

センダンの乾燥技術

奈良県森林技術センター

成瀬達哉

センダンの乾燥技術

奈良県森林技術センター 成瀬達哉

試験に使用したセンダン

- 2005年に熊本県林業技術指導所所管の苗畑に植栽され、2016年12月に伐採された。(12年生)



丸太の概要



NO.	長さ (cm)	末口径(cm)		元口径(cm)		曲がり (cm)	平均年輪 幅(mm)	丸太採取位置
		最小径	最大径	最小径	最大径			
1	250	18.5	23.0	19.0	23.5	7.7	12.3	地上高1.2mから上部
2	251	19.5	20.5	25.0	25.5	3.6	15.0	地上高1.1mから上部
3	250	19.0	21.0	23.0	24.5	2.5	14.5	地上高2.0mから上部
4	251	20.5	21.5	23.0	29.0	5.0	16.9	地上高0.6mから上部
5	255	19.0	22.0	24.0	27.5	5.2	13.8	地上高0.6mから上部
6	253	18.5	20.0	22.5	26.0	3.3	13.3	地上高1.0mから上部
7	248	19.5	20.0	23.5	25.5	6.0	11.8	地上高0.3mから上部
8	267	15.0	18.0	18.5	20.0	2.7	11.8	地上高2.0mから上部
9	286	16.5	18.5	20.0	23.0	3.9	10.0	地上高2.0mから上部
10	292	19.0	20.0	19.0	21.0	4.1	10.4	地上高1.7mから上部

製材

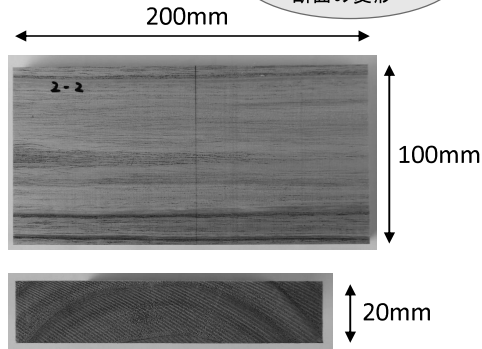


だら挽きで、厚さ25mmの板材を採取。

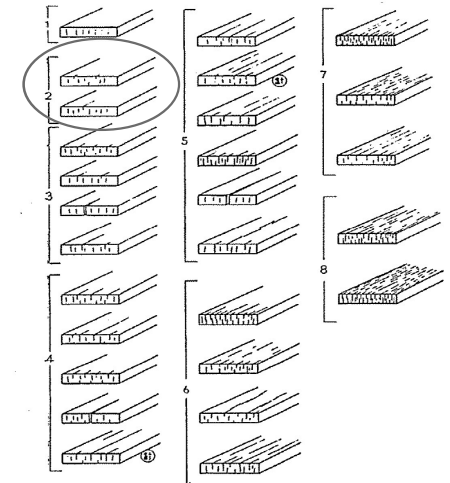
100°C試験 材料および方法

100°C試験とは・・・一定寸法の試験材を100°Cで全乾状態まで急速乾燥した時に現れる損傷の程度から、未知の乾燥スケジュールを決定する手法。

- ・乾燥初期の割れ
- ・内部割れ
- ・断面の変形

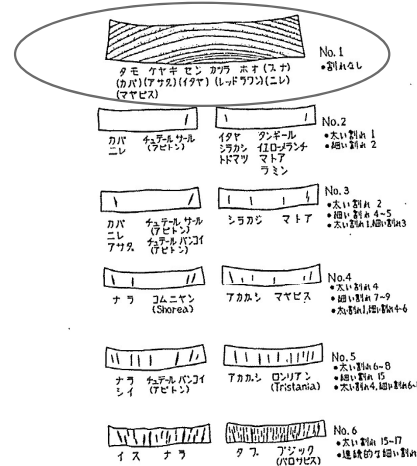
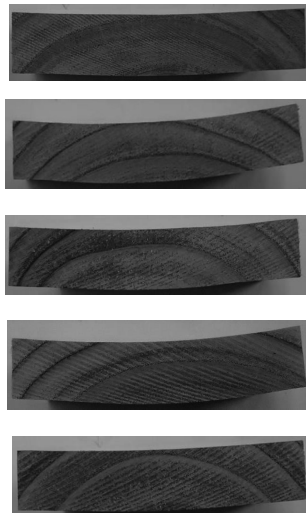


100°C試験 結果(乾燥初期の割れ)



出典 寺澤眞: 木材乾燥スケジュールの簡易決定法. 木材工業, 20(5), 216-221(1965)

100°C試験 結果(内部割れ)



出典 寺澤眞: 木材乾燥スケジュールの簡易決定法. 木材工業, 20(5), 216-221(1965)

100°C試験 結果(断面の変形)

断面の変形 (A-B)

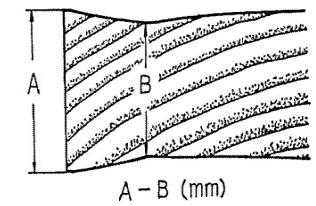
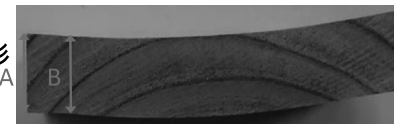


表2 断面の変形

NO.	A(mm)	B(mm)	A-B(mm)
2-2	19.54	19.23	0.31
3-4	19.13	18.69	0.44
5-5	19.16	18.66	0.50
7-2	18.91	18.59	0.32
9-2	19.48	19.41	0.07

段階	1	2	3	4
A-B (mm)	0~0.3	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~1.2
段階	5	6	7	8
A-B (mm)	1.2~1.8	1.8~2.5	2.5~3.5	3.5以上

出典 寺澤眞: 木材乾燥スケジュールの簡易決定法. 木材工業, 20(5), 216-221(1965)

乾燥条件の決定

損傷の種類	乾燥の条件	損傷の段階							
		1	2	3	4	5	6	7	8
初期割れ	乾燥初期温度	70	65	60	55	53	50	47	45
	乾燥初期乾湿球温度差	6.5	5.5	4.3	3.6	3.0	2.3	2.0	1.8
	乾燥末期温度	95	90	85	83	82	81	80	79
断面の変形	乾燥初期温度	70	66	58	54	50	49	48	47
	乾燥初期乾湿球温度差	6.5	6.0	4.7	4.0	3.6	3.2	2.8	2.5
	乾燥末期温度	95	88	83	80	77	75	73	70
内部割れ	乾燥初期温度	70	55	50	49	48	45	—	—
	乾燥初期乾湿球温度差	6.5	4.5	3.8	3.3	3.0	2.5	—	—
	乾燥末期温度	95	83	77	73	71	70	—	—

出典 寺澤眞: 木材乾燥スケジュールの簡易決定法, 木材工業, 20(5), 216-221(1965)

乾燥スケジュール

含水率範囲(%)	乾球温度	湿球温度	乾湿球温度差
	°C	°C	°C
昇温	65	65	0
生材~50	65	60	5
50~40	65	58	7
40~35	65	55	10
35~30	65	48	17
30~25	70	43	27
25~20	70	40	30
20~15	80	50	30
15以下	88	58	30
調湿処理(イコーライジング)	88	78	10
調湿処理(コンディショニング)	88	84	4

板材の中温乾燥試験 材料および方法

試験材: 厚さ25mm, 幅100~200mm, 長さ2mの板材 × 42体 (すべて心材)

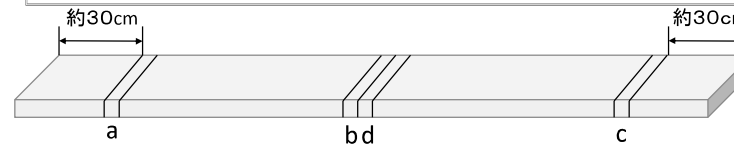


サンプル材: 厚さ25mm, 幅120~160mm, 長さ90cmの板材 × 5体 (すべて心材)



板材の中温乾燥試験 材料および方法

- 乾燥スケジュール: 100°C試験の結果より決定したスケジュール
- 目標含水率: 10%
- 乾燥後の測定項目:
含水率(全乾法)・全乾密度・表面割れ・内部割れ・反り、曲がり等の変形
※乾燥前後に測定



a, b, c: 含水率測定用試片(長さ3cm)
d: 全乾密度測定用試片(長さ3cm)



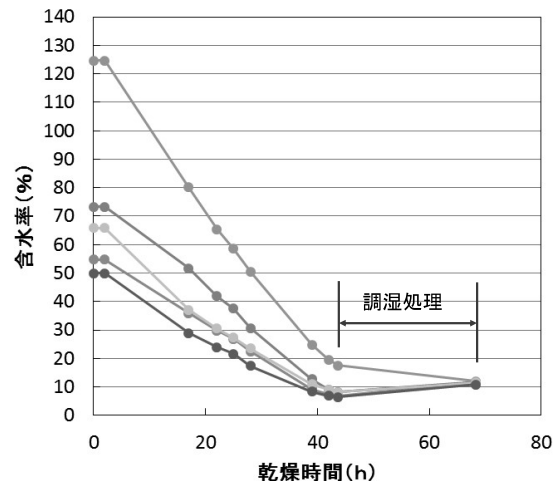
幅反り



縦反り

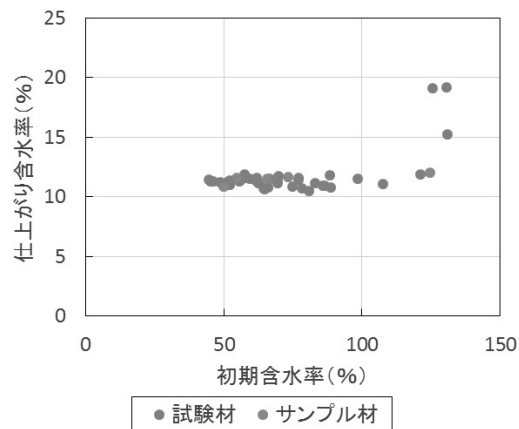
水糸

板材の中温乾燥試験 サンプル材の乾燥経過



初期含水率: 平均74%
 仕上がり含水率: 平均11%
 乾燥時間: 68時間(約2.8日)

板材の中温乾燥試験 試験材の初期含水率と仕上がり含水率との関係



初期含水率: 平均72%
 ※サンプル材では平均74%
 仕上がり含水率: 平均12%

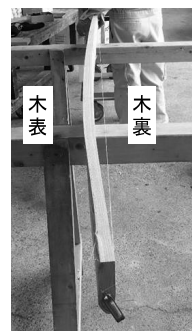
板材の中温乾燥試験 全乾密度

全乾密度 (g/cm ³)	
最大値	0.48
最小値	0.38
平均値	0.44
標準偏差	0.03



板材の中温乾燥試験 変形

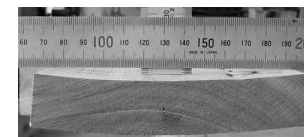
	乾燥前				乾燥後			
	縦ぞり	曲がり	幅ぞり	ねじれ	縦ぞり	曲がり	幅ぞり	ねじれ
最大値(mm)	12.0	3.0	0.0	0.0	30.0	6.0	3.0	0.0
最小値(mm)	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0
平均値(mm)	4.1	1.4	0.0	0.0	4.7	2.3	1.5	0.0
標準偏差(mm)	2.7	0.7	0.0	0.0	4.6	1.2	0.7	0.0



縦反り 最大30mm



曲がり 最大6mm

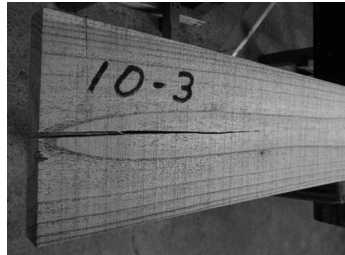


幅反り 最大3mm

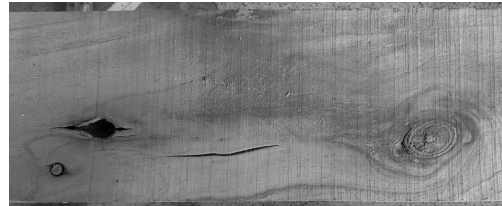
板材の中温乾燥試験 割れ

割れの種類	割れの生じた 試験材数	割れ総長さ(mm)	
		幅(1mm未満)	幅(1mm以上)
表面割れ	木口割れ	7	380
	材面割れ	3	620
内部割れ	0	0	0

※節、随付近で生じた割れは除く



木口割れ



材面割れ

まとめ

- 100°C試験を行い、その結果をもとに作成した乾燥スケジュールを用いた結果、割れや変形などの損傷をある程度抑制することができた。
- 含水率10%付近までの乾燥に要した日数は約3日であった。
- 仕上がり含水率が目標含水率より少し高かったことから、調湿処理の条件あるいは処理時間について検討する必要がある。

センダン合板・LVL の開発

兵庫県立森林林業技術センター

山田範彦

永大産業株式会社

川添正伸

ユニウッドコーポレーション

横尾国治

センダン合板・LVLの開発

永大産業株式会社
兵庫県立農林水産技術総合センター
株式会社ユニウッドコーポレーション

センダン単板の加工状況

センダン丸太から木材単板の試作を実施。

【原料丸太】

- ・熊本県産センダン、12～13年生、芽かき無し。
- ・丸太直径25cm前後、長さ1m。
- ・伐採後約1年が経過して乾燥が進行。

【単板加工】

- ・ロータリーレースの単板切削の厚み設定は2mm。
- ・切削前の丸太の水分調整（蒸煮など）は無し。
- ・単板切削後、ドライヤーで単板乾燥を行う。



単板サイズ：950×1350mm



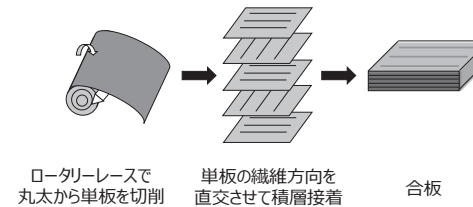
単板の剥き肌

- ・センダン丸太は、切削厚み2mm（実寸2.2mm）で単板の切削が可能であることを確認。
- ・ドライヤー乾燥後の単板含水率は4～5%となり、単板の乾燥性に問題は無い。
- ・切削前の丸太は水分調整を行わなかったため、単板の剥き肌はやや粗い仕上がりがであった。

合板とは？

木材単板が原料で、単板の繊維方向を互いに直交させて積層接着した木質材料

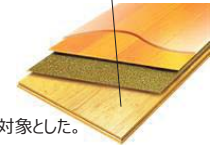
【製造方法】



ロータリーレースで丸太から単板を切削
単板の繊維方向を直交させて積層接着
合板

【用途】

- ・建築構造材（耐力壁など）
- ・コンクリート型枠材
- ・家具用材
- ・複合フローリング台板



センダン合板の比較対象とした。

- ・以前は広葉樹の南洋材（ラワン）が主原料であったが、最近は国産針葉樹（スギ、ヒノキなど）やポプラ、ファルカタなどの植林木も利用されている。
- ・他の木質材料と比較して、寸法安定性に優れており、強度や寸法変化の異方性も小さい。

センダン単板の基礎物性①

単板の密度について、丸太からの採取部位の影響を確認。

【試験体】

- ・4本の丸太から加工した単板26枚を使用。
- ・各単板から試験体を4枚づつ作製。

【気乾密度】

平均値 0.43、標準偏差 0.05 (g/cm³)
最大値 0.55、最小値 0.33 (g/cm³)
「平均含水率11.0%」

【同一丸太の単板の密度の違い】

丸太部位	単板No.	気乾密度 (g/cm ³)			
		丸太①	丸太②	丸太③	丸太④
中心部 ↑ ↓ 外周部	1	0.35	—	—	—
	2	—	0.38	0.41	0.39
	3	—	0.34	—	0.40
	4	0.40	0.43	—	0.38
	5	0.46	0.40	0.40	0.44
	6	0.35	0.39	0.44	—
	7	0.48	0.40	0.47	0.45
	8	0.46	—	0.48	—
	9	0.47	—	0.48	0.49
	10	—	—	0.49	0.45

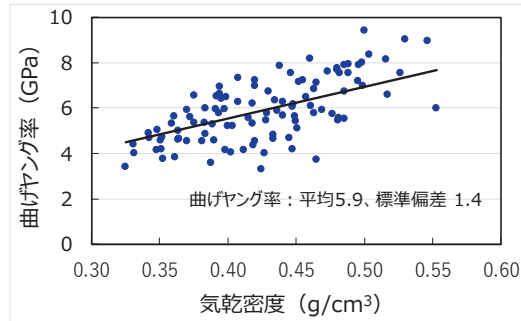
※表の値は各単板の平均値。
「—」は試験体が採取できなかった単板。

- ・単板の密度は、丸太の中心部と外周部で異なり、外周部ほど密度が高い傾向。
- ・平均密度は、ヒノキと同程度であるが、単板の剥き肌の影響で若干低めの評価と考えられる。

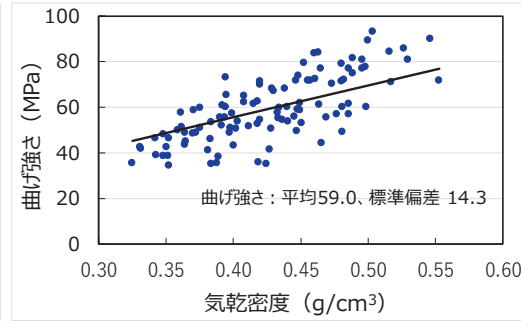
センダン単板の基礎物性②

単板の強度について、曲げ性能（曲げヤング率、曲げ強さ）で評価。

【曲げヤング率】



【曲げ強さ】



単板の密度が高いほど、曲げ性能（ヤング率、強度）は高くなる傾向。

センダン合板の製造条件と製造結果

センダン単板を熱圧で積層接着して合板を試作。

【製造条件】

- ・単板寸法：950×950×2.2mm
- ・単板積層数：5枚（5プライ合板）
- ・接着剤：フェノール樹脂（株J-ケミカル製）
- ・熱圧温度130℃、圧力0.8MPa
- ・熱圧時間300秒

- ・バンク等の問題無く合板を試作できた。
- ・熱圧後の合板厚みは9.8~9.9mmで、表面研削後の仕上がりは9.4mm。



センダン合板の物性評価

市販合板（複合フローリング台板）を比較対象としてセンダン合板の性能を評価。

	試作品	市販品①	市販品②
樹種	センダン	スギ	ヒノキ
単板厚み	2.2mm	2.1mm	2.0mm
単板積層枚数	5	5	5
積層接着剤	フェノール樹脂	フェノール樹脂	フェノール樹脂
合板厚み	9.4mm	9.2mm	9.4mm

【合板の試験項目】

- ・密度・含水率
- ・接着性能（浸せき剥離試験）
- ・寸法安定性（吸水厚さ膨張率試験）
- ・強度性能（曲げ試験）

※JASフローリング規格に準じて評価を実施。
（曲げ試験のみJIS A5905を参照）



センダン合板の物性評価①

密度と含水率について、センダン合板と2種類の市販合板を比較。

合板樹種	気乾密度 (g/cm³)		含水率(%)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
センダン	0.52	0.02	8.2	0.2
スギ	0.44	0.02	9.5	0.1
ヒノキ	0.52	0.01	9.1	0.1

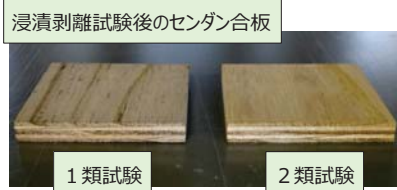
※試験体数6（合板3枚から試験体を作製して評価）

- ・センダン合板の密度は、スギ合板よりも高く、ヒノキ合板と同程度。
- ・センダン合板の含水率は、スギ合板やヒノキ合板と比較して若干低い傾向。

センダン合板の物性評価②

接着性能について、センダン合板と2種類の市販合板を比較。

合板樹種	1 類浸せき剥離		2 類浸せき剥離	
	単板剥離	合否	単板剥離	合否
センダン	無し	合格	無し	合格
スギ	無し	合格	無し	合格
ヒノキ	無し	合格	無し	合格

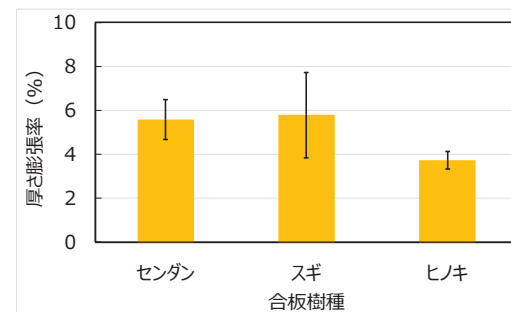


※1類浸せき剥離試験：沸騰水中4時間浸せき ⇒ 60℃乾燥 ⇒ 沸騰水中4時間浸せき ⇒ 60℃乾燥
 2類浸せき剥離試験：70℃温水中2時間浸せき ⇒ 60℃乾燥
 試験体数6（合板3枚から試験体を作製して評価）

センダン単板は、フェノール樹脂接着剤を使用することで、問題無く接着できる。

センダン合板の物性評価③

寸法安定性について、センダン合板と2種類の市販合板を比較。

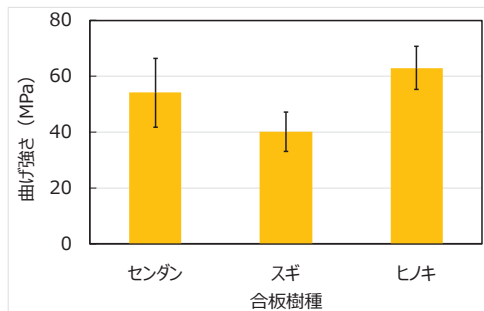
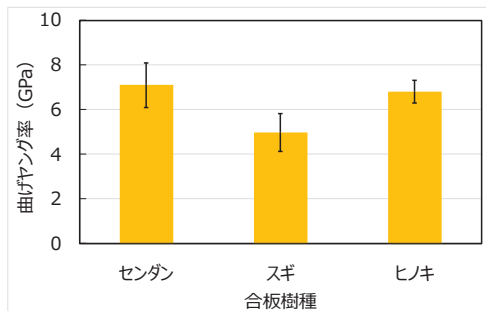


※吸水厚さ膨張率試験：25℃水中24時間浸漬
 試験体数15（合板3枚から試験体を作製して評価）

センダン合板の厚さ膨張率は、スギ合板と同程度で、ヒノキ合板よりも若干大きい。

センダン合板の物性評価④

強度性能(曲げ性能)について、センダン合板と2種類の市販合板を比較。



※試験体数15（合板3枚から試験体を作製して評価）

- ・センダン合板の曲げヤング率は、スギ合板よりも高く、ヒノキ合板と同等。
- ・センダン合板の曲げ強さは、スギ合板とヒノキ合板の中間の値を示す。

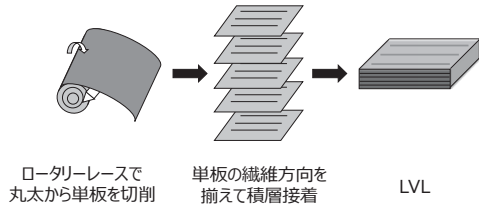
まとめ（センダン合板について）

- ・センダン原木から合板を試作した結果、単板製造時の切削加工性や乾燥性、合板製造時の単板の積層接着性などに問題は無く、通常の合板と同様に製造可能なことを確認。
- ・センダン合板の性能を評価した結果、複合フローリングの台板として使用している針葉樹合板と同等の性能が確認された。

LVL (Laminated Veneer Lumber) とは？

木材単板が原料で、単板の繊維方向を一方向に揃えて積層接着した木質材料

【製造方法】



【用途】

- ・建築構造用材（柱材、梁材など）
- ・家具、造作用材
- ・住宅内装材（建具など）の芯材

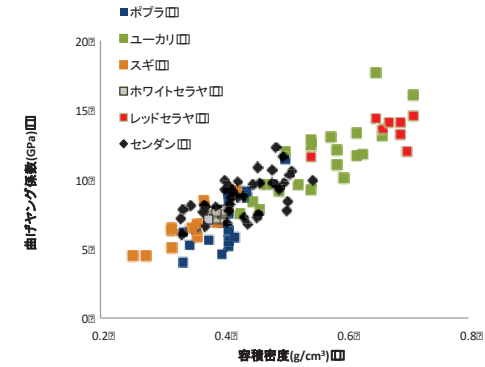
- ・繊維方向に対して垂直にかかる荷重（曲げ荷重）に高い抵抗力を持つ。
- ・単板を多数枚積層することで、節などの欠点が分散され、**強度のパラツキが小さく、品質が安定。**

ポプラ、ユーカリそれぞれのロータリーレース単板を交互積層



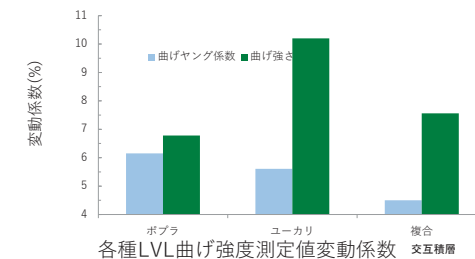
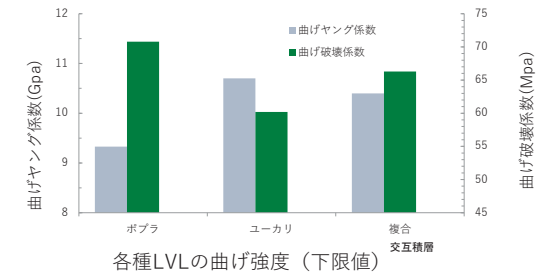
交互積層し互いの欠点を補正除去して材質を安定

各樹種ロータリー単板における材質のばらつき



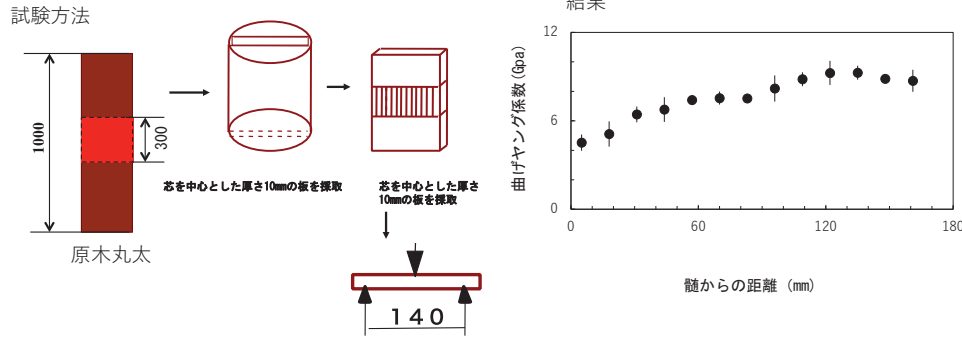
容積密度と曲げヤング係数の関係(単板)

ユーカリ単板における材質のばらつきが大きい



交互積層により各樹種ロータリー単板における材質のばらつきを減少できる

センダン樹幹内強度分布

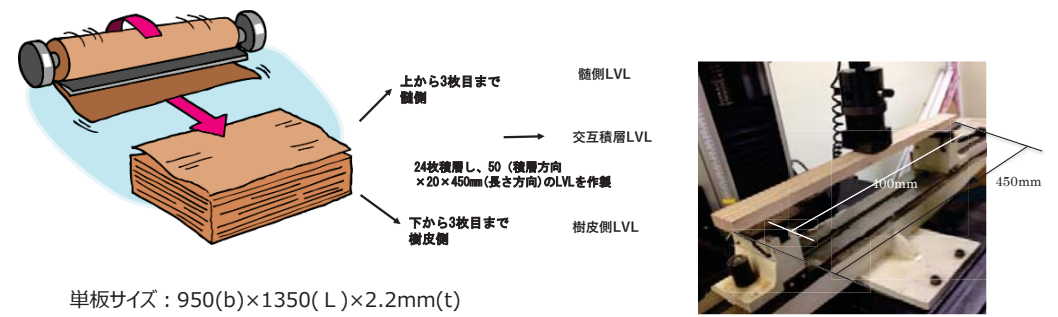


半径方向にばらつきがある
ロータリ単板だと目的とする品質（強度、比重）の部分を取得することができる
センダロータリ単板において

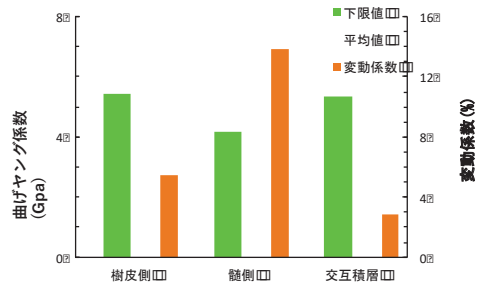
- ① 樹皮付近
- ② 髓付近
- ③ 交互積層

3種類のLVLを作製し、強度(曲げヤング係数)のばらつきについて検討した

試験方法



結果



各LVLの曲げヤング係数と変動係数

まとめ (センダンLVLについて)

センダン原木丸太の材質において
半径方向の曲げ強度のばらつきが大きい
髓付近は弱く、外側に向かって強くなる

樹皮付近と髓付近で得られたロータリ単板をそれぞれ交互積層することにより、
曲げ強度（曲げヤング係数）のばらつきを抑えることができた

複合化（交互積層）は必要な曲げ強度性能のLVLを製造するひとつの方法
であることが示唆された

今回、LVL試験体の曲げヤング係数が低かった
今後の検討が必要