

# ビニールハウスを利用した太陽熱利用木材乾燥

岸本勇樹・山裾伸浩・井戸聖富<sup>1</sup>

和歌山県農林水産総合技術センター 林業試験場

## Solar Seasoning of Timber in a Greenhouse

Yuki Kishimoto, Nobuhiro Yamasuso and Masayoshi Ido

*Forestry Experiment Station  
Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries*

### 緒言

近年、木材乾燥の分野では電力や化石燃料を熱源とする様々な人工乾燥装置が開発され、和歌山県内の木材加工現場においても人工乾燥処理が広く普及している。

一方、地球温暖化問題やエネルギー政策の動向、原油価格の高騰などの視点から、太陽熱や風力などの自然エネルギーを活用する機運が高まっている。

太陽熱利用木材乾燥は古くから日本各地で取り込まれてきたが、近年は温室など簡易な施設を利用した取り組みが注目されつつあり、各地で乾燥材の品質評価や装置構造の検討が行われている（例えば吉田ら、2010）。

太陽熱利用木材乾燥は比較的寒冷な地域における取り組みを中心に報告されてきたが、寒冷な地域では冬季の乾燥促進が中心的課題とされることが多く、化石燃料等による補助熱源を組み込んだ乾燥方法を提案することが多い。

一方、和歌山県は比較的温暖な気候にあり、補助熱源を利用しない太陽熱利用木材乾燥に対する期待が大きい。そこで、本研究では簡易なビニールハウスを活用して補助熱源を利用しない太陽熱利用木材乾燥を試み、屋外乾燥との比較のなかで乾燥特性について検討したので報告する。

### 材料および方法

#### ビニールハウス利用による太陽熱木材乾燥の概要

ビニールハウスは、林業試験場構内（和歌山県西牟婁郡上富田町）に設置した。試作したビニールハウスの概略を第1図及び以下に示す。

- 外寸は、南北方向 5m、東西方向 4m、最大高さ約 3m の蒲鉾型構造とした。
- 南面に材搬入口（W=1.8m、H=1.8m）を配置し、東面及び西面に手動の換気装置を設置した。
- 躯体骨格はアルミパイプによって構成し、透明ビニールシートによる 2 重被覆とした。
- 収容範囲は内側ビニールシート内寸の約 24m<sup>3</sup>（南北方向 4.0m×東西方向 3.0m×高さ 2.0m）。

---

<sup>1</sup>現在：林業振興課

(e) 床面はコンクリートで舗装した。

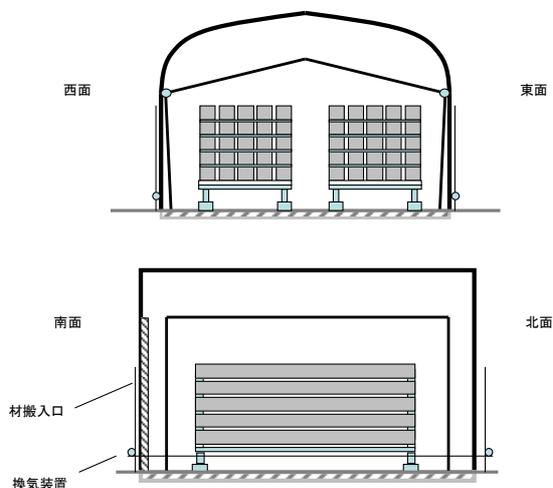
### 試験中の温度及び湿度について

試験中の温度(°C)及び相対湿度(%)をサーモレコーダー(TR-72U, ティーアンドディー社)を用いてビニールハウス内と屋外でそれぞれ1時間毎に連続的に測定した。また、必要に応じて温度及び相対湿度から得られる気候値平衡含水率(%)の値を算出した。なお、試験中はビニールハウスの開放面をすべて閉鎖した。

### 試験1 冬季のヒノキ柱材乾燥試験(冬季:2008年11月12日から2009年2月9日)

丸太から製材された直後の和歌山県西牟婁郡産ヒノキ心持ち柱材(13.5cm×13.5cm×270cm, 背割り)10

本を供試体として試験を行った。丸太から製材後に5本を屋外で簡易な屋根を架けた状態で積み重ねて乾燥させ、残り5本をビニールハウス内に積み重ねて乾燥させた。試験期間中は定期的に重量を測定し、試験終了時にそれぞれの材の中央部から切り出した1cm幅の試験材から全乾法によって含水率を求め、各測点における推定含水率を算出した。



第1図 試作ビニールハウスの構造



第2図 乾燥試験の様子(左:屋外 右:ビニールハウス)

### 試験2 夏季のヒノキ柱材乾燥試験(夏季:2009年6月から2009年9月)

丸太から製材された直後の、和歌山県西牟婁郡内より産出されたヒノキ心持ち材(13.2cm×13.2cm, L=300cm, 背割り, n=16)を材長方向中央部で切断して2等分し、切断面に乾燥防止のためシリコン剤を塗布して作製した供試体を用いた。切断した片方の供試体(L=150cm)をビニールハウス内で乾燥させ、もう片方を屋外で乾燥させた。供試体の重量を定期的に測定し、試験終了後に供試体の材長方向中央の位置で採取した幅1cmの試験片から全乾法による含水率を求めた。

### 試験3 スギ板材乾燥試験(2009年11月から2010年10月)

丸太から製材された直後の和歌山県産スギ材(13cm×3.5cm×300cm)を、平成20年11月から平成21年10月にかけて毎月10本ずつ試験に供した。製材加工直後の材の両端をそれぞれ15cm切断して材長を270cmに調整し、重量の平均値が比較的均等になるように5本ずつ2つのグループに仕分けた。その後、試験1と同様に屋外とビニールハウス内で乾燥させ、開始より3ヶ月程度経過した時点で乾燥を終了した。含水率は両木口から50cmの位置で幅1cmの試験片を切り出し、全乾法によって求めた。

試験4 スギ平角材乾燥試験 (2010年10月から2011年10月)

丸太から製材された直後の4本の和歌山県産スギ材心持ち平角材を供試体とした(第1表)。これらのうち2本をビニールハウス内で乾燥させ、残りを屋外で乾燥させた。試験開始後は定期的に供試体の重量を測定し、終了時に材中央から幅1cmの含水率測定用試験片と水分傾斜測定用試験片を切り出し、含水率を求めた。

第1表 スギ平角材乾燥試験供試体

供試体No.	乾燥場所	寸法(cm)			重量 kg × 10 <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	材密度
		材幅 (長辺)	材幅 (短辺)	材長		
1	ビニールハウス	22.8	13.6	209	64.2	0.99
2	ビニールハウス	22.7	13.7	218	43.7	0.64
3	屋外	22.9	13.7	214	68.0	1.01
4	屋外	22.8	13.8	218	40.0	0.58

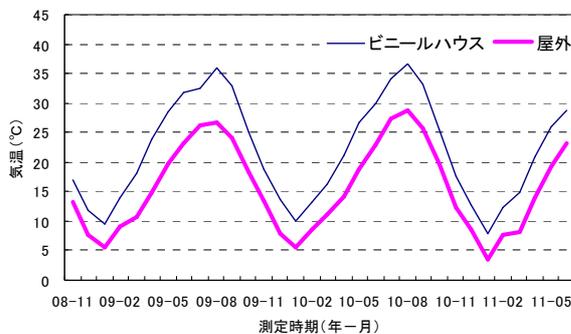
結果

試験中の温度及び湿度について

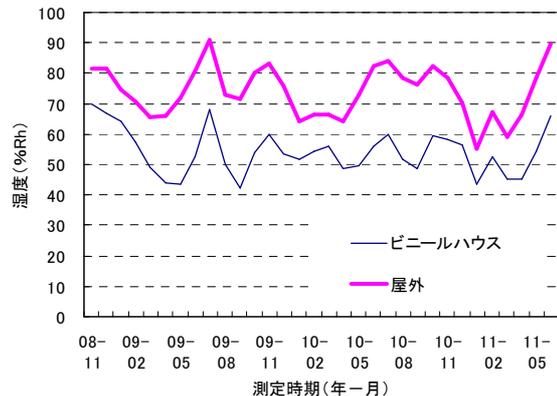
ビニールハウス内は屋外気温の変動と連動性が高く、年間を通じて屋外気温を上回り、月平均温度は屋外より平均で6.3℃高く、ビニールハウス内外の気温差は3.6℃から9.4℃の範囲で推移した。また、7月から9月にかけては平均気温が30℃以上となり、冬季は10℃以下になることもあった。湿度は、ビニールハウス内では概ね45%から70%の範囲で変動し、屋外の湿度より平均して19.9%低下した(第3,4図)。

第5図は調査期間中における曇天降雨時(2011/6/18~2011/6/21)の気温および湿度の変動の一例である。屋外の湿度がほぼ100%で推移した期間中は、ビニールハウス内は70%から90%の範囲で推移した。晴天時(2011/6/22)と比較すると日中の気温上昇は小さく、湿度変動も小さかった。

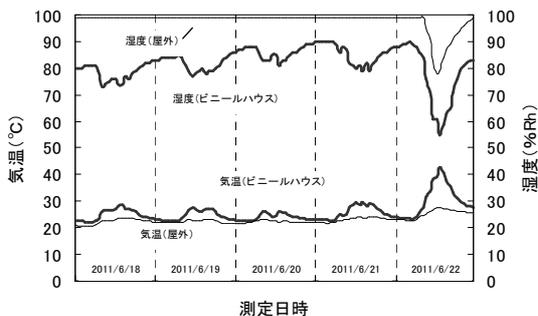
また、気候値平衡含水率は年間を通じてビニールハウス内は屋外より低く推移し、平均で4.6%低下した(第6図)。



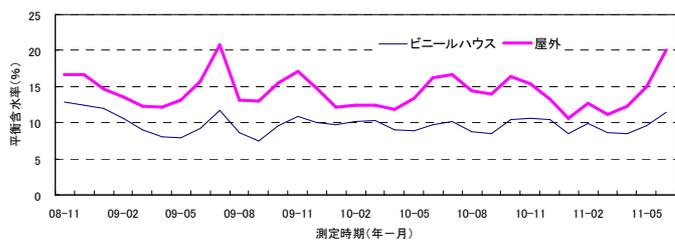
第3図 試験期間中の気温変動



第4図 試験期間中の湿度変動



第5図 曇天降雨時の気温及び湿度変動の例



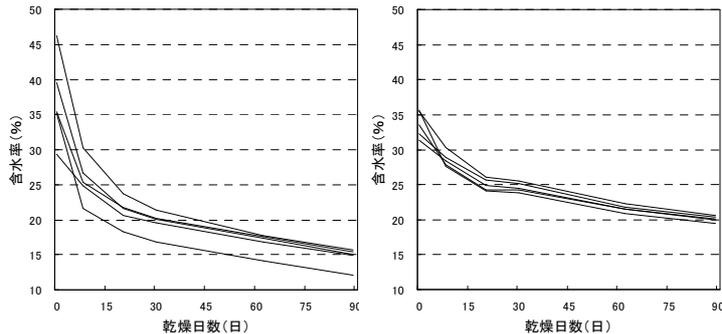
第6図 試験期間中の気候値平衡含水率

**試験1 冬季のヒノキ柱材乾燥試験（冬季：2008年11月12日から2009年2月9日）**

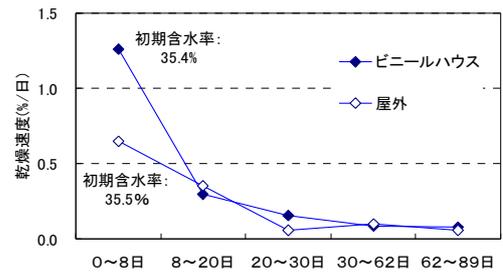
各供試体の含水率推移状況を第7図に示す。ビニールハウスで乾燥させた供試体（初期含水率：30%～47%）は、3ヶ月経過した時点での平均の含水率が15%（最小～最大：13%～16%）となり、試験開始からおよそ45日目までにすべての供試体が含水率20%に到達したものと推察される。

一方、屋外における天然乾燥の供試体（初期含水率：32%～36%）は、試験開始後3ヶ月経過時点において平均含水率が21%（最小～最大：20%～21%）となった。

平均の乾燥速度（%/日）は、ビニールハウスの乾燥初期（0～8日）において1.3%/日であり、屋外の0.6%/日のおよそ2倍程度であった。8日目以降の乾燥速度は徐々に減速し、30日目以降は屋外とほぼ同程度となった（第8図）。



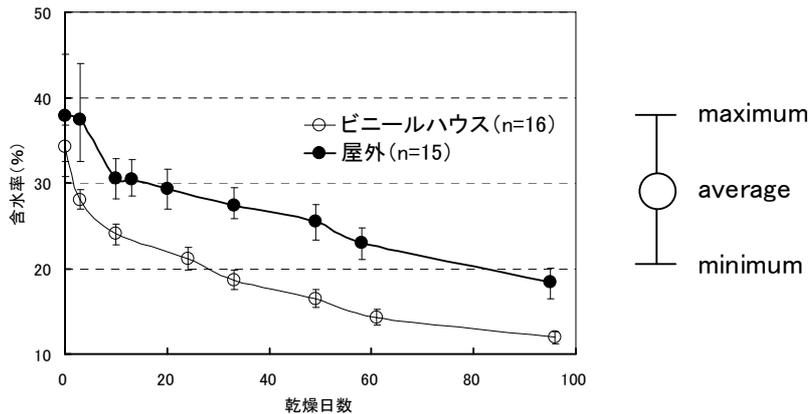
第7図 冬季ヒノキ柱材乾燥試験における含水率の推移  
（左：ビニールハウス，右：屋外）



第8図 乾燥速度（%/日，平均値）

**試験2 夏季のヒノキ柱材乾燥試験（夏季：2009年6月19日から2009年9月24日）**

調査開始から終了に至るまでの含水率推移状況を第9図に示す。屋外の乾燥では平均80日程度で含水率20%まで低下し、最終含水率でおよそ18%となったのに対し、ビニールハウス内の乾燥では平均25日程度で20%まで含水率が低下し、2ヶ月後に約14%となって最終的には約12%となった。ビニールハウス内では特に乾燥初期の含水率減少が大きく、仕上がり含水率も屋外の乾燥より向上した。なお、屋外の乾燥における供試体のうち1体はデータ欠損があったため評価から除外した。



第9図 夏季ヒノキ柱材乾燥試験における含水率推移

**試験3 スギ板材乾燥試験（2009年11月から2010年10月）**

試験の結果を第2表に示す。試験期間中のビニールハウス内における平均気温は、屋外と比較すると4～9%高く推移し、11月期が最小の12℃で6月期が最大の34℃であった。ビニールハウスでは試験開始から1ヶ月後には多くの供試体が含水率20%以下となり、2ヶ月後にはほとんどが15%以下となった。

3ヶ月経過後の含水率は、ビニールハウス乾燥の含水率は屋外乾燥より5~9%下回っていた。また、屋外の乾燥では含水率が15%まで到達した供試体は少なく、最終含水率は15~24%の範囲にあった。気候値平衡含水率の平均値は、ビニールハウス乾燥では8~12%、屋外の乾燥では13~16%であり、最終含水率との差はビニールハウス乾燥で0~4%、屋外の乾燥で2~7%であった。

第2表 スギ板材乾燥試験結果

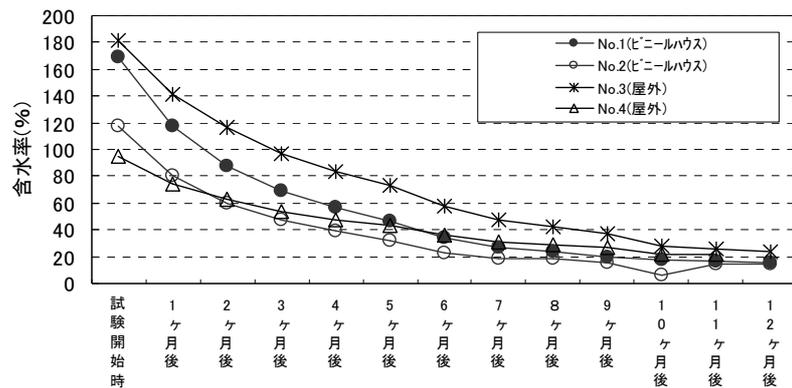
月期	11月期	12月期	1月期	2月期	3月期	4月期	5月期	6月期	7月期	8月期	9月期	10月期
調査開始日	H20.11.10	H20.12.16	H21.1.8	H21.2.17	H21.3.19	H21.4.15	H21.5.18	H21.6.16	H21.7.22	H21.8.19	H21.9.16	H21.10.20
調査終了日	H21.2.9	H21.3.23	H21.4.8	H21.5.13	H21.6.17	H21.7.14	H21.8.17	H21.9.16	H21.10.20	H21.11.21	H21.12.21	H22.1.18
平均気温(°C)	12	13	15	21	26	30	32	34	32	24	22	17
平均湿度(%)	65	60	55	48	44	51	57	56	50	51	54	55
平均平衡含水率(%)	12	11	10	9	8	9	10	10	9	9	10	10
初期含水率(%)	51	97	102	71	107	86	69	85	86	94	94	95
(上段:平均 下段:(最小-最大))	(28-85)	(79-116)	(50-135)	(45-91)	(45-171)	(43-127)	(35-102)	(30-135)	(59-117)	(72-117)	(70-137)	(68-116)
1ヶ月後の含水率(%)	19	23	17	12	13	16	11	14	11	10	12	18
(17-24)	(18-29)	(15-21)	(11-14)	(11-18)	(11-28)	(10-13)	(13-18)	(9-12)	(10-11)	(10-16)	(13-27)	
2ヶ月後の含水率(%)	-	(13-15)	(13-14)	(10-12)	(9-10)	(11-14)	(11-13)	(11-12)	(9-11)	(10-11)	(12-14)	(12-17)
3ヶ月後の含水率(%)	15	12	10	9	10	13	11	11	11	12	12	13
(14-16)	(11-12)	(10-10)	(9-10)	(10-11)	(12-14)	(10-12)	(11-11)	(10-11)	(11-12)	(11-13)	(11-15)	
平均気温(°C)	8	8	9	13	17	21	25	26	24	18	15	11
平均湿度(%)	78	73	69	69	69	77	82	80	76	76	79	77
平均平衡含水率(%)	16	14	13	13	13	15	16	15	14	15	16	15
初期含水率(%)	59	94	89	68	97	81	52	81	86	90	82	78
(上段:平均 下段:(最小-最大))	(30-108)	(78-126)	(42-124)	(58-90)	(32-171)	(34-117)	(31-79)	(43-115)	(66-114)	(72-122)	(54-110)	(55-106)
1ヶ月後の含水率(%)	30	26	33	17	22	32	20	25	20	20	23	27
(23-51)	(23-33)	(20-58)	(16-18)	(16-33)	(17-54)	(19-21)	(21-32)	(17-25)	(16-25)	(19-32)	(21-39)	
2ヶ月後の含水率(%)	-	(17-20)	(18-29)	(13-15)	(15-19)	(17-30)	(20-22)	(19-20)	(15-18)	(18-21)	(20-23)	(21-25)
3ヶ月後の含水率(%)	20	19	17	17	18	22	18	18	18	20	20	20
(19-22)	(18-19)	(15-19)	(17-17)	(16-19)	(20-24)	(17-20)	(17-18)	(17-19)	(18-21)	(19-21)	(18-22)	

試験4 スギ平角材乾燥試験 (2010年10月から2011年11月)

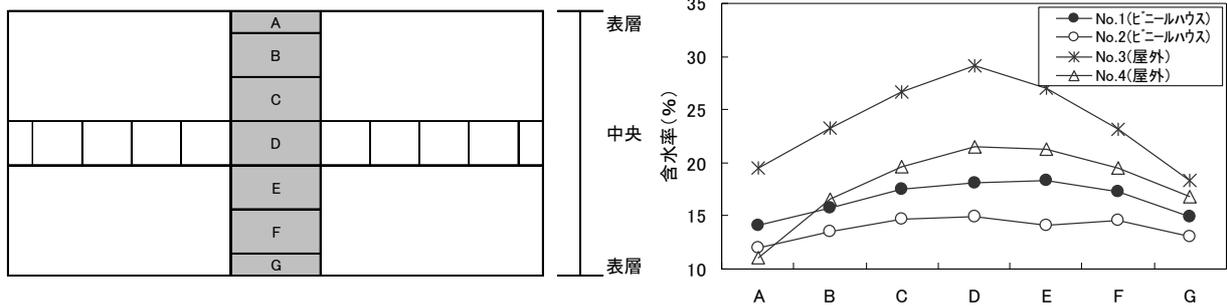
供試体の含水率推移について第10図に示す。ビニールハウス乾燥では、初期含水率が約120%であった供試体No.1が7ヶ月経過時点で含水率20%を下回り、最終含水率は約14%となった。初期含水率が約170%であった供試体No.2は9ヶ月経過時点で含水率20%を下回り、最終は約16%となった。一方、屋外乾燥材は初期含水率が約100%であった供試体No.4が約9ヶ月で含水率20%を下回ったが、初期含水率が約180%であった供試体No.3は試験期間中に含水率20%まで達しなかった。

第11図及び第12図に試験終了時の材内水分傾斜について示す。初期含水率が比較的高い供試体(No.1, No.3)は、屋外乾燥の供試体No.3は12ヶ月経過後の表層含水率が16%程度、中央部の含水率が29%程度であったのに対し、

ビニールハウス乾燥の供試体No.1は表層含水率がおよそ14%、中央部の含水率が18%程度となった。また、初期含水率が比較的低い供試体(No.2, No.4)は、屋外乾燥(No.4)で表層含水率が12%程度、中央部含水率が21%程度であったのに対し、ビニールハウス乾燥(No.2)で表層含水率が12%程度、中央部含水率が15%程度となった。

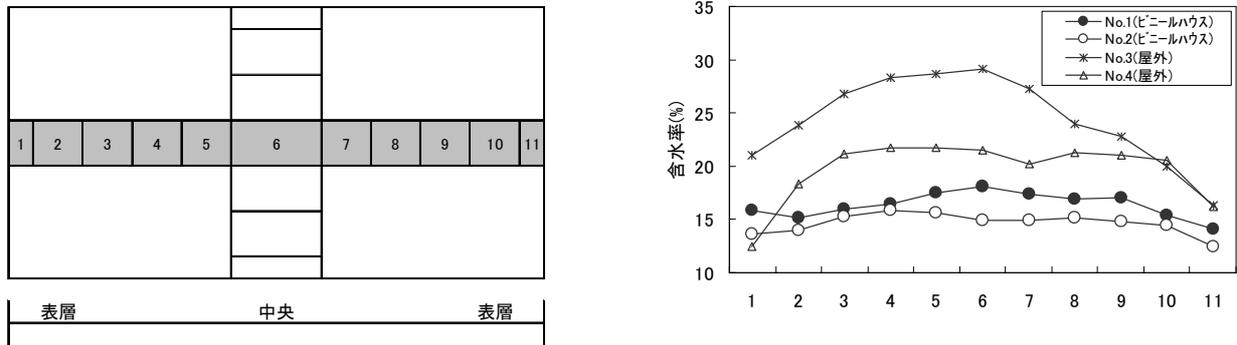


第10図 スギ平角材乾燥試験における含水率の推移



第11図 材幅方向における材内水分傾斜

注) 左図：水分傾斜測定試験片の木取り 右図：約12ヶ月間乾燥させた後の水分分布



第12図 材せい方向における材内水分傾斜

注) 左図：水分傾斜測定試験片の木取り 右図：約12ヶ月間乾燥させた後の水分分布

### 考察

和歌山県は比較的温暖な気候にあり、太陽熱利用による木材乾燥に有利な環境にある。そのため、これまで屋外で乾燥を行う天然乾燥を中心に太陽熱利用が図られてきたが、天然乾燥は十分な乾燥品質に達するまでに長期間を必要とし、そのため大量のストックを抱える必要があるなど経営的に不利となることが多い。しかしながら、近年の住宅工法の変化や乾燥品質を重視する社会的要請もあって、乾燥期間の短縮と適切な含水率水準を満たした乾燥材の安定確保が求められている。解決策の一案として、人工乾燥施設を導入して乾燥の短期化と合理化を図ることが可能である一方、人工乾燥の設備投資には多大な資本投下を必要とするため、中小規模製材工場での導入は現実的ではない。したがって、本研究が示すビニールハウス木材乾燥法など、乾燥に要する諸経費を抑制した現実的な木材乾燥方法を検討していく必要がある。

ビニールハウスの乾燥では、夏季及び冬季のいずれにおいても屋外の天然乾燥と比べて乾燥が促進されることが確認され、特に乾燥初期の乾燥速度上昇が大きかった。一般に乾燥初期は乾燥速度が温度と乾湿球差に大きく影響するとされており(寺澤, 1994)、外気と比較して高温低湿な環境下にあったビニールハウス内の乾燥が促進されて乾燥速度が上昇したと考えられる。また、年間を通じてビニールハウス内の平衡含水率は12%以下で推移し、厚さ35mm スギ材乾燥試験ではほとんどの供試体を10~15%の範囲で乾燥させることができた。曇天降雨時においてもビニールハウス内の気温は屋外と比較して高めで推移し、湿度も低下していた。これらのことは、ビニールハウスの活用が気象条件によって乾燥速度を低下させる影響を軽減し、天然乾燥では達成困難であった含水率15%以下の高品質乾燥材の生産が可能であることを示している。一方で、従来の太陽熱利用木材乾燥の知見(例えば東山ら, 1993)にみら

れるように、ビニールハウス内の環境変動は外気の環境変動に大きく依存し、なかでも曇天時や夜間における室温上昇は乾燥の促進に十分であったとはいえない。したがって、和歌山県など比較的温暖な地域においても補助熱源により加温するなど集熱方法や装置の蓄熱性向上について検討する必要がある。

スギ平角材を用いた乾燥試験では一定期間経過後における材内水分傾斜が屋外乾燥と比べて小さくなった。平角材などの断面の大きい木材は、材心まで均一に乾燥することが難しく、材内に水分傾斜が存在しやすい。水分傾斜を有した材は大きな寸法変化が生じることが知られており（山本ら，2003），材心部分と表層部分の乾燥むらの解消は解決すべき課題のひとつとなっているが，本研究の結果は天然乾燥では水分傾斜の解消が非常に困難であることを示すと同時に，ビニールハウスなどの簡易な温室が品質向上を目的とした養生管理に有効であることが示されたといえる。

以上の点から，ビニールハウスを用いた太陽熱利用木材乾燥においては，年間を通じて屋外乾燥に要する乾燥時間を短縮可能であり，含水率品質を向上させた乾燥が可能であることが示唆されるが，被乾燥木材の規格や品種によって乾燥特性が大きく異なる事に留意し，詳細に乾燥スケジュールについて検討する必要がある。また，和歌山県内の経緯度差や高低差を考慮すると，本研究成果をもって県下全域における乾燥特性を把握したとはいえず，条件の異なる地点において評価を行う必要がある。

ところで，試作したビニールハウスの空間容積は最大で約 24m<sup>3</sup> であるが，今回の試験に供した木材の体積は最大で 1m<sup>3</sup> 程度と少なく，被乾燥木材の投入量が乾燥性能に与える影響について検討が不十分であった。今後は本研究で考察の対象外としたビニールハウス内の吸排気に関する検討と併せて評価を行う必要がある。

## 摘 要

ビニールハウスを利用した太陽熱利用木材乾燥試験を行ったところ，乾燥特性について以下の知見を得た。

1. 冬季におけるヒノキ 13.5cm 正角材の乾燥期間は，含水率 20% の水準で約 45 日を要し，屋外乾燥と比較して 1/2 の期間に短縮された。3 ヶ月後の含水率は屋外の 21% に対して 15% であった。
2. 夏季におけるヒノキ 13.2cm 正角材の乾燥期間は，含水率 20% の水準で約 25 日を要し，屋外乾燥と比較して 1/3 の期間に短縮された。3 ヶ月後の含水率は屋外乾燥の 18% に対して 12% であった。
3. スギ 13cm×3.5cm 板材を月毎に乾燥開始したところ，いずれの月においても 2 ヶ月で含水率約 15% の水準に達し，3 ヶ月後には含水率 10~15% の範囲にあった。3 ヶ月経過後の含水率は屋外乾燥された供試材より 5~9% 下回った。
4. スギ平角材を 12 ヶ月間乾燥させた結果，屋外の乾燥より含水率が低下した。また，乾燥後の材内水分傾斜は屋外の乾燥と比較して小さくなった。

## 引用文献

- 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—. 長野県林総セ研究報告. 24: 171-184.
- 寺澤眞. 1994. 木材乾燥のすべて. p. 495-519. 海青社. 滋賀.
- 東山貢・大塚康史. 1993. 太陽熱利用木材乾燥—県産スギ・ヒノキ材の乾燥—. 和歌山県林業センター研究報告. 4: 10-15.
- 山本泰司・永田総司・河崎弥生・中尾哲也. 2003. スギ柱材の水分傾斜が寸法変化に与える影響. 木材工業. Vol158, No10: 457-461.

