

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2報) —天然乾燥を行った材に対する乾燥温度の検討—*1

成瀬達哉*2・柳川靖夫

スギおよびヒノキの造作材の天然乾燥後に行う人工乾燥における適切な温度条件、すなわち、天然乾燥の材色との差が小さく、かつ、乾燥日数の短い温度条件を調べた。天然乾燥により含水率を20~25%程度まで下げた後、スギ材は乾球温度45°C、55°C、65°Cおよび75°Cで、ヒノキ材は乾球温度40°C、50°C、60°Cおよび70°Cで乾燥し、各温度条件の材色(L*a*b*表色系)を天然乾燥のそれと比較した。

その結果、乾燥後深さ2mm程度までプレナー加工を行った材面において、スギ材では75°C、ヒノキ材では70°Cで天然乾燥の材色と差が生じる傾向があった。したがって、天然乾燥により含水率を20~25%程度まで下げた後に行う人工乾燥では、乾燥温度を60~65°C程度とすることが材色の変化を抑え、乾燥日数を短くするために有効と考えられた。

1. はじめに

造作材の乾燥では材色を損なわないことに加え、室内環境に対応するため含水率を15%以下に調節し、寸法安定性の確保を求められることが多い。天然乾燥では材色の変化は小さいが、含水率15%以下に調節するのは難しいため、人工乾燥が採択される場合が多い。造作材の人工乾燥には、生材から人工乾燥を行う手法と、一定期間天然乾燥を行った後、人工乾燥を行う手法があるが、乾燥温度によっては材の変色が危惧される。そのため、材色の変化が小さく、かつ、乾燥日数の短い適切な乾燥温度条件が求められている。

前報¹⁾ではスギおよびヒノキの板材について、生材から人工乾燥を行う際に乾燥温度が材色に及ぼす影響を調べた。その結果、スギ材では55°C以上、ヒノキ材では50°C以上で天然乾燥の材色と差が生じる傾向があった。本研究では、天然乾燥後に行う人工乾燥における適切な乾燥温度条件を調べるため、含水率がほとんど変化しなくなるまで天然乾燥を行ったスギおよびヒノキの板材に対して乾燥温度の異なる4条件で人工乾燥を行い、天然乾燥による材色と比較した。

2. 材料と方法

2.1 材料

生材のスギおよびヒノキの板目板(奈良県産、幅115mm×厚さ18mm、長さ約4,000mm)をそれぞれ30枚ずつ使用した。心材色と辺材色の両方について調べるた

め、スギ材、ヒノキ材ともに心材と辺材を15枚ずつとしたが、ヒノキ材の辺材は木裏の一部に心材を含んでいた。

図1に、試験体の採取方法を示す。1枚の板材より長さ700mmの試験体を5体ずつ採取した。試験体の採取後、両木口面には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。併せてa~fの位置で長さ20mmの試片を切り出し、これら試片の含水率を全乾法により求めた。試験体と隣接する2つの試片の平均含水率をその試験体の初期含水率とした。

2.2 乾燥試験の方法

表1に、乾燥条件を示す。エンドマッチした試験体に対し異なる5つの乾燥条件を用いて乾燥し、乾燥温度が材色に及ぼす影響を調べた。すなわち、含水率がほとんど変化しなくなるまで天然乾燥を行った後、スギ材は乾球温度45°C、55°C、65°C、75°Cの4条件を、ヒノキ材は乾球温度40°C、50°C、60°C、70°Cの4条件を用いた。また、スギ材、ヒノキ材ともに1条件はコントロールとして天然乾燥を行った。なお、各条件に供する試験体の採取位置をばらつかせた。

天然乾燥は、スギ材は2018年10月10日から同年12月26日まで、ヒノキ材は2018年12月18日から2019年2月8日まで当センターの屋内に積み上げて行った。乾燥中は適宜すべての試験体の重量および材色の測定を行った。積み付け付近の温度と相対湿度を温湿度データロガー(株式会社ティアンドデイ製RTR-503)を用いて計測した。

人工乾燥は、恒温恒湿器(株式会社エスペック製PR-

*1 本研究の一部は第70回日本木材学会大会(2020年3月、鳥取)において発表した。

*2 現 奈良県 食と農の振興部 南部農林振興事務所

4JおよびPR-4K)を使用し、温度条件別かつ心材・辺材別に行った。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および材色の測定を行った。重量から推定した含水率をもとに乾燥操作を行った。目標含水率は10%とし、平均含水率が概ね8%となった時点で調湿処理を行った。調湿処理時間はスギ材は8時間、ヒノキ材は6時間とした。

乾燥後、試験体の長さ方向の中央付近から長さ30mmの試片を切り出し、試験体の含水率を全乾法により算出した。

2.3 材色の測定方法

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(明度(L*)、赤色度(a*)および黄色度(b*))により評価した。

天然乾燥と各温度条件との色差(ΔE*_{ab})をエンドマッ

チした試験体ごとに式(1)により算出し、平均した。

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

ここで、ΔL*、Δa*、Δb*は、それぞれ天然乾燥と各温度条件との測定値の差である。

測定箇所は木表面の早材部3箇所とし、その平均値を試験体の測定値とした。測定は乾燥前、乾燥途中(重量測定時)、調湿処理直前、乾燥後およびプレナー加工後に行った。色差計の測定値は温度の影響を受ける²⁾とされていることから、乾燥後の測定は調湿処理直後に行うとともに、材温が常温となった後にも行った。また、プレナー加工は乾燥後に自動一面かんな盤を用いて行い、実務的なプレナー加工深さと考えられる2mm切削後に測定を行った。

スギおよびヒノキの板材(幅115mm、厚さ18mm、長さ約4000mm)各30枚(心材15枚、辺材15枚)

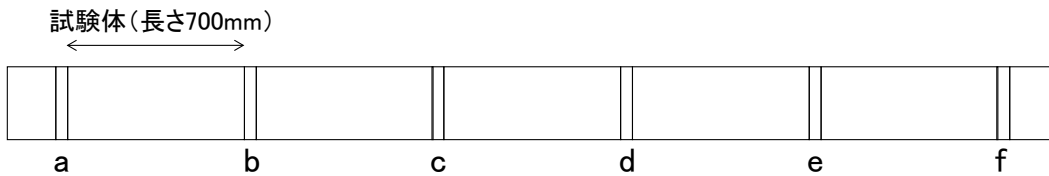


図1 試験体の採取方法

注: a~f: 初期含水率測定用試片(長さ20mm)

表1 乾燥条件

スギ		45°C	55°C	65°C	75°C	天然乾燥
乾燥方法		天然乾燥→人工乾燥				天然乾燥のみ
天然乾燥		含水率がほとんど変化しなくなるまで 屋内にて棧積み				屋内にて棧積み
人工乾燥	乾球温度	45°C一定	55°C一定	65°C一定	75°C一定	乾燥期間: 2018年10月10日~同年12月26日 気温: 平均11.8°C、最高25.0°C、最低-2.1°C 相対湿度: 平均76.6%、最高97.0%、最低42.0%
	含水率範囲 (%)	25~20	乾湿球温度差15.5°C			
		20~8	同17.0°C			
調湿処理(8時間)		同 8.0°C				
ヒノキ		40°C	50°C	60°C	70°C	天然乾燥
乾燥方法		天然乾燥→人工乾燥				天然乾燥のみ
天然乾燥		含水率がほとんど変化しなくなるまで 屋内にて棧積み				屋内にて棧積み
人工乾燥	乾球温度	40°C一定	50°C一定	60°C一定	70°C一定	乾燥期間: 2018年12月18日~2019年2月8日 気温: 平均5.0°C、最高15.1°C、最低-3.4°C 相対湿度: 平均67.6%、最高91.0%、最低35.0%
	含水率範囲 (%)	25~20	乾湿球温度差16.0°C			
		20~8	同18.0°C			
調湿処理(6時間)		同 8.0°C				

3. 結果および考察

3.1 含水率

図2に、スギ材およびヒノキ材の初期含水率を示す。初期含水率のばらつきはヒノキ材よりもスギ材の方が大きく、心材よりも辺材の方が大きかった。しかし、図3に示すとおり、天然乾燥を行うことにより含水率のばらつきは小さくなり、人工乾燥開始時にはスギ材、ヒノキ材ともにほとんどの試験体が含水率20~25%となった。

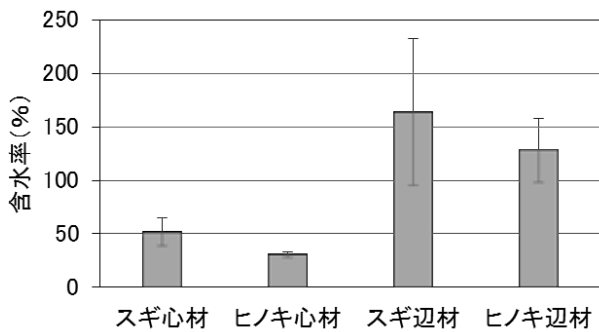


図2 スギ材およびヒノキ材の初期含水率
注：平均値、n=75 (5条件×15体)。バーは標準偏差。

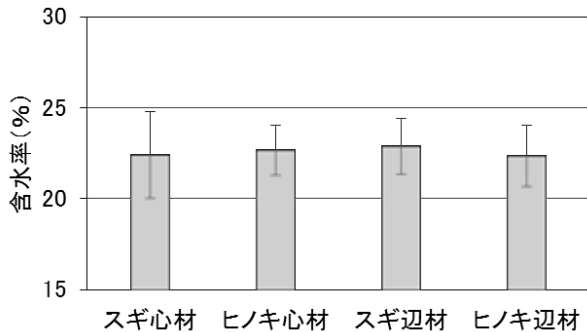


図3 スギ材およびヒノキ材の人工乾燥開始時の含水率
注：平均値、n=60(人工乾燥の4条件×15体)。バーは標準偏差

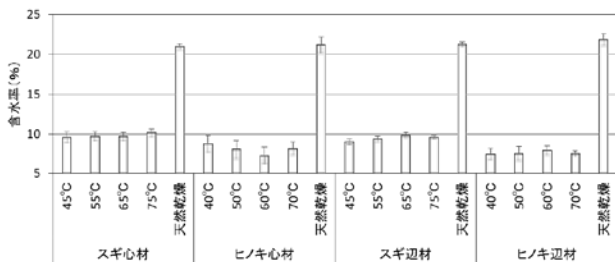


図4 スギ材およびヒノキ材の仕上がり含水率
注：平均値、n=15。バーは標準偏差。

図4に、スギ材およびヒノキ材の仕上がり含水率を示す。人工乾燥の4条件の仕上がり含水率は、スギ材、ヒノキ材ともにすべての試験体が11%未満であった。また、天然乾燥の仕上がり含水率は、スギ材、ヒノキ材ともにほとんどの試験体が21~22%であった。

3.2 乾燥経過

図5に、スギ材およびヒノキ材の天然乾燥による含水率の推移を示す。含水率が概ね25%以下となるまでに、スギ材では心材は14日間程度、辺材は39日間程度を要した。同じくヒノキ材では心材は11日間程度、辺材は35日間程度を要した。心材、辺材ともにヒノキ材はスギ材よりも初期含水率が低かったため、含水率が概ね25%以下となるまでの日数が短かったが、その差は比較的小さかった。これは、天然乾燥期間の平均気温がスギ材では11.8°Cであったのに対し、ヒノキ材では5.0°Cと低かったことが影響したと考えられる。

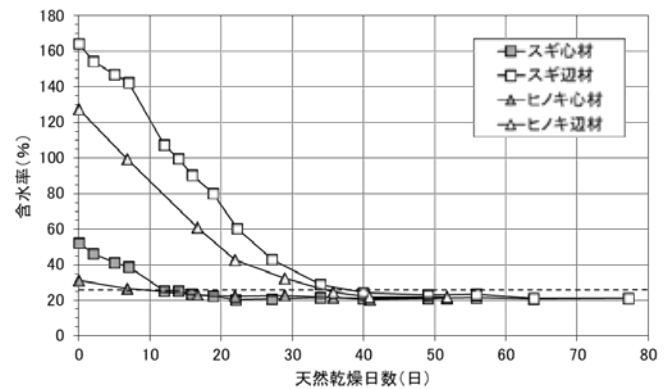


図5 天然乾燥による含水率の推移
注：平均値、n=15。破線は乾燥日数の比較に用いた含水率25%のライン。

図6に、スギ材およびヒノキ材の人工乾燥による含水率の推移を示す。乾燥前の重量をもとに推定した含水率が実際よりも高かったために、必要以上に長く乾燥を行った条件が存在した。そのため、調湿処理開始の目安とした含水率8%に到達するまでに要した日数により乾燥日数を比較した。その結果、スギ材、ヒノキ材ともに乾燥温度を高くするほど乾燥日数は短縮されたが、乾燥温度の高い条件間ほど乾燥日数の差は小さい傾向があった。また、一般的に心材では抽出成分が水分の通り道を塞ぐため、辺材は心材よりも乾燥が速いとされている³⁾が、本試験においても辺材の方が心材よりも乾燥日数が短く、条件間の差も小さかった。

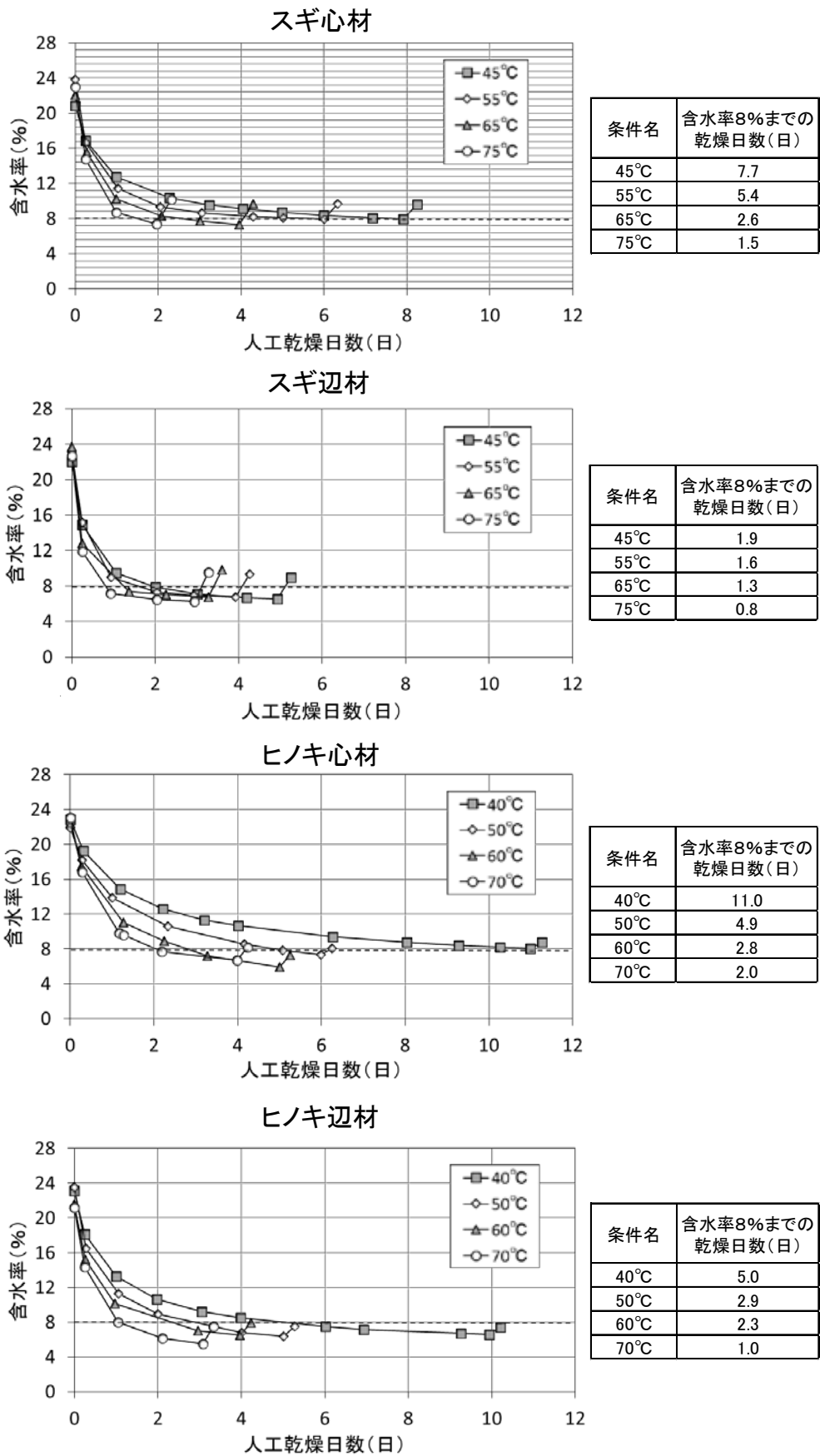


図6 人工乾燥による含水率の推移

注：平均値、n=15。破線は条件間の乾燥日数の比較に用いた含水率8%のライン

3.3 L*、a*、b*の推移

3.3.1 スギ材

図7に、スギ心材の人工乾燥中のL*、a*、b*の推移を示す。L*は55°C以下の条件では一旦減少した後、増加傾向を示した。65°Cでは概ね一定となり、75°Cでは減少傾向を示した。a*はいずれの条件も減少傾向を示し、乾燥温度が高いほど減少量が大きい傾向があった。b*もいずれの条件も減少傾向を示し、45°Cに比べ55°C以上の条件の減少量が大きかった。

図8に、スギ辺材の人工乾燥中のL*、a*、b*の推移を示す。L*は45°Cでは概ね一定であったが、55°C以上の条件では減少傾向を示し、乾燥温度が高いほど減少量が大きい傾向があった。a*およびb*は65°C以下の条件では若干増減が見られたものの概ね一定であったが、75°Cではわずかに増加傾向を示した。また、a*およびb*はいずれの条件も調湿処理により増加が見られた。このように、スギ材では55°C以上の条件、中でも75°Cの材色の変化が45°Cに比べて大きい傾向があった。

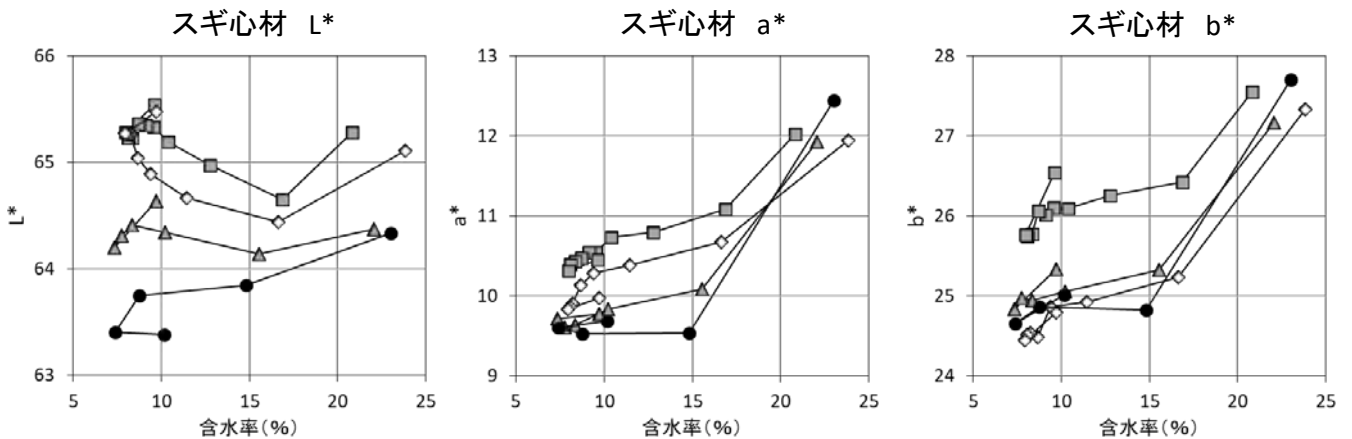


図7 スギ心材の人工乾燥中のL*、a*、b*の推移

注：平均値、n=15。

■-45°C ◇-55°C ▲-65°C ●-75°C

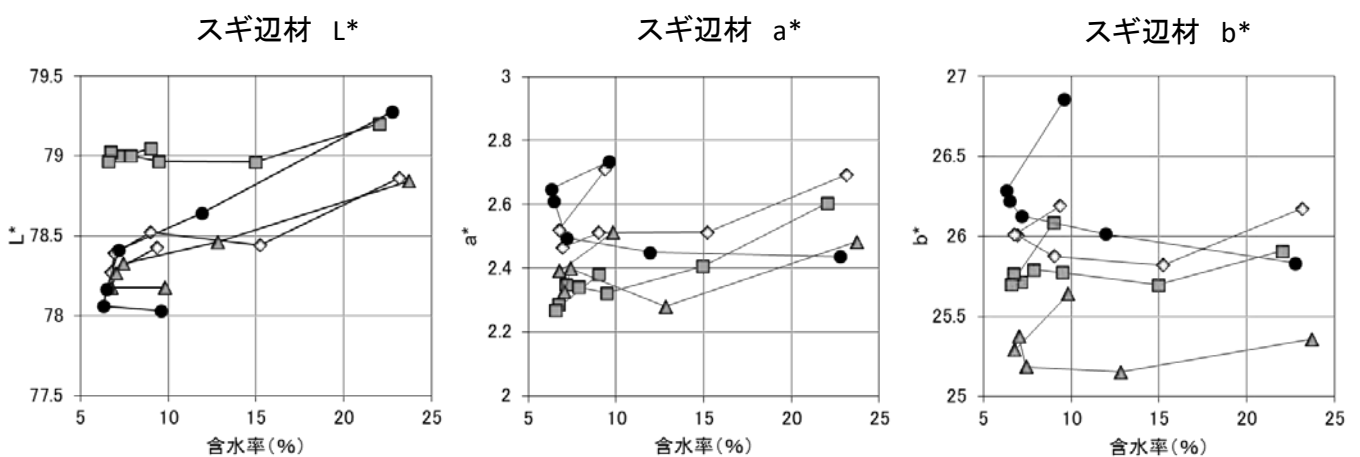


図8 スギ辺材の人工乾燥中のL*、a*、b*の推移

注：図7を参照。

■-45°C ◇-55°C ▲-65°C ●-75°C

3.3.2 ヒノキ材

図9に、ヒノキ心材の人工乾燥中のL*、a*、b*の推移を示す。L*はいずれの条件も減少傾向を示し、乾燥温度が高いほど減少量大きい傾向があった。a*はいずれの条件も含水率15%付近まで増加した後、概ね一定となった。b*は50°C以下の条件では減少傾向、60°Cでは概ね一定、70°Cでは増加傾向を示した。

図10に、ヒノキ辺材の人工乾燥中のL*、a*、b*の推移を示す。いずれの条件もL*は概ね一定となり、a*は減少傾向を示した。b*は50°C以下の条件では概ね一定であったが、60°C以上の条件では増加傾向を示し、60°Cに比べ70°Cの増加量が大きかった。このように、ヒノキ材では60°C以上の条件、中でも70°Cの材色の変化が50°C以下の条件に比べて大きい傾向があった。

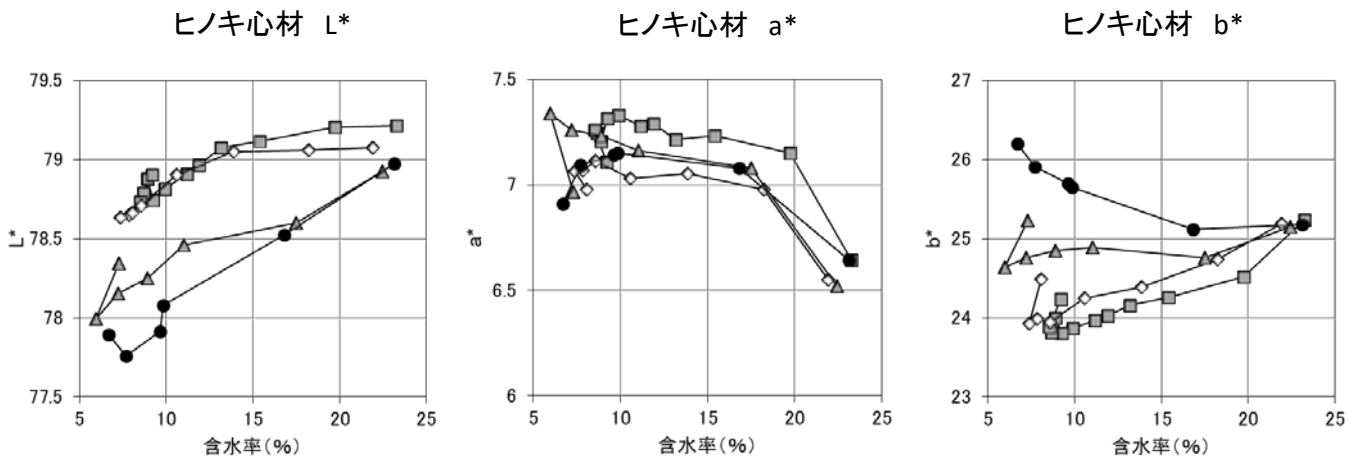


図9 ヒノキ心材の人工乾燥中のL*、a*、b*の推移

注：図7を参照。

■-40°C ◇-50°C ▲-60°C ●-70°C

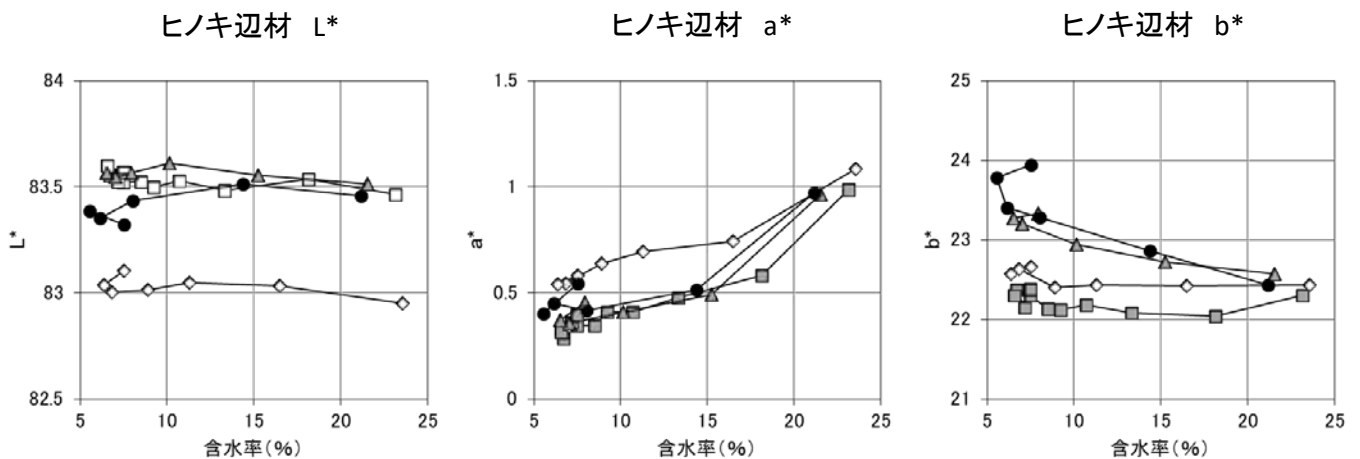


図10 ヒノキ辺材の人工乾燥中のL*、a*、b*の推移

注：図7を参照。

■-40°C ◇-50°C ▲-60°C ●-70°C

3.4 プレナー加工前後の材色

3.4.1 スギ材

図 11 に、スギ心材のプレナー加工前後における L^* 、 a^* 、 b^* の測定結果を示す。天然乾燥と各温度条件との対比較について Dunnett 法により検定を行い、危険率 5% および 1% で有意差が認められた温度条件にはそれぞれ、+、++ を付記した。プレナー加工前は、 L^* は 75°C のみ天然乾燥よりも小さい傾向があった。 a^* および b^* は 55°C 以上では天然乾燥よりも小さい傾向があり、有意差が認められた。しかし、プレナー加工を行うことにより条件間の差が小さくなり、75°C の b^* を除き有意差は認められなかった。

図 12 に、スギ辺材のプレナー加工前後における L^* 、 a^* 、 b^* の測定結果を示す。スギ心材と同様に Dunnett 法により検定を行った。プレナー加工前は、 L^* および a^* は条件間の差がほとんど見られなかったが、 b^* は 75°C が天然乾燥よりも大きい傾向があった。しかし、プレナー加工後は L^* 、 a^* 、 b^* のいずれも条件間の差はほとんど見られなくなった。

図 13 に、スギ材のプレナー加工前後における材色について、天然乾燥のデータを色差基準色とし、その他の温度条件との色差 ΔE^*_{ab} を示す。プレナー加工前における心材の色の平均値は 45°C では 2.5 程度であったが、55°C 以上の条件では 3.5~4.0 程度と比較的大きかった。同じく辺材の 65°C 以下の条件では 2.5 以下であったが、75°C では 3.5 程度と比較的大きかった。しかし、プレナー加工を行うことにより色の平均値はいずれの条件も心材は 2.5~3.5 程度、辺材は 2.0 未満となった。また、前報の生材から人工乾燥を行った試験¹⁾において、2 mm のプレナー加工後における色の平均値は、45°C では心材は 2.5 程度、辺材は 3 程度であったが、55°C 以上の条件では心材は 4~4.5 程度、辺材は 5.5~6 程度と大きかった。したがって、天然乾燥により含水率を下げた後から人工乾燥を行うことにより、天然乾燥との色差を小さくすることができると思われる。

3.4.2 ヒノキ材

図 14 に、ヒノキ心材のプレナー加工前後における L^* 、 a^* 、 b^* の測定結果を示す。スギ材と同様に Dunnett 法により検定を行った。プレナー加工前では、 L^* は 70°C が天然乾燥よりも若干小さい傾向があった。 a^* は条件間の差がほとんど見られなかった。 b^* は 40°C が天然乾燥よりも小さい傾向があり、有意差が認められた。しかし、プレナー加工を行うことにより、 L^* 、 a^* 、 b^* のいずれも条件間の差はほとんど見られなくなった。

図 15 に、ヒノキ辺材のプレナー加工前後における L^* 、

a^* 、 b^* の測定結果を示す。ヒノキ心材と同様に、Dunnett 法により検定を行った。プレナー加工前では、 L^* は条件間の差がほとんど見られなかったが、 a^* は 60°C 以下の条件が天然乾燥よりも若干小さい傾向があり、有意差が認められた。また、 b^* は 60°C 以上の条件が天然乾燥よりも大きい傾向があり、有意差が認められた。プレナー加工により条件間の差は小さくなったが、70°C の b^* のみ有意差が認められた。

図 16 に、ヒノキ材のプレナー加工前後における材色について、スギ材と同様に算出した色差 ΔE^*_{ab} を示す。色の平均値はプレナー加工前後ともに心材は 2 程度、辺材は 2 未満であり、4 つの温度条件間の差はほとんど見られず、プレナー加工を行ったことによる変化もわずかであった。これに対し、前報の生材から人工乾燥を行った試験¹⁾における 2 mm のプレナー加工後の色の平均値は、40°C では心材、辺材ともに 2 未満であったが、50°C 以上では心材は 2.5~3 程度、辺材は 3~3.5 程度であった。したがって、スギ材と同様に、天然乾燥により含水率を下げた後から人工乾燥を行うことにより、天然乾燥との色差を小さくすることができると思われる。

スギ材の 75°C およびヒノキ材の 70°C のプレナー加工後の材色は、天然乾燥による材色と差が生じる傾向があった。また、スギ材、ヒノキ材ともに乾燥温度が高いほど乾燥日数は短かかった。したがって、含水率 20~25% まで天然乾燥を行った後に人工乾燥を行う場合、材色の変化を抑え、かつ、人工乾燥の日数を短くするためには乾燥温度を 60~65°C 程度とすることが有効と考えられる。ただし、天然乾燥により到達した含水率によって、その後の人工乾燥における適切な温度が異なる可能性があるため、今後検討を要する。

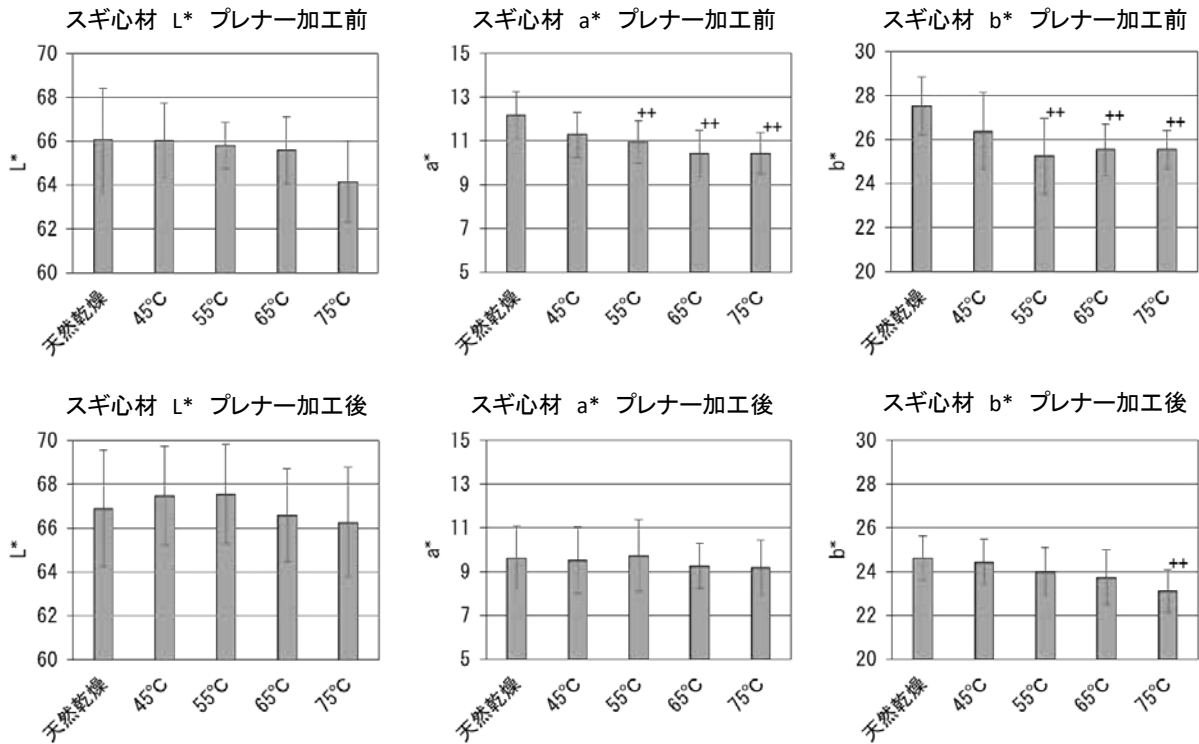


図 11 スギ心材のプレナー加工前後におけるL*、a*、b*の測定結果

注：平均値、n=15。バーは標準偏差。

プレナー加工：乾燥後に自動一面かな盤を用いて2mm切削。

+, ++：天然乾燥と各条件との間にそれぞれ危険率5%および1%の有意差あり (Dunnett 法)。

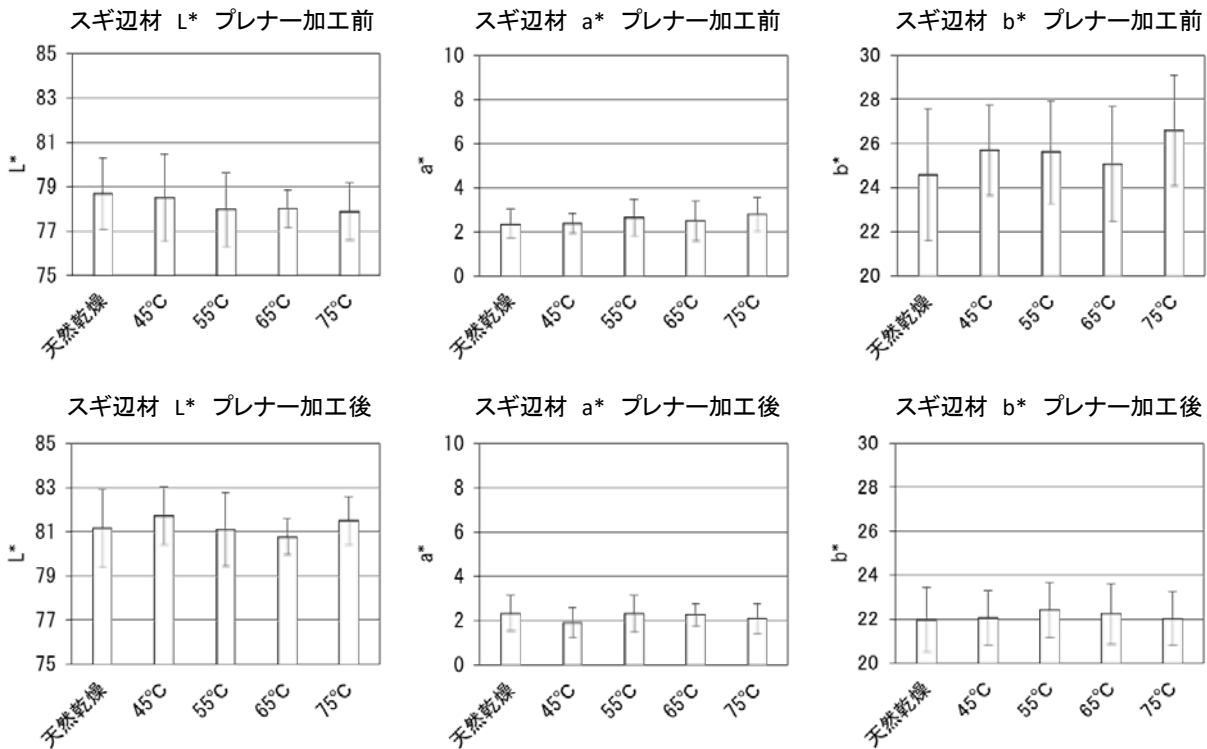


図 12 スギ辺材のプレナー加工前後におけるL*、a*、b*の測定結果

注：図 11 を参照。

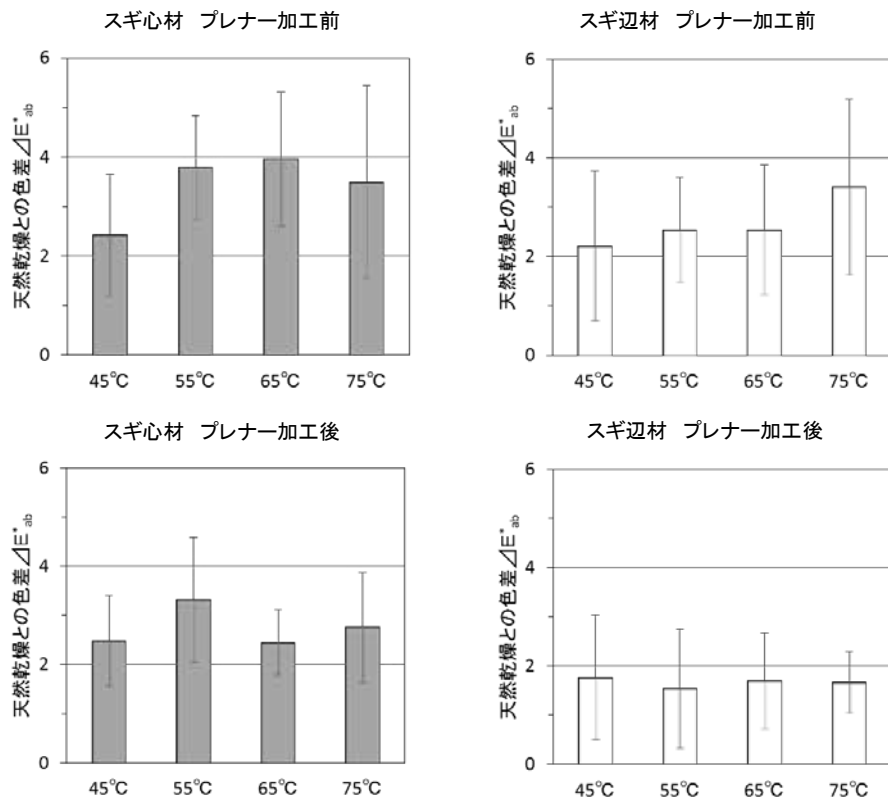


図 13 スギ材のプレナー加工前後における天然乾燥との色差

注：平均値、n=15。バーは標準偏差。

プレナー加工：自動一面かな盤を用いて2mm切削。

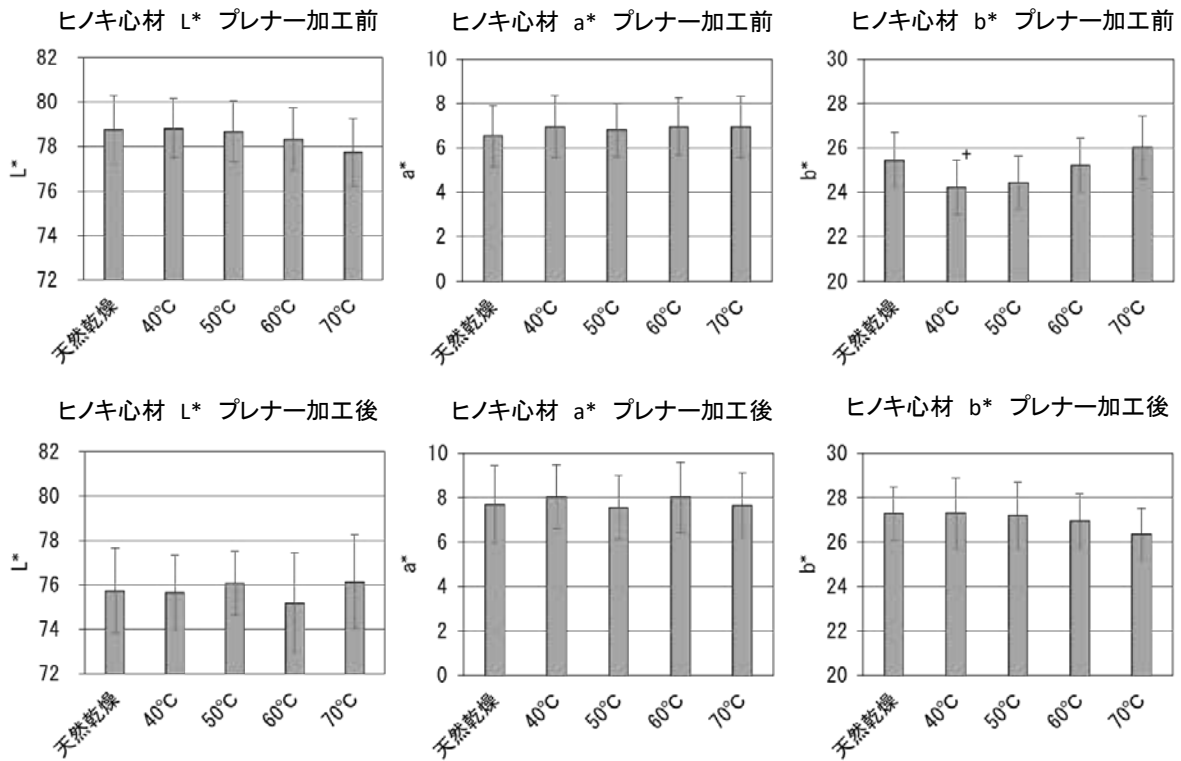


図 14 ヒノキ心材のプレナー加工前後におけるL*、a*、b*の測定結果

注：図 11 を参照。

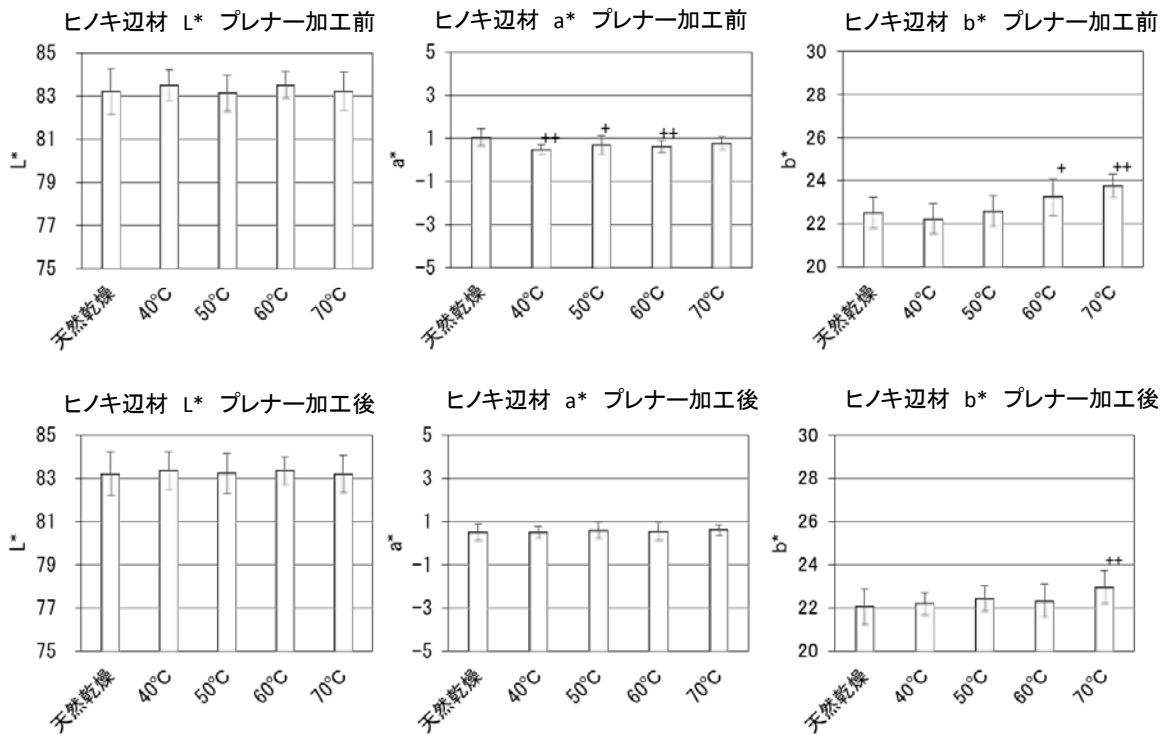


図 15 ヒノキ辺材のプレナー加工前後におけるL*、a*、b*の測定結果
注：図 11 を参照

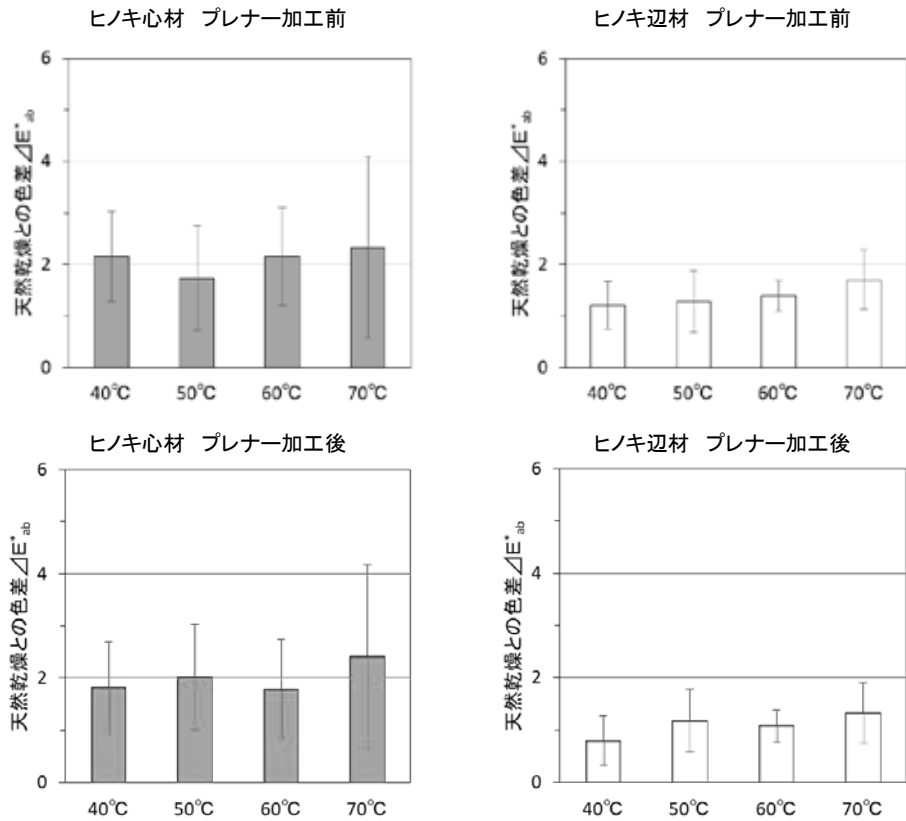


図 16 ヒノキ材のプレナー加工前後における天然乾燥との色差
注：図 13 を参照。

4. まとめ

スギおよびヒノキの造作材の天然乾燥後に行う人工乾燥における適切な温度条件、すなわち、天然乾燥の材色との差が小さく、かつ、乾燥日数の短い温度条件を調べた。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) スギ材は 55°C以上、ヒノキ材は 60°C以上の条件で、人工乾燥中の材色の変化が大きい傾向があった。
- 2) 深さ 2 mm 程度までプレナー加工を行った後の材色は、スギ材は 75°C、ヒノキ材は 70°Cの条件で天然乾燥と差が生じる傾向があった。
- 3) 生材から人工乾燥を行うよりも、天然乾燥により含水率を下げてから人工乾燥を行う方が、天然乾燥との色差は小さかった。
- 4) スギ材、ヒノキ材ともに材色の変化を抑え、かつ、人工乾燥の日数を短くするためには乾燥温度を 60~65°C程度とすることが有効と考えられた。

引用文献

- 1) 成瀬達哉, 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)
- 2) 片岡厚: 木材の色の測り方と色の違いの表し方. 2014年度木材と水研究会講演要旨集. 日本木材学会木材と水研究会編. 東京, 2015-2, 日本木材学会木材と水研究会, 2015, 1-16.
- 3) William T. Simpson. : “12. Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes”. Wood handbook—Wood as an engineering material. Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999, 6-7.

(2020年4月2日 受理)