員会議事概要

1. 第1回検討委員会議事概要

【議事：（１）過年度の成果、ならびに議事（２）本年度の調査方針、方法について】

- ✓ 成長量や下刈りの時間等の前に、まずは活着状況や枯死状況の報告をすること。（澁谷委員）
- ✓ 大苗利用の有用性の検証およびコスト分析について、今までの結果報告をすること。また最終年度の取りまとめについてどうするのか検討すること。（橋本委員）
- ✓ 解析について、まずは全体の傾向をしっかりとめること。個別の地域ごとの解析については、ばらばら過ぎて統一的な見解が出ない可能性があるため、提示の仕方を十分検討すること。（澁谷委員）
- ✓ 活着率、枯死本数の有意差検定について、今年だけの数である場合はカイ2乗検定で良いが、普通はどれだけ要因が効いているのかをみるには、ロジスティック分析、ロジスティック回帰 GLMM を用いる。何を目的にするかによる。（澁谷委員）
- ✓ 樹高成長の有意差検定について、成長量は、初期サイズ、期首サイズに対する依存性が非常に高いため、その回帰の比較をした方が好ましい。まずは傾きの比較をし、傾きに差がない時に切片の比較をするという手法。それも何を目的としてやるのかによる。分散分析でできないこともないが、分散分析というのはそういう依存性などはないところでやる分析。（澁谷委員）
- ✓ 地位について、同樹種・ほぼ同地域で、地位が違ような適切な場所がある場合、少し考えていただけるとよい（澁谷委員）
- ✓ 最後に報告書をまとめる際、雑草木との競合関係等の4年分の写真を全部並べると経年変化が分かってよい。（諏訪委員）
- ✓ 下刈り終了時期を記載する場合は、「競合状態C1～C4」を使った下刈り終了時期を、現場の人がより直感的に判定できる表現方法を考えてほしい。（駒木委員）
- ✓ 文献調査は、整理できそうなところはきちんと整理する。まだこういう課題が残っていますというまとめ方でも仕方がない。要約していただきたい。（澁谷委員）

【議事（３）低密度植栽施業指針の作成について】

・導入指針（案）について

- ✓ 競合状態調査は、密度が違う実証試験地で下刈りの終了時期がもしかしたら違うかもしれないということを検討するために実施している。下刈り終了時期の判断基準のために実施しているわけではない。下刈り終了時期について、どこまで記載するか考えること。（澁谷委員、駒木委員）

- ✓ 植栽コスト削減の事例のグラフについて、削減効果をうまく見せるため、2,500本と比較するより3,000本と比較する方が意味があるのではないか。(寺岡委員)
- ✓ 植栽コスト削減の事例のグラフについて、縦軸が全てコストの円になっているが、場所によって変わるため、相対値でよい。(寺岡委員)
- ✓ 下刈りの回数について、生育状況とコスト削減を天秤にかけ、どこでやめるかという判断ができるような、見えるようなものにしたらどうか。(寺岡委員)
- ✓ 文献資料で調べた、過去のいろいろな伐期以上のデータについて、背景等前半部分に書き込んでどうか。林業普及員や森林技術者から読み手が、低密度植栽を検討する際の一番の懸念は、初期保育でコストが最初に幾ら下がるかということだけではなく、将来本当にこういう植え方をして山になるのかということである。文献等事例から、低密度植栽による一定のデメリットやマイナス面はあるが、それを踏まえればこれぐらいの成林が過去にも報告されていることがわかるとよい。(寺岡委員)
- ✓ 従来施業と同じ成果を求めるな、ということがどこかに記載されていた方がよい。植えないよりは良い。メリット、デメリットを勘案しながらどちらを選ぶべきかという判断材料になるのではないか(寺岡委員)
- ✓ 文献整理について、これは言える、これは駄目等、もう少し整理し、指針に入れられるなら入れていただきたい。(諏訪室長)
- ✓ タイトルについて、『スギ・ヒノキ・カラマツにおける低密度植栽植栽施業（施業を追加）の導入指針』はどうか。(澁谷委員)
- ✓ それぞれの冊子、パンフレットにどういう内容をどこまで入れるかということをきちんと整理されなくてはいけない。特に導入指針について、もう一度ご検討いただければ。(澁谷委員)
- ✓ 過去の造林は、労働力が豊富で苗木も安く、あるいは補助も多く出せて、高密度が当たり前という先入観があるが、高密度というのは根拠がないもの、スギで3,000本植えるというのは根拠がないのだよということ。低密度を進めていくというのであれば、どういうコンセプト、考え方を進めていくのかというのはその辺にあるのではないか。それを入れられるとよい。(橋本委員)
- ✓ 森林を健全にというのは、一つ一つの林木がよく根を張り健全でというところの集合ということを考えれば、やはり低密度というのは筋のいい話だというのが前からあった。その辺を自信を持って進めていくということもいいのではないか。(橋本委員)
- ✓ 背景について、ただただコストを下げるために低密度にすると読めてしまう。今の木材加工の技術などを含めてB材でいいのではないか、今の木材利用の趨勢（すうせい）から言っても低密度というのがフィットするのだという言い方が一つ欲しい。そうではないと、ひたすらコストを下げるためだけの作業ということになってしまうと、今の木材利用の動向とどういう関係があるのかと言われかねない(駒木委員)
- ✓ この事業の低密度植栽を進めるという生産目的は何なのか。この事業で求めているゴ

ールは何なのか。

⇒生産目標やどういう山を造りたいのか。その中で低密度というオプションもあり、あるいは早生樹というオプションもあり、場合によっては今までどおりの 3,000 本のほうがいいのかもかもしれないし、現地ごとに自分が何をしているのだというのをよく考えてというのが林野庁が進めるべきところ。そういう中で仮に低密度をやるということであれば、こういうマニュアルなりテキストがあるので、どうぞお使いくださいという位置付けである。(諏訪委員)

- ✓ 造林育林事業の低コスト化を図らなくてはいけないというのは 1 つの前提条件となっており、その中で低密度植栽というものを 1 つの選択肢として示していく。選択肢として示していくのだけでも、5 年間の事業の中で実際に実験的にできるのは植栽し、初期の保育まで。そこは定量的にきちんとデータが取れます。ただ、林業現場であればその後の保育、除伐、間伐、それから最終的には主伐までに密度の違いがどう影響してくるのかに関しては、この 5 年間の事業では全くできないため、そこは文献調査で補っていきましようという構成でやってきている (澁谷委員)
- ✓ 背景で、低密度植栽が 1 つの選択肢として十分可能なのだという位置付けをしてもらえればいいのか。どう表現するかは考えていただきたい。(澁谷委員)
- ✓ 当たり前に考えられるようなこと(トータルの収穫量は落ちる、生産目標によっては枝打ちを必ずしなくてはいけないなど)は、文献調査の中から拾っていただいて記載していくとよい(澁谷委員)
- ✓ 過去の文献で手をあまり掛けていない低密度があれば多少参考になる。もし全くなければ、常識的に考えて、例えば 40~50 年ぐらいで主伐するのであれば 1 本 1 本の品質というのはそんなに高くなく B 材程度が想定されますという可能性などは記述しておいても間違いではない(澁谷委員)
- ✓ コストをかけないという前提でいくと、除伐自体が作業として施業体系の中からなくなるということもあっていいのか
⇒ほっとけ造林ではないと思う。最低限これぐらいはと現時点で言えることは書かれればいいのか。徐伐をするかしないかはまだもう少し先の宿題だろう。(寺岡委員)

・地域版指針(案)について

- ✓ タイトルについて、植栽の導入、この事業でやったことをまとめた事例集である。(澁谷委員)
- ✓ タイトルについて、植栽施業指針の施業は作業でよいのではないか。(駒木委員)
- ✓ 各地域 3 ページだと後でずれてくるので、偶数で見開き 4 ページぐらいに絞っていたほうが各地域ごとにコピーが取りやすくてよい(諏訪室長)
- ✓ 写真を加えて欲しい(諏訪室長)

- ✓ 和暦には全部に西暦を付すこと（諏訪室長）

・パンフレット（案）について

- ✓ 「誤伐防止アイデア集」について、安全作業上問題のないアイデアであるか、ピンクテープ等や下刈りの時期によるアイデア等は『低密度植栽』としてのアイデアであるのか、確認の上、記載すること（寺本課長補佐）
- ✓ 「より効率的な低密度植栽での下刈り方法はあるのか？」の回答で坪刈りについて記載するのであれば、「植生条件によっては」といったことも補足しながら整理されていくとよい。（寺本課長補佐）
- ✓ 「実は下刈り期間が延びるのでは？」の答えが書いていない。「基本は延びない」が答えであろう。（澁谷委員）
- ✓ こういうまとめ方は分かりやすくてよい。（澁谷委員）
- ✓ 実際にデータを取ってみるとなかなか言い切れないかと思うが、これはこれとしての役割というものがあるため、割り切りながら、適切な表現や効果的な伝え方を示していければよい。（今富委員）

その他

- ✓ せっかく全国に19箇所の3つの主要な造林樹種で試験が開始された。5年後なり、除伐の時期のようなときにも全部フォローアップをやっていただきたい。ぜひその後をフォローアップし、つくられるマニュアルのようなものがそこに補強されるとよい。ほかにこういった事例がない。（寺岡委員）
- ✓ 全国ですごく温度差があり、未だに3,000本、4,000本で植えるのが当たり前だと信じ込んでいる地域が多くある。このままでいいのですかということを、こういう指針で変えて、気付かせていただけたらいいかと思う。変わっていますということを出していただきたい。（寺岡委員）

2. 第2回検討委員会議事概要

【議事：（1）本年度の調査方法ならびに本年度の成果】

- ✓ 低密度植栽においては、開けた部分が多いため、つる植物が入りやすく、その対応が大きな課題になってくる。（高麗課長補佐）
- ✓ 「植栽密度と下刈り作業時間の関係」について、回帰分析をして「植栽密度が高くなるほど、下刈り作業時間が伸びる」という結論を出しているが、植栽密度が3区分しかないため、多重比較を行って分析・評価すべきである。また、考察のところで「地形や傾斜度、雑草木の種類などが影響したと思われる」としているの、そういった要因と植栽密度の関係を解析するとよい。（山川オブザーバー）
- ✓ 植栽木の成長量については平均値の棒グラフや折れ線グラフで示されているが、箱ひげ図の方が平均だけでなくデータのばらつきも分かるためよい。植栽密度を低くすることで雑草木との競争が激しくなり、樹高のばらつきが大きくなり、それが、成長したときの収穫のばらつきにつながる可能性がある。そういったばらつきの評価が必要ではないか。ただし、箱ひげ図は一般の人が理解しにくいことには注意が必要。（山川オブザーバー）
- ✓ 雑草木の競合状態について、「C 区分指数」として指数化して分析するよりも、競合状態 C1 と C2 が合わせて 8 割、といった単純な数値で表現した方がわかりやすい。（山川オブザーバー）
- ✓ 植栽密度ごとのコストの比較で下刈りの省略についての記述があるが、下刈りを終了した後の植栽木と雑草木の競合関係の情報もあればよい。下刈りを終了と想定した翌年には雑草木に埋もれていたということになれば、まだ下刈り終了はできない。（山川オブザーバー）
- ✓ この委員会が始まった最初の課題は、低密度植栽という植栽方法も選択肢の一つであるという可能性を示すことだった。今回のまとめでは、「植栽木の活着率、生存率、初期成長量、雑草木との競合関係などは植栽密度によって差がほとんど見られなかった」というポジティブな結果を出すことができた。（澁谷委員）
- ✓ 植栽密度と下刈り作業時間の関係について、現場作業員の「通常と異なる植栽間隔なので、かえって下刈り作業時間が伸びてしまうのではないか」という懸念に対し、「植栽密度によって下刈り作業時間はほとんど影響されなかった」というポジティブな答えを出すことができた。表現としては、「植栽密度が高くなるほど下刈り作業時間が延びる」とするより、低密度植栽により下刈りの作業効率が下がることはないとする方がよい。（澁谷委員）
- ✓ コストについて、植栽密度が低くなれば、苗木購入費も含めた植栽コストは削減できるというのははっきりしている。植栽密度別のほか、下刈りの省略の有無等、それぞれのケースでの削減効果について、きちんと示されたのでよい。（澁谷委員）

- ✓ 低密度植栽に関していろいろな懸念はあるが、われわれがこの事業の 5 年間でできることはここまでであり、それ以上のことは評価できない。外に対して結果を提示する際に、評価できていない部分もあると一言入れる等の注意を払えばよい。(澁谷委員)
- ✓ 最後の主伐まで達したときに低密度植栽の影響がどの様に出てくるのか、気にされる方は多いと思う。その部分については文献調査を元にまとめ、資料中に記載すること。(澁谷委員)

【議事：(2) 低密度植栽施業指針の作成について】

・技術指針(案)について

- ✓ 「3(2) 低密度植栽と木材生産」について、低密度植栽の生産目標を短伐期での並材生産としているが、肥大成長を促進する仕立て方をするので早く用材の確保ができ、短伐期での生産につながるということである。そのあたりの記述の仕方も検討して欲しい。また、「低密度植栽では、節が多く、上部に向かって細くなる梢殺の樹幹になりやすい」としているが、相対的に細くなるのであり、絶対値でいえばそれほど細くなるわけではない。「梢殺」とだけ言えばよい。(橋本委員)
- ✓ 「3(2) 低密度植栽と木材生産」の事例について、疎植で長伐期の飢肥ではなく、疎植で短伐期の天竜や日田、小国を例示したほうがよい。(橋本委員)
- ✓ 「4(1) 植栽作業①～⑥」の並び順について、「⑥植栽密度と活着および初期成長」を「③植栽本数の設定」の次に来るよう入れ替える方が読みやすい。(駒木委員)
- ✓ 「4(1) ⑤低密度植栽によるコスト削減」について、「本年度の成果」や「事例集」には下刈りコストも含めた初期保育コストの削減について記載があるが、「技術指針」では植栽コストのみで、初期保育コストの記載がない。地域ごとのばらつきを示した上で、初期保育コスト削減の可能性も示すほうが参考になる。(寺岡委員)
- ✓ 「4(2) ①植栽密度と下刈り作業時間」について、最初の段落では「低密度植栽を行うと下刈り人工の軽減につながる可能性がある」とあり、最後の段落では「一概に下刈り人工の削減に効果があると言えないことに留意する」とある。一体どちらなのかとなるため、表現の仕方を考えること。(駒木委員)
- ✓ 「4(2) ③植栽密度と下刈り省略の可能性」について、これは立地条件などによっては下刈りを省略できる場合があるという話であり、植栽密度の違いによるものではない。まとめ方について、再検討すること。(澁谷委員)

⇒植栽木の活着率や初期成長、ほかの植生との競合関係については、植栽密度の影響を受けないという結論が出た。よって、下刈りが必要な期間も同様に植栽密度の影響を受けないはずであり、そのような書き方であれば問題はない。(諏訪室長、澁谷委員)

⇒競合状態割合のグラフを元に「植栽密度によってほかの植生との競合関係は変わらなかった」と書くのがよいのではないか。(山川オブザーバー)
- ✓ 低密度植栽では林冠閉鎖が遅れることが懸念されている。本事業では樹冠幅を計測し

ているので、樹冠幅から樹冠面積を計算し、調査プロット内の樹冠閉鎖率を植栽密度ごとに算出することが可能である。これにより、「低密度植栽だと林冠閉鎖がこれくらい遅れるが、競合関係は殆ど変わらない。ただし、林冠閉鎖の遅れによりつる植物が繁茂する可能性がある」と書くことができる。(山川オブザーバー)

- ✓ 「5. 低密度植栽地における初期保育以降の育林に関する文献・既存情報」について、作業種ごとに文献の事例が列記されているが、結局どうなのかが分かりにくい。列記した情報を整理した分かりやすいまとめを設けること。(澁谷委員)
- ✓ 文献調査の事例について、低密度植栽だと下刈り期間が通常より長くなったという結果が多く、ネガティブな印象を与える。低密度植栽による結果であるのか、因果関係がもし文献の中に書いてあればそれを書き足す等、記載方法を検討すること。(澁谷委員、駒木委員)

・事例集（案）・パンフレット（案）について

- ✓ 長野県における現在のカラマツの標準的な植栽本数は 2,300 本であり、北海道や岩手県も同じくらいである。カラマツに関しては、比較対象を 3,000 本としないほうがよい。(大矢オブザーバー)
- ✓ 低密度植栽にすることによって、目標林型をどういうところに持っていくか、もう少し明確にするとよい。また、低密度植栽によってできなくなることをはっきりさせておくと、目指していくものが明確になる。(大矢オブザーバー)
- ✓ 実際に低密度植栽を採用している地域の成林後の写真を載せることで、目指すべきゴールのイメージを見せられるとよい。(高麗課長補佐)
⇒写真ではどの植栽密度も同じに見えてしまうため、難しい。(駒木委員)
⇒目標林型を示すことは、この5年間の事業では難しい。植えない選択肢よりも、成果としては低密度植栽という手段でこれぐらいコストダウンができると示せばよい。(寺岡委員)
- ✓ 実証調査については、あくまで植栽初期の5年間についての調査であることや、その後のリスクやデメリットについてきちんと記述しておく必要がある。(山川オブザーバー)
- ✓ 下刈りの作業時間に関して、低密度のほうが作業時間が短いという事例が多いものの、そのようにならない例外的な事例もある。無理に「低密度のほうが作業時間は短い」と書く必要はなく、「植栽密度の違いにより、明瞭な傾向はここでは見られなかった」とすればよい。(澁谷委員)
- ✓ 下刈り省略の可能性について、競合状態のデータに従って、こういう場合はもう下刈りを省略してもいいのではないかとされており、この書き方ならばよい。(澁谷委員)
- ✓ 主にこの情報を得られる森林組合や県の職員の方が、自分たちの現場で判断できるように、野帳のワークシートのようなものは付けられないか。いつ、どのような手法で調査すればいいか、調査手順などを列挙すれば分かりやすい。(寺岡委員)

3. 第3回検討委員会議事概要

【議事：(1) 本年度の成果】

- ✓ 宮崎県都城市のスギ大苗の実証試験地について、下刈り2回で終了できると断言しているが、来年度下刈りを省いた結果を見た後に述べるのがよい。(山川オブザーバー)
- ✓ 皮はぎの被害が大苗に集中したことに関して、大苗だと普通苗よりも皮はぎの被害が生じやすいのかどうかは重要である。(澁谷委員)
⇒樹高が低い時は、まだ葉を付けた下枝があるため樹幹を食害しにくい、樹高が高くなると下枝がなくなり、樹幹が露出する。(中村松(事務局))
⇒おそらく大苗だからということではなく、苗木サイズ自体の問題である。下刈りをする高さを通常よりも高くするなどの工夫を考える必要がある。(澁谷委員)
- ✓ 下刈り5年目までのコスト比較では、裸苗を3,000本/haで植栽したときと比べてスギ大苗を1,100本/haで植栽すると、コストが30パーセント程度削減となるのは、非常にポジティブな結果でよかった。(澁谷委員)
- ✓ 下刈り作業時間について、「1,100本/haでは短縮できる」としているが、作業条件などは現場によってばらつきがある。「低密度にしたからといって作業時間が増えることはない」、あるいは「短縮できる可能性が高い」といった表現がよい。(澁谷委員)
- ✓ 植栽密度別の誤抜発生率は1パーセントしか差がないが、グラフを見せられると差があるように見えてしまう。表にしたほうがいい。(山川オブザーバー)
- ✓ 「C区分」、「繁茂度」、「競争関係」などの語彙について、正しく引用するなら、「競合状態」である。さらに引用先は、2016年の日林誌に掲載された論文の方が、科学的エビデンスが強いのでよい。(山川オブザーバー)
- ✓ 植栽密度を1,100本/ha程度まで落としても、ほとんどの項目でネガティブな結果は出ていない。この事業にとっては良い結果だと思う。(澁谷委員)

【議事：(2) の作成について

・技術指針(案)について

- ✓ 4ページ、成林に影響が少ない植栽密度について、カラマツは1,000本とあるが、北海道は1,500本から、長野県は2,000本からしか補助金がでない。
(澁谷委員・大矢オブザーバー)
⇒単価設定については自由度がある。各都道府県が制度を変えれば問題ない。林野庁から各都道府県にも、本事業の結果も活用しながら、低密度植栽の可能性を伝え、単価設定をするよう宣伝していく。(諏訪室長(林野庁))
- ✓ 5ページ「初期成長」に「本事業実証試験地でも樹高は順調に増加しており」とあるが、肥大成長については記載がない。判断できないから記載しなかったのであれば、『未だ林冠閉鎖していないため判断できなかった』という一文が欲しい。(林野庁)

- ✓ 6 ページの⑤「植栽の作業効率」に、「ただし、単位面積あたりの植栽本数を減らすことにより作業時間そのものは短縮を図ることができる。」とあるが、これは⑥「植栽コストの削減」に関する事項であり、⑤ではなく⑥に入れるほうが文脈としてはよい。また、2つ目の段落については「植栽間隔が不慣れなため1本あたりの植栽時間は多少かかるかもしれないが、竹などの軽量の資材で工夫するのが有効である」という記載の方がよい。(橋本委員)
- ✓ 6 ページ⑤「植栽の作業効率」について、「植栽効率が落ちる場合がある」という書き方はネガティブな印象を受ける。例えば本文で括弧書きにするなど、表現の仕方に気をつけること。(諏訪室長(林野庁))
- ✓ 7 ページ「下刈りの作業時間」のグラフについて、箱ひげ図は分かりにくいいため、文章で記述しても構わないのではないかと。(駒木委員)
- ✓ 9 ページ「下刈りと誤伐」について、低密度によって誤伐が起きやすいということはない、ということ言えばいい。誤伐の原因がどこにあるのかということと言わなくてもいい。(橋本委員)
⇒誤伐の原因について、せっかく分かったことは入れておきたい。『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』で一度切り、改行をして別の話とわかるようにして掲載してはどうか。(諏訪室長(林野庁))
- ✓ 10 ページ「下刈り回数」について、下刈り終了の判断は2段階ある。第1に植栽木の梢端部が雑草木から出て競合状態 C1、C2 になるかで判断し、第2に林冠閉鎖の状況で判断する。この2つについて分けて記載し、さらにツルがある林分では、低密度植栽では林冠閉鎖が遅れてツル巻きが発生するリスクがあるため注意が必要である、という記載がよい。(山川オブザーバー)
- ✓ 同じく 10 ページの「下刈りコストの増大が懸念された報告事例」で、競合植生と樹高の関係だけではない、違う要因で下刈りのコストが増大している例が多いように見える。一般論として、低密度植栽では林冠閉鎖が遅れるということで、分けて記載したほうがいい。既存のデータは使わなくてもいいので、ツルなど高さの競争だけではない、ほかの要素が入ってくる可能性も懸念される、ということに記載すればよい。
(澁谷委員)
- ✓ 12 ページ、「下刈りが通常回数で終了し」とあるが通常回数とは何のことか。低密度と普通の密度で植えた時に、下刈りが必要ない状況に達するのに差があるのかどうかを記載すること。(林野庁)
- ✓ 14 ページの写真2は、ヒノキで間違いないか。(橋本委員)
- ✓ 14 ページ、福岡県八乙女町とあるが、福岡県八女市の間違い。(山川オブザーバー)
- ✓ 14 ページの鶴崎ら(2016)の文献は、植栽密度 2,000~3,000 本/ha のスギ林で調査されていると思う。低密度植栽では、植栽木からの被圧が弱くなるため、雑草木の繁茂が植栽木の被圧により低下しはじめる時の植栽木の樹高が『スギ植栽木の平均樹高

220cm』より上がる可能性がある。(山川オブザーバー)

- ✓ 16 ページ、ススキが繁茂する植生では水分や養分の収奪が著しく、植栽木が大きくなれない状況となるという結果は、造林的には十分検証する必要がある。いいデータを引き出した。(橋本委員)
- ✓ 18 ページ「植栽から下刈りまでの初期保育コスト」について、実際にかかった金額は入るのか。(諏訪室長 (林野庁))
⇒経緯として、以前は金額を記載していたが、委員会の中で分かりにくいと指摘されたためパーセント表記に変更となった。報告書に、実際にかかった金額を掲載する。
(伊東 (事務局))
- ✓ 全体的に、四角枠の中の前段部分について、技術指針として言えることをコンパクトに簡略化したほうがいい。一般的なことは書かなくてもいいのではないか(橋本委員)
⇒一般論を省いたほうがシンプルになるのではないかというご意見について、いきなり結論を持ってくると、読む人が理解できなくなる可能性がある。少し前振りを入れたほうがいいと思ったため入れている。(中村松 (事務局))
⇒一般論を少し記載し、本事業の結果を記載してある。統一されていて、このままでいいと思う(澁谷委員)
⇒本筋に必要な一般論は、内容に留意しながら、記載することとする。
(中村松 (事務局))

・事例集 (案)・パンフレット (案) について

- ✓ 事例集・パンフレットについて、グラフの書き方を統一すること。(澁谷委員)
- ✓ 事例集に掲載している実証試験地で使用した苗木について、実生苗か挿し木苗か、あるいは品種など分かれば書いたほうがいい。(寺岡委員)
- ✓ 事例集 10 ページ、コストについて、「植栽時のコスト」と、「初期保育のコスト」とあり、きちんと定義付けられておりよい。技術指針の記載をこちらに合わせて修正すること。(寺岡委員)
- ✓ パンフレット全体について、語尾をきちんと意識しながら書く必要がある。
(山川オブザーバー)
- ✓ パンフレット 1 ページ、低密度植栽では大幅に間伐回数が減ると書いてあるが、大幅には減らせない。「減らすことができる」でよい。(澁谷委員)
- ✓ パンフレット 1 ページ、『低密度植栽では枝打ちを行わず』とあるが、通常の植栽密度でも今は枝打ちをしていない。(山川オブザーバー)
⇒枝打ちについては記載しないこととする。(中村松 (事務局))
- ✓ パンフレット Q7 について、低密度植栽だと林冠閉鎖が遅れて下刈りが長引くのではという懸念だと思うが、今回の事業の中で林冠閉鎖にまで至っていないため、「植栽木と雑草木の競合状態から判断すると、下刈り回数が短くてもよい事例が見られた」とい

うことになる。(寺岡委員)

- ✓ 同じくパンフレット Q7について、「本事業における実証試験では、低密度植栽でも通常と同じ回数で下刈りを終了できる事例が報告されています。」とあるが、「実証試験では植栽密度によって違いはありません」というほうがよい。(諏訪室長(林野庁))

【議事：(3)(案)の内容について】

- ✓ 何かご意見などがあれば後で事務局に連絡をいただき、それを基にブラッシュアップしていくといった形をとりたい。(事務局)

・その他

- ✓ 本事業の実証試験地について、せっかくここまで知見が積み上がっているので、継続して調査できるよう適切に管理してほしい。(寺岡委員)
- ✓ 本事業で得られたデータは、公に申請すればこちらで取得して解析することなどは可能か。(山川オブザーバー)
⇒おそらく可能である。データの扱いに関しては今後相談させていただく。(諏訪室長(林野庁))

令和元年度
低密度植栽技術の導入に向けた調査委託事業
報告書

令和2（2020）年3月
（発行）林野庁

（作成）一般社団法人 日本森林技術協会
〒102-0085 東京都千代田区六番町7番地
TEL（03）3261-5281（代表）／FAX（03）3261-5393