

(論 文)

高温および中温乾燥したスギ心持ち正角材の含水率頻度分布

中嶋 康

Moisture content variations of Sugi (*Cryptomeria Japonica* D.Don) square-sawn timber
with pith dried at conventional and high temperatures.

Yasushi NAKASHIMA

要 旨

高温乾燥は乾燥時間の短縮と割れ抑制に対して効果を発揮するため、心持ち正角材の有効的な人工乾燥方法として今後期待できると考えられる。しかし、初期含水率のばらつきの範囲が広いスギ材を高温乾燥した時の、仕上がり含水率の個体分布を100℃以下の乾燥と比較した事例は見られない。人工乾燥後の仕上がり含水率のばらつきは、乾燥材の品質管理及び構造材としての信頼性の向上を阻害する原因にもなる。本研究では高温乾燥がスギ正角材の仕上がり含水率の個体分布に及ぼす影響の検討を目的として、マッチングした材を乾燥温度110℃、85℃、75℃で処理した時の仕上がり含水率の出現頻度分布を比較した。

その結果、高温乾燥の個体分布は100℃以下の乾燥と比較してばらつきの差はないが、出現率のヒストグラムは低含水率側に歪む結果になった。このことから、高温乾燥前には初期含水率で選別処理を行う必要があり、またその際の選別基準は100℃以下の乾燥と異なることが示された。さらに、仕上がり含水率と心材率の関係の検討を行った。

Drying wood at a high temperature reduced amounts of drying time and crack, so it is expected for an effectual drying method for square-sawn timbers with pith, in the future. However there is no case comparing the high temperature drying with low temperature drying (under 100℃) for distribution of individual finish moisture contents, on the occasion of drying Sugi which very wide range of green moisture contents distribution. It loses a quality guarantee and reliability of structural lumber, if the finish moisture contents distribution is wide. Then we practiced several drying schedules(110℃,85℃,75℃), compared to matched samples, and investigated effects of drying temperature on the range at individual distribution of finish moisture contents.

As a result, the range in the individual distribution of finish moisture contents was not different at drying temperatures, but in the finish moisture contents histograms, high temperature drying was warped for low moisture content. It was supposed that there must sorting treatment by green moisture content before high temperature drying, and datum point of sorting green moisture content is not as well as low temperature drying. Furthermore, we investigated in the ratio of heartwood that effect to finish moisture contents.

キーワード：スギ, 高温乾燥, 含水率頻度分布, 初期含水率, 心材率

目 次

1. 緒 言	8	3. 結果, 考察	
2. 試験方法		3.1 乾燥前と乾燥後の含水率頻度分布	9
2.1 試験体	8	3.2 仕上がり含水率に影響を及ぼす因子の検討	10
2.2 乾燥方法	8	3.3 仕上がり含水率と心材率の関係	10
		4. ま と め	11
		参考文献	11

1 緒 言

スギ材は生育条件、材種により生材含水率がばらつくため、一定含水率でかつ割れ等の形質変化の少ない乾燥を行うのは難しく、さらに初期含水率が高いため乾燥コストがかかり、乾燥材普及の進行を妨げる要因となっている。一方、近年では短時間乾燥を目的とした高温乾燥がカラマツ材で実用化されつつあり、スギ材についても低コスト乾燥として期待されている^{1)~5)}。しかし、構造材の品質管理と信頼性向上のためには、仕上がり含水率の目標値に対して、その誤差であるばらつきをいかに少なくするかが課題であるが⁶⁾、高温乾燥による仕上がり含水率のばらつきを検討した報告は少ない。そこで本研究では心持ちスギ正角材の仕上がり含水率頻度分布と乾燥温度の関係を検討するため、マッチングした材を乾燥温度110℃、85℃、75℃で処理し、仕上がり含水率の頻度分布をヒストグラムで比較した。また、仕上がり含水率に影響を与える因子についても検討した。

2 試験方法

2.1 試験体

試験体の調整方法を図-1に示す。試験体は県内の製材業者から購入した10.5×10.5×400cmの心持ち正角材(黒心材は除く)計72本とした。乾燥条件間の試験体の材質要素を可能な限り均一にするため、全ての材を130cmで3等分し、木口面をシリコンでコーティングした。また、切断時に含水率測定試片を4箇所から取り出

し、全乾法により初期含水率を求めた。人工乾燥終了後、試験体は1週間養生した後、含水率測定試片を採取して、全乾法により個々の仕上がり含水率を求めた。

初期含水率の測定試片からは、さらに心材率、平均年輪幅、全乾密度、髓の位置と製材木口面中心との距離による偏心率を測定した。偏心率は髓の位置が木口面の中心にある時に0%とした。

2.2 乾燥方法

各乾燥条件の温湿度管理工程(乾燥スケジュール)を表-1に示す。人工乾燥機はIF型蒸気式木材乾燥機(日本電化工機製)を使用した。乾燥スケジュールは含水率ステップとし、コントロール材の含水率が13%に達した時点で調湿に移行した。乾燥条件で使用したコントロール材は同一の材から調整された130cmの試験体で、その試験体は全試験体(72体)の中で平均的な初期含

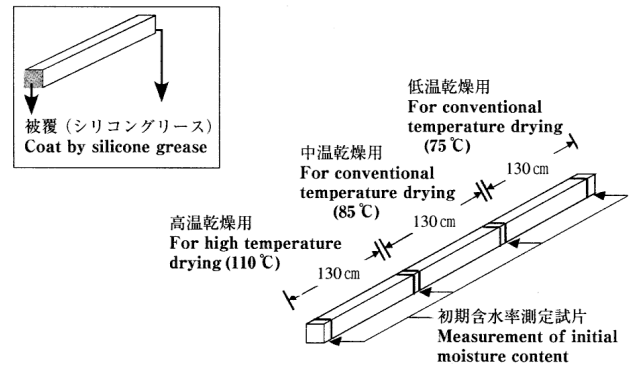


図-1 試験体の作成

Fig.1 Method of making test specimens.

Note: Wood samples were Sugi (*Cryptomeria Japonica* D.Don).

Sample size was 10.5 cm × 10.5 cm × 400 cm

表-1 乾燥スケジュール*

Table 1. Kiln-drying schedules.

	時間 Time	含水率 Moisture content	乾球温度 Dry-bulb temperature	湿球温度 Wet-bulb temperature	平衡含水率 EMC**	炉内湿度 Relative humidity	備考 Remark
	Hour	%	℃	℃	%	%	
高温乾燥 (110℃) High temperature drying (H.T.D 110)	0	68	95	95		100	
	6	68	95	95		100	蒸煮 Steaming
	29	51	105	100	10	85	
	48	41	105	95	8	70	
	132	13	110	95	6	58	
	140	12	55	50	13	60	調湿 Conditioning
中温乾燥 (85℃) Conventional temperature drying (C.T.D 85)	0	78	95	95		100	
	6	78	95	95		100	蒸煮 Steaming
	53	55	75	70	12	80	
	102	44	75	68	10	70	
	156	33	80	70	8	65	
	312	17	85	73	7	60	
	320	16	55	50	13	80	調湿 Conditioning
低温乾燥 (75℃) Conventional temperature drying (C.T.D 75)	0	74	95	95		100	
	6	79	95	95		100	蒸煮 Steaming
	39	62	60	55	13	80	
	101	46	60	55	13	80	
	165	34	75	67	10	65	
	360	14	75	63	7	60	
	368	13	55	50	13	80	調湿 Conditioning

Notes. *Drying schedules were operated on a moisture content basis.

**Equilibrium moisture content

水率で、かつ4箇所の初期含水率測定試片から測定した含水率が最も近似する材を選考した⁷⁾。さらに乾燥中の炉内湿度、蒸煮条件、調湿条件を等しく設定することにより乾燥条件の違いは乾燥時の温度(110℃, 85℃, 75℃)のみになるようにした。

3 結果, 考察

3.1 乾燥前と乾燥後の含水率頻度分布

表-2, 3に各乾燥条件の乾燥前と乾燥後の含水率及び、乾燥条件間の差の検定結果を示す。乾燥条件間の仕上がり含水率の平均値と固体分布のばらつきは、検定の結果、有意ではなかった。

図-2に乾燥前の含水率頻度分布を示す。各乾燥条件の試験体を同一の材から調製したことにより、初期含水率の頻度分布はほぼ一致した。図-3に乾燥後の仕上がり含水率頻度分布を示す。各乾燥条件の目標仕上がり含水率を等しく設定したが、仕上がり含水率の頻度分布は乾燥温度が高温になるほど最頻値が低含水率側に移行した。さらに、目標仕上がり含水率を13%に設定したこと

表-2 初期含水率と仕上がり含水率の比較

Table 2. Comparison of initial and final moisture contents.

乾燥スケジュール		H.T.D110	C.T.D85	C.T.D75
Drying schedules				
サンプル数	Number	69	69	72
初期含水率	mean	69.5	71.6	72.5
Initial moisture content (%)	s.d.	18.2	17.9	20.3
	c.v.	26.2	25.0	28.0
仕上がり含水率	mean	12.6	13.1	13.9
Final moisture content (%)	s.d.	5.06	4.40	4.09
	c.v.	40.3	33.5	29.4

Notes. mean : Average, s.d. : Standard Deviation, c.v. : Coefficient Variation

表-3 含水率の差の検定 (t検定*)

Table 3. Comparison of moisture content (t test)

乾燥スケジュール		H.T.D110	C.T.D85	C.T.D75
Drying schedules				
初期含水率	Initial moisture content (%)	0.69**(NS)	0.94(NS)	0.29(NS)
仕上がり含水率	Final moisture content (%)	0.70(NS)	1.7(NS)	1.1(NS)

Notes. *At significant level 1%
**T-value (NS=Non Significant level)

から、適正仕上がり含水率範囲を10~15%とすると、高温乾燥は含水率10%以下の割合が最も多く、適正範囲の割合が最も少なかった(図-4)。

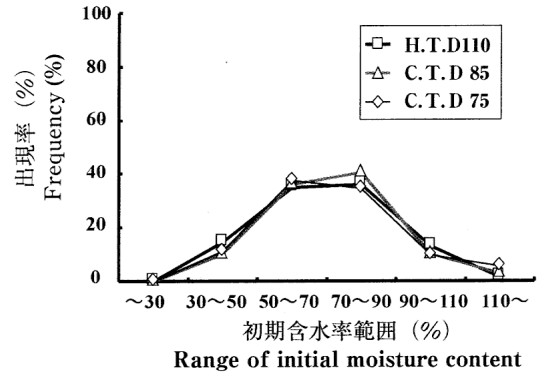


図-2 初期含水率分布の比較*

Fig 2. Comparison of initial moisture contents variation, between drying schedules.

Notes : *Before kiln run

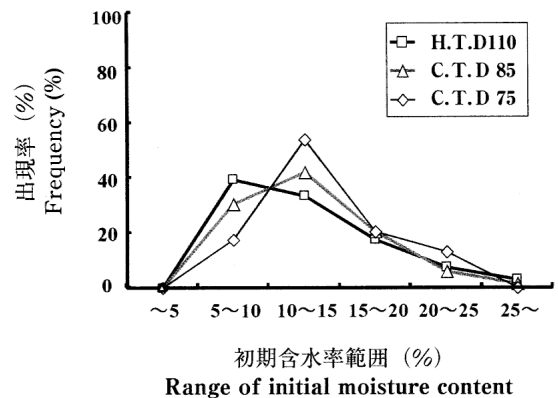


図-3 仕上がり含水率分布の比較*

Fig 3. Comparison of final moisture contents variation, between drying schedules.

Notes : *After kiln run

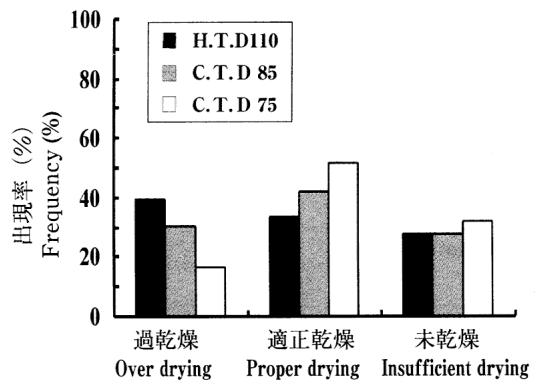


図-4 乾燥条件間の適正乾燥の比較

Fig 4. Comparison of proper drying between drying schedules.

Notes : Over drying : Final moisture content is less than 10%
Proper drying : Final moisture content is from 10% to 15%
Insufficient drying : Final moisture content is more than 15%

図-5に初期含水率と仕上がり含水率の散布図を示す。各乾燥条件の初期含水率と仕上がり含水率の相関は高く、また高温乾燥の回帰式の傾きは、中温、低温乾燥と比べて大きくなった。高温乾燥と中温、低温乾燥条件の回帰直線は初期含水率の平均値（70%）辺りで交差していることから、高温乾燥は、中温、低温乾燥と比べて、初期含水率が平均よりも低い材で乾燥がより進行すると思われる。このため、高温乾燥による、仕上がり含水率の最頻値は低含水率に移行したと考えられる。

3.2 仕上がり含水率に影響を及ぼす因子の検討

表-4に材質測定結果を示す。各乾燥条件での全乾密度、偏心率、平均年輪幅、心材率の差は見られなかった。仕上がり含水率と材質の相関係数を表-5に示す。仕上がり含水率との相関係数は、初期含水率が最も高く、次に心材率と平均年輪幅で、その一方で偏心率、全乾密度は、仕上がり含水率との相関係数は低かった。

3.3 仕上がり含水率と心材率の関係

仕上がり含水率との相関係数から、心材率が初期含水率以外で仕上がり含水率に影響を与える因子として考えられた。そこで、図-6に初期含水率を30%区間で分け、各区ごとの仕上がり含水率の平均値を心材率5%毎で比較した結果を示す。初期含水率が70%以下の場合、心材率の高低による仕上がり含水率の差は見られないが、初期含水率が70%~100%になると、心材率が高いほど仕上がり含水率も高くなった。このことから初期含水率が高いほど仕上がり含水率に及ぼす心材率の影響が関与してくると考えられた。

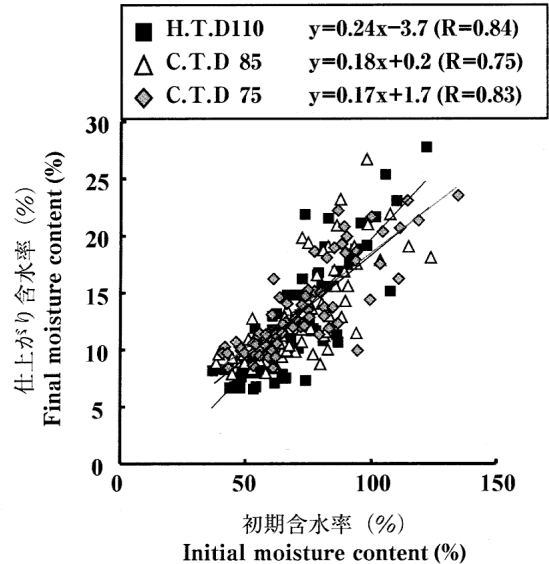


図-5 初期含水率と仕上がり含水率の関係

Fig.5 Relationship between initial and final moisture content.

表-5 仕上がり含水率と材質の関係

Table 5. Relationship between final moisture content and wood property.

材 質 Wood property	相関係数 Correlation coefficient
初期含水率 Initial moisture content	0.8**
心材率 Proportion of heartwood	0.3**
平均年輪幅 Average annual ring width	- 0.3**
全乾密度 Specific gravity in oven dry	0.1
偏心率 Proportion eccentricity of pith	0.02

Note. **Significant at 0.01 level. n=210

表-4 乾燥条件間の材質の比較

Table 4. Comparison of wood property, between drying schedules

		全乾密度 (g/cm ³) Specific gravity in oven dry	偏心率 (%) Proportion eccentricity of pith	平均年輪幅 (mm) Average annual ring width	心材率 (%) Proportion of heart wood
高温乾燥 (110℃) High temperature drying (H.T.D110)	mean	0.36	31.9	4.1	88.9
	s.d.	0.035	21.0	1.0	11.9
	c.v. (%)	8.3	66.0	25	13.4
中温乾燥 (85℃) Conventional temperature drying (C.T.D85)	mean	0.36	30.1	4.2	90.8
	s.d.	0.035	18.2	1.1	11.4
	c.v. (%)	8.3	60.5	27	12.5
低温乾燥 (75℃) Conventional temperature drying (C.T.D75)	mean	0.37	35.7	4.0	91.7
	s.d.	0.035	20.2	1.0	14.0
	c.v. (%)	9.8	56.7	25	15.3

Notes. mean : Average, s.d. : Standard Deviation, c.v. : Coefficient Variation

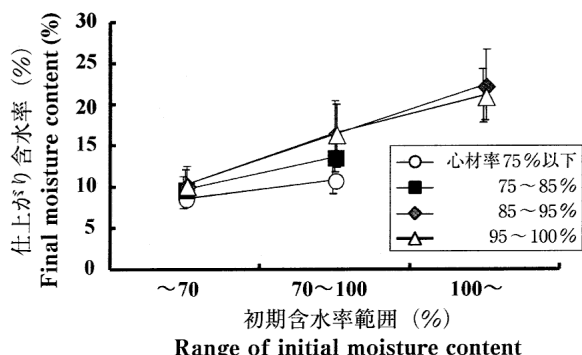


図-6 心材率と仕上がり含水率の関係

Fig.6 Relationship between final moisture content and proportion of heartwood.

Legend: ○ Proportion of heartwood is less than 75%
 ■ Proportion of heartwood is from 75% to 85%
 ◆ Proportion of heartwood is from 85% to 95%
 ▲ Proportion of heartwood is from 95% to 100%

誤差バー：標準偏差

Bars mean standard deviation

4 まとめ

本研究では高温乾燥がスギ正角材の仕上がり含水率の頻度分布に及ぼす影響の検討を目的として、マッチングした材を乾燥温度 110℃, 85℃, 75℃で処理した仕上がり含水率の頻度分布を比較し、さらに仕上がり含水率に影響を与える因子を検討した。その結果以下の知見が得られた。

- 高温乾燥は仕上がり含水率の頻度分布で、最頻値が 100℃以下の乾燥と比べて低含水率側に移行した。
- 高温乾燥は 100℃以下の乾燥と比べて、初期含水率が平均よりも低い材に対して乾燥がより進行した。
- 心材率は初期含水率が高い場合に影響が現れた。

また、高温乾燥は頻度分布の最頻値が低含水率側にシフトしたため、過乾燥の割合が多くなった。過乾燥の発生は含水率のばらつきが直接的な原因である。高温乾燥は温度と乾燥時間によっては材質が劣化すると報告されているが、その中でも過乾燥材は材質の熱劣化が通常の高温乾燥よりも進行し、強度や耐久性のさらなる低下が危惧される。温度と処理時間が材質に及ぼす影響についての報告では、鷺見は高温、長時間ほど材色の明度が低下し、衝撃曲げ仕事量が低下するとしており、Eddie W.Price, C.C.Gerhardsらは曲げ強度、クリープ性能が低下するとしている⁸⁾⁻¹¹⁾。また、乾燥中、含水率は時間毎に減少することから、高温乾燥時間を短くした場合、

図-4の過乾燥割合は減少するが、反対に含水率 15%以上の未乾燥割合が増加することから適性乾燥範囲の割合は変わらないと考えられる。

スギ材乾燥の問題点である仕上がり含水率のばらつきを解消するためには、乾燥前の初期含水率のばらつきを減少させる必要がある。それは乾燥前の選別処理などが考えられるが、高温乾燥を行う際の選別基準値は中温、低温乾燥よりも低めの設定となることが今回の結果から示唆された。

今後は選別方法¹²⁾⁻¹³⁾と選別基準値の検討、高温乾燥スケジュールの設定¹⁴⁾が課題である。

参考文献

- 1) Michael R.Milota (2000) Warp and shrinkage of hem-fir stud lumber dried at conventional and high temperature. Forest Products Journal 50 : 79~84.
- 2) 吉田孝久・橋爪丈夫 (2000) カラマツ及びスギ心持ち柱材の高温乾燥特性 - 高温低湿乾燥条件が乾燥特性に及ぼす影響と曲げ強度性能 - . 長野県林業総合センター研究報告 14 : 3~18.
- 3) 吉田孝久・橋爪丈夫・中嶋康・武田孝志 (1999) カラマツ心持ち正角材の強度特性に及ぼす高温乾燥の影響 (I) - 曲げ強度特性 - . 木材工業 54 : 122~125.
- 4) 中嶋康・武田孝志・吉田孝久・橋爪丈夫(1999) カラマツ心持ち正角材の強度特性に及ぼす高温乾燥の影響(II) - 縦圧縮強度特性 - . 木材工業 54 : 265~268.
- 5) 藤本登留・上野龍一・又木義博 (1997) スギ心持ち角材の乾燥 - 破壊特性による乾燥温度別表面割れ特性の検討 - . 第47回日本木材学会大会要旨集 : p166.
- 6) 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.
- 7) 久保島吉貴・信田聡・岡野健(1997) 木材乾燥における両端小試験片による試験材含水率の推定精度. 木材工業 52 : 389~391.
- 8) 鷺見博史 (1982) 木材の高温乾燥 (1) - 乾燥末期の乾燥速度に及ぼす温度の影響 - . 木材学会誌 24 : 391~399.
- 9) 鷺見博史 (1982) 木材の高温乾燥 (4) ダグラスファー材における脱脂処理条件とその効果. 木材学会誌 28 : 489~494.
- 10) Eddie W.Price・Peter Koch (1980) Kiln time and temperature affect shrinkage, warp, and mechanical properties of southern pine lumber. Forest Products Journal 30 : 41~47.

- 11) C.C.Gerhards. (1988) Effect of high-temperature drying on bending strength and load duration of Douglas-fir 2 by 4's. Forest Products Journal 38 : 66 ~ 72.
- 12) 有馬孝禮・早村俊二・丸山則義・宮沢俊輔・古沢信 (1990) 木材の打撃音分析によるヤング係数と水分変動の評価. 材料39 : 44 ~ 50.
- 13) 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.
- 14) 斎藤周逸 (2000) スギ材の人工乾燥スケジュール関数の推定. 第50回日本木材学会大会要旨集 : p143.