

沖縄産材を用いた高機能性木材に関する研究（2）

－含浸による高機能化技術に関する研究－

伊波正和、羽地龍志、松本幸礼、花城可英

沖縄産材の高機能化を図る目的でリュウキュウマツにフェノール樹脂を注入し熱硬化させた。そしてフェノール樹脂処理材の寸法安定性試験、硬さ試験及び、耐蟻性試験を行った。その結果、フェノール樹脂処理を施した場合、リュウキュウマツの寸法安定性が高まることがわかった。また、フェノール樹脂の重量増加率に伴って硬さも増加した。さらに、フェノール樹脂処理により、シロアリ食害を受けやすいとされているリュウキュウマツは室内試験において良好な耐蟻性効果が得られた。

1 はじめに

本研究は平成 20 年度地域資源活用型研究開発事業「沖縄産材を用いた高機能性木材に関する研究」のサブテーマ「含浸による高機能化技術（フェノール樹脂含浸）に関する研究」として実施したものである。

樹脂含浸処理（化学処理）が施された木材は通常の木材と比較して、その耐久性、特に吸湿に対する寸法変化が著しく向上する。楽器にとって、湿度変化による音色の変化は致命的なものであり、その変化を抑制する化学処理を施した三線は、高い付加価値を持つものとする。また各種樹脂含浸により、三線部材に適した振動特性を与えることも可能である。さらに樹脂含浸処理はリュウキュウマツの木目を生かすため、意匠的に優れた製品を作ることも可能である。

機能性向上の化学処理にはフェノール樹脂による樹脂含浸の他、無水酢酸によるアセチル化、パラホルムアルデヒドによるホルマール化等がある。本研究では寸法安定性や寸法安定性や機械的質の向上、電気絶縁性、耐久性、耐蟻性などが期待される報告¹⁾²⁾あり、比較的安価であり入手が容易であるフェノール樹脂を用いて樹脂含浸処理を行った。

樹脂注入は減圧加圧により行い、フェノール樹脂溶液の濃度を変えて、注入樹脂量（およそ重量増加率）による寸法安定性や強度、耐蟻性、振動特性等の違いを検討した。

このうち本報告ではリュウキュウマツの小試験材にフェノール樹脂を注入し硬化させた処理材について容積膨潤率から求めた抗膨潤能による寸法安定性評価、表面硬さ試験や室内実験による耐蟻性試験について報告する。

2 実験方法

2-1 寸法安定性試験

2-1-1 試験材

リュウキュウマツ材は密度のバラツキが大きいため、

高密度材（平均気乾密度 0.84 g/cm^3 、平均年輪幅 1.7mm ）と低密度材（平均気乾密度 0.58 g/cm^3 、平均年輪幅 5.4mm ）を寸法安定性用試験材に用いた。

繊維方向（L） 4mm × 半径方向（R） 20mm × 接線方向（T） 20mm の試験片を 5 個ずつ作成した。無処理の比較試験材も 5 個作成した。試験材は温度 20°C 、湿度 44% の恒温恒湿室内で調湿を行い重量と寸法を測定した後フェノール樹脂処理を行った。図 1 に試験材を示す。

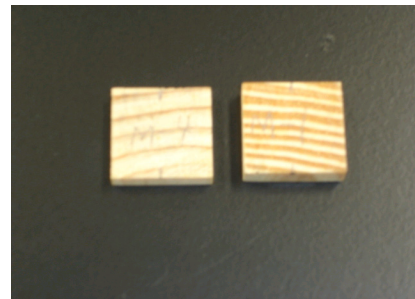


図1 寸法安定性試験材
低密度材（左）、高密度材（右）

2-1-2 フェノール樹脂処理（含浸硬化）

フェノール樹脂はアイカネオレジン PX-341 を用いた。

予備試験結果から、フェノール樹脂の希釈倍率は 2 倍、3 倍、6 倍、10 倍、20 倍とした。

フェノール樹脂水溶液中に試験材を沈め、図 2 に示す成型プレス装置 TYPE50 / 130 を用い、減圧（ 76mmHg ）下に 3 時間静置、引き続き加圧（ $0.65\text{Mpa} \approx 4875\text{mmHg}$ ）下に 24 時間静置する減圧・加圧の方法により含浸させた。含浸後、試験材を室内に一晩放置した後、 50°C で 24 時間乾燥させた。

その後、 140°C で 25 分間保持し、フェノール樹脂を硬化させ、フェノール樹脂処理材（以下処理材）とした。

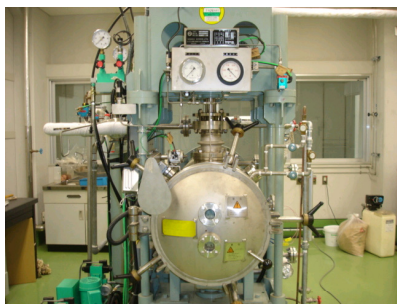


図2 成型プレス装置

2-1-3 試験方法

1) 重量増加率と密度

フェノール樹脂処理直後の処理材を 105℃で 5 時間乾燥後、デシケーター中で 2 時間冷却し、全乾の繊維方向、接線方向と半径方向の寸法と重量を測定した。無処理試験材は同様に寸法と全乾重量を測定した。

全乾重量と寸法から試験材の全乾密度を算出した。

フェノール樹脂が試験材に含浸し硬化することによって増加した重量の比率を重量増加率とし、その重量増加率は (式 1) により求めた。

$$\text{重量増加率} = \{ (\text{処理材の全乾重量} - \text{処理前の全乾重量}) / \text{処理前の全乾重量} \} \times 100 \cdot \cdot \cdot \text{(式 1)}$$

処理前の全乾重量は無処理試験材の含水率から換算した。なお重量増加率は、含浸されたフェノール樹脂量に近似される。

2) 寸法安定性試験

処理材を水中に沈め、減圧下 (76mmHg) で 2 時間静置した後、常圧に戻し 24 時間静置し吸水させ、全乾時と同一箇所についての飽水状態の寸法と重量を測定し、容積膨潤率および抗膨潤能 (ASE; antismwelling efficiency) を求めた。

繊維方向の膨潤率は他方向の膨潤率と比較すると無視できるぐらい小さいため考慮に入れず、全乾と飽水の寸法から、接線方向の膨潤率、半径方向の膨潤率を求め、容積膨潤率を求めた。そして、抗膨潤能を (式 3) により算出し、5 個の平均値を求めた。

膨潤率

$$\beta = \{ L_s - L_o / L_o \} \times 100 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 2)}$$

Ls: 全乾状態の寸法、Lo 飽水状態の寸法

$$\text{ASE} = \{ (\text{無処理材の容積膨潤率} - \text{処理材の容積膨潤率}) / \text{無処理材の容積膨潤率} \} \times 100 \cdot \cdot \cdot \text{(式 3)}$$

2-2 硬さ試験

2-2-1 試験材

年輪の曲率半径方向が材の中心になるように L 方向 40mm、R 方向 15mm、T 方向 40mm の試験材を作成した。平均年輪幅は 5.1mm であった。試験材は、20℃、44%の恒温恒湿室内で調湿した。

2-2-2 フェノール樹脂処理

寸法安定性試験材と同様にフェノール樹脂処理を行った。処理材 (無処理試験材含む) は 20℃ 44%の恒温恒湿室で調湿した。

2-2-3 硬さ試験方法

試験装置は (株) 島津製作所社製オートグラフ (AGS-5KNG) を用いた。図 3 に硬さ試験材を示す。○印 (1 試験材につき 6 カ所測定) は、剛球の圧入位置を示す。

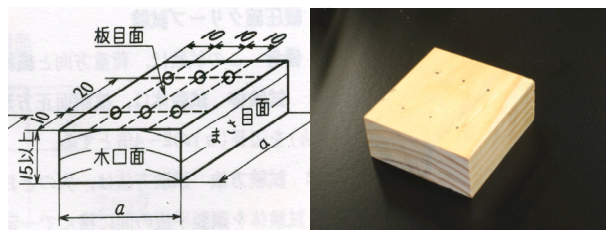


図3 硬さ試験材

JIS Z 2101 木材の試験方法の硬さ試験に準じ板目面の木表から荷重を加えた。圧入速度は毎分 0.5mm とし試験面に直径 10mm の硬球を深さ $1/\pi$ mm (約 0.32mm) まで圧入した。硬さは (式 4) により算出し、5 個の処理材、6 箇所の硬さを求めた。

$$\text{硬さ} = P/10 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 4)}$$

P: 圧入深さが $1/\pi$ mm となる荷重

2-3 耐蟻性試験

2-3-1 試験材

L 方向 20mm、R 方向 10mm、T 方向 10mm の 2 方桁の試験材を作成した。平均年輪幅は 4.1mm であった。試験材は、20℃、44%の恒温恒湿室内で調湿した。

2-3-2 フェノール樹脂処理

フェノール樹脂水溶液の希釈倍率は、4 倍希釈、8 倍希釈の 2 種類とした。試験材をフェノール樹脂水溶液液中に沈め、真空デシケーター内に置き、減圧 (76mmHg)

3 時間後、常圧に戻し 24 時間静置した。

処理材は一晩室内で風乾後、50℃で 24 時間乾燥後、140℃で 30 分保持して硬化させた。

2-3-3 耐蟻性試験方法

耐蟻性試験は「表面処理木材用防剤の室内防蟻効力試験方法および性能基準 (JWPS-TW-S. I)」(社団法人、日本木材保存協会) に準じた試験を行った。

供試虫はイエシロアリを用い、飼育容器は直径 75mm の塩ビパイプを高さ 60mm に円筒状に切断し底部を硬石膏とした。飼育容器はあらかじめ湿潤タオルを敷きつめた蓋付の容器の中に置き、蓋には通気のため小孔をあけた。

飼育容器中の硬石膏の上に、厚さ 1mm 程度のプラスチック製の網を置き、処理材が過度に吸水するのを防ぎ、この上に処理材の柢目面を上下にして、処理材を水平に置いた。試験中の飼育容器を図 4 に示す。

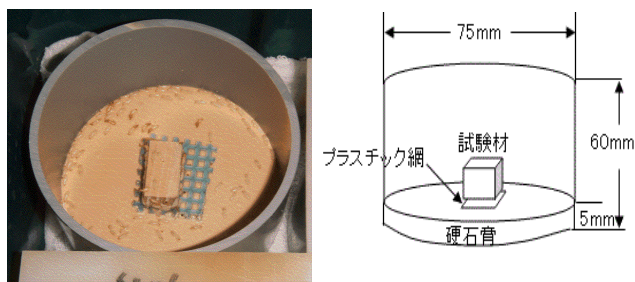


図 4 飼育容器

この飼育容器に無作為に取り出した職蟻 150 頭と兵蟻 15 頭を投入し、温度 28℃の暗所に 21 日間静置した。試験期間中、死亡したシロア리를数え容器から取り出した。またシロアの処理材に対する行動状況も観察した。試験終了後の処理材の重量を測定し、その重量減少率により耐蟻性を評価した。

3 実験結果と考察

3-1 寸法安定性

無処理材とフェノール樹脂処理材について、フェノール樹脂処理前の気乾密度、フェノール樹脂処理による重量増加率、フェノール樹脂処理直後の全乾密度、容積膨潤率、抗膨潤能 (ASE) を表 1、表 2 に示す。重量増加率と ASE の関係を図 5 および図 6 に示す。

低密度材、高密度材とも、フェノール樹脂処理により、ASE が大きくなり抗膨潤能が高まることわかる。

フェノール樹脂を木材に含浸したのち、加熱により縮・重合反応をさせることにより不溶性の樹脂となり、木材の寸法安定性を与えることが知られている¹⁾²⁾。

また、フェノール樹脂含浸処理を施した強化 LVL(積層合板)の開発においても寸法安定性が優れている³⁾等が報告されている。

シトラスブルース、シュガーメープルについてフェノール樹脂処理材の重量増加率が 20% の場合 ASE が約

表 1 寸法安定性試験結果 (低密度材)

記号	フェノール樹脂処理	処理前密度 g/cm ³	重量増加率 (%)	全乾密度 g/cm ³	容積膨潤率 (%)	ASE (%)
SM	無処理	0.57	0	0.54	15.1	0
S20	20 倍	0.59	11.2	0.57	8.5	43.8
S10	10 倍	0.57	18.3	0.58	8.1	46.6
S6	6 倍	0.58	21.3	0.61	7.6	50.2
S3	3 倍	0.57	30.7	0.64	7.0	53.7
S2	2 倍	0.57	52.2	0.73	6.0	60.5

表 2 寸法安定性試験結果 (高密度材)

記号	フェノール樹脂処理	処理前密度 g/cm ³	重量増加率 (%)	全乾密度 g/cm ³	容積膨潤率 (%)	ASE (%)
SM	無処理	0.84	0	0.81	20.7	0
S20	20 倍	0.83	5.2	0.81	15.5	25.1
S10	10 倍	0.85	10.2	0.83	14.3	30.7
S6	6 倍	0.84	13.3	0.85	12.0	42.0
S3	3 倍	0.84	25.3	0.90	1.1	51.8
S2	2 倍	0.84	31.0	0.92	9.6	53.7

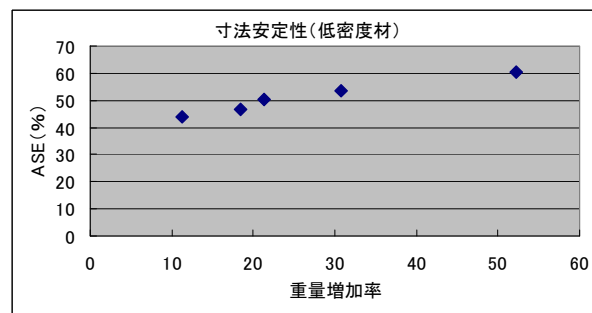


図 5 低密度材の寸法安定性

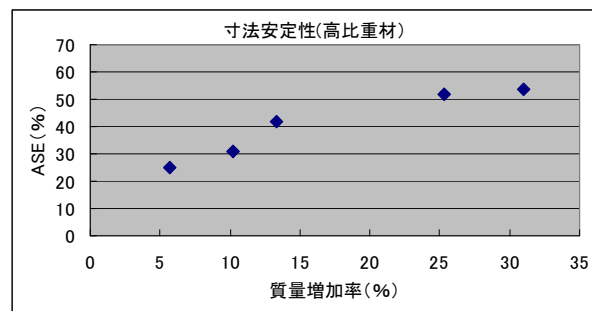


図 6 高密度材の寸法安定性

55 %を示した報告がある¹⁾。リュウキュウマツについてもフェノール樹脂処理による重量増加率が 20 %の場合 ASE は約 50 %を示しているおり、同様にフェノール樹脂処理により良好な寸法安定性を示している。

寸法安定性の向上は、屋外使用、屋外と屋内の境目、屋内の水回りなど湿度変化が大きく木材の寸法変化を余儀なくされる箇所での活用が期待される。この場合、耐久性も兼ね備えることが条件になるが、フェノール樹脂が耐久性の良い樹脂¹⁾²⁾であり、木材の欠点を補う製品開発が期待できる。

3-2 硬さ試験

フェノール樹脂処理前の試験材気乾密度、フェノール処理による重量増加率、処理後の気乾密度、測定時の含水率、硬さ試験結果を表 3 に示す。処理材の重量増加率に対する硬さ測定結果を図 7 に示す。

表3 硬さ試験試験結果

記号	フェノール樹脂処理	処理前密度 g/cm ³	重量増加率 (%)	気乾密度 g/cm ³	含水率 (%)	硬さ N/mm ²
KM	無処理	0.57	0	0.57	10.8	15.0
K20	20倍	0.60	4.8	0.60	6.7	24.0
K10	10倍	0.56	8.2	0.57	5.8	23.7
K6	6倍	0.56	15.2	0.60	4.8	27.0
K3	3倍	0.59	25.5	0.67	4.1	38.3
K2	2倍	0.60	35.6	0.74	3.5	44.3

表に示したように重量増加率（フェノール樹脂量）の

増加に伴い、含水率が低くなり、硬さが増加している。

また、図 7 の重量増加率と硬さの散布グラフより、重量増加率が大きくなると硬さのバラツキ幅が大きくなる傾向があることと硬さの平均値が高くなることがわかる。

バラツキの原因を探るため、リュウキュウマツは早材部と晩材部が明瞭であるので、早材部と晩材部の硬さの変化を確認した。早材部と晩材部の硬さ測定結果を表 4 に示す。

表4 早材部と晩材部の硬さ比較

試験材記号 (フェノール処理)	早材部 (N/mm ²)	晩材部 (N/mm ²)
KM (無処理)	6.7	25.9
K20 (20倍希釈)	16.7	31.2
K2 (2倍希釈)	26.1	69.5

早材部、晩材部と重量増加率に伴って硬さも増加している。しかしながら重量増加率の小さな K20 において晩材部は早材部の約 1.9 倍の硬さを示しているが、重量増加率の大きい K2 ではその割合は約 2.7 倍と大きくなっている。この晩材部と早材部の硬さの違いがバラツキが大きくなっている原因の一つと考える。

フェノール樹脂処理の硬さ試験の報告は少ないが、フェノール樹脂をスギ木材単板（0.3mm、0.5mm、1.0mm）に注入後パーティクルボードに加熱積層したボードの硬さ試験において、早材部、晩材の硬さは明らかに異なり、樹脂注入により早材部が晩材部の硬さに近づく傾向は見られず、単板厚の増加に伴い差が開くことがうかがえたとの報告⁴⁾がある。本実験のリュウキュウマ

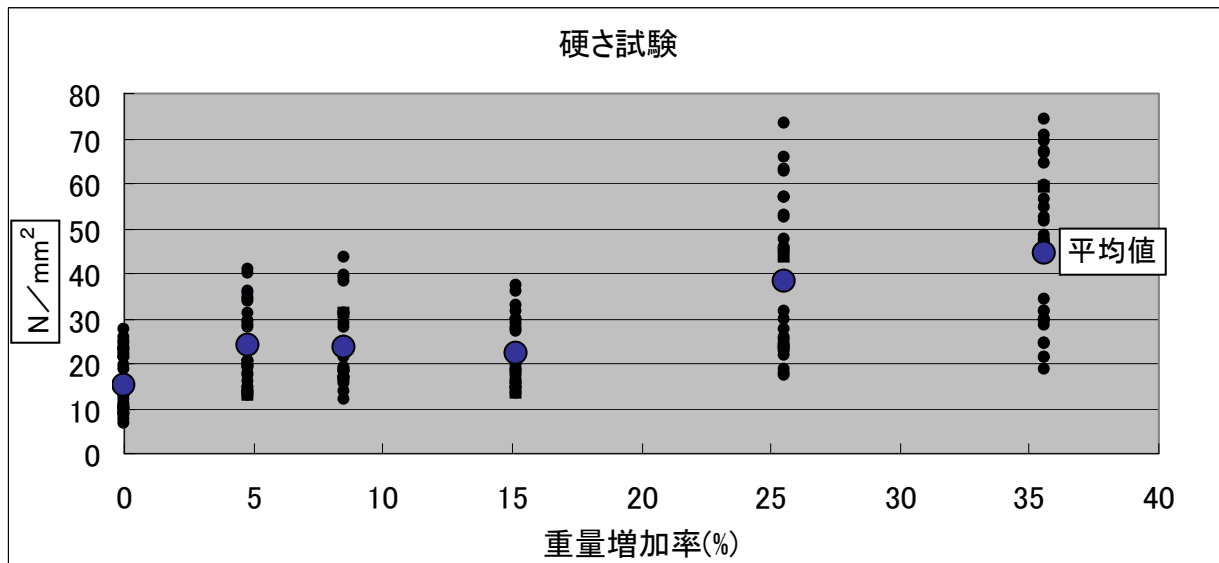


図7 硬さ試験結果

ツ (15mm 厚) おいても、早材部と晩材部の差が開いてること、フェノール樹脂処理によって早材部と晩材部の硬さが近づく傾向が見られないこと、その差が大きいことなどが同様の傾向を示している。

3-3 耐蟻性試験

耐蟻性試験材のフェノール樹脂処理前の気乾密度、フェノール処理後の重量増加率、全乾密度、耐蟻性試験結果の重量減少率と死虫率の平均値を表 5 に示し、処理材の重量増加率とシロアリ食害による重量減少率を図 8 に示す。

表5 耐蟻性試験結果

記号	処理方法及び試験材の性状				耐蟻性試験	
	フェノール樹脂処理	処理前気乾密度 g/cm ³	重量増加率 (%)	全乾密度(推定) g/cm ³	重量減少率 (%)	死虫率 (%)
TM	無処理	0.69	—	0.62	2.77	46.7
T8	8 倍	0.70	16.0	0.93	0.21	100
T4	4 倍	0.69	23.8	0.81	0.41	100

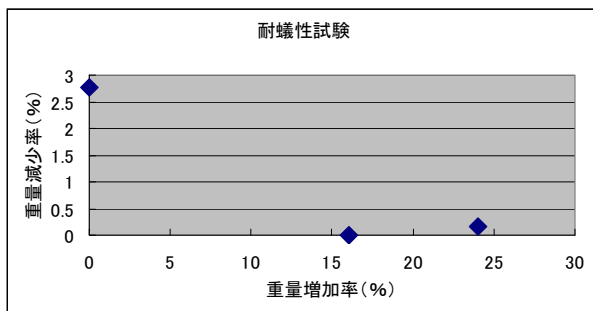


図8 フェノール樹脂処理の耐蟻性

無処理のリュウキュウマツの重量減少率が 2.77 % に対し、T8 (重量増加率 16%) 処理材、T4 (重量増加率 23.8%) 処理材は、シロアリ食害による重量減少率が 1% 以下であることから、フェノール樹脂処理されたリュウキュウマツはほとんどシロアリに食害されていないことがわかる。

耐蟻性については、メチロール化フェノールを注入し熱風硬化したスギ材は基本的に耐蟻性能を有する⁵⁾との報告がある。また、フェノール樹脂処理木材はシロアリの食害に対する抵抗性が認められ、重量増加率 5 ~ 15% の処理レベルで食害量が低下し、イエシロアリの腸内共生原生動物のうち最もセルロースを分解する *Pseudotrichonympha grassi* が、処理木材の摂取によってほぼ消滅する様子が見られた⁶⁾等の報告もある。

本実験においても、リュウキュウマツのフェノール樹脂

処理材に、耐蟻性効果が認められた。しかも処理材を投入した飼育容器のイエシロアリは 14 日 ~ 18 日の間にすべてが死滅した。

しかしながら今回行ったフェノール樹脂処理によるリュウキュウマツの耐蟻性効果については、室内試験の範囲であり、実用試験や屋外耐蟻性試験等での確認試験が必要である。

リュウキュウマツはシロアリに食害されやすい材として昔からよく知られており、そのため建築部材としての利用が進まなかったが、フェノール樹脂含浸処理によりリュウキュウマツに対する安全安心な耐蟻処理が確立された場合、リュウキュウマツの新たな展開が期待される。

4 まとめ

沖縄産材のリュウキュウマツについて、フェノール樹脂処理を施した場合、重量増加率 (フェノール樹脂量) 約 20 % 程度で抗膨潤能 (ASE) が約 50 % と良好な寸法安定性を示した。

このことは、フェノール樹脂処理により、屋外や屋内の水回りなど寸法安定性が求められる箇所への木材の活用が期待できる。

フェノール樹脂処理材の硬さは、全般的に重量増加率に伴って硬さも増す傾向を示した。また、早材部、晩材部とも重量増加にともなって硬さが増した。しかしながらフェノール樹脂処理によって硬さのバラツキ幅が大きくなる傾向を示した。

フェノール樹脂処理されたリュウキュウマツは、本実験の小試験材の室内耐蟻性試験において、顕著な耐蟻性を示した。リュウキュウマツはシロアリに食害されやすいため住宅への活用はほとんどなされていないが、耐蟻性の向上が確立できれば、その活用範囲は大きく広がる。また、木材の欠点である寸法安定性が向上することで今まで発生した変形や狂いによる多くのトラブルが解消されることになる。

本実験の小試験の範囲では、フェノール樹脂注入に困難な点は無かったが、実用材を対象とした場合、樹脂注入の困難さが予想されることから、木材乾燥、樹脂注入方法、樹脂硬化など様々な課題が残っている。しかし、フェノール樹脂処理がリュウキュウマツの寸法安定性、硬さや耐蟻性を高める有用な処理であることがわかったので、実用化に向けてさらに検討を進めて行かなければならない。

なお、本研究報告は平成 20 年度地域資源活用型研究開発事業「沖縄産材を用いた高機能性木材に関する研究開発」の一部であり、(財)南西地域産業活性化センターを管理法人として、独立行政法人産業技術総合研究所・

サステナブルマテリアル研究部門・木質材料組織制御研究グループ、株式会社大真木材、有限会社あけぼのファーム、岐セン株式会社との共同研究として実施したものである。

参考文献

- 1) 後藤輝男；木材利用の科学（今村博之他編）、pp.261-263、共立出版（1983）
- 2) 中野隆人；木材科学ハンドブック（岡野健、祖父江信夫編）p311（2006）
- 3) 田欣作、杉本英明、井上雅文、川井秀一；木材学会誌、Vol.43、No.1、p38～45（1997）
- 4) 脇坂政幸、朝倉良平；福岡県工業技術センター研究報告、No13、p96～101（2003）
- 5) 脇坂政幸、松山拓郎、平野吉男、川勝博伸、朝倉良平；平成13～14年度中小企業技術開発産学官連携促進事業普及講習会テキスト、「住宅の高規格化・性能保証制度に対応可能な低負荷高耐久性木質部材の開発」
- 6) 柳 在潤、高橋旨象、今村祐嗣、佐藤隆史；木材学会誌、Vol.37、No.9、p857～858（1991）

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。