

栈木の形状および材質が栈木痕の発生に及ぼす影響*¹

森下真衣・中晶平*²

スギ板材の人工乾燥において、栈木の形状および材質が栈木痕の発生に及ぼす影響について検討した。厚さ 25mm の奈良県産スギ生材の心材板目板に対して、材に面的に接触する栈木と線的に接触する栈木を用い、乾燥温度 75℃で人工乾燥を行った後、乾燥後と 2mm の表面切削後に栈木接触面と栈木非接触面の材色を測定した。栈木痕の程度は、2mm の表面切削後の両測定面の色差で評価した。

その結果、材と面的に接触する栈木では、2mm の表面切削により栈木痕の低減がみられた。しかし、完全な解消には至らず、乾燥温度を 55℃まで低下させることで解消に至ると推察された。一方、材と線的に接触する栈木では、栈木痕の解消が認められた。

1. はじめに

近年、居住空間の高気密化および空調機器により温湿度が制御された環境下での造作材の使用が増加する傾向にあり、より高品質な乾燥材の供給が今後ますます重要になると考えられる。木材を乾燥する際には、木材間に空間を設け、通風を良くすると同時に、圧縮効果による狂い防止の目的として、栈木を挟んで栈積みを行う¹⁾。その際、栈木に接触する部分と非接触の部分に色の差ができ、栈木が接触する部分が濃色化または淡色化して見える現象が起こることがあり、これは栈木痕（栈木跡、スティッカーマーク）といわれる²⁾。この原因は、抽出成分の濃縮、化学変化によるものであると考えられている²⁾。このような栈木痕は、製品の外観を悪化させるため、クレームの原因となることがある。また、栈木痕を消すために表面を厚く削ると、歩留まりも低下する。

栈木痕の発生を避けるため、現場では、フローリング等の薄板は木表同士を重ねて栈積みし、乾燥を行うことが多い。しかし、この方法では乾燥時間が長くなり、生産コストが上昇することが問題である。

前報³⁾では、栈木痕の発生には、乾燥温度および乾燥前の初期含水率が影響することを確認した。すなわち、25mm 厚の板材において、生材から乾燥温度 55℃で人工乾燥を行う場合、または予め天然乾燥により含水率を 40%まで低下させたのち人工乾燥を行う場合、栈木痕が軽微となり、2mm の表面切削で栈木痕が低減することがわかった³⁾。しかし他方で、乾燥に時間を要するという問題が残ることとなった。他の研究機関でも、材質を変えた栈木を材と面的に接触させて実施した乾燥試験の事例^{4, 5)}

はあるが、栈木痕が発生しにくい乾燥方法の確立には至っていない。

そこで、本研究では、奈良県産スギ心材について、材に面的に接触する栈木と線的に接触する栈木の 2 条件に分け、それぞれ材質および形状を変えた栈木を用いて生材から人工乾燥を行い、乾燥後および 2mm の表面切削後の栈木接触面と栈木非接触面の材色を比較した。

2. 材料および方法

2.1 材料

2.1.1 木材試験体

試験体には奈良県産スギ生材の心材板目板（幅 120mm、厚さ 25mm、長さ 4000mm）18 枚を使用した。そして図 1 に示すように、1 枚の板材より長さ 500mm の試験体を 6 体ずつ採取した。このとき、後述する乾燥試験において元口側と末口側での材質の違いによる影響を除くため、各乾燥条件で使用する栈木条件で試験体の採取位置は重複しないようにした。試験体には、木口面からの乾燥を抑制するため、採取後の両木口面にエポキシ樹脂系接着剤（コニシ株式会社製ボンドクイックセット 30）を塗布した。

各試験体に隣接した位置で採取した含水率測定用試片（図 1 a～g、長さ 30mm）の含水率を全乾法により求め、試験体と隣接する 2 つの試片の平均含水率を人工乾燥前の各試験体の初期含水率（以下「初期含水率」という。）とした。

また、後述の乾燥試験が終了した試験体について、中央部より含水率測定用試片（長さ 30mm）を切り出し、全乾

*1 本研究の一部は、一般社団法人日本木材学会第 75 会年次大会（2025 年 3 月、仙台）において発表した。

*2 現 奈良県 環境森林部 景観・自然環境課

法により試験体の仕上がり含水率（以下「仕上がり含水率」という。）を求めた。

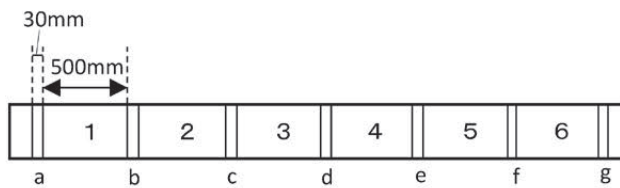


図1 試験体の採取方法

注:1～6:試験体(長さ500mm)

a～g:初期含水率測定用試片(長さ30mm)

2.1.2 栈木条件

栈木として試験に用いた資材、寸法、形状の条件を表1に示す。材に面的に接触する栈木（以下「面的接触栈木」という。）5種類（①プラダン、②珪藻土、③セルロースクロス、④研磨剤入り不織布（以下「不織布」という。）、⑤スタイロフォーム）と、線的に接触する栈木（以下「線的接触栈木」という。）3種類（⑥H型スギ、⑦樹脂製品（分解したシャッター式風呂フタ。以下「樹脂製品」という。）、⑧アルミアングル）の資材を栈木とし、対照として㉔スギ栈木を用いた。

面的接触栈木のうち、①プラダンは、空洞となる面を材

に接触させた。②珪藻土、③セルロースクロスおよび④不織布は、試験体に接するように置いた後、その上から栈木全体の合計厚さが20mmとなるように厚みを調整したスギ栈木（対照と同様に作製）を設置した。

また、対照の㉔スギ栈木は、気乾状態のスギ材を用い、表面はプレーナ仕上げとした。

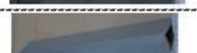
2.2 試験方法

2.2.1 乾燥試験

表2に人工乾燥スケジュール⁶⁾を示す。人工乾燥スケジュールについては、本研究の目的から、乾燥時の材色変化に着目した研究例におけるスギ乾燥スケジュール⁶⁾を参考に材色変化の少ないスケジュールとした。繊維方向に連続した生材状態の試験体に対し、1試験体につき1～3種類の異なる栈木を用いて、乾球温度75℃で人工乾燥を行った。栈木は、試験体の繊維方向に直角に交わるように配置し、人工乾燥終了時の目標含水率は10%以下とした。以降、本報では、人工乾燥開始時から人工乾燥終了時までの乾燥期間を「乾燥日数」という。

人工乾燥には、恒温恒湿器（株式会社エスベック製PR-4JおよびPR-4K）を使用した。図2に示すように、器内で木表を上にして栈積みし、上板と下板をクランプで固定して、木材試験体と栈木を密着させた。㉔スギ栈木、⑥H型スギおよび塗装試験体については、図2左図に示すように、栈木は試験体の左右にそれぞれ1本ずつ、試験体

表1 試験に用いた栈木の資材、寸法および形状

	資材	寸法(幅×厚さ×長さ)	形状
面的接触 栈木	①プラダン	20mm×28mm×200mm 切断した製品を両面テープで7枚貼り合わせ	
	②珪藻土	30mm×9mm×200mm	
	③セルロースクロス	30mm×6mm×200mm	
	④研磨剤入り不織布	30mm×5mm×200mm	
	⑤スタイロフォーム	30mm×30mm×200mm	
線的接触 栈木	⑥H型スギ	45mm×30mm×150mm 両側面に5mmの溝加工	
	⑦樹脂製品 (分解したシャッター式風呂フタ)	30mm×9mm×200mm	
	⑧アルミアングル	3mm×25mm×25mm×200mm (肉厚×縦×横×長さ)	
対照	㉔スギ栈木	30mm×30mm×200mm	

注：①と⑦、②と③と④、⑤と⑧はそれぞれ同一の試験材に設置。

表2 人工乾燥スケジュール⁶⁾

含水率範囲(%)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)
生～50	75	71	4
50～40	75	69.5	5.5
40～35	75	67	8
35～30	75	64	11
30～25	75	62	13
25～20	75	59.5	15.5
20～10	75	58	17
調湿(8h)	75	69	8

※引用6)「表1スギ」を引用

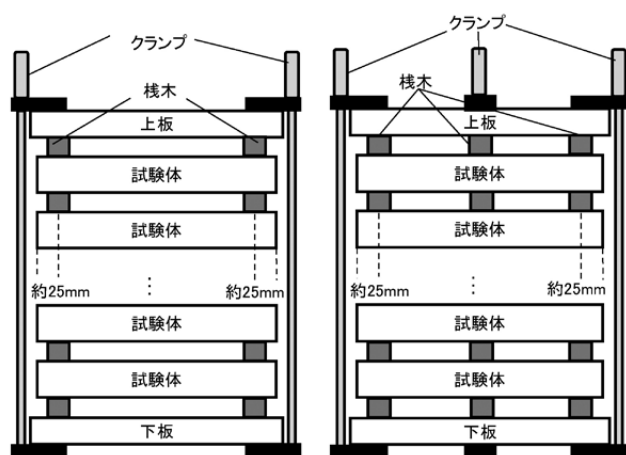


図2 棧積み方法

注: 木表を上にして棧積み。

左図: ⑤スギ材木、⑥H型スギ、塗装試験体

右図: ①プラダン、②珪藻土、③セルロースクロス、
④不織布、⑤スタイロフォーム、⑦樹脂製品、
⑧アルミアングル

の両端からそれぞれ約25mmの位置に材木の中心がくるように設置し、①プラダン、②珪藻土、③セルロースクロス、④不織布、⑤スタイロフォーム、⑦樹脂製品および⑧アルミアングルについては、図2右図に示すように、試験体の両端からそれぞれ約25mmの位置および中心に、それぞれ別の種類の材木を1本ずつ設置した。乾燥操作中、適宜、クランプの締め直しを行い、密着状態を維持した。また、適宜すべての試験体を恒温恒湿器から取り出して重量を測定し、試験前に算出した各試験体の初期含水率および重量から試験体の含水率を推定し(以下「推定含水率」という。)、乾燥操作を行った。そして、推定含水率が10%以下となった時点で8時間の調湿を行った。

2.2.2 材色の測定

木材試験体表面の材色の測定は、簡易型分光色差計(日本電色工業株式会社製 NF333、光源 C、視野角 2°、測定径 8mm)を用い、L*a*b*表色系により評価した。L*a*b*表色系では、L*が明度を表し、a*と b*が色相と彩度をあわせて表すクロマチックネス指数である⁷⁾。L*は、値が大きくなるほど白に近づき明るく、小さくなるほど黒に近づき暗くなることを表す⁷⁾。a*は値が大きくなるほど赤に、小さくなるほど緑に近づき、b*は値が大きくなるほど黄に、小さくなるほど青に近づくことを表す⁷⁾。また、色の相対的な表示には基準の色に対する色差を用いた⁷⁾。

材色の測定箇所は、材木接触面では木表面の早材部2箇所、材木非接触面では木表面の早材部3箇所とし、同一箇所でも経時的に測定できるように、直径17mmの円を描き、その内側で得た値をそれぞれ平均して各試験体の値とした。なお、線接触材木の場合は、接触する2線の間を材木接触面の測定箇所とした。また測定は、人工乾燥の前と後および人工乾燥後の表面切削後に行った。人工乾燥後の測定(以下「乾燥後」という。)は、材温が常温となった後に行った。また、表面切削後の測定(以下「表面切削後」という。)については、人工乾燥後の測定後に材色の測定位置を記録し、プレーナを用いて測定面を2mm切削、材色を測定した。

測定後、材木接触面と材木非接触面との色差(ΔE^*_{ab})を下記の式により算出し、乾燥条件ごとに平均値を求めた。

$$\Delta E^*_{ab} = \{ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \}^{1/2} \cdots (ア)$$

ここで、 ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* は、それぞれ材木接触面と材木非接触面の値の差である。

また、材木痕の程度は、(ア)式により求めた2mmの表面切削後の色差(ΔE^*_{ab})を用い、日本電色工業株式会社が示す、色の許容差を示した表3⁸⁾により評価を行った。本報では、表3⁸⁾の3級(実用色差b)、すなわち、色の離間比較でほぼ同一と認めることができるレベルである色差 ΔE^*_{ab} が2.5を基準とし、判定を行うこととした。

2.2.3 材木痕低減効果確認

塗装による材木痕低減効果を確認するため、塗膜型の合成樹脂塗料で試験材の木表面に2回塗装を行った後、スギ材木(対照と同様に作製)を用いて人工乾燥を行う条件(以下「塗装試験体」という。)を設定した。人工乾燥および材色測定は、面的接触材木および線接触材木の試験体と同様に実施した。

表3 色の許容差⁸⁾

色差の大きさ	名 称	摘 要
～0.2	測色不能領域	
0.3	識別色差	同一物体の測色再現精度
0.6	1 級 (厳格色差)	各種の誤差要因を考えた場合の実用的な許容差の限界
1.2	2 級 (実用色差 a)	並べて判定した場合に、ほとんどの人が容易に色差を認めることができる。 マンセル AAA 級、防衛庁 OD 色
2.5	3 級 (実用色差 b)	離間して判定した場合、ほぼ同一と認めることができる。 マンセル AA 級、JIS 標準色票
5.0	4 級	経時比較した場合に、ほぼ同一と認めることができる マンセル A 級
10.0	5 級	マーキングペン (JIS S 6037-1992)
20.0	6 級	色名レベルの色の管理 自動車部品の塗膜通則 (JIS D 0202-1988) 踏切諸施設の色彩 (JIS E 3701-1984) スタンプ台 (JIS S 6016-1991) 鉛筆、色鉛筆及びシャープペンシルに用いる しん (JIS S 6005-1992) 安全色彩使用通則 (JIS Z 9101-1986) 配管系の識別表示 (JIS Z 9102-1987) 航空宇宙・配管・識別 (JIS W 0601-1990)

※引用8)「色の許容差の事例」のタイトルを編集

3. 結果および考察

3.1 含水率および乾燥日数

表4に、木材試験体の初期含水率、仕上がり含水率、乾燥日数を示す。初期含水率は89～124%、乾燥後の仕上がり含水率は6～9%程度であった。乾燥日数は、6.2～10.3日であった。

表4 初期含水率、仕上がり含水率
および乾燥日数

	初期含水率 (%)	仕上がり 含水率(%)	乾燥日数 (日)
①プラダン	123.5	8.4	9.1
②珪藻土	98.4	6.6	6.6
③セルロースクロス	98.4	6.6	6.6
④不織布	98.4	6.6	6.6
⑤スタイロフォーム	103.7	7.0	10.3
⑥H型スギ	96.1	8.7	6.2
⑦樹脂製品	123.5	8.4	9.1
⑧アルミアングル	103.7	7.0	10.3
塗装試験体	89.0	7.4	7.0
㉔スギ桤木(対照)	118.5	8.7	7.3

注: 初期含水率および仕上がり含水率は平均値(n=18)

注: 乾燥温度 75℃

3.2 桤木接触面と非接触面の色差 ΔE^*_{ab}

3.2.1 面的接触桤木

各桤木条件で桤木痕が顕著に表れた試験体の乾燥後および表面切削後の試験体の様子を図3に示す。また、桤木接触面を色差基準色とした場合の桤木非接触面との色差 ΔE^*_{ab} を図4に示す。

乾燥後および表面切削後の色差を比較すると、①プラダン、②珪藻土および㉔スギ桤木では乾燥後の値に有意な差がみられ(t検定、危険率1%)、表面2mmの表面切削で桤木痕の低減が確認された。

表面切削後の色差の平均値については、全ての面的接触桤木条件において㉔スギ桤木との統計的に有意な差(一元配置分散分析およびTukey法による多重比較、危険率1%)は認められなかったものの、桤木痕は㉔スギ桤木と比べ軽微となり、①プラダンが最も色差の平均値が小さくなった。表面切削後の色差の平均値は、基準とした色差 $\Delta E^*_{ab}2.5$ (表3の3級(実用色差b))、すなわち、色の離間比較でほぼ同一と認めることができるレベル⁸⁾を満たさなかった。しかし、①プラダンおよび②珪藻土の各平均値は2.7、2.9と低い値を示し、なかには桤木痕がほとんど視認されない試験体も存在した。

また、乾燥後の桤木接触面は、①プラダン、④不織布、⑤スタイロフォームおよび㉔スギ桤木が明色化し、②珪藻土および③セルロースクロスが暗色化していた。前報で述べたように、桤木非接触面では、乾燥に伴う抽出成分の材表面への移動による蓄積が見てとれること³⁾から、②珪藻土および③セルロースクロスは水分の吸収性が良

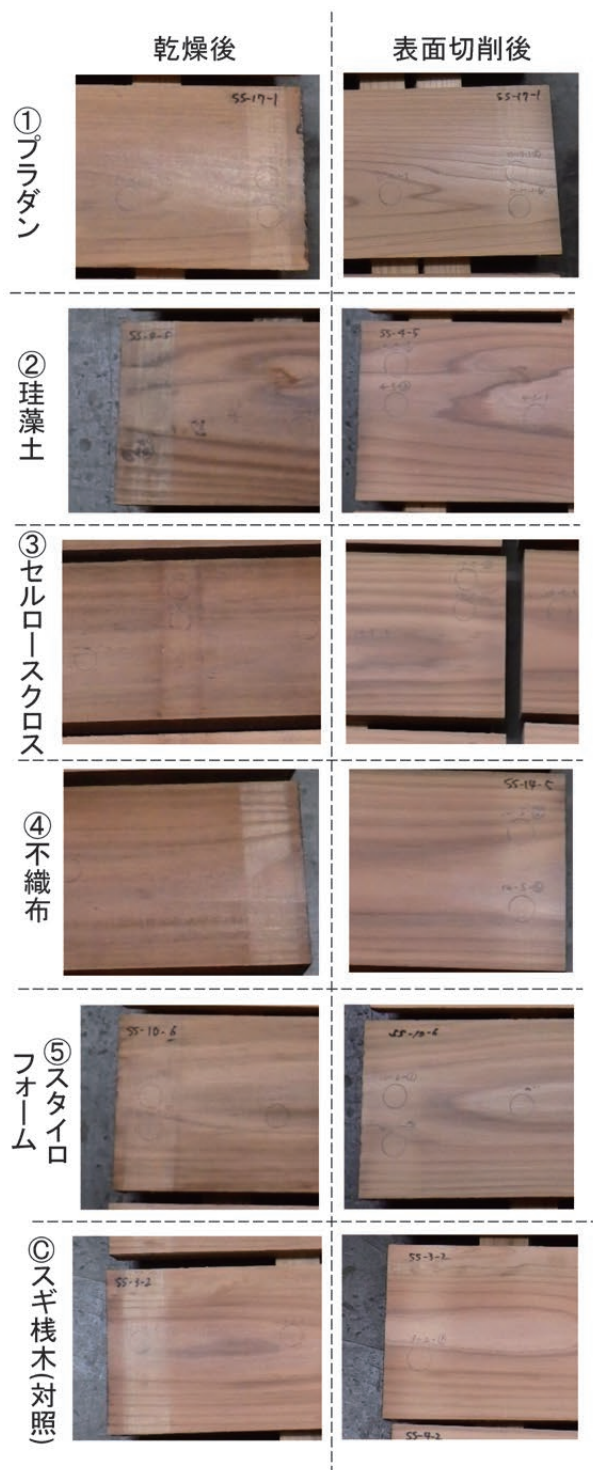


図3 乾燥後および表面切削後の試験体(面的接触桧木)の様子

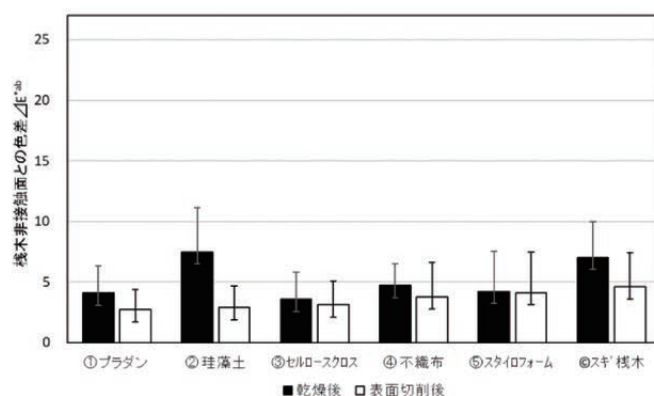


図4 乾燥後および表面切削後における桧木非接触面との色差(面的接触桧木)

注: 平均値(n=18)。バーは標準偏差。

表面切削後: プレーナを用いて表面から 2mm 切削後。

い材質であったため、程度の違いはあるものの、桧木非接触面と同様の現象が起こったと考えられる。

以上のことから、スギ心材を生材から 75°C で人工乾燥した場合、材と面的に接触する桧木では、桧木痕の完全な解消には至らないことが確認された。しかし、既報のとおり、生材から 55°C で人工乾燥させた場合、表面切削後の色差は有意に小さくなる³⁾ ことから、乾燥温度を下げるにより桧木痕の完全な解消に至るものと推察される。

3.2.2 線接触桧木

各桧木条件で桧木痕が顕著に表れた試験体の乾燥後および表面切削後の様子を図 5 に示す。また、桧木接触面(線的に接触する 2 線の間)を色差基準色とした場合の桧木非接触面との色差 ΔE^*_{ab} を図 6 に示す。乾燥後の色差を比較すると、⑥ H 型スギ、⑦ 樹脂製品および⑧ アルミアングルについては、接触する 2 線の間の変色は小さく、⑥ スギ桧木のみで有意な差 (t 検定、危険率 1%) がみられた。図中に + または ++ を付記しているものは、一元配置分散分析で差が認められたものに対して Tukey 法により多重比較した結果、有意な差が認められた条件である (危険率 5% または 1%)。乾燥後の色差では全ての条件で、表面切削後では⑦ 樹脂製品と⑧ アルミアングルにおいて、⑥ スギ桧木との間に有意な差が認められた。⑥ H 型スギでは統計的に有意な差は認められなかったものの、色差の平均値は 2.8 と小さかった。しかしながら、⑥ H 型スギ、⑦ 樹脂製品および⑧ アルミアングルについて、図 5 からわかるように、材と桧木との線状の接触部分 2 線については淡色化していることが目視で確認された。

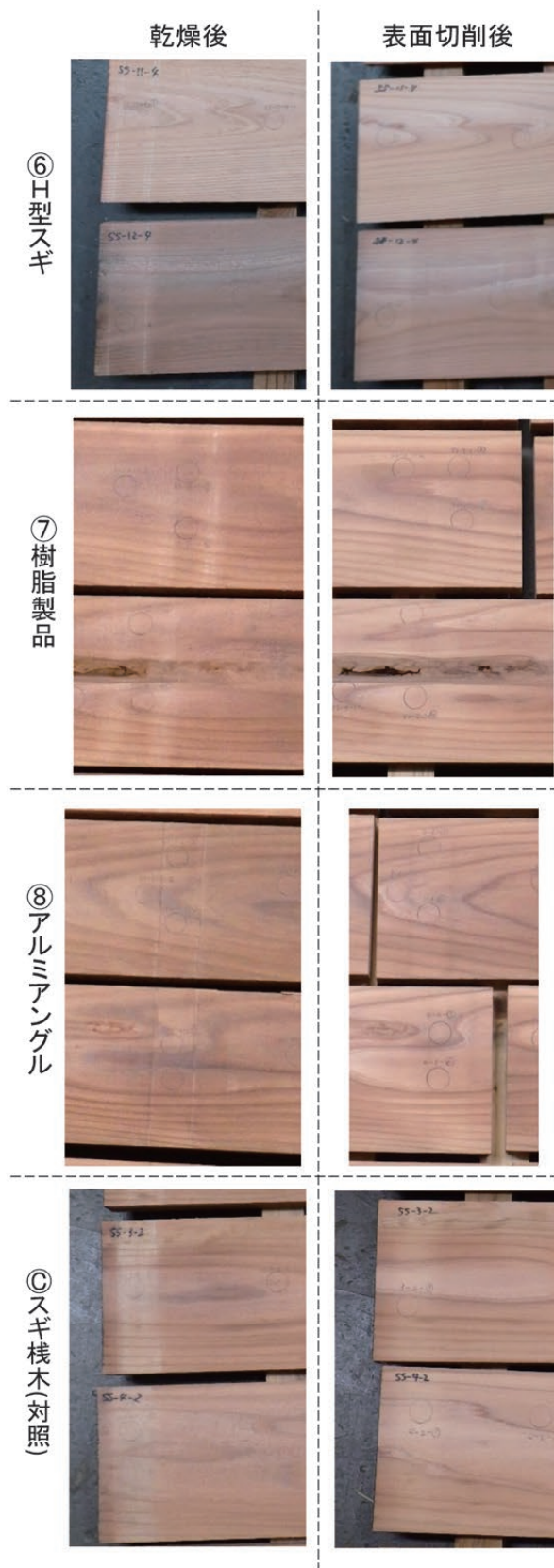


図5 乾燥後および表面切削後の試験体(線的接触積木)の様子

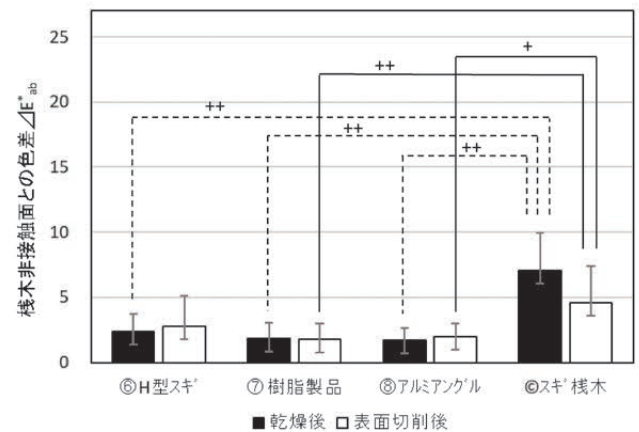


図6 乾燥後および表面切削後における積木非接触面との色差(線的接触積木)

注: 平均値(n=18)。バーは標準偏差。

表面切削後: プレーナを用いて表面から 2mm 切削後。

+ : 条件間にそれぞれ危険率 5%で有意差が認められたことを示す(Tukey 法)。

++ : 条件間にそれぞれ危険率 1%で有意差が認められたことを示す(Tukey 法)。

表面切削後の色差の平均値は、⑦樹脂製品と⑧アルミアンゲルで 1.8、2.0 となり、基準とした色差 $\Delta E^*_{ab}2.5$ (表 3 の 3 級 (実用色差 b))、すなわち、色の離間比較でほぼ同一と認めることができるレベル⁸⁾) を満たした。全ての線的接触積木条件で、⑨スギ積木と比べて色差の平均値の低減がみられた。材と積木との線状の接触部分 2 線の変色についてもほとんど視認されなかった。

以上のことから、材と線的に接触する積木を用いることにより、事前の天然乾燥期間を設けることなく生材から乾燥温度 75°C で人工乾燥を行っても、積木痕が低減し解消できることがわかった。また、接触面が線状であり、接触する 2 線間において、木材表面への水分移動を妨げないことが、積木痕の低減に有利に働くと考えられる。

ただし、線的接触積木の使用については、荷重によるめり込み量が増加することが懸念されるため、材との接触部分に丸みを持たせるまたは積積み 1 段あたりの積木挿入本数を増やす等の対策が必要である。

3.2.3 塗装試験体

積木痕が最も顕著であった塗装試験体の乾燥後および表面切削後の試験体の様子を図 7 に示す。また、積木接触面を色差基準色とした場合の積木非接触面との色差 ΔE^*_{ab} を図 8 に示す。図中の++の付記は、一元配置分散分析で差が認められたものに対して Tukey 法により多重比較した結果、有意な差が認められた条件である (危険率 1%) 。

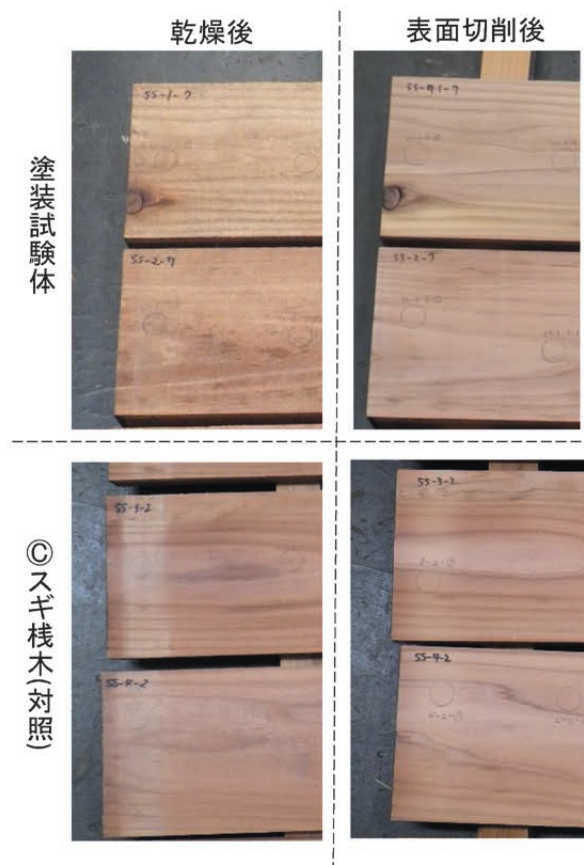


図7 乾燥後および表面切削後の試験体(塗装試験体)の様子

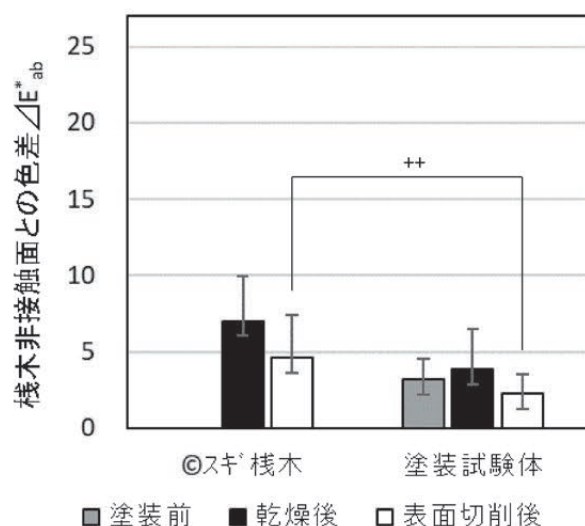


図8 塗装前、乾燥後および表面切削後における木材非接触面との色差(塗装試験体)

注: 図6と同様

表面切削後の色差の平均値は 2.3 となり、基準とした色差 $\Delta E^*_{ab} 2.5$ (表 3 の 3 級 (実用色差 b))、すなわち、色の離間比較でほぼ同一と認めることができるレベル⁸⁾を満たした。各栈木条件での乾燥後の色差の平均値を表 5 に示す。塗装試験体の色差の平均値 3.9 は、概ね各面的接触栈木の色差の平均値と同等または小さく、各線的接触栈木の色差の平均値より大きくなっていた。また、目視により、表面 2mm の切削による栈木痕の低減および塗装の除去が確認された。このことから、一手間にかかるが、塗装は栈木痕低減の一つの手段と考えられる。また、塗装により、表面の乾燥および水分の移動を抑制することで、栈木痕が低減したことから、水分移動、乾燥による抽出成分の濃縮が栈木痕発生の一因であると考えられた。

表5 各栈木条件における乾燥後の色差の平均値

	栈木の資材	色差の平均値
面的接触 栈木	①プラダン	4.1
	②珪藻土	7.5
	③セルロースクロス	3.6
	④不織布	4.7
	⑤スタイロフォーム	4.2
線的接触 栈木	⑥H型スギ*	2.4
	⑦樹脂製品	1.9
	⑧アルミアングル	1.7
塗装試験体	スギ* 栈木	3.9
対照	◎スギ* 栈木(対照)	7.0

注: 平均値(n=18)。

4. まとめ

奈良県産スギ心材について、栈木の材質および形状を変えて生材から乾燥温度 75℃で人工乾燥試験を行った結果、以下のことが確認された。

- 1) 材表面をプレーナにて 2mm 切削することにより、ほとんどの条件で栈木接触面と栈木非接触面の色差が小さくなったことから、表面切削により栈木痕をある程度取り除くことができると考えられる。
- 2) スギ心材を生材から 75℃で人工乾燥させる場合、材と面的に接触する栈木では、表面 2mm の切削により目視では栈木痕の低減がみられたものの、統計的には有意な差がみられず、低減したとはいえなかつ

た。しかしながら、乾燥温度を 55℃まで低下させることで解消に至ると推察された。

3) 材と線的に接触する栈木を用いた場合、事前の天然乾燥期間を設けることなく生材から乾燥温度 75℃で人工乾燥を行っても、栈木痕が低減し解消に至った。

ただし、線的接触栈木の使用については、荷重によるめり込み量が増加することが懸念されるため、材との接触部分に丸みを持たせるまたは栈積み 1 段あたりの栈木挿入本数を増やす等の対策が求められる。今後は線状に接触する木製栈木の形状を工夫し、作製の容易さや耐久性等に実用上の問題がないか、さらなる検討を行う必要がある。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、試験材料の作製およびご提供をいただいた森林総合研究所 木材加工・特性研究領域 木工室の皆様に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 寺澤眞：木材乾燥のすべて. 滋賀. 海青社, 1994, 139
- 2) 日本木材学会 機械加工研究会：木材加工用語辞典. 滋賀. 海青社, 2013, 121
- 3) 森下真衣, 中晶平：人工乾燥時の温度および含水率が栈木痕の発生に及ぼす影響. 奈良県森林技術センター研究報告. 53, 17-32 (2024)
- 4) Toba K, Kanbayashi T, Murano T : Effects of Drying Temperatures on the Occurrence of Sticker Stain in Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don). FOREST PRODUCTS JOURNAL 71 (3), 2021. 209-215
- 5) 佐々木裕介：スギ板材の乾燥における材色変化と栈木痕の調査. 木材工業. 79(9). 336-343 (2024)
- 6) 成瀬達也, 柳川靖夫, 寺西康浩：奈良県産スギ・ヒノキ造作材の乾燥条件が材色に及ぼす影響(第 1 報)－生材に対する乾燥温度の検討－. 奈良県森林技術センター研究報告. 48, 5-18 (2019)
- 7) 今村博之ほか編：”18 木材の染色・着色”. 木材利用の化学. 東京, 共立出版株式会社, 1983, 251-254
- 8) 日本電色工業株式会社：色と光・色の数値化. 日本電色工業株式会社.
https://www.nippondenshoku.co.jp/web/japanese/color/color_story (閲覧日 2024 年 11 月 1 日)

(2025 年 3 月 31 日 受理)