

# 紀州材 太陽熱利用木材乾燥マニュアル



## はじめに

和歌山県では、製材品生産量に占める約6割が未乾燥あるいは天然乾燥による製品であり、現在の建築ニーズに対応するためには乾燥材の増産が急務となっています。

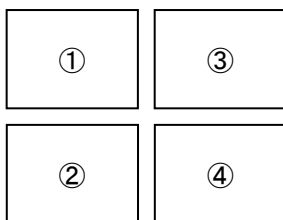
しかし、人工乾燥の主流である蒸気式乾燥方式は、設置費用や運転費用が大きいため、なかなか浸透していないという現状があります。

一方で、天然乾燥は天然の品質をそのままに乾燥できますが、乾燥期間が長期となるため、近年の流通スピードに間に合わなくなってきています。

こうした課題に対応するために、紀州材の色つやのよさを生かし、県内の温暖な気候を最大限活用した低コストの太陽熱利用木材乾燥の実用化を目指して、農業用ビニールハウスを用いた簡易な乾燥技術を開発し、本マニュアルにまとめました。

県内の多くの木材関係者に利用していただき、乾燥材増産に貢献できれば幸いです。

なお、本研究は農林水産業競争力アップ技術開発事業「紀州材の品質を生かした太陽熱蓄熱方式による木材乾燥技術の確立」で研究を実施したものです。



〔表紙の写真〕

①：平成25年9月に開催した乾燥研究報告会の様子

③：県内寺院で床板に施工されたヒノキ材

②：フォークリフトによる木材の搬入出

④：心持ち角材の大工によるカンナがけ

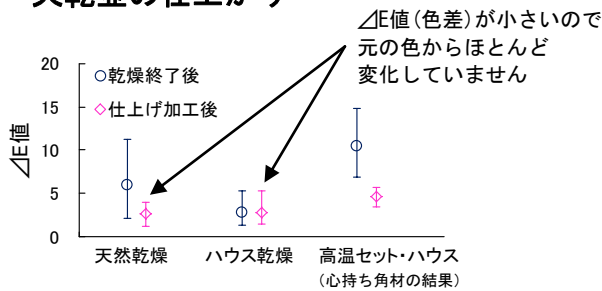
## 目 次

1	太陽熱利用木材乾燥の概要	・ ・ ・ 2
2	施設のシステム構成と設置	・ ・ ・ 4
	(1) 含水率の測定	
	(2) ハウス本体の構造	
	(3) 除湿機の使い方	
	(4) 循環ファンの使い方	
3	乾燥スケジュール	・ ・ ・ 10
	板材の乾燥スケジュール	
4	生産性	・ ・ ・ 11
	(1) 設備費、運転費	
	(2) 板材の乾燥コスト	
	(3) 年間の乾燥材生産	
5	乾燥事例	・ ・ ・ 12
	板材の乾燥	
6	心持ち角材の乾燥	・ ・ ・ 13
7	Q & A	・ ・ ・ 14

# 1 太陽熱利用木材乾燥の概要

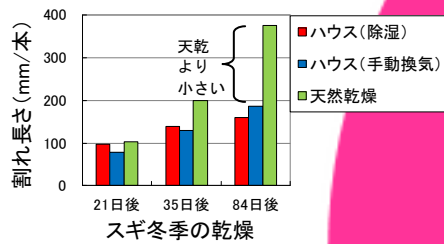
- ☑ 農業用ビニールハウスを活用し、低コストの簡易な木材乾燥システムを開発
- ☑ 除湿機の併用により乾燥期間をさらに短縮し、板材の含水率 15%以下にも対応可能
- ☑ 本システムの乾燥材は、紀州材本来の色つやを保持

乾燥材の色つやは  
天乾並の仕上がり



乾燥材の品質は現場でも確認済み

板材の割れは  
天乾と同等以下



色つや良好  
割れ微小

スギ板材 (厚さ35mm、50mm) が平均含水率20%以下になるまで

## 除湿方式

夏：24日 冬：38日

産業用除湿機 (出力650W) 1台  
循環ファン (出力70W) 2台

## 手動換気方式

夏：31日 冬：65日

側面シート巻き上げ機による夕方15分の換気

(参考)

## 天然乾燥

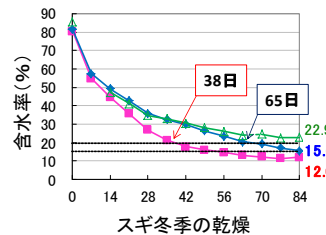
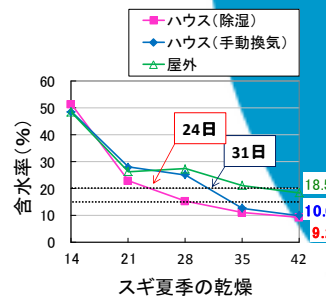
夏：1ヶ月半

冬：3ヶ月でも

20%に到達しない

板材の乾燥 (除湿方式)

期間を4~6割短縮  
15%以下まで可能

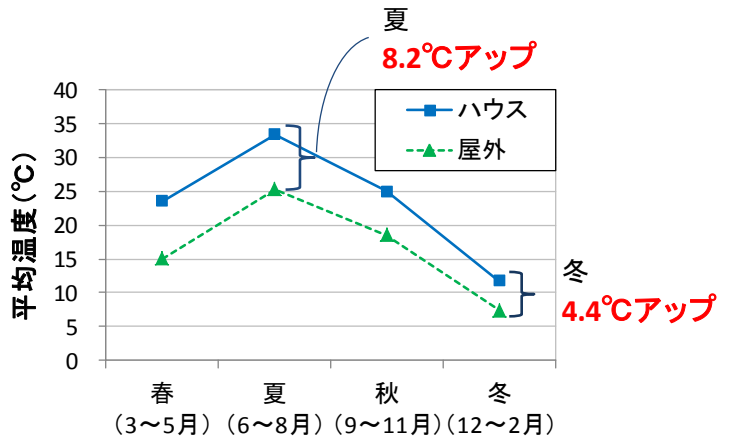


15%以下  
まで到達

- 《留意点》
- ・太陽熱が得られる場所が必要です
  - ・季節によって乾燥期間が変動します
  - ・乾燥期間の短縮、乾燥ムラを減らすには、空気の循環、除湿(換気)が必要です

**太陽熱でハウス内温度をアップ!**

年間平均で約7°C (晴天時は最大30°C)  
 高く保持することが可能  
 ※林業試験場構内データ



低コスト  
 簡易に設置

**太陽熱利用で熱源は 0円**

**施設費は**

本体 90万円 (床面積25㎡)  
 付属設備として除湿機・ファンを設置可能



1回4㎡を乾燥可能

**運転費の目安は**

【板材】 2,900円/㎡

冬季に除湿方式で乾燥させる場合

農業用ハウス、  
 除湿機、ファンなど  
 流通品で設置可能



心持ち角材の乾燥  
 高温セットで表面割れ抑制  
 ハウスで乾燥期間短縮

**人工乾燥機 1日半**

〔高温セット処理のみ〕

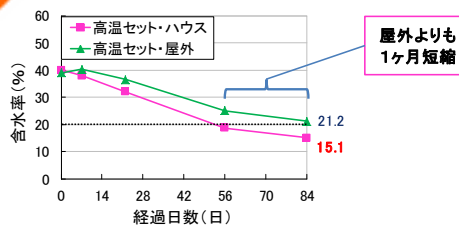
+

**ハウス乾燥 2ヶ月**

〔夏にスギ115mm角が20%以下になるまで〕



表面割れが少なく、色つやよし  
 大工による加工性もチェック済み



屋外よりも  
 1ヶ月短縮

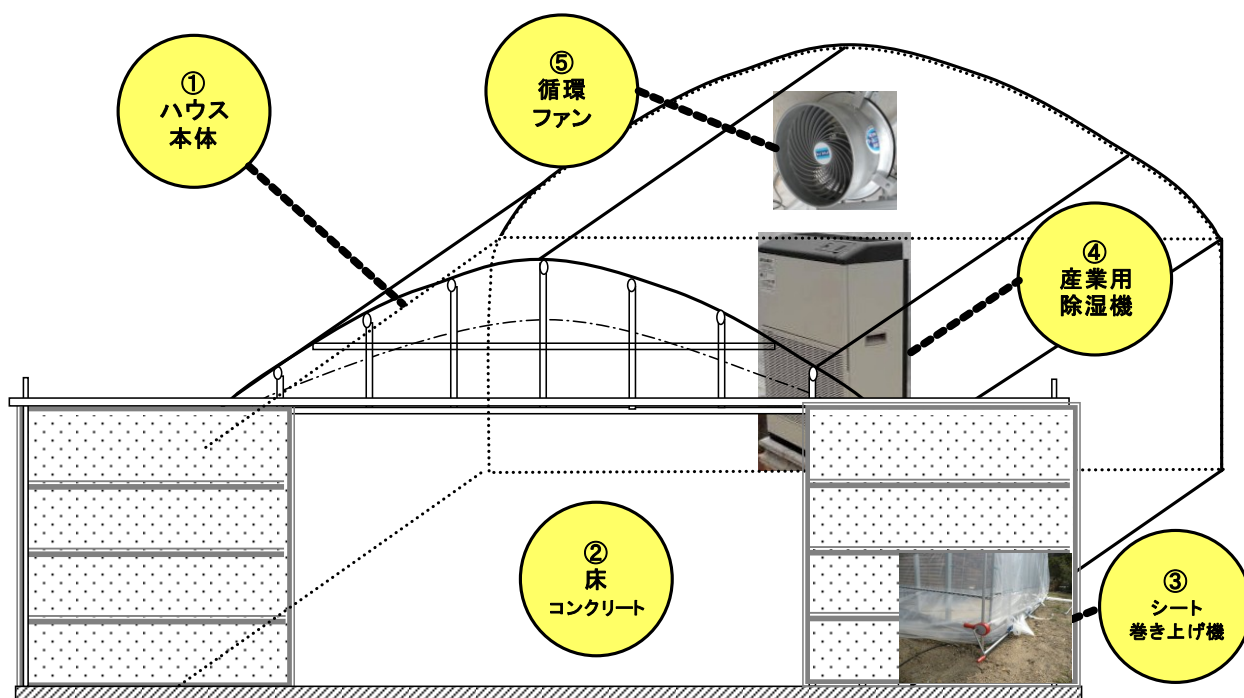


## 2 施設のシステム構成と設置

[本乾燥における2つのシステム]

乾燥にかかる費用に合わせて、下記の2つのシステムを選ぶことが可能（除湿方式を推奨）

乾燥システム	特徴	設備			備考
		除湿機	ファン	巻き上げ機	
除湿方式	除湿機・ファンを使用し、早く乾燥できるが、若干の運転費が必要	○	○	○	乾燥の進行度合に合わせて、設備の効率的な使用が必要（詳細はP.8～9）
手動換気方式	手動換気のための乾燥で運転費は不要だが、開閉の手間と除湿方式より乾燥日数が必要	-	-	○	1日1回夕方に15分程度、シートの巻き上げが必要



林業試験場仕様（H24設置）

### ① ハウス本体

- (Ⅰ) 施工が容易な農業用ビニールハウスを使用する。その地域の自然条件を考慮し、耐風性、耐雪性の施設強度を確保する。
- (Ⅱ) 取り扱う木材の寸法に合わせたサイズにする。  
※本仕様では、3m材をフォークリフトで運搬するために、開口部を有効高2.2m、幅4.0mとし、木材の収容材積は4m<sup>3</sup>を基本とする（詳細はP.7参照）。
- (Ⅲ) 保温性を高めるために、シートを二重張りにする。

## ② 床コンクリート

- (I) 新たに施工する場合は、雨水の侵入を防ぐために、コンクリート面を高くし、周囲部への下り勾配を設ける。既設のコンクリート、アスファルト等がある場合は、コンクリートドリルで穴を開け、アーチパイプを地盤に固定する（専門業者に要相談）。



アーチパイプの設置



土間コンクリートの打設



シートを張って完成

林業試験場でのハウス設置工程（工期は7日程度）

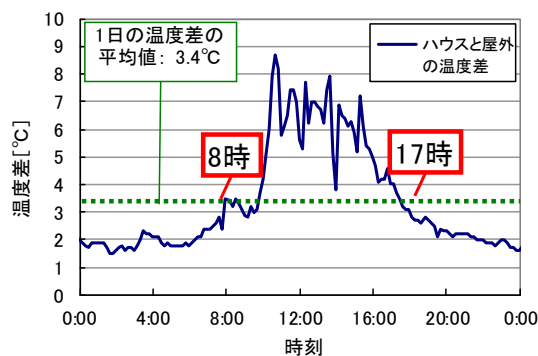
## ③ シート巻き上げ機

- (I) 自然の通風を利用した手動換気を行うため、シート巻き上げ機を設置する。

手動換気は朝か夕方が効果的



シート巻き上げ時



朝8時までまたは夕方17時以降なら、換気に伴う温度のロスが小さい

## ④ 産業用除湿機

- (I) ハウス内の湿度を下げるために、産業用除湿機を使用する。  
(II) 試験では、KFH-P08RB（M社）1台を用いた。  
〔仕様：単相 100V、出力 650W、除湿能力 2.2ℓ/時  
使用可能温度範囲は、1～45℃〕  
(III) 金属腐食に対する防食仕様が望ましい。  
(IV) 吹出空気は、吸込より 5～15℃高い温度となり、ハウス内の加温に有効。



## ⑤ 循環ファン

- (I) ハウス内の温湿度ムラを軽減させるため、循環ファンを使用する。  
(II) 試験では、AB361（F社）2台または同等品を用いた。  
〔仕様：単相 100V、出力 70W、風量 96 m<sup>3</sup>/分〕  
(III) 高温、紫外線による劣化を防ぐため、高耐食の金属製が必要。



## ■その他

- 単相 100V 電源を配備する（産業用除湿機、循環ファンに必要）。  
なお、産業用除湿機は専用のコンセントで使用する（始動時に大きな電流が流れるため）。

## (1) 含水率の測定

### [乾燥材の含水率]

本乾燥システムでは、板材は 15%以下、正角材は 20%以下の含水率を目標にしています。  
 なお、製材の JAS 規格において、含水率の基準が下記の表のとおり定められています。

品 目		含水率基準%	表示記号
		(表示値以下)	
造作用製材	仕上げ材	15, 18	SD15, SD18
	未仕上げ材	15, 18	D15, D18
目視等級区分構造用製材、 機械等級区分構造用製材	仕上げ材	15, 20	SD15, SD20
	未仕上げ材	15, 20, 25	D15, D20, D25

含水率基準と表示記号 ( (社) 全国木材検査・研究協会 HP より抜粋)

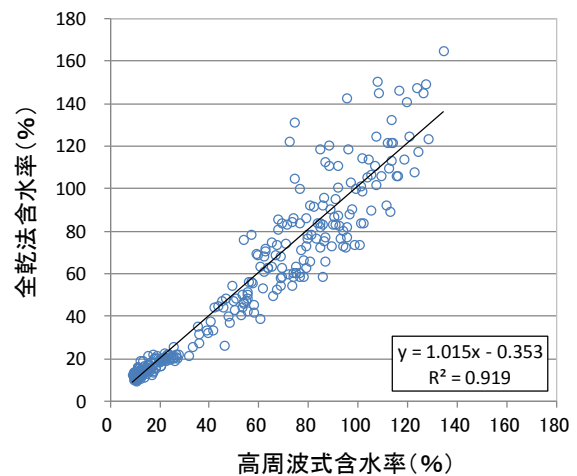
### [含水率の測定方法]



製材品の含水率を測定する方法として、高周波式含水率計が広く普及しています。このタイプでは、表面部(40mmまで設定可能)の含水率を非破壊で測定できます。

高周波式含水率計による測定

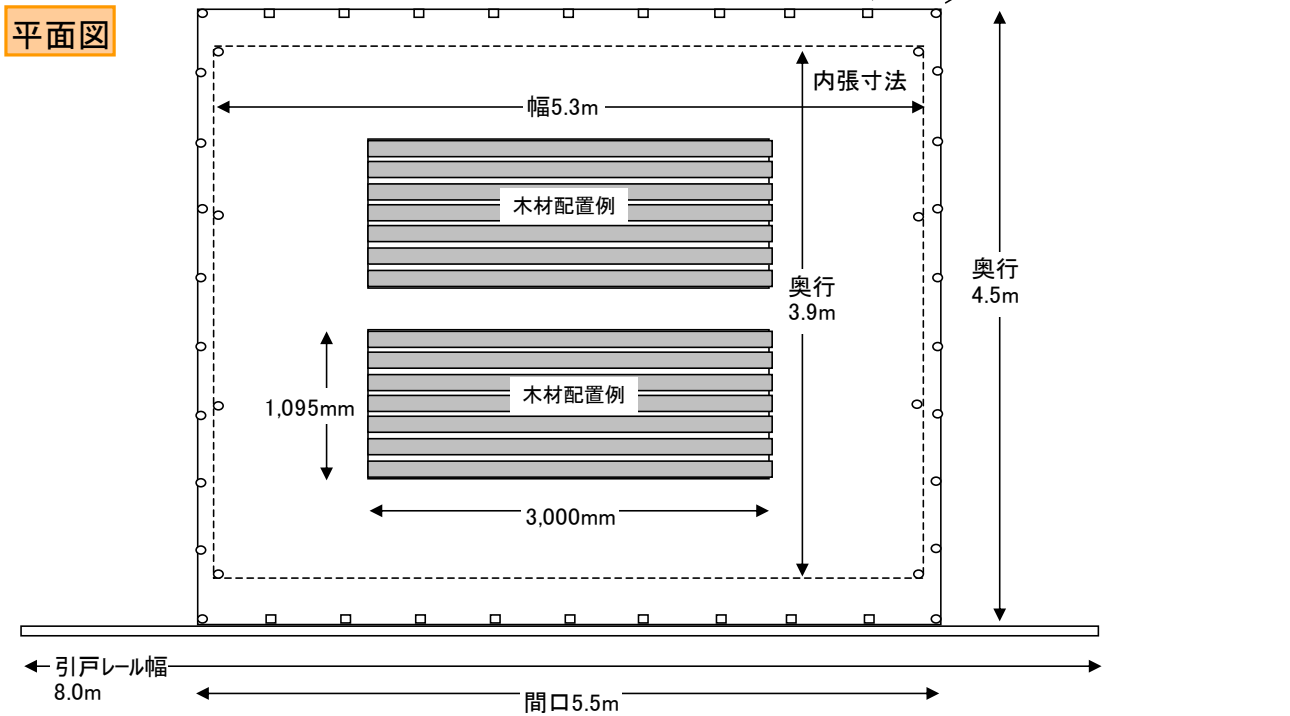
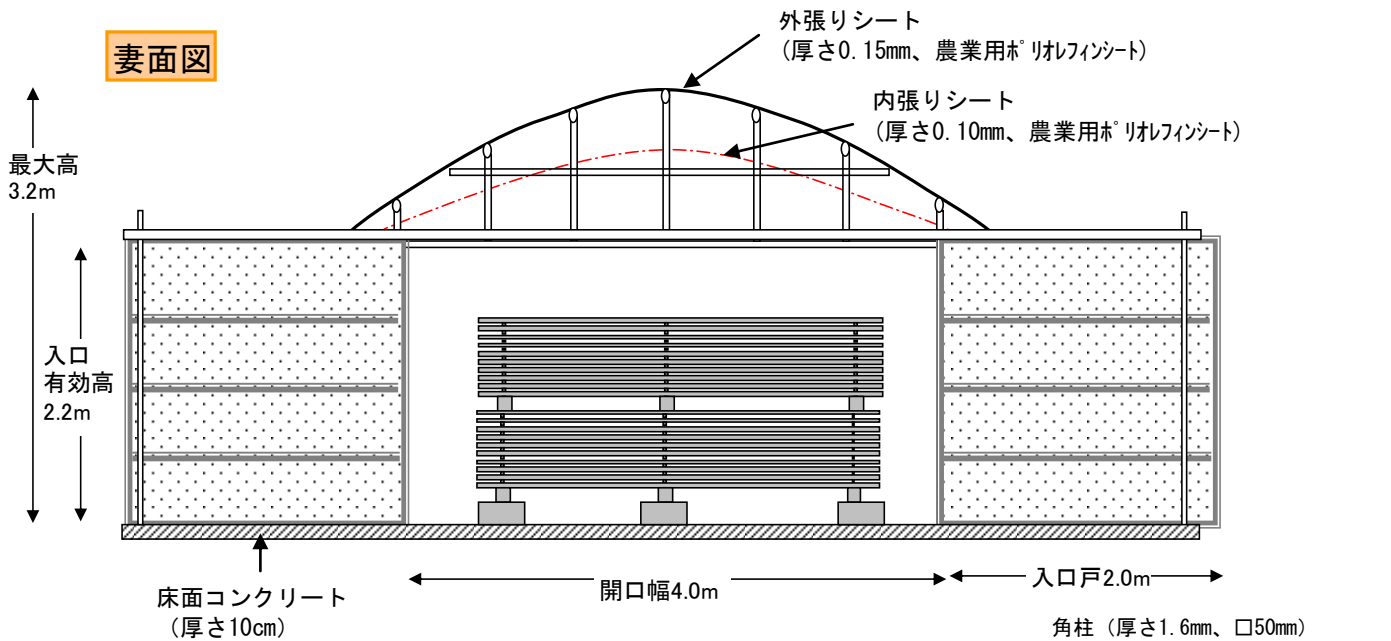
もっとも正確な含水率は、全乾法 (JISZ2101) によるものです。高周波式含水率計の数値は全乾法と一定の相関性がありますが (右図)、測定値は全乾法の含水率よりも低く表示されることもありますので、注意が必要です。木表面・木裏面の両面を測る、測定箇所を多数取るなどすれば、測定によるばらつきを小さくすることができます。



高周波式含水率計と全乾法の相関  
 (厚さ35mmスギ板材の場合)



## (2) ハウス本体の構造

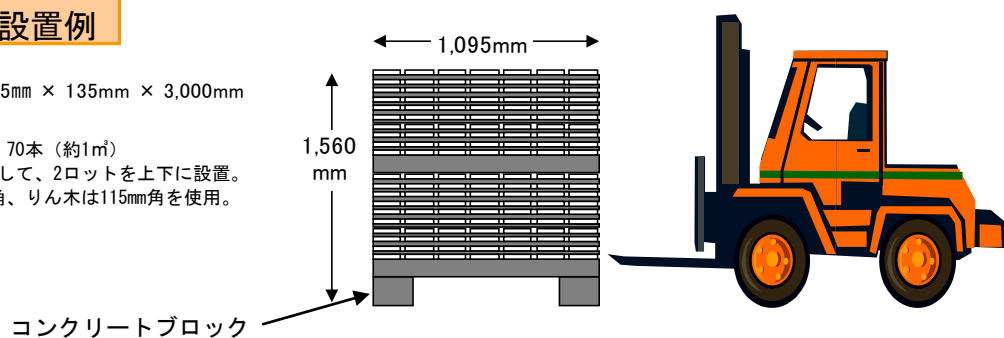


### 板材の設置例

板材寸法: 35mm × 135mm × 3,000mm

設置方法:

7列×10段 = 70本 (約1㎡)  
を1ロットとして、2ロットを上下に設置。  
栈木は25mm角、りん木は115mm角を使用。

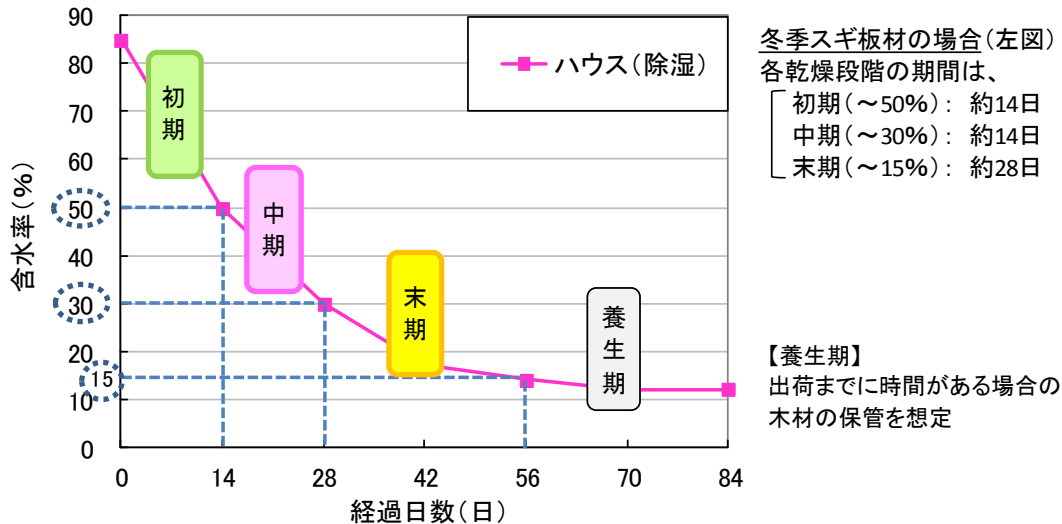


### (3) 除湿機の使い方

本乾燥システムでは、除湿機は常時フル稼働させる必要はなく、乾燥段階に合わせて、天然乾燥との組合せ、夜間のみ稼働など、効率的に使用することが重要です。また、これらの工夫で運転費を抑えることができます。※たとえば、除湿機を終日フル稼働させると1日あたり約500円の電気代になりますが、夜間のみ(12時間)なら約250円となります。

#### 含水率の推移と乾燥段階

日数の経過とともに乾燥が進行し、含水率域ごとの乾燥段階に分けることができます。



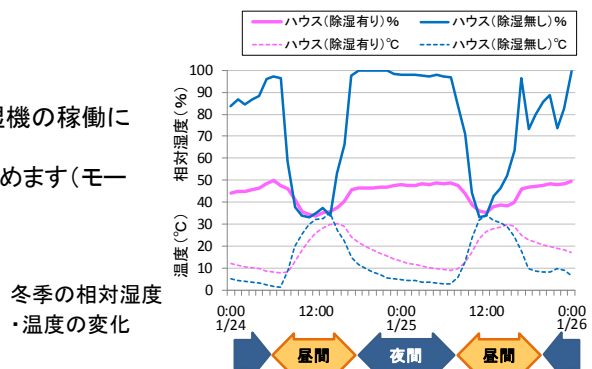
#### 乾燥段階と除湿機の稼働方法

施設内に発生する水分量は乾燥段階によって変化するので、除湿機を効率よく運転することが重要です(下表)。

乾燥段階	含水率	除湿機	稼働方法	説明	スギ板材4㎡から発生する水分量
初期	生材～50%	OFF	(天然乾燥)	天乾と除湿機フル稼働で乾燥速度が同程度	50ℓ/日 以上
中期	50%～30%	ON	24時間フル稼働	昼間の乾燥に伴う蒸発水分と、夜間の湿気を除湿	20～50ℓ/日
末期	30%～15%	ON	夜間12時間稼働	相対湿度が上がる夜間のみ除湿	10～20ℓ/日
養生期	15%以下	OFF	(ハウス内で閉め切り)	ハウス内で平衡状態に到達	10ℓ/日 以下

#### 除湿機による効果

夜間は温度の低下で相対湿度が上昇するので、除湿機の稼働により乾燥促進効果が見込めます。また、施設内への一定の加熱効果(5℃程度)が見込めます(モーターの発熱、水分の凝縮熱のため)。

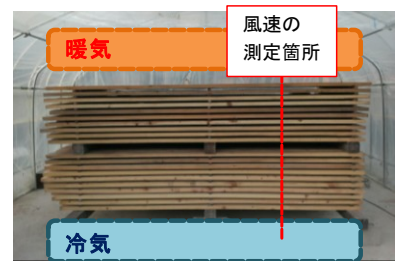


#### 《留意点》

1. 夏場の昼間は、施設内温度が除湿機の使用可能温度(45℃)を超え、稼働しなくなります。使用可能温度を超えると、本除湿機では保護装置が自動的に働き除湿運転は停止しますが、繰り返すと除湿機の寿命を縮めることとなります。対策として、温度が上がりそうな昼間は電源を落とす、プログラムタイマーを利用する、などが考えられます。
2. 木材から発生する水分には、酢酸等の弱酸性成分が含まれます。家庭用除湿機では、本体内部の金属腐食に対する防食仕様がないことがほとんどですが、本試験では、防食仕様の有する産業用除湿機を用いています。
3. 除湿機の始動時には、大きな電流が流れます。電源容量が不足しないように、除湿機の配線には専用回路(別な電源と共有しない)が必要です。

## (4) 循環ファンの使い方

閉め切ったハウス内には自然の通風がないため、ファンによる空気循環が必要です。本乾燥システムでは、熱源は施設周囲から得られる太陽熱なので、  
 ①太陽熱で暖まった空気が上部に停留しない、②棧積み内の風速を確保する(0.5m/s程度)が重要となります。  
 ファンの数量・風量を増やすことで、風速を大きくすることは可能と考えられますが、設備費・運転費も考慮して、ファン2台での設置方法と風速・温度の結果について説明します。



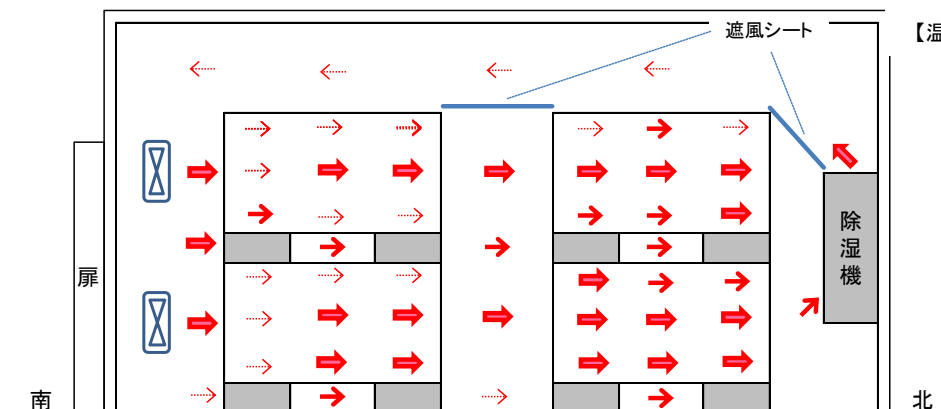
風速の測定箇所と温度分布のイメージ

### (1) 水平循環(ファン2台を入り口側の上下に設置)

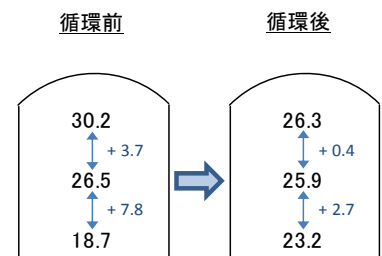
すべての箇所に均一な風速が確保されているわけではありませんが、風下側の棧積み内にも0.5m/s以上の風速が確認できています。また、遮風シートを設置することで、乾いた暖気と湿った冷気を分ける、風が拡散するのを抑制することができます。

風速(m/s)	
→	0.1~0.4
→	0.5~0.9
→	1.0~

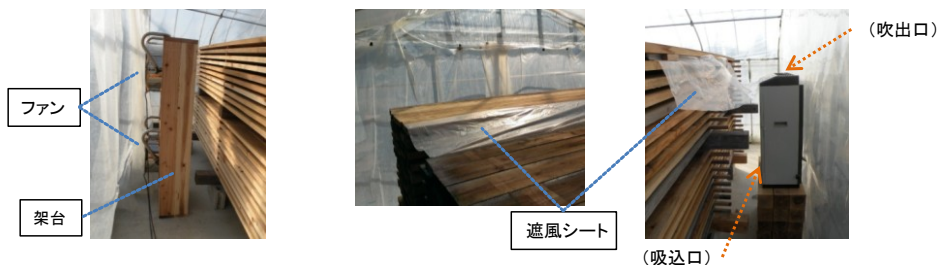
#### 【風速の分布】



#### 【温度の分布】(°C)



空気循環により、上下の温度差は軽減

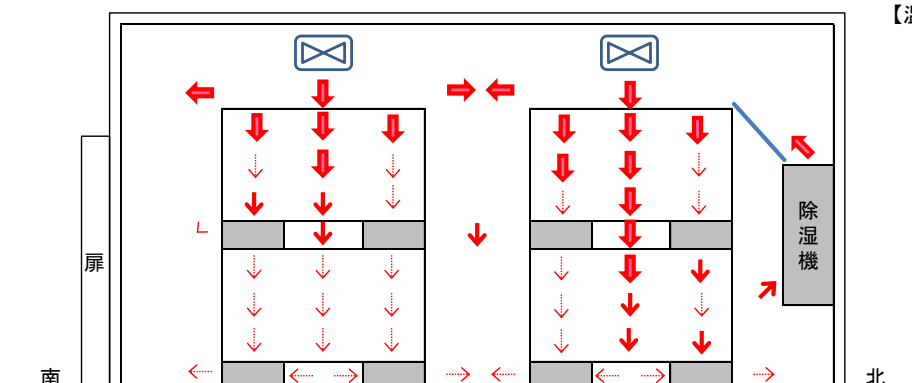


### (2) 垂直循環(ファン2台を天井側に設置)

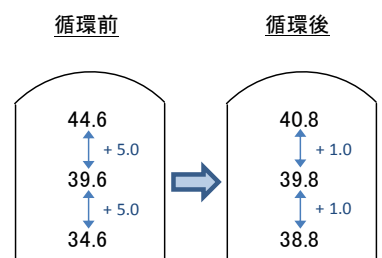
垂直に循環させた場合、上部にある暖気を下部へ送ることができます。ただし、下部の棧積み内の風速は、上部に比べて小さくなります。

風速(m/s)	
→	0.1~0.4
→	0.5~0.9
→	1.0~

#### 【風速の分布】



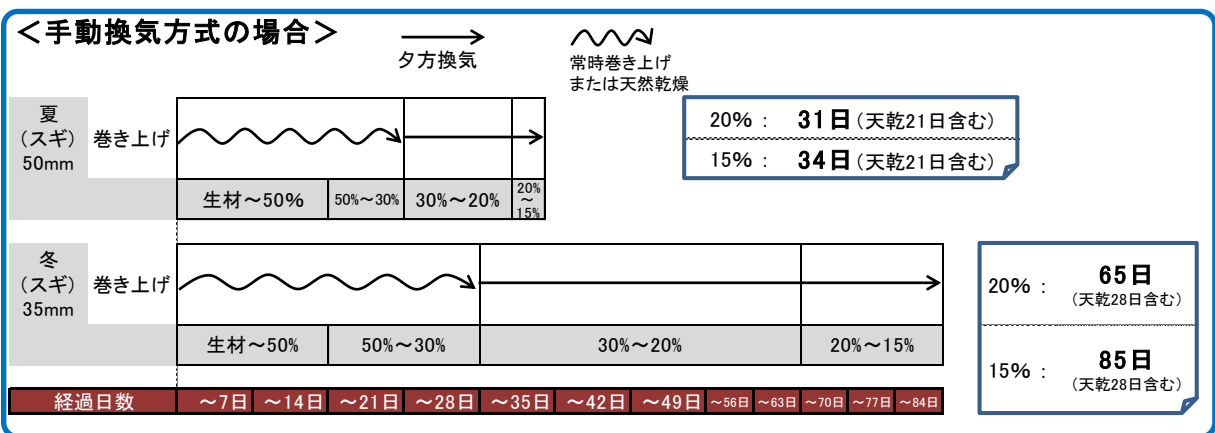
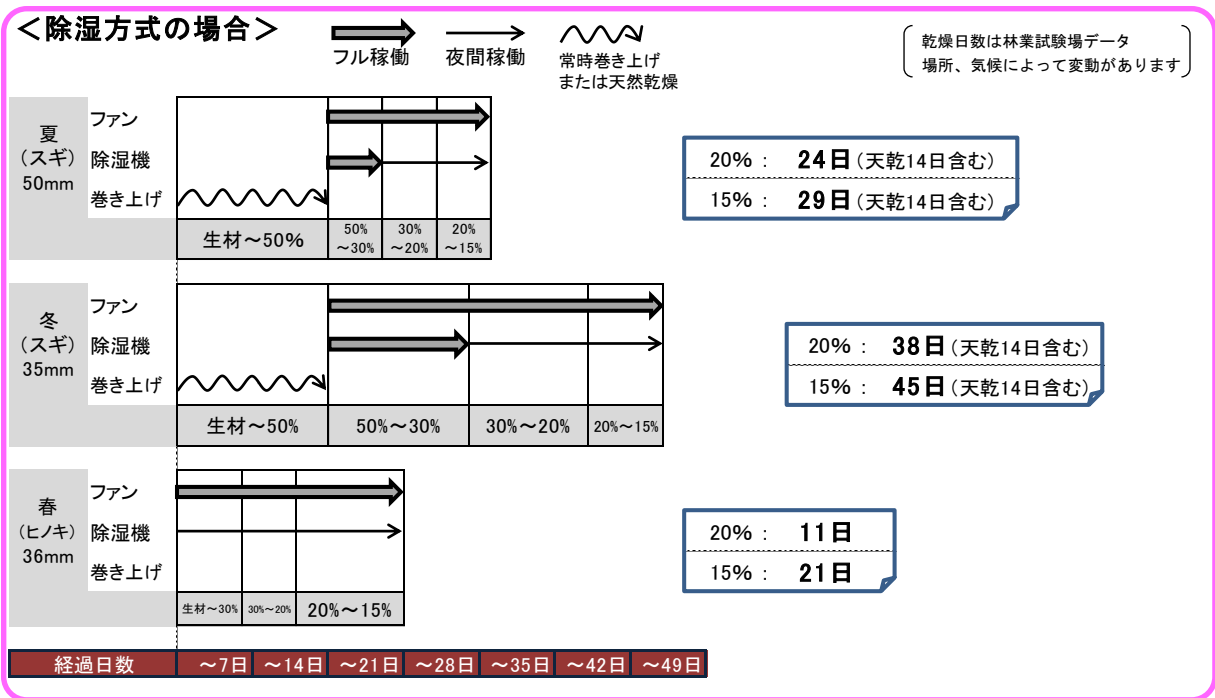
#### 【温度の分布】(°C)



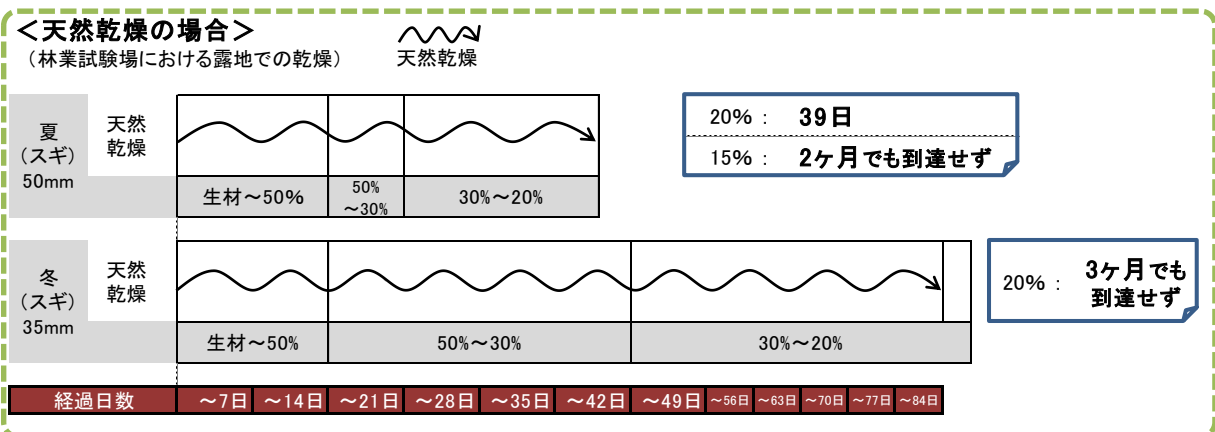
空気循環により、上下の温度差は軽減

### 3 乾燥スケジュール

#### 板材の乾燥スケジュール



参考



## 4 生産性

### (1) 設備費、運転費

	設備費 (円)	運転費 (円/日)	除湿方式		手動換気方式		備考
			○	×	○	×	
①ハウス本体	900,000	-	○	-	○	-	床コンクリート、シート巻き上げ機を含む
②除湿機	451,000 (希望小売価格)	250 <sup>(夜間のみ)</sup> 500 <sup>(フル稼働)</sup>	○	10,000 <sup>(※1)</sup>	-	-	産業用除湿機(M社製、KFH-P08RB、出力650W)を1台使用時
③循環ファン	90,000	87	○	2,600	-	-	農業用ファン(F社製、AB361、出力70W)を2台使用時
合計	1,441,000	337 <sup>(夜間のみ)</sup> 587 <sup>(フル稼働)</sup>		12,600		0	

(※1)1ヶ月間のうち、10日間をフル稼働、20日間を夜間のみ稼働の場合

### (2) 板材の乾燥コスト

除湿方式の場合 (製品 4 m<sup>3</sup>収容施設でスギ板材含水率を 20%以下にするまで)<sup>(※2)</sup>

天然乾燥は 0 円/日、除湿機フル稼働は 587 円/日、夜間のみ稼働は 337 円/日として、

夏 (スギ) 50mm
-------------------

天然乾燥は14日、フル稼働は5日、夜間のみ稼働は5日であり、

$$0(\text{円}) \times 14(\text{日}) + 587(\text{円}) \times 5\text{日} + 337(\text{円}) \times 5(\text{日}) = 4,620(\text{円})$$

1m<sup>3</sup>あたりは、

$$4,620(\text{円}) \div 4(\text{m}^3) = \underline{1,155(\text{円}/\text{m}^3)}$$

冬 (スギ) 35mm
-------------------

天然乾燥は14日、フル稼働は14日、夜間のみ稼働は10日であり、

$$0(\text{円}) \times 14(\text{日}) + 587(\text{円}) \times 14(\text{日}) + 337(\text{円}) \times 10 = 11,588(\text{円})$$

1m<sup>3</sup>あたりは、

$$11,588(\text{円}) \div 4(\text{m}^3) = \underline{2,897(\text{円}/\text{m}^3)}$$

(※2) 下記は含んでいません  
 ・施設の減価償却費  
 ・荷積み・荷下しの人件費  
 ・土地代  
 ・木材の金利

### (3) 年間の乾燥材生産

除湿方式の場合 (スギ板材を 20%以下にして出荷すると想定)

乾燥初期に天然乾燥を実施することで施設の稼働回数が向上し、4 m<sup>3</sup>収容施設 1 機により、年間 68 m<sup>3</sup>の乾燥材の生産が可能になります(右表)。

各季節の太陽熱乾燥期間と乾燥材生産量

	太陽熱乾燥に要する期間	施設の稼働回数	乾燥材生産量
春 (3~5月)	約 3週間	4 回	16 m <sup>3</sup>
夏 (6~8月)	約 2週間	6 回	24 m <sup>3</sup>
秋 (9~11月)	約 3週間	4 回	16 m <sup>3</sup>
冬 (12~2月)	約 4週間	3 回	12 m <sup>3</sup>
年間	-	17回	<b>68 m<sup>3</sup></b>

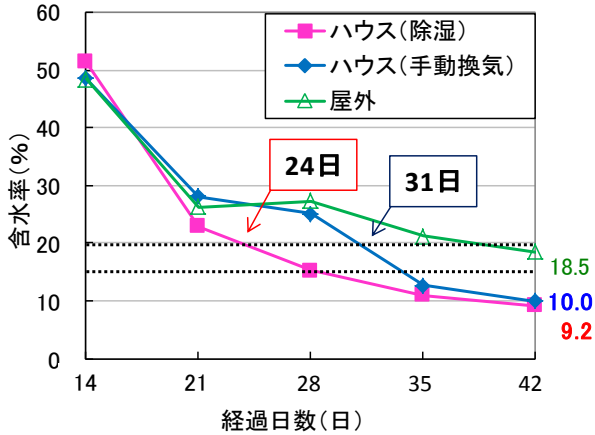
## 5 乾燥事例

### (1) 板材の乾燥

材積はハウスの大きさに応じて、ハウス(除湿)4 m<sup>3</sup>、ハウス(手動換気)2 m<sup>3</sup>、屋外 2 m<sup>3</sup>で実施

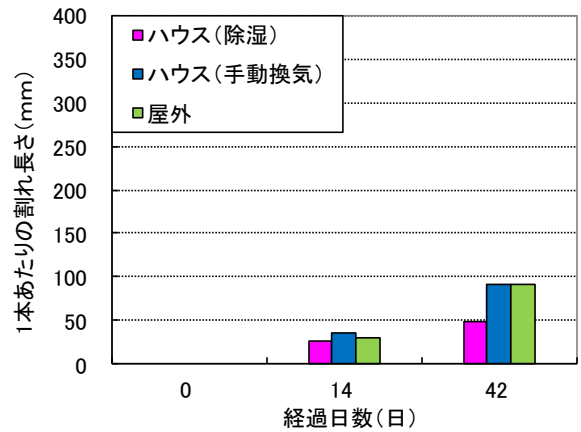
#### ① スギ・夏季 (実施期間：H26.6～H26.8 サイズ：50×120×3,000)

##### 乾燥期間



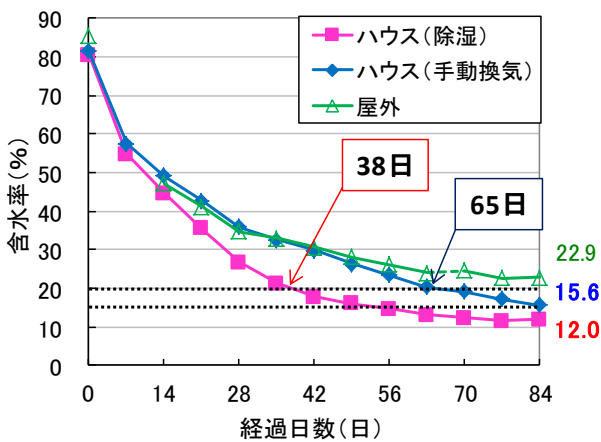
※0～14日は製材所にて天然乾燥を実施

##### 割れ長さ

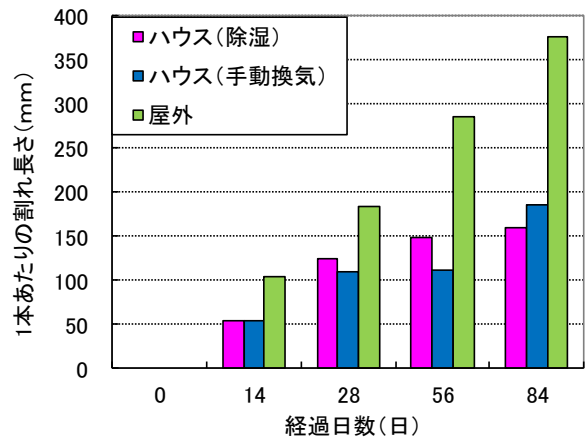


#### ② スギ・冬季 (実施期間：H25.12～H26.3 サイズ：35×135×3,000)

##### 乾燥期間

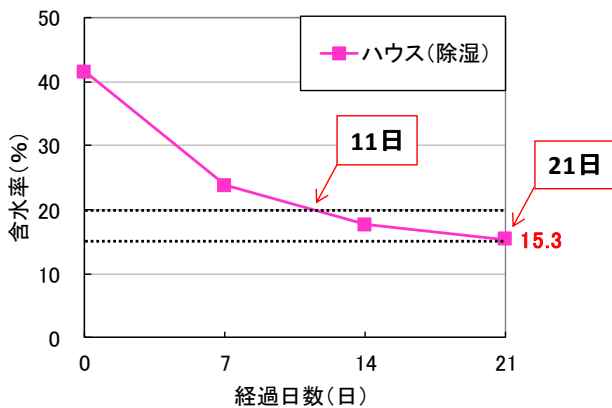


##### 割れ長さ



#### ③ ヒノキ・春季 (実施期間：H26.4～H26.5 サイズ：36×(165～340)×4,270～5,300 材積：2.5 m<sup>3</sup>)

##### 乾燥期間



##### 床板に施工された状況 (田辺市内の寺院)



## 6 心持ち角材の乾燥

天然乾燥において心持ち角材の材面割れを防ぐことは困難であり、太陽熱利用乾燥においても同様です。一方、蒸気式乾燥では乾燥初期に高温セット処理という熱処理により材面割れを軽減しています。

材色変化が少なく、エネルギーコストも削減できることから、高温セット処理後に天然乾燥を行う乾燥方法が実施されてきています。この天然乾燥期間の短縮のために、温室を利用する組合せを検討しました。

(高温セット処理には高温蒸気式乾燥機(28 m<sup>3</sup>)、温室には上富田町内の遊休温室(10m×24m×4.5m)を使用。)

### [スギ正角材を夏季に乾燥する場合]

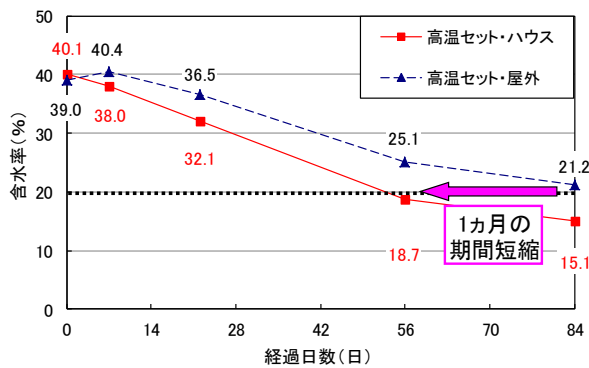
#### 高温セット処理

ステップ	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	時間(h)	備考
1	60	60	2	昇温
2	95	95	8	蒸煮
3	120	90	24	高温セット
4	65	60	1.5	降温
5	-	-	24	(常温まで冷却)

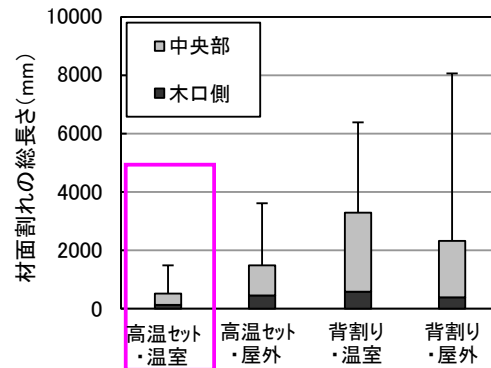
→ 乾燥機稼働時間: 35.5時間

「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル 内部割れのない乾燥材生産を目指して!」(石川県林業試験場 他)の推奨乾燥条件を参考に設定

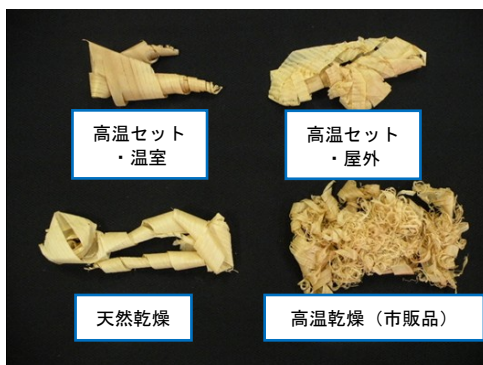
#### 乾燥期間



#### 割れ長さ (84日間乾燥終了時点)



#### カンナくずの形状



乾燥期間: 天然乾燥よりも、1ヶ月の期間短縮

材面割れ: 大きく発生せず

加工性: 「カンナくずが伸び、ノミも入りやすい」  
(大工職人による評価)

#### 参考 乾燥コスト

本条件でスギ正角材を20%以下にするまでに次のような費用が必要と考えられます。

高温セット処理:	6,500円/m <sup>3</sup> 程度
ハウス乾燥:	3,500円/m <sup>3</sup> 程度

(28m<sup>3</sup>収容の高温蒸気式乾燥機を使用  
温室を10年で減価償却すると想定)

## 7 Q & A

Q1 施設の耐用年数はどれくらいですか。

A1 鋼管パイプが10～15年程度、被覆材（シート）が厚手のポリオレフィンシートの場合で5年程度（カタログ値）の耐用年数と考えられます。また、シートにかかる費用は、本体工事費の1割程度です。

Q2 長尺材を入りたいので、開口部を大きくしたいのですが。

A2 開口部は、事業者の考え方に合わせて設計可能です。ただし、強風による影響を考慮する必要があります。今回使用した骨格の資材では、間口寸法を8m程度にすれば、開口幅5m程度まで大きくすることができます。また、レール方式では開口部を大きくせずに長尺材を入れることも可能です。

Q3 土間へのコンクリート打設は必要ですか。

A3 土間にコンクリートを打設することで、フォークリフトでの作業性向上、土中からの蒸発水分の流入防止、太陽熱の蓄熱効果が期待できます。打設できない場合は、防水シートで土中からの水分流入を防止する等の工夫が必要になります。

Q4 骨格の資材を木材にしたいのですが。

A4 木材で骨格をつくることは可能です（右写真）。ただし、強風への対策、経年変化による木材の腐朽、気密性確保のための工夫等を考慮する必要があります。



ソーラードライヤー乾燥室  
（林業試験場）



木骨型太陽熱利用  
木材乾燥施設

Q5 強風や積雪対策として屋根面や外壁を波板にしたいのですが。

A5 積雪や強風が予想される地域では、地域に応じた資材の選定が必要になります。母屋の間隔、骨格の資材を考慮することで波板にすることは可能だと考えられますが、被覆資材の熱貫流率の違い等により、施設の保温性に若干の差が出る可能性があります。また、筋交い等で補強する方法も考えられます。

Q6 敷地の日照時間が短いのですが、効果はありますか。

A6 設置する地域によって日照時間が異なりますので、得られる効果には差があります。ただし、天然乾燥を実施している場所であれば、一定の促進効果は望めると考えられます。

Q7 既存の温室は利用可能ですか。

A7 利用できます。既存の大型温室（10m×24m×4.5m）においても天然乾燥に対する乾燥促進効果は確認できています。



大型温室での乾燥利用例



Q8 ハウスで乾燥した後、木材の状態はどうなりますか。

A8 乾燥した木材をハウスから屋外へ出すと、含水率が変化します。内装材等で低い含水率が求められる場合は、乾燥後から加工、出荷まで、長期間屋外で保管しないことが重要です。

Q9 家具や建具用の材料の乾燥に使用したいのですが。

A9 家具や建具用の材料は、一般の建築用材よりも低い含水率が要求されることが多くあります。本乾燥におけるスギ板材の夏季試験結果では、10%以下まで下がる場合もありますが、季節によって到達する含水率が変化しますので注意が必要です。

Q10 カビは発生しませんか。

A10 本施設を用いて乾燥試験を実施している中で、顕著なカビの発生は確認していません。ただし、除湿機を稼働しない条件下で、密閉した施設内に生材を設置する等すると、内部が結露状態となりますので、注意が必要です。

Q11 表面割れはどうして発生するのですか。

A11 木材は、接線方向（板目）と半径方向（柃目）で収縮の割合が異なり（収縮異方性）、接線方向の方が半径方向の2倍ほど大きく収縮します。よって、乾燥が進行すると、収縮の大きい接線方向に引っ張られ、表面割れが発生します。高温セット処理では、表面に意図的にドラインゲット<sup>(※1)</sup>を作ることで、無背割り心持ち材の乾燥を可能にしています。

(※1) 木材の表面が飽和蒸気で柔らかくなり、引っ張られながら乾燥が進むことで、寸法収縮が小さく乾燥されること



スギ平角乾燥材  
(左) 高温セット処理後にハウス乾燥  
(右) 天然乾燥

Q12 ハウスで乾燥した材を売るメリットはありますか。

A12 ハウスで乾燥した材は、色つや、かおりが保持され、適切な含水率の管理を行うことで、市場の乾燥材と同等かそれ以上での取引が期待されます。

編集・発行

## 和歌山県林業試験場

〒649-2103 和歌山県西牟婁郡上富田町生馬1504-1

TEL : 0739-47-2468

FAX : 0739-47-4116

ホームページ : <http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070109/gaiyou/006/index.html>

発行：平成27年3月



2015 紀の国 わがやま国体

第70回国民体育大会 躍動と歓喜、そして絆

平成27年 9月26日 ◎ ▶ 10月6日 ◎

2015 紀の国 わがやま大会

第15回全国障害者スポーツ大会 躍動と歓喜、そして絆

平成27年 10月24日 ◎ ▶ 10月26日 ◎



地球環境保護のため、  
植物油インクを使用しています。