

ストックヤードにおける針葉樹構造材の天然乾燥

—各前処理を行った構造材の天然乾燥—

吉田孝久・伊東嘉文・松本寿弘*・佐藤明利**・武井富喜雄***

駒ヶ根市のストックヤードで針葉樹構造材の天然乾燥を行ったところ、ヒノキ135mm正角材が3ヶ月、スギ135mm正角材が5ヶ月で含水率20%を下回った。また、145×260mmのアカマツ桁材が4ヶ月、135×255mmのスギ桁材および145×260mmのカラマツ桁材が6ヶ月で含水率20%を下回った。なお、高温セット処理後に天然乾燥を行った材の乾燥期間も同程度であったが、乾燥終了時の材面割れ発生量は天然乾燥材と比べはるかに少なかった。含水率計が示す含水率は、全乾法含水率に比べて、乾燥初期に過小値を示したが、3ヶ月経過頃から近接した。

キーワード：天然乾燥、高温セット、ストックヤード、水分傾斜、寸法変化

1 緒言

間伐の推進により、県産針葉樹材の増産が見込まれることから、これら間伐材から製材される心持ちの柱材や桁材が増加すると考えられる。これらを高品質な建築材として使用する際には、予め乾燥して使用することが前提となり、その乾燥方法の一つとして天然乾燥があげられる。

最近、人工乾燥で消費される化石燃料の高騰および地球温暖化防止の面から、さらには、高温乾燥による木材の熱劣化等への懸念から、この天然乾燥が重要視されつつある。

本研究では、これらを背景として大型のストックヤードを利用して行う天然乾燥法と蒸煮や高温セットを前処理とする天然乾燥法について、乾燥日数や仕上がり状態等を検討した。

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。

2 試験の方法

2.1 試験材と乾燥条件

試験材の寸法、本数と乾燥条件を表1に示した。

- ①：天然乾燥のみ（以下、天然乾燥）
- ②：蒸煮処理+天然乾燥（以下、蒸煮+天乾）
- ③：蒸煮処理+高温セット処理+天然乾燥（以下、蒸煮+高温セット+天乾）

②の蒸煮処理は、ヤニ滲出防止を目的とし、アカマツとカラマツに対して行った。

③は全樹種に対して行い、この中の蒸煮処理は、ヤニ滲出防止に加え、材温の上昇と材の軟化を、また、高温セット処理は、材面割れ防止を目的として行った。

2.2 試験の手順

各試験材の寸法、重量、含水率計による含水率を乾燥前に測定した。天然乾燥は、駒ヶ根市地籍

大田切川土手横に位置するストックヤード（屋根付き天然乾燥場）で、柱材は2007年4月16日から10月17日まで6ヶ月間、桁材は翌年1月17日まで約9ヶ月間乾燥した（写真1）。

乾燥期間中、1ヶ月毎に寸法、重量、含水率計（MOCO2）での含水率を測定した（写真2～4）。

目標含水率を20%とし、乾燥試験終了時に、全試験材を林業総合センターに移動し、片木口から長さ方向におよそ1m入った部分で、定法により含水率試験片を切り出し、全乾法による含水率を求めた。この値を基に、各月の試験材の重量測定値から含水率を算出した。

なお、試験材の蒸煮処理（95℃/12h）及び高温セット処理（120℃/24h）は、林業総合センターの蒸気式木材乾燥装置で行った（写真5）。また、ストックヤード内の温湿度はT&D社の「おんどとりTR-72U」によりGL約1m高さで1時間毎に測定した（写真6）。

3 試験の結果

3.1 乾燥の経過（全乾法）

含水率20%を下回するのに要した乾燥時間を表2に、また、含水率の変動経過を図1～6に示した。

なお図中の、平均値は、初期含水率が異常に低かったスギ柱材（天然乾燥材1本及び高温セット+天乾材1本）とスギ桁材（天乾材1本）、及び特異的な乾燥経過を示したカラマツ桁材（高温セット+天乾材1本）を除いた値で示した。

3.1.1 柱材の天然乾燥

(1) ヒノキ柱材

天然乾燥材は、乾燥開始3ヶ月後に含水率20%を下回り、乾燥を終了した6ヶ月後では18%になった。

* 長野県木材協同組合連合会

** 元信州の木活用課

*** 信州木材認証製品センター検査員

表1 試験材の概要

部材	樹種	寸法 (mm)	乾燥方法	供試材本数
柱	ヒノキ	135×135×4000	①天然乾燥	3
			③蒸煮+高温セット+天乾	3
	スギ	135×135×4000	①天然乾燥	3
			③蒸煮+高温セット+天乾	3
桁	スギ	135×255×4000	①天然乾燥	3
			③蒸煮+高温セット+天乾	3
	アカマツ	145×260×4000	①天然乾燥	3
			②蒸煮+天乾	3
			③蒸煮+高温セット+天乾	3
	カラマツ	145×260×4000	①天然乾燥	3
			②蒸煮+天乾	3
			③蒸煮+高温セット+天乾	3



写真1 天然乾燥と試験材測定



写真2 寸法測定



写真3 重量測定



写真4 含水率計での含水率測定



写真5 蒸煮処理と高温セット処理



写真6 温湿度測定

表2 含水率20%を下回るまでに要した乾燥期間

部材	樹種	処理条件	断面寸法 (mm)	初期含水率 (%)	高温セット後の含水率 (%)	含水率20%を下回するのに要した乾燥期間
柱	ヒノキ	天然乾燥のみ	135×135	29.4	—	3ヶ月
		高温セット処理材		30.0	14.8	高温セット後
	スギ	天然乾燥のみ	135×135	139.4	—	5ヶ月
		高温セット処理材		77.2	27.6	3ヶ月
桁	スギ	天然乾燥のみ	135×255	77.0	—	6ヶ月
		高温セット処理材		75.1	43.8	6ヶ月
	アカマツ	145×260	天然乾燥のみ	39.6	—	4ヶ月
			蒸煮処理材	44.8	34.6	4ヶ月
			高温セット処理材	44.9	18.3	高温セット後
	カラマツ	145×260	天然乾燥のみ	44.7	—	6ヶ月
			蒸煮処理材	41.6	37.8	6ヶ月
			高温セット処理材	37.5	22.6	5ヶ月

一方、高温セット+天乾材は、高温セット処理を終了した時点で含水率はおおよそ15%であった。その後の天然乾燥では、ほとんど含水率の変化は見られず、この期間に材内の水分傾斜の緩和が進行したものと推測される。含水率は6ヶ月経過時でおおよそ14%となり、天然乾燥材との含水率差は約4%であった。

(2) スギ柱材

天然乾燥材の含水率は、乾燥開始後、ほぼ直線的に減少し、3ヶ月でおおよそ30%に達した。

その後、乾燥速度は低下したが、5ヶ月経過時で含水率は20%を下回り、乾燥を終了した6ヶ月経過時ではおおよそ18%になった。

高温セット+天乾材は、高温セット処理後の含水率が30%以下となり、20%を下回るのは乾燥開始から3ヶ月後で、6ヶ月経過時にはおおよそ16%になった。天然乾燥材と高温セット+天乾材の含水率差は約2%であった。

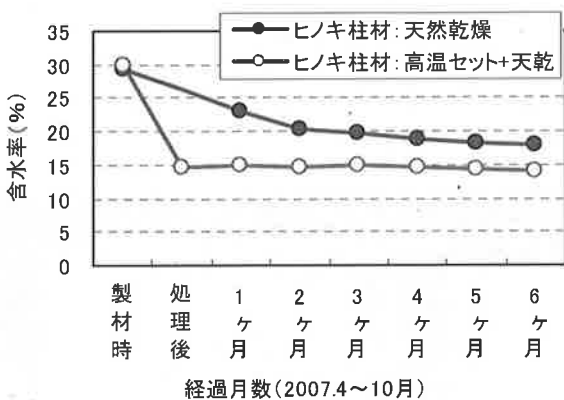


図1 ヒノキ柱材の含水率経過図
(上：平均値、下：全試験材)

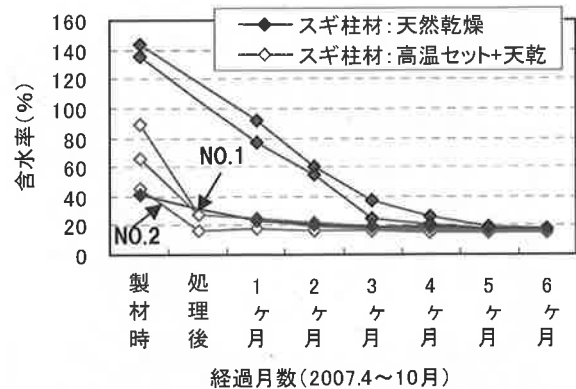
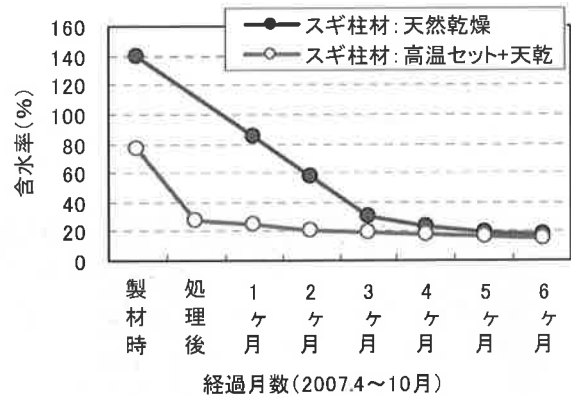


図2 スギ柱材の含水率経過図
(上：平均値 (NO.1、NO.2を除く)、下：全試験材)

3.1.2 桁材の天然乾燥

(1) スギ桁材

天然乾燥材の含水率は、1ヶ月经過時には半減し、およそ30~40%に達した。その後、漸減傾向を示し5ヶ月经過時に20%を下回り、9ヶ月经過時でおよそ19%になった。

一方、高温セット+天乾材では、高温セット処理後に含水率は既にほぼ半減しており、その後、6ヶ月经過時には20%を下回り、乾燥終了時の9ヶ月经過時ではおよそ18%になった。

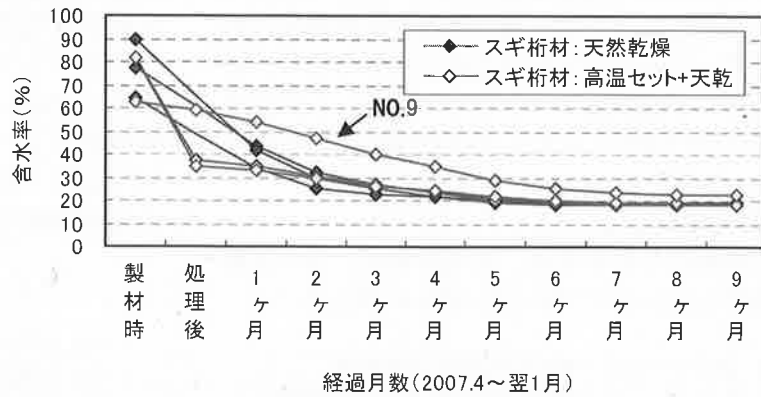
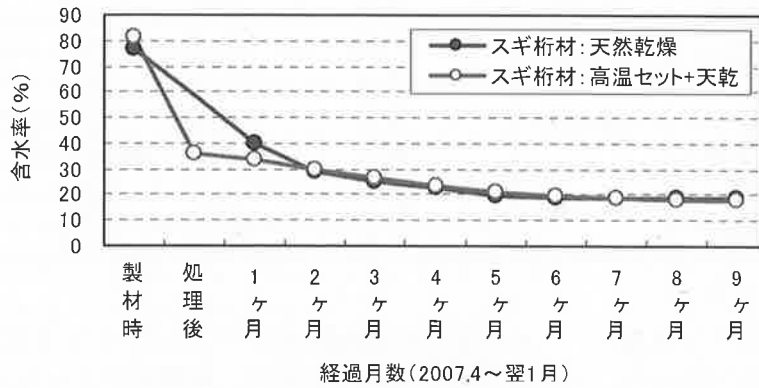


図3 スギ桁材の含水率経過図

(上：平均値 (NO.9を除く)、下：全試験材)

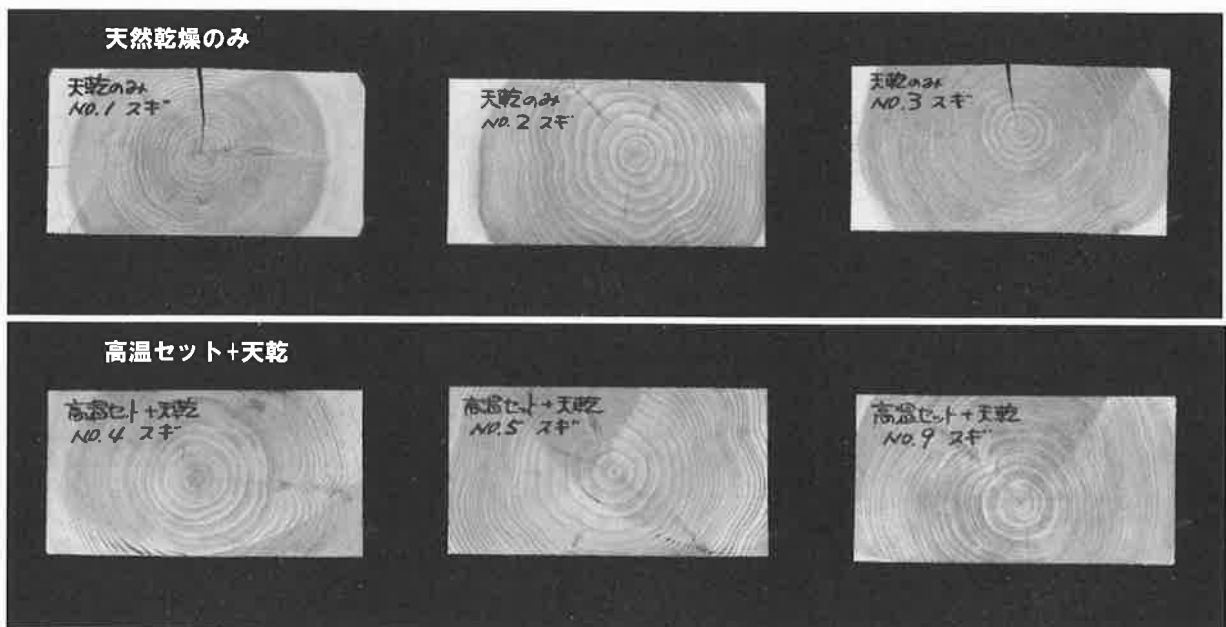


写真7 スギ桁材：乾燥後の切断した木口の様子

(上：天然乾燥のみ、下：高温セット+天乾)

(2) アカマツ桁材

天然乾燥材の含水率は、4ヶ月経過時点で20%を下回った。その後は変化が少なく乾燥終了時の9ヶ月経過でおよそ18%になった。

蒸煮+天乾材は、蒸煮処理により約10%の含水率低下が見られ、およそ35%となり、1ヶ月経過時の含水率は天然乾燥材とほぼ同じとなった。含水率が20%を下回るのは4ヶ月後で、試験を終了した9ヶ月経過時の含水率はおよそ18%であった。

高温セット+天乾材の含水率は、高温セット後に約18%となり、試験材3本がほぼ同一に仕上がった。乾燥終了時の9ヶ月経過にはおよそ16%になった。

全ての方法で乾燥開始1ヶ月経過時には、乾燥初期に見られた含水率の個体間のばらつきは、ほとんどなくなった。

アカマツは辺材率が比較的大きく(写真8)、乾燥速度が速いため、乾燥が容易な樹種と言える。

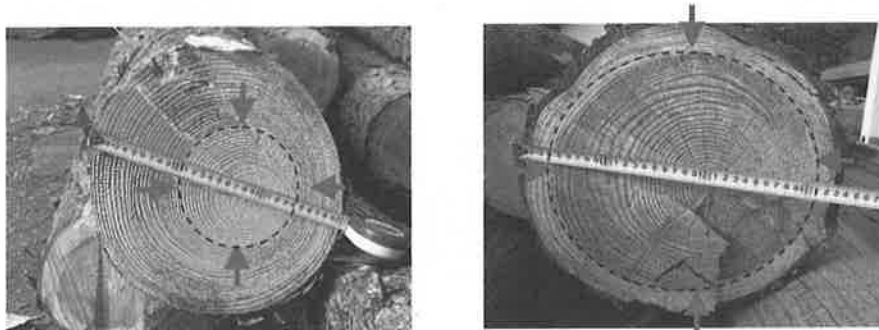


写真8 アカマツ（左）とカラマツ（右）の心材率の比較
(矢印内の破線部がおよその辺材と心材の境界)

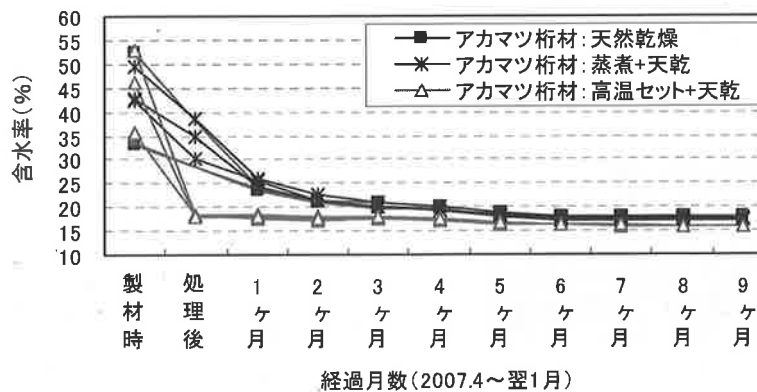
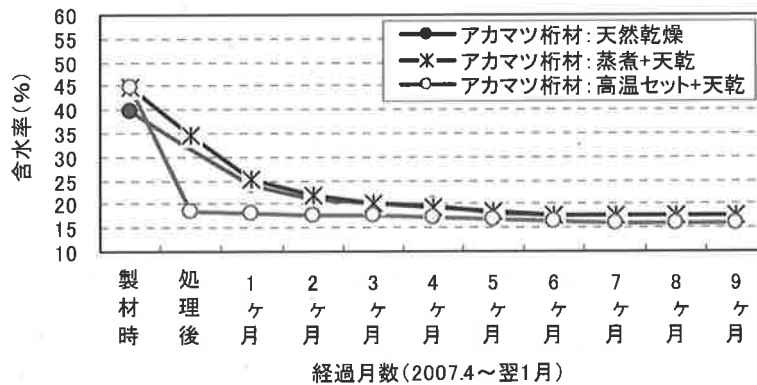


図4 アカマツ桁材の含水率経過図
(上：平均値、下：全試験材)

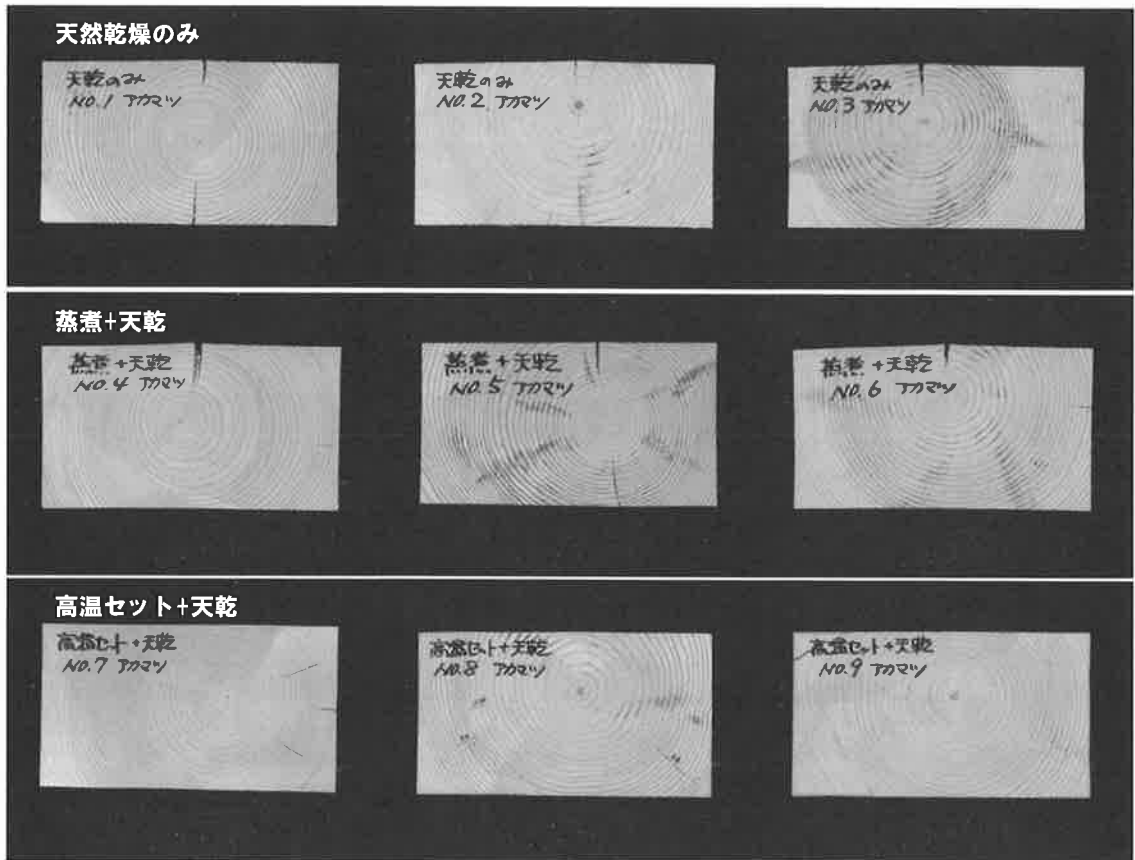


写真9 アカマツ桁材：乾燥後の切断した木口の様子
 (上：天然乾燥のみ、中：蒸煮+天乾、下：高温セット+天乾)

(3) カラマツ桁材

天然乾燥材の含水率は、5ヶ月経過時までには順調に低下し、その後、漸減状態となった。含水率20%を下回ったのは6ヶ月経過時であり、乾燥終了時の9ヶ月経過の含水率はおおよそ19%であった。

なお、天然乾燥材では、広い材面に材面割れが多く発生し、ヤニの滲出が数箇所認められた(写真10)が、蒸煮処理材や高温セット処理材では、ヤニの滲出は見られなかった。

蒸煮+天乾材は、蒸煮処理により約4%の含水

率低下が認められおおよそ38%になった。天然乾燥に移行してからの含水率は順調に低下したが、20%を下回ったのは6ヶ月経過時であった。試験を終了した9ヶ月経過時の含水率はおおよそ18%であった。

高温セット+天乾材の含水率は、高温セット処理後におおよそ23%となり、天然乾燥に移行した後は漸減状態となった。含水率20%を下回ったのは5ヶ月経過時であり、乾燥終了時の9ヶ月経過の含水率はおおよそ19%になった。



写真10 カラマツ桁材のヤニ壺から垂れるヤニ

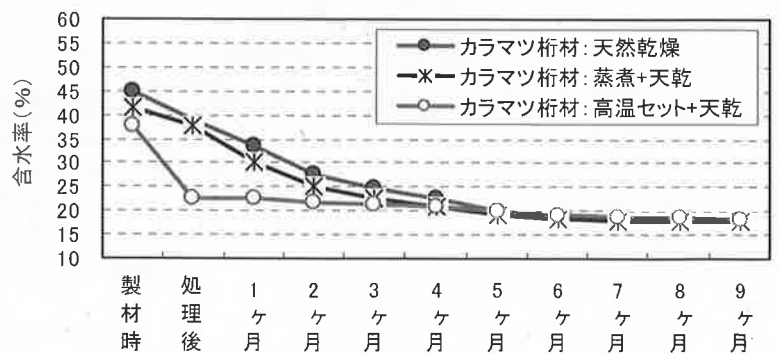


図5 カラマツ桁材の含水率経過図
 (図6でのNO.7を除く平均値)

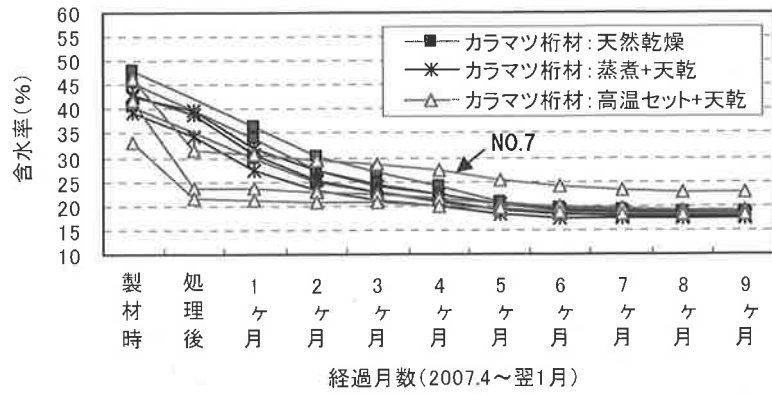


図6 カラマツ桁材の含水率経過図 (全試験材)

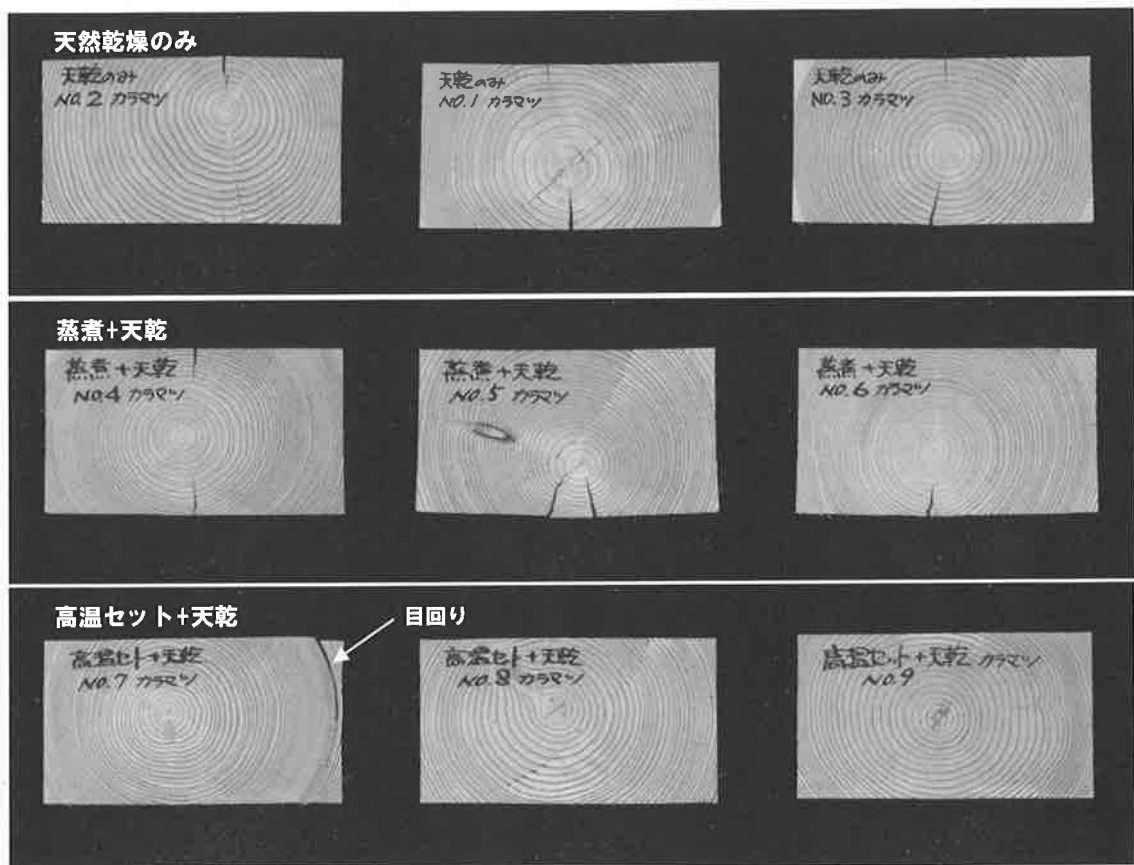


写真11 カラマツ桁材：乾燥後の切断した木口の様子
(上：天然乾燥のみ、中：蒸煮+天乾、下：高温セット+天乾)

3.1.3 高温セット処理材の乾燥阻害

どの樹種にも言えることであったが、高温セット処理材は、高温処理による急激な含水率の低下が期待できるが、その後の乾燥速度が非常に遅くなった。

この原因として、高温セット処理材は、処理後の材表面の含水率が、材内部と比較して非常に低くなり、この処理によって起こると考えられる壁

孔閉鎖や平衡含水率の極度の低下が、材表面への水分移動（水分拡散）を阻害したものと考えられた。

さらに、高温セット処理は材面割れが少なくなるが、このことは、材面割れの多い天然乾燥材と比べ蒸発面積が少なくなるため、乾燥速度が遅くなったのではないかと考えられた。

3.2 含水率計と全乾法による含水率

含水率の測定方法には、(財)日本住宅・木材技術センター認定の含水率計による測定と全乾法による測定とがある。木材を扱う現場では、含水率計での測定値と全乾法による測定値の違いが、時としてトラブルの原因に成りかねない。

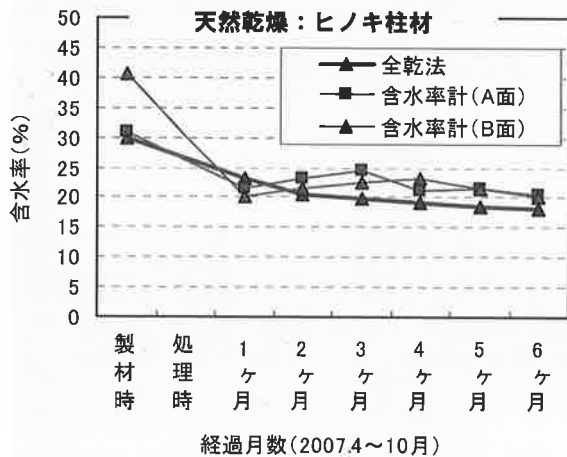
含水率計に頼らざるを得ない現場では、この両者の関係を把握しておくことは、品質管理上、重要な課題である。

ここでは、各樹種・各乾燥条件について、乾燥経過の平均値(全乾法による含水率値)に最も近い試験材を各1本ずつ選び、含水率計での含水率値(以下、含水率計含水率)と全乾法での含水率値(以下、全乾法含水率)の関係について考察した。

3.2.1 柱材

(1) ヒノキ柱材(図7)

ヒノキの初期含水率は、全乾法含水率で約30%であったが、含水率計含水率は、材面(A面、B面)の違いにより異なった値を示した。



天然乾燥での含水率計含水率は、全乾法含水率が20~25%になった頃にほぼ同値を示したが、その後は全乾法含水率よりも2~5%高めの値を示した。

また、高温セット+天乾材では、含水率計含水率は、高温セット処理後に全乾法含水率値より約5%低い10%を示した。含水率計含水率は、その後さらに低下するが、2ヶ月経過時からは全乾法含水率とほぼ同様な値となった。

(2) スギ柱材(図8)

スギの初期含水率(全乾法)は非常に高いが(図8では135%及び90%)、含水率計含水率はこれより30%以上も低い値を示した。

天然乾燥での含水率計含水率は、全乾法含水率が30%を下回る頃(3ヶ月経過)からほぼ同値を示した。

また、高温セット+天乾材では、高温セット処理後に含水率計含水率は、全乾法含水率より15%ほど低い値を示し、その後その差は徐々に縮まり、最終的には5%内の差となった。

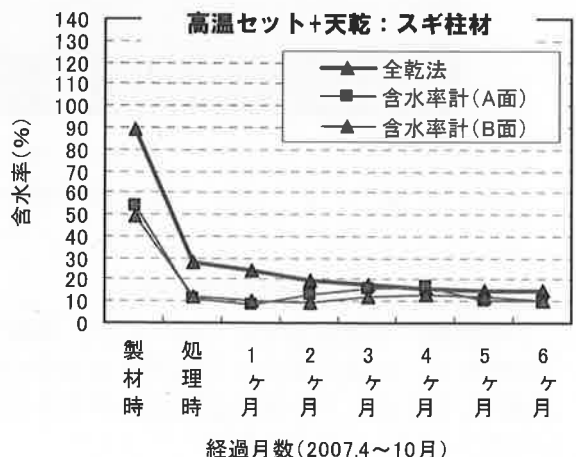
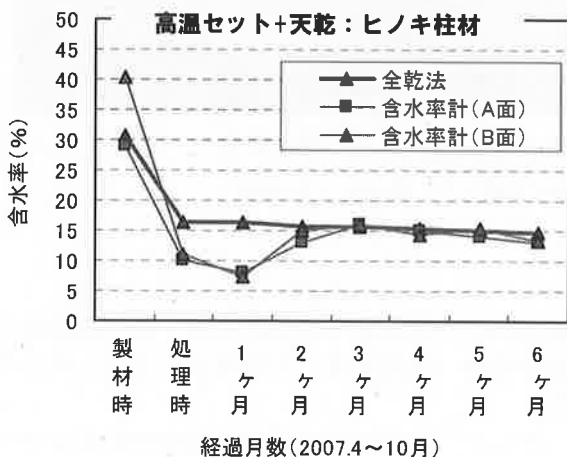
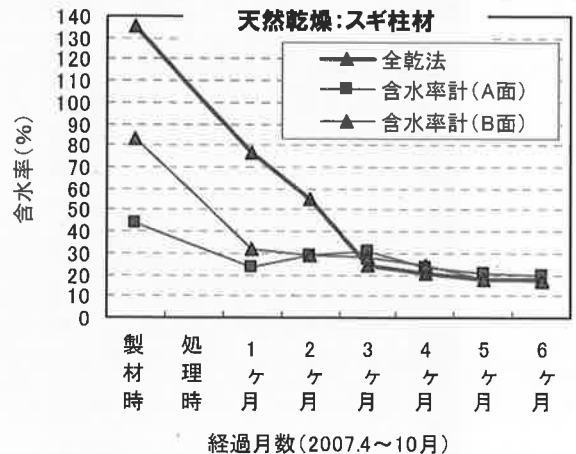


図7 含水率計と全乾法による含水率比較
(ヒノキ柱材)
(A面とB面は隣り合わせの2面)

図8 含水率計と全乾法による含水率比較
(スギ柱材)
(A面とB面は隣り合わせの2面)

3.2.2 桁材

(1) スギ桁材 (図9)

天然乾燥では、全乾法含水率が30%を下回る3ヶ月经過頃から含水率計含水率とほぼ同値を示し、乾燥終了前2ヶ月は全乾法含水率より低い値を示した。

また、高温セット+天乾材では、高温セット処理後に含水率計含水率は低く、狭い面においては全乾法含水率より20%ほど低い12%を示した。その後、その差は縮まるものの、乾燥終了時においても5%ほど低い値を示した。

広い面と狭い面での含水率計含水率値は、乾燥中期から後期ではほぼ同様な値を示した。

含水率計での含水率測定は、材表面から2~3cmが測定深度と言われる。高温セット+天乾材では、高温セット処理を終了した時点で、材表面の含水率が非常に低下し(120℃高温セット中における材表面の平衡含水率は約5%)、含水率計含水率が全乾法含水率より非常に低くなったものと思われる。

柱材や梁桁材等、大断面材を高温セット処理や高温乾燥、中温乾燥等の人工乾燥を行った場合、乾燥直後は材表面の含水率がかなり低くなり、大きな水分傾斜が生じている可能性が高い。このような材を含水率計により測定すると、表面部の測定となり、全乾法含水率よりも低い値を示す。このため測定値の取扱いには注意が必要である。

今回の試験の高温セット処理材では、時間の経過とともに、徐々に水分傾斜が緩和されていると思われる、3ヶ月经過時頃に両者の測定値が近接してきた。

したがって、含水率計による測定値は、乾燥方法や乾燥時間等の乾燥履歴を考慮した測定値の解読を行う必要がある、特に人工乾燥材の測定には、乾燥を終了してからの経過日数や保管方法といった情報も考慮して数値を判断する必要がある。

一方、天然乾燥においても、乾燥初期は、表面の含水率から徐々に低くなるため、含水率計による測定値は、全乾法含水率より低くなる傾向を考慮しておかねばならない。

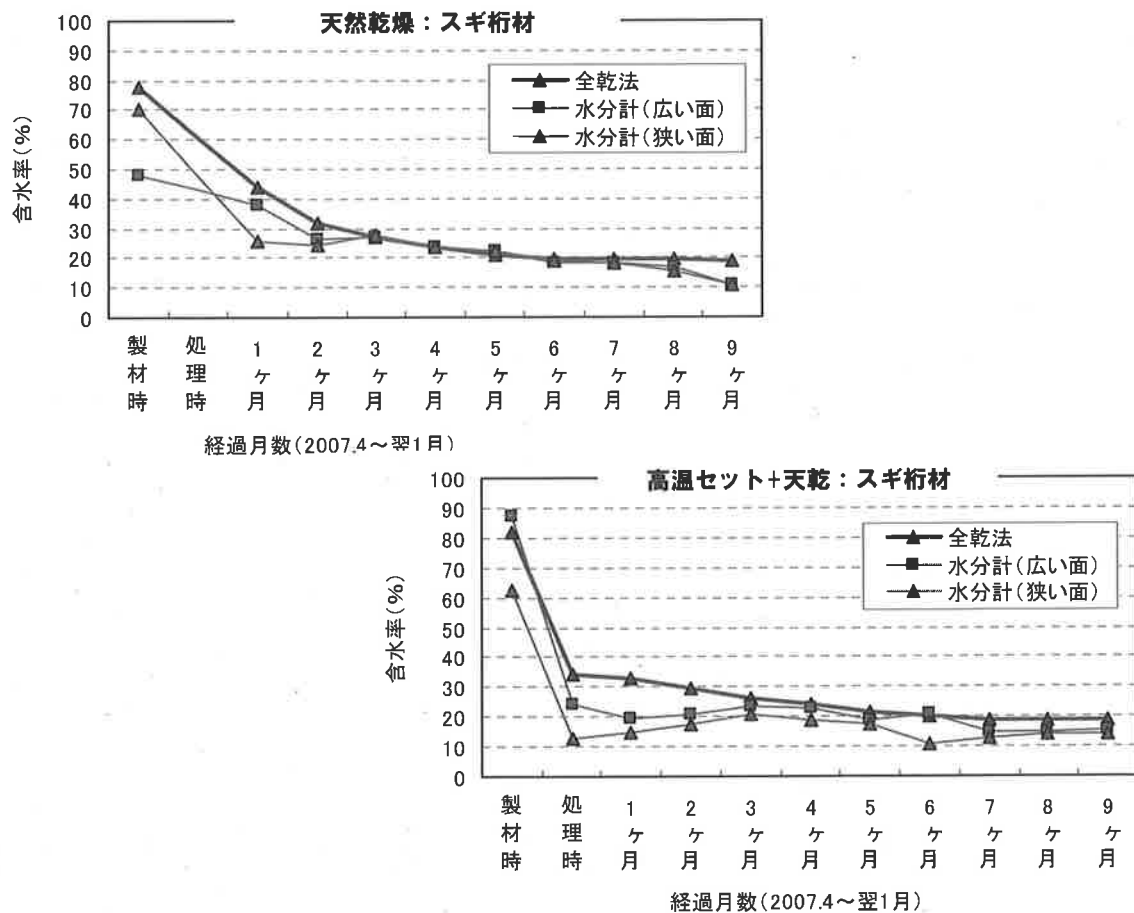


図9 含水率計と全乾法による含水率比較 (スギ桁材)

(2) アカマツ桁材 (図 10)

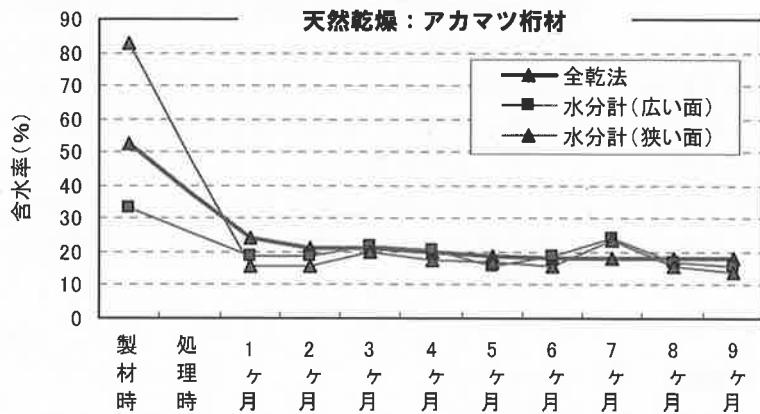
天然乾燥において、全乾法含水率が 20%の頃 (3 ヶ月経過時) から含水率計含水率は全乾法含水率とほぼ同じか、これより 2~3%程度低い値を示した。7 ヶ月経過時の異常な含水率の変動は、高温セット+天乾材の変動と併せてその原因は明らかではないが、全乾法含水率に大きな変動が無いことから、棧積み位置での湿気の滞留等による表層部の吸湿が影響したものと思われる。

蒸煮+天乾材では、1 ヶ月後の含水率計含水率は、全乾法含水率より 15%ほど低い指示値を示した。

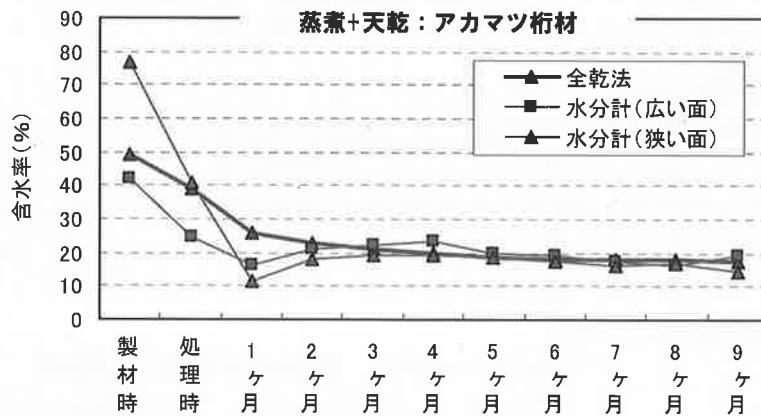
その後、含水率計含水率は上昇し、全乾法含水率が 20%になった頃 (3 ヶ月経過) からほぼ同様な値を示した。

高温セット+天乾材では、含水率計含水率と全乾法含水率の差は大きく、前者は 5%ほど低い値を示した。また、高温セット処理後には既に含水率計含水率は 10%以下となった。

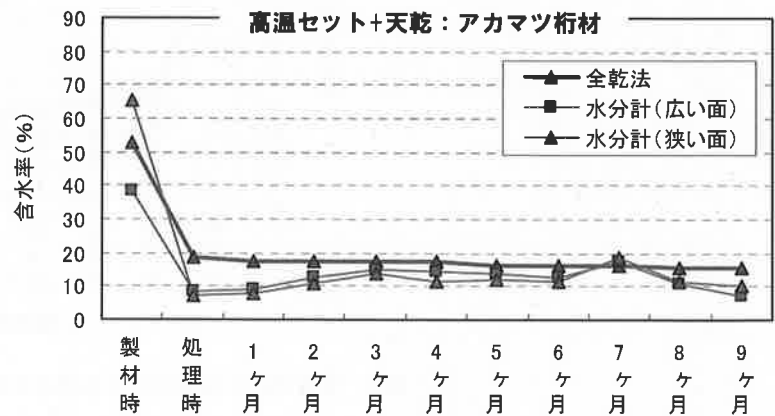
広い面と狭い面での含水率計含水率値は、乾燥中期から後期ではほぼ同じ値を示した。



経過月数(2007.4~翌1月)



経過月数(2007.4~翌1月)



経過月数(2007.4~翌1月)

図 10 含水率計と全乾法による含水率比較 (アカマツ桁材)

(3) カラマツ桁材 (図 11)

天然乾燥の乾燥初期 (3 ヶ月頃まで) では、含水率計含水率は、全乾法含水率より低い値を示し、狭い面での変動が大きかった。全乾法含水率が20%を下回った6 ヶ月経過頃からは、広い面、狭い面ともに全乾法含水率に近似してきた。

蒸煮+天乾材においては、乾燥中期から後期にかけて、含水率計含水率は全乾法含水率よりも高い傾向にあった。

高温セット+天乾材では、含水率計含水率と全乾法含水率の差は大きく、乾燥初期では前者は後者より10%ほど低い値を示した。また、高温セット処理後には、既に含水率計含水率は約10%に達していた。

広い面と狭い面での含水率計含水率は、多少ばらつきはあるが、乾燥中期から後期にかけてはほぼ同様な値を示した。

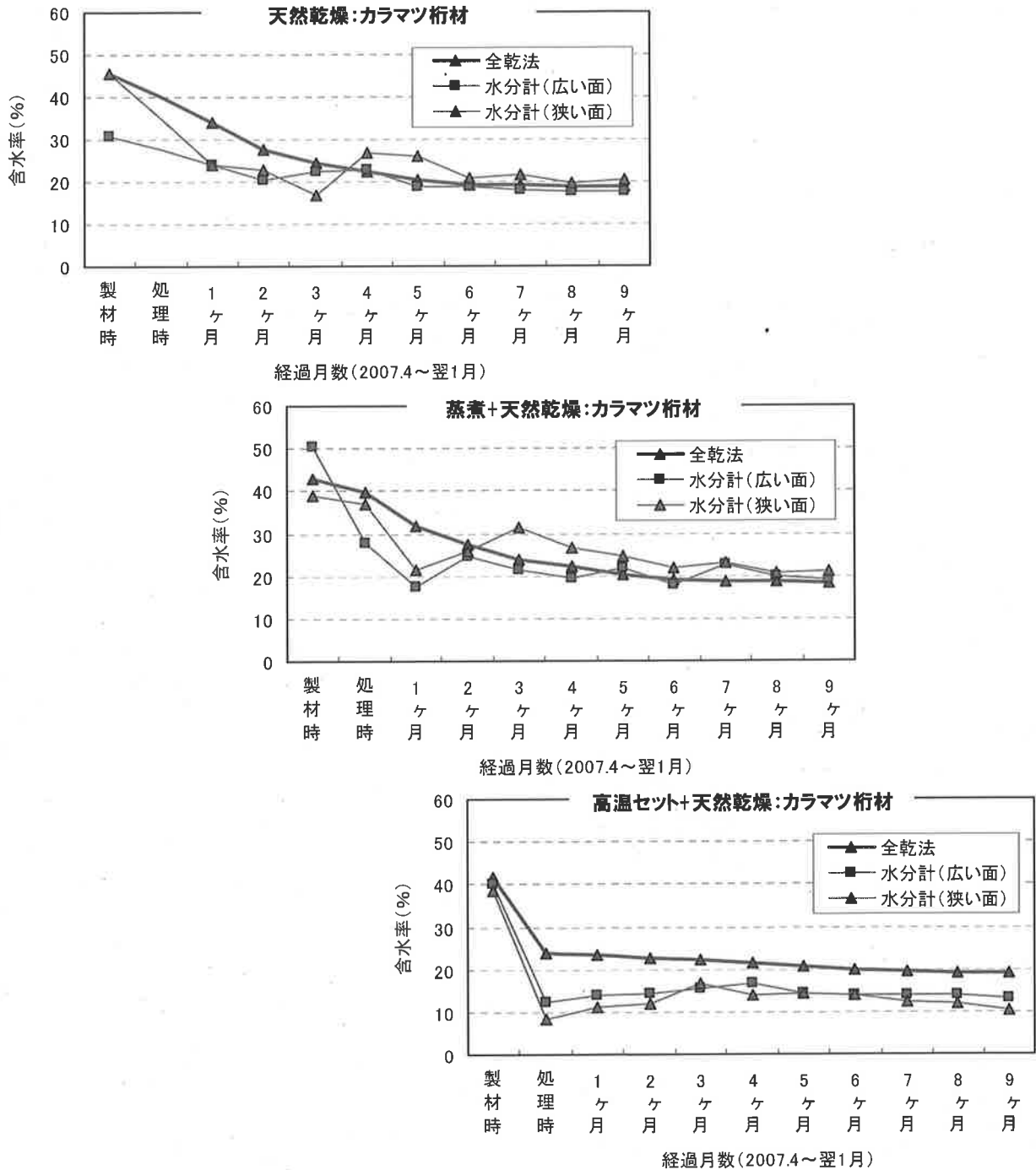


図 11 含水率計と全乾法による含水率比較 (カラマツ桁材)

3.2.3 全乾法含水率と含水率計含水率の関係

全乾法含水率と含水率計含水率の関係を図12に示した。図は全樹種について、全乾法含水率5~30%の範囲の材のみを示している。

柱材の天然乾燥材では、含水率計含水率は全乾法含水率より高めに表示される傾向にあり、一方、高温セット+天乾材は低めに表示される傾向にあった。全乾法含水率が18~20%の天然乾燥材では、含水率計での測定によると2~5%ほど高く表示された(図12上図)。

桁材については、全般に含水率計含水率は全乾法含水率より低く表示された。特に、高温セット+天乾材は柱材と同様に、ほとんどの試験材で低く表示された(図12下図)。

全乾法含水率と含水率計含水率の差は、大きいもので8~10%にも及んだ。

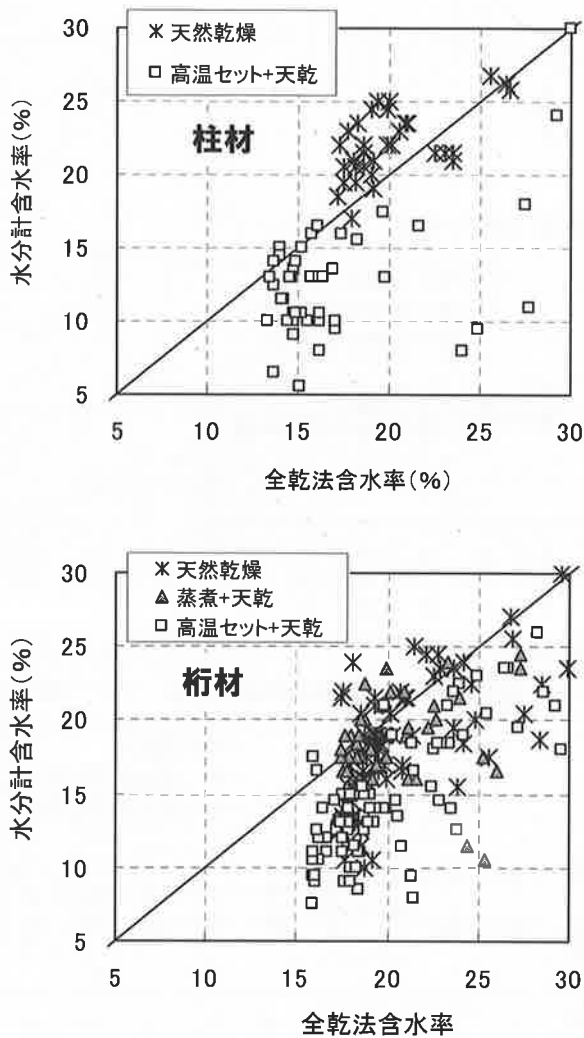


図12 全乾法含水率と含水率計含水率の関係 (上: 柱材、下: 桁材)

3.3 乾燥後の材内水分傾斜

3.3.1 柱材

乾燥終了後のヒノキとスギ柱材について、材内水分傾斜を図13に示した。

天然乾燥材の水分傾斜は、両樹種とも同様な形態を示し、表層で17%前後、中心部で19%前後、その差2%程度であった。

一方、高温セット+天乾材は、樹種別に異なり、ヒノキ柱材の場合、表層が約12%、中心部が約16%で、その差4%であるのに対し、スギ柱材は表層が約12%、中心部が約18%でその差は6%で、ヒノキよりスギの方が水分傾斜が大きかった。また、傾斜の形態にも特徴が見られ、ヒノキが台形型で、スギはこれよりなだらかな弓型であった。この違いは、心材の初期含水率の違いが反映されたものと思われた。

水分傾斜が台形型となるのは、ヒノキ以外にも後述するアカマツやカラマツの高温セット+天乾材にも見られ、高温セットによる材表層の強い熱処理が影響しているものと思われた。

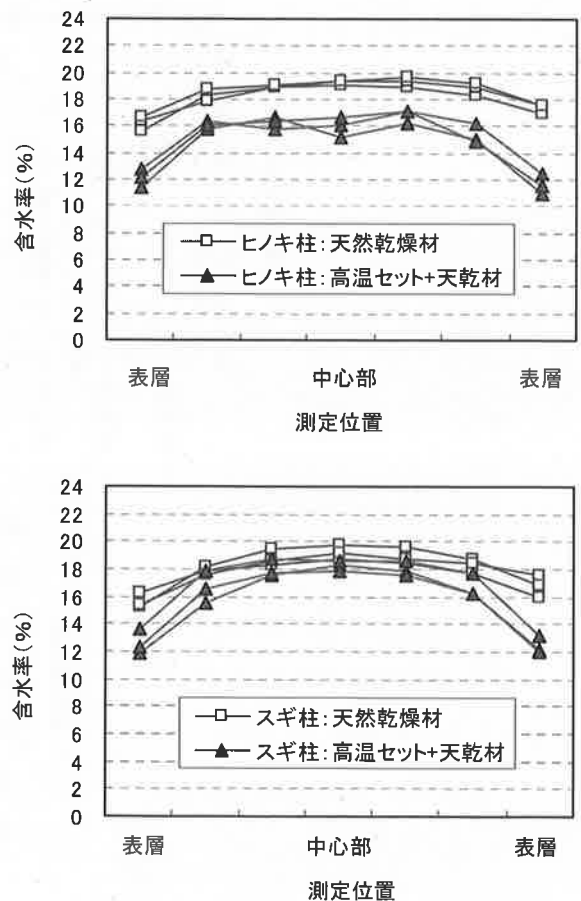


図13 乾燥終了後(乾燥開始6ヶ月後)の材内水分傾斜

3.3.2 桁材

各樹種桁材の乾燥終了後の材内水分傾斜を図14に示した。

材内で最も乾燥の遅れる中央部の含水率は、いずれの樹種においても9ヶ月の天然乾燥により、20%前後の値を示した。特にアカマツは低い傾向にあり、およそ19%であった。

特異的な水分傾斜を示したのは高温セット+天乾材で、表層の含水率は15%程度、アカマツでは12~13%を示した。これに対して中央部の含

水率は、天然乾燥材と同じ20%前後の値であった。水分傾斜のばらつきを試験体間で比較すると、総じて、高温セット+天乾材は個体間の水分傾斜のばらつきが大きくなる傾向にあった。

この中で、アカマツだけはばらつきの少ない水分傾斜を示した。

天然乾燥材や蒸煮+天乾材では、試験体間のばらつきが少なく、各樹種でほぼ同一の水分傾斜に落ち着いていた。

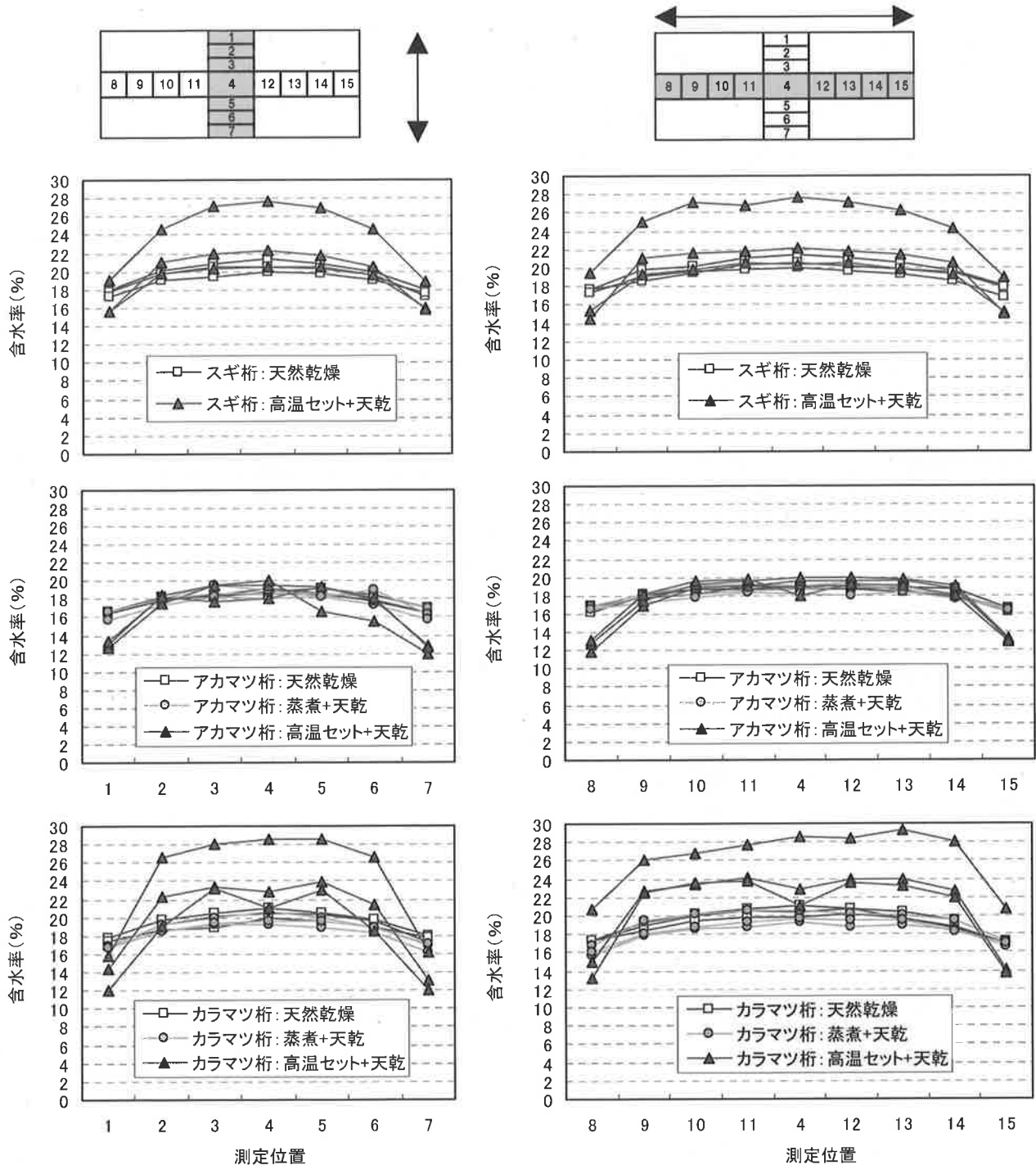


図14 乾燥終了後（乾燥開始9ヶ月後）の材内水分傾斜

3.4 割れ防止剤塗布材の乾燥経過

本試験では、干割れ防止剤（ランバーメイト；旭化成工業株式会社）を塗布したスギ桁材 3 本を加えて補足的に実施した。

この試験では、ランバーメイト塗布による材面割れ防止効果と、塗布による乾燥阻害の有無について調査した。ランバーメイトの塗布の位置は、広い材面で最も割れの発生し易い板目部分（幅方向中央部約 1/3 区間）とした。

図 15 に 3 本のランバーメイト塗布材の含水率の平均値と、塗布しないスギ桁材（無処理材）の乾燥経過を示した。

初期含水率は両者ともおよそ 80%であった。ランバーメイト塗布材は無処理材に比べ、乾燥速度が遅く 1 ヶ月経過時で約 14%の差が生じた。この差は徐々に縮まり 6 ヶ月経過時では約 1%差となった。最終 9 ヶ月経過時の含水率は、未処理材が 18.8%であったのに対し、ランバーメイト塗布材は 20.0%であった。

材面割れは、ランバーメイト塗布材 3 本全てに発生したが、割れ幅は未処理材に比べ小さかった。

ランバーメイトの割れ防止効果についての検討には、さらに本数を増やした試験が必要である。

3.5 寸法変化

3.5.1 柱材の収縮率と収縮量

図 16 に乾燥に伴う収縮率の変化を、図 17 に収縮量の変化を示した。

ヒノキ、スギともに、天然乾燥材は高温セット+天乾材に比べ収縮率はおよそ 1/2 であった。この原因の一つには、天然乾燥材の寸法測定部での材面割れが影響していた。

試験終了時の収縮量は、ヒノキの場合、天然乾燥材が 1.6mm、高温セット+天乾材が 2.8mm であり、スギの場合は、天然乾燥材が 1.7mm、高温セット+天乾材が 3.5mm であった。

ヒノキは高温セット処理により収縮率は一気に 2%近くになり、その後、増減を繰り返したが最終 6 ヶ月経過時でもセット処理後とほぼ同じ 2%であった。

スギの天然乾燥材は乾燥開始から緩やかに収縮を続けたが、5 ヶ月経過時に一気に増加した。この原因は、寸法測定箇所の含水率が繊維飽和点以下になり収縮が急激に進んだためではないかと推察された（図 2）。試験を終了した 6 ヶ月経過時での収縮率は約 1.3%であった。一方、高温セット+天乾材は、高温セット処理後から収縮の増加が見られ、途中一旦膨らむものの、6 ヶ月経過時での収縮率は約 2.6%であった。

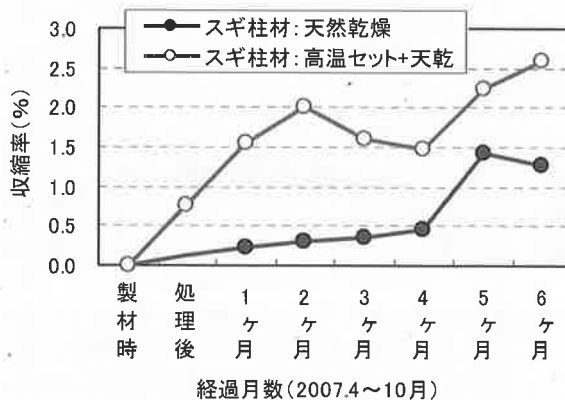
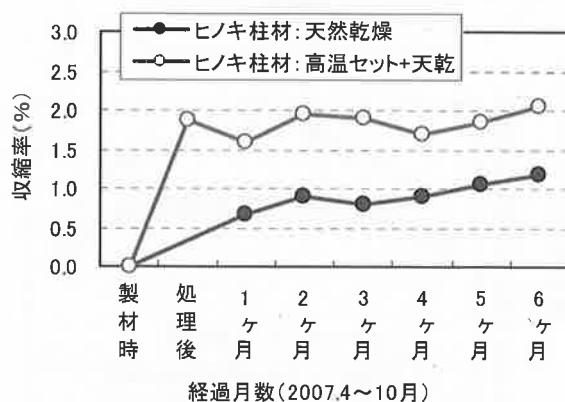


図 16 乾燥に伴う収縮率（柱材）

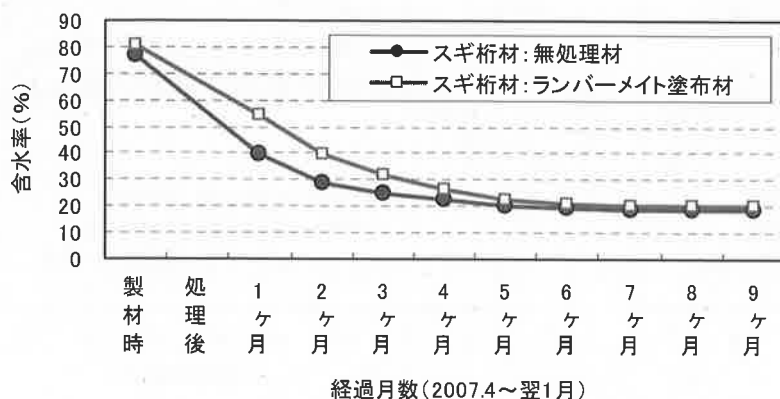


図 15 割れ防止剤（ランバーメイト）塗布材の乾燥経過（スギ）

3.5.2 桁材の収縮率と収縮量

樹種別の乾燥に伴う収縮率の変化を図 18, 20, 22 に、収縮量の変化を図 19, 21, 23 に示した。

スギとカラマツにおいて、広い材面での収縮率は、天然乾燥材に比べ高温セット+天乾材の方が大きかったのに対し（図 18, 図 22）、狭い材面では逆に、高温セット+天乾材の方が小さかった。また、アカマツは、広い材面では他の樹種と同様に、天然乾燥材に比べ高温セット+天乾材の方が大きかったが（図 20）、狭い材面では両者ともほぼ同様な値であった。

全樹種の試験終了時の収縮率は、広い材面より狭い材面の方が大きい傾向にあった。これは、広い材面では材縁部近傍に柁目面が出現するのに対し、狭い材面では全体が板目面であることに起因しているものと思われた。

蒸煮+天乾材について、アカマツ桁材では 3 本中 3 本が、カラマツでは 3 本中 2 本が蒸煮により膨張し、寸法が増加した。このため、蒸煮処理後の収縮率はマイナスの値を示した。

高温セット処理により、大きく含水率が低下したアカマツとカラマツは、処理後の収縮率も大きく、広い材面、狭い材面ともにおよそ 1.5% の収縮率であった。これは寸法（収縮量）にして、広い材面では約 4mm、狭い材面では約 2mm の縮みであった。

一方、スギは高温セット処理による大きな収縮は見られなかった。これは、図 3 で示すとおり、高温セット処理後の含水率が 30% 以上で繊維飽和点よりも高く、収縮がほとんど進んでいなかったことに起因しているものと思われた。

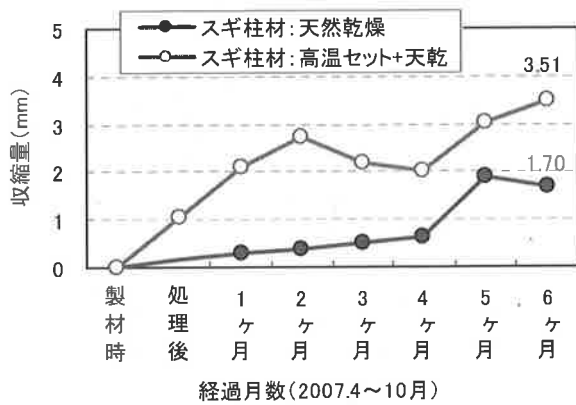
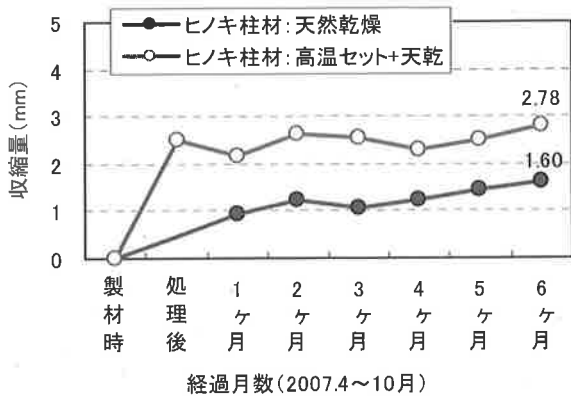


図 17 乾燥に伴う収縮量（柱材）

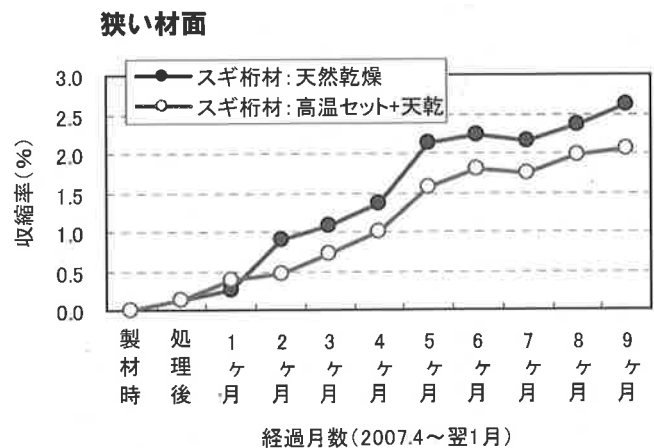
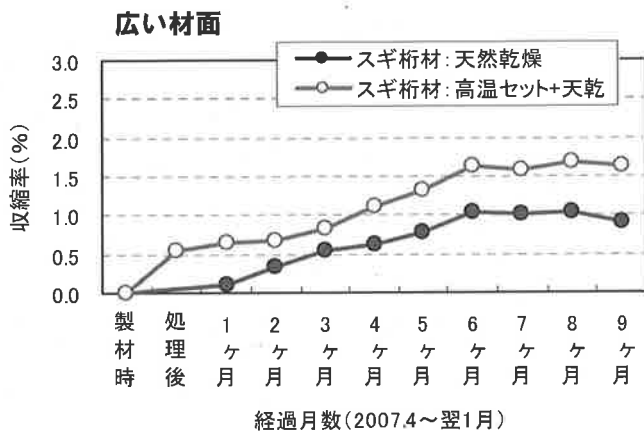


図 18 乾燥に伴う収縮率（スギ桁材）
（左：広い材面、右：狭い材面）

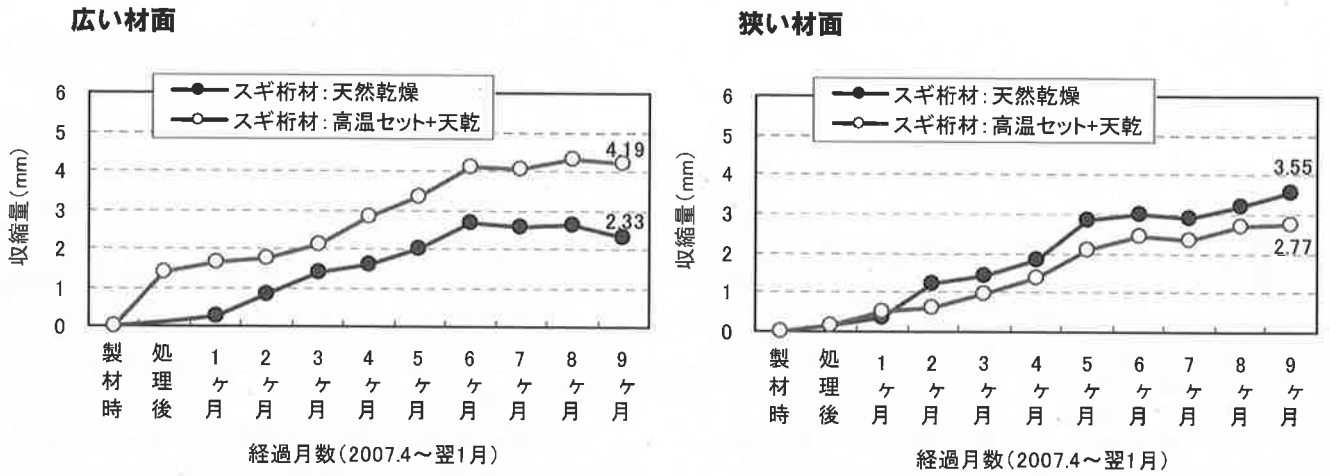


図19 乾燥に伴う収縮量(スギ桁材)

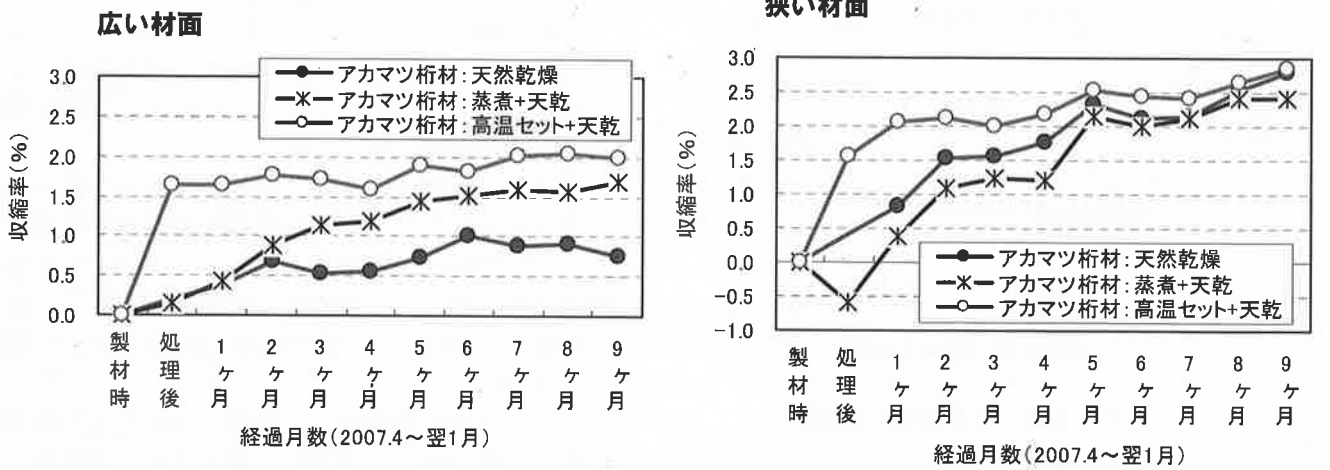


図20 乾燥に伴う収縮率(アカマツ桁材)

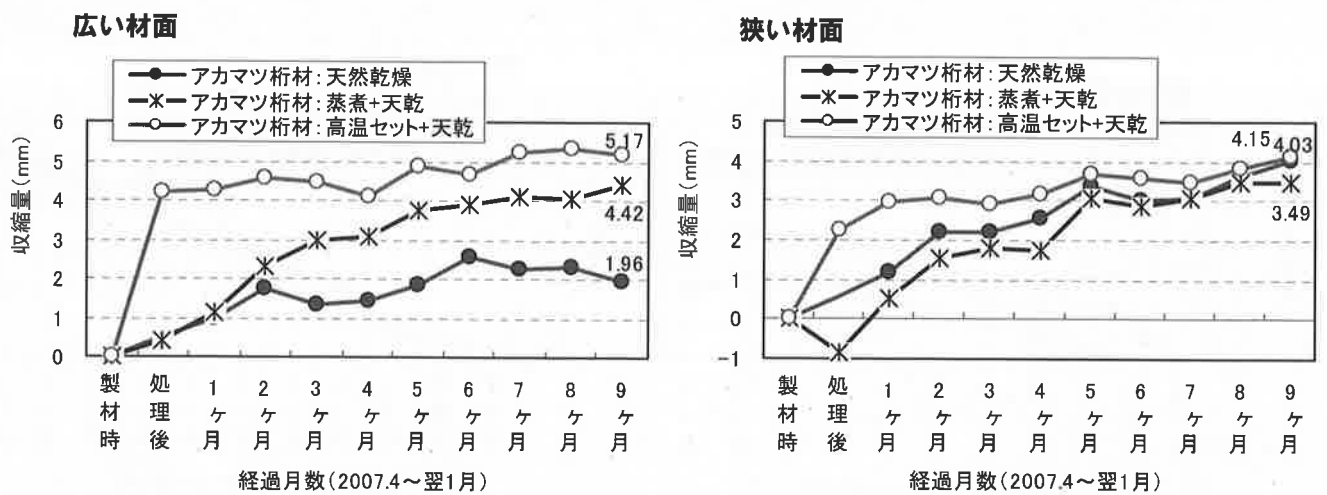


図21 乾燥に伴う収縮量(アカマツ桁材)

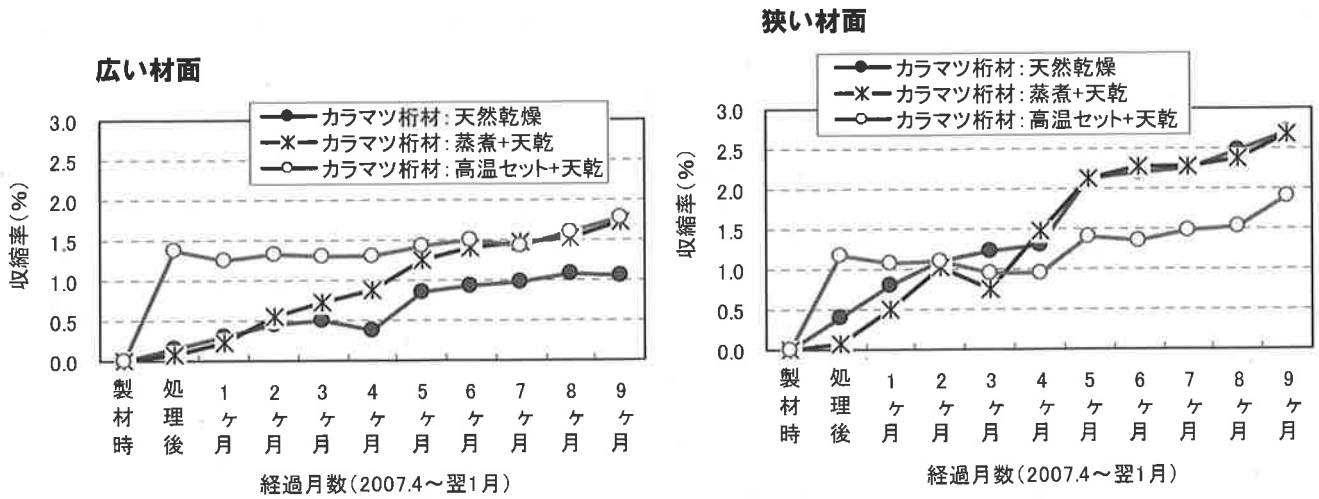


図 22 乾燥に伴う収縮率 (カラマツ桁材)

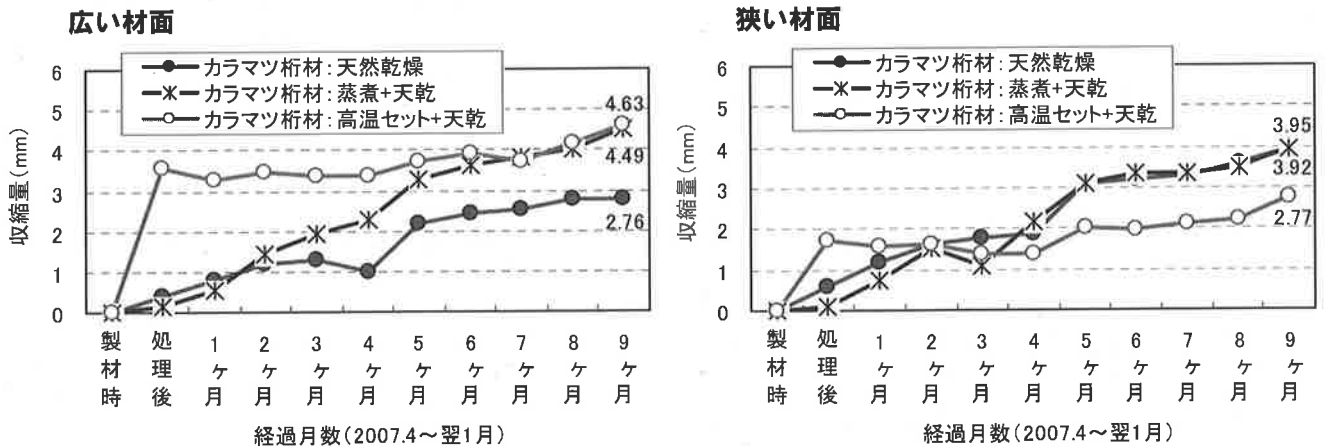


図 23 乾燥に伴う収縮量 (カラマツ桁材)

3.6 スtockヤードの温湿度

測定期間中におけるストックヤードの温湿度環境を図 24 に示した。

測定期間を通じて日平均温度が高かったのは夏期 (7~9 月) であり、最高 33.6℃であった。これに対して低かったのは冬期 (12 月~1 月) で最低 -5.1℃であった。

相対湿度は日格差が大きく、昼間は低く夜間は高かった。

湿度が低かったのは 4 月初めから梅雨前の 6 月上旬頃までで、この間 30%を下回ることが 200 回以上あった。この中には 10%台の非常に低い湿度が 12 回記録されていた。

夏期から秋期は湿度 50%以上となる日が多く、比較的湿度は高く推移したが、秋雨の時期を過ぎ

た 11 月から湿度は低下傾向となり、11 月から翌 1 月までに湿度 30%を下回ることが数回あった。

温湿度の測定値から算出した気候値平衡含水率を月平均で図 25 に示した。

木材の含水率は、温度と相対湿度に影響され、長野県の場合、1 年を通じて最も木材が乾燥するのは、温度が高く湿度が低くなる春先から梅雨前が通常である (今回の測定では 1 月)。

春先 5 月に 13%まで低下した平衡含水率は、梅雨明けの 7 月には 17%まで上昇した。その後 8 月には一旦 14%に低下したが、秋雨の頃には 15.5%まで上昇した。その後は月を追う毎に低下し、翌年 1 月には 12%を下回った。

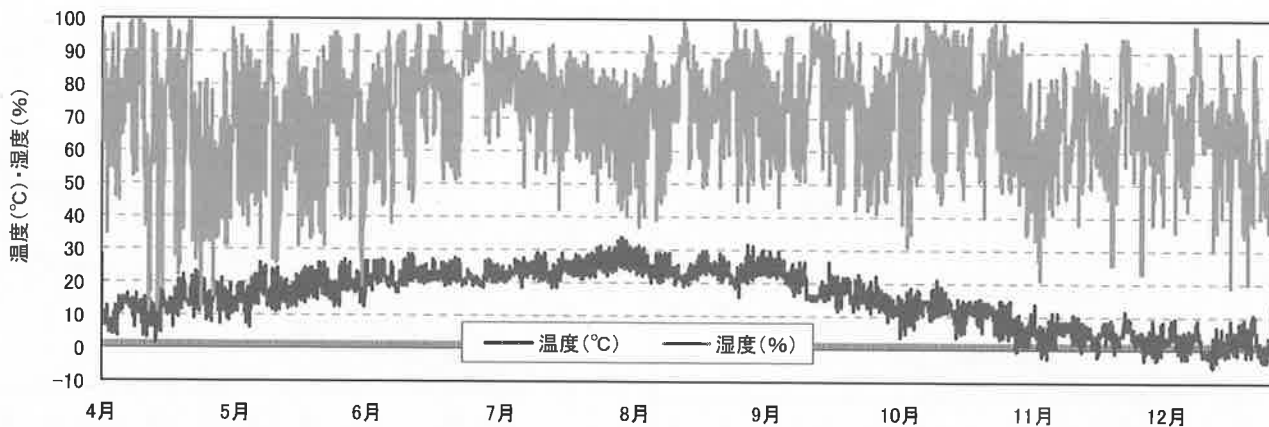


図24 スtockヤード棧積み内の温湿度 (2007年4月16日～翌年1月17日)

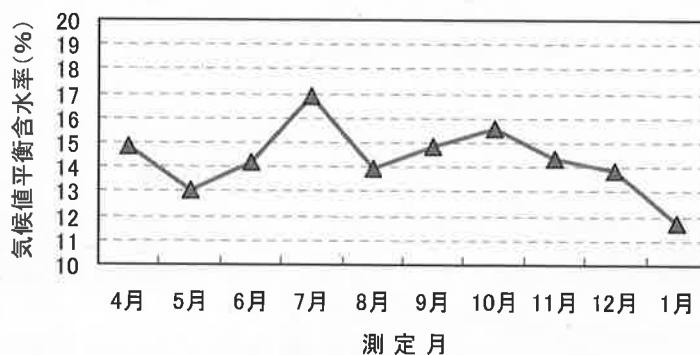


図25 スtockヤード棧積み内の気候値平衡含水率 (2007年4月16日～翌年1月17日)

試験を行った天然乾燥材は、試験終了時の実測含水率が18～20%であり、気候値平衡含水率よりかなり高かった。これは、周囲の温湿度が昼夜変化しており、断面の大きい柱材や桁材は、その表層だけが温湿度の影響を受け易いためと考えられ、今後さらに測定を続ければ、徐々に気候値平衡含水率に近づくものと思われた。

4. まとめ

Stockヤード(屋根付き天然乾燥場)で前処理を行った針葉樹構造材の天然乾燥を2007年4月から2008年1月まで実施し、次の結果を得た。

(1) 前処理無しで天然乾燥だけを行った材は、ヒノキ135mm正角材が3ヶ月、スギ135mm正角材が5ヶ月で含水率20%を下回った。

(2) また、断面135×255mmのスギ桁材が6ヶ月、145×260mmのアカマツ桁材が4ヶ月、同カラマツ桁材が6ヶ月で含水率20%を下回った。

(3) 高温セット処理を行った後に天然乾燥を行った材の乾燥期間は、天然乾燥だけの材と同程度であった。

(4) 乾燥終了時の材面割れ発生量は、天然乾燥のみの材と比べ、はるかに少なかった。

(5) 蒸煮処理或いは高温セット処理を行ってから天然乾燥した材には、ヤニの滲出が見られなかった。

(6) 含水率計含水率と全乾法含水率を比較すると、一般には前者が後者より低い値を示すが、乾燥3ヶ月経過後からは両者の値は接近し、場合によっては、数値が逆転する場合もあった。

(7) 柱材の天然乾燥材では、含水率計含水率は全乾法含水率より高めに表示される傾向にあり、高温セット+天乾材は低めに表示される傾向にあった。

(8) 天然乾燥のみを行った材の材内水分傾斜が緩やかな円弧型を示すのに対し、高温セット処理を行った材は、台形型や弓型を示し、表層部の平衡含水率の低下が認められた。

(9) 高温セット処理を行った柱材の処理後の収縮率は、ヒノキで約2%、スギで約1%であった。

(10) 6ヶ月間の試験終了時の収縮率は、「高温セット+天乾材」でヒノキが約2%、スギが約2.5%で、いずれも、天然乾燥のみの材のおよそ2倍の収縮率であった。

(11) 桁材の収縮率について、狭い面の収縮率は広い面の収縮率より大きい傾向にあった。

謝辞

本研究の実施に当り、ストックヤードの使用の便宜を図って頂くとともに、試験材の測定にご協力頂いた、菅沼木材(株)の菅沼久氏、都築木材(株)の板山高夫氏、(株)フォレストコーポレーション小澤仁氏ほか関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

(1) 北村義重：吋材の天然乾燥，北海道林産誌月報，No.45，5-8，(1955)
 (2) 谷淵正弘：天然乾燥における積内部の含水率分布について，徳島林指報告，No.1，77-82，(1955)
 (3) 七澤善男：人工乾燥を前提としてのシナ材の天然乾燥について，木材工業，12(12)，564-566，(1957)
 (4) 野原正人：天然乾燥における諸問題，木工生産，13(10，11)合併号，16-21，(1969)
 (5) 寺沢真・鷲見博史：わが国における木材の平衡含水率に関する研究，林試研究報告，No.227，1-81(1970)
 (6) 野原正人：天然乾燥促進試験(1)，岐阜林セ研究報告，No.1，57-67，(1972)
 (7) 西尾 茂・花田好正・中村昭二：月別天然乾燥日数の実測，昭和48年度鳥取工試年報，103-108，(1973)
 (8) 中野正志：ブナ，ナラ材の天然乾燥経過について，岩手林試成果報告，No.5，75-81，(1973)
 (9) 野原正人：天然乾燥促進試験(2)，岐阜林セ研究報告，No.2，42-49，(1974)
 (10) 野原正人：木材の天然乾燥とその促進(1)，木材工業，33(4)，p147-150，(1978)
 (11) 野原正人：木材の天然乾燥とその促進(2)完，木材工業，33(5)，p197-201，(1978)
 (12) 熊谷洋二，野原正人，岩田隆昭，山本和雄：間伐材製材品の天然乾燥による形質変化，日本木材学会大会研究発表要旨集，29，p206，(1979)
 (13) 斎藤貞夫：間伐材(杉小径木)の天然乾燥，青森県木工指導所業務報告，S54，p27-32，(1980)
 (14) 野呂田隆史，千葉宗昭：針葉樹製材品の天然乾燥試験(第1報)，日本木材学会北海道支部講演集，13，p40-43，(1981)
 (15) 野呂田隆史，千葉宗昭：針葉樹製材品の天然乾燥試験(2)－乾燥日数の推定－，北海道立林産試験場月報，364，p9-13，(1982)

(16) 信田聡，中寫厚，千葉宗昭，奈良直哉：トドマツ人工林材の乾燥試験(第1報)－正角材の天然乾燥－，北海道立林産試験場月報，392，p1-9，(1984)
 (17) 三好誠治，村口良範：スギ正角の天然乾燥経過の推定について，愛媛県林業試験場研究報告，15，p52-66，(1994)
 (18) 前田健彦：人工乾燥と天然乾燥の組み合わせによる効率的木材乾燥技術の開発，熊本県林業研究指導所業務報告，32，p75-82，(1994)
 (19) 池田元吉：人工乾燥と天然乾燥の組み合わせによる効率的木材乾燥技術の開発－人工乾燥に伴うスギ心持ち正角材の割れ変化－，熊本県林業研究指導所業務報告，33，p61-67，(1995)
 (20) 三ヶ田雅敏：スギ材の効率的乾燥法に関する研究(I)－スギ心持ち柱材の天然乾燥－，大分県林業試験場年報，40，p42-44，(1998)
 (21) 須川均：製材品の人工乾燥前処理に関する研究－スギ正角生材の天然乾燥における含水率の経過－，群馬県林業試験場研究報告，6，p72-81，(1999)
 (22) 三ヶ田雅敏：スギ心持ち柱材の天然乾燥について(II)－屋外・屋内の組み合わせ天乾と屋内天乾－，日本林学会九州支部研究論文集，53，p185-186，(2000)
 (23) 小田久人，大迫則明：宮崎県産スギ柱材の天然乾燥，日本林学会九州支部研究論文集，53，p181-182，(2000)
 (24) 越智仁夫：スギ柱材の天然乾燥における前処理効果，日本木材学会大会研究発表要旨集，51，p124，(2001)
 (25) 蛸原啓文，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)，日本木材学会大会研究発表要旨集，54，p145，(2004)
 (26) 富田守泰：スギ柱材における天然乾燥前処理としての高温セット効果，日本木材学会大会研究発表要旨集，55，CD-ROM，(2005)
 (27) 海本一，小野広治，寺西康浩，成瀬達哉，久保健：スギ製材品における天然乾燥前処理としての高温低湿処理について，奈良県森林技術センター研究報告，35，p43-48，(2006)
 (28) 城井秀幸，青田勝，河津渉，津島俊治：高温低湿処理をしたスギ平角材の天然乾燥について，日本木材学会大会研究発表要旨集，56，CD-ROM，(2006)

