

スギ平角材の最適乾燥材生産システムの開発 —大分方式乾燥及び高周波蒸気複合乾燥による期間短縮—

豆田俊治・田口孝男

Development of the Most Suitable Drying System of Flat Square Timber Time Reduction by Oita Drying Method and High Frequency Steamy Compound Drying

Toshiharu Mameda, Takao Taguchi

大分県農林水産研究指導センター 林業研究部

キーワード：スギ、平角材、高温セット、天然乾燥、高周波乾燥

目次

緒言

I スギ平角材の乾燥期間短縮試験

1 大分方式乾燥試験

- (1) 高温セット時間の延長
- (2) 天然乾燥と促進乾燥の組み合わせ
- (3) 一貫乾燥試験

2 高周波蒸気複合乾燥試験

II 総合考察

III 摘要

謝辞

引用文献

緒言

我が国における木材需要の約4割、国産材需要の約55%が建築用材であり⁹⁾、住宅を中心とする建築用材の需要拡大が木材全体の需要拡大に大きく寄与している。大分県の素材生産量の81%⁷⁾を占めるスギの需要拡大を推進する上で、住宅需要への対応は非常に重要である。ところが、在来工法に占める国産材のシェアは3割にとどまっている。特に管柱の国産材シェアが約6割を占めているのに比べて、梁桁材などの横架材はベイマツを中心とする輸入材（製材・集成材等）が9割以上を占め⁹⁾、国産材の使用率が低い。これは、スギは初期含水率が高いため乾燥が難しいとされ¹⁾、特にスギ平角材は、断面積が大きく、内部の水分が抜けにくいいため、グリーン材（未乾燥材）や乾燥が不十

分な材が流通するなど、乾燥を重視する需要者のニーズに対応できていないことが原因の一つである。

近年では、高速乾燥を目的とした高温乾燥機が普及して、高温乾燥により表面割れを抑えて短時間で乾燥させる技術が開発された^{1,3)}が、当初の高温乾燥は材色が暗色化したり、内部割れが発生するなどの課題があり、特に内部割れは強度低下を引き起こす可能性が指摘⁴⁾されている。その後の研究によって、高温乾燥初期の高温低湿処理によるドラインセット（以下、セット）後に中温乾燥や天然乾燥を行うことで、内部割れの発生を抑制できることが明らかとなり^{2) 5)}、表面割れが少なく内部割れもなく天然乾燥材に近い品質の「大分方式乾燥材」が開発された。さらに大分県の行政・業界団体が一体となって大分方式乾燥材の品質管理基準⁶⁾を策定して生産工場の認証を行うなど「大分方式乾燥」は低コスト・高品質な乾燥材を生産するシステムとして提唱され、ブランド化するに至っている^{1 9) 11) 12)}。しかしながら大分方式乾燥材は、天然乾燥に依存しているために安定的な生産が難しいという問題があり、特に平角材では、含水率20%以下まで乾燥するのに中温乾燥で1ヵ月以上、天然乾燥では実に1年以上の長い時間を要する⁹⁾など、生産拡大や安定供給の大きな妨げとなっている。

そこで、本研究ではスギ平角材の乾燥期間の短縮を目的として、大分方式乾燥技術を活用した平角材の促進乾燥試験と高周波蒸気複合乾燥試験を実施した。なお、乾燥材の目標含水率は20%以下とし、表面割れそ

の他の品質は、大分方式乾燥材の品質管理基準⁸⁾を満たすことを条件とした。

I スギ平角材の乾燥期間短縮試験

1 大分方式乾燥試験

(1) 高温セット時間の延長

①試験方法

初期含水率を低減して天然乾燥期間を短縮することを目的として、セット時間を延長した条件で乾燥試験を行った。供試材は、仕上げ寸法 240mm × 120mm × 4m を 20 本使用し、重量の平均が同じになるように 2 グループに分け、表 1 に示す異なる 2 つのセット処理条件 (パターン A、B) で実施した。パターン A (従来型) は蒸煮温度 98℃ で 12 時間、乾球温度 120℃、湿球温度 90℃ の高温低湿処理 12 時間とし、パターン B はパターン A の高温低湿処理に引き続いて乾球温度 90℃、湿球温度 60℃ で 48 時間処理を延長した。セット処理終了後に天然乾燥を 5 ヶ月間行い、その後、乾球温度 60℃ 一定、湿球温度の制御はせずに 1 ヶ月間促進乾燥を行った。供試材の測定は、製材後、セット後、天然乾燥後、促進乾燥後、養生後、表面仕上げ後に実施し、測定項目は、寸法、重量、含水率、表面割れ、内部割れとした。含水率は、高周波式含水率計 (株) ケット科学研究所製 MH520、商品名 moco2) (以下、含水率計) と全乾法 (JIS Z2101) により測定した。含水率計による測定は、供試材 1 本あたり 3 ヶ所 (両木口から 50cm 部分と中央部) の測定値を平均して算出した。表面割れは、4 材面に生じた割れの幅と長さを測定した上、次式により面積を算出して、供試材 1 本ごとに全ての表面割れ面積を集計した (面積 = 幅 × 長さ × 0.5)。内部割れは、全乾含水率測定時に供試材を切断して目視によって確認した。試験の概要を表 2

表 1 高温セット処理条件

項目	パターンA		パターンB	
	温度条件	時間	項目	時間
①蒸煮	乾球温度98℃ 湿球温度98℃	12時間	①蒸煮	乾球温度98℃ 湿球温度98℃ 12時間
②高温セット	乾球温度120℃ 湿球温度90℃	12時間	②高温セット	乾球温度120℃ 湿球温度90℃ 12時間
			③時間延長	乾球温度90℃ 湿球温度60℃ 48時間

に示す。

②結果及び考察

乾燥中の含水率を全乾法で測定した結果を図 1 に示す。パターン A とパターン B を比較した結果、両者の含水率の差は、セット直後は平均で 9.7% (A : 41.2%、B : 31.5%) であったが、5 ヶ月間の天然乾燥後は 2.2% (A : 25.5%、B : 23.3%) と縮小した。その後の促進乾燥で含水率は 20% 以下まで低下し、養生後 (促進乾燥終了後から約 2 週間経過後) の含水率は、パターン A が 12.6%、パターン B が 12.1% で、ほとんど差がなくなった。一方、乾燥によって発生した表面割れの面積を比較したところ、最終的にパターン A よりもパターン B が小さくなった (図 2)。また、乾燥後に供試材を切断して内部割れを確認したところ、両パターンとも発生していなかった。

以上のことから、平角材における乾燥期間の短縮は、セット時間の延長による効果はほとんどなく、促進乾

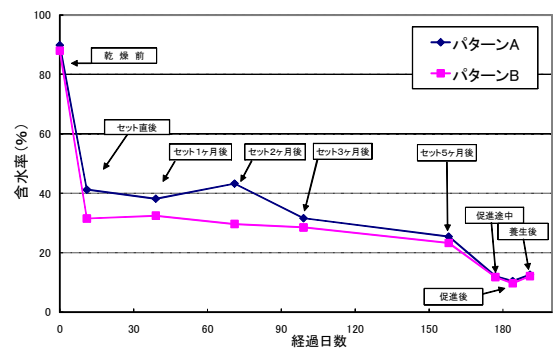


図 1 パターン別の含水率推移

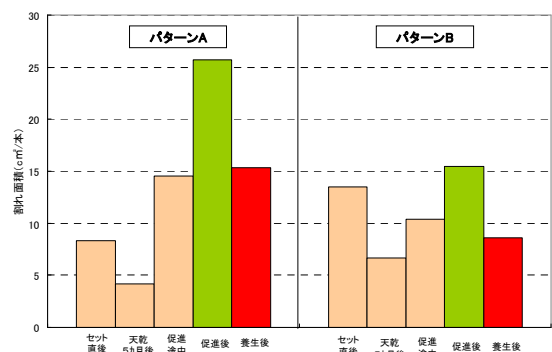


図 2 パターン別の表面割れ比較

表 2 高温セット時間の延長試験の概要

製材の種類および仕上げ寸法 (製材寸法)	本数 (本)	高温セット処理	天然乾燥条件	促進乾燥条件	測定項目
スギ平角材 240mm × 120mm × 4m (258mm × 137mm × 4m)	10	パターンA	約5ヶ月間	乾球温度: 60℃一定 湿球温度: 制御なし	①重量 (製材直後、乾燥後、養生後) ②含水率 (含水率) (製材直後、乾燥後、養生後) ③含水率 (全乾法) (養生後) ④表面割れ (天然乾燥後、促進乾燥後、養生後) ⑤内部割れ (養生後)
	10	パターンB			

表3 天然乾燥と促進乾燥の組み合わせ乾燥試験の概要

試験区分	製材種類及び 仕上げ寸法(製材寸法)	本数 (本)	高温セット処理	天然乾燥条件	促進乾燥条件	測定項目	
促進乾燥 試験	スギ平角材 300mm×120mm×4m (318mm×138mm×4m)	10		約1ヵ月間 (乾燥棟内)	乾球温度:60℃一定 湿球温度:制御なし 6週間		
天然乾燥 試験	スギ平角材 240mm×120mm×4m (258mm×138mm×4m)	18	パターンB	1ヵ月間	乾球温度:60℃一定 湿球温度:制御なし	表1と同じ	
		18		2ヵ月間			
		18		3ヵ月間			
	スギ平角材 300mm×120mm×4m (318mm×138mm×4m)	18		1ヵ月間			1ヵ月間
		18		2ヵ月間			
		18		3ヵ月間			

燥が効果的であること、平角材におけるセット処理は表面割れの小さいパターンBで行うのがよいと分かった。

また、表面割れや含水率に関する大分方式乾燥材の品質管理基準⁸⁾の品質が確保できていることが分かった。

(2) 天然乾燥と促進乾燥の組み合わせ

① 試験方法

最適な天然乾燥期間と促進乾燥期間を決定するために、表3の条件で試験を行った。なお、セット条件はパターンBで実施した。まず、最適な促進乾燥期間を決定するため、セット後に1ヵ月間の天然乾燥を経て、6週間の促進乾燥を実施した。供試材は梁せい300mmを10本使用し、乾燥期間中の重量および含水率を測定した。次に最適な天然乾燥期間を決定するため、1ヵ月、2ヵ月、3ヵ月の3通りの天然乾燥期間と梁せい240mmと300mmの2種類の寸法で試験を実施した。1グループの供試本数は18本、合計108本を使用した。乾燥期間中は、重量および含水率を計測して乾燥の進行状況を確認した。2つの試験結果から、天然乾燥と促進乾燥の最も効率的な組み合わせを検討した。

② 結果及び考察

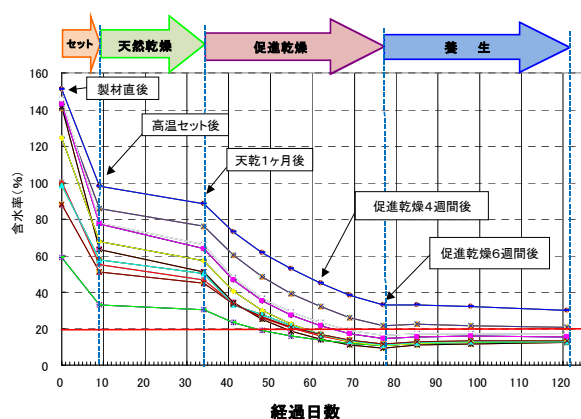


図3 供試材10本の含水率推移 (促進乾燥試験)

促進乾燥試験における含水率の測定結果を図3に示す。含水率は全乾法で測定した。促進乾燥4週間後から5週間後にかけて、試験材10本中8本が20%まで低下した。残り2本は促進乾燥6週間経過後も20%以上であり、初期含水率が高かったことが原因と考えられた。これらを除くと促進乾燥期間は4週間程度行うことが最も効率がよいと分かった。

次に天然乾燥試験における含水率測定結果を図4に示す。測定は乾燥後に含水率計で行った。図中のバーの上下は標準偏差を示す。天然乾燥1ヵ月のグループでは促進乾燥後の含水率の平均が20%を上回ったが、2ヵ月および3ヵ月のグループでは20%以下となった。

以上のことから天然乾燥は2ヵ月以上行う必要があり、2ヵ月間の天然乾燥と1ヵ月間の促進乾燥の組み合わせが効率的であると判断した。

(3) 一貫乾燥試験

① 試験方法

重量選別することを前提として、天然乾燥を実施せずにセットから連続して促進乾燥を行うこと(以下、一貫乾燥)で乾燥期間を短縮する試験を実施した。表4に試験の概要を示す。供試材の寸法は梁せい240mmと

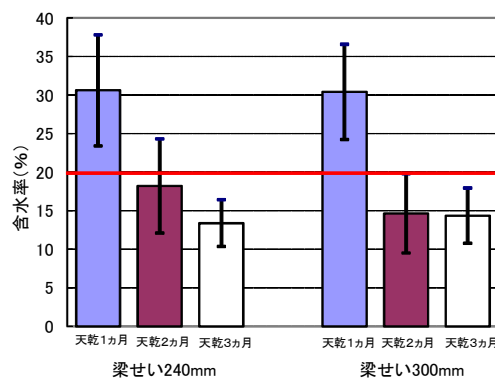


図4 乾燥後の含水率 (天然乾燥試験)

表4 一貫乾燥試験の概要

製品種類及び 仕上げ寸法(製材寸法)	本数 (本)	重量選別	高温セット処理	天然乾燥 条件	促進乾燥 条件	測定項目
スギ平角材 240mm×120mm×4m (258mm×138mm×4m)	54	初期重量で 3グループ (重い・中間・軽い) に区分	パターンB	なし	乾球温度80℃ 湿球温度60℃ 10日間	表1と同じ
スギ平角材 300mm×120mm×4m (318mm×138mm×4m)	54					

300mmの2種類とし、乾燥前の重量測定結果から、それぞれの寸法54本を18本づつ重いグループ、中間グループ、軽いグループの3つのグループに分けた。また促進乾燥は、内部割れが発生しない⁹⁾ 80℃で10日間実施し、総乾燥時間は14日間(冷却時間含む)とした。促進乾燥後にこれまでの試験と同様に品質を評価した。

②結果及び考察

供試材の重量と材積の測定結果から容積密度を算出した結果、梁せい240mmの供試材(以下240材)では、重いグループの乾燥前の容積密度は714~951kg/m³、中間グループが654~714kg/m³、軽いグループが558~637kg/m³となった。また梁せい300mmの供試材(以下300材)では、重いグループの乾燥前の容積密度は679~823kg/m³、中間グループが587~679kg/m³、軽いグループが486~574kg/m³となった。乾燥前の容積密度を240材と300材で比較すると240材の方が大きかった。これは主に240材の初期含水率の方が高いことが原因と思われた。また、乾燥後の重量のばらつきは重量の軽いグループほど小さくなった。

次に含水率計による含水率の測定結果を図5に示す。乾燥前の平均含水率は、240材では軽いグループが100.0%、中間グループが113.9%、重いグループが122.5%で、300材では軽いグループが98.1%、中間グループが110.6%、重いグループが117.2%であった。このことから重量が重い材は含水率が高いことを裏付けた。また、乾燥後の平均含水率は、軽いグループ、中間グループはほぼ20%以下に達していたが、重いグループは乾燥後の含水率が平均で20%を上回っており、乾燥が不十分であった。乾燥後の含水率が20%以上のものは、すべて重いグループで、240材で11本、300材で5本であった。乾燥前の含水率が115%を超えていると乾燥後も20%以上となることが分かった。240材および300材の各重量グループから1本ずつ合計6本を抽出して、全乾法による含水率測定を実施した。その結果、300材が低い方から順に15.9%、19.1%、21.4%と20%程度まで下がっていたのに対して、240材は21.9%、22.0%、31.5%で、特に重いグループは乾燥が不十分であった。切断面の様子と内部の含

水率測定結果を図6に示す。軽いグループ、中間グループでは、中心付近の含水率は高い部分があったが、全体の含水率は20%以下まで達していた。また、切断面に内部割れは発生していなかった。

表面割れは、乾燥直後も少なく、養生中もほとんど変化しなかった。このため、表面割れは十分抑制されていると思われた。

以上のことから、重量選別によってあらかじめ初期重量が重い材を除くことで、2週間程度の養生期間を含めて1ヵ月以内での乾燥が可能であると分かった。重量選別の基準としては、乾燥後に20%以上であった供試材の容積密度から、乾燥前の容積密度が750kg/m³以下を乾燥することが効果的と思われた。なお、本試験における750kg/m³以下の本数は、240材で54本中39本(72.2%)、300材で54本中47本(87.0%)であった。

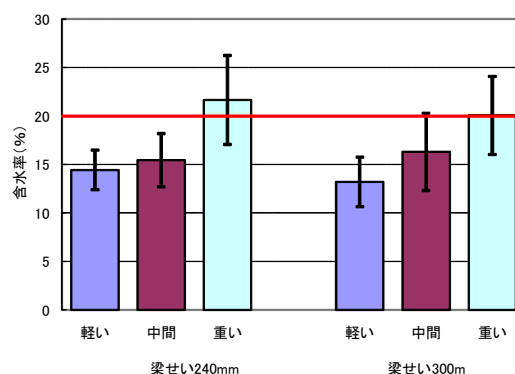


図5 各グループごとの含水率比較

11.4	13.1	14.5	14.8	16.5	16.2	16.2	15.3	14.7	12.6
12.2	16.3	18.8	20.4	21.4	21.7	21.5	20.9	19.0	15.0
13.0	16.9	20.3	21.6	22.3	22.2	23.0	21.9	20.3	15.6
12.3	15.9	18.4	18.9	20.2	20.3	20.0	19.8	18.3	14.0
11.3	12.6	13.3	13.9	13.5	14.0	13.0	14.0	13.7	12.3
									平均値
									16.7

図6 含水率および内部割れの状況

2 高周波蒸気複合乾燥試験

① 試験方法

蒸気乾燥と高周波乾燥を併用できる複合タイプの乾燥機による高周波蒸気複合乾燥（以下、高周波乾燥）は、高周波加熱によって乾燥の難しい大断面のスギ平角材の短時間で高品質な乾燥が期待されている。そこで、高周波乾燥によるスギ平角材の乾燥試験を実施した。

試験の概要を表5に示す。乾燥機は大分県日田市の大分方式乾燥材認証工場に設置された高周波乾燥機（株）山本ビニター製 MDW-15、商品名：ディーウェル）を使用した。供試材の寸法は、梁せい240mmを48本用いた。乾燥前の重量測定結果から、重いグループ、中間グループ、軽いグループとして18本ずつ3つのグループに分け、グループごとに別々にブロック積みして乾燥を行った。表6に乾燥スケジュールを示す。乾燥期間はセット処理と高周波加熱を含めて合計10日間とした。測定項目は、重量、含水率、表面割れ、内部割れとし、測定は、製材後、乾燥直後、1ヵ月間養生後に実施した。含水率測定は、乾燥期間中は含水率計で行い、乾燥後は、供試材を50cm間隔で切断してサンプルを取り出し、全乾法により測定した。

なお、今回の乾燥で高周波電力量は、乾燥時の積み込み総材積17.92m³に対して2,687.4kWhであった。

表5 高周波乾燥試験の概要

製品種類および仕上げ寸法(製材寸法)	スギ平角材 48本 240mm×120mm×4m (258mm×138mm×4m)
初期重量選別	軽いグループ (61.79～71.90kg) 16本
	中間グループ (71.05～76.76kg) 16本
	重いグループ (77.00～109.92kg) 16本
人工乾燥期間	10日間（表6に詳細）
養生期間	約1ヵ月間
測定項目	表1と同じ

表6 高周波乾燥スケジュール

乾燥工程	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	高周波	乾燥時間 (h)
① 蒸煮	96	96	—	12.0
② 高温セット	120	91～96	発振	10.0
③ 高温→中温	95～115	81～91	—	16.0
④ 中温	80～90	71～76	発振	178.6
⑤ 冷却	—	—	—	18.0
合計時間				234.6

② 結果及び考察

重量選別によるそれぞれのグループの平均容積密度は、軽いグループが491kg/m³ (443～516kg/m³)、中間グループは539kg/m³ (520～555kg/m³)、重いグループは625kg/m³ (550～779kg/m³)であった。

図7に乾燥前と乾燥後の含水率測定結果を示す。測定は全乾法で行った。1ヵ月間養生後の含水率は、7本が20%以上で、いずれも重いグループであった。また、長さ方向の含水率傾斜を確認するために、50cmごとに全乾法で測定した含水率の平均値を図8に示す。その結果、重いグループで中央部付近の含水率が20%をわずかに超えているものの、それ以外のグループは中央部付近を含めてすべて20%以下に乾燥していた。このことから重いグループの材がやや乾燥不十分であったもの

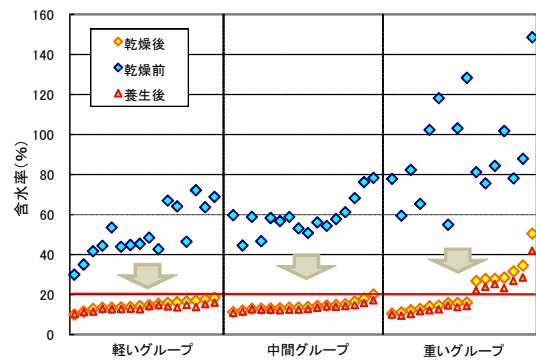


図7 各グループごとの含水率変化

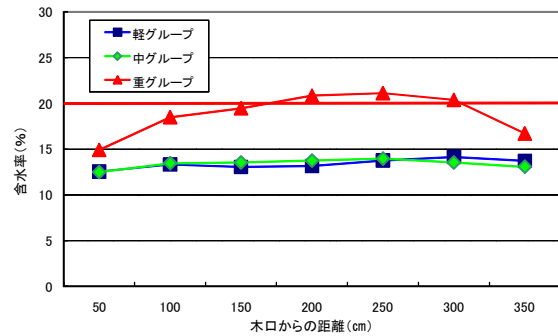


図8 長さ方向の含水率比較

10.9	11.9	11.4	11.5	10.4
12.4	13.5	12.7	13.4	12.0
12.6	13.5	12.7	13.6	12.4
12.1	13.3	12.6	13.4	12.2
10.8	11.5	11.4	11.8	7.4
平均値				12.0

図9 含水率および内部割れの状況

の、中間と軽いグループの乾燥状態は非常に良好であった。

表面割れを測定した結果、1本あたりの平均割れ面積は、軽いグループが1.6cm²、中間グループは1.8cm²、重いグループは4.1cm²であり、今回の結果は基準を満たしていた。また、内部割れ及び含水率を測定した結果、内部割れは発生しておらず、中心部まで均一に乾燥していることが分かった。供試材の測定事例を図9に示す。

以上のことから、重量選別によってあらかじめ初期重量が重い材を除いたうえ、10日間の高周波乾燥を実施することで、含水率20%以下で割れない高品質な平角材乾燥が可能であることが分かった。

II 総合考察

大分方式乾燥によるスギ平角材の乾燥期間は、天然乾燥と促進乾燥を組み合わせることで、天然乾燥期間を短縮し、製材から仕上げまでの乾燥期間を従来の9～12ヵ月から3ヵ月以内まで短縮できた。また、天然乾燥を省略した一貫乾燥では、乾燥期間を1ヵ月以内まで短縮することが可能となった。さらに、乾燥に高周波加熱を利用した高周波乾燥によって、内部割れなどの品質低下を起こすことなくスギ平角材を10日間で乾燥できることが分かった。ただし、乾きにくい高含水率材では目標含水率まで下がらないケースが発生した。これは重量選別を行い、重量の重い材をあらかじめ除いておくことが有効であることを確認した。

以上の結果から、重量選別を基準とした最適な乾燥システムを選択するためのフローを図10に示す。乾燥前の重量が重く、初期含水率が高い場合や大断面の材では高周波乾燥、逆に重量が軽く初期含水率が低い場合は、一貫乾燥か天然乾燥を選択することが望ましいと思われた。いずれにせよ、今後の生産拡大のためには、促進乾燥施設や高周波乾燥機等の拡充が不可欠である。また、重量選別をより効率的に行うためには原木段階での重量測定が必要である。

III 摘要

1. 大分方式乾燥技術を活用した組み合わせ乾燥（高温セット+天然乾燥+促進乾燥）により、スギ平角材の生産期間が従来の9～12ヵ月から3ヵ月以内に短縮することができた。
2. 高温セットと促進乾燥を連続して行う（一貫乾燥）ことによって、重量選別したスギ平角材の乾燥期間を

1ヵ月以内に短縮することができた。

3. 高周波乾燥を利用した人工乾燥スケジュールの開発を行い、10日間の乾燥で高品質な乾燥材生産を実現した。

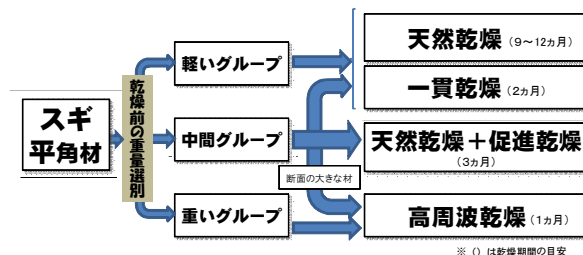


図10 スギ平角材の最適乾燥材生産システム選択のフロー

謝辞

試験の際には林産振興室、研究普及課をはじめ、南部振興局農山漁村振興部、西部振興局農山村振興部の方々に測定作業等で多大なご協力をいただきました。また、高周波乾燥試験においては（株）山本ビニターに技術的なご支援をいただきました。実証試験にあたっては、佐伯広域森林組合並びに株式会社日田十条から乾燥施設の使用や供試材の提供などを快く承諾して頂きました。関係各位にはこの場を借りて深く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) たとえば、秋田県立農業短期大学木材高度加工研究所編（1998）：コンサイス木材百科，140
- 2) 片桐幸彦・藤本登留・豆田俊治・近藤宏章（2001）：湿度無制御で熱風乾燥された心持ち柱材の品質に及ぼす高温低湿処理の効果，木材工業，56，617-620
- 3) 城井秀幸・青田勝・河津渉・津島俊治（2006）：高温低湿処理をしたスギ平角材の天然乾燥について，第56回日本木材学会大会研究発表要旨集，F09-1030
- 4) 城井秀幸・豆田俊治（2001）：スギ平角材の強度性能について—内部割れが発生した高温乾燥材の曲げ強度性能—，日本木材学会九州支部大会講演集，8，53-54
- 5) 豆田俊治（2001）：スギ柱材の高温乾燥について（第3報）—蒸煮セット後の乾燥温度の違いによる比較—，日本木材学会九州支部大会講演集，8，51-52
- 6) 豆田俊治：未発表データ
- 7) 大分県農林水産部（2011）：大分県林業統計（平成21年度版），74
- 8) 大分県産材流通情報センター（2011）：大分方式乾

燥材等の品質基準について

- 9) 林野庁 (2011) : 平成 23 年版森林・林業白書, 15
- 10) 津島俊治・城井秀幸・鶴戸幹人・藤本登留 (2007)
: 大分方式乾燥システムの確立と実用化の促進, 日本
木材加工技術協会第 25 回年次大会講演要旨集, 5-6
- 11) 津島俊治 (2008) : 大分県農林水産研究センター研
究発表会要旨集, 17-18
- 12) 津島俊治 (2008) : 大分方式乾燥材の展開, 木材工
業, 63, 435-437
- 13) 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