

(論 文)

スギ心持ち材の仕上がり含水率頻度分布に及ぼす 生材密度と高温乾燥時間の影響*

中 嶋 康

Effect of density of green wood and high-temperature drying time
on dispersions moisture content of Sugi square-sawn timber with a pith -

Yasushi NAKASHIMA

要 旨

近年、乾燥温度100℃以上の高温乾燥が、スギ心持ち正角材の有効な乾燥方法として使用されてきている。しかし、実際の乾燥材生産において、仕上がり含水率を適切な範囲に収束することが困難な問題として残されている。その問題を解決するための一つの手法が、スギ材を乾燥前に生材密度で分別する方法である。分別する際の生材密度の基準値を設定するためには、スギ心持ち材の仕上がり含水率頻度分布に及ぼす生材密度と高温乾燥時間の影響を明らかにする必要がある。本研究は、1016体のスギ心持ち材を4条件に分けてそれぞれ36, 48, 60, 72時間で高温乾燥し、仕上がり含水率の頻度分布を検討した。その結果、心持ちスギ材の仕上がり含水率頻度分布は、高温乾燥時間と生材密度で予測可能であることから、針葉樹構造用製材の日本農林規格に準じて高温乾燥時間に応じた生材密度分別基準を確立した。

High temperature drying over 100℃ has been introduced for a decade as an effective kiln drying method for Sugi square-sawn timber with a pith. However, controlling final moisture content (MC) within a suitable range still remains as a strict problem for the practical production of kiln dried Sugi timber. Classifying of timber by its density before drying is one of the solutions for this problem. To set proper reference of density for classifying timber, the effect of density of wood and high temperature drying time on dispersions of final MCs should be clarified. In this study, 1016 Sugi full-scale samples with wide range of densities were high temperature dried at four drying time levels (36,48,60 and 72 hours), and their final MCs were measured. As a result, distribution of final MCs can be predicted by drying time and density of green wood. Thus, the proper reference of density for classifying timber, corresponding to the high temperature drying time, was established for producing the dried wood that satisfies the Japanese agricultural standard for timber.

キーワード：スギ，含水率，生材密度，乾燥時間，分別前処理

目 次

<p>1 緒言18</p> <p>2 試験方法18</p> <p> 2.1 試験体18</p> <p> 2.2 高温乾燥条件18</p> <p> 2.3 生材密度分別基準点の設定18</p> <p>3 結果と考察19</p> <p> 3.1 生材密度と初期含水率との関係19</p> <p> 3.2 仕上がり含水率頻度分布に及ぼす 乾燥時間の影響19</p>	<p>3.3 仕上がり含水率頻度分布に及ぼす 生材密度の影響20</p> <p>3.4 高温乾燥時間に応じた 生材密度分別基準値の設定21</p> <p>4 結論21</p> <p>参考文献21</p>
--	---

* 本研究は第54回日本木材学会大会（2004年8月，札幌）において発表した。

1 緒言

近年、乾燥温度100℃以上の高温乾燥が、乾燥時間の短縮と材面割れの抑制に有効であることから、スギ心持ち正角材の乾燥方法として使用されるようになってきている^{1,2)}。

しかし、スギ材は生育条件、品種によって初期含水率、生材密度が個々で異なるため、実際の乾燥材生産において、仕上がり含水率を目標とする含水率範囲内に収束させることが困難な問題として残されている。仕上がり含水率のばらつきは、構造材としての品質管理と信頼性向上を阻害する原因になる³⁾。

その解決策として、心持ちスギ正角材を人工乾燥前に初期含水率、または生材密度で分別する方法が有効とされている^{4,5)}。しかし、仕上がり含水率の頻度分布は乾燥条件で異なることから⁶⁾、高温乾燥を前提とした分別基準の設定が必要である。

そこで本研究は、高温乾燥条件での生材密度分別基準値の確立を目的として、スギ心持ち材の仕上がり含水率頻度分布に及ぼす生材密度の影響を検討した。

2 試験方法

2.1 試験体

試験体は岩手県産心持ちスギ正角材11.5×11.5×

400cmを677体、11.5×11.5×300cmを385体の合計1062体とした。試験体は乾燥前に重量 (g) と体積 (cm³) を測定し、生材密度 (g/cm³) を求めた。

2.2 高温乾燥条件

表-1に高温乾燥時の条件を示す。人工乾燥機は(株)新柴設備製のIF型高温蒸気式木材乾燥機を使用した。高温乾燥条件は乾球温度100℃、湿球温度100℃で8時間蒸煮後、乾球温度120℃、湿球温度90℃一定とした。高温乾燥時間 (Drying Time, D.T.) は36, 48, 60, 72時間とし、試験体数をそれぞれ300, 377, 295, 90体とした。

乾燥終了後、試験体は2週間室内にて養生した。養生後、仕上がり含水率を含水率計 (エーデス機械産業 DELTA-5) で測定した。測定点は長さ方向で5点、幅方向で2点の合計10点とし、その平均値を仕上がり含水率とした。また試験体は養生後に重量 (g) と体積 (cm³) を測定し、仕上がり密度 (g/cm³) を求めた。生材密度と仕上がり含水率、仕上がり密度から、試験体の初期含水率を以下の式で求めた。

$$IMC = (\rho_I / \{\rho_F / (1 + (FMC/100))\} - 1) \times 100$$

IMC: 初期含水率 (%) ρ_I : 生材密度 (g/cm³), ρ_F : 仕上がり密度 (g/cm³), FMC: 仕上がり含水率 (%)

2.3 生材分別基準点の設定

供試された試験体の生材密度の最小値 (0.43g/cm³) から最大値 (0.91g/cm³) まで、0.02g/cm³間隔で仮の

表-1 乾燥条件別の試験体数と乾燥時間

Table.1 The number of samples and drying time for each drying conditions

乾燥条件 Drying condition		D.T.36	D.T.48	D.T.60	D.T.72
試験体数 Number of samples tested		300	377	295	90
試験体の寸法 Size of samples	cm	11.5 × 11.5 × 400		11.5 × 11.5 × 300	
蒸煮条件 Condition of steaming		乾球温度100℃、湿球温度100℃、8時間 Dry bulb temperature is 100℃ Wet bulb temperature is 100℃ Steaming time is 8 hours			
乾球温度 Dry bulb temperature	℃	120	120	120	120
湿球温度 Wet bulb temperature	℃	90	90	90	90
高温乾燥時間 High temperature drying time	hours	36	48	60	72

分別基準点 (25点) を設定し, 仮の分別基準点以下での乾燥材率を以下の式で求めた。

$$DWR = N_2 / N_1 \times 100$$

DWR : Drying Wood Rate (乾燥材率,%) N_1 : 仮の分別基準点以下に分布する試験体数 N_2 : N_1 中で仕上がり含水率15%以下の試験体数

針葉樹構造用製材等の日本農林規格⁷⁾では, 乾燥材の含水率検査において, 荷口の90%以上が表示された含水率以下であることを合格条件としている。そこで, 仮の分別基準点で, 乾燥材率が90%以上となる点を真の分別基準点とし, 乾燥時間別に求めた。

3 結果と考察

3.1 生材密度と初期含水率との関係

図-1に生材密度の頻度分布を乾燥時間別に示す。乾燥時間によらず, 生材密度は0.65 g/cm³を最頻値として, 最小0.40 g/cm³から最大0.90 g/cm³の範囲に分布した。

図-2に, 試験体の生材密度と初期含水率の関係を示す。生材密度と初期含水率は高い正の相関関係を示した。また, 乾燥条件によらず, 仕上がり含水率は初期含水率と高い正の相関関係を示すことから⁶⁾, 生材密度による分別前処理は, 初期含水率による分別前処理と同様に, 仕上がり含水率を均一にすると考える。

3.2 仕上がり含水率頻度分布に及ぼす乾燥時間の影響

表-2に仕上がり含水率の平均値を乾燥条件別に示す。仕上がり含水率の平均値は, 乾燥時間が長くなるほ

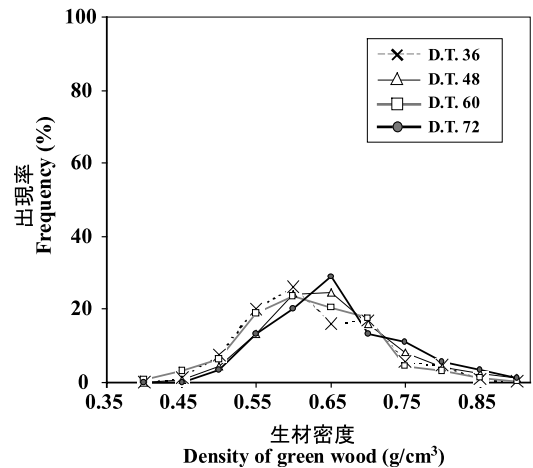


図-1 乾燥条件別の生材密度分布の比較

Fig.1 Comparison of density variation between drying condition.

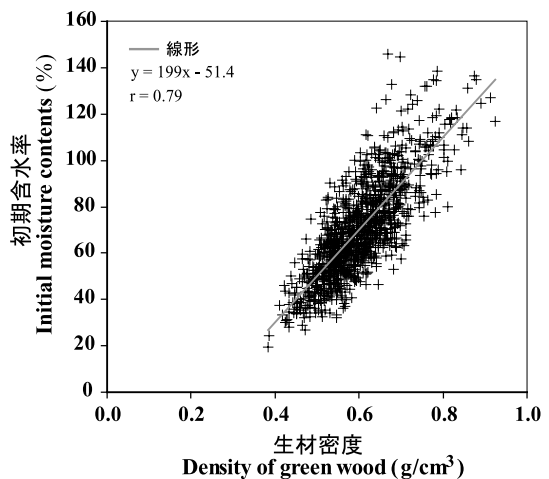


図-2 生材密度と初期含水率との関係

Fig.2 Relationship between density of green wood and initial moisture contents

表-2 乾燥条件別の密度と含水率

Table.2 The density and moisture content of samples for each drying conditions.

乾燥条件 Drying condition			D.T.36	D.T.48	D.T.60	D.T.72
生材密度 Density of green wood	g/cm ³	Average	0.60	0.63	0.60	0.63
		SD	0.08	0.09	0.08	0.09
仕上がり密度 Density of wood after drying	g/cm ³	Average	0.44	0.42	0.41	0.38
		SD	0.05	0.05	0.05	0.04
初期含水率 Initial moisture content	%	Average	64.2	75.8	66.4	84.9
		SD	20.2	21.2	19.1	24.0
仕上がり含水率 Final moisture content	%	Average	19.8	17.3	13.3	8.7
		SD	10.5	9.6	7.7	5.0

Note: SD means Standard Deviation

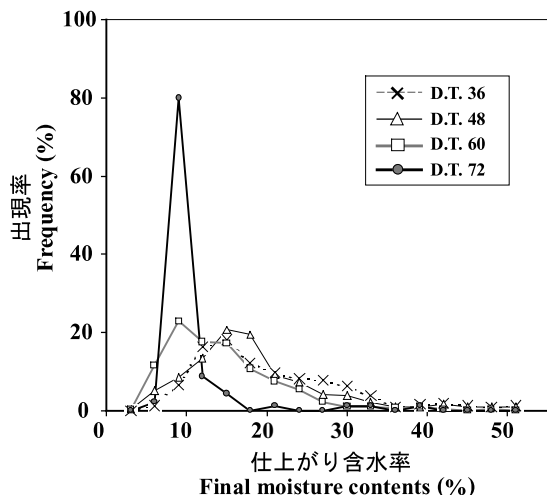


図-3 乾燥条件別の仕上がり含水率分布の比較
Fig.3 Comparison of final moisture contents variation between drying condition.

ど減少した。図-3に仕上がり含水率の頻度分布を乾燥時間別に示す。乾燥時間が長くなるほど、頻度分布の最頻値は増加する傾向を示し、分布範囲も、乾燥時間が36, 48, 60, 72時間と長くなるに従い、6~51%, 6~45%, 6~36%, 6~21%と低含水率側に移行した。そこで、図-4に仕上がり含水率の適性範囲を10~15%として、10%以下を過乾燥、15%以上を未乾燥としたときの各区分の出現割合を乾燥時間別に示す。含

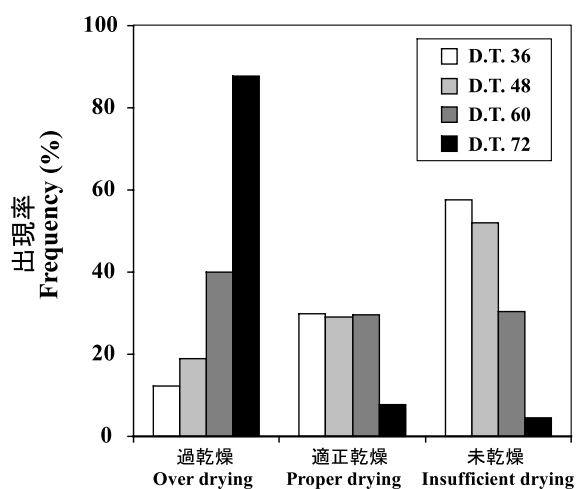


図-4 乾燥条件間の適正乾燥割合の比較
Fig.4 Comparison of proper drying rate, between drying schedules.
Notes : Over drying : Final moisture content is less than 10%
Proper drying : Final moisture content is from 10% to 15%

水率適性範囲の出現割合は、乾燥時間36, 48, 60, 72時間で30, 29, 29, 8%となり、72時間乾燥で最も少なくなった。しかし、未乾燥材の出現割合は乾燥時間36, 48, 60, 72時間で57, 52, 30, 4%となり、72時間乾燥で最も少なくなった。その一方で、過乾燥材の出現割合は乾燥時間36, 48, 60, 72時間で12, 18, 40, 87%となり72時間乾燥で最も多くなった。

以上の結果から、生材密度がばらつくスギ材の仕上がり含水率を乾燥時間単独で適正範囲内(10~15%)に収束させることは、不可能であると言える。

3.3 仕上がり含水率頻度分布に及ぼす生材密度の影響

図-5に生材密度と仕上がり含水率の関係を乾燥時間別に示す。乾燥時間によらず、仕上がり含水率は生材密度と高い正の相関関係を示し、生材密度が低いほど仕上がり含水率も低くなった。また、生材密度と仕上がり含水率との近似直線は乾燥時間が長いほど下方に位置し、さらに傾きは乾燥時間が36, 48, 60, 72時間で95, 56, 59, 28と小さくなった。これらのことから、心持ちスギ材の仕上がり含水率分布は、乾燥時間と生材密度で予測可能であることがわかった。

以上の結果から、乾燥時間別に生材密度の分別基準を設定することで、仕上がり含水率を適正範囲内に収束させることが可能であると考えられる。

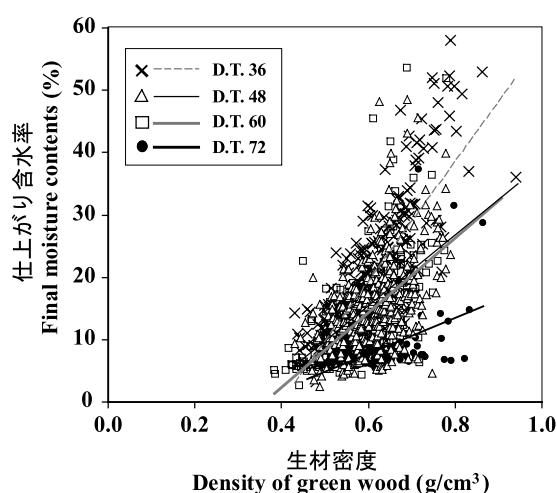


図-5 生材密度と仕上がり含水率との関係
Fig.5 Relationship between density of green wood and final moisture contents
Note : The regression formula for each approximate straight line (Correlation coefficient)
D.T.36 : $y = 95x - 38$ (0.8) D.T.48 : $y = 56x - 18$ (0.5)
D.T.60 : $y = 59x - 22$ (0.6) D.T.72 : $y = 28x - 9$ (0.5)

3.4 高温乾燥時間に応じた生材密度分別基準値の設定

仕上がり含水率は生材密度と高温乾燥時間を調整することで適正範囲内に収束させることが可能であることが明らかになったことから、図-6に仮の分別基準点以下での乾燥材率を乾燥時間別に示す。乾燥材率の基準を90%以上とすると、乾燥時間36時間では、生材密度が0.51g/cm³以上になると、乾燥材率が基準を下回った。乾燥時間48時間では、生材密度が0.53g/cm³以上になると、乾燥材率が基準を下回った。乾燥時間60時間では、生材密度が0.61 g/cm³以上になると、乾燥材率が基準を下回った。乾燥時間70時間では、生材密度が最高の0.9 g/cm³でも、乾燥材率は基準を上回った。

従って、高温乾燥時間に応じた生材密度分別基準値は以下ようになる。

- ① 生材密度が0.51g/cm³未満では36時間高温乾燥
- ② 生材密度が0.51g/cm³以上0.53g/cm³未満では48時間高温乾燥
- ③ 生材密度が0.53g/cm³以上0.61g/cm³未満では60時間高温乾燥
- ④ 生材密度が0.61g/cm³以上では72時間高温乾燥

小田ら⁵⁾は、宮崎県産心持ちスギ材（130×130×3000mm）の生材密度と高温乾燥時間について、生材密度が0.49g/cm³以上0.69g/cm³未満では7日間高温乾燥

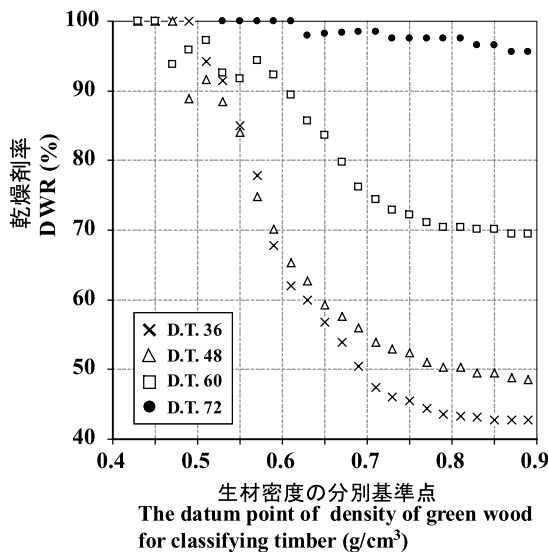


図-6 生材密度の分別基準点ごとの乾燥時間と乾燥材率との関係

Fig.6 Relationship between drying time and R.D.W. for each datum point of density of green wood for classifying timber.

Note : DWR means the Drying Wood Rate*. *Refer to text.

とし、生材密度が0.69g/cm³以上0.89g/cm³未満では9日間高温乾燥と報告しており、本研究と異なる分別基準値と乾燥時間を示している。この理由として、スギの生材密度や初期含水率は、生育条件や材種、さらに人工乾燥時のスギ材の断面積で異なることに起因すると考えられる。従って、分別条件を検討する場合は、乾燥するスギ材の生育条件や材種、寸法の考慮が必要不可欠であると考ええる。

4 結論

県産スギ材の生材密度分別前処理方法の確立を目的として、仕上がり含水率頻度分布に及ぼす高温乾燥時間と生材密度の影響を検討した。

その結果、心持ちスギ材の仕上がり含水率は、高温乾燥時間と生材密度で予測可能であることから、針葉樹構造用製材の日本農林規格に準じた高温乾燥時間に応じた生材密度分別基準を確立した。また、分別条件を検討する場合は、乾燥する生材の生育条件や材種、寸法の考慮が必要不可欠である。

引用文献

- 1) 信田 聡 (1996) どの乾燥法を選ぶか 9 高温乾燥におけるエネルギーコストと設備費. 木材工業51 (11) : 560~562
- 2) 吉田孝久・橋爪丈夫・藤本登留 (2000) カラマツ及びスギ心持ち正角材の高温乾燥特性 - 高温低湿乾燥条件が乾燥特性に及ぼす影響 -. 木材工業55 (8) : 357~362
- 3) 信田 聡 (1992) エンジニアリングウッドを支える基礎技術 - 2. 水分管理 -. 木材工業548 : 513~521.
- 4) 信田 聡・安島 稔・明神光幸 (2000) 乾燥が遅れるスギ柱材の選別方法に関する検討 - 主に木口面画像の明度による評価 -. 第50回日本木材学会大会要旨集 : p141.
- 5) 小田久人・蛭原啓文・迫田忠芳 (2002) 重量区分別スギ柱材の高温低湿乾燥. 第52回日本木材学会大会研究発表要旨集 : 136
- 6) 中嶋 康 (2002) 高温および中温乾燥したスギ心持ち正角材の含水率分布. 岩手県林業技術センター研究報告 (10) : 6~11
- 7) 社団法人全国木材組合連合会編 (2002) 針葉樹の構造用製材の日本農林規格 : pp52