

スギ正角の天然乾燥経過の推定について

誌名	愛媛県林業試験場研究報告
ISSN	03892875
著者名	三好,誠治 村口,良範
発行元	愛媛県林業試験場
巻/号	15号
巻号補足	
掲載ページ	p. 52-66
発行年月	1994年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



スギ正角の天然乾燥経過の推定について

三 好 誠 治
村 口 良 範

I はじめに

平成3年7月に「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」が施行された。この規格は建築用製材の信頼性を向上させるために規定寸法を定め、乾燥材の含水率規定を明確化したことに特徴がある。これは木造建築の工期の短縮、高品質化等により乾燥材供給への要請が高まってきたためである。

しかし建築用に使用されるスギ・ヒノキ柱材等の大きな断面の製材品の乾燥方法は確立されておらず、乾燥技術の開発が期待されていた。特にスギ柱材は材価が低い割に乾燥が困難なために、乾燥経費の回収の面からコストのかからない乾燥方法への要望が強かった。まず製材品を栈積みして放置しておく天然乾燥が考えられるが、どの程度の期間でどれくらいの含水率になるのか不明であった。他県で小試験体により4ヵ月程度調査した事例¹⁾はあるが、気候条件が異なるので本県においても天然乾燥試験を行い乾燥特性を検討した。

標記試験において実大のスギ正角を用い、目標含水率を25%に設定して、天然乾燥経過を調査した。天然乾燥を行う方法は3条件（屋外・屋外での雨よけ屋根を設置・屋内）とし、乾燥開始時期をずらせて3回試験を行った。このデータを用いて天然乾燥におけるスギ正角の含水率減少過程の推定を試みたので報告する。

II 試験方法

1 供試材

愛媛県産のスギ正角（12cm角・材長3m・心持ち・背割り材）を天然乾燥試験の都度入手して供試材とした。供試材は同一林分から生産されて同一の方法で製材されたものとした。供試材は試験の度に50本準備し、あらかじめ全ての供試材の重量を測定して、重量の平均値から1標準偏差内にある重さの供試材を選び、黒芯材等の欠点があるものは除いた。

このようにして選出した供試材から長さ200cm（平成3年度の試験材は長さ240cm）の試料を採取し、両端を銀ニスでコーティングして含水率測定用試験材とした。試験材は重量により無作為に各条件試験に割り振り、表-1のとおり各条件に6本使用した。

天然乾燥途中の水分傾斜を測定するために、水分傾斜測定用試験材をそれぞれ各条件試験に1本用意した。

2 試験方法

含水率測定用試験材と水分傾斜測定用試験材は30mmの栈木を使用し、材間隔30mmで地上より52cmの高さから縦方向に積み上げた。水分傾斜測定用試験材は含水率測定用試験材の中間に置いた。

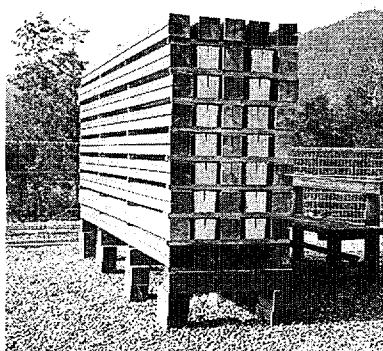
表－1 天然乾燥試験の期間と試験材の初期含水率等

試験期間	天然乾燥 条 件	試験材数 本	試 験 材 平 均 値				
			初期含 水率%	仕上がり 含水率%	気乾比重 注 1	平均年輪 幅 mm	心材率 %
平成3年6月24日	屋 外	6	88.5	22.7**	0.380	5.3	72.8
～4年3月9日	屋外（屋根）	6	85.3	20.7**	0.410	5.2	81.1
259日間	屋 内	6	93.0	16.6**	0.414	5.9	75.7
平成4年4月14日	屋 外	6	95.1	22.5*	0.381	6.0	87.0
～4年11月5日	屋外（屋根）	6	92.6	19.5*	0.389	5.5	92.7
239日間	屋 内	6	100.0	15.9*	0.388	5.7	79.9
平成4年11月9日	屋 外	6	93.2	22.7**	0.382	5.6	85.5
～5年11月30日	屋外（屋根）	6	87.3	20.2**	0.390	5.3	84.6
385日間	屋 内	6	80.6	14.9**	0.394	5.5	78.6

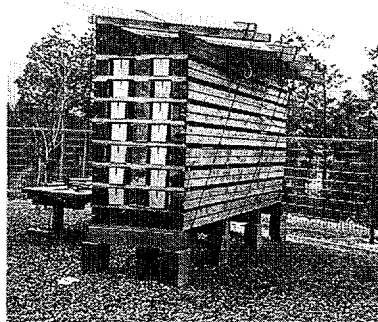
*：天然乾燥3条件間の平均値は5%の危険率で有意差がある。

**：天然乾燥3条件間の平均値は1%の危険率で有意差がある。

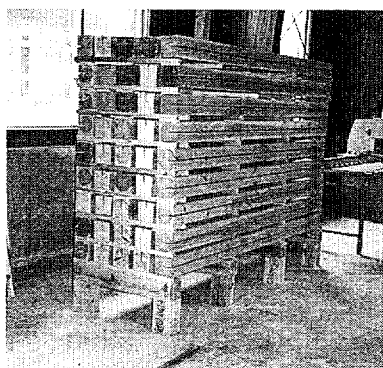
注1：含水率15%時の比重。文献9）の換算式により算出した。



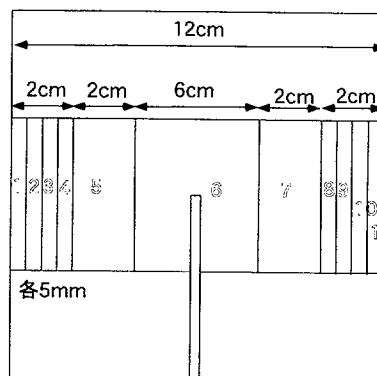
写真－1 屋外条件の試験材



写真－2 屋外（屋根付き）条件の試験材



写真－3 屋内条件の試験材



図－1 水分傾斜測定の割材方法

試験材に直接、日光・風・雨があたらないように試験材の上下段及び両側に一層、試験材以外の正角を積み重ねた。

この方法で試験材を屋外に2組積み重ね、1組はそのままとし、1組には雨よけの屋根を設置した（以下、それぞれ「屋外条件」、「屋外（屋根付き）条件」という）。同様に林業試験場木材実験棟内の直射日光の当たらない北側の、比較的風通しの良い入り口付近にもう1組を積み重ねた（以下、「屋内条件」という）。試験状況はそれぞれ写真－1，2，3のとおりである。

試験は乾燥開始時期をずらせて3回行った。目標含水率は「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」に定められた乾燥材の含水率上限値の25%とした。屋外条件の試験材の平均含水率が目標値に達したあたりで終了した。平成4年11月に始めた試験は、全ての条件で平衡状態に達するまで調査を行った。

3 測定項目

天然乾燥途中に含水率測定用試験材の重量と試験材中央の4材面の幅及び木口・材面割れを測定した。試験材は最終的に割材して、全乾重量を求め全乾法により含水率を算出した。材面割れは長さ和本数を測定した。木口割れは正角材両木口の割れを長さ和本数について測定した。

水分傾斜測定用試験材は適宜取り出し、木口より30cm内側を切断して、3cm厚の切片を採取し、図－1の方法で11の部分に割材して水分傾斜を求めた。測定後は切断面をコーティングして再び積み重ねに帰した。

Ⅲ 結果および考察

1 試験の期間と平衡含水率

表－1に天然乾燥試験の試験期間を示す。試験中の各日の気温と気候値平衡含水率は図－2のとおりである。試験場内百葉箱で白金測温抵抗体により気温を測定し、塩化リチウム露点計で湿度を計測しているため、気温と湿度はこの値を用いた。1日の平均気温と湿度は10分毎の計測値の平均値とした。気候値平衡含水率は気温と湿度から算出した²⁾。

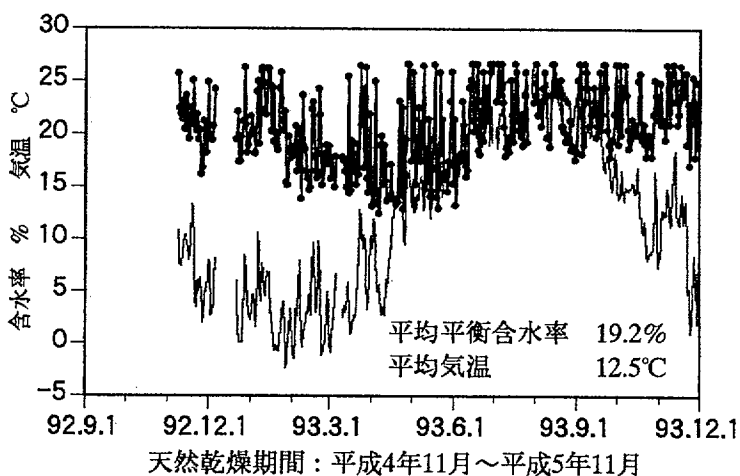
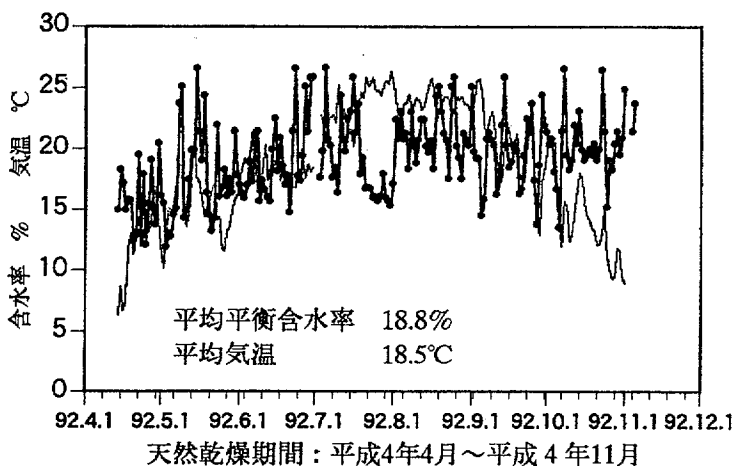
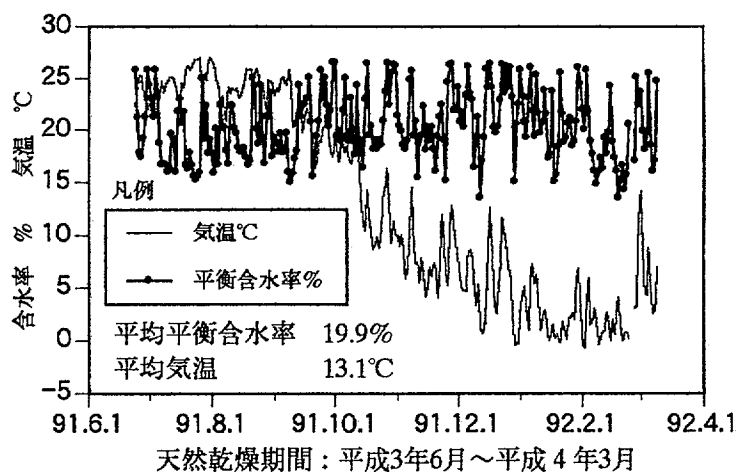
試験期間の平均気候値平衡含水率は約20%となり、鷺見、寺沢が調査した全国百葉箱内平均平衡含水率16.5%（範囲18.1～14.7%）³⁾よりやや高めの値となった。林業試験場が現在地へ移転してから上記の方法で気象の観測を開始したが、湿度の測定に欠測があったり、高めの値を示して安定を欠いた時期があったことを断りたい。

2 含水率測定用試験材の初期含水率と仕上がり含水率

含水率測定用試験材の平均初期含水率は表－1のように100.0～80.6%となっており、ほぼ同じ初期含水率条件で3回の試験を開始することができた。しかし、個々の試験材含水率のばらつきは大きく試験材54本で平均値は90.6%となり、その範囲は168.3%～44.3%であった。

平均仕上がり含水率は屋外条件・屋外（屋根付き）条件・屋内条件の各条件間で差があり、

それぞれ別の値を示している。この値は3回の試験でほとんど同じ値を示し、屋外条件は22%・屋外（屋根付き）条件は20%・屋内条件は15%になった。



図－2 天然乾燥試験中の気温と平衡含水率

屋外（屋根付き）条件の仕上がり含水率は、試験期間の平均気候値平衡含水率と概ね同じになり、屋外条件は屋外（屋根付き）条件よりも2～3%高い値となっている。屋内条件の仕上がり含水率は試験終了時には、まだ少しずつ減少していたこともあり、鷺見、寺沢が調査した住居内平均平衡含水率13.6%（範囲15.3～12.3%）³⁾よりも少し高い値となっている。

試験材含水率の減少経過を、屋外・屋外（屋根付き）・屋内条件別に3回の試験をまとめて図-3に示す。試験材含水率は含水率の減少に伴い収束した後も、気候値平衡含水率に合わせて少しずつ変化している。しかし、上記の仕上がり含水率に近い値をとり、条件により違った含水率になっていることが判る。

分散分析法により検討しても表-1のとおり仕上がり含水率に有為差が認められ、天然乾燥の仕上がり含水率は屋外・屋外（屋根付き）・屋内条件により異なった値となることが判った。

3 試験材の気乾比重等

各条件に供試した試験材の気乾比重・平均年輪幅・心材率は表-1のとおりである。試験終了時に試験材の両端から採取した2枚の切片の測定値を平均した値である。

4 試験材の含水率減少経過の検討

試験材の初期含水率はばらつきが大きく、仕上がり含水率は天然乾燥を行う条件により相違するので、乾燥経過を比較するのは難しい。そこで信田他3名がトドマツの正角の天然乾燥試験で用いた指数関数^{4), 5)}を使って検討を行った。天然乾燥の試験材の含水率が経過日数にたいし、指数関数に従って減少す

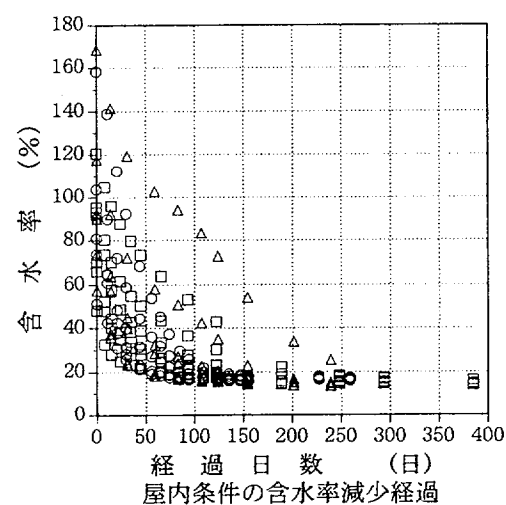
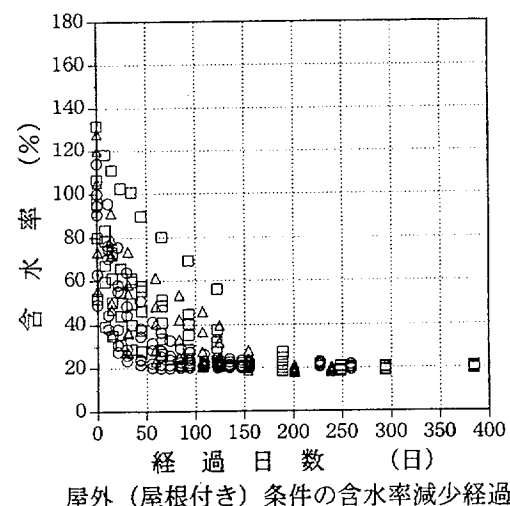
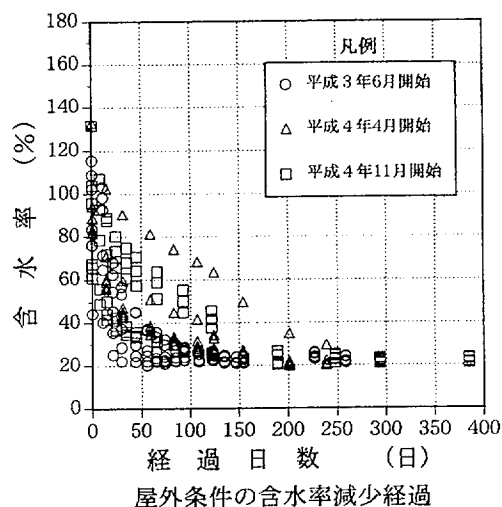


図-3 天然乾燥条件別試験材含水率減少経過

ると仮定して考察をする。

この指数関数は(1)の式のとおり初期含水率を起点とし、理論的には気候値平衡含水率に漸近する曲線である。しかし実際には漸近する値は気候値平衡含水率ではなく、Ⅲ-2で考察したように条件別の仕上がり含水率である。再掲すると、漸近する仕上がり含水率は屋外・屋外（屋根付き）・屋内条件でそれぞれ22%・20%・15%となる。

天然乾燥の経過日数と測定した試験材の含水率をこの式にあてはめて、k値を求め、乾燥特性の比較を行った。

k値は各試験材について最小二乗法により、シンプレックス法で近似して算出した。

$$U = (U_a - U_e) \cdot \text{EXP}^{-k \cdot t} + U_e \quad \cdots \cdots (1)$$

$$t = 1/k \cdot \log((U_a - U_e)/(U - U_e)) \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、U；求める含水率（%）

U_a；初期含水率（%）

U_e；仕上がり含水率（%）

理論的には気候値平衡含水率

k；定数

t；経過日数（日）

である。(2)式は(1)式を変形したもので、乾燥日数の推定が可能である。

天然乾燥期間と条件別の試験材含水率減少経過を図-4、5、6に示す。測定した含水率と指数関数の算出値とは良く一致しており、あてはめの信頼水準はいずれも99%以上である。測定値と算出値の誤差は信田⁵⁾が推定するように、(1)式の近似の限界と平衡含水率の変動による乾燥速度の変化、試験材の割れ等に伴う表面積の増加による乾燥速度の促進等が原因であろう。

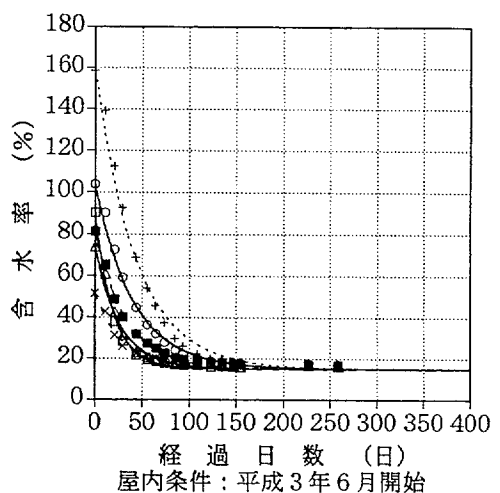
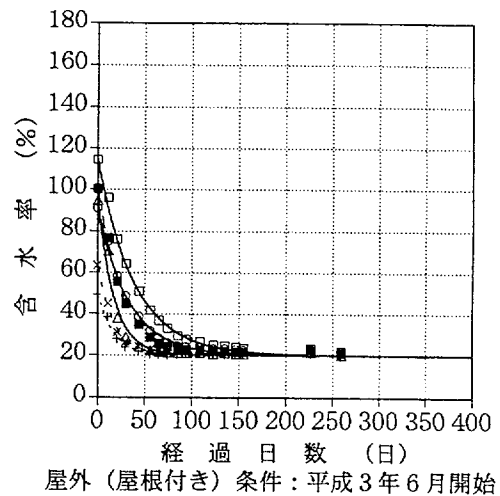
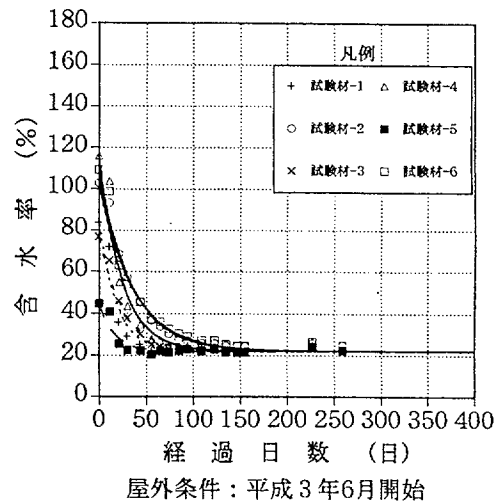


図-4 試験期間（平成3年6月～平成4年3月）の試験材含水率減少経過と指数曲線

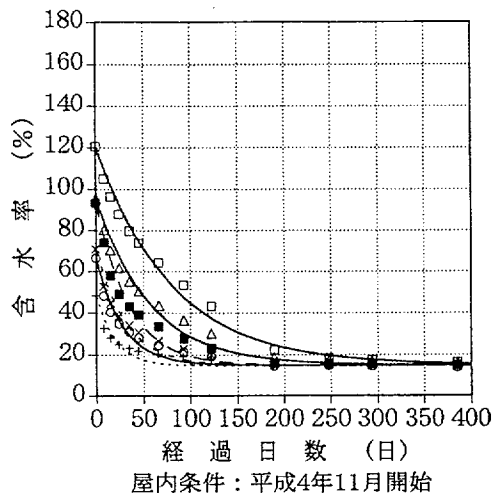
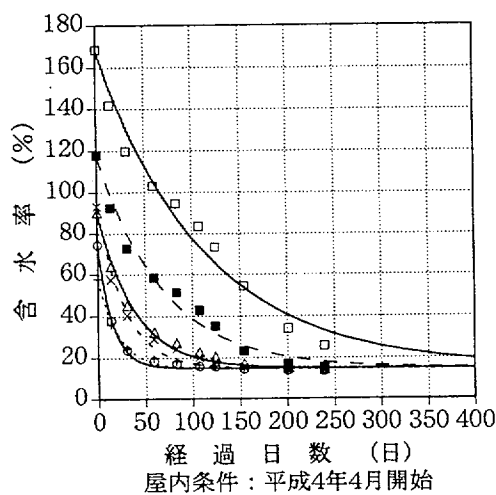
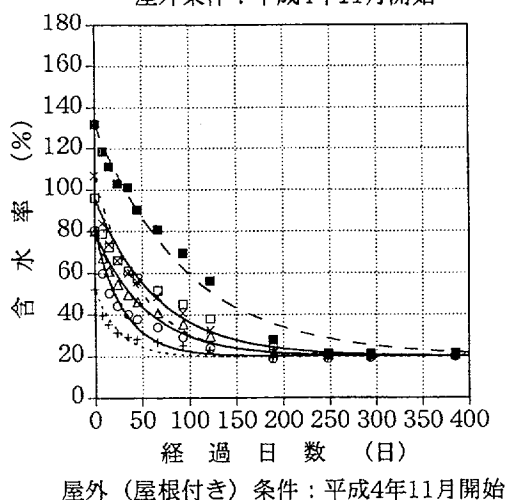
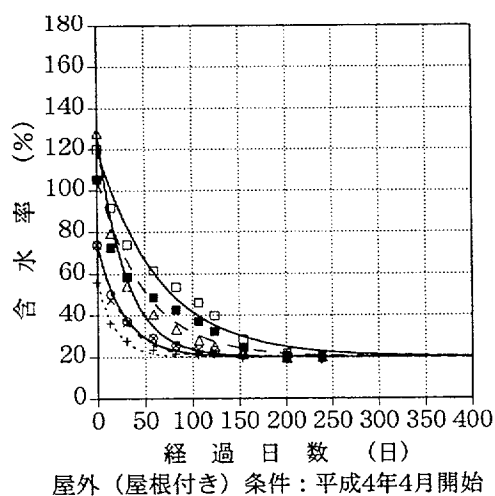
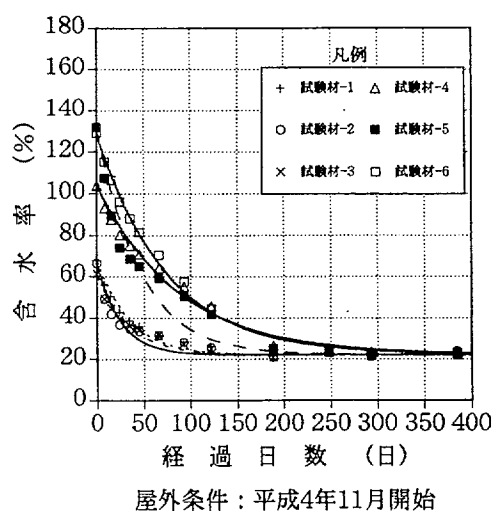
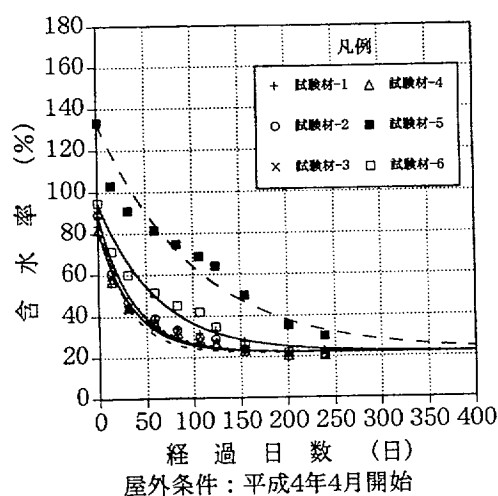


図-5 試験期間（平成4年4月～平成4年11月）
の試験材含水率減少経過と指数曲線

図-6 試験期間（平成4年11月～平成5年11月）
の試験材含水率減少経過と指数曲線

表－２ 指数関数のk値と初期含水率

試験期間	試験材 No.	屋 外		屋外（屋根付き）		屋 内	
		k 値	初期 含水率％	k 値	初期 含水率％	k 値	初期 含水率％
平成 3 年	1	0.05437	83.5	0.05917	49.2	0.02296	158.3
6 月 24 日	2	0.02776	102.5	0.03031	90.7	0.02449	103.7
～	3	0.04040	76.3	0.05865	63.0	0.03434	51.2
平成 4 年	4	0.04200	115.6	0.05703	94.7	0.03782	73.6
3 月 9 日	5	0.06297	44.3	0.03828	100.0	0.03039	80.9
	6	0.02937	108.8	0.02552	114.0	0.05138	90.0
平 均 値		0.04281** ¹	88.5	0.04483** ²	85.3	0.03356	93.0
平成 4 年	1	0.02497	83.4	0.05320	55.7	0.04750	57.5
4 月 14 日	2	0.02756	88.8	0.03551	73.7	0.06543	74.0
～	3	0.03431	89.0	0.03845	73.5	0.03511	92.6
平成 4 年	4	0.02803	81.8	0.03406	127.8	0.02590	90.0
11 月 5 日	5	0.00971	133.0	0.01981	105.1	0.01462	117.5
	6	0.01616	94.5	0.01518	119.9	0.00893	168.3
平 均 値		0.02345** ¹	95.1	0.03270** ²	92.6	0.03292	100.0
平成 4 年	1	0.02857	67.6	0.03965	49.3	0.05075	49.2
11 月 9 日	2	0.03968	66.0	0.03310	78.6	0.03630	63.2
～	3	0.02943	60.8	0.02096	94.1	0.03214	70.6
平成 5 年	4	0.01141	104.0	0.01844	75.6	0.01766	94.4
11 月 30 日	5	0.02166	131.6	0.01041	138.6	0.02887	81.3
	6	0.01340	128.9	0.01529	87.3	0.01260	125.0
平 均 値		0.02402** ¹	93.2	0.02298** ²	87.3	0.02972	80.6

**¹、²：同じ番号の平均値間に 1 % の危険率で有意差がある。

5 k 値の検討

k 値は乾燥速度を表す指標となり、絶対値が大きくなれば乾燥速度は大きくなる⁶⁾。試験材ごとに算出した k 値を、天然乾燥期間と条件別に表－2 に示す。同じ天然乾燥期間内の屋外・屋外（屋根付き）・屋内条件間では平均 k 値に有為な差は認められなかった。しかし、異なる乾燥期間の屋外条件と屋外（屋根付き）条件の平均 k 値間には有為な差があった。

屋外・屋外（屋根付き）・屋内条件全ての試験材の平均 k 値を 3 回の天然乾燥試験別に求めて比較すると表－3 のとおり有為差が認められた。そして 3 回の天然乾燥試験の同じ条件全ての試験材の平均 k 値間には有為差はなかった。

これらのことから、屋外・屋外（屋根付き）・屋内の3条件間では天然乾燥の含水率減少速度に明確な差は認められないが、天然乾燥を行う時期によっては乾燥速度に差が生じると推定できる。

またk値は試験材の初期含水率と相関を示し、初期含水率が高ければk値は小さくなる負の相関関係が認められた。k値は天然乾燥の開始時期により異なった値になることと、天然乾燥を行う条件によっては差が生じないことが考察できるので、天然乾燥を開始する時期別に3条件全ての試験材k値と初期含水率の関係を表-4と図-7に表した。k値と初期含水率には1%の危険率で有意な相関関係があり、回帰式は同表のとおりである。

この一次回帰式を用いて、天然乾燥を行う時期別に初期含水率からk値を算出することができる。求めたk値と初期含水率を(1)式に代入すれば、天然乾燥の含水率減少経過の推測が可能である。

なお試験材の気乾比重・平均年輪幅・平均心材率とk値には、有意な相関関係は無かった。

表-3 k値の比較

区 分	試験材数 本	k値の 平均値	k値の 標準偏差
平成3年6月～4年3月：3条件全ての試験材	18	0.04040**	0.01350
平成4年4月～4年11月：3条件全ての試験材	18	0.02969**	0.01519
平成4年11月～5年11月：3条件全ての試験材	18	0.02557**	0.01159
3期間の屋外条件全ての試験材	18	0.03010	0.01411
3期間の屋外（屋根付き）条件全ての試験材	18	0.03350	0.01566
3期間の屋内条件全ての試験材	18	0.03207	0.01487

**：1%の危険率で有意

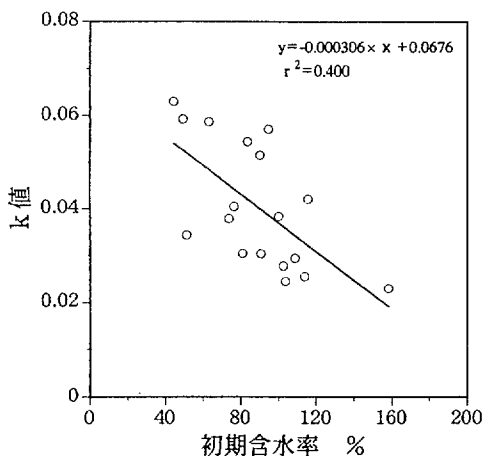
表-4 初期含水率とk値の相関

区 分	試験材数	決定係数 ^{注1}	a ^{注2}	b ^{注3}
試験期間：平成3年6月～4年3月 3条件全ての初期含水率とk値	18	0.400**	-3.06×10^{-4}	6.76×10^{-2}
試験期間：平成4年4月～4年11月 3条件全ての初期含水率とk値	18	0.562**	-3.99×10^{-4}	6.80×10^{-2}
試験期間：平成4年11月～5年11月 3条件全ての初期含水率とk値	18	0.677**	-3.36×10^{-4}	5.48×10^{-2}

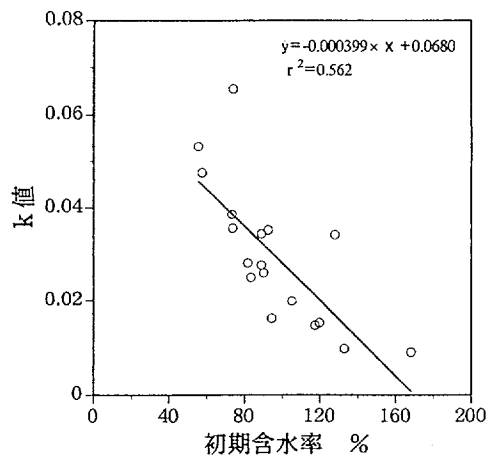
注1：決定係数の**は危険率1%で有意。

注2、注3：回帰直線の定数 $k = a \times U a + b$

ここで、a、b定数 k；k値 U a；初期含水率



天然乾燥期間：平成3年6月～平成4年3月



天然乾燥期間：平成4年4月～平成4年11月

6 天然乾燥の含水率の減少経過の推定

Ⅲ－5で、 k 値が求めれば初期含水率別に(1)式から天然乾燥の含水率経過を推定できると考察した。表－4の一次回帰式を用いて初期含水率別に k 値を求め、(1)式から経過日数による含水率を算出して作成したのが図－8である。

ただし、この初期含水率は同一林分から伐出して同じ時期に製材したスギ正角の含水率であり、製材をした後、天然乾燥等の乾燥経過のない生材含水率である。

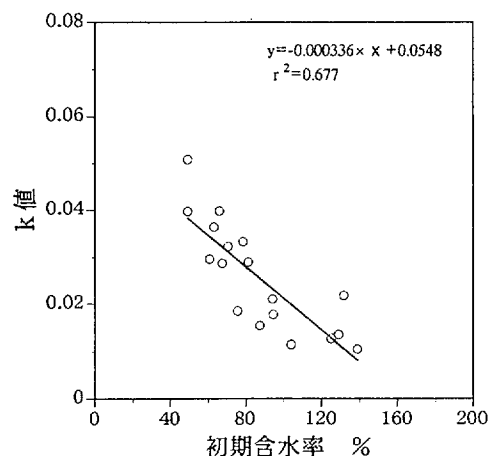
例えば初期含水率80%のスギ正角を屋外条件で4月から天然乾燥すると、図－8のとおり2ヵ月で28%になると推定できる。

また、 k 値が求めれば(1)式を変形した(2)¹⁾式により乾燥日数を計算することも可能である。

7 天然乾燥途中の水分傾斜

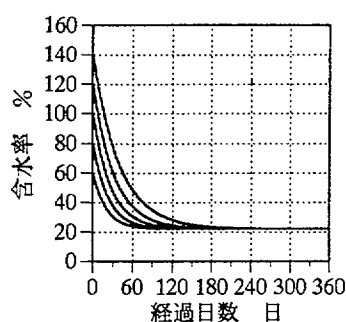
水分傾斜測定用試験材（試験期間：平成4年11月～平成5年11月）の乾燥途中の水分傾斜を天然乾燥条件別に図－9に示す。表層から2cm辺りまでは比較的乾燥が早く、45日程度で繊維飽和点以下になっている。しかしいずれの条件も中心部分の含水率の減少が遅い。

189日以降は中心部分の含水率も安定し、水分傾斜は殆ど無くなっている。中心部分の含水率はⅢ－2の仕上がり含水率の値とほぼ同じであり、天然乾燥を行う条件により仕上がり含水率と異なった値になることが確認できる。

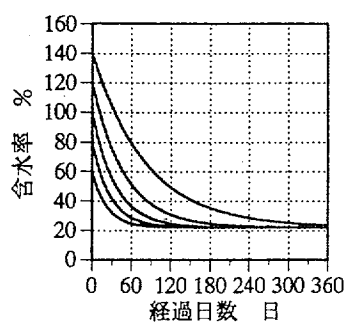


図－7 初期含水率と k 値の相関

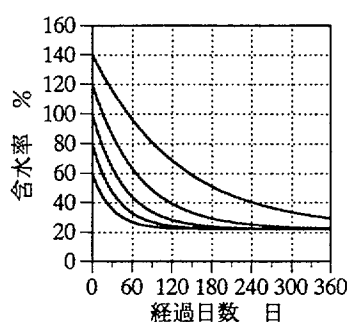
(屋外、屋内(屋根付き)、屋内条件の試験材すべて含む。)



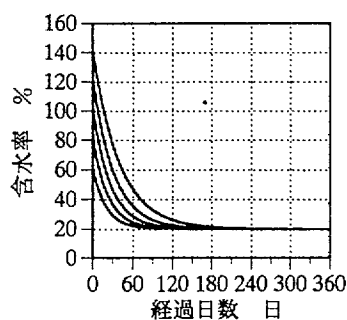
屋外:6月開始



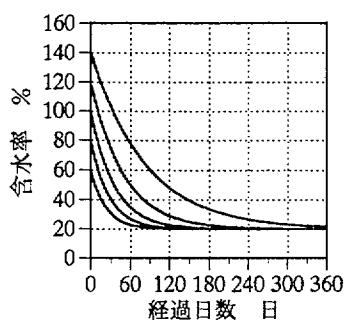
屋外:4月開始



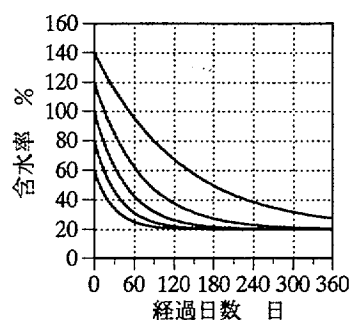
屋外:11月開始



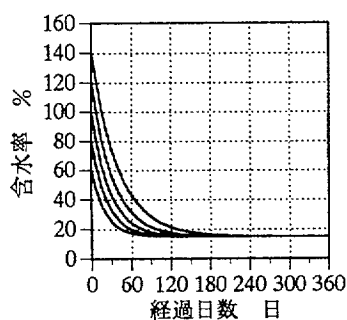
屋外（屋根付き）
:6月開始



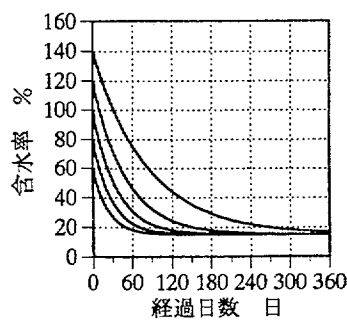
屋外（屋根付き）
:4月開始



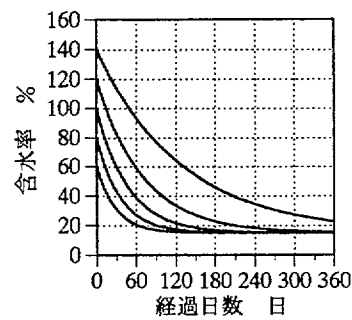
屋外（屋根付き）
:11月開始



屋内:6月開始



屋内:4月開始



屋内:11月開始

図－8 スギ正角天然乾燥の含水率減少経過の推定

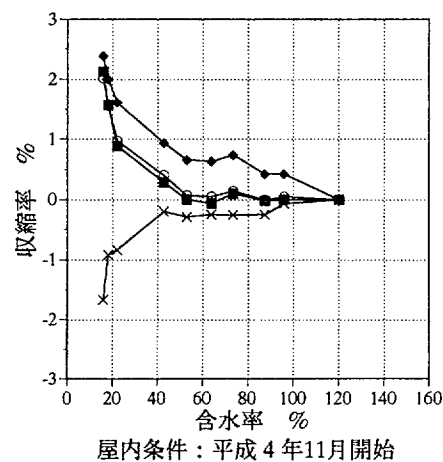
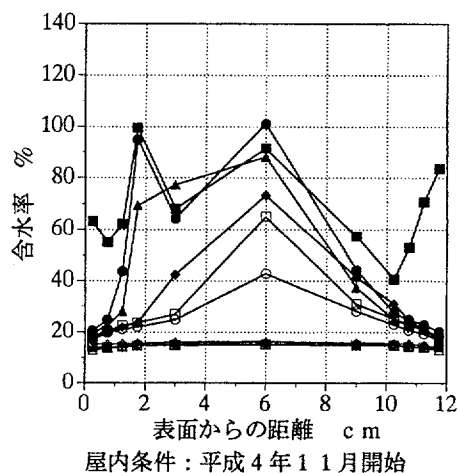
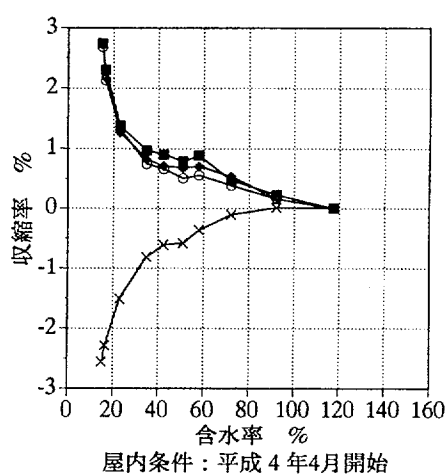
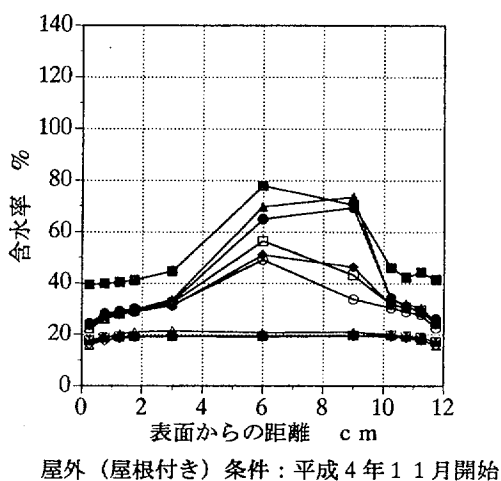
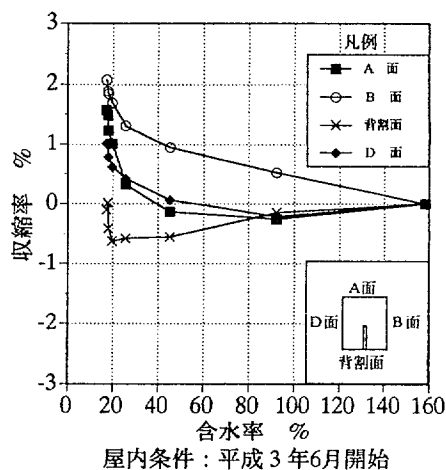
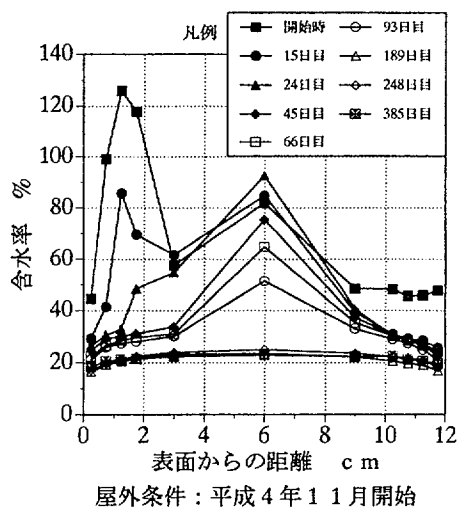


図-9 天然乾燥中の水分傾斜

図-10 天然乾燥中の材面の収縮

8 材面の収縮

図-10に天然乾燥期間ごとの屋内条件の試験材の収縮経過を示す。各乾燥期間に供試した試験材のうち、初期含水率が最も高い試験材の中央部分の材面の収縮率である。背割りをしていない材面では含水率が40%以下になる辺りから収縮率が増加し、最終的には含水率15%で収縮率は2.5%程度になると思われる。

9 損傷

試験終了時の試験材の材面割れと木口割れの本数及び長さは表-5のとおりである。試験材6本の平均値を示した。各天然乾燥条件による材面割れと木口割れの有為差を同表にまとめた。また材面割れと木口割れの長さを図示すれば図-11である。

材面割れ、木口割れとも屋外条件が多く、それに次いで屋外（屋根付き）条件で、屋内条件は割れが少ない傾向となっていることが判る。

表-5 試験材の材面割れと木口割れ

試験期間	天然乾燥条件	材面割れ ^{注1}		木口割れ ^{注2}	
		本数	長さ mm	本数	長さ mm
平成3年6月～	屋外	11**	1395**	4**	1005
	屋外(屋根)	3**	525**	2**	530
4年3月	屋内	0**	0**	0**	101
平成4年4月～	屋外	12**	3141	5**	1137**
	屋外(屋根)	9**	2455	2**	271**
4年11月	屋内	4**	1040	2**	173**
平成4年11月～	屋外	12**	2961	7**	974*
	屋外(屋根)	11**	2595	5**	1091*
5年11月	屋内	5**	1454	3**	261*

注1、注2：試験材6本の平均値

*：天然乾燥3条件間の平均値に5%の危険率で有為差がある。

**：天然乾燥3条件間の平均値に1%の危険率で有為差がある。

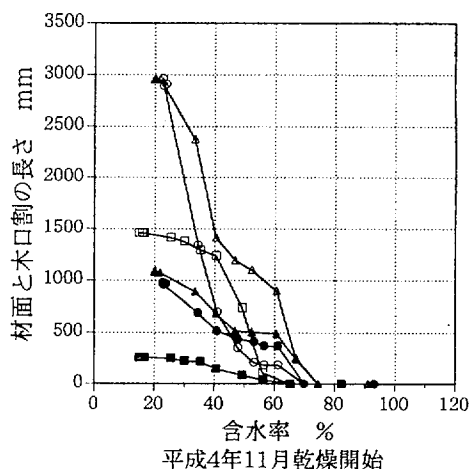
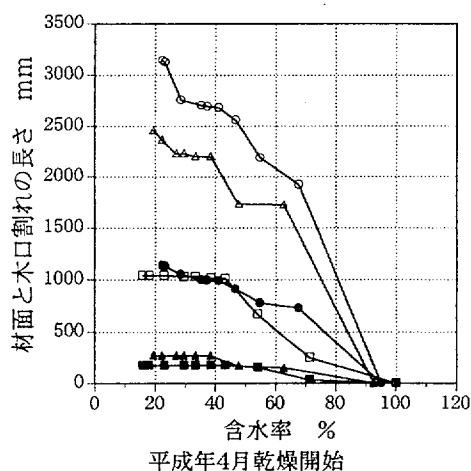
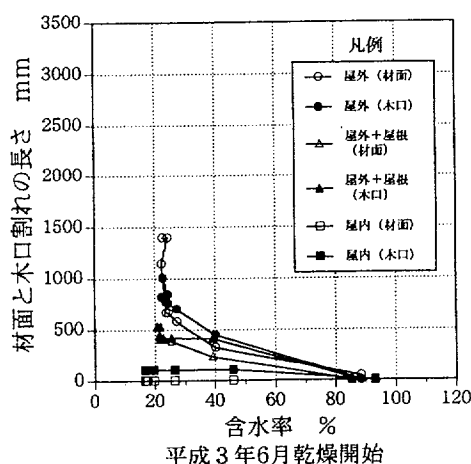


図-11 天然乾燥中の材面と木口割れの長さ

IV おわりに

天然乾燥開始時期をずらせて3回試験を行い、それをもとにこの報告をまとめた。この試験の前に予備試験として平成3年1月から同年5月まで同様に天然乾燥を行ったが、予備試験ではⅢ-2、5で考察した結果は得られなかった⁷⁾。これは予備試験の乾燥期間が短かったために仕上がり含水率が平衡状態にならなかったことと、試験材の初期含水率（平均値55.0%）が低かったことが原因していると思われる。信田がトドマツ人工林材の高温乾燥後の正角材を室内に放置した場合の、含水率の減少経過を同じ指数関数を用いて検討を行っているが、高温乾燥後の初期含水率（平均値20.8%）とk値に相関関係がないと報告⁸⁾している。天然乾燥の含水率減少経過を指数関数にあてはめて検討する方法は試験材の初期含水率が低い場合、高含水率域でのあてはめ計算ができないので初期含水率の違いによるk値の差が生じにくいことが原因と考えられる。

今後、天然乾燥の含水率減少経過をより明確に把握するために、指数関数のk値を決定する因子の考察について、初期含水率を含めてさらに行いたい。

V ま と め

- 1 スギ正角の天然乾燥を屋外と、雨よけの屋根を設置した屋外と、屋内で行い、平衡状態に達した最終的な仕上がり含水率を比較すると、差が認められた。屋外と雨よけの屋根を設置した屋外と屋内では、仕上がり含水率がそれぞれ22%、20%、15%となった。
- 2 天然乾燥の乾燥速度は屋外・雨よけ屋根を設置した屋外・屋内条件間で明らかな差は認められなかったが、天然乾燥を開始する時期により差が生じた。
- 3 天然乾燥における含水率の減少経過は、Ⅲ-4-(1)式の指数関数の定数が初期含水率と相関関係があることを用いて、初期含水率別に推定することが可能である。
- 4 材面の収縮は背割りを施していない面では含水率が40%以下になると顕著になり、含水率15%で収縮率は約2.5%になる。
- 5 天然乾燥中の材面割れと木口割れの発生は、屋外が多く、次いで雨よけ屋根を設置した屋外となり、屋内が少ない傾向であった。

文 献

- 1) 野原正人、岩田隆昭、山本和男：針葉樹の天然乾燥速度について、岐阜県林業センター研究報告、第5号、31～48（1977）
- 2) Simpson W.T.:F.P.J.,21,5,48～49(1971)
- 3) 寺沢真、鷺見博史：我が国における木材の平衡含水率に関する研究、林業試験場研究報告、第227号別冊、47（1970）
- 4) 寺沢真、岩下睦：木材乾燥操作に関する基礎的研究（第1報）乾燥特性曲線について、林業試験場研究報告、第81号、87（1955）
- 5) 信田聡ほか3名：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、N0.392, 1～9 (1984)
- 6) P.N.Alexiou,A.P.Wilkins,Jamie Hartley:Wood Science and Technology,24, 103～110 (1990)
- 7) 三好誠治, 村口良範:スギ正角の条件別天然乾燥について(第1報)、日本木材学会中国・四国支部第5回研究発表要旨集, 72～73 (1993)
- 8) 信田聡ほか2名:トトマツ人工林材の乾燥試験(第6報)―高温乾燥後の正角材の室内放置中の含水率と収縮率―北海道立林産試験場月報, No.403, 1～9 (1985)
- 9) 飯島泰男:曲げ強度性能、構造用木材―強度データの収集と分析、木材強度・木質構造研究会、6 (1988)