

## 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4報) —乾燥途中における昇温の効果検証—

中 晶平・柳川靖夫\*<sup>1</sup>

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、乾燥途中における乾燥温度の上昇が、スギ板材の材色および乾燥日数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℃で含水率を 40%、30%、25%とそれぞれの水準まで乾燥させた後、温度を 65℃に上昇させて乾燥を継続し、乾燥後の材色(L\*a\*b\*表色系)を天然乾燥後のそれと比較した。

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、心材ではいずれの人工乾燥条件も天然乾燥の材色と差が生じる傾向があり、辺材ではいずれの人工乾燥条件も天然乾燥の材色と有意差は認められなかった。また、心材では、乾燥途中における昇温には、乾燥日数を短縮する効果がみられたが、辺材では、その効果は顕著ではなかった。したがって、今回検討した範囲では、スギ厚物造作材の乾燥では、心材においても辺材においても、乾燥途中の昇温は、2つの目的、すなわち天然乾燥材の材色との差が小さいことと、乾燥日数の短縮との両方を満たすことは困難であった。

### 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<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>、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<sup>3)</sup>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。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。また、厚さ 54mm のスギ板材の場合においても同様の結果が得られた<sup>4)</sup>。第2報<sup>5)</sup>では厚さ 18mm のスギおよび

ヒノキの板材について、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において、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。その結果、スギ材では 75℃で天然乾燥の材色と差が生じる傾向があったことから、天然乾燥後に行う人工乾燥では、スギ材では乾燥温度を 65℃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。また、厚さ 54mm のスギ板材の場合においても同様の結果が得られた<sup>6)</sup>。

そこで本研究では、今までの研究結果を考えあわせて、厚さ 54mm の生材のスギ板材に対して乾球温度 45℃で乾燥し、含水率を 40%、30%、25%とそれぞれの水準まで低下させた後、温度を 65℃に上昇させて乾燥を継続することで、材色の変化を抑え、かつ、乾燥日数の短縮を目指した。

### 2. 材料と方法

#### 2.1 材料

生材のスギの板目板(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 12 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。1枚の板材より長さ 500mm の試験体を 4 体ずつ採取した。試験体の採取

\*1 現 京都府立大学大学院生命環境科学研究科

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～e 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。図 1 に示すとおり、同一の板材から採取した 4 体の試験体に対してそれぞれ 4 条件で乾燥操作を行い、45℃から 65℃乾燥に移行する時期が、スギ板材の材色および乾燥日数に及ぼす影響について調べた。すなわち、平均含水率が 40%、30%および 25% 程度までそれぞれ乾球温度 45℃で人工乾燥を行った後、乾球温度 65℃で人工乾燥を行った（以下、それぞれの人工乾燥条件を「MC40」、「MC30」、「MC25」と表記する）。なお、人工乾燥終了時の目標含水率は 13%とした。また、1 条件は対照として天然乾燥を行った（以下、

天然乾燥の条件を「AD」と表記する）。天然乾燥終了時の目標含水率は 25%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。天然乾燥は、当センターの屋内に棧積みして行った。乾燥期間は、心材は 2021 年 2 月 18 日から 5 月 6 日までの 77 日間、辺材は 2021 年 2 月 18 日から 4 月 27 日までの 68 日間であった。棧積み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。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。

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、試験体の仕上がり含水率を全乾法により求めた。

スギ板材（幅 115mm、厚さ 54mm、長さ約 4000mm）  
24 枚（心材 12 枚、辺材 12 枚）

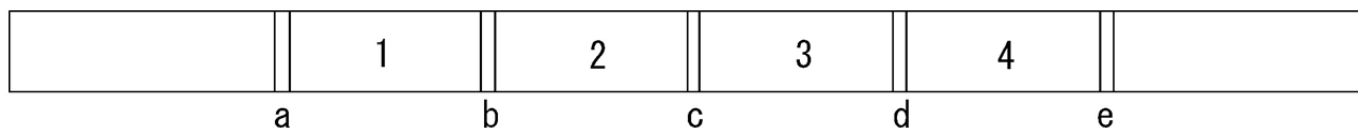


図 1 試験体の採取方法

注：a～e: 初期含水率測定用試片（長さ 20mm）  
1～4: 試験体（長さ 500mm）

表 1 乾燥条件

乾燥条件	MC25			MC30			MC40			AD	
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)	屋内にて棧積み	
生～50	45℃	41	4	45℃	41	4	45℃	41	4	【心材】 乾燥期間: 2021年2月18日～同年5月6日 気温: 平均11.9℃、最高26.8℃、最低-2.9℃ 相対湿度: 平均65.3%、最高97.0%、最低16.0%	
50～40		39.5	5.5		39.5	5.5		39.5	5.5		
40～35		37	8		37	8		57	8		
35～30		34	11		34	11		54	11		
30～25		32	13		52	13		52	13		
25～20	65℃	49.5	15.5	65℃	49.5	15.5	65℃	49.5	15.5		【辺材】 乾燥期間: 2021年2月18日～同年4月27日 気温: 平均11.3℃、最高26.7℃、最低-2.9℃ 相対湿度: 平均64.8%、最高97.0%、最低16.0%
20～10		48	17		48	17		48	17		
調湿(8h)		59	6		59	6		59	6		

注：MC25：平均含水率25%まで乾球温度45℃で人工乾燥後、乾球温度65℃で人工乾燥。  
MC30：平均含水率30%まで乾球温度45℃で人工乾燥後、乾球温度65℃で人工乾燥。  
MC40：平均含水率40%まで乾球温度45℃で人工乾燥後、乾球温度65℃で人工乾燥。  
AD：天然乾燥。

### 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<sup>7)</sup>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。

天然乾燥と各人工乾燥条件との色差(ΔE\*<sub>ab</sub>)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人工乾燥条件との測定値の差である。

## 3. 結果および考察

### 3.1 含水率

図2に、心材および辺材の初期含水率を示す。初期含水率の平均値は、心材ではMC40は80.5%、MC30は110.1%、MC25は94.1%、ADは72.1%であった。辺材ではMC40は93.7%、MC30は94.1%、MC25は89.4%、ADは89.2%であった。MC40、MC30、MC25およびAD間の初期含水率の平均値を比較すると、心材は辺材よりもばらつきが大きかった。

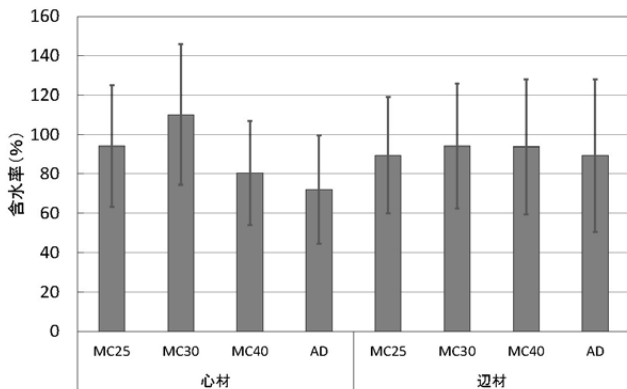


図2 スギ材の初期含水率(乾燥開始時の含水率)

注: 平均値、n=12。バーは標準偏差。MC25、MC30、MC40、AD: 表1を参照。

図3に、心材および辺材の仕上がり含水率を示す。心材および辺材の試験体で他の試験体より乾燥の遅いもの、辺材の試験体で心材部分を多く含むものが一部存在したため、目標含水率に到達しなかった試験体が存在した。このことから、心材のMC30およびAD、辺材のADの条件において仕上がり含水率のばらつきが大きかった。

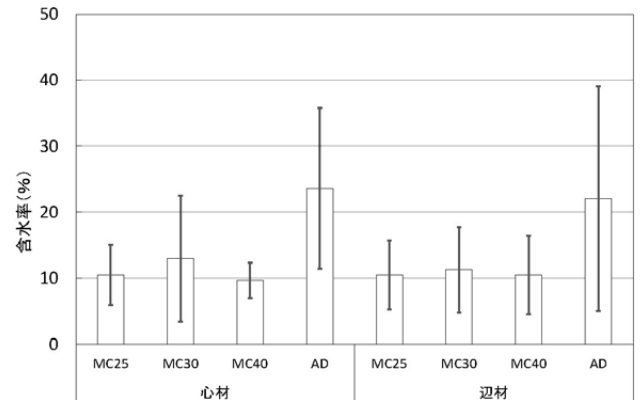


図3 スギ材の仕上がり含水率

注: 平均値、n=12。バーは標準偏差。MC25、MC30、MC40、AD: 表1を参照。

### 3.2 乾燥経過

図4に、心材および辺材の人工乾燥による含水率推移(平均値、n=12)を示す。MC40、MC30およびMC25間での乾燥日数を比較するため、3条件で最も初期含水率の低い条件の初期含水率(心材では80.5%、辺材では89.4%)に、ほかの2条件が到達するまでの乾燥日数を0日として、それぞれの条件の乾燥日数を算出した。この結果、目標含水率13%以下になるまでに、心材ではMC40は17.7日、MC30は20.7日、MC25は20.0日、辺材ではMC40は13.6日、MC30は12.4日、MC25は13.1日を要した。一般的にほかの条件が同一であれば乾球温度が高くなるほど乾燥速度は大きくなる<sup>8)</sup>ため、最も早い時期に65℃乾燥に移行したMC40が最も乾燥日数が短くなると予想されたが、本試験では、辺材は条件間で乾燥日数に大きな差はみられなかった。一方、心材では、予想通りMC40が最も乾燥日数が短かった。45℃から65℃への乾燥温度の上昇による乾燥日数の短縮効果は、乾燥期間が比較的長い心材では現れやすく、乾燥期間が比較的短い辺材では現れにくい可能性が考えられる。

図5に、天然乾燥による含水率推移を示す。天然乾燥では目標とした含水率25%以下になるまでに心材では64.8日、辺材では58.9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、目標含水率に到達するまでの乾燥日数は辺材より長かった。



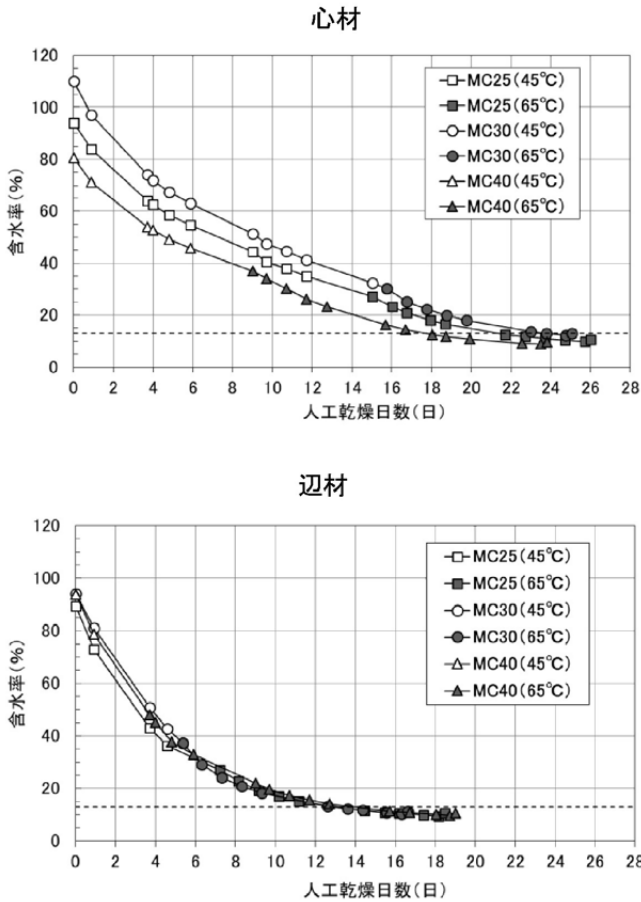


図4 人工乾燥による含水率推移

注：平均値、n=12。破線は人工乾燥終了時の目標含水率 13%。  
MC25、MC30、MC40：表 1 を参照。凡例の括弧内の数値は乾燥温度。

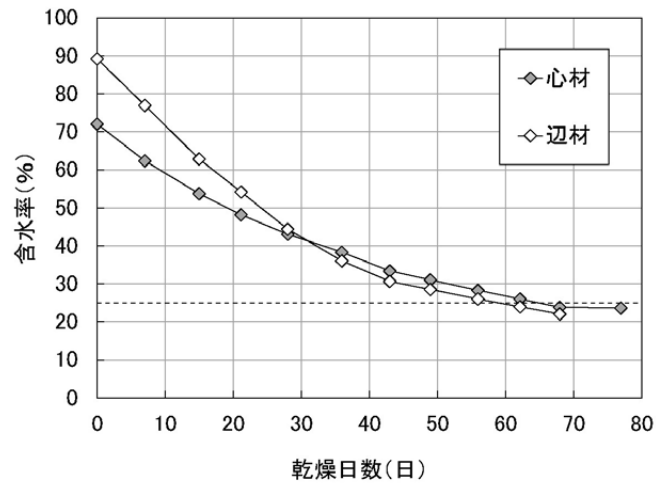


図5 天然乾燥による含水率推移

注：平均値、n=12。破線は天然乾燥終了時の目標含水率 25%。

3.3 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。L\*およびb\*はいずれの乾燥条件でも減少傾向を示し、MC40、MC30 および MC25 については、初期含水率が高い条件ほど乾燥後の L\*および b\*の値が小さくなる傾向があった。a\*もいずれの乾燥条件でも減少傾向を示し、MC40、MC30 および MC25 については、乾燥初期に減少量が大きかった。

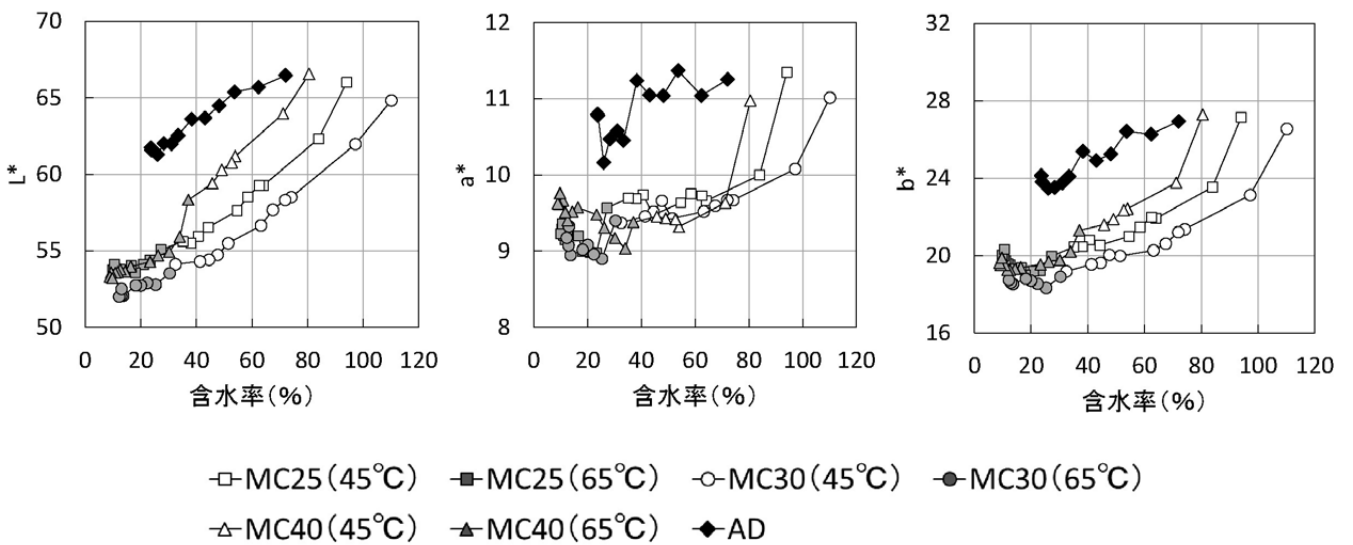


図6 心材の乾燥中のL\*、a\*、b\*の推移

注：平均値、n=12。乾燥中：乾燥前から乾燥直後まで。MC25、MC30、MC40、AD：表 1 を参照。  
凡例の括弧内は乾燥温度。

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。 $L^*$ はADでは増加傾向を示したが、人工乾燥条件ではいずれの条件でも減少傾向を示し、65°C乾燥に供試した段階が早い条件ほど減少量が大きかった。 $a^*$ はADでは減少傾向を示したが、MC30およびMC25ではほとんど変化が無く、MC40では逆に増加傾向を示した。 $b^*$ はADではほとんど変化が無かったが、人工乾燥条件ではいずれの条件でも増加傾向を示し、65°C乾燥に移行した時期が早い条件ほど増加量が大きかった。

3.4 プレナー加工前後の材色

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、いずれの乾燥条件でも  $L^*$ は増加、 $a^*$  および  $b^*$ は減少する傾向がみられた。

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、いずれの乾燥条件でも  $L^*$ は増加し、 $a^*$ および  $b^*$ は減少する傾向がみられた。

3.5 天然乾燥と各人工乾燥条件の材色比較

天然乾燥 (AD) と各人工乾燥条件との対比較について

Dunnnett 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、 $L^*$  および  $a^*$ は乾燥条件間に有意な差は認められず、 $b^*$ はいずれの人工乾燥条件もAD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MC40およびMC30でADよりも有意に小さかった。 $a^*$ は乾燥条件間に有意な差は認められなかったが、 $b^*$ はいずれの人工乾燥条件でもADより有意に小さかった。

図9に示すとおり、辺材は、プレナー加工前では、 $L^*$  および  $a^*$ はMC40およびMC30でそれぞれADと有意な差が認められ、 $b^*$ はいずれの人工乾燥条件もADよりも有意に大きかった。プレナー2mm切削後では、 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ すべてにおいて、いずれの人工乾燥条件もADと有意な差は認められなかった。

3.6 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 (AD) のデータを色差基準色とし、各人工乾燥条件との色差  $\Delta E^*_{ab}$ 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り、プレナー2mm切削後において、心材、辺材ともにMC40、MC30およびMC25間による色差の値の差は小さかった。したがって、今回検討した範囲では、65°Cへの昇温のタイミングによる色差への影響は明確ではなかった。

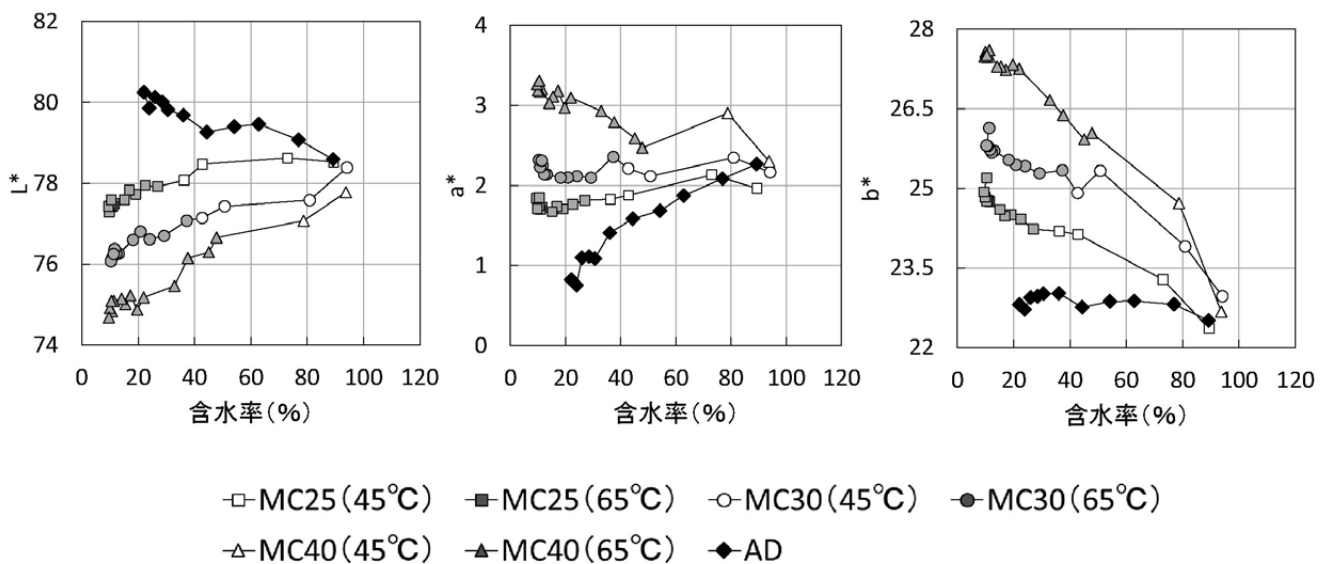


図7 辺材の乾燥中の  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ の推移

注：平均値、n=12。乾燥中：乾燥前から乾燥直後まで。MC25、MC30、MC40、AD:表1を参照。凡例の括弧内は乾燥温度。

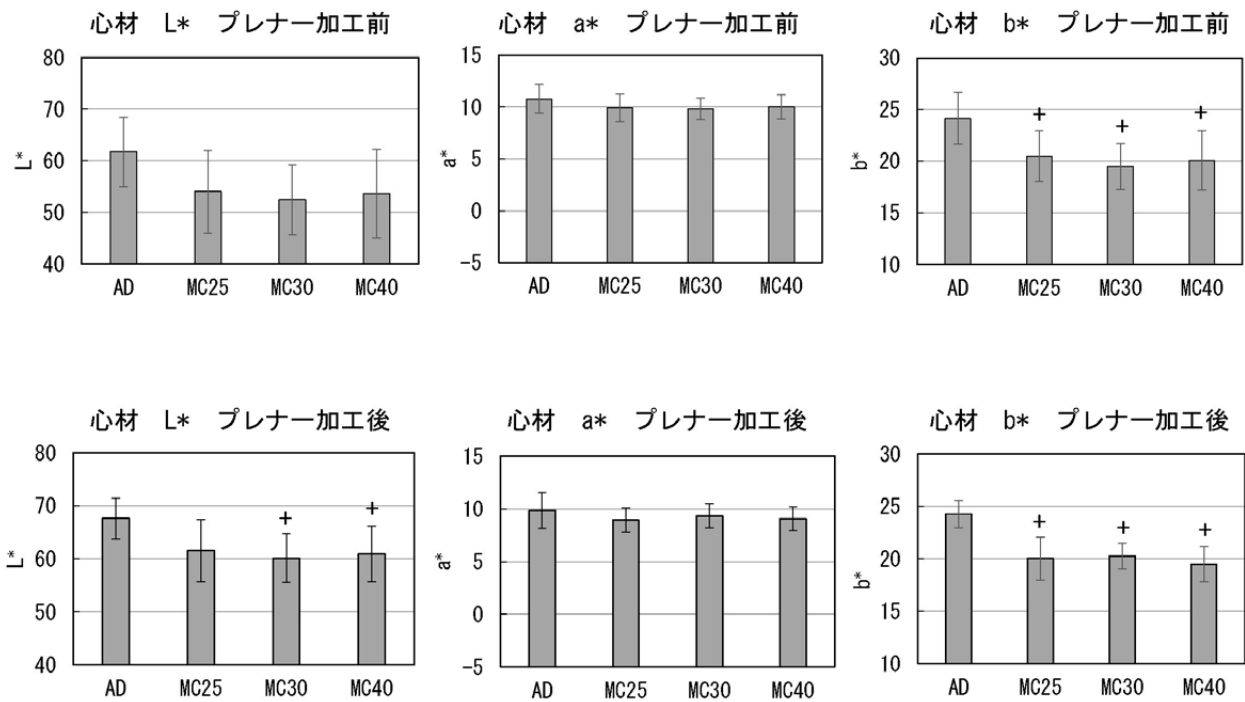


図8 心材のプレナー加工前後におけるL\*、a\*、b\*の測定結果

注：平均値、n=12。バーは標準偏差。プレナー加工：乾燥後プレナーを用いて2mm切削。MC25、MC30、MC40、AD:表1を参照。  
+：天然乾燥（AD）との間にそれぞれ危険率1%の有意差あり（Dunnett法）。

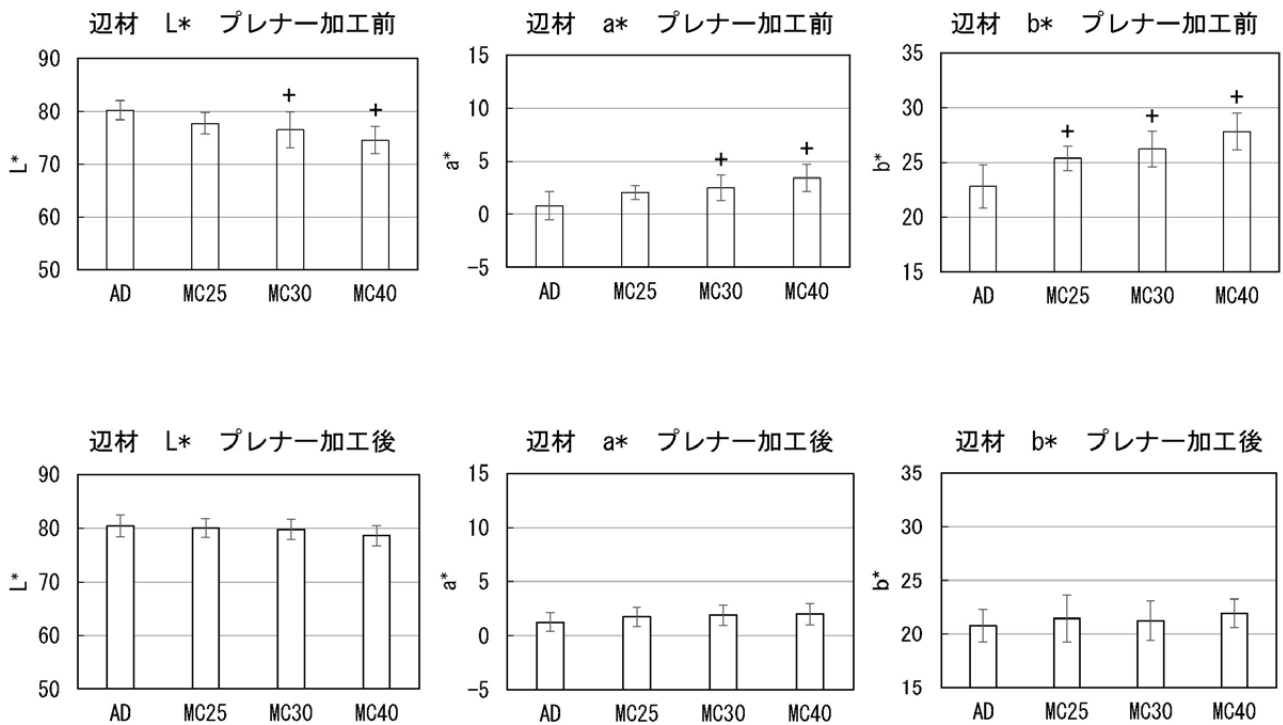


図9 辺材のプレナー加工前後におけるL\*、a\*、b\*の測定結果

注：平均値、n=12。バーは標準偏差。プレナー加工：乾燥後プレナーを用いて2mm切削。MC25、MC30、MC40、AD:表1を参照。  
+：図8を参照。

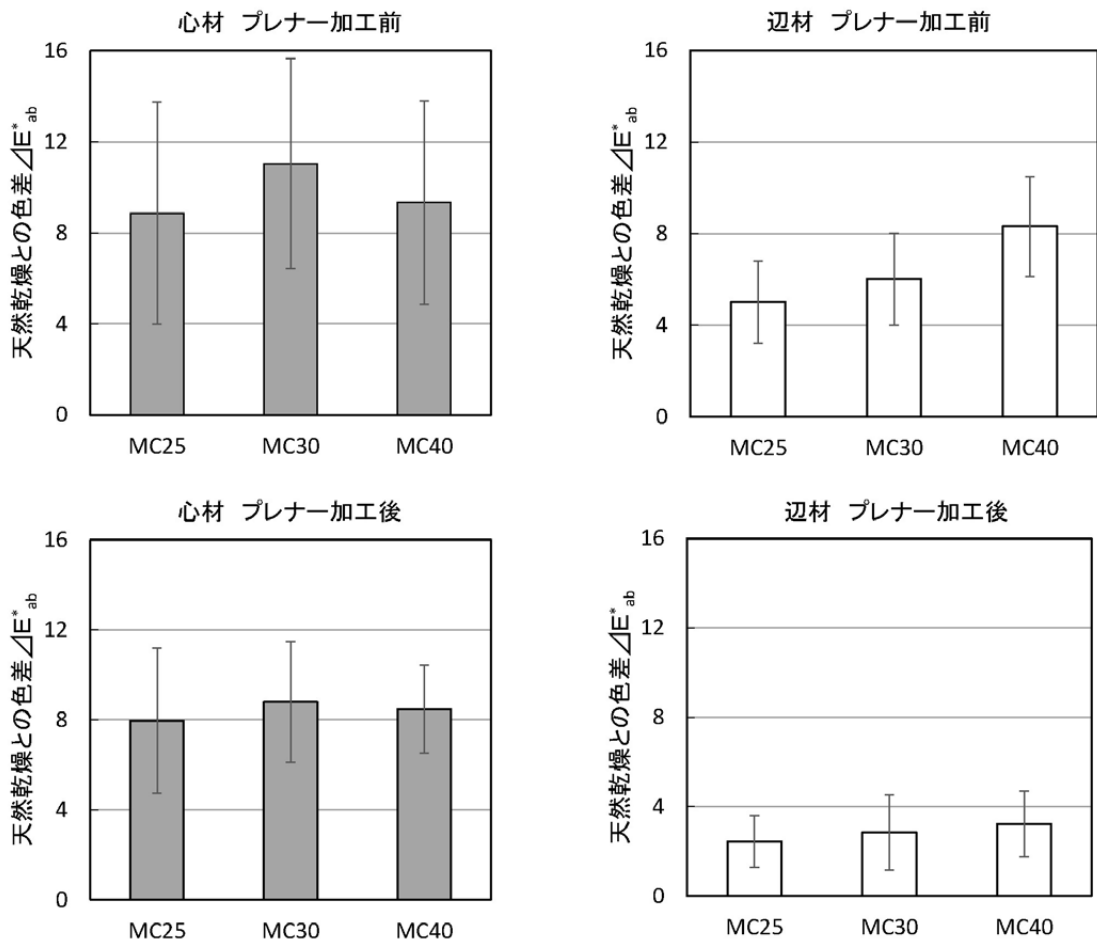


図 10 スギ材のプレナー加工前後における天然乾燥との色差

注：平均値、n=12。バーは標準偏差。プレナー加工：乾燥後プレナーを用いて2mm 切削。MC25、MC30、MC40:表 1を参照。

#### 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、乾燥途中における乾燥温度の上昇が、スギ板材の材色および乾燥日数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) 乾球温度 45℃で含水率を 40%、30%、25%とそれぞれの水準まで乾燥させた後、温度を 65℃に上昇させて乾燥を継続した。その後、深さ 2mm 程度までプレナー加工を行った材面において、心材ではいずれの人工乾燥条件 (MC40、MC30 および MC25) も天然乾燥 (AD) の材色と差が生じる傾向があり、辺材ではいずれの人工乾燥条件も天然乾燥の材色と有意差は認められなかった。
- 2) 乾燥途中で昇温することにより、心材では乾燥日数の短縮がみられたが、辺材では乾燥日数に大きな差はみられなかった。
- 3) 1) および 2) の結果から、今回の検討範囲では、

スギ厚物造作材の乾燥では、心材においても辺材においても、乾燥途中の昇温により、「天然乾燥材の材色との差が小さいこと」と「乾燥日数の短縮」の両方を満たすことは困難であった。

#### 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) 中晶平，柳川靖夫，成瀬達哉：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－. 奈良県森林技術センター研究報告. 51, 5-12(2022)
- 5) 成瀬達哉, 柳川靖夫: 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－. 奈良県森林技術センター研究報告. 49, 57-67(2020)
- 6) 成瀬達哉, 柳川靖夫: 奈良県産スギ・ヒノキ造作材の材色に配慮した乾燥方法の開発. 奈良県森林技術センター業務報告. 9(2020)
- 7) 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.
- 8) 信田聡, 河崎弥生編: 木材科学講座7 木材の乾燥 I 基礎編. 海青社, 2020, 67-68.

(2022年4月27日 受理)