

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3報) —厚物スギ生材に対する乾燥温度の検討—

中 晶平・柳川靖夫*1・成瀬達哉*2

スギの厚物造作材の人工乾燥において、天然乾燥材の材色との差が小さく、かつ、乾燥日数の短い乾燥条件を明らかにするため、乾燥温度がスギ板材の材色に及ぼす影響を調べた。生材のスギ板材(厚さ54mm)を乾球温度45℃、55℃、65℃および75℃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、乾燥温度55℃以上で天然乾燥の材色と差が生じる傾向があった。また、天然乾燥の材色との差は乾燥初期に生じる傾向があったことから、少なくとも乾燥初期の温度を45℃程度とすることが材色の変化を抑えるために有効であると考えられた。

1. はじめに

一般的に造作材の乾燥では、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。また、現しで使用する造作材の乾燥では材色を重要視する場合があるため、乾燥による材色変化を抑えることも求められる。

天然乾燥では材色の変化は小さい¹⁾が、到達する含水率は15%程度が限界で、一般的には20%以上であり²⁾、また乾燥に長期間を要する。このため、含水率15%以下で納材するには、通常、人工乾燥が行われる。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条件が求められている。

第1報³⁾では厚さ18mmの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℃以上

で天然乾燥の材色と差が生じる傾向があった。また、天然乾燥との材色の差は乾燥初期に生じる傾向があったことから、乾燥初期温度はスギ材では45℃程度とすることが材色の変化を抑える方法として適切であると考えられた。しかし、薄物造作材に比べ乾燥に長期間を要する厚物造作材に対しては異なる結果になる可能性が残されている。そこで本研究では、生材の厚物スギ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

生材のスギ板目板(奈良県産、幅115mm、厚さ54mm、長さ4000mm)を使用し、枚数は心材と辺材を10枚ずつとした。なお、辺材について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。

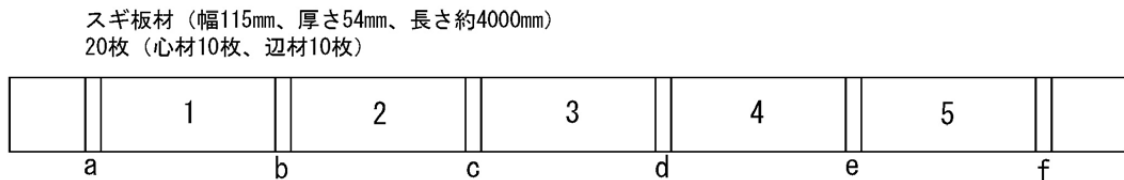


図1 試験体の採取方法

注: a~f:初期含水率測定用試片(長さ20mm)
1~5:試験体(長さ700mm)

*1 現 京都府立大学大学院生命環境科学研究科

*2 現 奈良県 食と農の振興部 南部農林振興事務所

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制した。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各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。図1に示すとおり、同一の板材から採取した5体の試験体に対し5条件で乾燥し、乾燥温度が材色に及ぼす影響について調べた。乾燥条件は、乾球温度45℃、55℃、65℃、75℃および天然乾燥とした。天然乾燥期間中の気温および相対湿度は、奈良地方気象台の観測値⁴⁾より算出した。なお、図1に示す各乾燥温度の試験体の採取位置は無作為とした。

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、心材および辺材別に行った。乾燥操作中、適宜すべての試験体の重量および材色の測定を行い、初期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。人工乾燥の目標含水率は12%とした。天然乾燥は、2020年2月5日から同年5月21日まで当センターの屋内に積み重ねて行った。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。天然乾燥の目標含水率は20%とした。

乾燥終了後、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

まず、各試験体の木表面の早材部3箇所直径約18mmの円を記し、円の内側を測定箇所とした。測定に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(明度(L*)、赤色度(a*)および黄色度(b*))により評価した。3箇所の材色の平均値を試験体の測定値とした。

また、測定は乾燥前、乾燥途中(重量測定時)および乾燥後に行った。色差計の測定値は温度の影響を受ける⁵⁾とされていることから、乾燥後の測定は乾燥直後に行うとともに、材温が常温となった後にも行った。常温での測定後、材色の測定箇所の位置を記録し、プレナーを用いて測定面を2mm切削した。その後、切削前と同じ箇所と同様に材色の測定を行った。

天然乾燥と各温度条件との色差(ΔE^*_{ab})は同一の板材から採取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。

3. 結果および考察

3.1 乾燥経過

図2に、初期含水率の測定結果を示す。いずれの乾燥条件でも、辺材は心材よりも初期含水率およびばらつきは大きかった。

図3に、仕上がり含水率の測定結果を示す。人工乾燥4条件の仕上がり含水率は、心材では8.0~13.1%、辺材では8.4~12.7%であり、仕上がり含水率の平均値は、心材では9.7%、辺材では10.2%であった。また、天然乾燥の仕上がり含水率は、心材では15.8~25.4%、辺材では15.3~17.0%であり、仕上がり含水率の平均値は、心材では19.2%、辺材では16.3%であった。

図4に、人工乾燥による含水率の推移を示す。人工乾燥4条件では、目標とした含水率12%以下になるまでに心材では45℃は23.0日、55℃は17.4日、65℃は13.5日、75℃は10.1日を要し、辺材では45℃は14.1日、55℃は11.9日、65℃は9.8日、75℃は7.2日を要した。乾燥温度を10℃高くすることにより、心材では4~6日程度、辺材では2日程度乾燥日数は短縮された。

表1 乾燥条件

乾燥条件	45℃			55℃			65℃			75℃			天然乾燥								
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)	・屋内 ・乾燥期間 2020年2月5日~5月21日 ・気温 ⁴⁾ 平均11.7℃, 最高30.3℃, 最低-2.5℃ ・相対湿度 ⁵⁾ 平均66.0%, 最低16.0%								
生~50	45	41	4	55	51	4	65	61	4	75	71	4									
50~40														39.5	5.5	49.5	5.5	59.5	5.5	69.5	5.5
40~35														37	8	47	8	57	8	67	8
35~30														34	11	44	11	54	11	64	11
30~25														32	13	42	13	52	13	62	13
25~20														29.5	15.5	39.5	15.5	49.5	15.5	59.5	15.5
20~10														28	17	38	17	48	17	58	17
調湿(8h)														39	8	49	8	59	8	69	8

a), b): 奈良地方気象台(奈良市西紀寺町)における気温および相対湿度を天然乾燥期間について集計した。⁴⁾

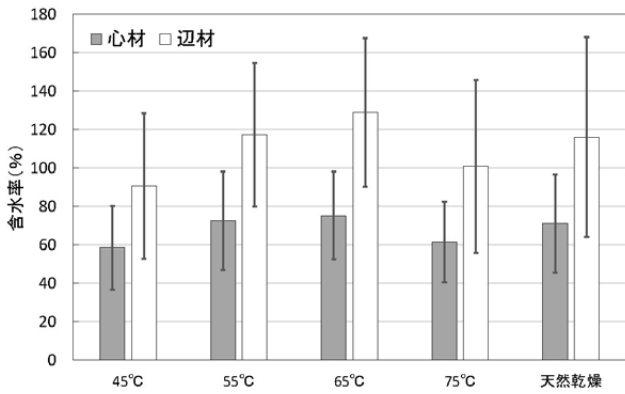


図2 スギ材の初期含水率

注：平均値、n=10。バーは標準偏差。

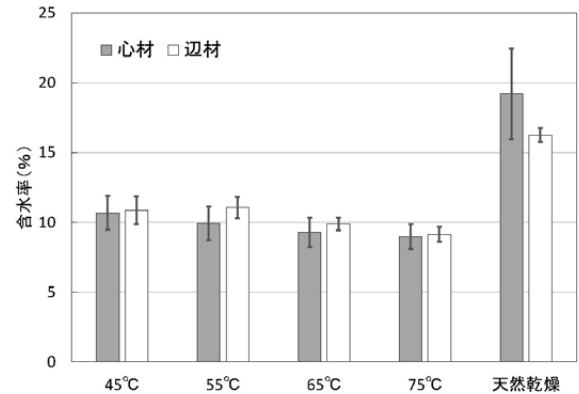


図3 スギ材の仕上がり含水率

注：平均値、n=10。バーは標準偏差。

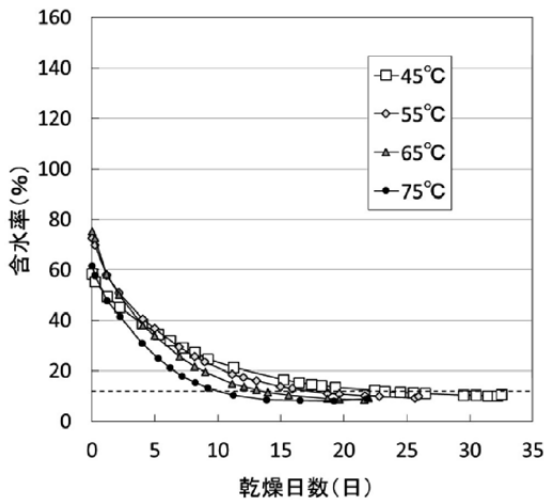


図4 人工乾燥による含水率の推移

注：平均値、n=10。破線は条件間の乾燥日数の比較に用いた目標含水率12%。

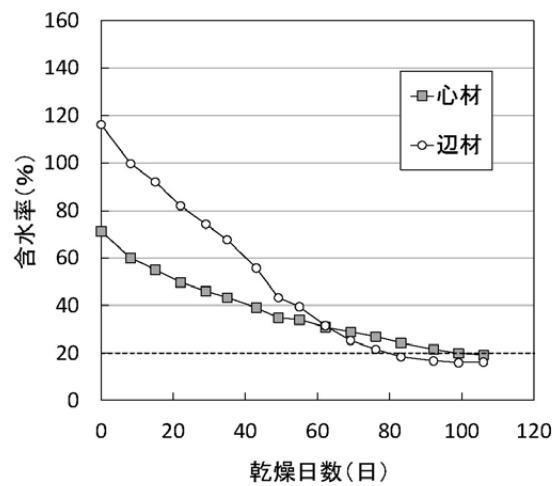


図5 天然乾燥による含水率の推移

注：平均値、n=10。破線は条件間の乾燥日数の比較に用いた目標含水率20%。

図5に、天然乾燥による含水率の推移を示す。天然乾燥では目標とした含水率20%以下になるまでに心材では98.7日、辺材では79.6日を要した。天然乾燥に供試した試験体について、心材は辺材より初期含水率は低かったが、含水率20%に到達するまでの乾燥日数は辺材より長かった。

3.2 L*、a*、b*の推移

図6に、心材の乾燥中のL*、a*、b*の推移を示す。なお、乾燥中の材色の測定値は乾燥前から乾燥直後までの測定値を示す。天然乾燥では、L*は概ね一定であったのに対し、a*およびb*は乾燥中は減少傾向を示した。人工乾燥では、L*、a*、b*すべてにおいて、いずれの乾燥条件も乾燥初期に減少し、その後概ね一定となった。a*では乾燥温度による条件間の差はほとんど見られなかった。天然乾燥、人工乾燥ともに第1報³⁾で報告した18mm厚の板と概ね同様の傾向であった。

図7に、辺材の乾燥中の L^* 、 a^* 、 b^* の推移を示す。心材と同様、乾燥中の材色の測定値は乾燥前から乾燥直後までの測定値を示す。天然乾燥では、 L^* は乾燥初期に増加した後は概ね一定となったが、 a^* および b^* は乾燥初期に増加した後は減少傾向を示し、その後概ね一定となった。第1報³⁾で報告した18mm厚の板と比較して、 L^* は同様の傾向であったが、 a^* は乾燥初期に増加する点、 b^* は乾燥日数約30日後以降から減少する点について違いがみられた。人工乾燥では、 L^* はいずれの乾燥条件も乾燥初期に増加したが、45°Cではその後概ね一定となり、55°C以上では減少後概ね一定となった。 a^* は45°Cでは概ね一定であったが、55°C以上では増加傾向を示し、その後概ね一定となった。 b^* はいずれの乾燥条件も増加傾向を示し、その後概ね一定となった。第1報³⁾で報告した18mm厚の板の結果では、 L^* は55°C以上では乾燥初期の増加は示さずほぼ一定であったが、54mm厚の板ではいずれも乾燥初期の増加がみられ、 a^* および b^* はいずれの乾燥条件も同様の推移を示した。 L^* が乾燥初期に増加、すなわち明度が増した一因として、乾燥に伴い表面の濡れ色が解消されたことが考えられる⁶⁾。

3.3 プレナー加工前後の材色比較

図8に、心材のプレナー加工前および2mm切削後における L^* 、 a^* 、 b^* の測定結果を示す。なお、プレナー加工前の材色の測定値は材温が常温時の測定値を示す。プレナー加工を行うことにより、いずれの乾燥条件も L^* は増加、 a^* は減少する傾向、 b^* は天然乾燥で減少する傾向がみられ、 L^* および b^* では天然乾燥と各温度条件間の差は小さくなった。

図9に、辺材のプレナー加工前および2mm切削後における L^* 、 a^* 、 b^* の測定結果を示す。心材と同様、プレナー加工前の材色の測定値は材温が常温時の測定値を示す。プレナー加工を行うことにより、いずれの乾燥条件も L^* は増加し、 a^* および b^* は減少する傾向がみられた。

3.4 天然乾燥と各温度条件の材色比較

天然乾燥と各温度条件との対比較について Dunnett法により検定を行った。

図8に示すとおり、心材は、プレナー加工前では、温度が高いほど L^* は小さくなる傾向があり、55°C以上で有意差が認められた。 a^* は乾燥条件間に大きな差は見られず、 b^* は人工乾燥4条件では天然乾燥よりも有意に小さかった(有意水準1%)。プレナー2mm切削後では、 L^* は55°C以上で天然乾燥よりも有意に小さかったが、 a^* および b^* では有意差は認められなかった。第1報³⁾で報告した18mm厚の板のプレナー2mm切削後における L^* の測定結果では、天然乾燥と人工乾燥4条件との間に有意

差は認められなかった。

生材を人工乾燥した際に発生する変色の原因としては、木材中に含まれるフェノール成分が、熱や酸化酵素の働きで空気中の酸素と反応し、着色物質に変わることなどが挙げられている⁷⁾。また、水分が蒸発する過程で、着色物質が材表面に移動集積することにより材色変化を大きくしている場合があるとされている⁷⁾。本報では第1報と比べて試験体の幅および長さは同じで厚さは3倍であるため、フェノール成分の含有量は第1報の18mm厚より本報の54mm厚の方が多い。以上より、プレナー2mm切削後の材色について、乾燥条件55°C以上で54mm厚では明度の低下がみられ、18mm厚では明度の低下がみられなかった要因として、54mm厚では18mm厚と比較して、材表面に着色物質がより厚く集積した可能性が考えられる。

図9に示すとおり、辺材は、プレナー加工前では、 L^* および a^* において55°C以上で有意差が認められ、 b^* は45°C、65°Cおよび75°Cで有意差が認められた。プレナー2mm切削後では、 L^* は65°C以上で天然乾燥よりも有意に小さく、 a^* および b^* ではいずれも55°C以上で天然乾燥よりも有意に大きかった。第1報³⁾で報告した18mm厚の板のプレナー2mm切削後における L^* の測定結果では、55°C以上で天然乾燥よりも有意に小さかったが、 a^* および b^* では今回の54mm厚の板と同様の結果であった。このことから、厚物スギ生材の辺材の乾燥では、厚みが増大しても材内部の材色の変化には大きく影響しないことが示唆された。

3.5 天然乾燥との色差比較

図10に、心材および辺材のプレナー加工前および2mm切削後における材色について、天然乾燥のデータを色差基準値とし、その他の温度条件との色差 ΔE^*_{ab} を示す。

心材、辺材ともにいずれの乾燥条件も色差はプレナー加工を行うことにより小さくなった。しかし、第1報³⁾で報告した18mm厚の板のプレナー2mm切削後の天然乾燥との色差と比較すると、心材はいずれの乾燥条件でも大きく、特に65°C以上の条件でその差は顕著であった。また、プレナー加工前および2mm切削後いずれにおいても、心材、辺材ともに45°Cよりも55°C以上では色差が大きい傾向がみられた。

厚さ54mmのスギ板材において、心材、辺材ともにプレナー加工後の材色は、乾燥温度55°C以上で天然乾燥と差が生じる傾向があった。また、天然乾燥との材色の差は乾燥初期に生じたと考えられた。第1報³⁾で報告した厚さ18mmのスギ板材の乾燥では、乾燥初期温度を45°C

程度とすることが材色の変化を抑えるために有効と考えられたが、厚さ 54mm の場合においても、乾燥初期温度

を 45°C程度とすることが材色の変化の抑制には有効であると考えられた。

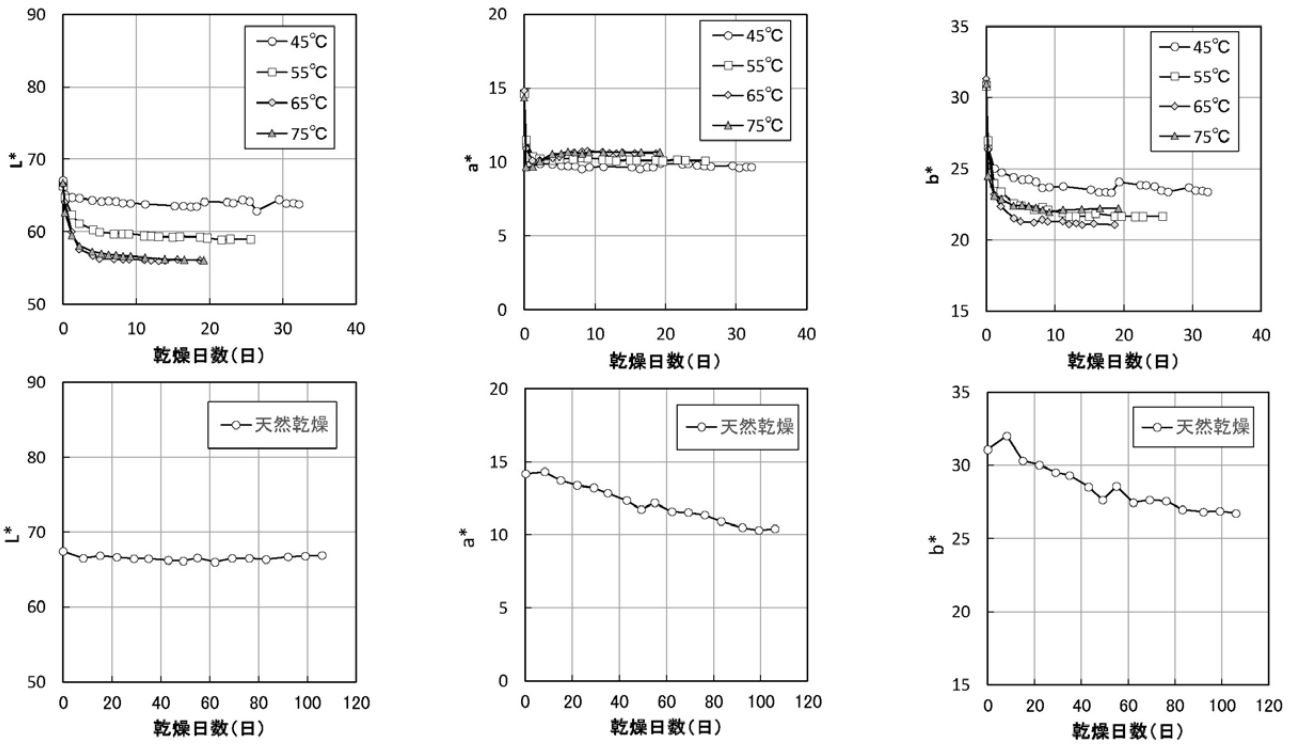


図6 心材の乾燥中のL*、a*、b*の推移
注：平均値、n=10。乾燥中：乾燥前から乾燥直後まで。

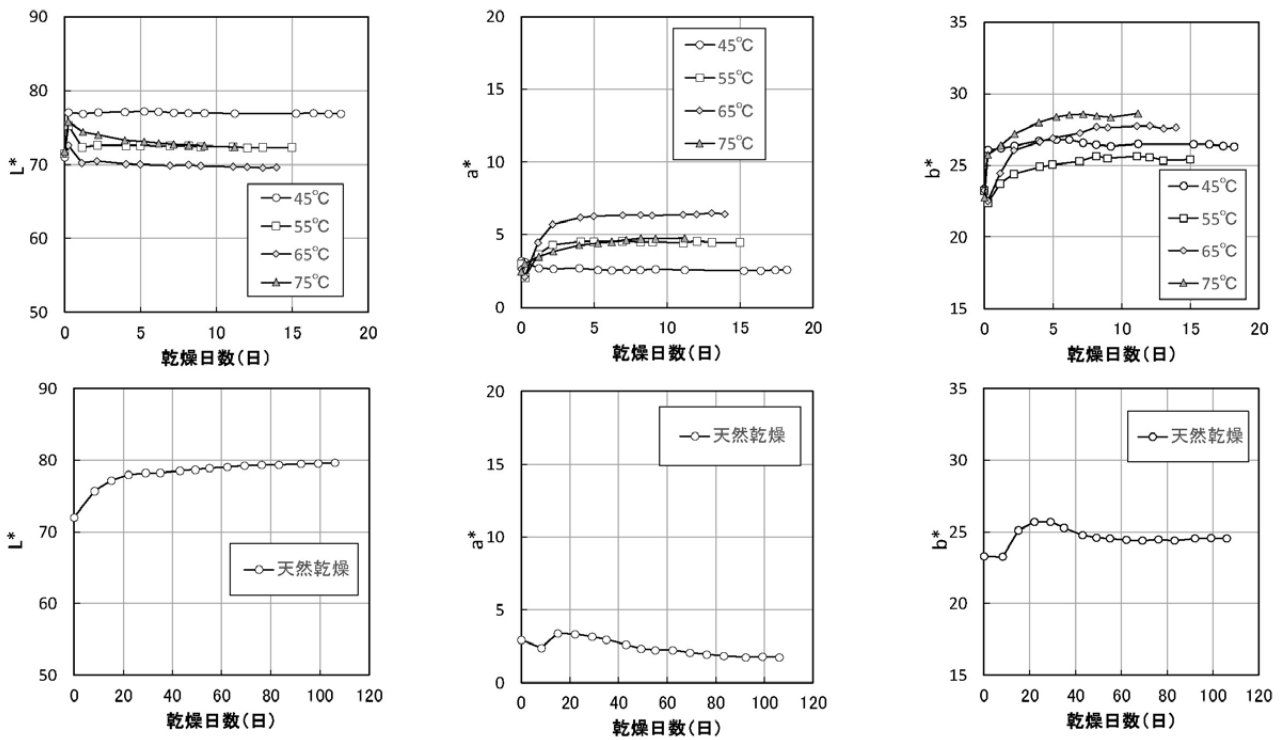


図7 辺材の乾燥中のL*、a*、b*の推移
注：平均値、n=10。乾燥中：乾燥前から乾燥直後まで。

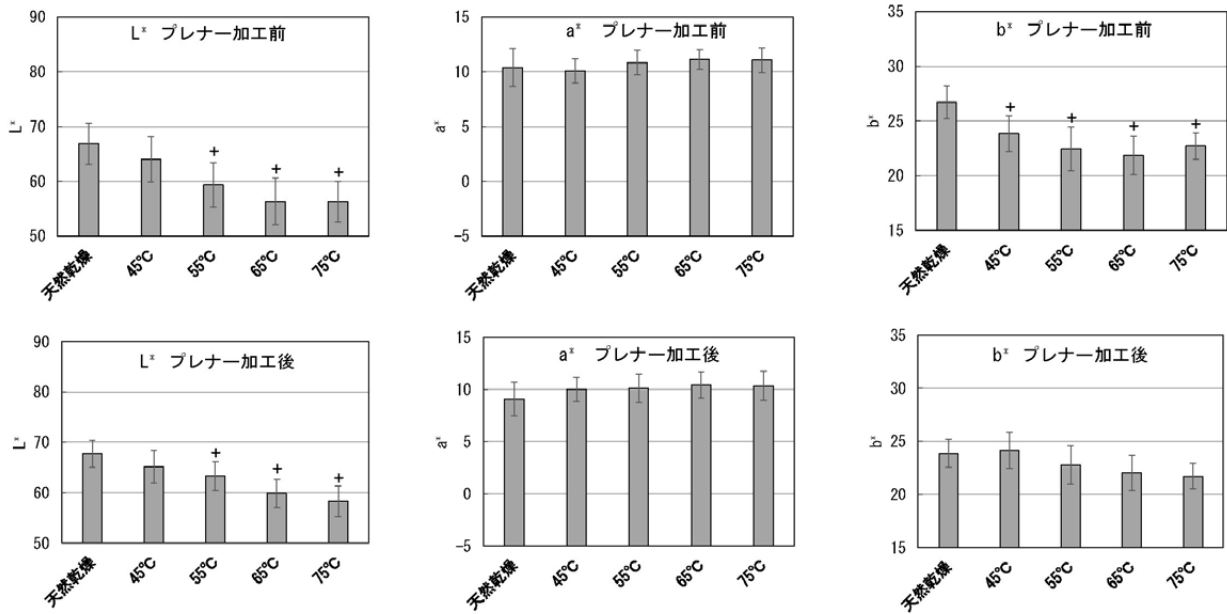


図8 心材のプレナー加工前後におけるL*、a*、b*の測定結果

注：平均値、n=10。バーは標準偏差。プレナー加工：乾燥後にプレナーを用いて2mm切削。
 +：天然乾燥と各条件との間にそれぞれ危険率1%の有意差あり (Dunnett 法)。

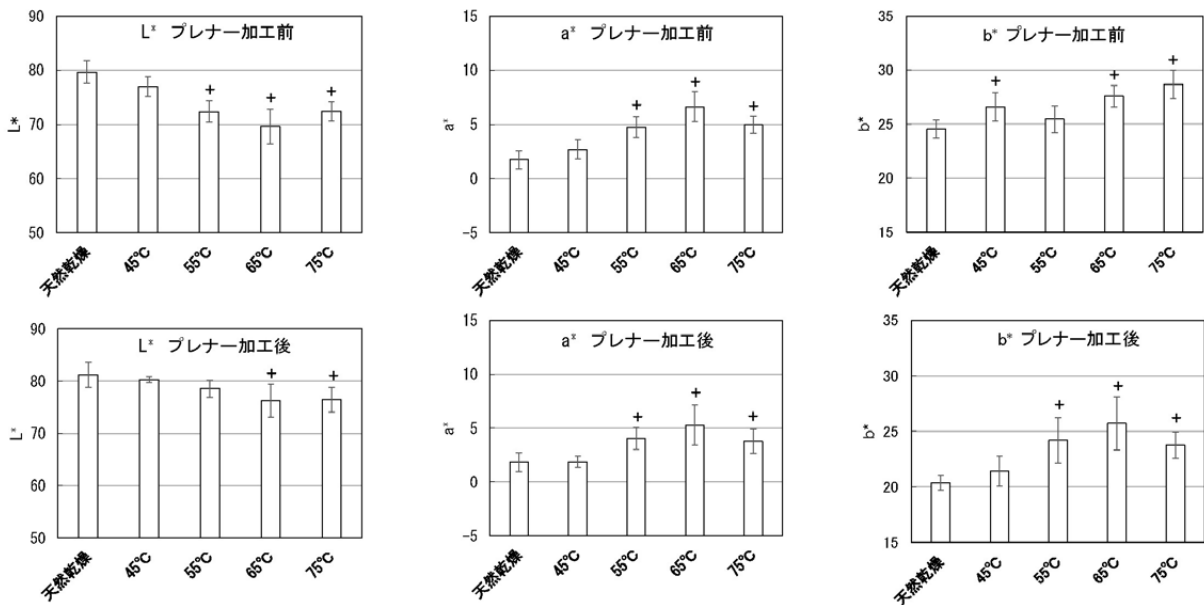


図9 辺材のプレナー加工前後におけるL*、a*、b*の測定結果

注：平均値、n=10。バーは標準偏差。プレナー加工：乾燥後にプレナーを用いて2mm切削。
 +：天然乾燥と各条件との間にそれぞれ危険率1%の有意差あり (Dunnett 法)。

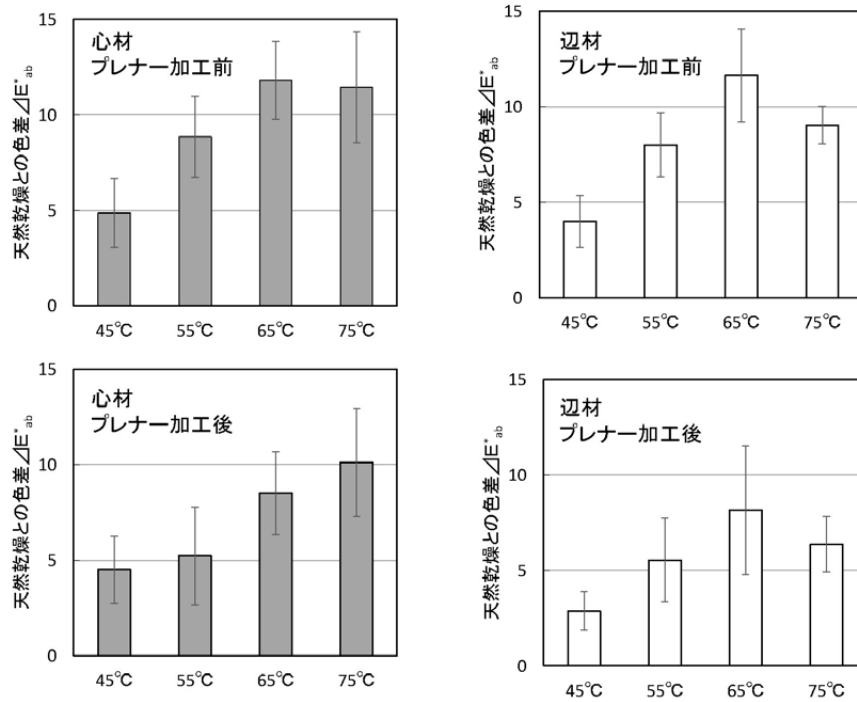


図 10 心材および辺材のプレナー加工前後における天然乾燥との色差
 注：平均値、n=10。バーは標準偏差。プレナー加工：乾燥後にプレナーを用いて2mm 切削。

4. まとめ

スギ厚物造作材の人工乾燥において、天然乾燥材の材色との差が小さく、かつ、乾燥日数の短い乾燥条件を明らかにするため、乾燥温度が厚物スギ板材の材色に及ぼす影響を調べた。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 厚物スギ板材の材色 (L*, a*, b*) の変化は乾燥初期に生じる傾向があった。また、天然乾燥の材色との差は乾燥初期に生じる傾向があった。
- 2) 乾燥初期温度は 45°C 程度とすることが材色の変化を抑えるために適切であると考えられた。

引用文献

- 1) 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ：安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル。石川，石川県林業試験場 石川ウッドセンター，2012，P11.
- 2) 信田聡，河崎弥生編：木材科学講座 7 木材の乾燥 II 応用編。海青社，2020，26.
- 3) 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)

- 4) 国土交通省気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> (2022 年 3 月 25 日 閲覧)
- 5) 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.
- 6) 古曳博也：内装・家具に最適な県産材乾燥技術の開発 — 「栈木痕」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)
- 7) 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，1983，222-224.

(2022 年 4 月 7 日 受理)

