

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—

吉田孝久・伊東嘉文

材面割れ防止のために高温セット処理を行った、カラマツとスギの柱材及び桁材を対象に、改良した農業用ビニールハウスを利用して太陽熱乾燥を行った。その結果、天然乾燥と比較してビニールハウスを利用した乾燥は、含水率の低下に効果が認められた。「高温セット+天然乾燥材」と「高温セット+ビニールハウス乾燥材」の乾燥速度の比は冬期であっても、春先であってもほとんど変わりなく、後者が1.4~1.8倍の乾燥速度であった。また、冬期と春先の季節別の乾燥速度は、後者が前者のおよそ1.5~2.0倍であった。さらにビニールハウス内の平衡含水率はおよそ10%であり、天然乾燥よりも低い含水率まで乾燥可能であることがわかった。

乾燥装置としてビニールハウスを利用する場合は、夜間及び冬期の温度保持が必要であると思われた。

キーワード：ビニールハウス、太陽熱乾燥、高温セット、材面割れ

1 試験の目的

近年、地球温暖化問題や原油価格の高騰など様々な方面から、化石燃料消費の抑制が求められ、バイオマスや太陽熱、風力、地熱といった自然エネルギーへの転換による省エネルギー化への期待が高まっている。

木材乾燥においても、一部の乾燥材生産者では、その熱源を重油や灯油を燃料とするボイラーから木屑焚きボイラーへ転換が図られてきている。

このような背景の中、筆者らは2004年度から農業用ビニールハウス（Vinyl House：VH）を利用した簡易で低コストで行える木材乾燥方法について検討してきた。

太陽熱乾燥の研究の歴史は古く、これまでにいくつもの研究事例が見られるが、近年、これまでに以上に注目されるようになった。

これまでの太陽熱乾燥は、そのほとんどが板材を対象とした研究であり、乾燥初期の材面割れ防止のため、ある程度の温湿度のコントロールが課題となった。

本研究では、全国的に見ても日照時間が長い本県の気象条件に着目し、農業用ビニールハウスを改良した簡易太陽熱乾燥装置を用いて、木材乾燥への適応性を検討した。

試験は、高温セット処理を行った構造材の乾燥を対象とし、「温度は出来る限り高く、湿度は出来る限り低く」という短期間乾燥を目的とした。従って、期待する温湿度が自然の中で容易に確保できることが理想的であるが、必要に応じて、人工的に温湿度を調整する装置配備も考えなくてはならない。夜間や冬期の温度確保のためには補助熱源の設置、低湿状態を確保するための排気ファンや除湿装置（ヒートポンプ利用）の設置等も改良型として考えていく必要がある。

初期含水率のばらつきの大きいスギでは、その

乾燥方法の一部に乾燥前の重量選別が提唱され、この方法を採用している大手企業も少なくない。

筆者らは、乾燥前の重量選別を採用することが困難な中小の乾燥材生産者に対して、乾燥後に含水率あるいは重量の選別を行い、基準に達していない未乾燥材の含水率を効率的に下げることが提案してきた。この方法の一つとしても、太陽熱を利用した方法が有効と考えた。

農業用ビニールハウスを利用した木材乾燥装置は以下の3種類の乾燥の一部として位置付けることができる。

- (1) 高温セット（1日程度）→太陽熱乾燥（含水率20%以下）
- (2) 人工乾燥材（ばらつきが大きい）→重量（含水率）選別→重量材・高含水率材→太陽熱乾燥
- (3) 温湿度の調整が必要ない材（板材や平割材）の太陽熱乾燥（含水率10~15%）

また、太陽熱乾燥法の特徴は以下の通りである。

- 1) 熱源である太陽熱は無尽蔵、無公害である。
- 2) 天然乾燥よりも高い温度が確保でき、乾燥時間の短縮に効果がある。
- 3) 天然乾燥よりも低い仕上がり含水率が期待できる（およそ10%）。
- 4) 乾燥期間が長期間となるため仕上がり含水率のばらつきが少なくなる。
- 5) 乾燥時間は日照時間により左右される。

なお、本研究は、2004~2008年度の県単研究課題「カラマツ円柱加工材及びカラマツ平角材の乾燥技術の開発」で実施した。結果の一部は第56回日本木材学会大会（秋田）で発表した。

2 試験の方法

乾燥試験は、全3回行った。

- 2.1 試験1（冬期~夏期乾燥（6か月間））
（カラマツ：2005年2月~8月）

東信産のカラマツ丸太を製材し、高温用蒸気式木材乾燥装置により高温セット処理を行った13.7×13.7×400cmの心持ち柱材6本と13.7×25.5×400cmの心持ち桁材8本を供試材とした。

高温セット処理は、95℃の蒸煮を6時間行った後、乾球温度120℃、湿球温度90℃の高温低湿処理を24時間行った。

柱材と桁材は、予め生材含水率がほぼ均等になるように2グループに分け、1グループを高温セット+ビニールハウスを利用した太陽熱乾燥用（以下、高温セット+VH材）、もう1グループを高温セット+屋外天然乾燥用（以下、高温セット+天乾材）（写真-1, 2）とした。

試験開始後、定期的に試験材の重量を測定した。また、ビニールハウス内と屋外の温湿度及び両環境下に置かれた材温を、ティアンドデイ社製の「おんどとり TR-72S」により連続的（1時間毎）に測定した。

なお、材温測定は、高温セット処理を行った4m柱材を中央部で二分し、一方を高温セット+VH材として、もう一方を高温セット+天乾材として、それぞれの材の中心部に温度センサーを埋め込んで行った。

乾燥試験は2005年2月15日から開始した。



写真-1 構内に設置されたビニールハウス（右）とコントロール材の置かれた天然乾燥場（左）の様子



写真-2 ビニールハウス内に置かれた4m柱材と桁材

2.2 試験2（夏期～冬期乾燥（4か月間））

（カラマツ：2005年8月～12月）

13.8×25.7×400cmの東信産カラマツ心持ち桁材8本の高温セット処理材を供試材とした。

高温セット処理は試験1と同様に、95℃蒸煮を6時間行った後、乾球温度120℃、湿球温度90℃の高温低湿処理を24時間行った。

処理を行った8本の材は、長さ方向に中央部で二分し、切断面をシリコンとラップでコーティングした。この内、一方を屋外で天然乾燥（高温セット+天乾材）し、もう一方をビニールハウス内で乾燥した（高温セット+VH材）（写真-3, 4）。

材温測定は、1対の高温セット+天乾材と高温セット+VH材の桁材について行い、温度センサーを材中心部に埋め込み測定した。また、これと併せて屋外とビニールハウス内の温湿度を1時間毎にティアンドデイ社製の「おんどとり TR-72S」により測定した。

乾燥は2005年8月4日から開始した。



写真-3 コントロール材の置かれた天然乾燥場（左）とビニールハウス（右）の様子



写真-4 ビニールハウス内の2m桁材

2.3 試験3 (冬期～春期乾燥 (7か月間))

(スギ: 2008年11月～2009年6月)

根羽村産スギの 13.5×34.5×400cm の心持ち平角材 3本, 13.5×25.5×400cm の心持ち平角材 4本, 13.5×13.5×400cm の心持ち正角材 3本を供試材とした。これらを同時に高温セット処理 (95℃蒸煮を 6時間行った後, 乾球温度 120℃湿球温度 90℃の高温低湿乾燥を 24時間) し, 試験2と同様の試験を行った。

乾燥に使用したビニールハウスはビニールを二重に張った構造とした (写真-5～7)。

温湿度は, 機器の故障により測定できなかった。乾燥は 2008年11月19日から開始した。

なお, 11月から翌年2月までのビニールハウスに日の当たる時間帯が, 周辺の木々によりおよそ 10時から 16時頃であったため, 日照時間は, 1日6時間程度であった。



写真-5 二重張り構造のビニールハウス (右) と屋根付き天乾燥場 (左)

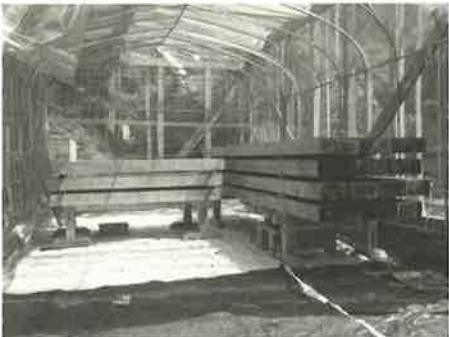


写真-6 ビニールハウス内部の試験材



写真-7 屋外屋根付き天乾燥場の試験材

3 ビニールハウス乾燥装置

試験に使用したビニールハウス乾燥装置を図-1, 2に示した。できるだけコストを掛けないことを基本に, 乾燥装置の設計には次の点に考慮した。

- (1) 汎用性の高い農業用ビニールハウスとする。
- (2) 特別な集熱器や補助熱源を設けず, 極力低コストを追求する。
- (3) 地面からの湿気防止と若干の断熱のため, 地面をビニールで覆う (コンクリートでも構わない)。
- (4) ビニールハウス内の温度を確保するため外側に木製軸組みを設置してビニール張りの, 二重構造とした (図-2, 試験3で使用)。

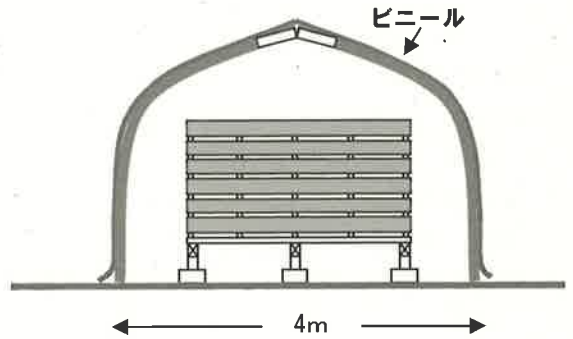


図-1 初期型ビニールハウス (試験1, 試験2で使用)

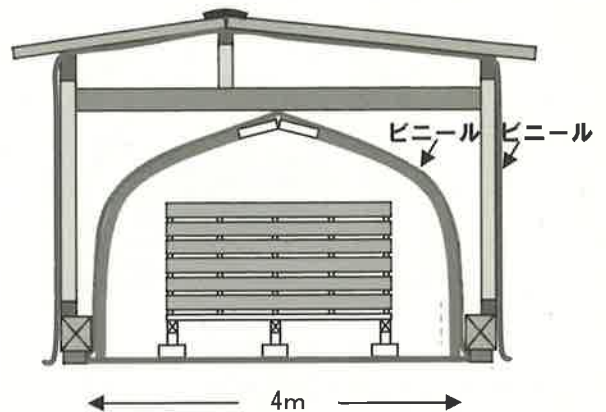


図-2 改良型ビニールハウス (試験3で使用)

試験 1 と試験 2 で使用した初期型のビニールハウスは、一重のビニール張りで最もシンプルなものであり (図-1), 試験 3 の改良型のビニールハウスは、この上に木造の軸組みで上屋を建て、全面をビニールで覆い二重張りの構造とした。

収容材積は、いずれも内側のビニールハウスの内寸 (W4000mm, H2300mm, D5400mm) に制約されるため、3m柱材でおよそ 13m³ (7 列×10 段×3 山) が収納可能である。

二重張り構造の改良型ビニールハウスは様々な設計が可能であり、図-3.3 と写真-8 はビニールハウスそのものを二重構造としたもの、図-3.2 は二重構造の内側を、木材の出し入れを容易に出来るよう四角にしたもの、図-3.3 は試験 3 に使用したものをより高性能にしたものである。

また、太陽熱利用のビニールハウス乾燥では、雨天、曇天日や夜間、さらに低温になる冬期の補助熱源の配備の検討が今後重要な課題となる。

図-4 は補助熱源を利用するタイプの模式図で、太陽熱の蓄熱 (温水やソーラーパネルの利用)、地熱、温泉熱等太陽熱以外の自然エネルギーの積極的な利用、また、ボイラーや木材乾燥機からの廃熱利用、或いは、工場残材等の燃焼ガス熱の利用等が考えられる。これらの熱源を効率的に利用するためには、片面建屋型のビニールハウスが配管・配電の都合からも効率的であると考え設計した。

収容材積はやや少量となるが、補助熱源の配置には様々な細工が可能となり、また、大型よりも小型の方が室内環境の調整管理が容易になると思われ、将来実用化に近い型式として期待できる。

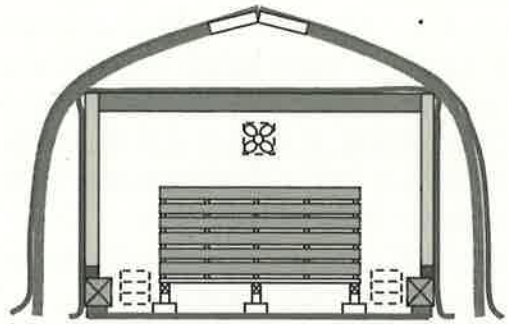


図-3.2 発展型ビニールハウス
(内張り木造, 外張りビニールハウス)

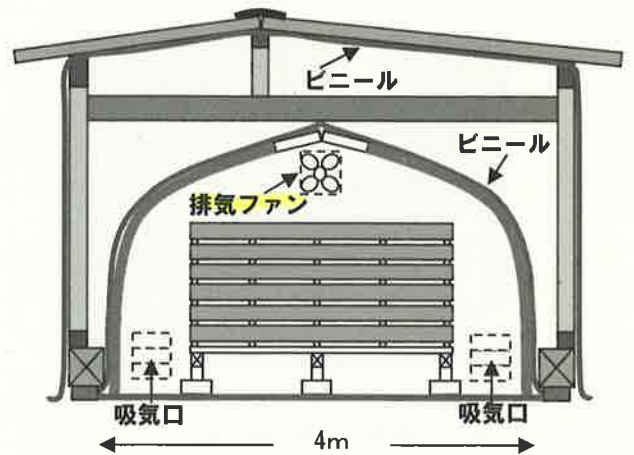


図-3.3 発展型ビニールハウス
(内張りビニールハウス, 外張り木造)

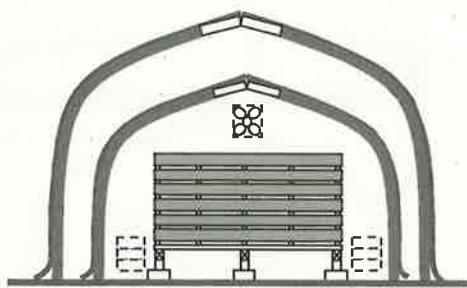


図-3.1 発展型ビニールハウス
(二重構造ビニールハウス)



写真-8 現在, 実験中の二重構造ビニールハウス
(2009. 11. 18)

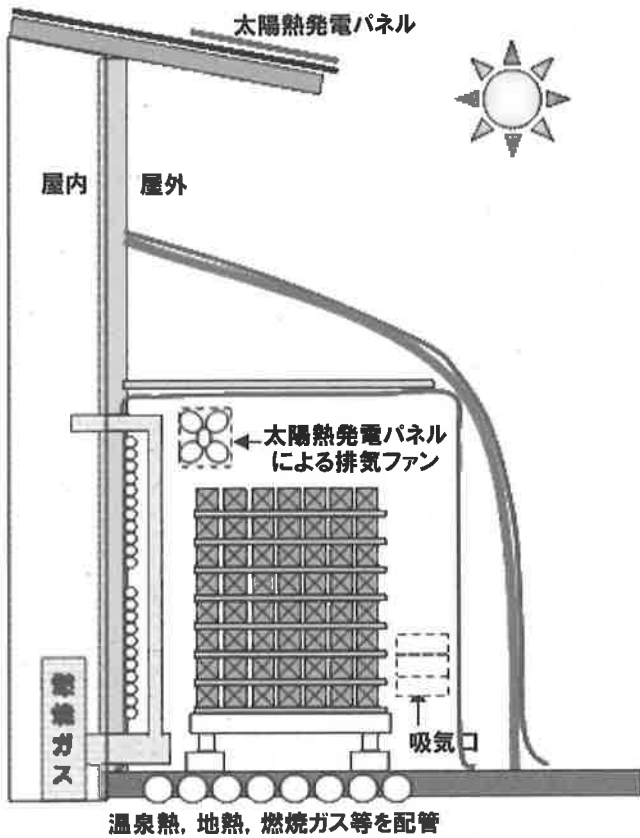


図-4 補助熱源配管のビニールハウス (片面壁構造)

4 試験の結果

4.1 試験 1 (冬期～夏期乾燥 (6 か月間))

(カラマツ: 2005 年 2 月～8 月)

4.1.1 高温セット後の含水率と乾燥後の含水率

生材時, 高温セット処理後及び 6 か月乾燥後の含水率を表-1 に示した。

表-1 各測定時における含水率 (上段: 最小～最大, 下段: 平均) (%)

| 【柱材】 | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 乾燥方法 | 生材時 | 高温セット後 | 6 か月乾燥後 |
| 高温セット+太陽熱乾燥 | 34.2~40.8 | 15.7~21.5 | 10.6~13.3 |
| | 38.0 | 19.3 | 11.9 |
| 高温セット+天然乾燥 | 36.9~42.8 | 17.4~22.0 | 15.0~17.0 |
| | 40.3 | 19.8 | 15.7 |
| 【桁材】 | | | |
| 乾燥方法 | 生材時 | 高温セット後 | 6 か月乾燥後 |
| 高温セット+太陽熱乾燥 | 46.3~47.6 | 21.6~28.3 | 15.2~19.9 |
| | 47.0 | 25.4 | 17.3 |
| 高温セット+天然乾燥 | 44.4~47.8 | 22.9~26.4 | 19.3~23.2 |
| | 46.4 | 25.0 | 20.7 |

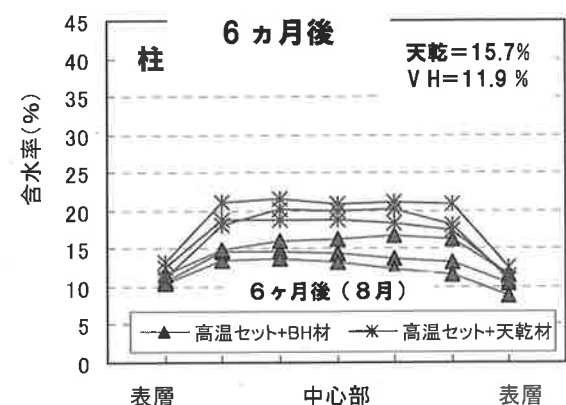
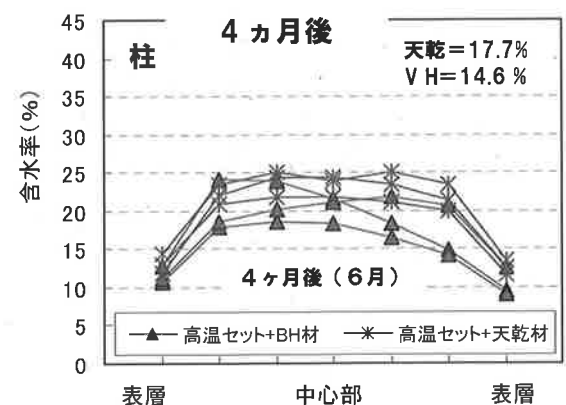
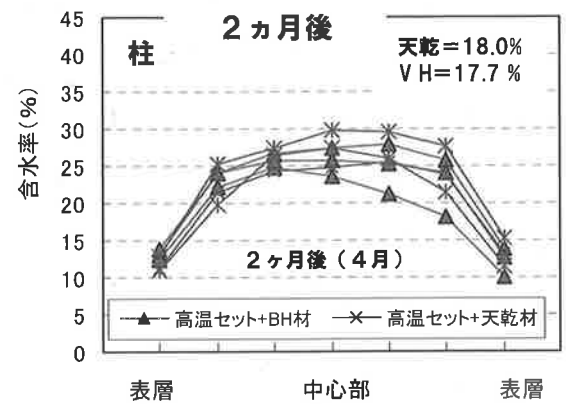
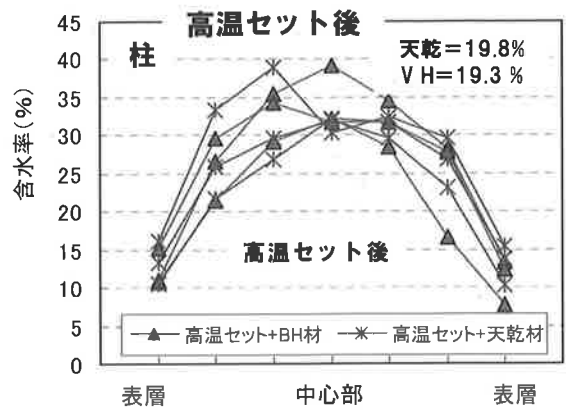


図-5 カラマツ柱材の幅方向の材内水分傾斜の変化

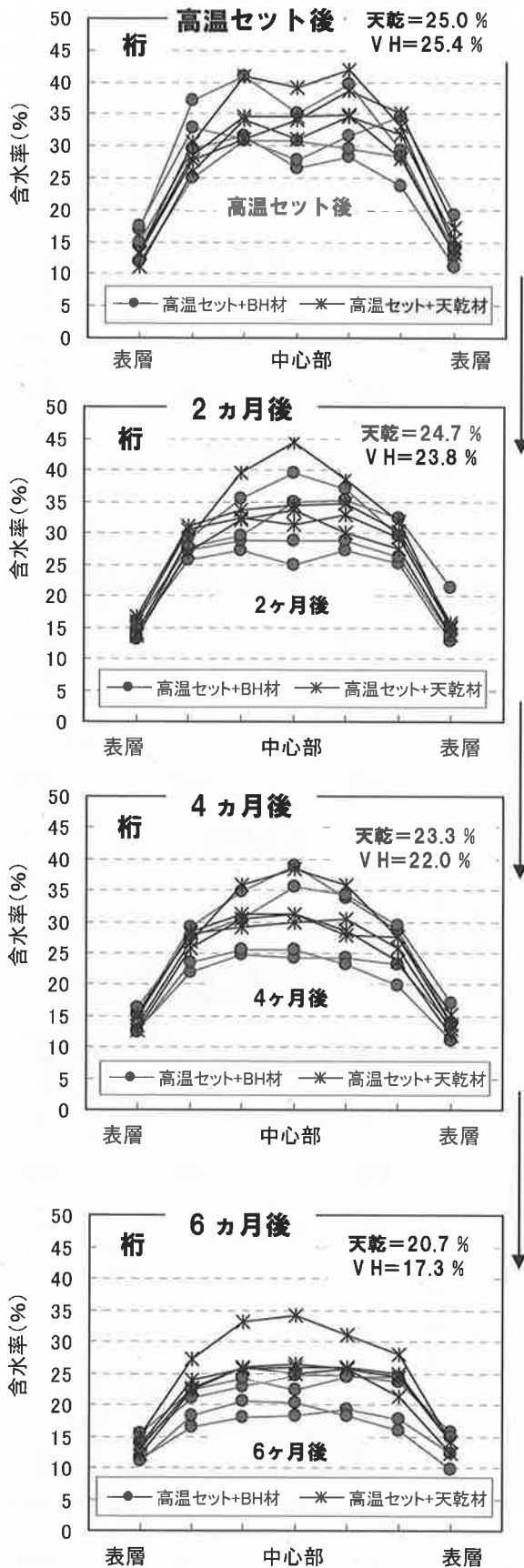


図-6 カラマツ桁材の幅方向の材内水分傾斜の変化

1) 柱材の含水率

生材時含水率が 40%程度あった柱材は、高温セット処理後には約 20%に半減した。

その後、屋外での天然乾燥とビニールハウス (VH) 乾燥を同時に開始し、両者の乾燥の進行状況を観察した。

試験を終了した 6 か月後では、「高温セット+天乾材」の含水率の平均が 15.7%であったのに対し「高温セット+VH 材」では 11.9%であった。この値は、通常の天然乾燥では到達困難な数値であり、VH 乾燥の長所として期待される。

また、乾燥終了時の材内水分傾斜を見ると、表層の含水率は同程度であるのに対し、中心部の含水率は、「高温セット+VH 材」が「高温セット+天乾材」よりおよそ 5%低い 15%となり、両者に差が見られた (図-5 最下図)。

2) 桁材の含水率

生材時に約 47%であった桁材は、高温セット処理後に約 25%となり、柱材同様に、高温セット後には生材時の含水率よりおよそ 20%減少した。

試験を終了した 6 か月後では、「高温セット+天乾材」の含水率の平均が 20.7%であったのに対し「高温セット+VH 材」では 17.3%であった。高温セット処理後の含水率が柱材よりも 5%程度高かったため、この差が最終的にも残った。

材内水分傾斜 (図-6) は、「高温セット+VH 材」でも中心部の含水率の低下が柱材に比べ遅く、試験終了時の 6 か月後でも 18~25%であった。

このように含水率の低下がやや遅い状況であったが、VH 乾燥は、試験後半が夏期で、ハウス内の温度が確保できたことから、「高温セット+VH 材」と「高温セット+天乾材」に差が出始めた。

表層の含水率は、高温セット処理後から最終までほぼ 15%であったが、中心部の含水率の低下が遅いことから、桁材の乾燥は、柱材に比べかなり困難であることが改めて認められた。

4.1.2 乾燥環境の温湿度と材温

表-2, 図-7~9 にビニールハウス内と屋外天乾場における温湿度及び材温の月別変化を示した。VH 内の湿度については、試験材が高温セット処理材であるため、材面割れの心配が無いことから、できるだけ低いことを期待した。これについて、昼間の湿度はほぼ期待通り 50%を下回り、4月に最低値の 35%を記録した。夜間は温度低下のため湿度は上昇し、どの月においても 50%以上であった。VH 内と屋外との湿度差は、昼間、夜間ともおよそ 10~20%であった。

表-2 ビニールハウス内及び屋外天乾場の月別湿度・温度・材温（昼間と夜間）

| | 湿度 | | | | 温度 | | | | 材温 | | | |
|-----|-------------------|----|-------------------|----|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|
| | 昼間の平均 (7時~18時) | | 夜間の平均 (19時~6時) | | 昼間の平均 (7時~18時) | | 夜間の平均 (19時~6時) | | 昼間の平均 (7時~18時) | | 夜間の平均 (19時~6時) | |
| | ハウス内 | 屋外 | ハウス内 | 屋外 | ハウス内 | 屋外 | ハウス内 | 屋外 | ハウス内 | 屋外 | ハウス内 | 屋外 |
| 2月 | 53 | 64 | 60 | 74 | 9.0 | 0.3 | 1.0 | -2.5 | 6.6 | 0.1 | 3.5 | -1.4 |
| 3月 | 45 | 56 | 57 | 69 | 14.4 | 4.2 | 4.5 | 0.9 | 11.4 | 4.7 | 7.2 | 2.2 |
| 4月 | 35 | 51 | 54 | 67 | 24.4 | 11.7 | 11.1 | 7.5 | 20.5 | 12.4 | 14.4 | 9.3 |
| 5月 | 43 | 50 | 51 | 74 | 26.0 | 16.7 | 16.9 | 11.3 | 25.1 | 18.4 | 18.9 | 13.7 |
| 6月 | 42 | 61 | 57 | 80 | 34.1 | 22.4 | 23.3 | 18.5 | 29.8 | 24.1 | 25.7 | 20.9 |
| 7月 | 51 | 69 | 63 | 85 | 34.9 | 24.1 | 24.8 | 20.6 | 31.0 | 25.7 | 27.1 | 22.5 |
| 8月 | 49 | 70 | 69 | 87 | 36.3 | 24.8 | 25.0 | 21.5 | 32.4 | 25.4 | 28.9 | 23.8 |
| 9月 | 49 | 71 | 66 | 86 | 32.2 | 21.9 | 21.8 | 18.8 | 28.6 | 21.9 | 26.2 | 21.5 |
| 10月 | 56 | 75 | 69 | 89 | 21.6 | 15.2 | 14.2 | 12.4 | 18.4 | 14.5 | 17.4 | 14.2 |
| 11月 | 48 | 59 | 62 | 74 | 13.8 | 7.9 | 5.4 | 4.4 | 9.3 | 6.4 | 9.2 | 6.2 |
| 12月 | 49 | 62 | 62 | 70 | 8.3 | 1.3 | 1.4 | -0.8 | 4.5 | 0.5 | 4.3 | 0.3 |

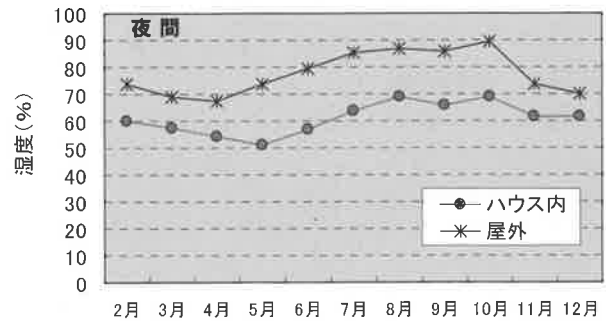
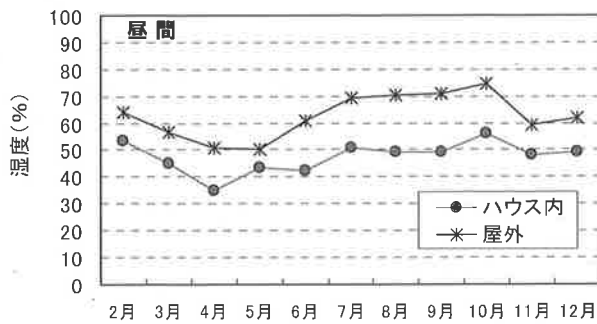


図-7 ビニールハウス内及び屋外天乾場の湿度変化 (2005.2~12)

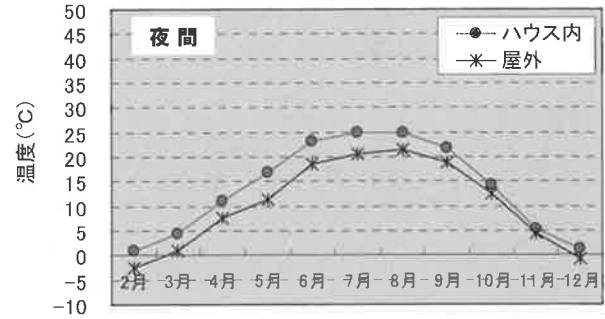
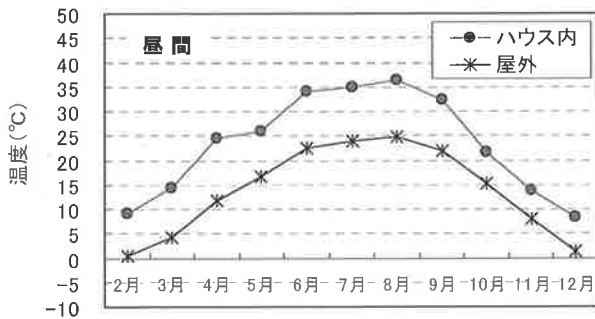


図-8 ビニールハウス内及び屋外天乾場の温度変化 (2005.2~12)

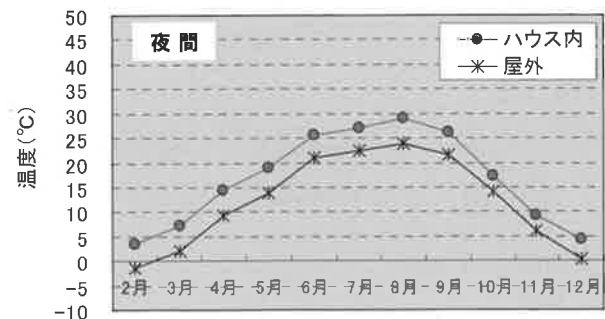
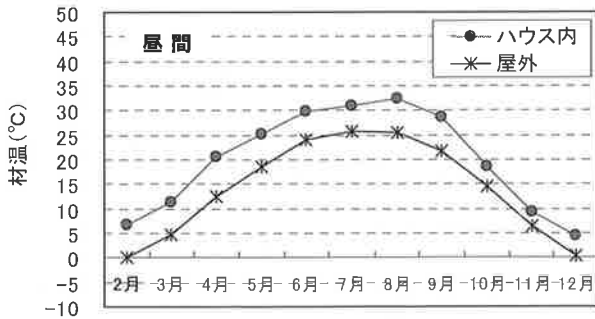


図-9 ビニールハウス内及び屋外天乾場の材温変化 (13.5cm 正角材中心部)

VH 内と屋外の温度を比較したところ昼間は屋外に比べ VH 内の方が冬期ではおよそ 5℃、夏期では 10℃高かった。また、夜間は VH 内の温度は屋外温度に近づき、その差は冬期ではおよそ 2℃、夏期で 5℃であった。

材温は、VH 内と屋外で、昼間、夜間とも 5℃程度の差があった。夏期に最高材温を記録し、8月昼間の屋外材温が 25℃であったのに対し、VH 内材温は 32℃であった。また、8月夜間の屋外材温が 24℃であったのに対し、VH 内材温は 29℃であった。

湿度、温度、材温の状況から見ても、VH 内での木材乾燥は、屋外天然乾燥に比べ、乾燥の促進効果が高かった。

4.2 試験 2 (夏期～初冬乾燥)

(カラマツ桁材：2005年8月～12月)

4.2.1 乾燥経過

表-3 に生材時、高温セット処理後、約 5 か月後の含水率を示した。また、図-10 に各乾燥における含水率変化を示した。

高温セット処理後に平均で 22.6%あった含水率は、乾燥 2 か月後には「高温セット+天乾材」、「高温セット+VH 材」でそれぞれ 21.2%、18.8%となり 2.4%の差が生じた。また、乾燥約 5 か月後にはそれぞれ 20.1%、17.4%となり、

表-3 各測定時における含水率 (%) -全乾法-
(上段：平均、下段：最小～最大)

【桁材】

| 乾燥方法 | 生材時 | 高温セット処理後 | 約5か月乾燥後 |
|-------------|-----------|-----------|-------------------|
| 高温セット+太陽熱乾燥 | 39.7 | 22.6 | 17.4 15.5～20.9 |
| 高温セット+天然乾燥 | 34.8～50.3 | 19.1～24.5 | 20.1 18.2～21.7 |

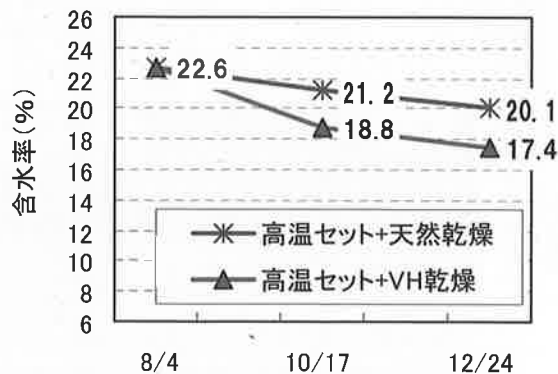


図-10 含水率の減少経過

2.7%の差となった。両者の含水率差が、後半 3 か月でそれほど大きくなかったのは、両乾燥環境での温湿度差と材温差が 8～10 月に大きく、11～12 月には小さかったことが影響しているものと思われた。このことは表-4 に示した気候値平衡含水率からも判断された。

4.2.2 材内水分傾斜の変化

図-11、12 に高温セット処理後の水分傾斜と乾燥約 5 か月後の水分傾斜を、厚さ方向 (短い方向) と幅方向 (長い方向) に分けて示した。

高温セット処理後の水分傾斜は、表層の含水率がほぼ 15%であったのに対し、中心部の含水率は 30%を中心に±5%程度ばらついていた。

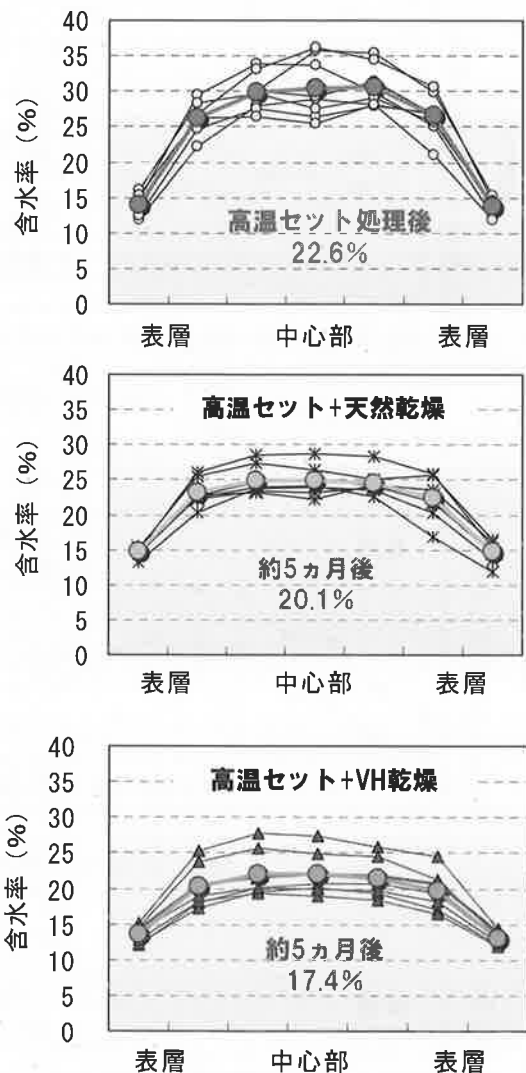
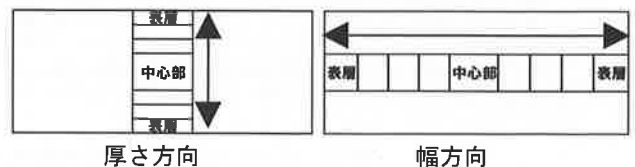


図-11 厚さ方向 (短い方向) の水分傾斜-全乾法-
(太線は平均値)



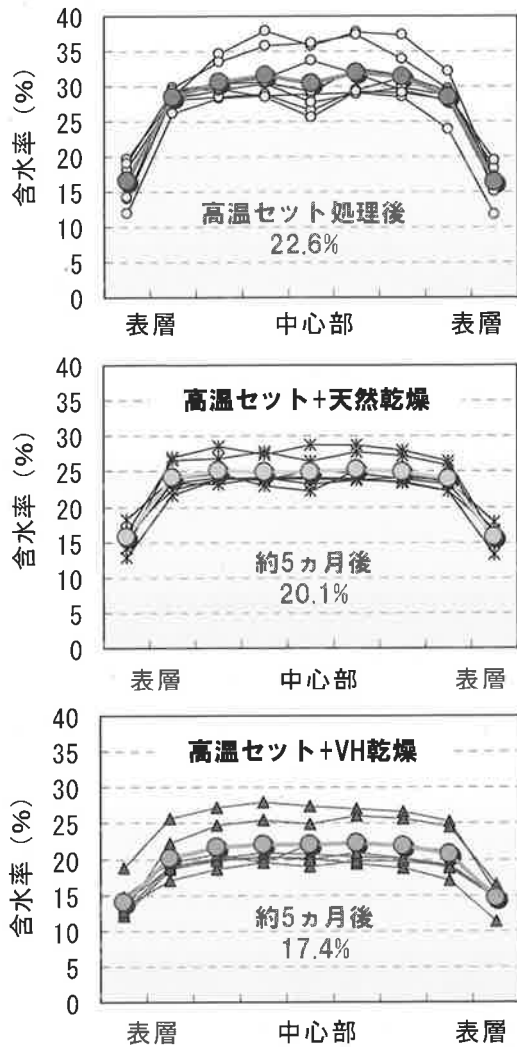


図-12 幅方向（長い方向）の水分傾斜-全乾法-
(太線は平均値)

乾燥約 5 か月後（乾燥終了時）の水分傾斜は、「高温セット+天乾材」と「高温セット+VH材」で差が見られた。

表層の含水率は両者とも高温セット処理後とほぼ同じ 15%程度であったが、中心部の含水率は、個々の材についてはばらつきはあるものの、平均値で見ると「高温セット+天乾材」が 25%程度であるのに対し、「高温セット+VH材」では 22%程度であった。

乾燥約 5 か月後の水分傾斜は、厚さ方向、幅方向ともに表層から 2cm 程度の部分で水分傾斜が大きく、熱処理による平衡含水率の低下が原因と考えられた。これは、高温セット処理材の特徴であると思われる。また、乾燥期間の割に含水率低下が遅いのも高温セット処理材の特徴であろう。

今後、さらに中心部の含水率を効率良く低下させる方法を、ビニールハウスの改良により考えていく必要がある。

4.2.3 材面割れと内部割れ

乾燥期間を通じて、「高温セット+天乾材」及び「高温セット+VH材」に材面割れの延長はなかった。

また、乾燥終了時に試験材中央部にて内部割れの有無を観察したが、両者とも内部割れは発生していなかった（写真-9）。

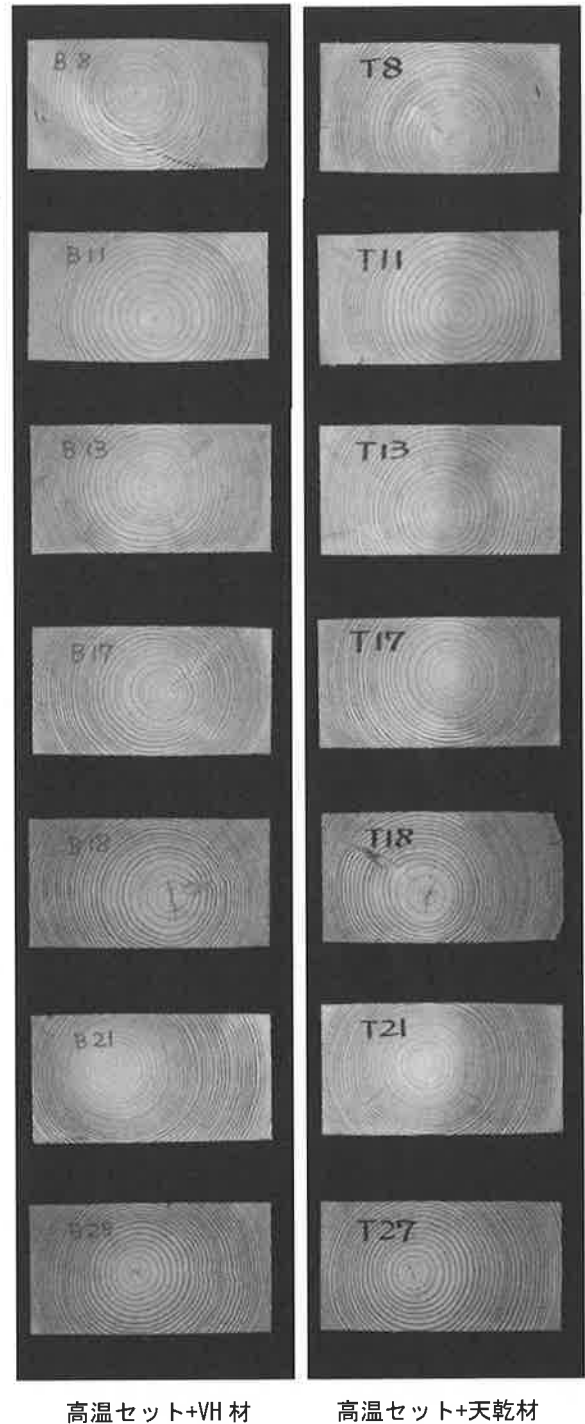


写真-9 乾燥終了後の内部割れの様子
(内部割れ無し)

4.2.4 乾燥環境の温湿度と材温

(1) 乾燥装置内の温湿度

表-4 に乾燥環境の温湿度とこれに対応した気候値平衡含水率を示した。

ビニールハウス内と屋外の温度差は、8～9月においては6～7℃あり、10月～12月では3～4℃であった。また、湿度差は8～10月においては約20%と差が大きかったが、11月～12月では12%以下で差は小さくなった。

一般に木材を乾燥する場合、低含水率域の材に対しては、乾球温度が高い方が乾燥速度の短縮効果が大きくなるとされている。乾燥温度の高かったビニールハウス乾燥では、乾燥開始2か月間でその効果が含水率の差に表れた。

乾燥期間全体を考えると、「高温セット+天乾材」と比較したこの時間短縮は、大きな効果とは言えず、日没後急激に温度が低下する夜間の温度維持や屋外温度が低下する秋期から冬期にかけての温度維持対策が課題と考えられた。

「高温セット+VH材」と「高温セット+天乾材」の月毎の材温の差を表-5に、材温の変化を図-13に示した。

試験を開始した夏期では、「高温セット+VH材」と「高温セット+天乾材」に6℃の材温差が生じていたが、乾燥終期の初冬にはその差は3～4℃に縮まっていた。

表-4 屋外とビニールハウス (VH) 内における温湿度の月平均と気候値平衡含水率

| | 屋外の温湿度 | | | VH内の温湿度 | | | 両環境の差 | |
|-----|--------|-------|-------------|---------|-------|-------------|-------|-------|
| | 温度(℃) | 湿度(%) | 気候値平衡含水率(%) | 温度(℃) | 湿度(%) | 気候値平衡含水率(%) | 温度(℃) | 湿度(%) |
| 8月 | 22.5 | 79.7 | 15.3 | 29.4 | 61.2 | 10.6 | 6.9 | 18.5 |
| 9月 | 20.2 | 78.9 | 15.1 | 26.6 | 58.1 | 10.2 | 6.4 | 20.8 |
| 10月 | 13.7 | 82.7 | 16.9 | 17.6 | 62.9 | 11.5 | 3.9 | 19.8 |
| 11月 | 6.0 | 67.3 | 12.8 | 9.2 | 55.6 | 10.5 | 3.2 | 11.7 |
| 12月 | -1.9 | 60.3 | 11.7 | 1.8 | 59.0 | 11.4 | 3.7 | 1.3 |

表-5 材温の月平均 (℃)

| | 高温セット+天乾材 | 高温セット+VH材 | 差 |
|-----|-----------|-----------|-----|
| 8月 | 23.9 | 30.1 | 6.2 |
| 9月 | 21.7 | 27.3 | 5.6 |
| 10月 | 14.4 | 17.9 | 3.5 |
| 11月 | 6.3 | 9.3 | 3.0 |
| 12月 | -1.7 | 2.3 | 4.0 |

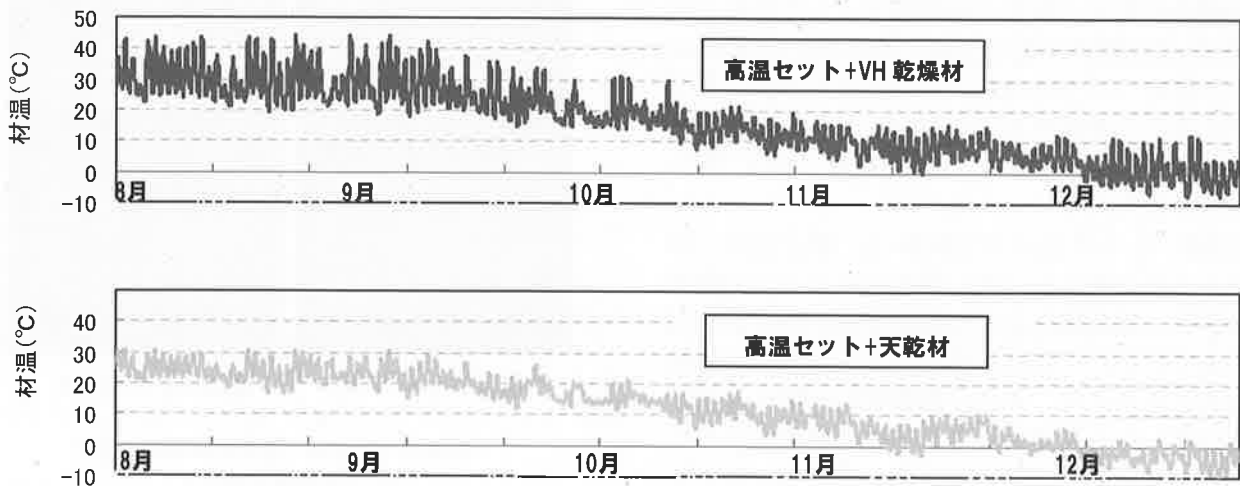


図-13 屋外天乾材とビニールハウス内乾燥材の材温変化 (カラマツ桁材中心部)

4.3 試験3 (冬期～初夏乾燥)

(スギ桁材：2008年12月～2009年6月)

試験3は、ビニールハウスを二重構造に改良して行った。

乾燥試験の様子を写真-10, 11に示した。



写真-10 太陽熱利用乾燥の様子
左：蒸気式木材乾燥装置での高温セット処理
右：ビニールハウス乾燥

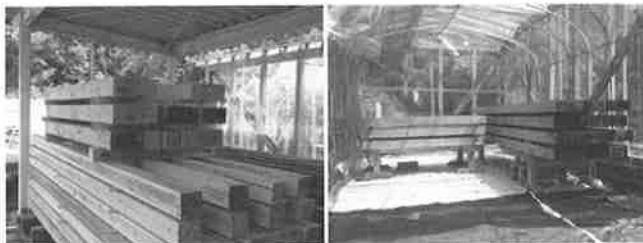


写真-11 乾燥室内の様子
左：屋外天乾燥場での乾燥
右：ビニールハウス内での乾燥

4.3.1 高温セット処理終了後と乾燥終了時の含水率

表-6に全試験材の乾燥過程での含水率を、図-14に6か月間の乾燥終了時の含水率を、高温セット処理後の含水率を含めて示した。

高温セット処理後のスギ材の含水率は、初期含水率が比較的一定しているカラマツ材と異なり、初期含水率のばらつきが処理後もそのまま残った状態となり、桁材では23.1%～61.5%、柱材では11.5%～32.0%と、非常にばらつきが大きかった。

図-15に既往のデータを含めて初期含水率と高温セット処理後の含水率の関係を示した。

高温セット処理後の含水率は、初期含水率と相関関係にあり、高温セット処理後の柱材や桁材の含水率は、初期含水率のおよそ1/2以下まで低下した。

図-16に高温セット処理後の含水率と乾燥終了時の含水率との関係を示した。

高温セット処理後の含水率は、乾燥終了時の含水率と相関関係にあったことから、セット後、既にばらつきの大きかった含水率は、そのまま乾燥終了時の仕上がり含水率にも反映し、天然乾燥、VH乾燥、何れも乾燥後の含水率に大きなばらつきが見られた。

表-6 乾燥過程での含水率 (全乾法) (%)

| 供試材 | | 初期含水率 | 高温セット後の含水率 | 高温セット+天然乾燥 A | 高温セット+太陽熱乾燥 B | 含水率差 A-B |
|----------------------|-------|-------|------------|--------------|---------------|----------|
| 桁大 (135×300×2000) | NO. 1 | 97.5 | 37.3 | 27.2 | 21.3 | 5.9 |
| | NO. 2 | 115.5 | 40.6 | 34.6 | 21.0 | 13.6 |
| | NO. 3 | 70.3 | 23.1 | 20.6 | 14.5 | 6.1 |
| 桁中 (135×255×2000) | NO. 1 | 88.8 | 31.2 | 22.8 | 17.2 | 5.6 |
| | NO. 2 | 67.8 | 25.8 | 20.4 | 15.6 | 4.8 |
| | NO. 3 | 121.6 | 61.5 | 34.4 | 31.1 | 3.3 |
| | NO. 4 | 102.0 | 27.6 | 17.4 | 16.3 | 1.1 |
| 柱 (135×135×2000) | NO. 1 | 55.1 | 11.5 | 11.9 | 9.3 | 2.6 |
| | NO. 2 | 93.2 | 28.3 | 24.0 | 15.5 | 8.5 |
| | NO. 3 | 101.4 | 32.0 | 21.4 | 19.8 | 1.6 |

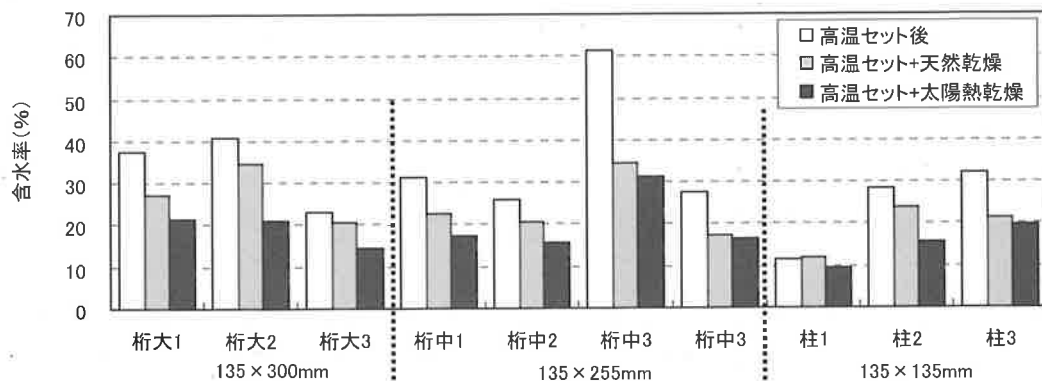


図-14 乾燥過程における含水率

スギ材はビニールハウス乾燥における仕上がりが含水率のばらつきが大きいことから、これをどのように均一に揃えるかが、今後の課題として残された。

なお、高温セット処理後の試験材の木口割れ、材面割れは少なく、その後の乾燥での割れの発生や延長は、天然乾燥、VH 乾燥、何れもほとんど無かった。むしろ、割れが閉じる傾向にあった。

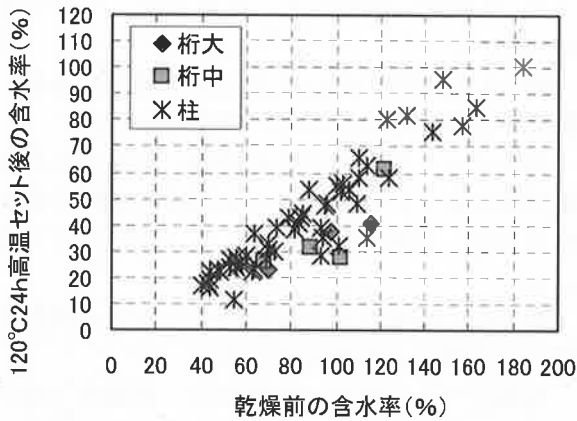


図-15 初期含水率と高温セット後の含水率との関係 (柱材のデータは他試験での既往の値も含む)

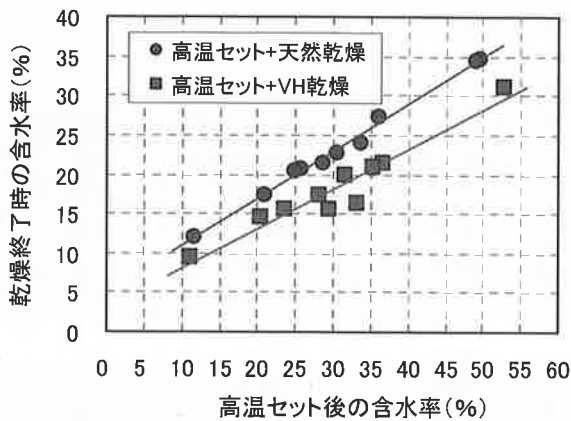


図-16 高温セット後の含水率と仕上げ含水率との関係

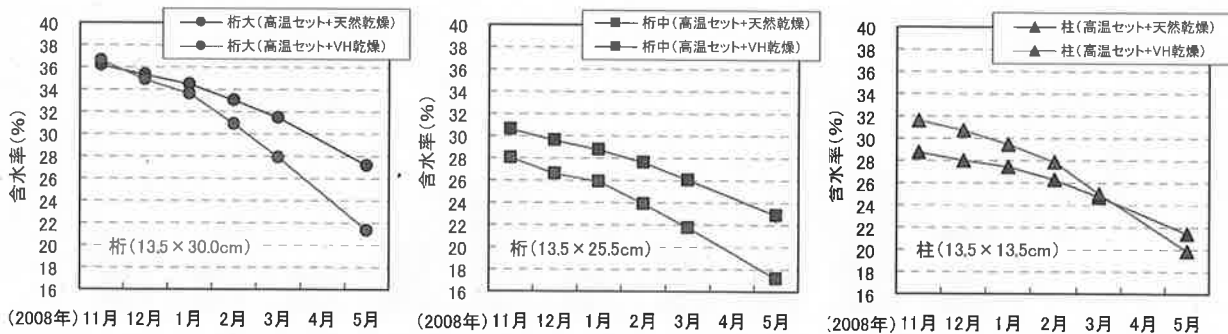


図-17 断面別の乾燥経過例

4.3.2 乾燥速度

図-17 に断面 $13.5 \times 30.0\text{cm}$ の大断面桁材、 $13.5 \times 25.5\text{cm}$ の中断面桁材、さらに $13.5 \times 13.5\text{cm}$ の柱材の 6 か月間 (2008.11.19 ~ 2009.5.25) の乾燥経過を示した。

どの断面材でも、乾燥初期の 11 月~2 月頃までが冬期ということもあり乾燥は緩やかに推移し、春先の 3 月頃からは両乾燥方法とも急激に乾燥が進行した。

冬期と春先の季節による乾燥速度の比は、およそ 1.5~2.0 倍であった。

「高温セット+天然材」と「高温セット+VH 材」の速度差は、冬期より温度が上がる春先の方が大きく現れた。

11 月~2 月 (冬期) までの乾燥速度は、「高温セット+天然材」:「高温セット+VH 材」で、大断面桁材では、1.04%/月:1.90%/月、中断面桁材では、1.02%/月:1.39%/月、柱材では、0.78%/月:1.28%/月であり、いずれもビニールハウス効果が表れたと判断した。

3 月~5 月 (春先) までの乾燥速度は、「高温セット+天然材」:「高温セット+VH 材」で、大断面桁材では、1.94%/月:3.20%/月、中断面桁材では、1.57%/月:2.22%/月、柱材では、1.63%/月:2.66%/月であり、いずれもビニールハウスの効果は大きかった。

「高温セット+天然材」と「高温セット+VH 材」の乾燥速度の比は冬期であっても、春先であってもほとんど変わりなく、VH 材の方が 1.4~1.8 倍の乾燥速度であった。

4.3.4 ビニールハウス内の平衡含水率

ビニールハウス内に置かれた木材が、最終的にどの程度の平衡含水率になるかを調査するため、写真-12 に示すように、直射日光の当たらない棧積み材の下部に高さ 24cm の土台を設け、この上に各種板材の試験材を設置した。試験材は、定期的に重量を測定し、試験終了時に全乾法により含水率を算出した。乾燥は 2008 年 4 月～9 月に行った。

平衡含水率測定用の試験材は、既に乾燥されている厚さ 24mm の人工乾燥材 (図 - 18 上図) と厚さ 15～18mm の天然乾燥・人工乾燥材 (図 - 18 下図) を準備した。

測定結果を図-18 に示した。板材の含水率は、設置後 1 か月程度で安定し、測定時のビニールハウス内の温湿度環境に対応して、含水率 10% を中心におよそ±1%の範囲内で変動した。



写真 - 12 平衡含水率測定用板材のビニールハウス内の設置位置

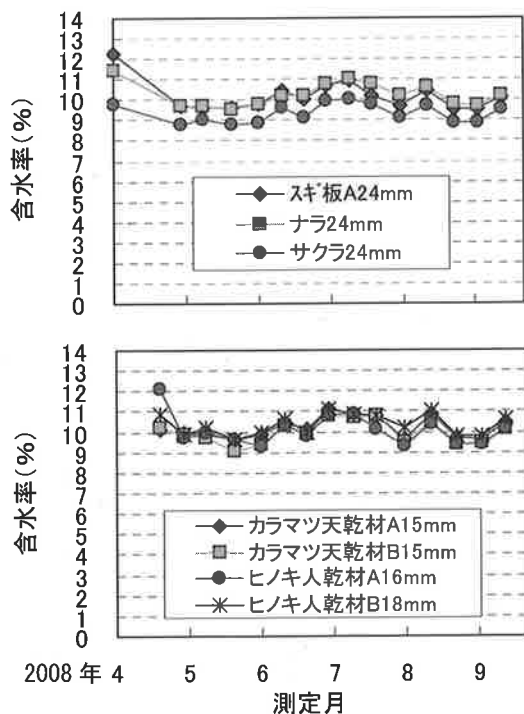


図 - 18 ビニールハウス内に置かれた板材の含水率変動 (2008.4月～9月)

ビニールハウス乾燥での最終到達含水率は、天然乾燥では到達不可能な 10% が可能であると思われた。

柱材や桁材といった断面の大きな構造材は、夜間や冬の温度を補助熱源等により確保できれば、より短期間の乾燥で D15 の乾燥材生産が可能であると思われた。

参考までに、柱や桁材の平衡含水率については、ビニールハウスの建築当時から、その中に 3 年間ほど置かれていた高温セット処理材の含水率を全乾法により測定したが、3 本のスギ柱材 (断面 11cm×11cm) では、9.0%、9.1%、9.4% であり、2 本のカラマツ桁材 (断面 13cm×25cm) では 9.6%、8.6%、また、4 本のアカマツ桁材 (断面 12cm×15cm) では 10.0%、10.4%、11.0%、11.1% であった。

6. まとめ

(1) 高温セット処理後の含水率は、カラマツ柱材がおよそ 20%、桁材がおよそ 25% となった。また、スギでは初期含水率のばらつきの影響がそのまま処理後の含水率に反映され、柱材が 10～30%、桁材が 20～60% となった。

(2) カラマツの高温セット処理後の水分傾斜は、柱材及び桁材で、表層含水率が 20% 以下で、中心部含水率はおよそ 25～35% であった。

(3) 冬期と春先の季節による乾燥速度は、後者が前者の 1.5～2.0 倍であった。

(4) 「高温セット+天乾材」と「高温セット+ビニールハウス乾燥材」の乾燥速度の差は冬期であっても、春先であってもほとんど変わりなく、ビニールハウス乾燥材の方が 1.4～1.8 倍の乾燥速度であった。

(5) ビニールハウス内の平衡含水率はおよそ 10% であった。

【参考文献】

- 1) CF ソーラーキルンドライヤー (空気集熱式木材乾燥設備), 住友金属工業株式会社プラント部
- 2) 温熱用新蓄熱物質の開発・蓄熱技術の調査と蓄熱物質の目標物性値の検討, 電中研報告, 報告書番号: M05010
- 3) 野呂田隆史, 千葉宗昭, 大山幸夫: 木材乾燥における太陽熱の利用 (第 1 報), 北海道林産試月報, (1980-10)
- 4) 伊藤久志, 大石件次, 野橋建三: 太陽熱を利用した木材の除湿乾燥について, 神長邦雄, 木材工業 Vol.36-5, p 217-223, (1981)
- 5) 野呂田隆史, 千葉宗昭, 大山幸夫: 木材乾燥

- における太陽熱の利用 (第 2 報), 北海道林産試月報, (1981-8)
- 6) 野呂田隆史, 千葉宗昭, 大山幸夫: 太陽熱利用木材乾燥に関する研究, 北海道林産試研究報告 72 号, p 97-125, (1983)
- 7) 林産試型ソーラードライヤー施工マニュアル, ウッディエイジ, 第 32 巻, 372 号, p 28-38, 北海道林産技術普及協会, (1984)
- 8) 中寫厚, 野呂田隆史, 千葉宗昭, 奈良直哉: ソーラードライヤーの性能試験, 北海道林産試月報, No.386, p 15-20 (1984)
- 9) 中寫厚, 千葉洋市, 奈良直哉: 太陽熱利用木材乾燥 (第 1 報), 北海道林産試月報, No.417, p 1-7 (1986)
- 10) 中寫厚, 千葉洋市, 奈良直哉: 太陽熱利用木材乾燥 (第 2 報), 北海道林産試月報, No.419, p 10-16 (1986)
- 11) 小林好紀: 太陽熱を利用した除湿乾燥装置, 木材工業 Vol.43-6, p 262-267, (1988)
- 12) 富田守泰: 木材乾燥室の熱効率向上に関する研究, 岐阜県林業センター研究報告 16, (1988)
- 13) 中野正志, 東野正, 佐々木通光: 太陽熱を利用した針葉樹建築材の天然乾燥の促進 (第 1 報), 岩手県林業試験場成果報告第 22 号, p 63-68, (1989)
- 14) 中野正志, 東野正: 太陽熱を利用した針葉樹建築材の天然乾燥の促進 (第 2 報), 岩手県林業試験場成果報告第 23 号, p 27-36, (1990)
- 15) 吉田孝久: 建築用材の特殊乾燥法, 建築用針葉樹乾燥技術研究会 (日本木材乾燥施設協会), 要旨集, p 12-15, (1992)
- 16) 稲葉英男, 李中民: 沸騰凝縮現象を利用した形状安定化架橋ポリエチレン潜熱蓄熱材充填蓄熱槽の蓄熱特性, 日本機械学会論文集 (B 編) 63 巻 614 号, No.97-0089, p 182-189, (1997.10)
- 17) 藤内崇, 武山倫, 吉田孝久: 外気導入式ソーラー乾燥庫による木材乾燥システムの研究, 日本太陽/風力エネルギー学会講演論文集, p 351-354, (2002)
- 18) 武山倫, 藤内崇, 吉田孝久: 太陽熱空気集熱式ソーラーと高温低湿処理による木材乾燥の可能性 (1), 第 52 回日本木材学会大会研究発表要旨集, (2002)
- 19) 藤内崇, 武山倫, 吉田孝久: 太陽熱空気集熱式ソーラーと高温低湿処理による木材乾燥の可能性 (2), 第 52 回日本木材学会大会研究発表要旨集, (2002)
- 20) 藤内崇, 武山倫, 吉田孝久: 高温低湿処理後にソーラー乾燥をする乾燥技術 (1) -含水率経過・含水率傾斜の比較検証-, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, (2003)
- 21) 武山倫, 藤内崇, 吉田孝久, 吉野安里, 徳本守彦: 高温低湿処理後にソーラー乾燥をする乾燥技術 (2) -表面割れ・内部割れ・内部応力の比較検証-, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, (2003)
- 22) 蛭原啓文, 小田久人, 迫田忠芳: 高温低湿処理スギ心持ち柱材の天然乾燥 (第 3 報), 第 54 回日本木材学会大会研究発表要旨集, (2004)
- 23) 吉田孝久, 伊東嘉文, 橋爪丈夫: カラマツ桁材の効率的乾燥技術の開発 - 高温セット材の簡易太陽熱乾燥 -, 第 56 回日本木材学会大会研究発表要旨集 F09-1015, (2006)
- 24) 金山公夫, 馬場弘, 瀬戸英彦, 菅原智美: 太陽熱利用木質系材料の乾燥に関する研究開発の概要, 日本機械学会北海道支部第 45 回講演要旨集, p 155-156, (2006)
- 25) 古賀信也, 大崎繁, 山内康平, 壁村勇二, 扇大輔, 菅原智美, 馬場弘, 金山公夫: 太陽熱利用木材乾燥装置によるカラマツ製材品の乾燥, 太陽/風力エネルギー講演論文集, p 321-324, (2006)
- 26) 土橋英亮: 太陽熱木材乾燥装置の性能向上に向けて, ウッディエイジ, 2008.7, p 3-4
- 27) 富田守泰: ソーラー乾燥とドライグセットによるスギ構造材の乾燥速度効果について, 日本木材学会中部支部大会講演要旨集第 18 号, p 56-57, (2008)
- 28) 鈴木敏司: 無加温温室の可能性, ウッディエイジ, 2009.8, p 5-7
- 29) 土橋英亮: 太陽熱を利用した木材乾燥装置について, ウッディエイジ, 2008.12, p 9-10

【特許関係】

- 1) 実用新案登録第 3085941 号, 木材の乾燥室装置, 出願日: 平成 13 年 11 月 12 日
- 2) 特許出願公開番号: 特開 2003-245906, 木材乾燥装置及び低温乾燥方法, 特許広報発行日: 平成 14 年 2 月 25 日
- 3) 特許出願公開番号: 特開 2007-298261, 完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置, 特許広報発行日: 2007 年 3 月 14 日