

スギ心去り平角材の 効率的乾燥技術の解説

～丸太選別・天然乾燥・人工乾燥の組合せ～



地方独立行政法人

青森県産業技術センター林業研究所

目次

1	はじめに	・・・	1
2	スギ心去り平角材の効率的な乾燥方法	・・・	3
	(1) 丸太選別	・・・	4
	(2) 天然乾燥	・・・	6
	(3) 人工乾燥	・・・	8
3	乾燥コスト	・・・	10
4	まとめ	・・・	11
5	参考文献	・・・	12

1 はじめに

現在、青森県のスギ人工林は成熟化・高齢級化が進んでおり、それに伴い、山から生産される丸太は、末口径30cm以上の大径材が増加するものと考えられます。大径材は、中・小径材では製材できない心去り平角材を製材することができるため、今後大径材利用を進める上で、心去り平角材の生産に向けた製材・乾燥技術を高めることが重要と考えます。

心去り平角材は、建築構造用材における梁や桁などの用途で使われますが、製材工場が製品として出荷するためにはしっかり乾燥させることが必要です。乾燥方法としては人工乾燥が主流ですが、消費する燃料や時間といった生産コストをできるだけ抑えつつ、含水率の出荷基準を満たす製品を効率的に生産していくことが重要です。

そこで当研究所では、スギ平角材の効率的な乾燥方法として、丸太選別・天然乾燥・人工乾燥を組み合わせた乾燥方法を検討しました。

本資料は、主に県産スギ心去り平角材を扱う県内の製材事業者に向けた技術資料として、当研究所で行った試験結果や既存の文献を基に作成したものです。



写真1 スギ大径材

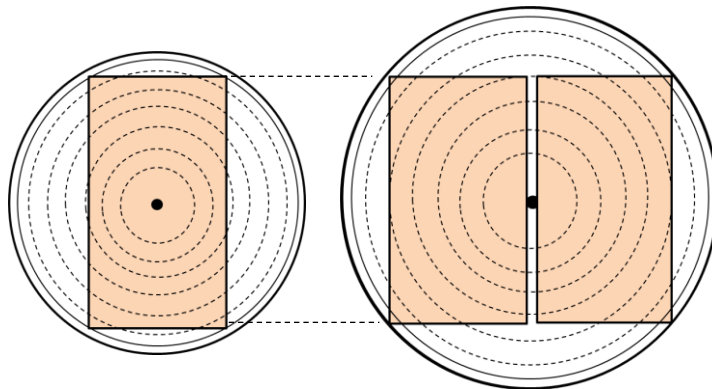


図1 平角材の木取り例
(左：中径材から心持ち、右：大径材から心去り)



写真2 スギ心去り平角材

2 スギ心去り平角材の効率的な乾燥方法

心去り平角材は、断面寸法が大きいいため、人工乾燥させる場合、内部まで均一に乾燥させることが困難であるとともに、初期含水率のばらつきが大きいと、過乾燥や乾燥不十分の材が生じやすくなります。これを防ぐためには、初期含水率の低い材と高い材である程度選別し、それぞれに適する乾燥スケジュールで乾燥させるのが良いと考えられます（参考文献1）。

材の初期含水率は丸太の含水率を概ね反映し、丸太の含水率は丸太の重量（密度）が目安になります。このことから、丸太段階で重量を測定し、材積で除した見かけの密度を基準に選別することが有効です。

見かけの密度の低い丸太から挽いた材は、初期含水率の低いものが多く、粗挽き後直ちに人工乾燥させることで、含水率を目標含水率（例えば20%）以下に下げることが容易です。

一方、見かけの密度の高い丸太から挽いた材は、初期含水率の高いものが多く、粗挽き後すぐに人工乾燥させても、乾燥が不十分だったり、目標含水率以下に下がるまで時間がかかったりします。このような材はいったん天然乾燥させて、含水率をある程度下げてから人工乾燥させることが有効です。天然乾燥については、心去り材は、心持ち材と異なり、乾燥による表面割れが少ないという特性があるため、天然乾燥を併用することができます。

以上のことから、心去り平角材の乾燥では、丸太選別・天然乾燥・人工乾燥を組み合わせた乾燥方法（図2）が有効と考えられます。

この方法を生産現場（製材工場）で活用するとき、納期が短いなど、早く乾燥仕上げを行う必要がある場合には、見かけの密度の低い（軽い）丸太を選んで使用し、見かけの密度の高い（重い）丸太から挽いた材は、天然乾燥しながら在庫として保管し、注文に応じて人工乾燥で仕上げるという方法が考えられます。

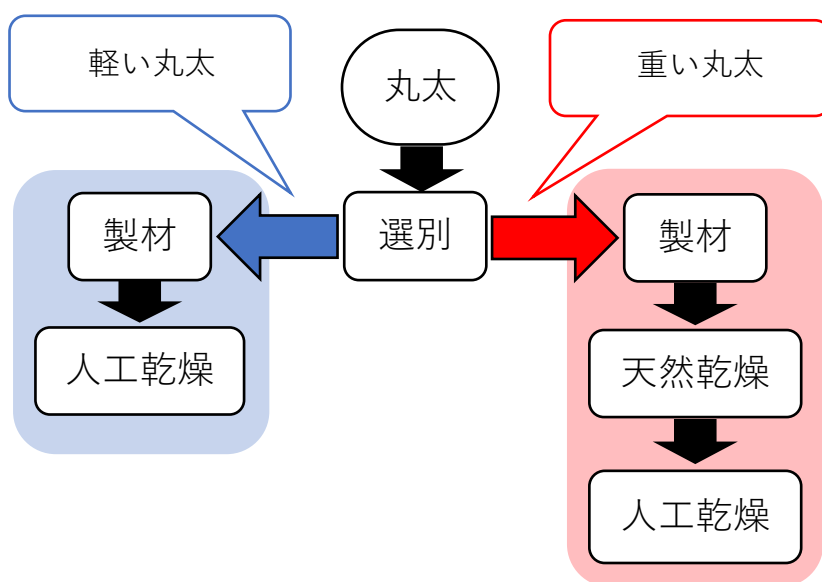


図2 スギ心去り平角材の効率的な乾燥方法

(1) 丸太選別

丸太選別は、粗挽き後の材の初期含水率が高いか低いかによって乾燥方法を分けるため、丸太の含水率を目安にして分けようとするものです。

しかし、丸太の含水率は直接測定することができないため、重量を測定し、重量を材積で除した見かけの密度を目安にして判断します。木材の全乾比重が同じだとすれば、木材に含まれる水分の量が多ければ重く（含水率が高い）、少なければ軽い（含水率が低い）と考えられるからです。なお、丸太の含水率を詳しく調べてみると、心材と辺材で差があり、さらに、元口側と末口側でも差があります（図3）。

丸太の重量は、通常、クレーンで丸太を吊って、吊り秤で測定します（写真3）。1本当たりの重量は、当研究所での事例では、4m材で380～590kg（径級48cm）、6m材で480～1,080kg（径級49cm）にもなります。吊り秤を使う以外には、フォークリフトに装着する荷重計を使って測定する方法もあります（写真4）。

材積は、生産現場では、径級と材長から算出するのが一般的です。さらに精度を高めようする場合は、元口径、末口径、材長を測定し、円筒形の体積計算を行います。

選別の目安となる見かけの密度は、はい積み丸太（ロット）を測定してから判断する必要がありますが、ここでは、概ね 580kg/m^3 とします。 580kg/m^3 以下を密度の低い丸太（軽い丸太）とし、 581kg/m^3 以上を密度の高い丸太（重い丸太）として分けます。この目安は、当研究所の調査データ（図4）から便宜的に区分した数値ですが、これを目安に乾燥試験を行った結果、軽い丸太から得た材は人工乾燥のみで、重い丸太から得た材は天然乾燥と人工乾燥を組み合わせた方法でしっかり乾燥できたことから、一応の目安とするものです。

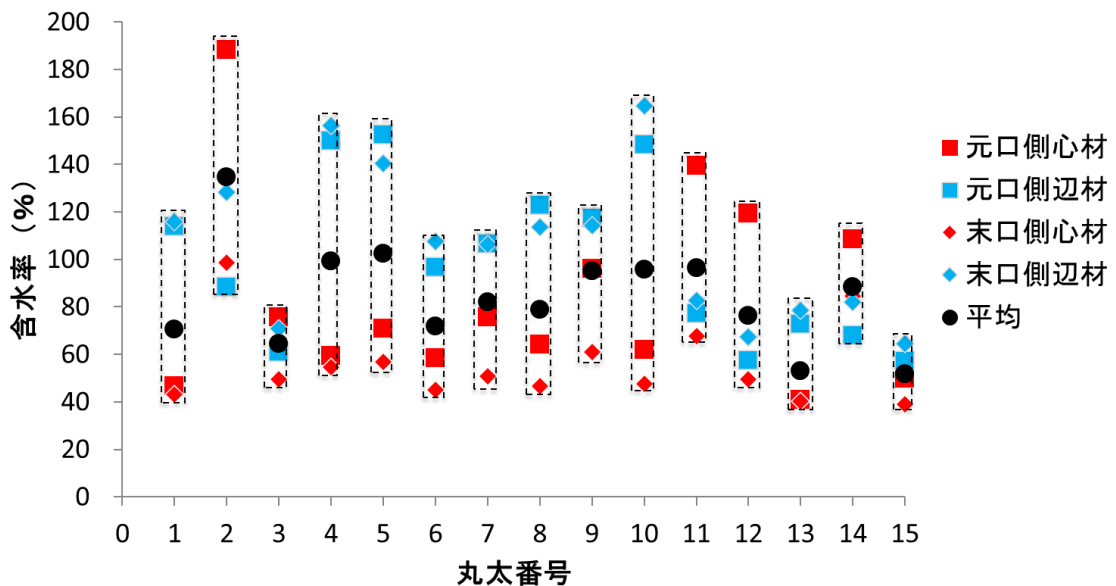


図3 丸太内の含水率



写真3 吊り秤による測定



写真4 フォークリフト荷重計による測定
(右上：装着した荷重計)

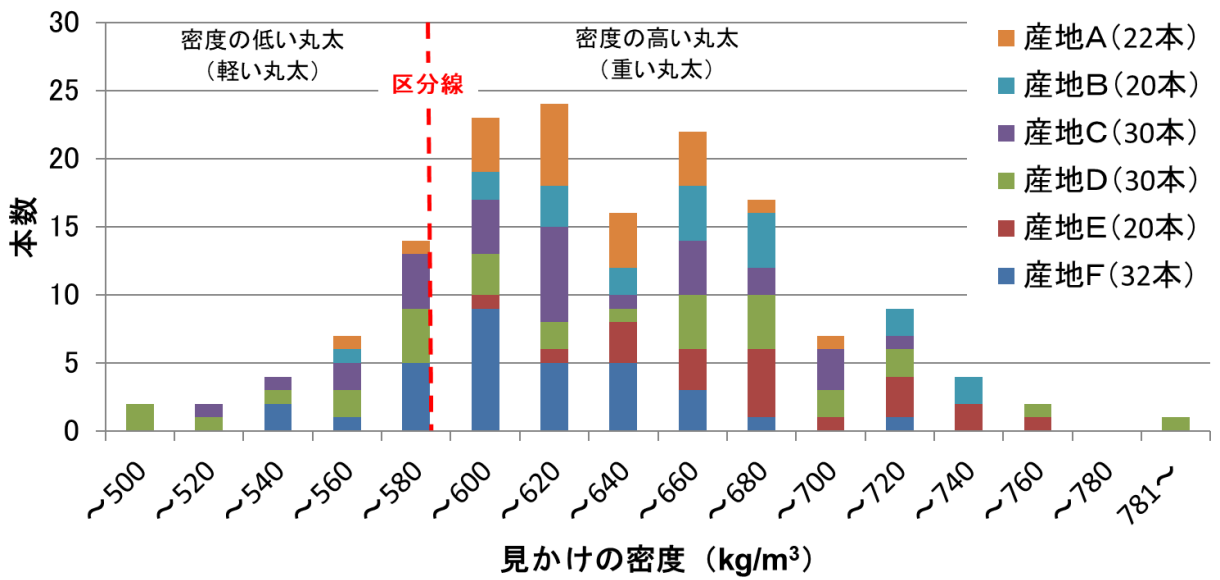


図4 県産スギ丸太の見かけの密度の度数分布
(丸太：材長4~6m、径級30cm以上)

(2) 天然乾燥

心去り平角材における天然乾燥は、人工乾燥を行う前に含水率をある程度下げるために行うものです。天然乾燥で含水率をある程度下げることで、その後の人工乾燥で目標含水率（例えば20%）以下に仕上がる確率が高くなります。また、天然乾燥を行うことで、平衡含水率に近づいていくことから、含水率のばらつきが小さくなることも期待できます。

天然乾燥は材を栈積みして行います（図5）。材同士は等間隔のスペースを空けて置き、栈木は台木のある位置に合わせて並べます。材は風に対して直角になるように配置します。場所はアスファルト等の舗装平地で、通風が良く風の強い場所が適しています。雨対策としては、栈積み最上段に屋根を設置したり、倉庫などの雨に当たらない場所で行います（参考文献2）。

天然乾燥の実施期間は、粗挽き後すぐにスタートし、含水率がある程度下がるまでの期間として、1か月以上が必要です。人工乾燥の工程に進めるとき、目安となる含水率は、概ね50%以下です。

当研究所が実施した天然乾燥試験では、天然乾燥を開始してから約1か月間は含水率が大きく減少し、それ以降は減少が緩やかになりました。また、日数が経つにつれて含水率のばらつきが小さくなりました。このことから、乾燥速度の速い初めの1か月間を目安に実施し、含水率が概ね50%以下になったことを確認してから、人工乾燥させると良いと考えられます。

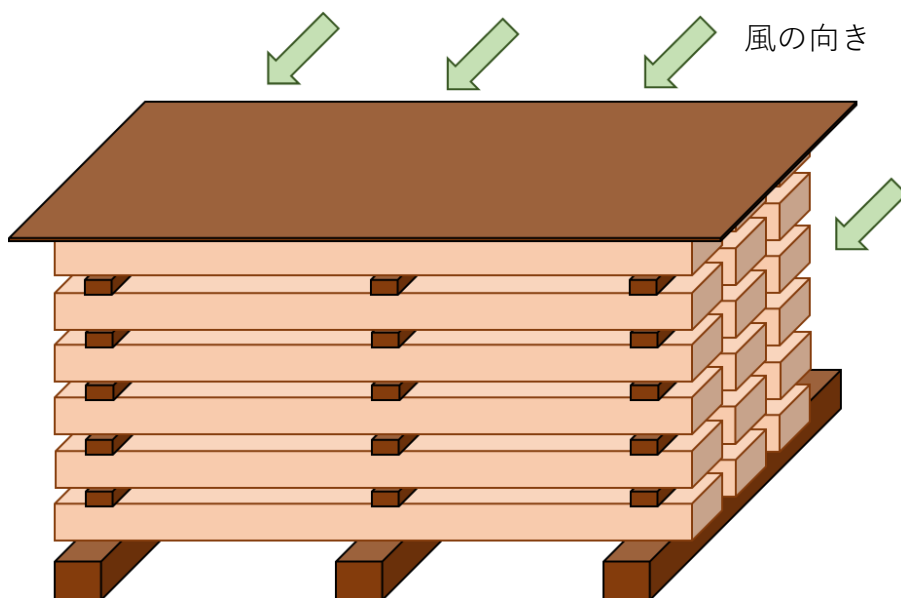


図5 天然乾燥における栈積みの例

<天然乾燥の試験事例>

事例1（平成30年8月下旬～11月中旬、東津軽郡平内町）

丸太段階で重量を測定し、見かけの密度が 580kg/m^3 より高い丸太（重い丸太）から得た心去り平角材20本（ $145 \times 310 \sim 385 \times 3,300\text{mm}$ ）を天然乾燥させました（写真5）。そのうち、特に重い、見かけの密度が 680kg/m^3 より高い丸太から得た心去り平角材10本のデータをグラフに示します（図6）。

初期含水率は平均86%、その後、含水率は、34日目で平均66%、83日目で平均50%になりました。

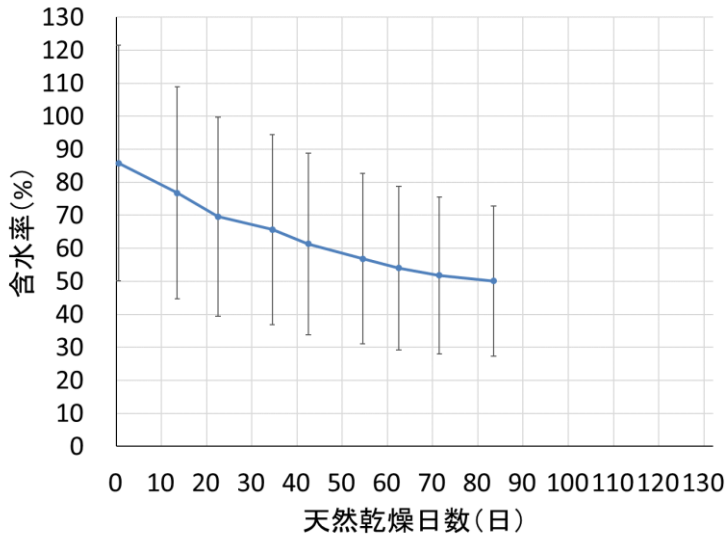


図6 天然乾燥中の含水率推移



写真5 屋外での天然乾燥

高さ50cmの台の上に材を積み、雨よけのために屋根とビニールの囲いを付けた。

事例2（令和元年7月上旬～11月上旬、三戸郡五戸町）

丸太段階で重量を測定し、見かけの密度が $550 \sim 700\text{kg/m}^3$ の丸太から得た心去り平角材30本（ $145 \times 210 \times 4,000\text{mm}$ ）を天然乾燥させました（写真6）。そのうち、見かけの密度が 580kg/m^3 より高い丸太（重い丸太）から得た心去り平角材26本のデータをグラフに示します（図7）。

初期含水率は平均61%、その後、含水率は、36日目で平均37%、124日目で平均26%になりました。

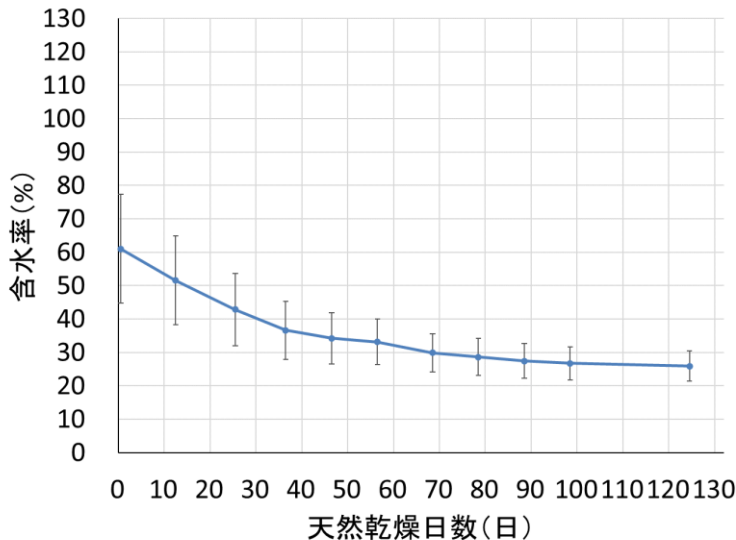


図7 天然乾燥中の含水率推移



写真6 屋内での天然乾燥

直射日光や雨滴が当たらず、風通しの良い位置に設置した。

(3) 人工乾燥

人工乾燥は、短期間で目標とする含水率（例えば20%以下）に仕上げるため、乾燥機を用いて木材に熱エネルギーを加え、温湿度管理を行って乾燥させるものです。

スギ心去り平角材の人工乾燥の例として、蒸気式乾燥機を用いた中温乾燥の工程を示します（表1）。初めに、高温高湿条件で蒸煮を行います。蒸煮は材を蒸す工程で、成長応力の緩和や材内部の含水率の均一化、脱脂、その後の乾燥速度の向上などの効果があるとされています（参考文献3）。蒸煮後、湿度を下げて、50～90℃の温度（中温）で材を乾燥させていきます。乾燥工程の終了後、温度と湿度をゆっくりと下げていきます。最後に材を養生させ、完全に自然の状態に戻していきます。

以上が、基本的な中温乾燥の方法です。

表1 スギ心去り平角材の中温乾燥スケジュール
(生産現場での一例：蒸気式乾燥機)

乾燥工程	蒸煮	中温乾燥	降温	養生	計
時間 (h)	14	168	36	24	242



写真7 人工乾燥機

<人工乾燥の試験事例>

事例1（軽い丸太を製材して直ちに人工乾燥させた事例）

丸太段階で重量を測定し、見かけの密度が 580kg/m^3 以下の丸太（軽い丸太）から得た心去り平角材10本（ $145 \times 310 \sim 385 \times 3,300\text{mm}$ ）を粗挽きして直ぐに人工乾燥させました。

その結果、初期含水率が45～62%の材が、10本中1本を除いて含水率20%以下に下がりました（図8）。

乾燥は蒸気式乾燥機で約6日間行い、蒸煮（14h）→高温セット（24h）→高温乾燥（24h）→中温乾燥（31h）→降温（50h）の乾燥スケジュールで実施しました。

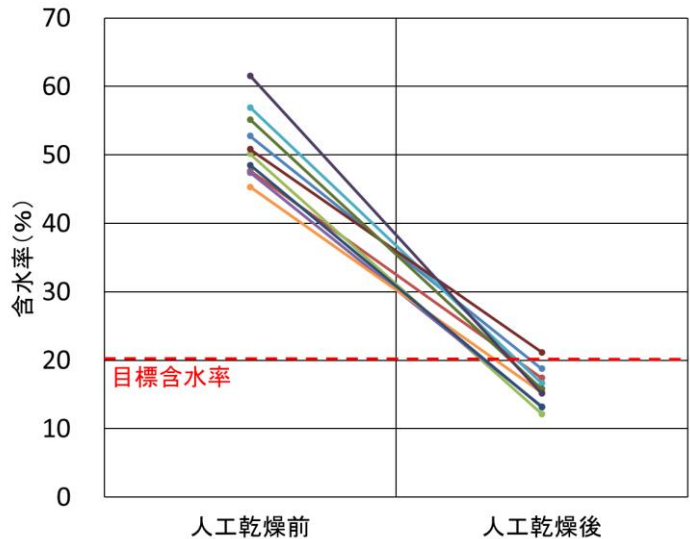


図8 人工乾燥前後の含水率推移

事例2（重い丸太を製材して天然乾燥させてから人工乾燥させた事例）

丸太段階で重量を測定し、見かけの密度が 580kg/m^3 より高い丸太（重い丸太）から得た心去り平角材26本（ $145 \times 200 \times 4,000\text{mm}$ ）を約4か月間天然乾燥させた後、含水率が20%以上のものを人工乾燥させました。

その結果、初期含水率が20～35%の材が、23本中1本を除いて含水率20%以下に下がりました（図9）。

乾燥は真空蒸気式乾燥機で約2日間行い、前処理（加圧・減圧・蒸煮：11h）→真空中温乾燥（19h）→養生（降温・減圧：24h）の乾燥スケジュールで実施しました。なお、初期含水率が低かったことから、蒸煮時間を多めにしました。

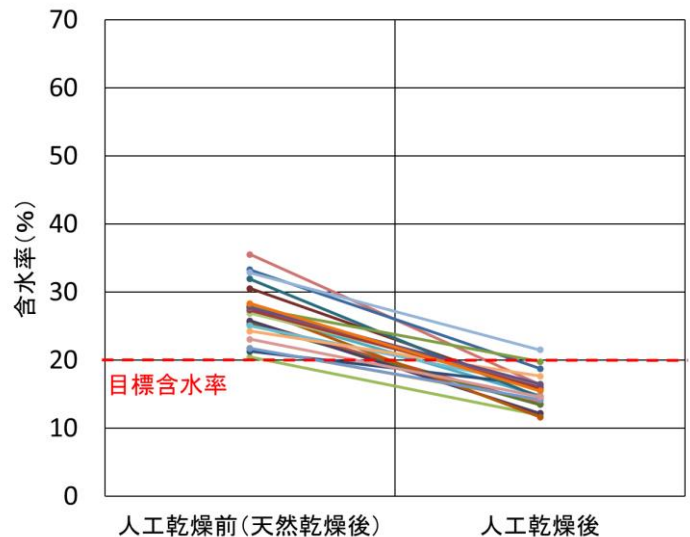


図9 人工乾燥前後の含水率推移

3 乾燥コスト

乾燥にかかるコストは、燃料費、電気料金、水道費、人件費、償却費などから算出されます。乾燥機の種類や乾燥機の運転の仕方によってコストは変わってきますが、心去り平角材の場合、天然乾燥で含水率を下げってから人工乾燥をかけることで、人工乾燥にかかるコストを抑えられることが報告されています（参考文献4）。

そこで、下記の3つの乾燥パターンにおける人工乾燥にかかるコストについて、試算し比較しました。ここでは、蒸気式乾燥機で中温乾燥させた場合の燃料費・電気料金・人件費を用いることとしました。なお、乾燥スケジュールは表1（8ページ）のとおりとしました。

- ① 人工乾燥のみ（人乾のみ）
- ② 約1か月間の天然乾燥＋人工乾燥（1か月天乾＋人乾）
- ③ 約4か月間の天然乾燥＋人工乾燥（4か月天乾＋人乾）

試算に用いた条件を表2に示します。中温乾燥時間は、想定した初期含水率との比較から算出し、人工乾燥日数は、蒸煮・中温乾燥・降温・養生の時間から算出しました。

燃料費と電気料金は、生産者からの聞き取り及び人工乾燥日数を参考に算出し、人件費は、材の積み降ろし・フォークリフト作業・乾燥機操作管理を合わせて、2,000円/m³と仮定しました（参考文献5）。

表2 設定した条件

乾燥パターン	初期含水率 (%)	中温乾燥時間 (時間)	人工乾燥日数 (日)
①	60	168	10
②	40	101	7
③	30	72	6

試算の結果、コストは、①で約5,300円/m³、②で約4,000円/m³、③で約3,700円/m³となりました（図10）。天然乾燥で含水率を下げってから人工乾燥を行うことで、①に比べ、②で約25%、③で約30%の削減になると試算されました。

実際のコストは生産現場毎に異なるものですが、コスト削減効果はありと考えられます。

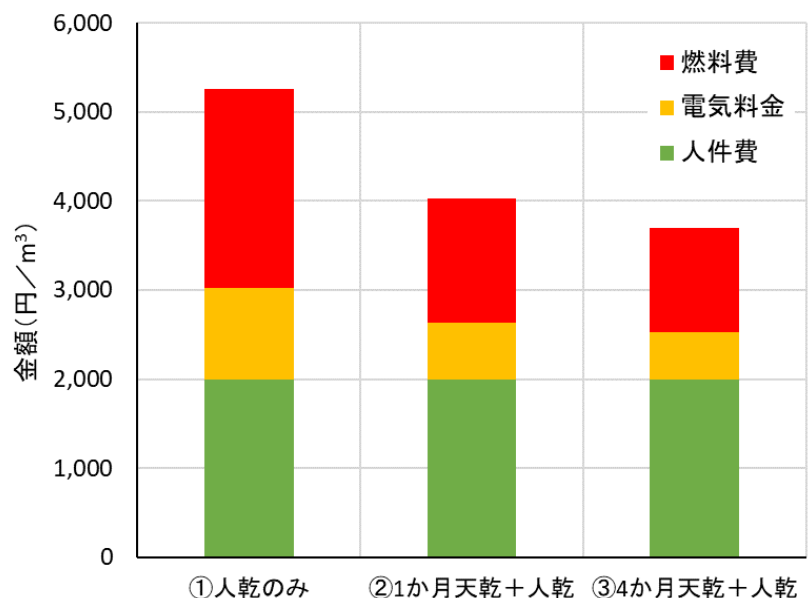


図10 試算された人工乾燥コスト

4 まとめ

スギ心去り平角材の乾燥では、丸太選別・天然乾燥・人工乾燥を組み合わせることで、目標含水率（例えば20%以下）に仕上がる確率が高くなり、人工乾燥にかかるコストの削減を期待できます。

特に、含水率の規格が決められる公共建築物の部材供給にあたっては、規格を満たさない材（含水率が高くて出荷できない製品）の発生を少なくすることができると考えられます。

ただし、丸太を選別する目安（見かけの密度約 580kg/m^3 ）や天然乾燥の実施期間（約1か月以上）については、大まかな目安であって、精度の高いものではありません。各々の生産現場においては、このことに留意し、丸太の状態、木取り方法、乾燥機の種類、乾燥時期など、現場の状況に応じて実施してください。

スギ心去り平角材乾燥フロー図

丸太選別

・乾燥方法を決定（人工乾燥のみ or 天然乾燥+人工乾燥）

①見かけの密度が低い
（軽い丸太）

（密度目安）

① $< 580\text{ kg/m}^3 < ②$

②見かけの密度が高い
（重い丸太）

製材

製材

納期が短い等、早急に出荷する必要がある場合に、①を使用する

天然乾燥

・人工乾燥前に含水率を減少

人工乾燥

・最終的な乾燥

人工乾燥

・乾燥時間を短縮
・最終的な乾燥

期待される効果

- 目標含水率までの確実な乾燥
- 人工乾燥コストの削減

5 参考文献

- (1)木構造振興株式会社（2011）大断面無垢材の乾燥推進に向けて～平角乾燥材の品質確保のためのガイドライン～
- (2)公益財団法人日本住宅・木材技術センター(2015)針葉樹製材乾燥の手引き
- (3)寺澤眞(2004). 木材乾燥のすべて（改訂増補版）. 海青社
- (4)齋藤周逸, 小林功, 渡辺憲(2014)スギ心去り平角材の乾燥技術の開発. 森林総合研究所平成26年度版研究成果選集：20-21
- (5)社団法人全国木材組合連合会(2006) わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル（改訂新版）



発行・編集 地方独立行政法人 青森県産業技術センター 林業研究所
〒039-3321 青森県東津軽郡平内町大字小湊字新道46-56
TEL：017-755-3257 FAX：017-755-4494
メール：nou_ringyou@aomori-itc.or.jp
ホームページ：<https://www.aomori-itc.or.jp>

発行日 令和3年1月