

## 〈資料〉

### 蒸煮処理時間および高温低湿処理時間の違いがスギの材色変化に及ぼす影響

寺西康浩・海本 一

スギ構造材に対する人工乾燥の初期工程である蒸煮処理および高温低湿処理について、処理時間の違いが被乾燥材（スギ正角材）の心材色変化に及ぼす影響を調べた。その結果、次の結論を得た。

- (1) 蒸煮処理については、処理時間（2～24時間）の違いによる明度、色相および彩度の差は認められなかった。また、いずれの処理時間においても無処理材と比較した色差の平均値は小さかったことから、蒸煮処理時間の長短は心材色変化にあまり大きな影響を及ぼさないものと考えられた。
- (2) 高温低湿処理については、処理時間（6～72時間）が長くなると材色に暗色化と色相の変化（黄色みが増す）が生じ、その影響は処理時間が長くなるほど顕著であった。
- (3) 仕上がり寸法が12cm角のスギ正角材の場合、適正な蒸煮処理時間は6時間程度と判断され、材の変色防止に配慮した高温低湿処理時間は12時間程度と判断された。

## 1. はじめに

県内産のスギ（吉野スギ）では、建築用材として最も好まれる色彩は心材が淡紅色のものであるといわれており、材価は心材色によって大きく左右される。このことは造作材において顕著であり、県内で取り扱われるスギ造作材に対する乾燥処理のほとんどが天然乾燥によるもので、人工乾燥は材の変色が生じるとされ、避けられる傾向にある。

一方、構造材は強度性能等の明らかにされた乾燥材が強く求められている。スギ材は生材含水率の高いものが多く、乾燥処理に長時間を要する関係上、構造材に対する乾燥処理は人工乾燥による場合が多い。特に近年、無背割材でも表面割れをあまり発生させずに乾燥処理可能な高温低湿処理が開発され<sup>1)</sup>、広く普及している。

しかしスギ構造材においても、造作材ほどではないものの、上述したような心材色の良否を重視する傾向があり、人工乾燥処理によるスギの心材色変化を低減させることは重要な課題と考えられる。

ところで、木材を人工乾燥処理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、およびヘミセルロースの加水分解で、暗色物質が生成されることなどが挙げられている<sup>2)</sup>。スギ材の場合、含水率の高いとき、温度60℃以上（特に高湿）で乾燥処理すると材が濃赤褐色になるとされている<sup>3)</sup>。したがって、人工乾燥処理による材の変色を防止するためには乾燥温度を低く設定する方法が重要と考えられる。ただ、背割を施さずに表面割れや内部割れを発生させず、

かつ低コストで乾燥処理されたスギ構造材が求められているなか、そのような乾燥条件を採択することは困難であるといわざるを得ない。

そこで本研究では、人工乾燥工程のうち、高温条件あるいは高湿条件の処理時間を調節することによって、材の変色を多少でも防止できるか否かを検討した。すなわち、スギ構造材の人工乾燥処理に広く適用されている高温乾燥法や高周波・蒸気複合乾燥法の初期工程である蒸煮処理および高温低湿処理に着目し、それぞれの処理時間の違いが被乾燥材（スギ正角材）の心材色変化に及ぼす影響を調べた。

## 2. 材料および方法

### 2.1 蒸煮処理試験

県内製材工場より購入した心材色の良いスギ正角材6本（心持ち14cm角、長さ約300cm、背割あり、初期含水率45.0%～98.4%、淡紅色あるいは赤褐色の材で事前の調査により製品市場においても良品と判断されると思われるもの）を用いた。これらの材料1本あたりから図1上段に示すように、繊維方向40cmの試験材6体と、繊維方向10cm対照材5体採取した。

同一の材料から採取した試験材が同じ条件で処理されないように設定した上で、試験材6体ずつに対し、2、6、12、20および24時間の蒸煮処理を施した。残る1条件は無処理とした。

蒸煮処理後、図1中段以降に示すように、隣接する試験材と対照材の材表層（心材の早材部）に測定点を1箇所ずつ設定し、材色を色差計（日本電業工業製 NF333、

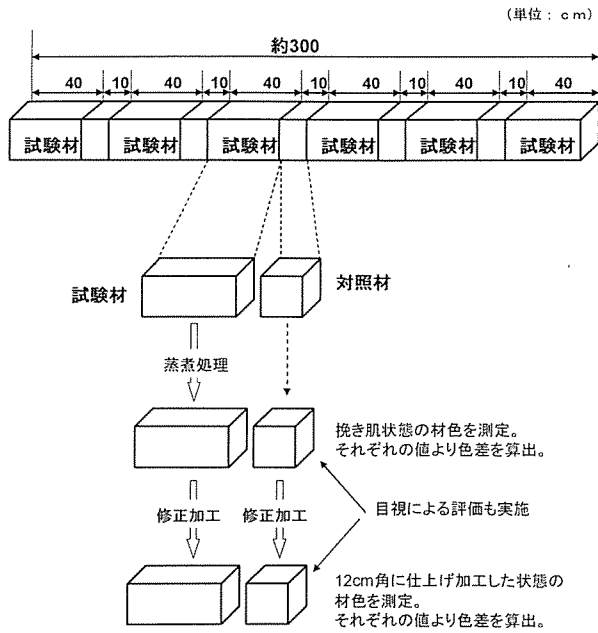


図1 試験材および対照材の調整方法

L\*a\*b\*表色系、光源C、視野角2°)により測定した。ここでいうL\*a\*b\*表色系におけるL\*は明度(明るさ)を表し、a\*とb\*との関係は色度(色相(a\*とb\*の値がともに正の場合は、それぞれ、赤みと黄色みの度合いを示す)と彩度(あざやかさ)の双方)を表すものである<sup>4)</sup>。

材色測定時における材表層の状態は、蒸煮処理直後の挽き肌状態(乾燥機から出庫した際の状態を想定)と、気乾状態まで風乾させた後に自動一面かんな盤で12cm角に仕上げ加工した状態(製品時の状態を想定)の2種を設定した。また、それぞれの測定結果より(1)式を用いて色差(色の違いを示す数量)をそれぞれ算出した。

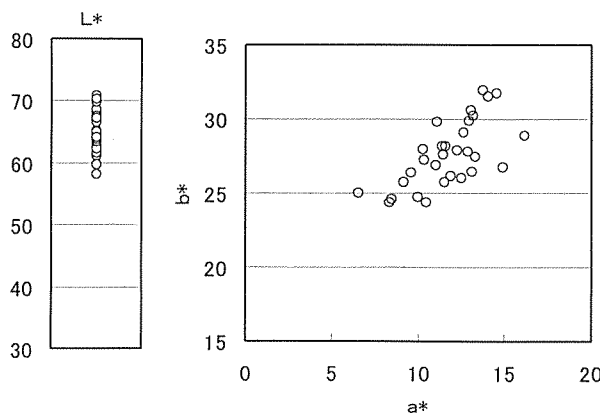


図2 蒸気処理試験における対照材の心材色測定結果(挽き肌状態)

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_1 - L^*_0)^2 + (a^*_1 - a^*_0)^2 + (b^*_1 - b^*_0)^2} \dots (1)$$

ΔE: 色差、L\*<sub>1</sub>: 試験材のL\*、L\*<sub>0</sub>: 対照材のL\*、  
a\*<sub>1</sub>: 試験材のa\*、a\*<sub>0</sub>: 対照材のa\*、  
b\*<sub>1</sub>: 試験材のb\*、b\*<sub>0</sub>: 対照材のb\*

なお、蒸煮処理は乾球温度90℃、湿球温度90℃に調節した蒸気乾燥機(山本ビニター製 MDW-8SR、容量4 m<sup>3</sup>)内で行った。昇温には約2時間を要したが、当該時間は蒸煮処理時間に含まれていない。また、蒸煮処理中における試験材中心部の温度を光ファイバー温度計で測定した。

### 2.2 高温低湿処理試験

県内製材工場より購入した心材色の良いスギ正角材6本(心持ち14cm角、長さ約300cm、背割なし、初期含水率49.4%~94.2%、淡紅色あるいは赤褐色の材で事前の調査により製品市場においても良品と判断されると思われるもの)を用いた。2.1で示した要領で試験材および対照材を採取し、試験材を6時間蒸煮処理した後、6、12、24、48および72時間の高温低湿処理を施した。残る1条件は無処理とした。同じく2.1で示した要領で挽き肌状態と12cm角に仕上げ加工した状態における心材色を色差計により測定し、測定結果より色差をそれぞれ算出した。また目視による心材色の良否の評価をあわせて実施した。

なお、高温低湿処理は乾球温度120℃、湿球温度90℃に調節した蒸気乾燥機(2.1で述べた乾燥機と同じ装置)内で行った。

## 3 結果

### 3.1 蒸気処理試験の結果

対照材(挽き肌状態)の心材色測定結果を図2に示した。L\*は58~71、a\*は7~17、b\*は24~32の範囲に分布

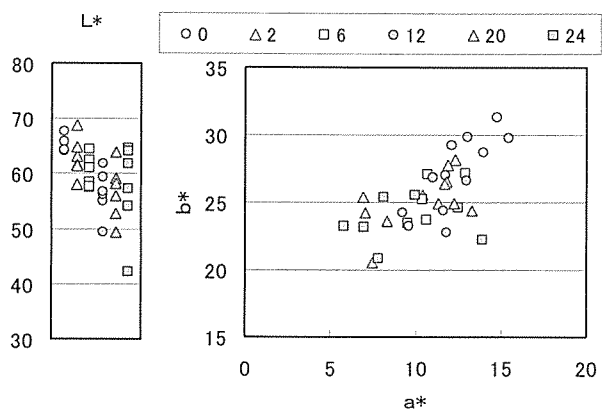


図3 蒸気処理後の試験材の心材色測定結果(挽き肌状態) 注: 凡例の数値は処理時間を示す

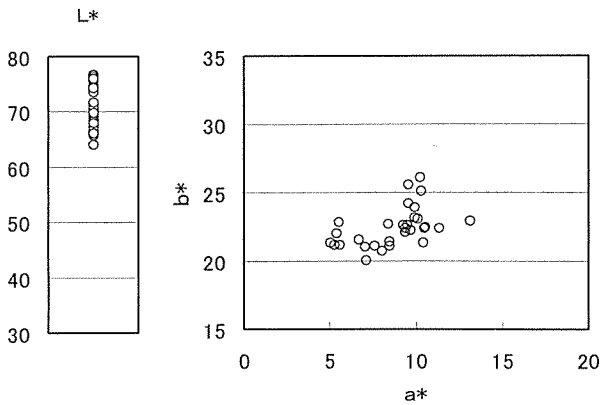


図4 蒸気処理試験における対照材の心材色測定結果 (修正加工後)

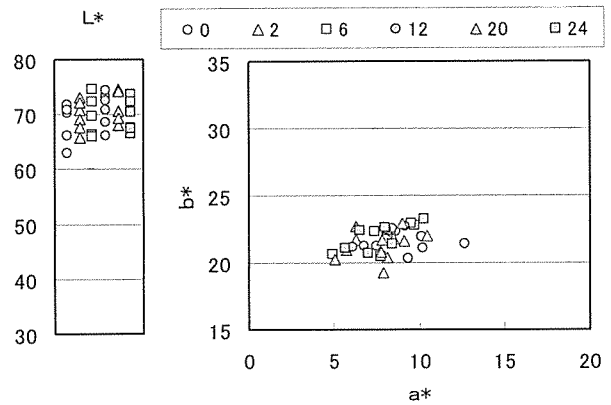


図5 蒸気処理後、修正加工した状態での試験材の心材色測定結果 注：凡例の数値は処理時間を示す

していた。

蒸気処理後（挽き肌状態）の試験材の心材色測定結果を図3に示した。6時間以上蒸気処理した試験材においては対照材に比べL\*、a\*、b\*とも小さな値を示したものが多かった。

12cm角に仕上げ加工した状態での対照材の心材色測定結果を図4に示した。L\*は64~77、a\*は5~13、b\*は20~26の範囲に分布していた。

蒸気処理後、12cm角に仕上げ加工した状態での試験材の心材色測定結果を図5に示した。L\*については蒸気処理時間の長短による差は認められず、対照材と比較してもほぼ同等の値であった。a\*およびb\*は対照材のそれに比べ、ともに小さな値であったが、蒸気処理時間の長短による差は認められなかった。

蒸気処理時間と色差（平均値）との関係を図6に示した。挽き肌状態での場合、蒸気処理時間の長い条件は色差が大きくなった。12cm角に仕上げ加工した状態での場合、蒸気処理時間の長短に関わらず、色差はほぼ一定であった。

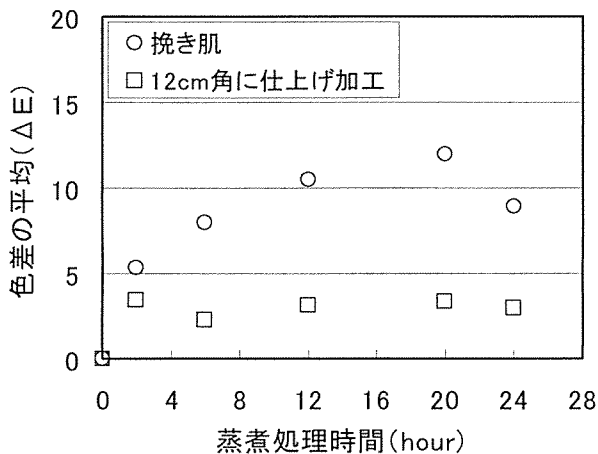


図6 蒸気処理時間と色差（平均値）との関係

### 3.2 高温低湿処理試験の結果

対照材（挽き肌状態）の心材色測定結果を図7に示した。L\*は59~72、a\*は9~15、b\*は23~32の範囲に分布していた。

高温低湿処理後（挽き肌状態）の試験材の心材色測定結果を図8に示した。L\*は高温低湿処理時間が長くなると小さな値を示した。a\*およびb\*も対照材のそれに比べ、ともに小さな値を示したが高温低湿処理時間の長短による差は認められなかった。

12cm角に仕上げ加工した状態での対照材の心材色測定結果を図9に示した。L\*は64~79、a\*は6~11、b\*は19~24の範囲に分布していた。

高温低湿処理後、12cm角に仕上げ加工した状態での試験材の心材色測定結果を図10に示した。L\*については高温低湿処理時間の長短による差は認められず、対照材と比較してもほぼ同等の値であった。a\*は対照材のそれに比べ小さな値であった。b\*は高温低湿処理時間が長くなると大きな値を示した。

高温低湿処理時間と色差（平均値）との関係を図11に示した。挽き肌状態での場合、高温低湿処理時間が長くなると色差は大きくなった。また12cm角に仕上げ加工した状態での場合においても、高温低湿処理時間が長くなると色差は大きくなった。

高温低湿処理後、12cm角に仕上げ加工した状態での試験材の心材色を目視で評価した結果を表1に示した。高温低湿処理時間が0（無処理）、6、および12時間の場合、全ての試験材が概ね良い色（淡紅色、赤褐色）と判断された。このことに対し高温低湿処理時間が24、48および72時間の場合、良くない色（黄褐色、褐色）と判断された試験材が大半であった。

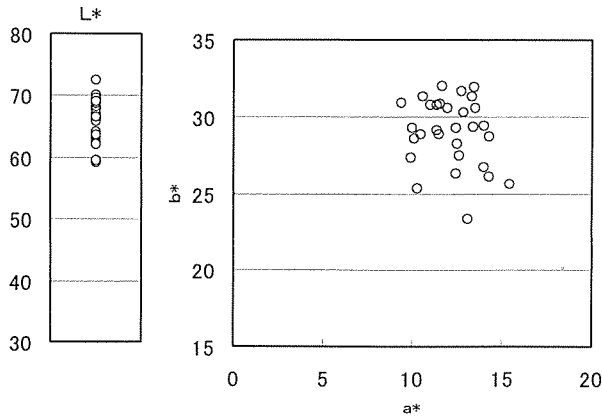


図7 高温低湿処理試験における対照材の心材色測定結果 (挽き肌状態)

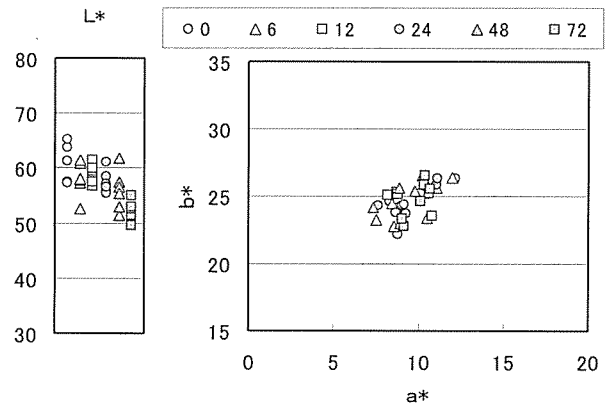


図8 高温低湿処理後 (挽き肌状態) の試験材の心材色測定結果 注: 凡例の数値は処理時間を示す

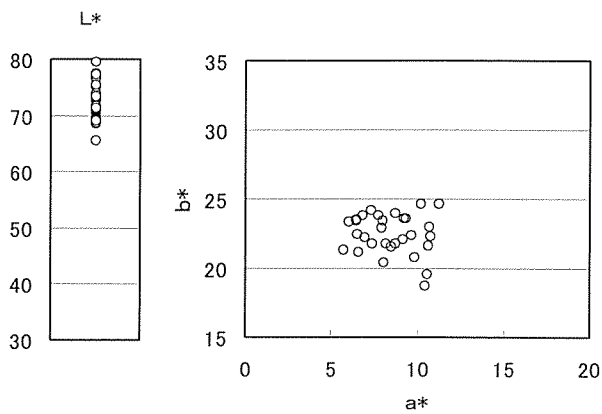


図9 高温低湿処理試験における対照材の心材色測定結果 (修正加工後)

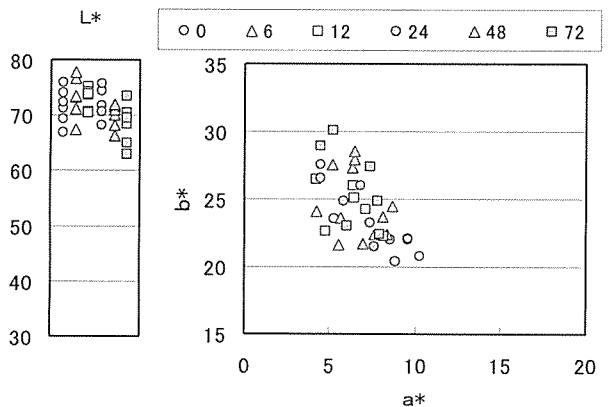


図10 高温低湿処理後、修正加工した状態での試験材の心材色測定結果 注: 凡例の数値は処理時間を示す

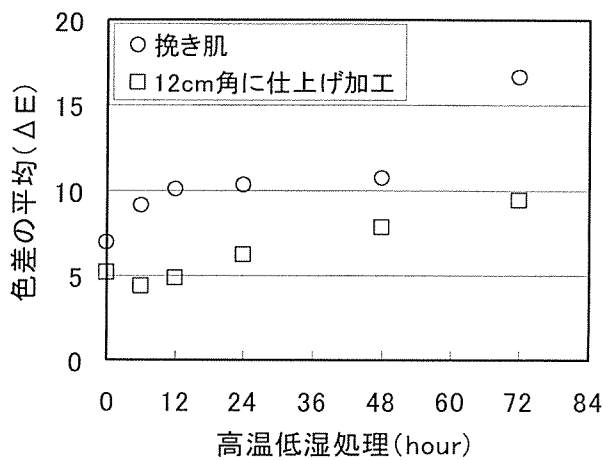
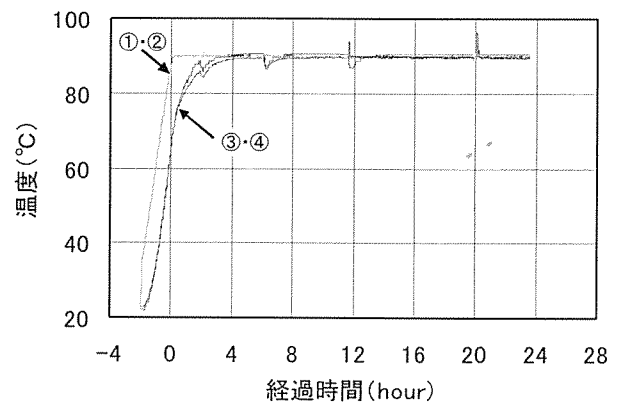


図11 高温低湿処理時間と色差 (平均値) との関係



①: 乾球温度 ②: 湿球温度 ③と④: 試験材温度

図12 蒸煮処理中における試験材の温度経過

表1 試験材の心材色に対する目視評価 (修正加工した状態)

高温低湿処理時間	無処理	6時間	12時間	24時間	48時間	72時間
目視で概ね良いと判						
断された材の本数(本)	6	6	6	1	1	0
目視で良くないと判						
断された材の本数	0	0	0	5	5	6

## 4 考察

### 4.1 蒸煮処理時間の違いがスギの材色変化に及ぼす影響

基太村の材色判別チャートⅡ<sup>5)</sup>によると $a^*$ ・ $b^*$ 色度図(例えば図2でいうと右側の $a^*$ と $b^*$ との関係を表す図)上において、 $a^*$ 値と $b^*$ 値からなる座標点らが原点近くを通る直線上に位置する場合、それらの測定物は色相が等しいことを意味し、座標点が直線上から $a^*$ 軸側あるいは $b^*$ 軸側に離れると色相が変化したことを意味する。また、座標点が原点から離れるほど彩度が増す(あざやかになる)ことを意味し、座標点が原点に近づくほど彩度が減る(くすむ)ことを意味する。

図2および図3より、6時間以上蒸煮処理した場合の材色(挽き肌状態)は、対照材に比べ明度および彩度が低下した。すなわち、くすんでかつ暗色化する傾向がみられたといえる。一方で図4および図5より、修正加工後の材色は対照材に比べ彩度はやや低下していたが、明度および色相に大きな差はみられなかった。すなわち、明るさと色相に大きな変化はなく、ややくすんだ傾向がみられたといえる。蒸煮処理時間の違いによる明度、色相および彩度の差は認められないこと、図6より蒸煮処理時間の長短に関わらず色差の平均値は小さく、かつ一定であったことを考えると、蒸煮処理は材色にややくすみが生じるものの、処理時間による差はなく、変色の程度も小さいと結論付けられた。

なおここで、実務上採択すべき蒸煮処理時間について若干の考察を加える。蒸煮処理の目的は、乾燥初期における室温・材温の急上昇、乾燥速度の増大および脱脂・ヤニ滲出の防止が挙げられる<sup>6)</sup>。スギ材の場合、乾燥速度の増大効果は小さいとされており<sup>6)</sup>、脱脂・ヤニ滲出防止の必要性はさほどないと考えられる。これらのことから蒸煮処理の目的を室温・材温の急上昇に限定したうえで適正な蒸煮処理時間を検討する。

図12に蒸煮処理中における試験材の温度経過を示したが、蒸煮処理開始から3~6時間後に試験材の温度は約90℃となり、その後はほぼ一定に推移していた。このことから、材温の上昇は6時間で完了したものとみなされ、実務上採択すべき蒸煮処理時間は6時間程度と判断された。

ただし本結果は仕上がり寸法が12cm角のスギ正角材に対する場合であって、被乾燥物の断面寸法(平角材および平割材においては短辺の寸法)が異なる場合は適正な蒸煮処理時間も異なるものと思われる。

### 4.2 高温低湿処理時間の違いがスギの材色変化に及ぼす影響

図7および図8より、高温低湿処理を長く施した試験

材の材色(挽き肌状態)は、対照材に比べ明度および彩度が低下した。すなわち、くすんでかつ暗色化する傾向がみられたといえる。一方で図9および図10より、仕上げ加工後の材色は、処理時間が長いものほど対照材に比べ明度が低下するとともに、色相が異なった(座標点が $b^*$ 軸側に近づいた)ものが多かった。すなわち、色相は黄色みを増し、暗色化する傾向がみられたといえる。図11より、高温低湿処理時間が長くなると色差が大きくなる傾向をあわせて考えると、高温低湿処理は処理時間が長くなると材色に暗色化と色相の変化(黄色みが増す)を及ぼし、その影響は処理時間が長くなるほど顕著であると結論付けられた。このことは表1に示す目視による評価と概ね一致した。

なおここで、実務上採択すべき高温低湿処理時間についても若干の考察を加える。高温低湿処理の主な目的は、無背割材に対する表面割れ防止と、含有水分の急速な除去に伴う乾燥時間の短縮化が挙げられる。高温低湿処理時間の違いによる表面割れ防止効果については既に幾つかの検討が行われており、仕上がり寸法が12cm角のスギ正角材の場合、適正な処理時間は9~18時間程度とされている<sup>7-9)</sup>。また、高温低湿処理時間が長いほど多量の水分を除去することが可能<sup>10)</sup>、全体の乾燥処理期間短縮が期待される。これらのことに加え、今回行った測定結果において24時間以上の高温低湿処理を行うと材色に大きな変化が生じたことを考え合わせると、仕上がり寸法が12cm角のスギ正角材の場合、材の変色防止に配慮した高温低湿処理時間は12時間程度と判断された。

## 引用文献

- 1) 吉田孝久ほか：カラマツ及びスギ心持ち正角材の高温乾燥特性.木材工業. 55 (8), 357-362 (2000)
- 2) 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,1983,215-227.
- 3) 寺沢真：“5 木材乾燥スケジュールの追究”.木材乾燥のすべて.滋賀,海青社,1994,376.
- 4) 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.
- 5) 基太村洋子：木材の色の表し方.森林総研研報. 365, 1-32 (1993)
- 6) 寺沢真：“3 木材人工乾燥室の操作方法”.木材乾燥のすべて.滋賀,海青社,1994,204-208.
- 7) 吉田孝久ほか：スギ心持ち無背割り柱材の高温乾燥における高温セット法の割れ防止効果について.材料. 53 (4), 364-369 (2004)

- 8) 小田久人：高温低湿処理したスギ心持ち柱材の中温乾燥. 日本木材加工技術協会第24回年次大会講演要旨集. 日本木材加工技術協会編. 東京. 2006-10, 日本木材加工技術協会. 2006, 23-24.
- 9) 青田勝：大分方式乾燥システムの高度化に関する研究. 大分県農林水産研究センター林業試験場年報. 49, 32-33 (2007)
- 10) 小野広治ほか：スギ製材品の高温低湿処理によるドライングセットと脱水量について. 奈良県森技セ研報. 34, 69-73 (2005)
- (2007年12月10日受理)