

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

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について検討した。すなわち、奈良県産スギ心材で、厚さ 25mm および 50mm の板材に対して、人工乾燥開始時の含水率（以降、初期含水率と呼ぶ）を生材（73～129%）、40%および 60%に、また乾燥温度を 55℃、75℃および 95℃に設定して人工乾燥を行うとともに、天然乾燥も実施し、乾燥後と表面 2mm 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、表面 2mm 切削後の両測定面の色差で評価した。

その結果、厚さが 25mm の板材では、乾燥温度が低い場合と初期含水率が低い場合に栈木痕は軽微となった。一方、厚さが 50mm の板材では、乾燥温度および初期含水率の栈木痕への影響は、有意には見られなかった。

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⁾。図 1³⁾のように、栈木痕のある板の断面を顕微鏡で観察すると、栈木非接触面では材表面の細胞、特に放射柔細胞に着色物が多く含まれている様子が見てとれる。抽出成分が乾燥に伴って内部から表面に移動し、蓄積したと推察された。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。

他県でも栈木痕低減のための検討がなされており、亀山らは、乾燥初期に低温条件にすることが有効であると報告している⁴⁾。また、乾燥初期の蒸煮処理が栈木痕発生に大きく影響するという報告⁵⁾や、栈木の材質を変えて乾燥試験を実施した例⁶⁾はあるものの、栈木痕が発生しにくい乾燥方法についてはまだ確立されていない。

そこで本研究では、県産スギ心材について、板厚さ、乾

燥温度および初期含水率を変えて乾燥を行い、乾燥後および表面 2mm 切削後の栈木接触面と栈木非接触面の材色を比較した。

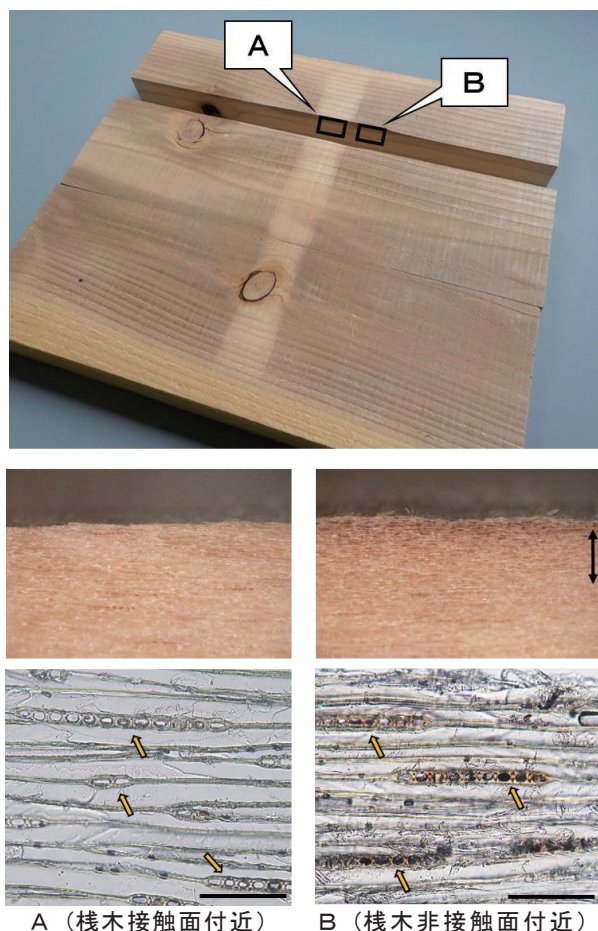


図 1 栈木痕を有するスギ心材の断面³⁾

上：顕微鏡観察位置
 中：実体顕微鏡による観察。矢印は 1mm を示す。
 下：光学顕微鏡による観察。バーは 0.1mm を示す。
 矢印：放射柔細胞

2. 材料および方法

2.1 材料

2.1.1 木材試験体

(1) 乾燥温度が栈木痕の発生に及ぼす影響

奈良県産スギ生材の心材板目板で厚さの異なる2種類を使用した。大きさが、幅120mm、厚さ25mm、長さ2000mmの板(以降、厚さ25mmを薄板という)を18枚と、幅120mm、厚さ50mm、長さ2000mmの板(以降、厚さ50mmを厚板という)を15枚とした。図2上図に示すように、1枚の板材より長さ500mmの試験体を3体ずつ採取した。このとき、元口側と末口側での材質の違いによる影響を除くため、各条件に供する試験体の採取位置をばらつかせた。試験体の採取後、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、木口面からの乾燥を抑止した。この後、生材の状態を2.2.1(1)に供した。また、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2上図a~d、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各試験体の含水率とした。以降、本報では、人工乾燥開始時の試験体の含水率を初期含水率と呼ぶこととする。

(2) 初期含水率が栈木痕の発生に及ぼす影響

2.1.1(1)と同様に、奈良県産スギ生材の心材板目板で厚さの異なる2種類を使用した。薄板は、幅120mm、厚さ25mm、長さ4000mmで18枚を、厚板は、幅120mm、厚さ50mm、長さ4000mmで15枚を用いた。図2下図に、試験体の採取方法を示す。1枚の板材より長さ500mmの試験体を、各条件の採取位置をばらつかせて5体ずつ採取した後、2.1.1(1)と同様に木口面を封じた。また、2.1.1(1)と同様に求めた含水率は、2.1.1(2)

では天然乾燥前の試験体の含水率であるため、試験前含水率と呼ぶこととする。

次に、天然乾燥により初期含水率の調整を行った。すなわち、図3に示すとおり、試験体を木表を上にして栈積みし、上板と下板をクランプ固定して、当センターの風通しのよい屋内にて天然乾燥を実施した。栈木は2.1.2のとおりとし、試験体の左右にそれぞれ1本ずつ、試験体の両端からそれぞれ約25mmの位置に栈木の中心がくるように設置した。乾燥期間中、適宜すべての試験体の重量を測定した。条件I~IVについては、試験前含水率および重量から求めた推定含水率が目標含水率(40%または60%)に達したものはその時点で乾燥を終了し、梱包用フィルムで包んで密封し、その時点の含水率を保った。この含水率は、人工乾燥開始時の含水率でもあることから、初期含水率と呼ぶこととする。屋内にて保管した後、2.2.1(2)に供した。

2.1.2 栈木

2.1.1(2)および2.2.1の乾燥試験には、気乾状態のスギ材から、幅約30mm、厚さ約20mm、長さ約200mmの寸法に製材した栈木を使用した。表面はプレーナ仕上げとした。

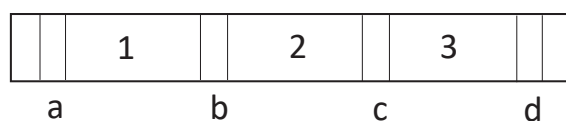
2.2 試験方法

2.2.1 乾燥試験

(1) 乾燥温度が栈木痕の発生に及ぼす影響

表1に薄板および厚板の乾燥条件⁷⁻⁹⁾を示す。乾燥条件については、乾燥時の材色変化に着目した研究例⁹⁾を参考とし、材色変化の少ない乾燥スケジュールとした。繊維方向に連続した試験体に対し、異なる3つの乾球温度55°C、75°Cおよび95°C(条件1~3)で人工乾燥を行い、温度が栈木痕の発生に及ぼす影響を調べた。また、人工乾燥終了時の目標含水率は20%以下とした。

【乾燥温度に関する検討】



【初期含水率に関する検討】

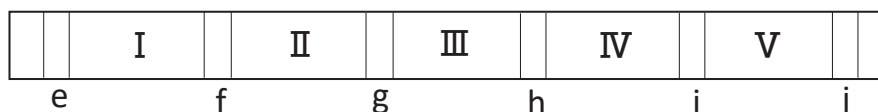


図2 試験体の採取方法

注: 1~3、I~V: 試験体(長さ500mm)
a~j: 含水率測定用試片(長さ30mm)

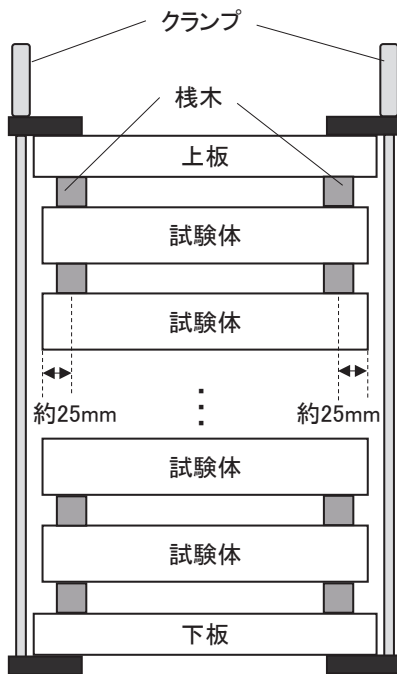


図3 栈積み方法

人工乾燥には、恒温恒湿器（株式会社エスペック製 PR-4J および PR-4K）を使用した。図3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。栈木は試験体の左右にそれぞれ1本ずつ、試験体の両端からそれぞれ約25mmの位置に栈木の中心がくるように設置した。乾燥操作中、適宜、締め直しを行い、密着状態を維持した。栈積みした一番上の試験体の含水率を、木材水分計（株式会社ケツト科学研究所製 HM-520）を用いて測定し、20%以下となった段階で8時間の調湿を行い、その後、すべての試験体の重量を測定した。また、測定した重量および2.1.1(1)で算出した初期含水率から、仕上がり含水率を推定した。

(2) 初期含水率が栈木痕の発生に及ぼす影響

表2に薄板および厚板の乾燥条件⁷⁻⁹⁾を示す。繊維方向に連続した試験体に対し、異なる5つの乾燥条件(条件I~V)にて乾燥し、初期含水率が栈木痕の発生に及ぼす影響を調べた。すなわち、2.1.1(2)で示したように、あらかじめ含水率を40%または60%を目標として天然乾燥により調整した試験体に対して、乾球温度55℃または75℃で人工乾燥を行う4条件(条件I~IV)および天然乾燥のみを行う条件(条件V)を設定した。

2.2.1(1)と同様に栈積みし、2.2.1(1)と同様の機器を用いて人工乾燥を行った。乾燥操作中、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、2.1.1

(2)で算出した試験前含水率および重量から推定した含水率をもとに乾燥操作を行った。試験体の平均含水率が12%以下となった時点で8時間の調湿を行った。条件Vの天然乾燥終了時の目標含水率は25%以下とした。

また、乾燥後の試験体について、中央部より含水率測定用試片(長さ30mm)を切り出し、全乾法により仕上がり含水率を求めた。

2.2.2 材色の測定

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¹⁰⁾。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¹⁰⁾。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¹⁰⁾。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¹⁰⁾。

測定箇所は、栈木接触面では木表面の早材部2箇所、栈木非接触面では木表面の早材部3箇所とし、同一箇所を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。測定は、条件1~3については人工乾燥前後およびプレーナ切削後、条件I~IVについては天然乾燥前および人工乾燥前後とプレーナ切削後、条件Vについては天然乾燥前後およびプレーナ切削後に行った。人工乾燥後の測定は、材温が常温となった後に行った。また、プレーナ切削については、常温での測定または条件Vの天然乾燥後の測定後、材色の測定位置を記録した後、プレーナを用いて測定面を2mm切削し、切削前と同様に材色を測定した。

測定後、栈木接触面と栈木非接触面との色差(ΔE*_{ab})を(A)式により算出し、乾燥条件ごとに平均値を求めた。

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

ここで、ΔL*、Δa*、Δb*は、それぞれ栈木接触面と栈木非接触面の値の差である。

また、栈木痕の程度は、(A)式により求めた表面2mm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3¹¹⁾により評価を行った。本報では、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ΔE*_{ab}が2.5を基準とし、判定を行うこととした。

表 1 乾燥条件⁷⁻⁹⁾

| 条件名 | | 条件1 | | | 条件2 | | | 条件3 | | |
|------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|
| 人工乾燥 | 含水率範囲(%) | 乾球温度(°C) | 湿球温度(°C) | 乾湿球温度差(°C) | 乾球温度(°C) | 湿球温度(°C) | 乾湿球温度差(°C) | 乾球温度(°C) | 湿球温度(°C) | 乾湿球温度差(°C) |
| | 生~50 | 55 | 51 | 4 | 75 | 71 | 4 | 95 | 91 | 4 |
| | 50~40 | 55 | 49.5 | 5.5 | 75 | 69.5 | 5.5 | 95 | 89.5 | 5.5 |
| | 40~35 | 55 | 47 | 8 | 75 | 67 | 8 | 95 | 87 | 8 |
| | 35~30 | 55 | 44 | 11 | 75 | 64 | 11 | 95 | 84 | 11 |
| | 30~25 | 55 | 42 | 13 | 75 | 62 | 13 | 95 | 82 | 13 |
| | 25~20 | 55 | 39.5 | 15.5 | 75 | 59.5 | 15.5 | 95 | 79.5 | 15.5 |
| | 20~10 | 55 | 38 | 17 | 75 | 58 | 17 | 95 | 78 | 17 |
| | 調湿(8h) | 55 | 49 | 8 | 75 | 69 | 8 | 95 | 89 | 8 |

表 2 乾燥条件⁷⁻⁹⁾

| 条件名 | | 条件 I | | | 条件 II | | | 条件 III | | | 条件 IV | | | 条件 V |
|--------|----------|--------------------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|--------------------------|
| 乾燥方法 | | 天然乾燥→人工乾燥 | | | | | | | | | | | | 天然乾燥のみ |
| 天然乾燥 | | 目標含水率に達するまで屋内にて棧積み | | | | | | | | | | | | 含水率がほとんど変化しなくなるまで屋内にて棧積み |
| | 含水率(%) | 40 | | | 40 | | | 60 | | | 60 | | | |
| 人工乾燥 | 含水率範囲(%) | 乾球温度(°C) | 湿球温度(°C) | 乾湿球温度差(°C) | 乾球温度(°C) | 湿球温度(°C) | 乾湿球温度差(°C) | 乾球温度(°C) | 湿球温度(°C) | 乾湿球温度差(°C) | 乾球温度(°C) | 湿球温度(°C) | 乾湿球温度差(°C) | |
| | 生~50 | 55 | 51 | 4 | 75 | 71 | 4 | 55 | 51 | 4 | 75 | 71 | 4 | |
| | 50~40 | 55 | 49.5 | 5.5 | 75 | 69.5 | 5.5 | 55 | 49.5 | 5.5 | 75 | 69.5 | 5.5 | |
| | 40~35 | 55 | 47 | 8 | 75 | 67 | 8 | 55 | 47 | 8 | 75 | 67 | 8 | |
| | 35~30 | 55 | 44 | 11 | 75 | 64 | 11 | 55 | 44 | 11 | 75 | 64 | 11 | |
| | 30~25 | 55 | 42 | 13 | 75 | 62 | 13 | 55 | 42 | 13 | 75 | 62 | 13 | |
| | 25~20 | 55 | 39.5 | 15.5 | 75 | 59.5 | 15.5 | 55 | 39.5 | 15.5 | 75 | 59.5 | 15.5 | |
| 20~10 | 55 | 38 | 17 | 75 | 58 | 17 | 55 | 38 | 17 | 75 | 58 | 17 | | |
| 調湿(8h) | 55 | 49 | 8 | 75 | 69 | 8 | 55 | 49 | 8 | 75 | 69 | 8 | | |

注：天然乾燥開始日(薄板)：条件 I ~IVは 2022 年 10 月 12 日、条件 Vは 2022 年 10 月 4 日
 天然乾燥開始日(厚板)：条件 I、IIは 2022 年 10 月 31 日、条件 III、IVは 2022 年 10 月 25 日、
 条件 Vは 2022 年 10 月 3 日

表 3 色の許容差¹¹⁾

| 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¹¹⁾「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 乾燥温度が栈木痕の発生に及ぼす影響

3.1.1 含水率および乾燥日数

表4に、初期含水率、仕上がり含水率、乾燥日数を示す。薄板、厚板ともに初期含水率は120%以上、乾燥後の仕上がり含水率はともに11~15%程度であった。

3.1.2 材色

各条件における乾燥前、乾燥後およびプレーナ切削後のL*、a*、b*の測定結果を板の厚さ別に示す(図4、図5)。図中に++を付記しているものは、栈木接触面と非接触面の各値について、t検定の結果、有意差が認められた条件である(危険率1%)。

明度を示すL*については、いずれの乾燥温度でも、乾燥後の栈木接触面と非接触面で有意差が認められ、栈木接触面は非接触面よりも明度が高かった。それぞれに乾燥前後の値を比較すると、非接触面では乾燥温度が高いほど大きく減少したのに対し、接触面での減少量は小さく、温度が低い条件1(55°C)ではほとんど変化しなかった。

赤みを示すa*については、非接触面、接触面ともに乾燥により減少したが、その減少量は、接触面の方が大きい傾向にあり、栈木接触面は非接触面よりも赤みが弱い傾向にあった。その傾向は、乾燥温度が高いほど顕著であり、乾燥後では、条件3(95°C)においてのみ有意差が認められた。

表4 初期含水率、仕上がり含水率
および乾燥日数

薄板(厚さ25mm)

| | 条件1 | 条件2 | 条件3 |
|------------|-------|-------|-------|
| 初期含水率(%) | 128.7 | 123.8 | 126.2 |
| 仕上がり含水率(%) | 15.1 | 11.5 | 11.2 |
| 乾燥日数(日) | 7.9 | 6 | 4.1 |

厚板(厚さ50mm)

| | 条件1 | 条件2 | 条件3 |
|------------|-------|-------|-------|
| 初期含水率(%) | 125.8 | 122.9 | 121.2 |
| 仕上がり含水率(%) | 15.1 | 12.6 | 10.9 |
| 乾燥日数(日) | 24.8 | 24.8 | 13.8 |

注：初期含水率および仕上がり含水率は
平均値(薄板：n=18、厚板：n=15)

注：条件1：乾燥温度 55°C
条件2：乾燥温度 75°C
条件3：乾燥温度 95°C

黄みを示すb*についても、非接触面、接触面ともに乾燥により減少したが、その減少量は、非接触面の方が大きい傾向にあり、栈木接触面は非接触面よりも黄みが強い傾向にあった。その傾向は、薄板における条件1と条件2において顕著であり、有意差が認められた。

以上のように、栈木非接触面と接触面では、乾燥によるL*、a*、b*各値の減少量が異なる。栈木非接触面の方が、接触面よりもL*が大きく、a*がやや小さく、b*がやや大きく低減することにより、栈木痕として色の差異が生じることがわかった。すなわち、栈木接触面は非接触面よりも明度が高く、赤みが弱く、黄みが強いといえる。

さらに、栈木接触面のL*、a*、b*各値はプレーナ切削によってあまり変化しないが、非接触面のL*が増加、a*が減少、b*が増加することにより、栈木接触面との差が減少した。

3.1.3 色差 ΔE^*_{ab}

乾燥後、プレーナ切削後の試験体の様子を図6に示すとともに、栈木接触面を色差基準色とした場合の栈木非接触面との色差 ΔE^*_{ab} を図7に示す。図中に++を付記しているものは、切削後の結果について、1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、有意差が認められた条件である(危険率1%)。

いずれの条件においても、t検定により、プレーナ切削前後の値に有意差(危険率1%)がみられたものの、表面切削後も視認では栈木痕がわずかに認められ、完全には除去されなかった。色差も2.5を超え、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¹¹⁾には至らなかった。この目標レベルには達することはできなかったが、今回検討した条件では、プレーナ切削後の薄板では55°Cの乾燥が色差は有意に小さいことから、乾燥温度を下げることで、栈木痕の軽減につながると考えられた。

一方、厚板は95°Cで乾燥させたものが平均値では最も色差が小さかったものの、条件間での有意差はなかった。色差の平均値も2.5を超え、薄板と同様に、表3の3級(実用色差b)のレベルには至らなかった。

栈木痕は乾燥に伴う水分の蒸発時に、熱の働きで空気中の酸素と反応することで生成された着色物質や、加水分解により生成された暗色物質が材表面へ移動集積することで変色が起こり、発生するといわれている¹²⁾。昇温は、可溶成分を増加させ、蒸発速度を速くさせることから、栈木非接触面の材表面への着色物質の集積量を増加させ、より顕著に栈木痕を発生させる可能性が高い。

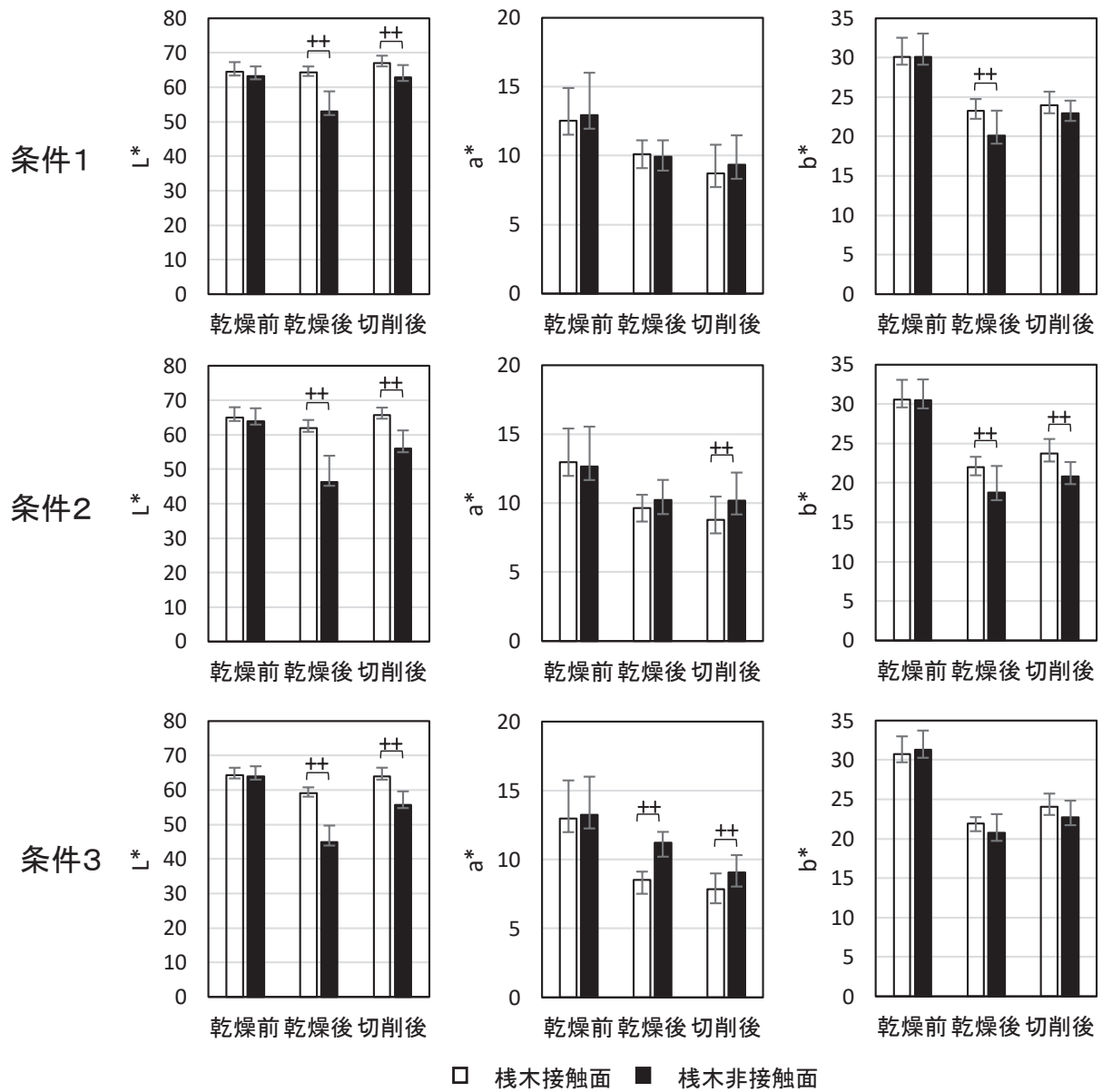


図4 棧木接触面および棧木非接触面でのL*、a*、b*の測定結果(薄板)

注：平均値、n=18。バーは標準偏差。

切削後：プレーナを用いて表面から2mm切削後。

注：条件1：乾燥温度55℃

条件2：乾燥温度75℃

条件3：乾燥温度95℃

++：棧木接触面と棧木非接触面との間にそれぞれ

危険率1%で有意差が認められたことを示す(t検定)。

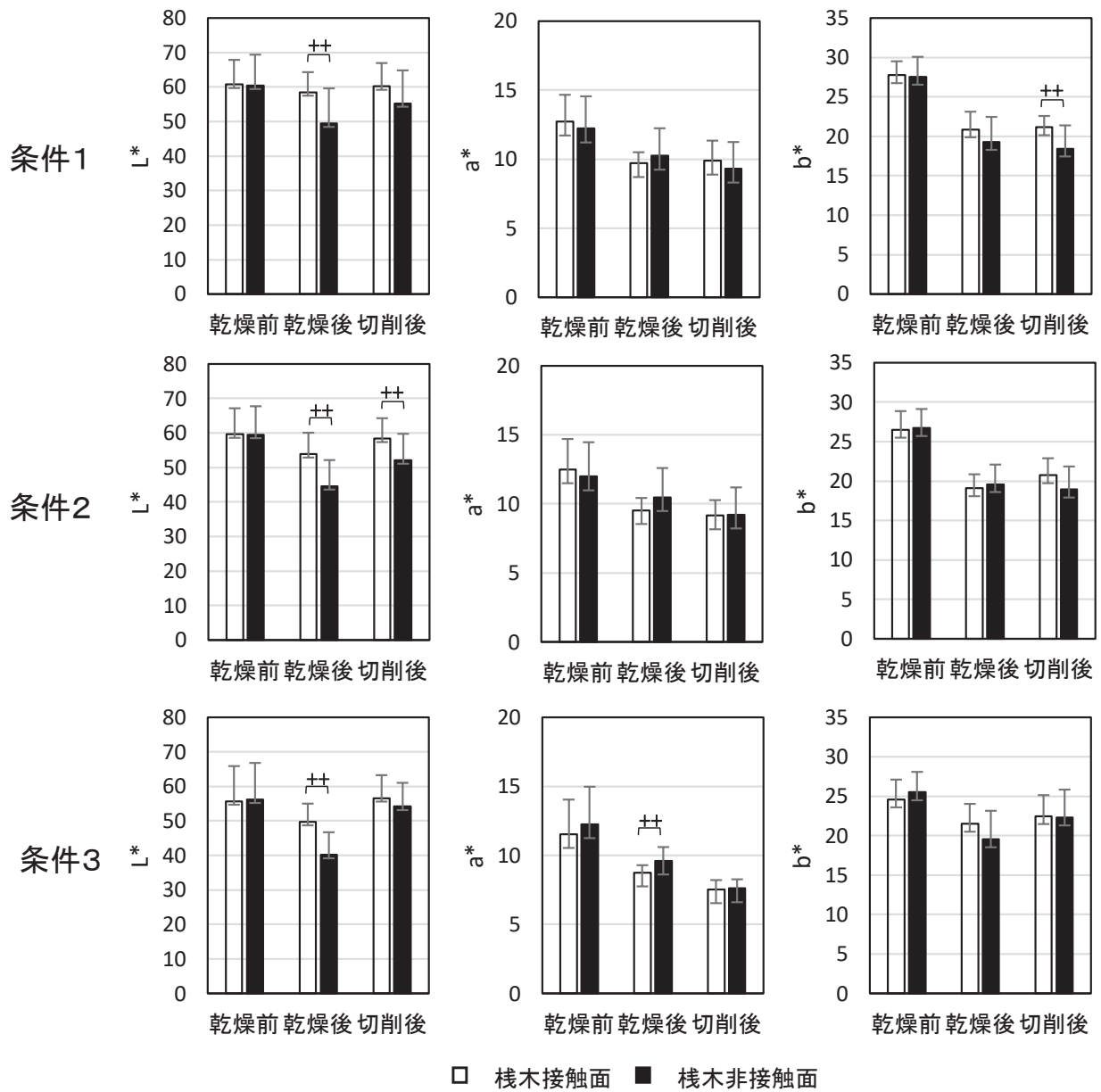


図5 棧木接触面および棧木非接触面でのL*、a*、b*の測定結果(厚板)

注：平均値、n=15。バーは標準偏差。

切削後：プレーナを用いて表面から2mm切削後。

注：条件1：乾燥温度55℃

条件2：乾燥温度75℃

条件3：乾燥温度95℃

++：棧木接触面と棧木非接触面との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(t検定)。

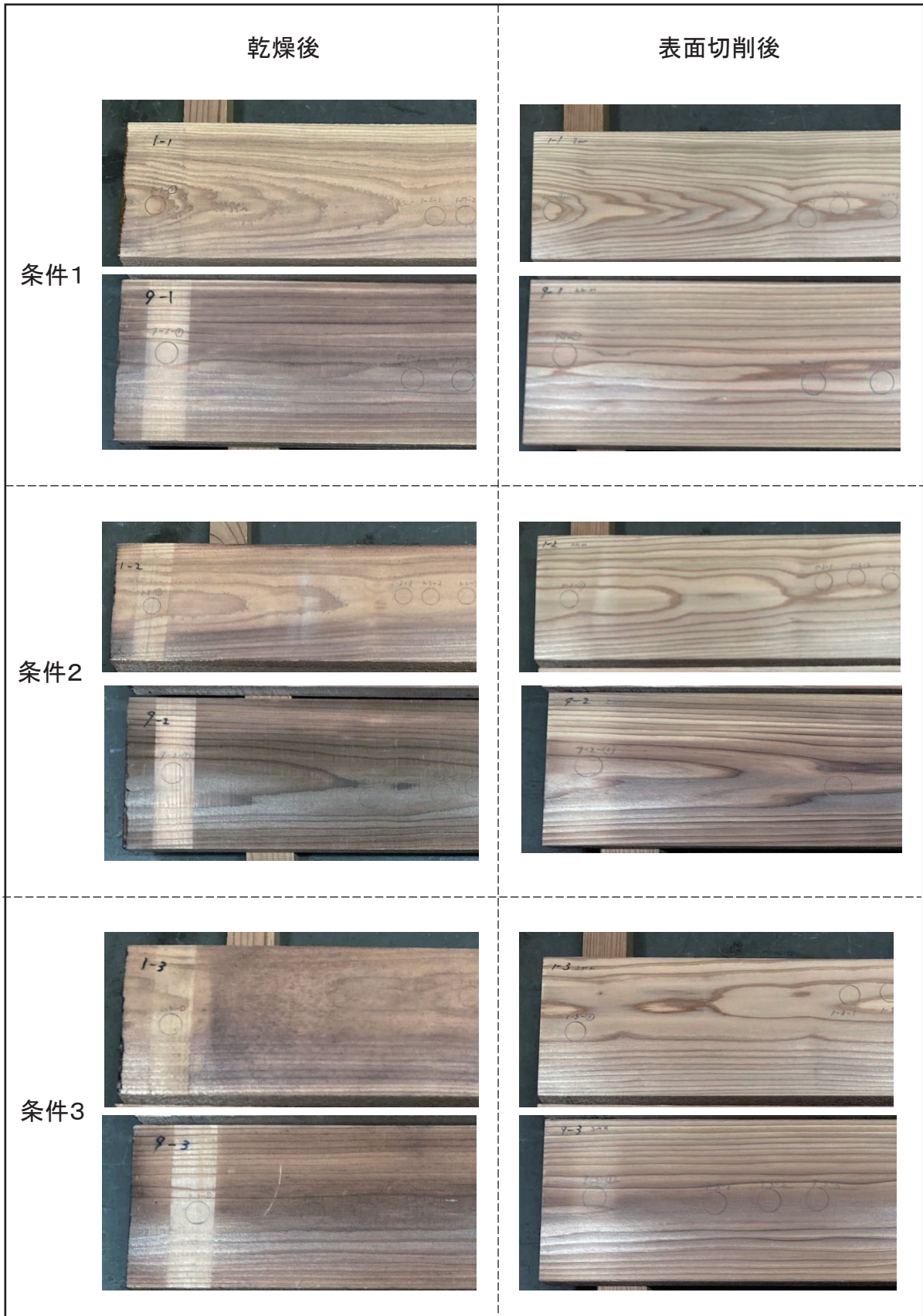


図6 乾燥後および表面切削後の試験体(薄板)の様子

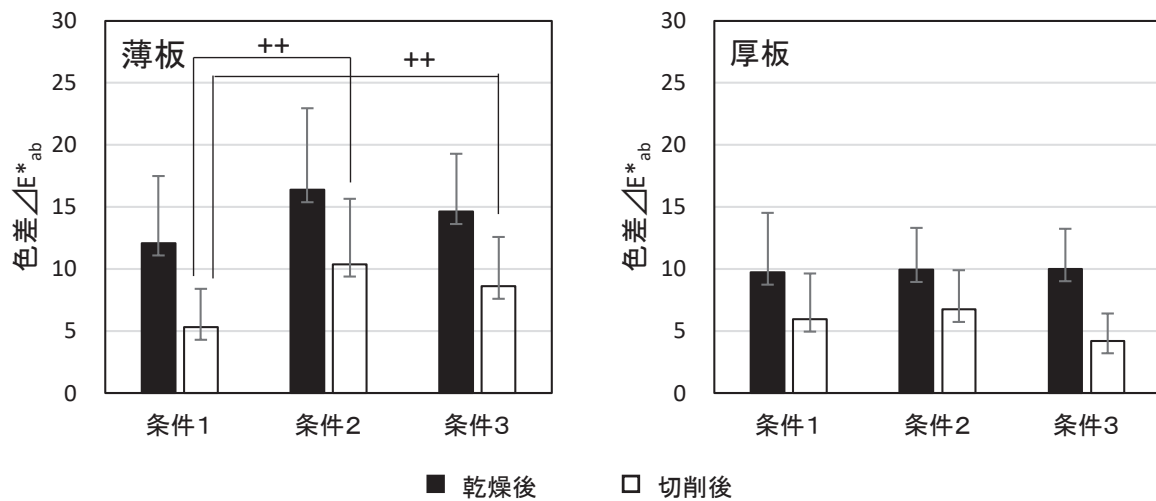


図7 プレーナ加工前および同 2mm 切削における栈木非接触面との色差

注： 平均値、薄板は n=18、厚板は n=15。バーは標準偏差。
 切削後： プレーナを用いて表面から 2mm 切削後。

注： 条件 1： 乾燥温度 55°C
 条件 2： 乾燥温度 75°C
 条件 3： 乾燥温度 95°C

++： 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)。

3.2 初期含水率が栈木痕の発生に及ぼす影響

3.2.1 含水率および乾燥日数

表 5 に、初期含水率、仕上がり含水率、乾燥日数を示す。また、条件 I ~ IV について、図 8 に、2.2.1 (2) で求めた仕上がり含水率をもとに算出した人工乾燥時の含水率の平均値の推移を示す。試験前含水率は薄板で 80% 以上、厚板で 70% 以上であった。仕上がり含水率は、天然乾燥後に人工乾燥を行った 4 条件 (条件 I ~ IV) では、薄板で 12% 以下、厚板で 8% 以下であり、天然乾燥のみの条件 V では、薄板、厚板とも約 20% であった。ただし、厚板の条件 I の試験体については、18 体のうち 2 体について天然乾燥時の乾燥性が悪く、2.1.1 (2) で求めた推定含水率が 50% に達して以降、長期間乾燥させても重量変化がほとんどなかったため、残りの 16 体が目標含水率の 40% に達した日数を天然乾燥に要した日数として表記している。

3.2.2 材色

各条件における生材、人工乾燥前 (すなわち天然乾燥後)、人工乾燥後およびプレーナ切削後での L*、a*、b* の測定結果を板厚さ別に示す (図 9、図 10)。図中の ++ の付記については 3.1.2 と同様である。

明度を示す L* については、薄板の条件 II (40%、75°C) および条件 IV (60%、75°C) で人工乾燥後に有意差が認め

られ、栈木接触面は非接触面よりも明度が高い傾向にあった。それぞれに生材と人工乾燥前の値を比較すると、初期含水率および温度によらず値は減少し、その減少量は栈木非接触面の方が大きかった。続いて、人工乾燥前後の値を比較すると、いずれの条件も値の変化はほとんどなかった。

赤みを示す a* については、それぞれに生材と人工乾燥前の値を比較すると、栈木非接触面で値が増加し、初期含水率が高いほどその変化は顕著であった。一方、栈木接触面では値が減少した。続いて、人工乾燥前後を比較すると、初期含水率および温度によらず値は減少する傾向にあり、その減少量は栈木接触面の方が大きかった。

黄みを示す b* は、生材と人工乾燥前の値および人工乾燥前後の値を比較すると、両者において栈木接触面、非接触面ともに値が減少し、初期含水率が高いほど人工乾燥での減少量が大きい傾向にあった。

以上のように、栈木非接触面の方が、接触面よりも L* が低減し、a* がやや小さく低減することにより、栈木痕として色の差異が生じることがわかった。すなわち、栈木接触面は非接触面よりも明度が高く、赤みが弱いといえる。さらに、プレーナ切削によって、L* は増加し、a* および b* は特に栈木非接触面で大きく減少した。

表5 含水率および乾燥日数

薄板 (厚さ 25mm)

| | | 条件Ⅰ | 条件Ⅱ | 条件Ⅲ | 条件Ⅳ | 条件Ⅴ | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 試験前含水率(%) | | 91.6 | 93.3 | 89.3 | 88.0 | 84.9 | |
| 初期含水率(%) | | 34.9 | 34.6 | 56.6 | 56.7 | — | |
| 仕上がり含水率(%) | | 8.1 | 6.9 | 11.4 | 11.4 | 20.3 | |
| 乾燥日数(日) | 天然乾燥 | 平均值 | 12.8 | 12.5 | 6.7 | 6.3 | 50.8 |
| | | 中央値 | 8.1 | 8.1 | 4.5 | 7.0 | — |
| | 人工乾燥 | — | 20.2 | 12.2 | 8.2 | 3.1 | — |
| | | 合計 | 33.0 | 24.7 | 14.9 | 9.4 | 50.8 |

厚板 (厚さ 50mm)

| | | 条件Ⅰ | 条件Ⅱ | 条件Ⅲ | 条件Ⅳ | 条件Ⅴ | |
|------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 試験前含水率(%) | | 81.6 | 76.3 | 72.9 | 76.0 | 73.1 | |
| 初期含水率(%) | | 26.5 | 35.7 | 49.7 | 45.9 | — | |
| 仕上がり含水率(%) | | 6.7 | 7.2 | 7.0 | 7.4 | 20.4 | |
| 乾燥日数(日) | 天然乾燥 | 平均值 | 40.2 | 21.4 | 6.1 | 9.1 | 137.1 |
| | | 中央値 | 27.7 | 13.9 | 3.2 | 3.2 | — |
| | 人工乾燥 | — | 28.9 | 9.3 | 29.9 | 15.2 | — |
| | | 合計 | 69.1 | 30.7 | 36.0 | 24.3 | 137.1 |

注：天然乾燥開始

条件Ⅰ～Ⅳ：2022年10月12日、

条件Ⅴ：2022年10月4日

注：含水率は平均値

(薄板：n=18、厚板：n=15)

注：条件Ⅰ：初期含水率40%、乾燥温度55°C

条件Ⅱ：初期含水率40%、乾燥温度75°C

条件Ⅲ：初期含水率60%、乾燥温度55°C

条件Ⅳ：初期含水率60%、乾燥温度75°C

条件Ⅴ：天然乾燥のみ

3.2.3 色差 ΔE^*_{ab}

乾燥後、プレーナ切削後の試験体の様子を図11に示すとともに、栈木接触面を色差基準色とした場合の栈木非接触面との色差 ΔE^*_{ab} を図12に示す。図中の++の付記については、3.1.3と同様である。

薄板の条件Ⅳおよび厚板の条件Ⅱを除くと、t検定により、プレーナ切削前後の値に有意差がみられ(危険率1%)、プレーナ切削により栈木痕がほとんど視認できなくなるものもあった。薄板での条件Ⅲ(60%、55°C)、条件Ⅳ(60%、75°C)を除く、全ての条件において、切削後の色差が平均値で2.5を下回り、色の離間比較でほぼ同一と認めることができるレベル¹¹⁾まで低減された。

今回検討した条件では、プレーナ切削後では、薄板は、条件ⅠとⅣ、ⅡとⅣ、ⅣとⅤの条件間に有意差がみられた。初期含水率を40%まで低下させた条件ⅠとⅡでは、乾燥温度によらず、いずれも色差が小さく、天然乾燥のみを行った条件Ⅴとも有意差はなかった。初期含水率が低いほど、可溶成分量が少なく、蒸発時に材表面に移動集積する着色物質も少なくなることで栈木痕の発生が軽減される

と考えられる。また、初期含水率を60%まで低下させた条件ⅢとⅣでは、乾燥温度が高いほど色差の平均値は大きくなったが、その条件間に有意差はなかった。

厚板では、初期含水率を60%まで低下させた条件ⅢとⅣが、初期含水率を40%まで低下させた条件ⅠとⅡよりも平均値では色差が小さくなったものの、いずれの条件間にも有意差はなかった。また、切削後について、条件Ⅰ～Ⅳと天然乾燥のみを行った条件Ⅴとの間にも有意差はなかった。条件Ⅱ(40%、75°C)を除く全ての条件において、切削後の色差が平均値で2.5を下回り、色の離間比較でほぼ同一と認めることができるレベル¹¹⁾まで低減された。

以上のことから、薄板では初期含水率を40%まで低下させた場合、乾燥温度によらず、栈木痕は軽微となることが明らかとなった。このことから、薄板においては、栈木痕を低減させるには、初期含水率を十分に低下させる、すなわち、人工乾燥前に天然乾燥で含水率をおとしておくことが重要であるといえる。

4. まとめ

乾燥温度を変えて生材から乾燥試験を行った結果、および初期含水率と乾燥温度を変えて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、プレーナ切削により栈木痕のある程度取り除くことができると考えられる。

2) 生材の状態から人工乾燥を行う場合、薄板は、乾燥温度を75°Cや95°Cとするよりも、55°Cとすることで、プレーナ切削後の栈木痕は軽微となった。しかし、この色差は、今回基準とした2.5を超えており、色の離間比較でほぼ同一と認めることができるレベル¹¹⁾には至らなかった。一方、厚板では、乾燥温度の違いによる有意な差はみられなかった。

3) あらかじめ天然乾燥を行い、初期含水率を低下させてから人工乾燥を行う場合、薄板は、初期含水率を40%まで低下させると、乾燥温度によらず、プレーナ切削後の栈木痕は軽微となった。この色差は、今回基準とした2.5を下回り、色の離間比較でほぼ同一と認めることができるレベル¹¹⁾であった。一方、厚板では、初期含水率の違いによる有意な差はみられなかった。

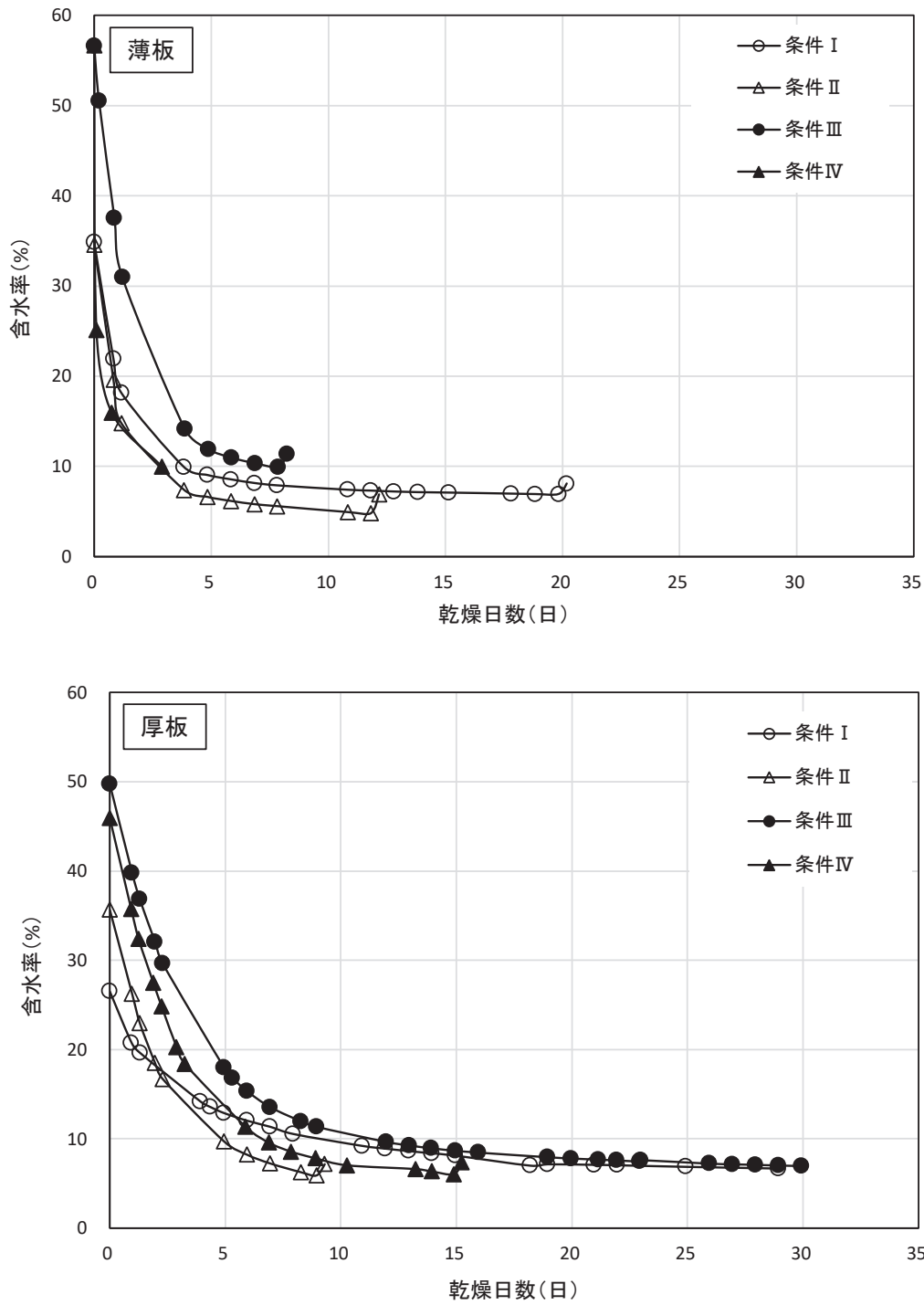


図8 人工乾燥時の含水率(平均値)の推移

注：薄板 n=18、厚板 n=15。

注：条件 I：初期含水率 40%、乾燥温度 55°C

条件 II：初期含水率 40%、乾燥温度 75°C

条件 III：初期含水率 60%、乾燥温度 55°C

条件 IV：初期含水率 60%、乾燥温度 75°C

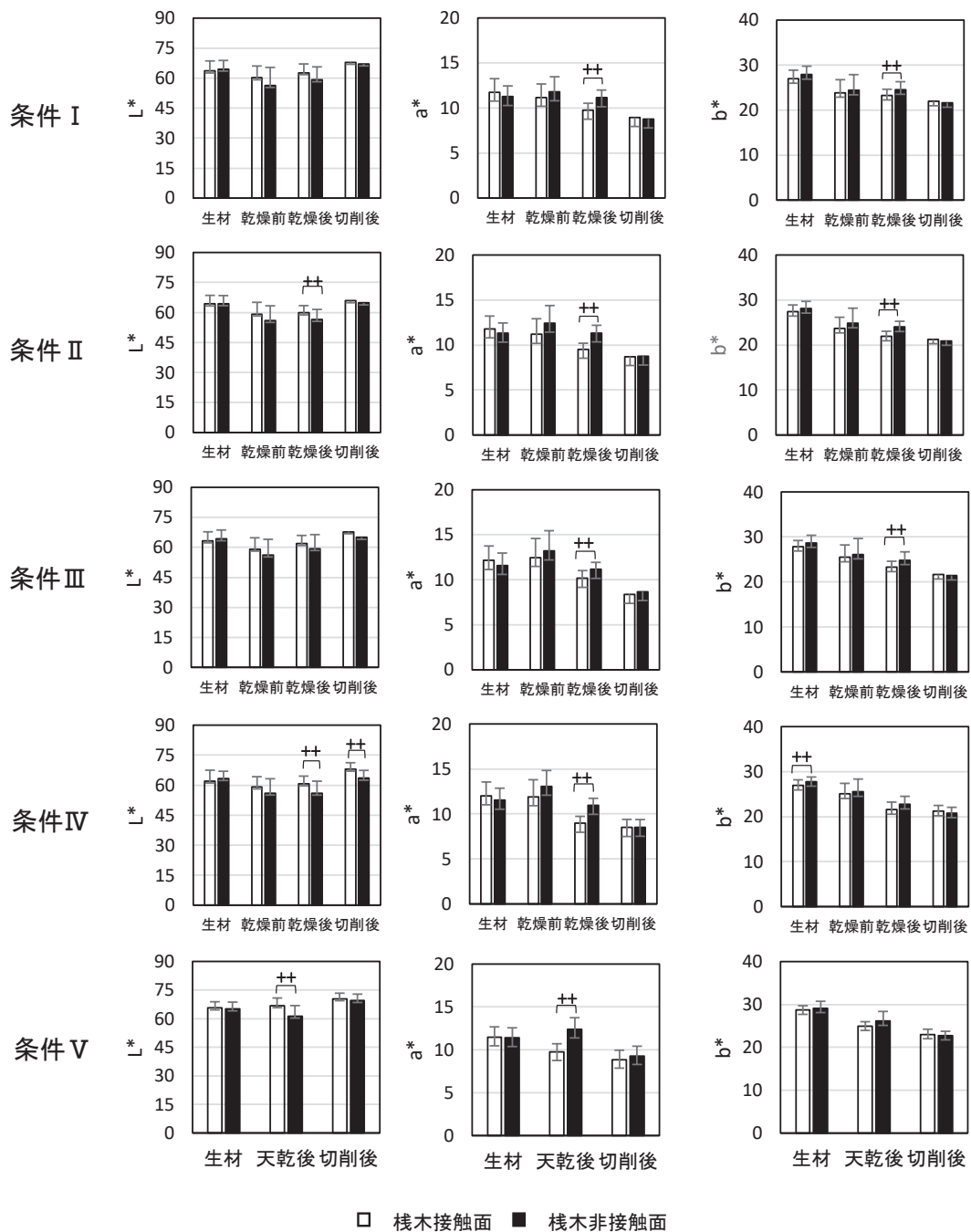


図9 接触面および非接触面でのL*、a*、b*の測定結果(薄板)

注：平均値、n=18。バーは標準偏差。

乾燥前：人工乾燥前、乾燥後：人工乾燥後、
切削後：プレーナを用いて表面から2mm切削後。

注：条件Ⅰ：初期含水率40%、乾燥温度55℃
条件Ⅱ：初期含水率40%、乾燥温度75℃
条件Ⅲ：初期含水率60%、乾燥温度55℃
条件Ⅳ：初期含水率60%、乾燥温度75℃
条件Ⅴ：天然乾燥のみ

+：接触面と非接触面との間にそれぞれ
危険率1%で有意差が認められたことを示す(t検定)。

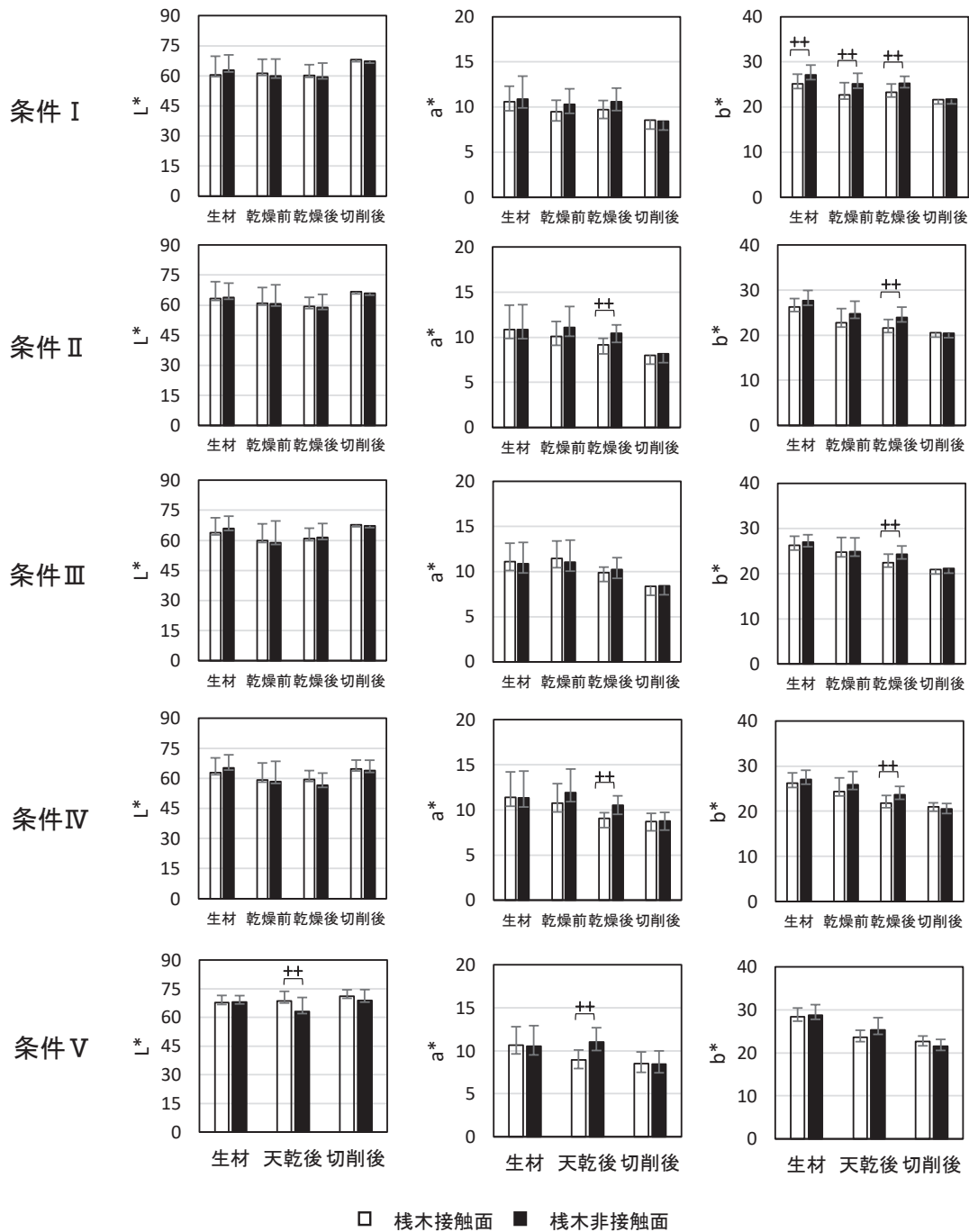


図 10 栈木接触面および栈木非接触面での L*、a*、b* の測定結果 (厚板)

注：平均值、n=15。バーは標準偏差。

乾燥前：人工乾燥前、乾燥後：人工乾燥後、
 切削後：プレーナを用いて表面から 2mm 切削後。

注：条件 I：初期含水率 40%、乾燥温度 55℃
 条件 II：初期含水率 40%、乾燥温度 75℃
 条件 III：初期含水率 60%、乾燥温度 55℃
 条件 IV：初期含水率 60%、乾燥温度 75℃
 条件 V：天然乾燥のみ

+：栈木接触面と栈木非接触面との間にそれぞれ
 危険率 1% で有意差が認められたことを示す (t 検定)。

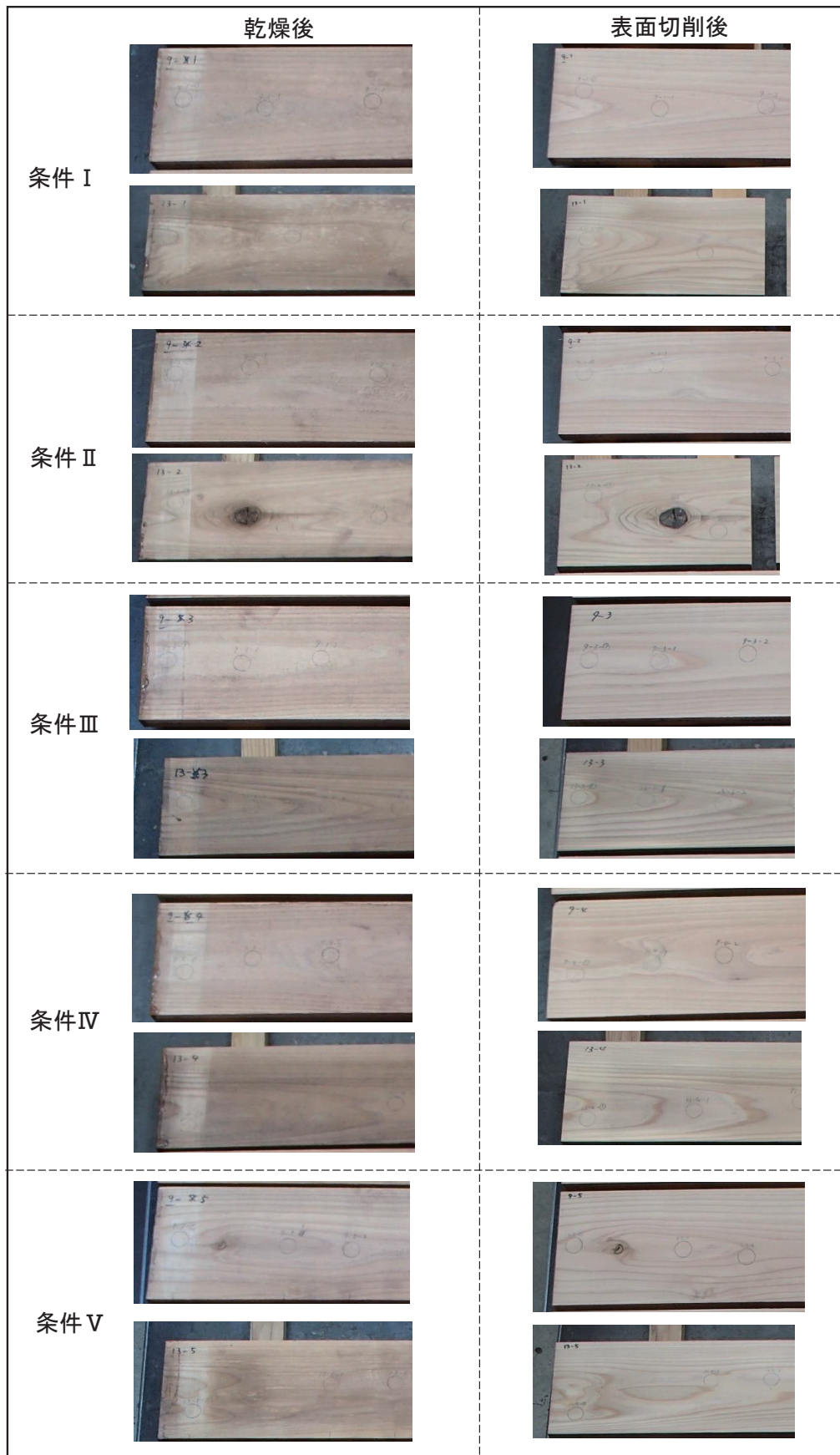


図 11 乾燥後および表面切削後の試験体(薄板)の様子

注：乾燥後とは、条件Ⅰ～Ⅳは人工乾燥後、条件Ⅴは天然乾燥後を示す。

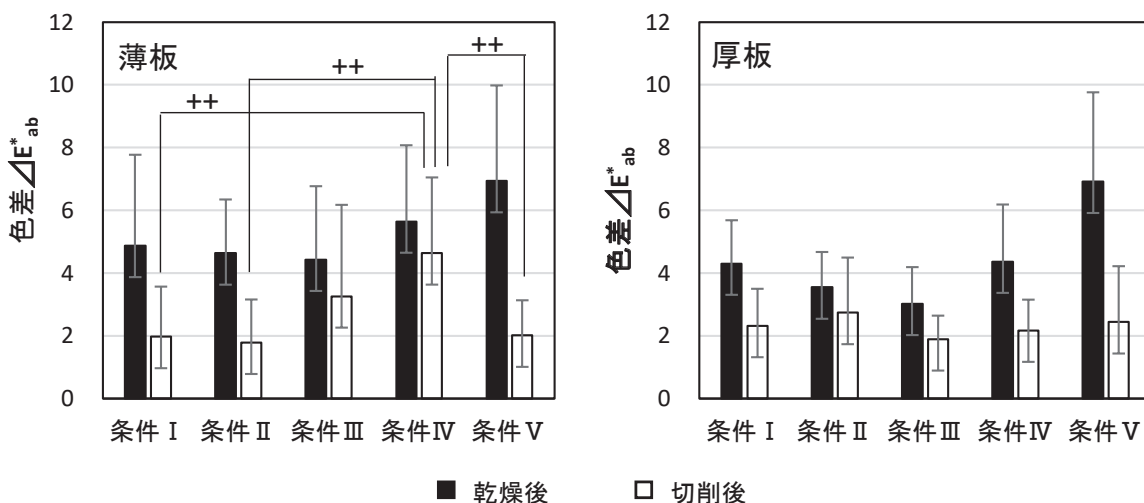


図 12 プレーナ加工前および同 2mm 切削における桧木非接触面との色差

注：平均値、薄板は n=18、厚板は n=15。バーは標準偏差。

切削後：プレーナを用いて表面から 2mm 切削後。

注：条件 I：初期含水率 40%、乾燥温度 55℃

条件 II：初期含水率 40%、乾燥温度 75℃

条件 III：初期含水率 60%、乾燥温度 55℃

条件 IV：初期含水率 60%、乾燥温度 75℃

条件 V：天然乾燥のみ

++：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)。

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) 酒井温子：2024. 私信。
- 4) 亀山雄揮ほか：内装用板系材の品質・精度に有効な乾燥法の開発 (ステッカーマークの残存しない乾燥法), 栃木県林業センター平成 25 年度業務報告, 45, 18 (2013)
- 5) 古曳博也：内装・家具に最適な県産材乾燥技術の開発 - 「桧木痕」の無い板材の生産 -。大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報, 60, 17-22 (2018)
- 6) 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
- 7) 一般社団法人全国木材検査・研究協会：規格木材生産工場における品質管理 1。東京。一般社団法人全国木材検査・研究協会。2010. 63-64

- 8) 社団法人 全国木材組合連合会：わかりやすい樹種別乾燥材生産の技術マニュアル。東京。全国木材協同組合連合会。2004. 30
- 9) 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)
- 10) 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
- 11) 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 2 月 5 日)
- 12) 今村博之ほか編：“16 変色の防止”。木材利用の化学。東京, 共立出版株式会社, 1983, 222

(2024 年 3 月 19 日 受理)

