
 原著論文

表面割れと内部割れの少ない三重県産スギ平角材の乾燥スケジュールの開発

Development of a kiln-drying schedule of Sugi beam with less surface and internal checks

福本浩士¹⁾・中山伸吾¹⁾・宮本正行^{1),2)}Hiroshi Fukumoto¹⁾, Singo Nakayama¹⁾ and Masayuki Miyamoto^{1),2)}

要旨：表面割れと内部割れが少なく、含水率20%以下となるスギ平角材の乾燥スケジュールの開発を試みた。生材含水率100%以下の材について、高温低湿処理（乾球温度120℃－湿球温度90℃）を12～24時間実施した後、中温乾燥（乾球温度90℃－湿球温度60℃）を16日間実施することで含水率20%以下に仕上げることができた。また、高温低湿処理（乾球温度120℃－湿球温度90℃）を24～48時間実施した後、天然乾燥を約10～11ヶ月間実施することで、心材色の変化の少ない乾燥材を生産することができた。

キーワード：含水率20%，高温低湿処理，スギ平角材，内部割れ，表面割れ

Abstract: We tried to develop a kiln-drying schedule for Sugi beams with less surface and internal checks; through this method, the final water content of the Sugi beam after drying was less than 20%. For sugi beams, with initial moisture content less than 100%, medium-temperature drying schedule combined with 12- to 24-hour high-temperature/low-humidity processing (120°C dry bulb with 90°C wet bulb), drying up to less than 20% was achieved in 17 to 18 days. Air-drying schedule combined with 24- to 48-hour high-temperature/low-humidity processing enabled complete drying of Sugi beams without color degradation of heart-wood for 10 to 11 months.

Key word: high-temperature/low-humidity processing, Sugi beams, surface and internal checks, water contents less than 20%

はじめに

スギ・ヒノキ人工林では、これまでの柱材生産を中心とした施業（伐期 50 年生程度）から、省力化や付加価値向上等を目指した林齢 100 年生以上の長伐期施業へと転換する傾向にある（全国林業普及協会，2006）。とくに肥大成長の良いスギでは、長伐期化によって中・大径丸太生産に移行しつつあり、これらの中・大径丸太を平角材に利用することが期待されている。

近年、住宅の建築工法が真壁工法から大壁工法へと変わりつつあり、寸法精度の高い材，すなわち乾燥材への需要が高まってきている（赤堀，2010）。また、表面割れの発生は施主と住宅建築業者の間でトラブルになることが多く、内部割れの発生は強度面において不安が残る等の問題が残されている（赤堀，2010）。

木材の表面割れを抑制するために、乾燥の初期に蒸煮を行った後、高温低湿処理を施すことによつて木材の表面にドラインゲットを形成させる技術が開発されてきた（吉田ら，2000；豆田・藤本，

¹⁾ 三重県林業研究所

Mie Prefecture Forestry Research Institute

E-mail: fukumh01@pref.mie.jp

²⁾ 熊野農林商工環境事務所

Kumano Agriculture, Forestry, Commerce, Industry and Environment Office

2001). 高温低湿処理後も高温乾燥を続けると材内部に内部割れが発生するが、乾燥温度を 100℃以下に下げることによって内部割れの発生を抑制できることが明らかとなった(吉田, 2003, 2008; 吉田ら, 2004).

このような乾燥スケジュールは、おもにスギやカラマツの正角材を対象として開発されてきた(小田ら, 2004; 吉田ら, 2004). この乾燥スケジュールがより断面の大きな平角材に適用できれば、今後の木材利用に大きく貢献できると考えられる(吉田・伊藤・橋爪, 2005a; 城井, 2005, 2006). そこで本研究は、県内産スギの梁桁への利用拡大を図ることを目的とし、含水率が 20%以下で表面割れと内部割れが少ない平角材の乾燥スケジュールの開発を試みた.

材料と方法

1. 高温低湿処理と中温乾燥の組み合わせ

1. 1. 乾燥条件

表 -1 に示す 3 条件(高温低湿処理 12 時間, 18 時間, 24 時間)で試験を実施した. 蒸煮時間は材中心部が蒸煮温度に達すると想定される 6 時間とした. なお, 本実験で用いた木材乾燥装置は, エノ産業株式会社製 EZ-20 型である(写真 -1).

1. 2. 供試材および調査方法

供試材は三重県内で伐採されたスギ材より製材された 125 mm × 250 mm × 4,000 mm の無背割心

表 -1. 高温低湿処理と中温乾燥を組み合わせた乾燥スケジュール

ステップ	乾球温度(℃)	湿球温度(℃)	乾燥時間(時間)	備考
1	95	93	2	昇温
2	95	93	6	蒸煮
3	120	90	2	昇温
4	120	90	12, 18, 24	高温低湿
5	90	60	2	降温
6	90	60	384 (371*)	中温乾燥
7	-	-	-	終了

* 高温低湿処理 24 時間の場合, 中温乾燥は 371 時間で実施している.



写真 -1. 本実験で使用した高温蒸気式木材乾燥機にスギ平角材を搬入する様子

持ち平角材である。供試材の両木口から約 25 cm の位置で厚さ約 30 mm の試験片を採取し、全乾法で乾燥前の供試材の含水率を測定した。乾燥終了後にモルダール処理を行い（仕上がり寸法 115 mm × 235 mm × 3,500 mm）、表面割れの数、長さ、最大幅を測定した。その後、両木口から 1 m 程度の位置で厚さ約 30 mm の試験片を採取し、全乾法で乾燥後の含水率を測定した。また、一部の供試材から前述の位置でさらに同様の試験片を採取し、木口断面を 50 分割して含水率分布を測定した。内部割れについては、含水率測定用の試験片の木口断面の割れを測定した。なお、試験前に表面割れが発生していた材については表面割れと内部割れの解析から除外した。

今回実施したスケジュールによる人工乾燥がスギの材色に及ぼす影響を明らかにするために、モルダール処理した供試材の中央部付近において、ハンディー型色差計を用いて心材の明度 (L^*) 及び彩度 (a^* , b^*) を測定した。人工乾燥の対照として、前述の元口から約 25 cm の位置で切断した材を室内で天然乾燥させ、十分に乾燥した後にモルダール処理を行い、同様にして心材の明度 (L^*) 及び彩度 (a^* , b^*) を測定した。

2. 高温低湿処理と天然乾燥の組み合わせ

2. 1. 乾燥条件

表-2 に示す 2 条件（高温低湿処理 24 時間および 48 時間）で人工乾燥を行った後、屋外で天然乾燥を行った。また、対照として高温低湿処理を行わず、天然乾燥だけを実施する条件を設定した。天然乾燥は簡易型天然乾燥施設内にて行った（写真-2）。天然乾燥の期間は、高温低湿処理 24 時間では 2008 年 10 月 21 日から 2009 年 9 月 2 日（約 11 ヶ月間）、高温低湿処理 48 時間と天然乾燥のみでは、

表-2. 高温低湿処理と天然乾燥の組み合わせにおける高温低湿処理のスケジュール

ステップ	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	乾燥時間 (時間)	備考
1	95	93	2	昇温
2	95	93	6	蒸煮
3	120	90	2	昇温
4	120	90	24 または 48	高温低湿
5	-	-	-	天然乾燥へ



写真-2. 本実験で使用した簡易型天然乾燥施設

2008年11月25日から2009年9月2日(約10ヶ月間)である。なお、本実験で用いた木材乾燥装置も、エノ産業株式会社製EZ-20型である。

2. 2. 供試材と調査方法

供試材は、前述の試験と同様に三重県内で伐採されたスギ材より製材された125 mm × 250 mm × 4,000 mmの無背割心持ち平角材である。乾燥前及び乾燥後の調査方法と測定項目は、前述の試験と同様である。

結果

1. 高温低湿処理と中温乾燥の組み合わせ

乾燥試験前の生材含水率と乾燥試験後の仕上がり材含水率の関係を図-1に示す。乾燥後の平均含水率は高温低湿処理12時間で15.3%、18時間処理で17.7%、24時間処理で19.9%であった。しかしながら、仕上がり材含水率は供試材間でばらつきが大きく、生材含水率が高いほど仕上がり材含水率が高かった(図-1)。とくに、生材含水率が100%以上の高含水率材の多くは仕上がり材含水率が20%以下にならなかった。木口断面の含水率分布については、仕上がり材含水率が10%程度の材は中心部の含水率が15%程度以下であったが(図-2a, b, d)、仕上がり材含水率が15%程度の材は中心部の含水率が20%を越えた(図-2e)。仕上がり材含水率が25%より高い材は、中心部の含水率が著しく高かった(図-2c, f)。

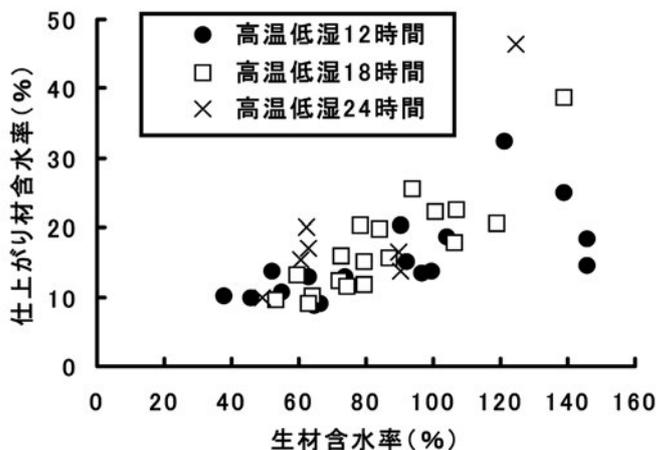


図-1. 高温低湿処理と中温乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける生材含水率と仕上がり材含水率の関係

表-3. 高温低湿処理と中温乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける表面割れの発生状況

高温低湿 処理時間	供試本数	表面割れの数*	表面割れの総延長*	表面割れの最大幅*
	(本)	Mean ± SD (個)	Mean ± SD (cm)	Mean ± SD (mm)
12時間	17	24.5 ± 19.1	72.5 ± 64.3	0.9 ± 0.6
18時間	18	13.7 ± 8.8	60.6 ± 35.6	1.1 ± 0.7
24時間	7	30.4 ± 21.9	145.5 ± 124.1	2.5 ± 1.4

* 3.5 mあたりの4面の合計値である。

(a) 高温低湿12時間 仕上がり含水率8.8%

8.1	8.8	9.6	10.0	10.1	10.2	10.1	9.6	8.9	8.5
8.8	9.9	11.1	11.8	11.9	12.5	12.1	11.5	10.2	9.0
9.1	10.8	12.1	12.5	12.7	12.9	12.7	12.0	10.8	9.7
9.6	11.2	11.9	12.4	12.5	12.6	12.6	11.7	10.6	9.4
8.9	9.8	10.7	10.9	10.5	10.9	10.8	9.9	9.7	9.3

(d) 高温低湿18時間 仕上がり含水率9.0%

7.6	7.6	8.0	7.9	7.9	8.0	8.2	8.2	7.6	8.3
7.5	7.8	8.4	8.4	8.9	9.2	9.4	9.3	8.1	8.1
7.4	8.3	8.6	9.0	9.3	9.4	9.9	9.6	8.4	7.9
7.2	7.8	8.4	8.7	8.7	9.4	9.1	8.9	7.7	7.7
7.2	7.4	7.6	7.7	8.1	8.0	8.0	7.7	7.1	7.6

(b) 高温低湿12時間 仕上がり含水率10.8%

9.6	9.8	10.3	10.8	10.6	10.4	10.4	10.0	9.3	9.4
10.2	12.3	13.9	14.1	14.2	14.2	13.6	12.4	10.1	9.1
10.8	13.3	14.8	15.2	15.7	15.2	14.4	13.0	11.0	9.2
10.7	12.6	13.8	14.4	14.4	13.6	13.5	12.5	10.8	9.2
9.6	10.6	11.3	11.7	11.4	10.9	11.1	10.6	9.3	9.5

(e) 高温低湿18時間 仕上がり含水率15.7%

9.5	12.2	14.5	13.9	11.9	10.8	11.0	11.0	10.8	10.3
11.3	18.9	21.6	20.1	18.0	16.4	16.6	16.5	15.1	12.3
12.1	21.2	23.1	22.3	21.6	20.2	19.7	18.2	16.3	12.9
11.3	18.5	21.0	20.2	18.9	17.5	16.7	16.1	14.8	11.7
9.5	11.8	13.5	13.3	12.5	11.8	11.5	11.7	11.2	9.3

(c) 高温低湿12時間 仕上がり含水率24.9%

11.0	13.5	15.6	17.3	19.6	20.2	19.4	17.9	15.7	12.0
13.2	20.8	29.6	36.1	42.5	41.1	39.4	38.4	27.2	14.5
15.2	27.5	37.5	43.1	49.7	49.9	44.4	42.8	35.8	15.0
15.1	24.8	32.1	38.5	41.3	45.1	42.0	38.6	30.2	15.7
12.1	15.5	19.8	24.7	29.8	31.4	27.8	22.3	18.2	12.9

(f) 高温低湿18時間 仕上がり含水率38.8%

12.3	16.3	20.5	21.0	23.1	25.2	23.9	18.1	14.3	10.4
19.1	35.8	46.7	45.5	54.7	53.8	50.1	39.1	25.1	13.3
21.7	43.2	49.5	65.0	99.5	65.7	47.6	45.2	33.7	15.6
19.8	39.8	48.2	54.0	62.2	47.9	45.3	40.0	29.0	13.9
12.8	20.3	23.2	25.6	24.8	22.6	21.7	19.9	15.3	10.4

図-2. 高温低湿処理と中温乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける乾燥材断面の含水率分布

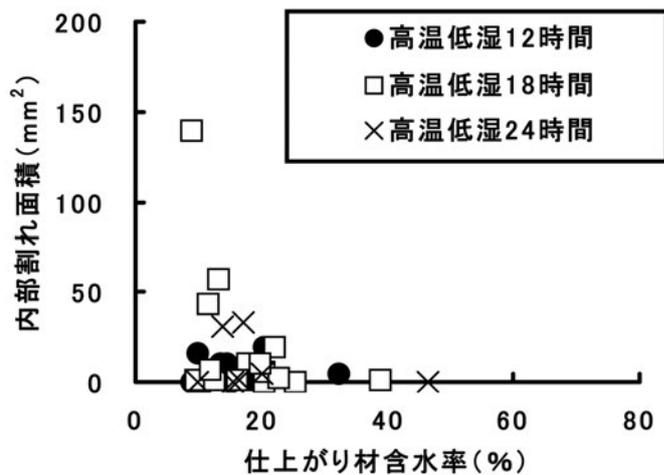


図-3. 高温低湿処理と中温乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける仕上がり材含水率と内部割れ面積の関係

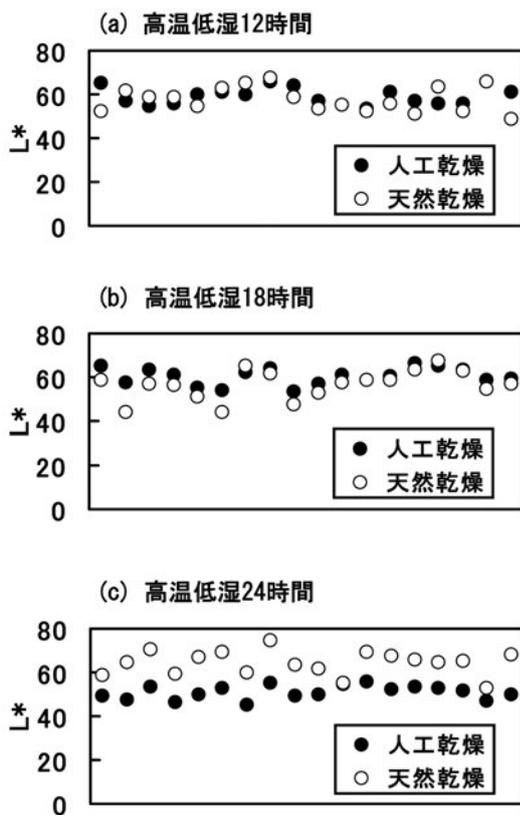


図-4. 高温低湿処理と中温乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける心材の明度の変化

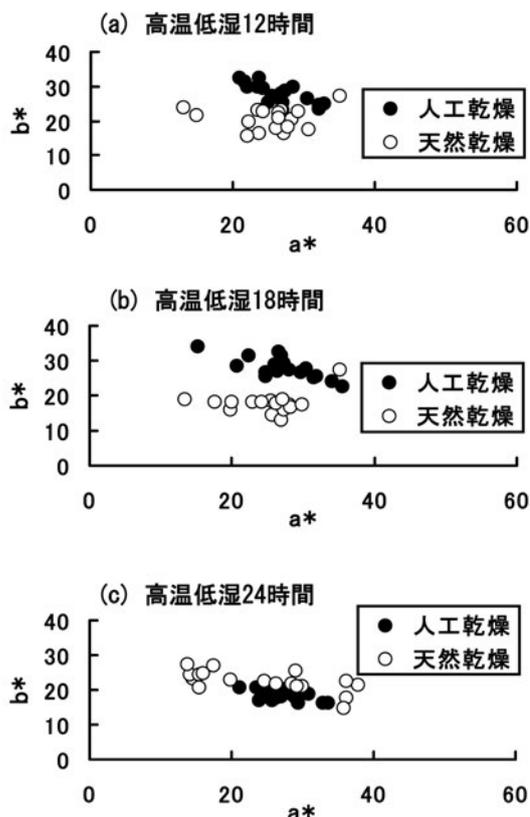


図-5. 高温低湿処理と中温乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける心材の彩度の変化

表面割れの数 (3.5 mあたりの4面の合計値) および総延長は、高温低湿処理の時間による違いはなかった (表-3)。内部割れについては、仕上がり材含水率が低いほど内部割れ面積が増加する傾向があった (図-3)。18時間処理では一部の供試体で内部割れ面積が 100 mm² を越えるものがあったが、12時間及び24時間処理では仕上がり材含水率 10%程度でも内部割れ面積は 50 mm² 以下であった。

乾燥試験後の供試材における心材の明度と自然乾燥させた供試材における心材の明度を図-4に示す。高温低湿処理 12時間及び18時間の条件では、人工乾燥と天然乾燥 (対照) の心材の明度に違いはなかったが、高温低湿処理 24時間の条件では人工乾燥において心材の明度が低下した。心材の彩度 (b*) については、高温低湿処理 12時間及び18時間の条件において、天然乾燥 (対照) よりも値が大きかった (図-5)。

2. 高温低湿処理と天然乾燥の組み合わせ

乾燥試験前の生材含水率と乾燥試験後の仕上がり材含水率の関係を図-6に示す。いずれの条件においても仕上がり材含水率は 15～20%であった。生材時の含水率が 100%以上である高含水率材においても 20%程度以下であった。図-7に木口断面の含水率分布を示す。仕上がり材含水率が 16%程度の場合、中心部においても含水率が 20%以下であったが (図-7a, c, e, f), 仕上がり含水率が 18%を上回ると中心部の含水率が 20%を越えた (図-7b, d)。

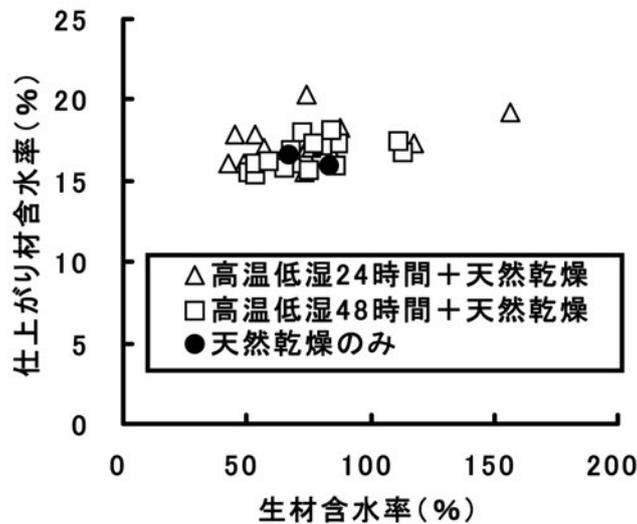


図-6. 高温低湿処理と天然乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける生材含水率と仕上がり材含水率の関係

(a) 高温低湿24時間+天乾 仕上がり含水率16.0%

13.6	15.6	15.7	16.3	16.5	16.4	16.0	15.6	15.1	13.5
15.4	16.5	17.1	17.4	17.5	17.4	16.7	16.5	15.0	
15.7	16.6	17.1	17.4	17.8	17.5	17.6	17.1	16.6	15.2
15.3	16.3	16.9	17.3	17.6	17.4	16.9	17.5	16.8	14.3
13.8	15.2	15.2	15.7	16.2	15.8	15.5	15.5	14.8	12.8

(d) 高温低湿48時間+天乾 仕上がり含水率18.1%

13.0	15.2	15.9	16.4	15.4	16.5	17.6	17.6	16.1	12.8
15.5	18.9	20.6	21.0	21.1	21.9	22.3	21.4	20.2	15.8
15.3	19.6	21.3	21.4	21.7	23.1	23.0	22.3	20.8	16.8
14.3	18.6	19.8	20.7	20.7	21.9	21.9	21.6	20.3	15.3
13.2	15.6	15.9	14.4	14.5	15.3	15.6	15.0	13.7	12.0

(b) 高温低湿24時間+天乾 仕上がり含水率19.2%

14.9	17.8	18.3	18.6	18.5	18.6	18.5	17.9	17.1	14.5
18.2	20.2	21.1	21.5	21.8	21.3	20.7	20.0	19.1	16.2
18.7	21.4	22.5	22.4	23.3	22.9	21.9	20.7	19.8	16.3
18.0	20.8	21.4	21.8	22.1	21.9	21.3	20.4	19.4	16.2
15.7	18.2	19.4	19.3	19.1	19.0	18.7	18.1	16.9	14.1

(e) 天然乾燥のみ 仕上がり含水率15.9%

14.9	14.9	15.4	15.4	15.1	15.1	15.2	15.1	15.0	14.6
15.3	15.6	16.3	16.5	16.5	16.8	16.8	16.1	15.7	14.8
15.1	16.1	16.6	17.1	17.6	17.5	17.1	16.7	16.2	15.3
15.0	16.0	16.3	16.9	17.0	17.0	16.8	16.7	16.0	15.1
14.9	15.3	15.4	15.6	15.8	15.6	15.8	15.7	15.1	14.9

(c) 高温低湿48時間+天乾 仕上がり含水率15.8%

12.0	13.5	13.1	11.7	11.7	11.6	12.6	13.0	13.9	13.1
14.2	17.6	18.4	17.8	16.8	16.9	18.3	18.2	17.6	15.7
13.6	18.0	18.9	19.4	19.4	19.5	19.6	18.9	18.0	16.2
12.4	16.7	16.7	16.8	16.3	16.2	17.3	18.1	17.4	15.8
10.5	11.0	11.0	11.3	11.3	11.3	11.9	13.1	15.3	14.5

(f) 天然乾燥のみ 仕上がり含水率16.6%

16.3	16.0	15.8	15.6	15.4	15.7	16.1	16.3	15.9	16.0
16.5	16.6	17.0	16.8	16.6	16.4	16.7	16.8	16.5	16.1
16.8	16.6	16.9	17.0	17.2	17.1	17.0	16.8	16.8	16.4
16.3	16.5	16.3	16.7	16.6	16.8	16.7	16.5	16.5	16.0
15.2	16.0	16.1	15.7	15.6	15.7	16.2	15.8	15.8	15.7

図-7. 高温低湿処理と天然乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける乾燥材断面の含水率分布

表-4. 高温低湿処理と天然乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける表面割れの発生状況

処理条件	供試本数	表面割れの数*	表面割れの総延長*	表面割れの最大幅*
	(本)	Mean ± SD (個)	Mean ± SD (cm)	Mean ± SD (mm)
高温低湿処理 24 時間+天乾	18	19.0 ± 15.4	127.7 ± 111.3	1.8 ± 1.4
高温低湿処理 48 時間+天乾	18	9.7 ± 8.5	37.6 ± 26.4	1.1 ± 0.7
天然乾燥のみ	2	45.5 ± 9.2	1160.3 ± 356.8	4.7 ± 1.0

* 3.5 mあたりの4面の合計値である。

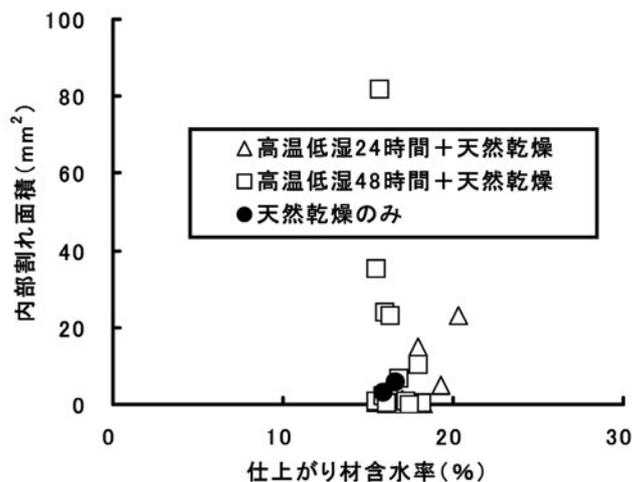


図-8. 高温低湿処理と天然乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける仕上がり材含水率と内部割れ面積の関係

表-4に処理条件ごとの表面割れの数、総延長、最大幅を示す。表面割れについては、高温低湿処理を行った後に天然乾燥を実施した場合の方が、天然乾燥のみを実施した場合よりも数が少なく、総延長が短く、最大幅が小さい傾向があった。また、高温低湿処理48時間の方が高温低湿処理24時間よりも表面割れが少なく、総延長も短い傾向があった。内部割れについては、いずれの処理条件においても100 mm²以下であった(図-8)。高温低湿処理48時間の条件では、高温低湿処理24時間や天然乾燥のみの条件よりも内部割れが大きかった。

乾燥試験後の供試材における心材の明度と自然乾燥させた供試材における心材の明度を図-9に示す。いずれの条件においても、心材の明度に人工乾燥と天然乾燥(対照)の間で違いはなかった。心材の彩度についても、人工乾燥と天然乾燥(対照)の間で違いはなかった(図-10)。

考察

1. 高温低湿処理と中温乾燥を組み合わせた乾燥スケジュール

スギ正角材における高温低湿処理(乾球温度120℃-湿球温度90℃)の時間は、12~24時間が適当であるとされている(吉田, 2003)。そこで本研究では、三重県産のスギ平角材に対して、蒸煮(乾球温度95℃-湿球温度93℃)を6時間行った後、高温低湿処理(乾球温度120℃-湿球温度90℃)を12時間、18時間、24時間の3条件で実施して、その後の乾燥を中温乾燥(乾球温度90℃-湿球温度60℃)で16日間実施した。

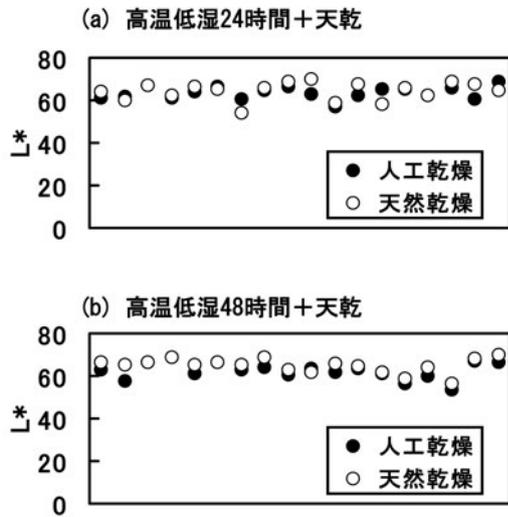


図-9. 高温低湿処理と天然乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける心材の明度の変化

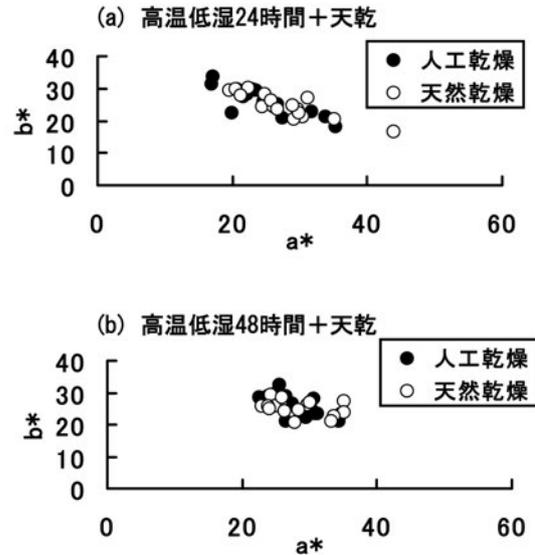


図-10. 高温低湿処理と天然乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールにおける心材の彩度の変化

表面割れの総延長は高温低湿処理 12 時間で 72.5 ± 64.3 cm, 高温低湿処理 18 時間で 60.6 ± 35.6 cm, 高温低湿処理 24 時間で 145.5 ± 124.1 cm であった. 吉田ら (2004) はスギ心持ち正角材 (132 mm × 132 mm × 3,000 mm) 1 本あたりの表面割れの総延長 (4 面の合計値) について, 150 cm 以下 (原文は 1,500 mm 以下) を一つの基準値としている. この基準値から判断した場合, スギ平角材においても高温低湿処理 12 ~ 24 時間で表面割れを抑制することが可能であるといえるだろう.

高温乾燥中の内部割れは, 乾燥による接線方向の収縮とドライイングセットされた表層の拘束による引張応力によって起こると考えられており, 高温低湿処理の時間を長くするほど内部割れ発生の危険性が高まる. 豆田 (1999) は, スギ心持ち正角材 (115 mm × 115 mm × 3,000 mm) において高温低湿処理 (乾球温度 120°C - 湿球温度 90°C) を 72 時間行った場合, 内部割れの発生が顕著であったことを報告している. 本研究において, 内部割れの発生はいずれの条件 (12 時間, 18 時間, 24 時間) においても少なく, とくに 12 時間処理においては 20 mm^2 以下に抑制することができた. 寺西ら (2007) は, 奈良県産スギ平角材 (140 mm × 260 mm × 4,100 mm) において高温低湿処理 (乾球温度 120°C - 湿球温度 80°C) を 24 時間と 48 時間の 2 条件で行った後, その後の乾燥を中温乾燥 (乾球温度 90°C - 湿球温度 60°C) で実施した. そして, いずれの条件においても内部割れ面積を 50 mm^2 程度以下に抑制できることを報告している. 三重県産スギ平角材においても, 高温低湿処理を 12 ~ 24 時間実施した後に中温乾燥を行うことで内部割れの発生を抑制できるといえるだろう.

高温低湿処理を長時間行うと乾燥材が著しく変色する問題が発生したが, 処理時間を短くすることで変色を軽減できることが明らかとなってきた (吉田, 2006). 本研究において高温低湿処理を 24 時間施した場合, 心材の明度が天然乾燥 (対照) に比べて低下したが, 12 時間及び 18 時間の処理では心材の明度は低下しなかった. また, 心材の彩度 (b^*) は 12 時間及び 18 時間処理において天然乾燥 (対照) よりも値が大きくなった. 寺西・海本 (2008) は, 蒸煮処理および高温低湿処理の違いがスギ心材の材色に及ぼす影響を調査し, 高温低湿処理の時間が長くなるほど材色の暗色化と色相の変化 (黄色みが増す) が顕著になると報告している. 今回の結果は, 高温低湿処理 24 時間における彩度 (b^*)

を除き、寺西・海本（2008）の実験結果と同様であった。以上のことから、三重県産スギ平角材において材色の変化が少ない高温低湿処理時間は12～18時間であることが示唆された。

本研究において、乾燥後の仕上がり材含水率は生材含水率が高いほど高くなる傾向があった。とくに、生材含水率が100%を越える材については、今回の乾燥スケジュールでは含水率を20%以下に仕上げるのが困難であった。さらに、仕上がり材含水率が15%程度であっても材の中心部は含水率が20%を越えており、含水率の傾斜が認められた。スギは含有水分量が多く、生材時の含水率もばらつきが大きいことが知られている（黒田，2003）。仕上がり材含水率を一定に保つためには、乾燥前の生材の条件を揃えることが有効であり、重量選別を行うことが重要である（黒田，2003）。三重県産スギ平角材について、高温低湿処理と中温乾燥を組み合わせたスケジュールで乾燥を行う場合、重量選別により含水率の条件を揃え、生材含水率100%未満の材を用いることが望ましいと考えられる。一方、生材時の含水率が100%を越えるものについては、板・平割材、ラミナ等への利用を図る（藤原，2006）、あるいは高周波を複合した乾燥機（写真-3）により材内部を加熱することで乾燥時間の短縮を図ることが望ましいであろう（黒田，2006）。

2. 高温低湿処理と天然乾燥を組み合わせた乾燥スケジュール

近年、高温低湿処理後に天然乾燥を実施して、低コストで高品質な乾燥材を生産する取り組みが行われている（城井，2005，2006；吉田ら，2005a, b；海本ら，2006）。城井（2005）は大分県産スギ平角材（115 mm × 190, 250, 310 mm × 4,000 mm）を用いて、3種類の高温低湿処理条件（12時間，36時間，60時間）に天然乾燥を組み合わせた乾燥試験を実施し、いずれの条件においても高温低湿処理を施さない天然乾燥だけの場合よりも表面割れの発生を抑制できたことを報告している。また、生材含水率90～100%の材を9ヶ月間で20%以下にばらつきも少なく仕上げるができることと報告している（城井，2006）。これに対して、海本ら（2006）は奈良県産スギ平角材（140 mm × 260 mm × 4,000 mm）を用いて、24時間の高温低湿処理を施した後に天然乾燥を行う試験を実施し、24時間の高温低湿処理ではドラインセットによる割れ抑制効果が小さいことを報告している。また、含水率が20%以下に達するのに要する期間は、生材時の含水率が約80%の材では12～15ヶ月、生材時の含水率が40%以下の材では9ヶ月要したことを報告している（海本ら，2006）。本研究において実施



写真-3. 本研究所に新しく導入された高周波・蒸気複合乾燥機

した高温低湿処理 24 時間及び 48 時間の条件では、天然乾燥のみの乾燥よりも表面割れを抑制することが可能であり、とくに 48 時間処理においてその効果が顕著であった。また、内部割れの面積についても高温低湿処理 24 時間及び 48 時間の条件は天然乾燥のみの条件と同程度であった。

含水率傾斜については、処理条件にかかわらず、仕上がり材含水率が約 17% 程度の材では材中心部でも含水率は 20% 以下であった。一方、仕上がり材含水率が約 18% 程度の材では中心部で含水率が 20% を越えるものがあった。海本ら (2006) もスギ平角材の乾燥試験において、仕上がり材含水率が 15% の材では中心部においても含水率が 20% 以下であったことを報告している。したがって、高温低湿処理と天然乾燥を組み合わせたスケジュールでは、仕上がり時の含水率 15% 程度が含水率傾斜の少ない乾燥材を生産するうえで一つの目安といえるだろう。

本研究において、高温低湿処理 (24 時間及び 48 時間) と天然乾燥を組み合わせた乾燥スケジュールでは、心材の明度及び彩度の低下は認められなかった。城井・坂本 (2008) はスギ正角材 (120 mm × 120 mm × 3,000 mm) において、高温低湿処理 (乾球温度 120°C - 湿球温度 90°C, 9 時間) の後に天然乾燥や 90°C, 70°C, 50°C の中温乾燥を行った場合、乾燥温度が高くなるほど明度が低下することを報告している。したがって、高温低湿処理と天然乾燥を組み合わせることで、材色の変化を少なく乾燥できることが示唆された。

以上のことから、高温低湿処理を 24 ~ 48 時間実施した後に天然乾燥を 10 ~ 11 ヶ月間行うことで、表面割れ及び内部割れの発生と材色の変化が少ない乾燥材を生産できると考えられた。

引用文献

- 赤堀楠雄 (2010) 変わる住宅建築と国産材流通. 243pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 藤原 健 (2006) スギ乾燥のポイント. スギの材質変動と原木選別 - 乾燥の効率化に向けて. 林業技術 739 : 10-15.
- 海本 一・小野広治・寺西康浩・広瀬達哉・久保 健 (2006) スギ製材品における天然乾燥前処理としての高温低湿処理について. 奈良県森技セ研報 35 : 43-48.
- 黒田尚宏 (2003) スギ材の乾燥 上. スギの乾燥 - 概説. 林業技術 736 : 8-13.
- 黒田尚宏 (2006) スギ乾燥のポイント. スギ乾燥材の品質向上と生産の効率化. 林業技術 739 : 25-30.
- 豆田俊治 (1999) スギの効率的乾燥に関する研究 - スギの高温乾燥について -. 大分県林試年報 41 : 40-43.
- 豆田俊治・藤本登留 (2001) スギ心持ち材の高温蒸気処理による表面割れ抑制効果について. 日林九支研論文集 54 : 195-196.
- 小田久人・蛭原啓文・迫田忠芳・藤本登留・村瀬安英 (2004) 宮崎県産スギ心持ち柱材の高温低湿乾燥における乾燥性. 木材工業 59 : 255-259.
- 城井秀幸 (2005) スギ横架材の乾燥システムに関する研究 - 平角材の最適大分方式乾燥スケジュールの解明 -. 大分県農林水産研究セ林試年報. 47 : 42-43.
- 城井秀幸 (2006) スギ横架材の乾燥システムに関する研究 - 平角材の最適大分方式乾燥スケジュールの解明 -. 大分県農林水産研究セ林試年報. 48 : 44-45.
- 城井秀幸・坂本修一 (2008) 大分方式乾燥システムの高度化に関する研究 - 促進乾燥条件と生産期間の短縮 -. 大分県農林水産研究セ林試年報. 50 : 32-33.
- 寺西康浩・海本 一 (2008) 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. 奈良県森技セ研報 37 : 59-64.

寺西康浩・海本 一・久保 健 (2007) スギ梁材に対する高温乾燥条件および高周波・蒸気複合乾燥条件の検討. 奈良県森技セ研報 36 : 43-52.

吉田孝久 (2003) スギ材の乾燥 上. スギ構造材の乾燥法—特に高温セット法という高温乾燥について. 林業技術 736 : 14-20.

吉田孝久 (2006) II. 木材加工技術の高度化 4. 高温乾燥技術の進展. 木材工業 61 : 499-501.

吉田孝久 (2008) 木材の高温乾燥研究の変遷—高温高湿スケジュールから高温低湿スケジュールへ—. 木材工業 63 : 400-405.

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 : 357-362.

吉田孝久・橋爪丈夫・徳本守彦・武田孝志・印出 晃 (2004) 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. 長野県林総セ研報 18 : 125-139.

吉田孝久・伊東嘉文・橋爪丈夫 (2005a) カラマツ平角材の効率的乾燥技術の開発—高温セット+中温乾燥の乾燥特性—. 長野県林総セ業務報告 : 90-91.

吉田孝久・伊東嘉文・橋爪丈夫 (2005b) カラマツ平角材の効率的乾燥技術の開発—高温セット材の冬期の簡易太陽熱乾燥—. 長野県林総セ業務報告 : 92-93.

全国林業普及協会 (2006) 長伐期林を解き明かす. 189pp, 全国林業改良普及協会, 東京.