

課 題	50 林分密度試験	開発期間	昭和60年度～令和5年度				
開発箇所	大荷田国有林 140ぬ4林小班	担当 部署	宮崎南部 森林管理署	共同研 究機関	九州大学 宮崎大学	技術開発 目 標	(1)
開発目的 (数値目標)	林間のうっ閉の度合及び樹高・径級・枝の枯れ上がり方等、造林木の特性を知り効率的な成長を図るため、植栽本数、保育の方法及び間伐等施業体系の考察を行う。						
実施経過	1 試験地設定 (1) 時期：昭和49年3月 (2) 場所：大荷田国有林140ぬ4林小班 (3) 面積：0.89ha (4) 中心から外周に向かって放射状に中心部の植栽密度が約10,000本/haから最外円部の植栽密度が約300本/haとなることを想定し、各同心円に36本、12個の同心円を設定し、1プロットに432本植栽、2つのプロットを設定。 2 調査事項（5年毎調査） (1) 生長量調査：昭和60・63年度、平成12・16・20・26・30年度 (2) 本数調査：昭和60・63年度、平成12・16・20・26・30年度 (3) 枝張り調査：昭和60年度、平成12・16・20・30年度 (4) 枝下高調査：昭和60・63年度、平成12・16・20・30年度 3 保育 (1) 下刈：昭和49～56年度（2年目、3年目に2回刈） (2) 施肥：昭和51年度 (3) つる切：昭和53・54・55年度 (4) 除伐：昭和57年度 (5) 選木枝打：昭和61年度、平成12年度						
開発成果等	1 ha当たりの材積が最も多かったのは、植栽密度2,339本/haで942m³/ha、平均胸高直径は24.0cmであった。 2 植栽密度1,128本/ha～6,987本/haの範囲では800m³/ha（4,850本/haについては、試験地②の枯れが多かったため減少）を超え、ほぼ収穫量は一定であった。 3 平均胸高直径は、14.4cm～43.1cmと大きな差になった。 4 平均樹高は、16.3m～21.8mと5.5m差がでており、上層木の平均樹高は生立密度に左右されないという、収量比数算出の前提とは異なる結果となった。 5 単木材積は、0.14m³～1.34m³と大きな開きになっている。 6 収量比数（Ry）=0.85が間伐実施の目安となり、植栽密度3,365本/haでは18年生付近、植栽密度2,339本/haでは25年生付近で保育間伐が必要となった。植栽密度1,626本/haでは30年生付近で間伐が必要となるが、平均胸高直径が約23.0cmあるので利用間伐が可能と思われる。 7 施業として現実的と思われる植栽密度2,339本/ha～1,128本/haについて、毎木調査の結果を基に素材生産量（歩留り85%）を推定し、売上と伐出経費を算出し収支を推定した結果、一番低密度の1,626本/haが3,914千円/haと大きなプラス収支となった。 8 造林経費については、植栽密度（本数）によりコストに差が出る植付と保育間伐につ						

	いて比較した結果、植栽密度2,339本/haに対して、1,626本/haで-264千円/ha、1,128本/haで-347千円/haのコストカットとなった。 【考察】 これらの結果から、植栽密度1,128本/ha～6,987本/haの範囲であれば収穫量はほぼ一定で、胸高直径、樹高及び単木材積については密度に反比例することがわかった。 植栽密度1,500本/ha以下であっても、収支面や造林コスト面から有効であると考え る。 【詳細は、別添 「林分密度試験（令和5年度完了報告）のとおり】
--	--

- （注） 1 「課題」欄には、技術開発課題名のほかに番号を付して記入すること。
2 「開発目的（数値目標）」欄には、開発目的及びコスト削減等について民間事業者が取り入れているコスト等と比較し、できる限り数値を記入すること。
3 「技術開発目標」欄には、「国有林野事業における技術開発基本目標（林野庁長官通達）」の3(1)～(3)のうち、該当する目標の番号を記入すること。
4 「開発成果等」欄には、開発成果やその活用状況、普及状況等について記入すること。
5 成果を取りまとめた報告書等については、速やかに提出すること。

林分密度試験（令和５年度完了報告）

九州森林管理局 宮崎南部森林管理署

1 背景・目的

当署管内の飢肥地方では、温暖多雨な気象条件やスギに適した土壌、また度重なる台風襲来に強い造林方法として、藩政時代から１ha当たり１,０００本から２,０００本程度の疎植・少間伐施業を行い、オビスギの特徴（樹脂を多く含んでいるため弾力に富み、水切れが良く耐久性に優れている等）を活かした造船用材の生産が盛んに行われてきた。

しかし、昭和３０年代後半頃から漁船のＦＲＰ（繊維強化プラスチック）化が急速に進み、造船用材の需要が著しく減少する一方で、一般建築用材、特に内装用の高品質材の需要が拡大したため、植付本数を１ha当たり３,０００本程度まで増やし、集約的な施業を行い年輪幅が密できめ細かい木材を生産する必要性が生じた。

このため、地域特性にマッチしてきた従来からの造林方法を変更するため、植栽密度の違いによる成長過程の違いや材質の変化等を実証し、オビスギの効率的な施業方法を確立することとした。



2 試験林の概要

場所

宮崎県日南市北郷町郷之原 大荷田国有林１４０ぬ４林小班

地況

標高 約３２０m 北西向きの山腹平衡斜面
平均傾斜 約２５度 基岩 砂岩と泥岩の互層
土壌型 BD（d）

面積

0. 225ha × 2箇所 = 0. 45ha

試験期間

昭和４８年度から令和５年度までの５０年間

植栽樹種

トサアカ１年生苗

保育状況

植	付	昭和４９年３月	１プロット当たり４３２本
下	刈	昭和４９年から５６年（２年目、３年目に２回刈）	
施	肥	昭和５１年	
つ	る	切	昭和５３年、５４年、５５年
除	伐		昭和５７年
選	木枝打		昭和６１年、平成１２年

各種調査

成長量調査（樹高、胸高直径）	本数調査（枯損木等）
枝張り調査	枝下高調査

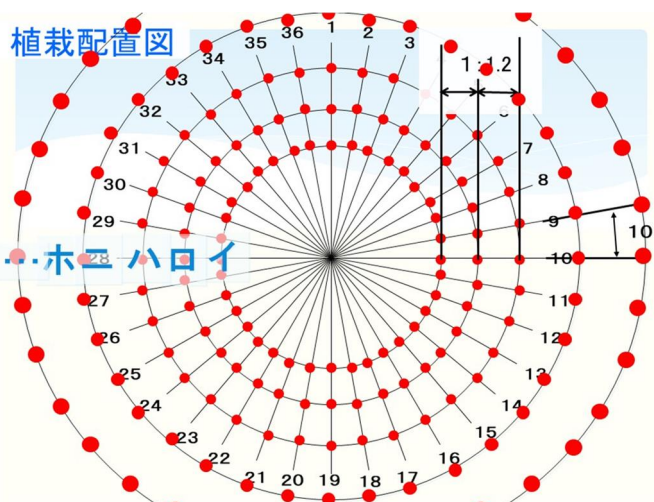
3 試験方法

効率よくより確かな試験結果が出せるように、系統配置による方法を採用した。

系統配置による林分密度試験とは、1962年にイギリスのネルダーが「林分密度試験における系統的設計」という論文の中で発表したもので、その特徴としては、植栽木の配置を様々な形に変えることで小面積、かつ同一条件のもとで多様な密度を実現できるという利点を持っている。

当署ではフランス海岸松の線形造林地で見たとネルダー型の系統配置による密度試験地を参考に、同心円を利用した円形の密度管理試験地を設定した。試験地は、1ヘクタール当たり300本から10,000本となることを想定し、中心角10度の放射線状に配列した直線と、内縁から外縁に向けて拡大する同心円の円周（サークル）との交点を植栽位置とし、12個の同心円（内側の円からイ、ロ、ハと名前を付けた）を設定した。

植栽密度は、同心円状に植えられた36本の占有面積で決定した。つまり、ロとハとの中間の半径を持つ円面積から、イとロとの中間の半径を持つ円面積を引いて、そのドーナツ型の部分を36本で除した面積が1本当たりの占有面積となり、これをヘクタール当たりに換算したものが植栽密度になる。なお、最小円イと最大円オについては隣接木の影響が不均一となるため調査対象から除外した。円ロがヘクタール当たり10,027本の植栽密度になり、以下外側に向かって円ルが377本になっている。



植栽配置図 (図1)

密度試験地設定時の植栽密度

同心円名	植栽本数	1本当たり占有面積 (㎡)	ha当たり植栽本数 (本)	備考
イ	36			最内円
ロ	36	0.9973	10,027	
ハ	36	1.4312	6,987	
ニ	36	2.0617	4,850	
ホ	36	2.9720	3,365	
ヘ	36	4.2752	2,339	
ト	36	6.1501	1,626	
チ	36	8.8668	1,128	
リ	36	12.7758	783	
ヌ	36	18.3987	544	
ル	36	26.4905	377	
オ	36			最外円

注: 円名イ、オについては隣接木の影響が不均一となるため調査対象から除外

当初植栽密度 (表1)



試験地内の様子 (写真2)



試験地中心から上空 (写真3)

4 試験結果

年度別計画に基づき胸高直径、樹高、本数調査等を実施してきた。

今回は、試験地①②の平均の現況調査データ（45年生、平成30年度調査）を基に報告・考察する。

表2は平成30年度（45年生）時点での現況である。

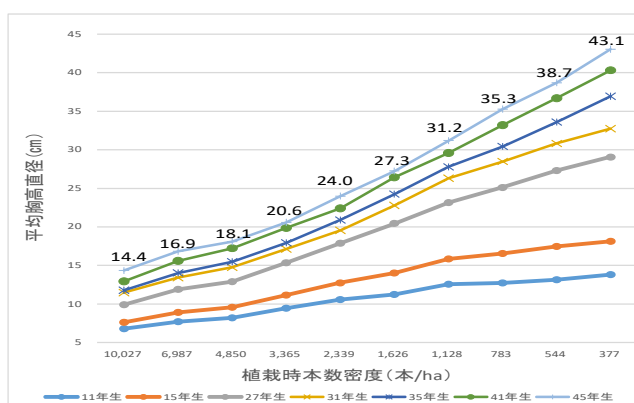
平成30年度調査結果表（試験地①、②の平均）						45年生時				
調査項目	口	ハ	ニ	ホ	ヘ	ト	チ	リ	ヌ	ル
当初植栽本数(本)	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
当初植栽密度(本/ha)	10,027	6,987	4,850	3,365	2,339	1,626	1,128	783	544	377
現在の生育本数(本)	12	20	24	31	33	35	36	36	36	35
現在の生育密度(本/ha)	3,203	3,881	3,233	2,898	2,112	1,558	1,112	783	544	361
平均胸高径(cm)	14.4	16.9	18.1	20.6	24.0	27.3	31.2	35.3	38.7	43.1
平均樹高(m)	16.3	17.5	17.3	18.5	19.9	20.6	20.7	21.4	21.3	21.8
単木当たり立木材積(m³)	0.14	0.22	0.24	0.32	0.45	0.59	0.74	0.94	1.10	1.34
ha当たり立木材積(m³)	451	846	777	908	942	912	818	736	599	483
収量比数(RY)	0.98	1.00	1.00	1.00	0.98	0.94	0.87	0.79	0.71	0.60

平成30年度時点現況（表2）

（1）植栽密度と平均胸高直径の推移

図2は植栽密度と平均胸高直径（11年生から45年生）の推移と相関関係を示したグラフである。高密度の14.4cmから低密度の43.1cmと大きな差となった。

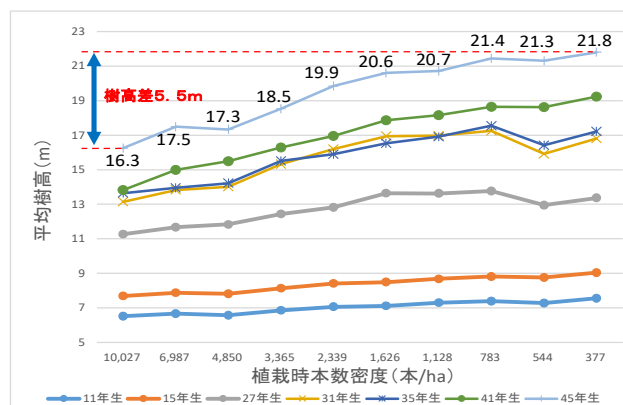
また、植栽密度が4,850本/ha以下であれば、スギの普通伐期の目標径級である18cmを超えていることがわかる。



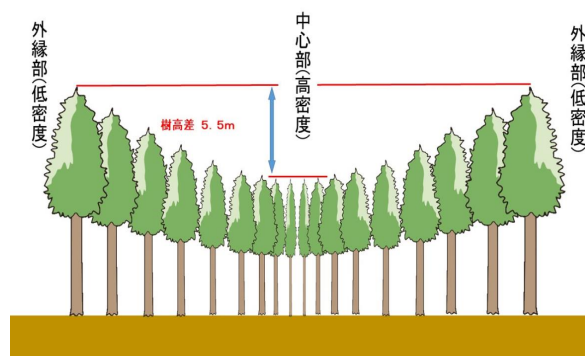
植栽密度と平均胸高直径（図2）

（2）植栽密度と平均樹高の推移

図3は植栽密度と平均樹高（11年生から45年生）の推移と相関関係を示したグラフである。高密度の16.3mから低密度の21.8mと5.5mの差が生じている。樹高は密度に左右されないという定説とは異なる結果となった。（図4）



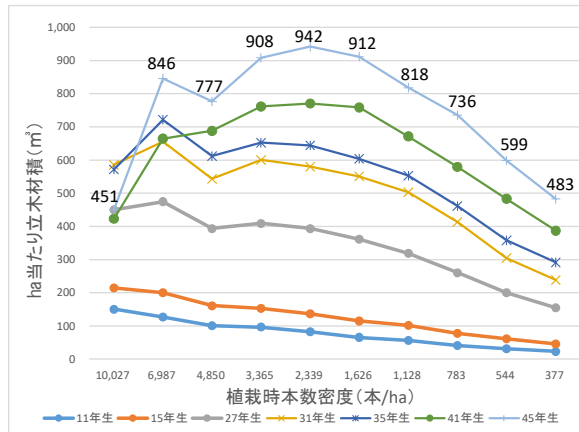
植栽密度と平均樹高（図3）



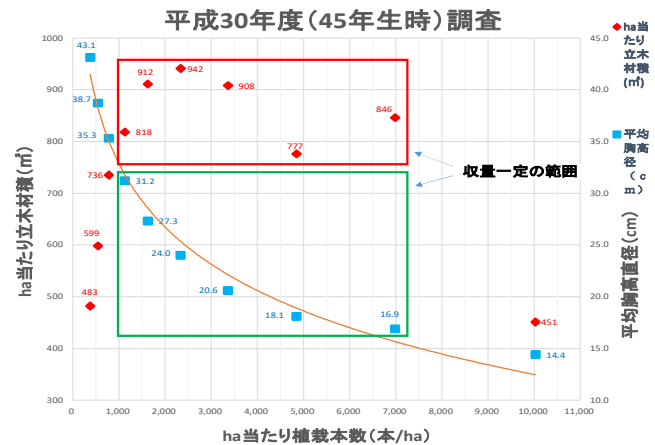
樹高のイメージ（図4）

(3) 植栽密度と ha 当たり材積の推移

図5は植栽密度と ha 当たり材積（11 年生～45 年生）の推移と相関関係を示したグラフである。ha 当たり材積が最も多いのは植栽密度 2,399 本/ha のサークルで 942 m³/ha となっており、それより高密度でも低密度でも少なくなっている。ただ、植栽密度 1,128 本～6,987 本の間では、密度のいかんにかかわらず 800 m³/ha を超えており、45 年生時（図6）のこの範囲では、高水準で収量がほぼ一定している。（二のサークルは、試験地②の枯れが多かったため減少している。）なお、この範囲の平均胸高直径は、31.2 cm～16.9 cm と大きな差となっている。



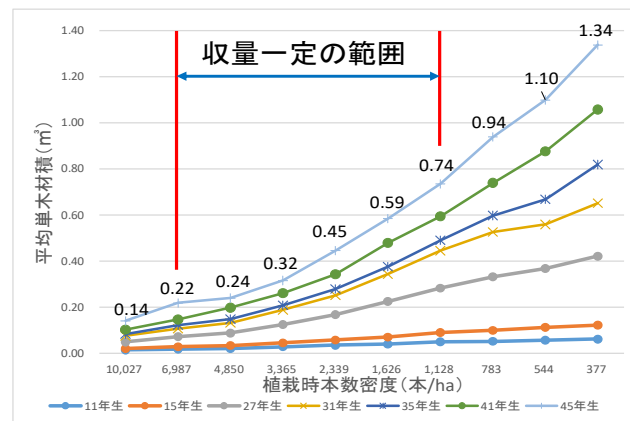
植栽密度と ha 当たり材積(図5)



密度と材積及び直径との相関 (図6)

(4) 植栽密度と平均単木材積の推移

図7は植栽密度と単木材積（11 年生から 45 年生）の推移と相関関係を示したグラフである。胸高直径や樹高が示しているとおり、高密度の 0.14 m³から低密度の 1.34 m³と密度による差がより端的に現れている。

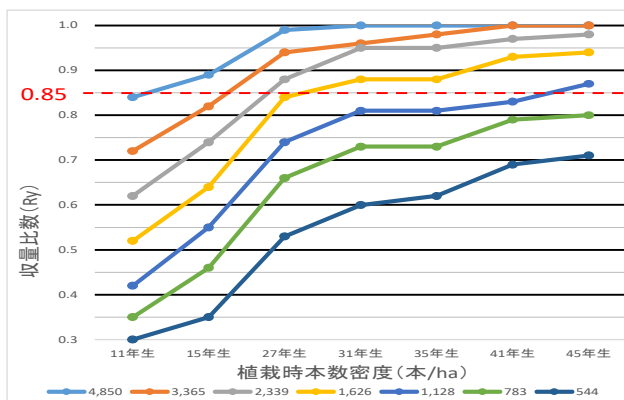


植栽密度と平均単木材積 (図7)

(5) 植栽密度と収量比数 (Ry) の推移

図8、表3は成長するに伴って、それぞれの植栽密度で収量比数 (Ry) がどのように変化したかを示したグラフと表である。

Ry=0.85 のラインは間伐実施の目安である。例えば、植栽密度 1,626 本/ha では林齢 30 年生付近で間伐が必要となり、それ以前の間伐は不要となる。一方、植栽密度 4,850 本/ha では 15 年生で Ry=0.89 となっているので、12 年生ですでに間伐が必要となっている。



林齡	植栽時本数密度(本/ha)									
	10,027	6,987	4,850	3,365	2,339	1,626	1,128	783	544	377
11年生時	1.00	1.00	0.84	0.72	0.62	0.52	0.42	0.35	0.30	0.30
15年生時	1.00	1.00	0.89	0.82	0.74	0.64	0.55	0.46	0.35	0.30
27年生時	1.00	1.00	0.99	0.94	0.88	0.84	0.74	0.66	0.53	0.30
31年生時	1.00	1.00	1.00	0.96	0.95	0.88	0.81	0.73	0.60	0.51
35年生時	1.00	1.00	1.00	0.98	0.95	0.88	0.81	0.73	0.62	0.48
41年生時	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.83	0.79	0.69	0.58
45年生時	0.99	1.00	1.00	1.00	0.98	0.94	0.87	0.80	0.71	0.60

— は間伐実施の目安とされる0.85ライン

収量比数 (Ry) の推移 (図8、表3)

(6) 素材生産量と売上の推定

施業として現実的と思われる、へ（植栽密度 2,339 本/ha）～チ（植栽密度 1,128 本/ha）の毎木調査の結果を基に胸高直径と樹高から丸太が何 m³ 採れるか推定した。採材については、1 番玉を 4m、2 番玉以降を 3m、それぞれ末口径が 10 cm 以上のものを AB 材とした結果、歩留りはへが 54%、トが 57%、チが 59%となった。（表 4）

へ 2,339 (本/ha)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	1 番玉末口径 (D1)4m		2 番玉末口径 (D2)3m		3 番玉末口径 (D3)3m		4 番玉末口径 (D4)3m		5 番玉末口径 (D4)3m	
			D-(2.8/(H-1.2))*D		D-(5.8/(H-1.2))*D		D-(8.8/(H-1.2))*D		D-(11.8/(H-1.2))*D		D-(14.8/(H-1.2))*D	
1	24.0	19.2	20cm	0.126m³	16cm	0.060m³	12cm	0.034m³	8cm	0.015m³	4cm	0.004m³
2	27.0	20.6	23cm	0.152m³	19cm	0.076m³	15cm	0.046m³	11cm	0.024m³	6cm	0.008m³
3	25.0	20.2	21cm	0.126m³	17cm	0.060m³	13cm	0.034m³	9cm	0.015m³	6cm	0.008m³
4	23.0	21.2	20cm	0.126m³	16cm	0.060m³	13cm	0.034m³	9cm	0.015m³	6cm	0.008m³
5	23.5	20.7	20cm	0.126m³	17cm	0.060m³	13cm	0.034m³	9cm	0.015m³	6cm	0.008m³

採材の推定（赤字の部分を採用）（表 4）

c 材については、全体の歩留りを 85%に設定して算出した。

次に各長級、径級毎の材積に原木単価を掛けて売上を算出した。

原木の単価は、当署と取引のある都城原木市場(株)の令和 4 年 4 月～令和 5 年 3 月までの、市売速報（24 回分）にある高値、安値、小曲の単価を単純に足して割り戻したものを平均単価とした。

この結果、へ（植栽密度 2,339 本/ha）が約 9,639 千円/ha と一番多くなり、一番少なかった、チ（植栽密度 1,128 本/ha）との差が 837 千円/ha となった。（表 5）

長級 (m)	径級 (cm)	単価 (円/h)	へ 2,339 本/h			ト 1,626 本/h			チ 1,128 本/h		
			本数	材積(m³)	金額(円)	本数	材積(m³)	金額(円)	本数	材積(m³)	金額(円)
4	12～14	13,310	65	2.989	39,784	—	—	—	—	—	—
	16	14,910	228	18.192	271,243	68	5.418	80,782	16	1,253	18,682
	18～22	16,370	1,657	204.719	3,351,250	723	93.22	1,526,077	94	13,878	227,183
	24～28	15,850	130	27.644	438,157	700	136.722	2,167,044	893	191,795	3,039,951
	30～34	14,890	—	—	—	—	—	—	94	27,205	405,082
	36～38	12,510	33	14.716	184,097	45	18.375	229,871	—	—	—
	40～	11,730	—	—	—	23	11.331	132,913	16	10,403	122,027
3	10～13	11,320	2,307	68.348	773,699	1,490	43.881	496,733	830	23,934	282,253
	14	13,530	975	44.829	606,536	678	31.151	421,473	454	20,894	282,696
	16～18	15,390	1,364	96.155	1,479,825	1,264	83.789	1,289,513	1,003	67,911	1,045,150
	20～22	15,170	98	12.929	196,133	632	62.571	949,202	799	81,661	1,238,797
	24～28	16,530	65	9.583	158,407	113	16.456	272,018	235	32,669	540,019
	30～34	13,840	33	7.829	108,353	68	15.711	217,440	16	3,322	45,976
	36～	10,970	—	—	—	—	—	—	16	5,327	58,437
AB材計			6,955	507.933	7,607,484	5,804	518.629	7,783,066	4,466	481,252	7,306,253
C材				290.217	2,031,519		255.721	1,790,047		213,623	1,495,361
合計				798.150	9,639,003		774.350	9,573,113		694.875	8,801,614

素材生産量（m³/ha）及び売上の推定（円/ha）（表 5）

(7) 伐出経費と収支の推定

伐出経費については、「森林環境保全整備事業における標準単価の設定について」（令和 5 年 3 月 28 日 4 林整第 867 号）により算出した。なお、伐倒・造材・集材は間伐功程を採用。搬出路作設は 200m/ha とし、運材は 20 km 未満で時間制を採用した。（立木評定要領因子表〔Ⅱ〕より抜粋）

この結果、へ（植栽密度 2,339 本/ha）が約 6,100 千円/ha と一番多くなり、一番少なかった、チ（植栽密度 1,128 本/ha）との差が 1,195 千円/ha となった。（表 6）

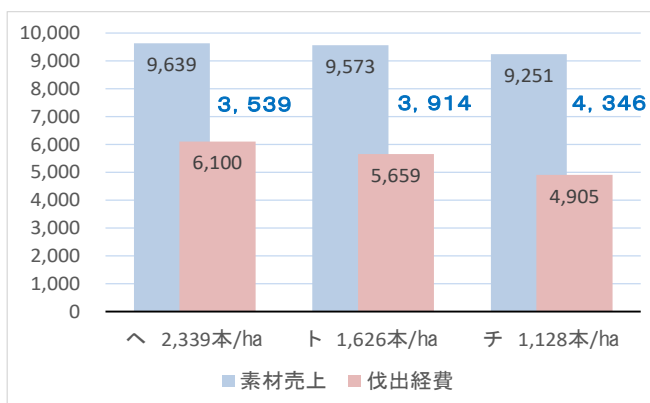
		労務単価	伐倒			造材	集材(車両系)			搬出路	運材
			22cm未満	22-28cm	28cm以上	0.45m ³	22cm未満	22-28cm	28cm以上	新設	10t車
標準作業工程	特殊作業員	23,500	0.42	0.52	0.63	—	0.43	0.37	0.32	—	—
	普通作業員	17,400	0.42	0.52	0.63	—	0.85	0.75	0.65	—	—
	運転手(特殊)	24,200	—	—	—	0.30	—	—	—	—	—
	諸雑費(%)		6%			—	77%			—	—
	100本当単価		18,209	22,544	27,313	—	—	—	—	—	—
	10m ³ 当単価		—	—	—	7,260	44,064	38,489	33,329	—	—
	1本当単価		182	225	273	—	—	—	—	—	—
	1m ³ 当単価		—	—	—	726	4,406	3,849	3,333	—	2,295
	1m当単価		—	—	—	—	—	—	—	800	—
作業量	へ 2,339本/ha	伐倒本数	390	1,559	163	—	—	—	—	—	—
		造材	—	—	—	798	—	—	—	—	—
		集材	—	—	—	—	96	581	122	—	—
	ト 1,626本/ha	伐倒本数	135	768	655	—	—	—	—	—	—
		造材	—	—	—	774	—	—	—	—	—
		集材	—	—	—	—	37	317	421	—	—
	チ 1,128本/ha	伐倒本数	15	126	971	—	—	—	—	—	—
		造材	—	—	—	695	—	—	—	—	—
		集材	—	—	—	—	4	57	634	—	—
経費	へ 2,339本/ha	6,100,324	70,980	350,775	44,499	579,457	423,196	2,234,537	405,126	160,000	1,831,754
	ト 1,626本/ha	5,659,219	24,570	172,800	178,815	562,178	161,035	1,220,325	1,402,363	160,000	1,777,133
	チ 1,128本/ha	4,905,323	2,730	28,350	265,083	504,479	18,712	219,066	2,112,165	160,000	1,594,738

伐出経費の推定（円/ha）（表6）

表5と表6の結果に基づき算出した収支が図9である。

ト（植栽密度1,626本/ha）の収支が3,914千円/haと一番多く、以下、チ（植栽密度1,128本/ha）>へ（植栽密度2,339本/ha）となった。

これは、植栽密度の少ない方が、径級が大きく樹高が高かったため、AB材の歩留りが高く、価格の高い中目材が多く採れたこと、伐出経費が押さえられたこと、チの蓄積が低かったことによるものと推定される。



収支の推定（千円/ha）（図9）

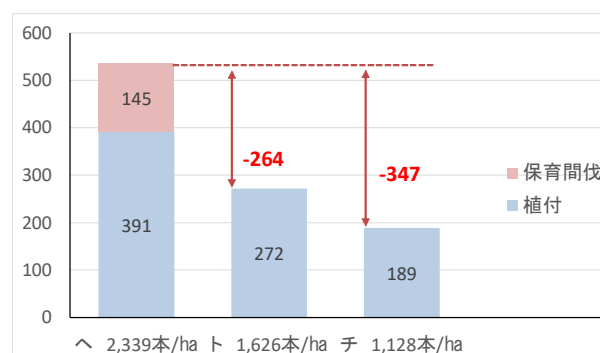
（8）造林コストの推定

造林経費については、コスト減の比較となる植付、保育間伐のみとし「森林環境保全整備事業における標準単価の設定について」（令和5年3月28日4林整第867号）により算出した。なお、保育間伐は25年生前後で間伐が必要となる、へ（植栽密度2,339本/ha）のみとし、伐採率30%、700本/haとした。（表7、図10）

この結果、へ（植栽密度2,339本/ha）に対して、トで-264千円/ha、チで-347千円/haのコスト減となった。

		労務単価	植付		保育間伐	
			普通苗	苗木運搬	選木	伐倒
標準作業工程	特殊作業員	23,500	0.12	—	0.16	0.32
	普通作業員	17,400	0.29	0.55	0.16	0.32
	諸雑費(%)		—		4%	6%
	苗木単価		79	—	—	—
	100本当単価		7,866	—	6,806	13,873
	1000本当単価		—	9,570	—	—
経費	へ 2,339本/ha	535,904	391,151		144,753	
	ト 1,626本/ha	271,916	271,916		—	
	チ 1,128本/ha	188,635	188,635		—	

造林コストの推定（円/ha）（表7）



造林コスト（千円/ha）（図10）

5 完了報告のまとめ

トサアカ 45 年生時の試験地の現況から植栽密度 1,128 本/ha～6,987 本/ha の範囲では収穫量がほぼ一定あることがわかった。

収支については、植栽密度 1,626 本/ha が 4,000 千円/ha を超える結果となり、以下 1,128 本/ha > 2,339 本/ha となったが、実際の現場では、傾斜や下層植生と侵入木の繁茂状況及び一般材、低質材の割合で大きく変わる可能性がある。

九州森林管理局の新しい林業実行プランが目指す、植栽密度は 1,500 本/ha 以下～1,800 本/ha 以下となっており、仮に植栽本数を 2,000 本/ha から 1,500 本/ha に変更すると植付コストが約 25% 減になる。また、保育間伐も不要となれば大幅なコスト減となる。同時にコンテナ中苗やエリートツリーの普及が進めば、下刈の方法や回数でもコスト減が見込まれる。

本試験林は、平成 30 年の地元紙での報道でミステリーサークルと呼ばれ大反響となったこともあり、地元から観光資源として残して欲しいとの要望もあったため、設定当時は最後に伐採して材質等につき詳細に調査、分析することとなっていたが伐採しないこととした。なお、「上杉基・井上万希・世見淳一・三重野裕通（2020）：宮崎県におけるスギ低密度植栽の検討ーオビスギ林分密度試験林の応力波伝播時間測定結果からー、第 76 回九州森林学会」で、4,850 本/ha～1,128 本/ha の植栽密度では推定される材質に有意な差がないことがわかっている。

以上の結果から、当初の目的であった低密度植栽（弁甲材）から高密度植栽（内装用の高品質建築用材）への施業方法の変更から、現在は低コスト化のための密植から疎植へと真逆の形となったが、低密度（1,500 本/ha 以下）であっても保育をきちんとやっていけば有効であると考ええる。