

イタジイ材の太陽熱利用木材乾燥

濱口隆章¹・清水 賢²・井戸聖富¹・山口秋生²

¹和歌山県林業試験場・²越井木材工業株式会社

Solar Drying of Itajii (*Castanopsis sieboldii*) Wood Using a Greenhouse

Takaaki Hamaguchi, Ken Shimizu, Masayoshi Ido and Akio Yamaguchi

¹Forestry Experiment Station, Wakayama Prefecture, ²KOSHII&CO.,LTD.

緒 言

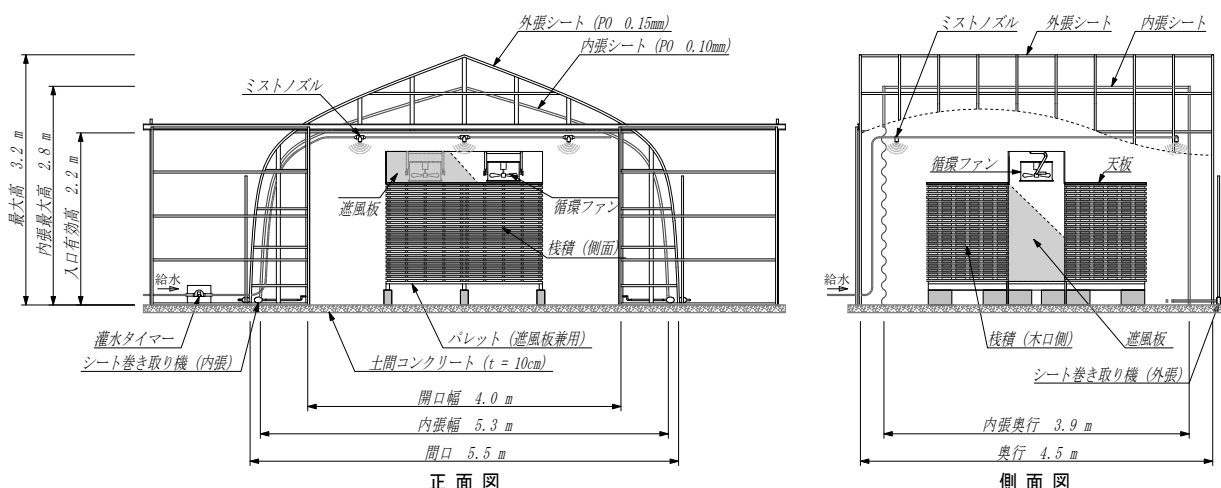
自然エネルギーを利用した低コスト木材乾燥法として、太陽熱利用木材乾燥の研究は古くから行われており、その中で、簡易集熱器を設置したもの（野呂田ら，1983）や、除湿器を設置したもの（小林，1980），農業用ビニールハウスを用いた簡易なもの（吉田・伊東，2010）など様々なタイプが検討されてきた。このうちビニールハウスを用いた方式は、他の方式と比べ低コストで導入が可能であり、設置・撤収が容易であることから、乾燥材生産が小規模な場合や、一時的な現場ニーズに対応するための仮設生産施設としての利用が期待される。ビニールハウス方式では、これまでにカラマツ・スギ等の針葉樹材で検討が行われ、天然乾燥に比べ、乾燥期間が短縮されたことが報告されている（吉田・伊東，2010；岸本・山裾，2010）が、広葉樹材での具体的検討事例は報告されていない。広葉樹材は一般的に比重・収縮率が高く、乾燥割れを生じやすいため、乾燥に際しては針葉樹材以上に湿度と温度管理が重要となる。この技術的課題に対応するため、本研究では、ビニールハウス内にミストノズルを設置し、簡易かつ低コストな方法で湿度調整を行うことで、乾燥割れや狂いが少ない木材乾燥が可能か検証することを目的に、イタジイ（スダジイ）材を用いた乾燥試験を実施したので、その結果について報告する。

材料および方法

1. 試験体の作製および試験区の設定

供試材料として、奄美大島産イタジイを用いた。製材木取りは、たいこ挽きで芯持ち部分（75mm角）を除いた。試験体は、幅 135mm，厚さ 28mm の板目板で、節・あてなどの欠点をあらかじめ除去したため、材長は 50，100，150，200cm の 4 種類となった（計 171 本）。

試験区として、ビニールハウス試験区（以下、ハウス区）と天然乾燥試験区（以下、天乾区）の 2 つの試験区を設定した。各試験区の試験体数は、ハウス区で計 146 本（50，100，150，200cm），天乾区で計 25 本（50，150cm）としたが、ハウス区の試験体のうち 74 本は、試験終了後の乾燥割れ・狂いの評価のみに用いた。



第1図 本試験に用いたビニールハウスの概要図

2. 本試験に用いたビニールハウスの概要

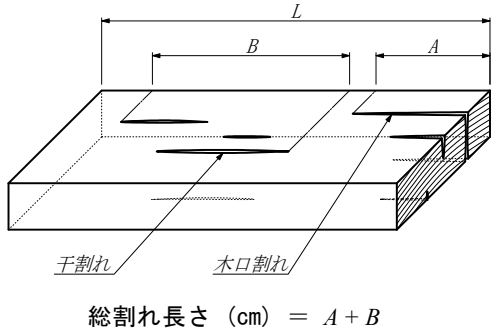
本試験に用いたビニールハウス（和歌山県林業試験場構内）の概要図を第1図に示す。一般的な農業用ビニールハウスを基本構造としているが、保温を目的に内張による2重構造とし、作業性の確保と地面からの湿度流入を抑制するため土間コンクリートを打設している。湿度調整のためのミストノズル（水量 230ml/min, 0.4MPa 時）を6個、循環扇（最大風量 88m³/min）を天井に2台設置し、ダウンフローで棧積間に送風した。効率的に風を送るため棧積間の側面・底面に遮風板を設置した。材間風速（棧木厚 25mm）は 0.8~1.5m/s 確保した。

3. 乾燥試験の概要

試験は平成 28 年 7 月 14 日から同年 12 月 2 日までの計 141 日間実施した。ビニールハウス内の 7~8 月の日中最高気温は 50℃以上に達し、既往の文献のシノキ材乾燥スケジュール（寺澤, 2004）と比較して、繊維飽和点以上の乾燥温度条件として厳しいと判断した。そのため、ハウス区においては、試験体の平均含水率が 30%程度になるまで、和歌山県林業試験場構内の屋根付き資材置き場で天然乾燥を実施し、8月7日にハウス内に設置した。ハウス内の湿度調整は 7:30~17:00 までの間、散水タイマーを用いて間欠的に行った（雨天・曇天時を除く）。試験体含水率の最大値が 30%に達するまでは概ね 70%RH, 含水率の最大値が 15%に達するまでは概ね 60%RH の湿度を維持した。9月15日以降は散水と循環扇の運転を中止し成り行きとした。試験期間中はビニールハウスの換気は特に行わなかった。評価を行わない材料を含め、ハウス内に約 4m³の材料（すべてイタジイ）を設置した。天乾区の試験は、上記の屋根付き資材置き場で実施した。

4. 測定項目

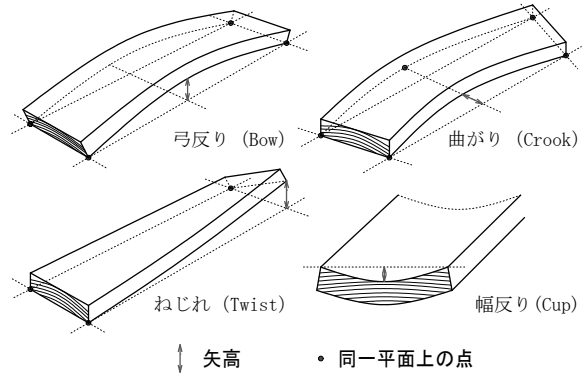
含水率（全乾法）・収縮率・狂い・割れを測定した。収縮率の測定は以下の手順で行った。まず、試験開始前に試験体中央部に測定基準線を設け、幅（接線方向）と厚さ（半径方向）の寸法を測定した。試験終了後、試験体から測定基準線を含む小サンプルを採取し、気乾時と全乾時の幅・厚さの寸法と重量を測定した。なお、試験開始時点で繊維飽和点を下回る試験体が多く見られたため、全乾時の測定後に小サンプルを減圧加圧処理で飽水状態にし、さらに1週間程度水中で放置した後に寸法測定を行い、このときの値を生材寸法とした。この際、試験開始前に測定した幅・厚さの寸法を下回らないことを確認した。収縮率は JIS Z2101 の式に基づき算出した。



総割れ長さ (cm) = A + B

※同一区間 (木表・木裏両側) に複数の割れがある場合は、その区間の割れの始点から終点までの水平距離で1つの割れ長さとする

第2図 乾燥割れの測定方法



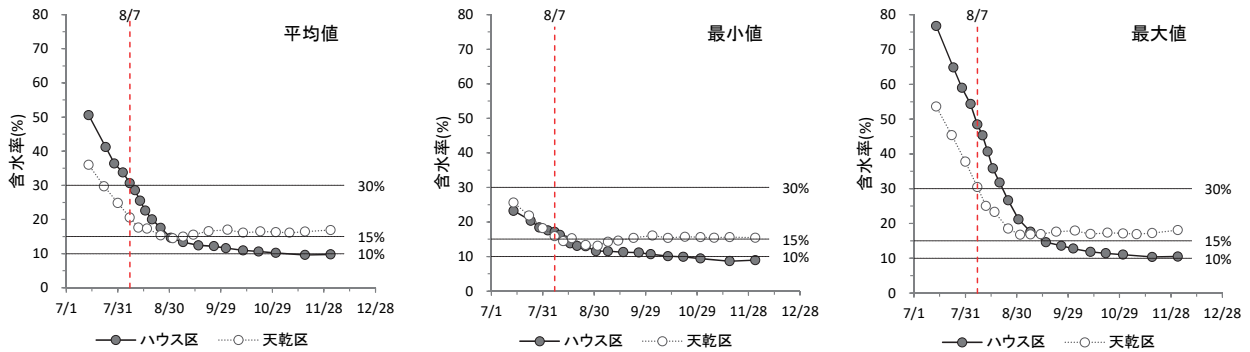
第3図 狂いの測定方法

乾燥割れは第2図に示す方法で、総割れ長さで評価した。狂いは第3図に示す方法で、基準線(面)と材面の間が生じる矢高で評価した。なお、広い面の縦方向の反りを弓反り (Bow) , 狭い面の縦方向の反りを曲がり (Crook) とした。

結果および考察

1. 含水率推移

試験体の密度・平均年輪幅・含水率を第1表に示す。製材から試験開始まで1ヶ月程度時間が開いたため、初期含水率はハウス区で 50.5±13.5 (平均値±標準偏差, 以下同じ)%, 天乾区で 36.0±7.6%と、やや乾燥が進んでいた。試験期間中の含水率推移を第4図に示す。なお、材長の違いに



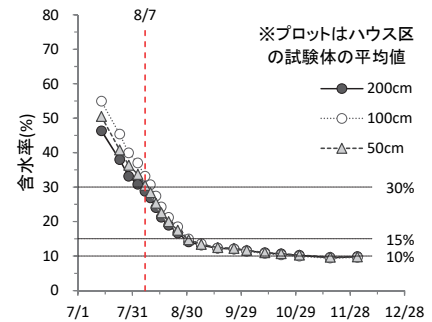
第4図 含水率の推移 (平均値・最小値・最大値)

第1表 試験体の密度・平均年輪幅・含水率

試験区		容積密度 (kg/m ³)	気乾密度※ (kg/m ³)	全乾密度 (kg/m ³)	平均年輪幅 (mm)	含水率 (%)		
						初期	8/7	12/2
ハウス区 (n=72)	平均値	560	690	634	5.8	50.5	30.6	9.8
	最小値	454	565	518	2.9	23.2	17.1	8.9
	最大値	650	798	731	9.0	76.8	48.4	10.5
	CV (%)	8.1	8.1	8.0	26.3	26.7	25.8	4.1
天乾区 (n=25)	平均値	552	671	616	4.4	36.0	20.6	16.9
	最小値	509	617	558	2.7	27.5	15.8	15.5
	最大値	620	767	700	8.3	53.4	30.5	18.1
	CV (%)	6.3	6.5	6.5	31.0	18.1	18.0	4.7

<記号>n: 試験体数 CV: 変動係数

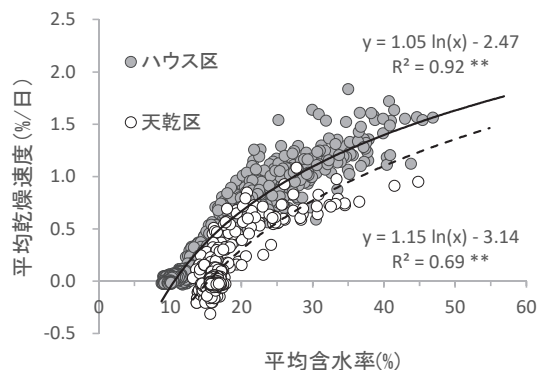
※気乾密度は含水率15%換算で補正した



第5図 材長による乾燥推移の比較

第2表 乾燥所要日数と平均乾燥速度

含水率変化		ハウス区	天乾区
30→20%	所要日数	12	17
	(期間)	(8/8-8/20)	(7/22-8/8)
	平均乾燥速度(%/日)	0.83	0.59
20→15%	所要日数	10	21
	(期間)	(8/20-8/30)	(8/8-8/29)
	平均乾燥速度(%/日)	0.50	0.24
15→12.5%	所要日数	16	到達せず
	(期間)	(8/30-9/15)	—
	平均乾燥速度(%/日)	0.16	—
12.5→10%	所要日数	52	到達せず
	(期間)	(9/15-11/6)	—
	平均乾燥速度(%/日)	0.048	—



第6図 平均含水率と平均乾燥速度の関係

** 1%水準で有意

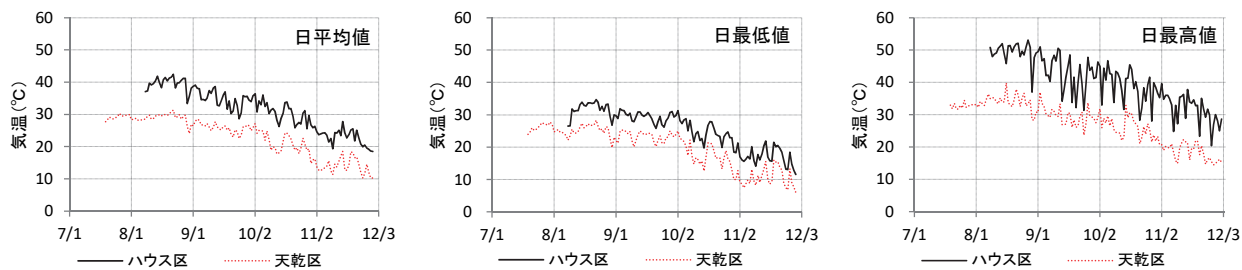
よる乾燥推移に顕著な差が認められなかった（第5図）ため、今回の検討では材長の区別は行わず全体値として取り扱った。全般的な傾向として、ハウス区・天乾区とも含水率 20%付近までは直線的に含水率が低下し、その後乾燥速度を減少させながら推移した。平均含水率 30%から 10%に到達するまでの所要日数を算出した結果を第2表に示す。このうち、30%から 15%までの所要日数はハウス区で 22 日、天乾区で 38 日となり、ハウス区で約 42%の期間短縮効果が認められた。天乾区の含水率は 9 月 1 日に 14.5±1.0%に達したが、それ以降はやや値を戻し 16~17%の変動範囲で平衡状態になった。一方ハウス区では 15%に達した後も緩やかに乾燥が推移し、11 月 17 日に 9.6±0.4%に達した後に平衡状態となった。ハウス区の平均含水率 30%から 10%に到達するまでの所要日数は 90 日であったが、このうち最終の 2.5%(12.5→10%)の含水率低下に 52 日を要した。各測定日の前後の含水率変化から、この間の平均含水率と平均乾燥速度を求め、両者の関係をハウス区・天乾区で比較した（第6図）。気温・湿度が変動する条件下となるが、平均含水率と平均乾燥速度の間に、概ね対数関数的な関係が認められ、平均含水率が高いほど平均乾燥速度が大きくなり、乾燥速度比（ハウス区/天乾区）は小さくなった。

平成 21 年の同時期（7 月~10 月）に実施した幅 135mm、厚さ 35mm のスギ板材のビニールハウス乾燥試験では、含水率 30%から 15%までの所要日数は 14 日であった（岸本・山裾, 2010）。この結果と比較すると、今回の試験では約 1.6 倍の期間を要した。樹種や木取りによるばらつきを考慮する必要があるが、繊維飽和点以下における乾燥速度は比重の 1.5 乗程度、材厚の 1.7 乗程度に反比例する（寺沢・筒本, 1986；木材工業ハンドブック, 2004）とされる。本試験のイタジイ材の全乾密度はスギの約 1.7 倍だったことから、乾燥所要日数の増加は、この関係による計算値に、概ね近い結果となった。

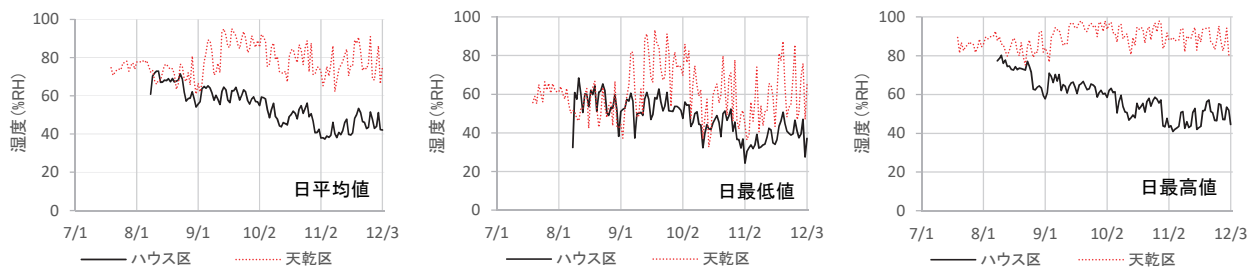
2. 気温・湿度の推移

試験期間の気温・湿度の推移を第7, 8図, 月別の気温・湿度ならびに気候値平衡含水率のデータを第3表に示す。試験期間中の気温を比較したところ、平均気温で平均 9.3℃, 日中平均気温で平均 10.2℃, 夜間平均気温で平均 7.9℃, ハウス区が天乾区を上回った。試験期間中の湿度は、ハウス区では 8 月 7 日から 9 月 15 日まで湿度調整を行ったため日平均値で 60~70%RH の範囲に保たれたが、材料の乾燥が十分に進んだ 10 月以降は、概ね 50%RH 以下となった。ハウス区と天乾区の湿度差は、試験期間平均で 23.8%となり、ハウス区で全般的に湿度が低く保たれた。日中と夜間の湿度差は天乾区で平均 10.1%, ハウス区で平均 2.8%となり、ハウス区では夜間の湿度上昇も抑制された。

気候値平衡含水率については、ミストによる湿度調整を行わなかった 10, 11 月に限定すると、ハウス区で平均 8.5%, 天乾区で平均 15.2%となり、ハウス区で 6.7%下回った。



第7図 各試験区の気温の推移（日平均値・日最低値・日最高値）



第8図 各試験区の湿度の推移（日平均値・日最低値・日最高値）

第3表 月別の気温・湿度ならびに気候値平衡含水率

気温(°C)	平均値		最低値		最高値		日中平均値 ^{※4}		夜間平均値 ^{※4}		気候値平衡含水率 ^{※5}		
	ハウス区	天乾区	ハウス区	天乾区	ハウス区	天乾区	ハウス区	天乾区	ハウス区	天乾区	ハウス区	天乾区	
7月	※1	—	29.2	—	24.0	—	34.5	—	30.1	—	—	27.4	
8月	※2	39.5	29.0	26.5	19.9	53.1	39.8	43.0	30.8	36.2	27.1	27.1	
9月		34.8	25.9	25.8	20.1	51.0	36.9	37.3	27.1	32.4	24.6	24.6	
10月		30.5	21.2	18.3	10.0	46.7	32.9	33.0	22.8	27.9	19.5	19.5	
11月		22.9	14.0	11.6	6.0	39.6	22.3	25.6	15.6	20.1	12.4	12.4	
8~11月平均	※3	31.5	22.2	25.4	18.9	40.5	26.7	34.3	24.1	28.8	20.9	20.9	
湿度(%RH)	平均値		最低値		最高値		日中平均値 ^{※4}		夜間平均値 ^{※4}		気候値平衡含水率 ^{※5}		
	ハウス区	天乾区	ハウス区	天乾区	ハウス区	天乾区	ハウス区	天乾区	ハウス区	天乾区	ハウス区	天乾区	
7月	※1	—	74.7	—	55.2	—	89.4	—	71.9	—	80.5	—	13.4
8月	※2	65.8	72.4	32.5	42.4	80.2	92.7	63.1	66.5	68.2	78.3	10.9	12.8
9月		60.5	84.0	37.4	37.4	71.0	97.9	59.4	80.3	61.6	87.9	10.2	16.7
10月		50.5	80.4	32.2	32.6	63.1	98.0	49.6	74.6	51.2	86.0	8.9	15.6
11月		43.4	76.4	24.4	36.4	57.1	95.4	42.0	71.6	44.8	81.2	8.0	14.7
8~11月平均	※3	54.5	78.3	47.8	60.6	58.9	89.7	53.0	73.2	55.8	83.3	9.5	14.8

※1 7月の天乾区の数値は7/14~7/31のデータを用いた

※2 8月のハウス区の数値は8/7~8/31のデータを用いた

※3 8~11月平均は8/7から11/30までの日平均値・日最小値・日最大値・日中平均値・日夜間平均値の平均値

※4 日中平均値は7:00~18:00, 夜間平均値は19:00~6:00のデータを用いた

※5 平衡含水率は、齋藤・信田の近似式(2016)により月平均気温・月平均湿度から算出した

3. 収縮率

乾燥後の収縮率の測定結果を第4表に示す。ハウス区と天乾区の収縮率（含水率15%換算値）を比較したところ、ハウス区では、接線方向で約1.2倍、半径方向で約1.3倍高い値を示した。イタジイ材の人工乾燥試験において、松田（1973）は、初期乾球温度40℃、最終乾球温度67℃、乾湿球差2~17℃の乾燥条件における含水率10%到達時の収縮率として、半径方向5.0%、接線方向8.0%の値を報告している。また、山之内ら（1990）は初期乾球温度40~50℃、最終乾球温度60~70℃の4条件の人工乾燥試験における含水率10%到達時の収縮率として、厚さ方向で9.7~14.4%、幅方向で5.4~6.9%の値を報告している。ハウス区の収縮率は、天乾区に比べると若干大きいものの、これらの人工乾燥スケジュールと比べると、その値は小さかった。

第4表 収縮率の比較

試験区	含水率(%)	収縮率(終了時)			収縮率(15%換算値)			全収縮率(%)		平均収縮率(%)	
		終了時	幅(T)	厚さ(R)	幅(T)	厚さ(R)	幅(T)	厚さ(R)	幅(T)	厚さ(R)	
ハウス区 (n=72)	平均値	9.8	5.3	3.0	4.4	2.4	7.4	4.4	0.23	0.14	
	最小値	8.9	4.3	2.1	3.5	1.3	6.2	3.1	0.17	0.10	
	最大値	10.5	7.5	4.9	6.6	4.3	9.7	6.8	0.28	0.22	
	変動係数(%)	4.0	12.6	30.3	15.1	37.3	9.7	23.8	11.15	19.61	
天乾区 (n=25)	平均値	16.9	3.3	1.7	3.6	1.9	6.6	3.7	0.21	0.13	
	最小値	15.5	2.3	1.1	2.5	1.2	5.4	2.8	0.15	0.10	
	最大値	18.1	5.5	2.7	5.7	2.8	8.6	5.6	0.24	0.19	
	変動係数(%)	4.7	21.8	32.4	19.6	30.1	11.5	20.1	10.12	20.14	

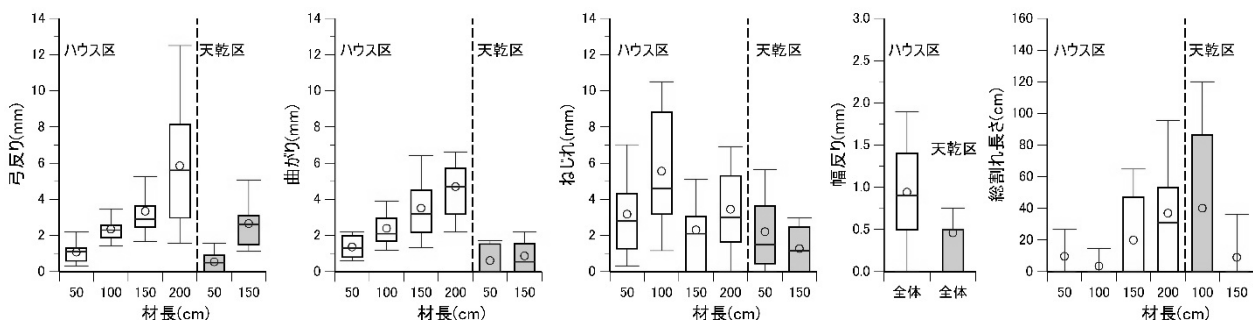
<記号>n:試験体数 T:接線方向 R:半径方向

4. 狂い・乾燥割れ

狂い・乾燥割れの測定結果を第5表、第9図に示す。ハウス区の狂いの測定結果では、弓反り・曲がりの平均値は、材長にほぼ比例して増加し、変動係数は32~64%となった。一方、ねじれの平均値は材長により増減し、100cm材で最も大きくなり、150cm材で最も小さくなった。また変動係数は67~103%で、ばらつきが大きかった。ねじれが材長により増減する原因として、ねじれの回転方向が材長の途中で変化している可能性が考えられたが、この現象の確認のため150cm材を100cmに切断してねじれを測定したところ、ねじれの平均値は低下した。このことから、ねじれの増減に関しては、製材した原木の状態や木取り方法の影響の方が大きいと考えられた。

第5表 狂いと割れの発生量

試験区	材長(cm)	弓反り(mm)				曲がり(mm)				ねじれ(mm)				幅反り(mm)	総割れ長さ(mm)			
		50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200		50	100	150	200
ハウス区	試験体数	61	23	33	29	61	23	33	29	61	23	33	29	146	61	23	33	29
	平均値	1.1	2.3	3.3	5.8	1.4	2.4	3.5	4.7	3.2	5.5	2.3	3.4	0.9	9.6	3.4	19.9	36.9
	最小値	0.0	1.1	0.8	1.0	0.0	0.9	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
	最大値	2.5	4.2	10.7	13.5	3.8	4.7	7.6	10.9	11.8	13.5	10.9	9.8	3.3	210	47	135	125
	25%分位点	0.6	2.0	2.5	3.0	0.8	1.7	2.2	3.3	1.3	3.3	0.0	1.7	0.5	0	0	0	0
	中央値	1.1	2.3	2.9	5.6	1.3	2.1	3.2	4.7	2.8	4.6	2.1	3.0	0.9	0	0	0	31
	75%分位点	1.3	2.6	3.6	8.1	2.0	2.9	4.5	5.7	4.3	8.8	3.0	5.2	1.4	0	0	45	52
	変動係数(%)	59.7	32.4	57.4	64.0	52.8	44.3	52.7	47.0	80.7	66.7	103	72.9	74.6	320	308	168	97
天乾区	試験体数	13	-	12	-	13	-	12	-	13	-	12	-	25	13	-	12	-
	平均値	0.5	-	2.7	-	0.6	-	0.9	-	2.2	-	1.3	-	0.4	40.0	-	8.9	-
	最小値	0.0	-	1.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	0	-	0	-
	最大値	1.8	-	5.4	-	2.2	-	2.7	-	6.6	-	3.1	-	3.0	160	-	97	-
	25%分位点	0.0	-	1.6	-	0.0	-	0.0	-	0.6	-	0.0	-	0.0	0	-	0	-
	中央値	0.5	-	2.6	-	0.0	-	0.6	-	1.5	-	1.2	-	0.5	0	-	0	-
	75%分位点	0.8	-	3.1	-	1.5	-	1.5	-	3.5	-	2.3	-	0.5	80	-	0	-
	変動係数(%)	117	-	52.4	-	134	-	110	-	99.2	-	101	-	141	138	-	313	-



箱の上端・下端はそれぞれ75%分位点、25%分位点、ヒゲの上端・下端はそれぞれ90%分位点、10%分位点、箱の中央の線は中央値、丸プロットは平均値を表す。

第9図 材長ごとの狂いと割れの発生量の比較

いずれの狂いも、天乾区に比べてハウス区で大きくなったが、狂い測定時の含水率の差が平均値で約 7%あり、その影響も大きいと考えられた。山之内ら(1990)は、人工乾燥したイタジイ材(幅 120mm, 厚さ 25mm, 長さ 1,000mm)の含水率 10%到達時の狂い(曲がりとねじれ)の平均値として 7.7~10.4mm の値を報告している。断面寸法や集計方法に違いがあるので単純比較はできないが、ハウス区の 100cm 材の曲がりとねじれの平均値は、それぞれ 2.4, 5.5mm であり、この報告値より小さかった。

総割れ長さに関して、ハウス区では 150, 200cm 材で平均値が高くなったが、50, 100cm 材では割れの発生が少なく、割れの発生がみられた試験体の本数率は 20%以下だった。一方、天乾区の 50cm 材では、総割れ長さの平均値 40mm, 割れ発生本数率 46%に達した。試験時の状況から、総割れ長さが大きい試験体は、木口面に直射日光が当たっていた場所で明らかに多かったため、栈積の設置方法の影響が大きいと考えられた。本試験で確認された乾燥割れのタイプは、第 2 図に示す木口割れがほとんどで、干割れは見られなかった。また、ハウス区の乾燥割れは天然乾燥期間中に発生しており、ビニールハウス設置後に新たな乾燥割れは観察されなかった。製材の日本農林規格(JAS)の広葉樹製材の品質基準に基づき、材長に対する木口割れの比率を算出したところ、ハウス区では全ての材長区分で平均 2%未満となり、乾燥割れによる歩留り低下は小さいと考えられた。

5. 総括

繊維飽和点付近まで天然乾燥を実施し、含水率 15%付近まで湿度維持を行うことで、著しい乾燥割れや狂いを生じることなくイタジイ材を乾燥させることができた。今回の結果から、ビニールハウスを用いた太陽熱利用乾燥技術を広葉樹材に応用することは十分可能と考えられるが、現場への普及に向けては、年間を通じたデータの蓄積が今後必要と思われる。

本方式による到達可能含水率は、今回の試験結果や既往の知見(吉田・伊東, 2010; 岸本・山裾, 2010)から、板材で概ね 10%程度と考えられるが、目標含水率を 10%に設定した場合、最終 2~3%の含水率低下にかなりの日数を要することや、比重や材料厚さが大きくなる場合、乾燥時間がさらに増大することに留意する必要がある。その上で、本方式の現場導入に際しては、これらの乾燥特性に応じた生産計画や材料選択を行うことが重要と考えられる。

摘 要

ビニールハウスを用いた太陽熱利用乾燥において、ミストノズルによる簡易な湿度制御を行うことで、乾燥割れや狂いの少ない木材乾燥が可能か検証することを目的に、イタジイ材を用いて試験を実施した。その結果、繊維飽和点付近まで天然乾燥を実施し、その後含水率 15%付近までハウス内の湿度を 60%RH 以上に保つことで、著しい乾燥割れや狂いが少ない乾燥材の生産が可能であった。含水率 30%から 15%に到達するまでの所要日数はハウス区で 22 日となり、天乾区に比べ約 42%の期間短縮効果があった。到達含水率(平衡含水率)の最小値はハウス区で 9.6%, 天乾区で 14.5%だった。ハウス区では、含水率 30%から 10%に到達するまでの所要日数は 90 日であったが、そのうち最終 2.5%の含水率低下に 52 日要した。本方式の現場導入に際しては、これらの乾燥特性に応じた生産計画や材料選択を行うことが重要と考えられる。

引用文献

- 岸本勇樹・山裾伸浩. 2010. 自然エネルギーを生かした木材乾燥技術の開発（第2報）農業用ビニールハウスを活用したスギ板材乾燥試験. 和歌山県農林水産総合技術センター林業試験場業務報告 No. 67 : 15-16
- 小林好紀. 1988. 太陽熱を利用した除湿乾燥装置. 木材工業 43(6) : 262-267
- 松田健一. 1973. 乾燥中に生じる木材の乾燥応力等の特性について. 鹿児島大学教育学部研究紀要 自然科学編第24巻 : 69-78
- 野呂田隆史・千葉宗昭・大山幸夫. 1980. 木材乾燥における太陽熱の利用（第1報）. 北海道林産試験場月報第345号 : 6-12
- 齋藤周逸・信田聡. 2016. 日本の気候値平衡含水率. 木材学会誌 62(5) : 182-189
- 森林総合研究所編. 2004. 改訂4版木材工業ハンドブック. P273-274. 丸善. 東京.
- 寺沢真・筒本卓造. 1986. 木材の人工乾燥改訂版 : P36-37. 日本木材加工技術協会. 東京
- 寺澤眞. 2004. 木材乾燥のすべて [改訂増補版] : P234. 海青社. 大津市
- 山之内清竜・遠矢良太郎・山角達也. 1990. 奄美大島産イタジイの乾燥性. 第40回日本木材学会大会研究発表要旨集 : 95
- 吉田孝久・伊東嘉文. 2010. 高温セット処理を行った柱・桁材の太陽熱乾燥—農業用ビニールハウスの利用—. 長野県林業総合センター研究報告 24 : 171-184