

2025/9/18 15:00~15:40
省力化・低コスト造林技術に関する現地検討会

低密度植栽が植栽木に与える影響

～成長量と強度について～

広島総立総合技術研究所林業技術センター
林業研究部
研究員 渡辺靖崇

1

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

本日の発表内容

はじめに	研究の背景
	植栽密度が材質に与える影響
試験地の情報	試験地
	「合自然的造林方法の確立」試験地の設定
	施業履歴
成長量の測定方法	成長量（樹幹解析）の調査方法
	樹幹解析の解析結果
強度の測定方法	材料強度の測定方法①応力波伝搬時間測定（FAKOPP）
	材料強度の測定方法②縦振動法による動的ヤング係数の測定
結果	結果①FAKOPPでの測定結果
	結果②縦振動法でのヤング係数の測定結果
	まとめ
今後の試験	

2

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

背景

- ①現在、低コスト林業の実現のため、植栽密度を2000本/ha以下とする「**低密度植栽**」が注目されている。
- ②「**低密度植栽**」が植栽木に与える影響について、成長量を調査した事例はあるが、材質に与える影響を調査した事例は少ない。



本研究では、2つの国有林で低密度・通常植栽密度から採取した供試体を用いて、

- ①成長量の調査（樹幹解析）
 - ②立木の状態で応力波伝搬速度の計測
 - ③丸太の状態で縦振動法による動的ヤング係数の測定
- を行い、**植栽密度の違いが成長と材質に与える影響を簡易的に評価した。**

3

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

植栽密度が材質に与える影響

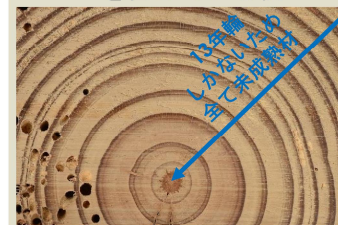
材料強度に影響を与える要因は様々あり、①遺伝的要因（ミクロフィブリル傾角等）、②生育条件による要因（地形、施業方法等）がある。

⇒生育条件の違いにより初期成長が異なることから、**未成熟材**・**成熟材**の割合に影響がある可能性がある。

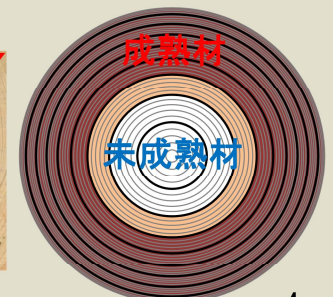
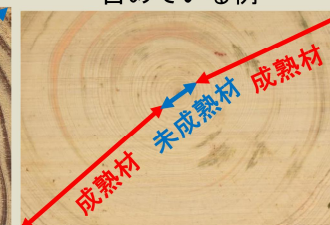
未成熟材・**成熟材**とは

- ①スギ・ヒノキ材は、0～15年輪の部分については「**未成熟材**」と呼ばれ、15年輪以降に形成される「**成熟材**」と比較して強度が低い。
- ②植栽密度が高いほど初期成長が抑えられるため、「**未成熟材**」の部分が少なく強度の高い材が得られる。（Ex.吉野林業）
- ③低密度植栽の場合、植栽木と自然発生する植生との競争があるため、材質にどの程度の影響があるか評価が難しく、調査事例の積み重ねが必要。

未成熟材が大部分を占めている例



成熟材が大部分を占めている例



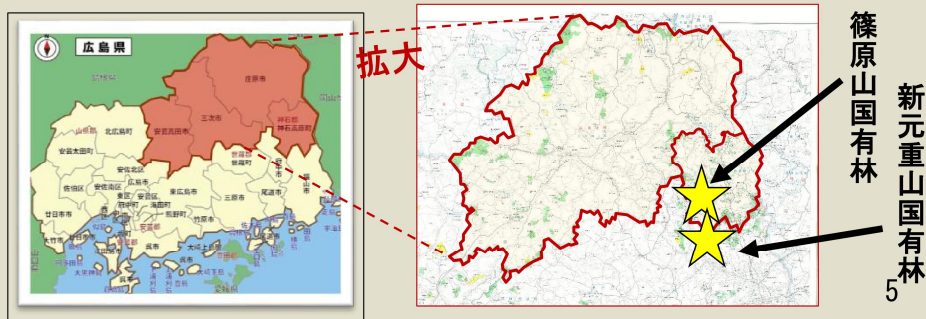
※2枚の写真とも縮尺は同じ
(写真の材は本研究とは関係ないもの)

4

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

試験地

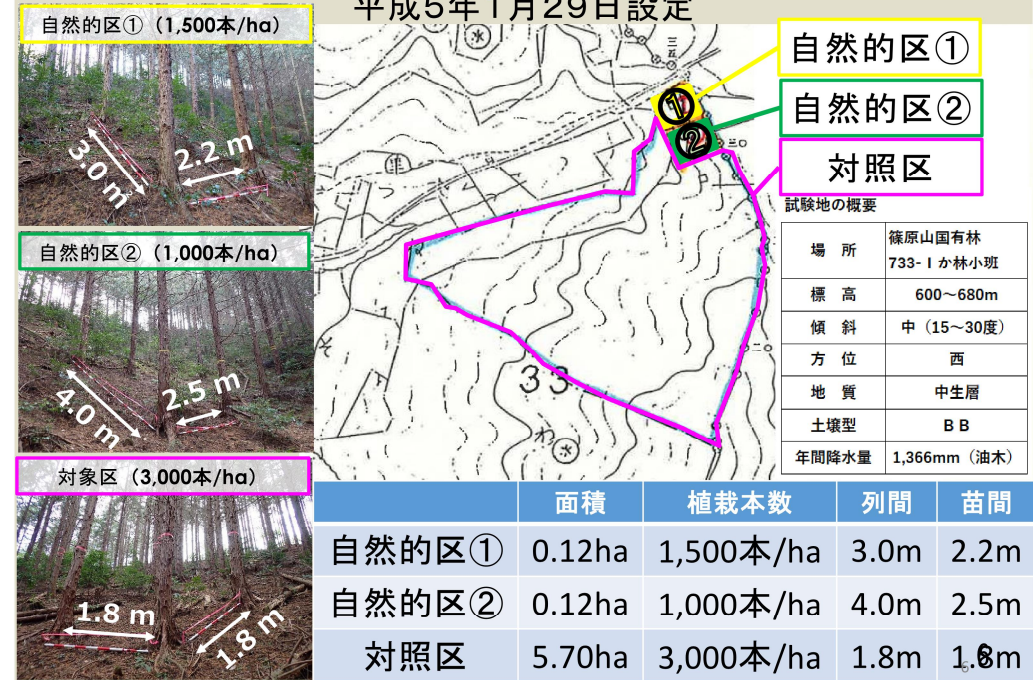
- ①試験地は篠原山国有林（広島県神石高原町）及び新元重山国有林（広島県福山市）。
- ②篠原山国有林は、平成4年度に超低コストな施業方法「合自然的森林施業方法の確立」の試験地を設定し、10年間の生育調査を実施した箇所。調査時の樹齢は32年。植栽樹種はヒノキのみ。当時の試験区としては1,000本/ha、1,500本/ha、3,000本/haの3区を設定。
- ③新元重山国有林は、調査時の樹齢51～52年。植栽樹種はスギ、ヒノキ。1,000本/ha、1,500本/ha、2,000本/ha、3,000本/haの4区を設定。



All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

「合自然的造林方法の確立」試験地の設定

平成5年1月29日設定



All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

試験地の施業履歴

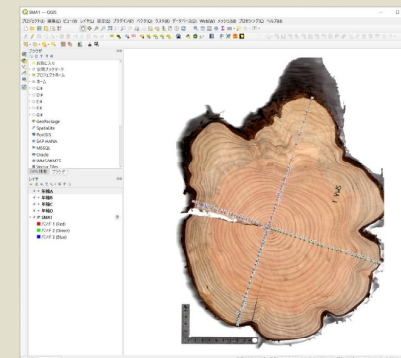
前生樹の林況 林齢60年生のヒノキ、アカマツ、その他L
下層植生 ヒサカキ、マツ、ソヨゴ、カヤ、サルトリイバラ、ヤマグミ、ヤマハギ、ヌルデ、クロモジ、オオカワイチゴ、ツゲ、アカメガシ、タラノキ、ネムノキ、サンショウ
保育作業等

区分	平成4年度		2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	備考
	平成4年11月 地ごしらえ	平成5年3月 植栽	平成6年度 下刈り	平成7年度 下刈り	平成8年度 下刈り	平成9年度 下刈り	平成10年度 下刈り	
自然的区① 1,500本 0.12ha	○	○	×	×	×	×	×	自然的区的地ごしらえは、数年後植栽木の 支障になる灌木の み刈り払い
自然的区② 1,000本 0.12ha	○	○	×	×	×	×	×	
対象区 3,000本 5.70ha	○	○	○	○	○	○	×	地ごしらえは、 5.70haの内3.00haを 実施

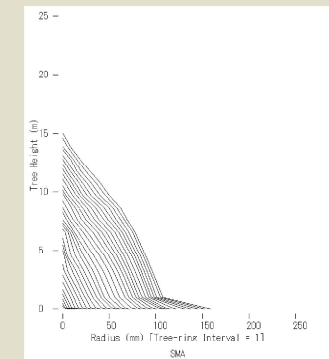
弘兼光秀（1996）合自然的造林方法の確立（第一報）より引用

成長量の調査方法（樹幹解析）

- ①各試験区の平均直径に近い3本を選木し（篠原山：合計9本、新元重山ヒノキ：合計12本）丸太を採取。伐採した丸太から1～2mごとに1枚の円盤型試験体を採取。（※新元重山スギも試験体は採取したが現在解析中）
- ②試験体をスキャナーを用いて画像化。
- ③画像化したものをQGIS（フリーソフト）に取り込み年輪幅を4方向測定。
- ④測定した年輪幅をSDA（Stem Density Analyzer ver1.09）に取り込み、成長量（体積）を計算。



QGISで年輪幅を測定している様子



SDAで解析した結果

樹幹解析の解析結果（篠原山：ヒノキ、樹齢32年）

- ① 1000本/ha区、1500本/ha区、3000本/ha区の各結果を、15年目までの材積と全材積（伐採時樹齢32年）で比較を行った結果、どちらも有意な差はなかった（Tukey $P>0.10$ ）。
- ② 15年目までの材積を比較した結果、有意差はなかったものの3000本/ha区が材積量が多い結果となった（Tukey $P=0.12$ ）。←下刈りの有無が影響？
- ただし15年輪以降（樹冠閉鎖後）は3000本/ha区での成長量が落ちており（図2）、全材積の比較ではほとんど差がなくなっていた（Tukey $P>0.88$ ）。

⇒ 3000本/ha区の未成熟材の割合は高い（≒強度が低い）可能性がある。

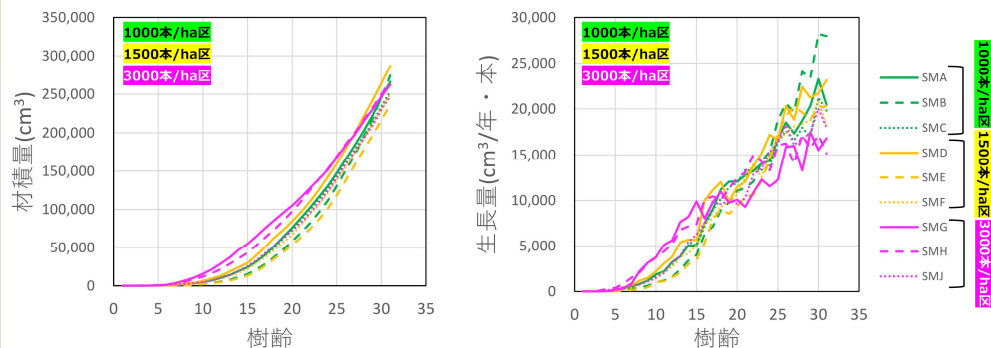
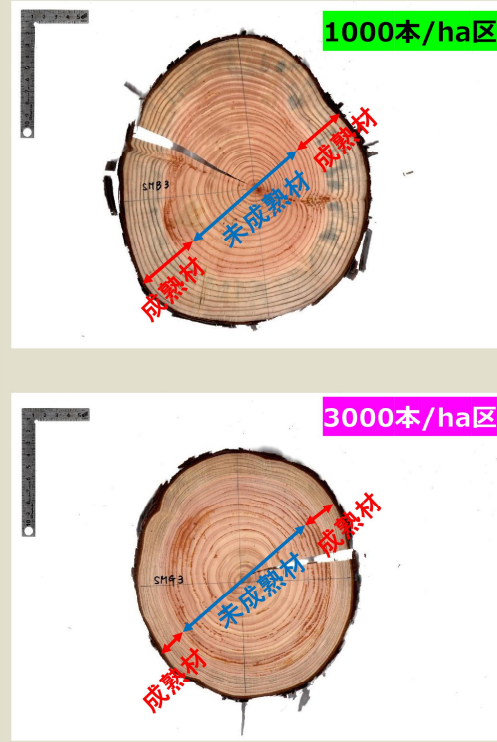


図1 樹齢ごとの全材積量

図2 樹齢ごとの単年成長量

9

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025



10

樹幹解析の解析結果（新元重山：ヒノキ、樹齢51年）

- ① 1000本/ha区、1500本/ha区、2000本/ha区、3000本/ha区の各結果を、15年目までの材積と全材積（伐採時樹齢52年）で比較を行った結果、15年目までの材積では、各試験区間に有意差はなかったが、全材積では1000本/ha区のほうが、2000本/ha区と3000本/ha区と比較して材積が大きい結果となった（Tukey $P<0.05$ ）。

⇒ 1000本/ha区のほうが単木当たりの材積量が多い結果になった。

⇒ 特に30年以降の成長量の増加が顕著

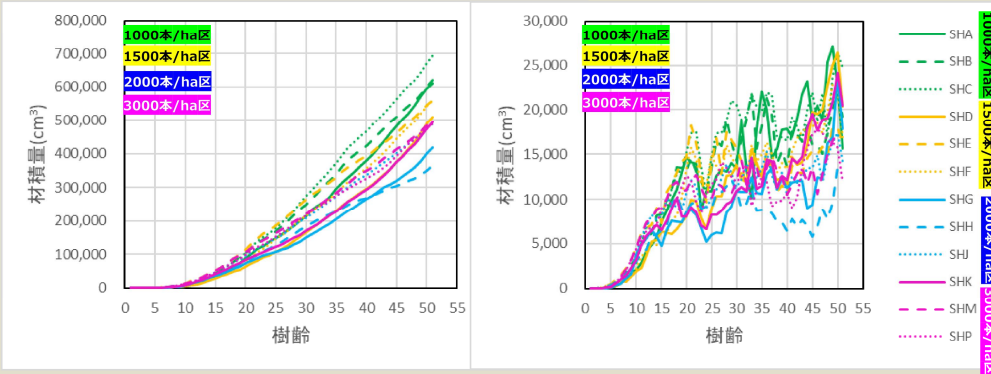


図1 樹齢ごとの全材積量

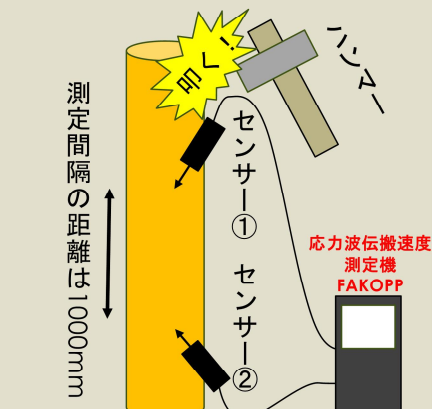
図2 樹齢ごとの単年成長量

横田 穰・鈴木保志・渡辺靖崇・後藤和久（2024）低密度植栽を行った林齢51年生ヒノキの樹幹解析と非破壊強度の測定結果。森林利用学会第31回学術研究発表会より引用

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

材料強度の測定方法① 応力波伝搬速度測定（FAKOPP）

- ① 応力波速度測定器（FAKOPP）による応力波伝搬時間の計測。
- ② 測定本数は各試験区5本の合計15本。試験区の中で胸高直径が平均値に近い5本を選出した。



方法：センサー①をハンマーで叩き、センサー①から②まで応力波が到達する時間を測定

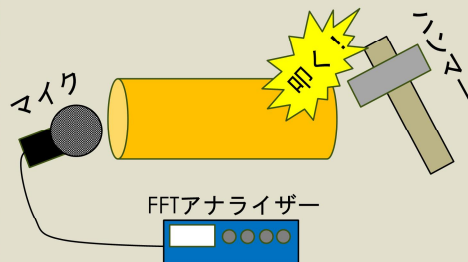
12

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

材料強度の測定方法② 丸太の縦振動法による動的ヤング係数の測定

①試験体数は各試験区から立木3本（立木1本につき丸太3本採取）の合計27体。

②「構造用木材の強度試験マニュアル」に従って丸太の状態でクッション材の上に置き縦振動法により固有振動数を測定し、**動的ヤング係数を計測**をした。



方法：丸太の木口をハンマーで叩き、固有振動数をFFTアナライザーで測定する。

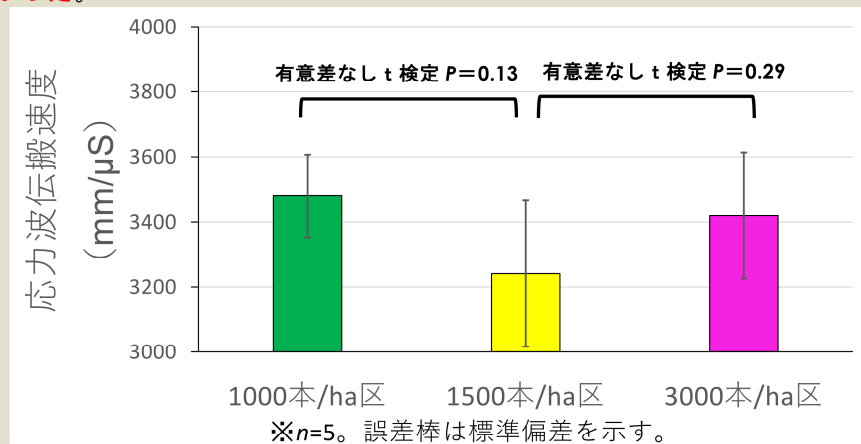
13

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

結果①-1応力波伝搬速度の測定結果 (篠原山：樹齢32年)

多重比較を行った結果、植栽密度（1000本/ha、1500本/ha、3000本/ha）の違いによって有意な差は確認されなかった。

⇒ただし1000本/ha区では1500本/ha区と比べて有意差はなかったものの、**平均値が高かった**。



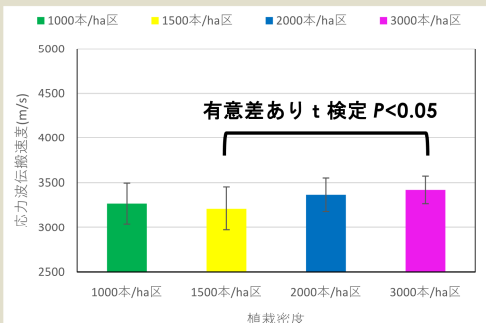
応力波伝搬速度は**速い**ほうが強度が**高い**傾向があることが確認されている。14

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

結果①-2応力波伝搬速度の測定結果 (新元重山：樹齢51年)

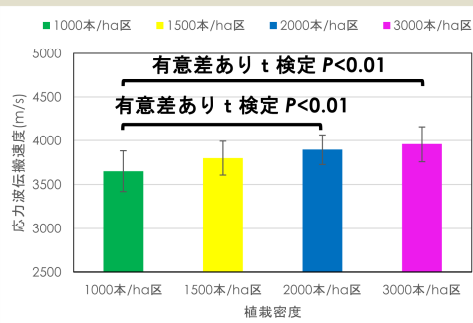
多重比較を行った結果、スギでは、植栽密度が2000本/ha区が3000本/ha区より低い結果となった。また、ヒノキでは、1000本/ha区が2000本/ha区と3000本/ha区より低い結果となり、植栽密度が低いほど応力波伝搬速度が低い傾向が確認された。

スギ



※n=20。誤差棒は標準偏差を示す。

ヒノキ



※n=20。誤差棒は標準偏差を示す。

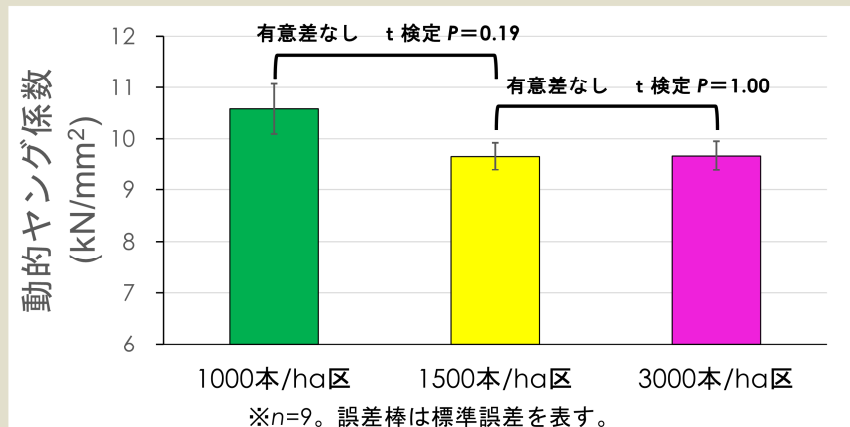
応力波伝搬速度は**速い**ほうが強度が**高い**傾向があることが確認されている。15

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

結果②-1縦振動法のヤング係数の測定結果 (篠原山：樹齢32年)

動的ヤング係数を植栽密度（1000本/ha、1500本/ha、3000本/ha）で比較したが、すべての比較で有意差はなかった(Tukey Test)。

⇒1000本/ha区で**平均値が高い**のは未成熟材の割合が低いことが影響？



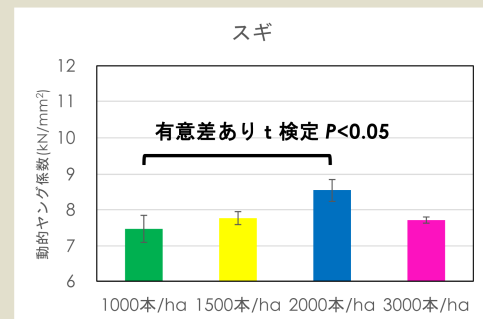
ヤング係数は**高い**ほうが強度が**高い**傾向があることが確認されている。16

All Copyrights Reserved. 広島県立総合技術研究所. 2025

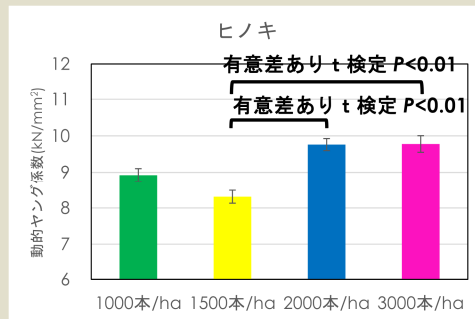
結果②縦振動法のヤング係数の測定結果（新元重山：樹齢51年）

動的ヤング係数を植栽密度（1000本/ha区、1500本/ha区、3000本/ha区）で比較した結果、スギでは平均値の高い順に2000本/ha区>1500本/ha区>3000本/ha区>1000本/ha区となり2000本/ha区は1000本/ha区より有意に高い結果となった(Tukey Test)。ヒノキでは、1500本/ha区が2000本/ha区と3000本/ha区より低い結果となった。

⇒今回各試験区立木3本（各立木より丸太3本）伐採し調査したが、試験体数が増えればもっと傾向がよくわかる可能性がある。



※n=9。誤差棒は標準偏差を示す。



※n=9。誤差棒は標準偏差を示す。

ヤング係数は高いほうが強度が高い傾向があることが確認されている。 17

まとめ

①成長量（樹幹解析）を測定した結果、特殊な施業（下刈り省略）を行っている篠原山では植栽密度の違いによる成長量の差はなかった。しかし、新元重山では低密度植栽のほうが単木当たりの成長量が多い結果となった。

②立木の応力波伝搬速度を測定した結果、篠原山では植栽密度の違いによる有意な差は認められなかった。しかし、新元重山のヒノキでは植栽密度が低いほど応力波伝搬速度が低い結果となった。

③原木丸太の縦振動法による動的ヤング係数を測定した結果、新元重山植栽密度の違いによる強度へ影響について明確な傾向は認められなかった。

以上の結果から、本研究の試験体数は少ないため、結論は限定的ではあるものの低密度植栽（1000～1500本/ha）が材料強度に与える影響については、通常植栽（3000本/ha）と比較してある程度あることが認められた。

また、さらなる検証は必要ではあるものの、下刈りを省略することで低密度植栽においても初期成長が抑えられるため、比較的高い強度の材が得られる可能性が示唆された。

ただし、今回行った強度推定方法は、簡易的な指標を用いたものであるので、実際の曲げ試験を実施し詳細な強度試験データを調査する必要がある。 18

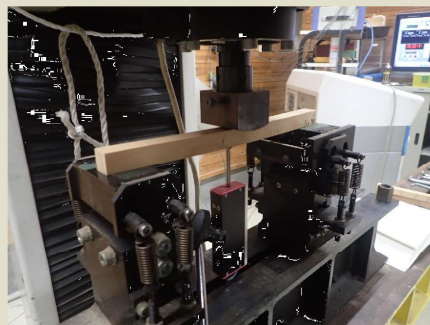
今後の試験

①丸太から板を製材したのち無欠点試験体を採取し、JIS Z2101に従って曲げ試験を実施。

②丸太から2×4材を製材しているので節径比の測定を実施。



作製した板材と2×4材
（現在、天然乾燥中）



JIS Z 2101に従って行っている曲げ試験
（写真の試験材は本研究と無関係のものである）