

論文

島根県産スギ心持ち正角材のパラフィン液相乾燥試験

中山茂生・池淵隆・後藤崇志・福島亮・岩谷英昌*
吉田誠二**・高橋伴武***・長野能久****・松村賢治****

Drying Test in Paraffin Liquid on Boxed-heart Square Timber of Sugi
Produced in Shimane Prefecture

Shigeo Nakayama, Takashi Ikebuchi, Takashi Goto, Akira Fukushima
Hidemasa Iwatani*, Seiji Yoshida**, Tomotake Takahashi***
Yoshihisa Nagano****, Kenji Matsumura****

要 旨

背割りのない島根県産スギ心持ち正角材を試験材として、実用に供されているパラフィン液相乾燥機により乾燥試験を実施し、以下の知見を得た。

1. 温度110°Cで70時間のパラフィン乾燥を行うことにより、試験材の含水率は20%以下となった。一方、温度110°Cで15, 23, 37時間のパラフィン乾燥では、試験材の含水率は20%まで低下しなかった。しかし、パラフィン乾燥後に天然乾燥を行った場合は、3～6ヶ月で含水率20%以下となった。
2. 温度110°Cで15, 23, 37時間のパラフィン乾燥を行った試験材には著しい水分傾斜が認められたが、パラフィン乾燥後の天然乾燥3ヶ月で、内層部まで均一な含水率に揃ってきた。
3. パラフィン乾燥を行った試験材の材面割れは、蒸気式中温乾燥材や天然乾燥材と比較して少なかった。
4. 温度110°Cで15, 23, 37時間のパラフィン乾燥を行った試験材の内部割れはわずかであったが、温度110°Cで70時間のパラフィン乾燥では内部割れが多く発生した。
5. パラフィン乾燥を行った試験材は、蒸気式中温乾燥材と比較して辺材の明度が低下し、材全体の淡黄褐色化が進行した。
6. パラフィン乾燥を行った試験材は、蒸気式中温乾燥材と比較して、平衡含水率が低下する傾向を示した。

I はじめに

近年、スギ構造用製材の人工乾燥に、水の沸点以上の高温のパラフィン液相中で乾燥させる液相乾燥法が用いられている。この乾燥法は、高知県の柳田氏により開発され、1999年に特許登録されている（日本国特許庁、

2000）。また、パラフィン液相乾燥法による実用機が製造されたのは2000年からである。

パラフィン液相乾燥法の研究としては、スギ丸棒とスギ平角材を乾燥させた報告（柳田，1998）やスギ正角材を乾燥させた報告（松岡ら，2001）があり、従来の蒸気

この報告の一部は、第53回日本木材学会大会（2003年3月，福岡）および日本木材学会中国・四国支部第15回研究発表会（2003年9月，東広島）において発表し、木材工業59：448～453（2004）で公表した。

* 島根県松江農林振興センター ** 島根県浜田農林振興センター *** 島根県隠岐支庁農林局 **** (株) 松江木材市場

式中温乾燥法や除湿式乾燥法と比較して乾燥時間の短縮化が図られ、材面割れの発生も少ないことが報告されている。反面、長時間高温を維持すると内部割れが発生しやすく、明度が低下し材色の変化がある（(財)日本住宅・木材技術センター，2003）ことが指摘されている。

また、木材を高温乾燥すると平衡含水率が低下し、温湿度の変化に対する寸法変化も小さくなり、寸法安定性の改善が期待できる（吉田ら，2000）と言われている。

そこで、本研究では、実用に供されているパラフィン液相乾燥機を使用して、パラフィン液相乾燥時間別の材面割れや内部割れの発生状況を調査した。また、パラフィン液相乾燥後に天然乾燥に移行する方法についても検討し、あわせて、材色の変化と吸・放湿特性についても調査した。

II 試験方法

1. パラフィン液相乾燥機の概要

使用したパラフィン液相乾燥機は、2001年5月に松江木材協同組合が導入した三善工業（株）製LDM-8KMマルチドライヤーキャムである。液槽容量は幅1.5m×長さ9.1m×高さ2.3mで、材長4mの12cm正角材が80本入る容量である。使用しているパラフィンはJIS品番140番で融点は61℃である。パラフィンの加熱は灯油バーナーにより行い、液槽内に取り付けられた温度センサーによりパラフィン液相温度を自動制御する機構である。

2. 試験材と乾燥条件

試験材と乾燥条件を表1に示した。乾燥試験は2回行った。

1回目試験では、製材直後の背割りのない材長4mの島根県産スギ13cm心持ち正角材を24本用いた。はじめに、生材重量を測定し、その平均値と分散が等しくなるように8本ずつ3つのグループに仕分けた。次に、初期含水率を測定するため3.4mに鋸断後、パラフィン液相

乾燥（以下、パラフィン乾燥と記す）を実施した。目標仕上がり含水率は全乾法含水率で20%とし、乾燥スケジュールは設定温度110℃一定とした。ここで、設定温度とはパラフィン乾燥機の制御盤において設定した温度である。乾燥時間については、試験材24本を一度にパラフィン液相に浸せきし、15、23、37時間経過後に8本ずつ取り出すという手順で行った。パラフィン乾燥終了後、自動四面鉋盤で12cm正角材に仕上げ加工し、6ヶ月間（2001年8月～2002年1月）の天然乾燥を行った。天然乾燥は、アスファルト舗装した土場に設けた通風のよい屋根付き天然乾燥場で、高さ58cmの木製台上に試験材を積積みして行った。なお、天然乾燥前に仕上げ加工を行ったのは、スギ構造材の場合、パラフィンが材表面から5mm程度浸透して材表層部がコーティングされる（松岡ら，2002）ことによる天然乾燥速度の低下を防ぐためである。

2回目試験では、製材直後の背割りのない材長3mの島根県産スギ13cm心持ち正角材32本を試験材として用い、目標仕上がり含水率は同様に20%とした。乾燥スケジュールも同様に設定温度110℃一定とし、乾燥時間は70時間とした。パラフィン乾燥終了後、12cm正角材に仕上げ加工し、木質系単層フローリングを施工された鋸目立て実験室内で5ヶ月間（2002年7～11月）の養生を行った。

3. 測定項目

1) パラフィン液温と材内温度

1回目試験において、パラフィン液温と正角材内温度を測定した。材内温度は、治具パレットに8本ずつ3段（上段15、中段23、下段37時間乾燥試験材）に固定した試験材のうち、手前側3本の材長および材厚方向の中央部に、ドリルにより材中心部（6.5cm深さ）まで穿孔し、K熱電対を挿入して測定した。挿入後、シリコングリースによりシールした。パラフィン液温は、材内温度を測定した試験材3本の表面付近と治具パレット右側および左側奥部の基底部から65cm位置に計5箇所、K熱電対を取り付けて測定した。

2) 含水率分布

含水率測定用の試験片採取位置を図1に示した。1回目試験では、パラフィン乾燥前、乾燥後、天然乾燥3ヶ月および6ヶ月後にそれぞれ長さ2cmの試験片を採取し、図2のとおり11分割して全乾法により含水率を求め

表1 試験材と乾燥条件

乾燥試験	乾燥時の試験材寸法 (cm)	背割り	試験材本数 (本)	設定温度 (℃)	乾燥時間 (h)	後工程
1回目	13×13×340	無し	8	110	15	天然乾燥 6ヶ月
			8	110	23	
			8	110	37	
2回目	13×13×300	無し	32	110	70	室内養生 5ヶ月

た。また、天然乾燥過程における含水率は各月の試験材重量を測定しておき、3ヶ月および6ヶ月後の全乾法含水率から換算して求めた。

2回目試験では、図1のとおり、パラフィン乾燥後および室内養生5ヶ月後に長さ2cmの試験片を採取して、同様に11分割して全乾法により含水率を求めた。

3) 寸法変化と材面割れ, 内部割れ

1回目試験では、パラフィン乾燥前、乾燥後および天然乾燥過程で、試験材の材長方向中央部において4材面の寸法をノギス(1/100mm精度)により測定し、あわせて、各材面に発生した木口割れを含む材面割れ長さとして最大割れ幅を測定した。

2回目試験では、パラフィン乾燥前、乾燥後および室内養生後に、同様に4材面の寸法と材面割れ長さおよび最大割れ幅を測定した。

内部割れは、図1のとおり、1回目試験では天然乾燥6ヶ月後、2回目試験では室内養生後に含水率試験片の隣接箇所から長さ2cmの内部割れ測定用試験片を採取して、割れ長さとして最大割れ幅を測定した。

4) 材色

材色の測定は、1回目試験に使用したすべての試験材

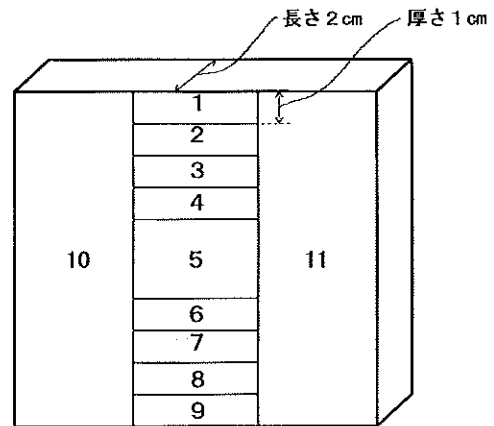


図2 含水率測定試験片(11分割)

と2回目試験に使用した試験材から無作為に8本を選び、図1のとおり試験材を採取し、4材面の心・辺材別に分光式色差計(日本電色工業(株)製SE-2000)を用いて、L*a*b*表色系で求めた。なお、コントロール材として、12cm正角材に仕上げ加工したスギ蒸気式中温乾燥材(乾球温度60℃一定、運転時間8時間/日の間けつ運転24日間)を8本用いた。

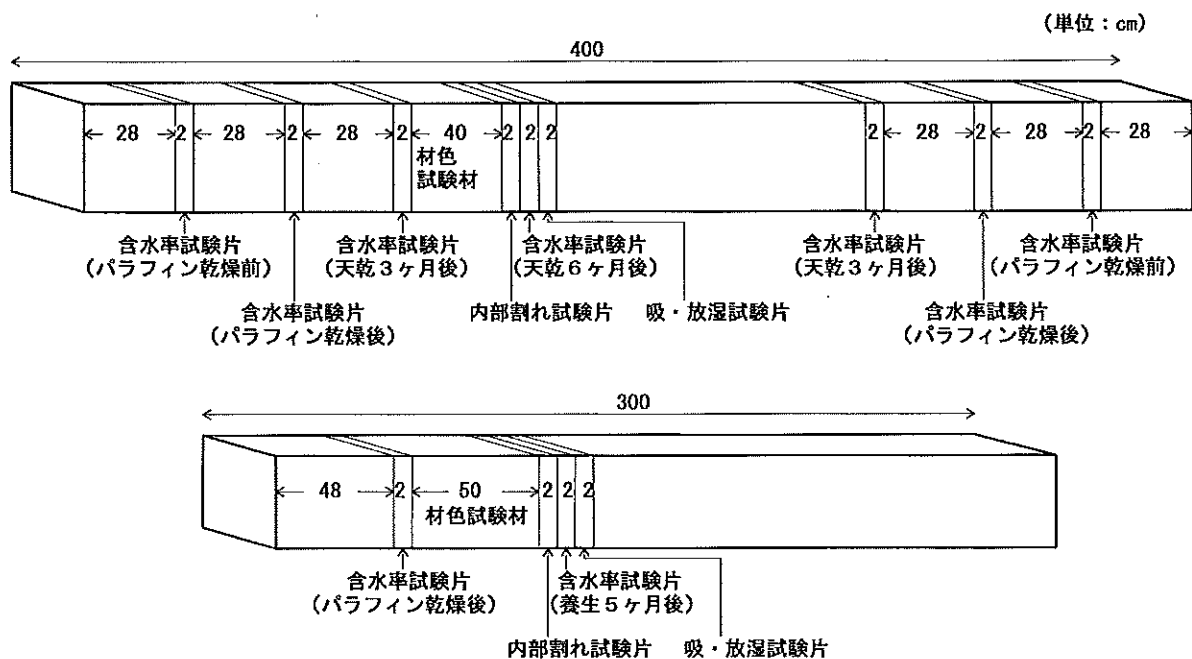


図1 試験片採取位置(上段:1回目試験材,下段:2回目試験材)

5) 吸・放湿試験

吸・放湿試験は、1回目試験に使用したすべての試験材と2回目試験に使用した試験材から無作為に8本を選び、図1のとおり長さ2cmの試験片を採取して、恒温恒湿器内に存置した。これらの試験片の重量を原則として毎日測定し、試験終了時に全乾とした後、各測定時の含水率を算出した。

また、試験片の隣接する2材面の寸法を原則として3日に1回測定した。恒温恒湿器は、開始2週間を温度20℃、湿度85% (EMC18%)、その後の2週間を温度20℃、湿度30% (同6%)、最終2週間を温度20℃、湿度85% (同18%) に設定した。なお、コントロール材として、材色の測定と同様にスギ蒸気式中温乾燥材から採取した長さ2cmの試験片を8枚用いた。

III 結果と考察

1. パラフィン液温と材内温度

パラフィン液温と材内温度の測定結果を図3に示した。パラフィン液温は液槽内の5箇所測定したが、測定箇所による温度むらは認められず、113~118℃の範囲で推移した。なお、液温が15および23時間の位置で急落しているのは、試験材と一緒に熱電対をパラフィン液相から取り出したために生じたものであり、実際の液温は低下していない。

材内温度は15、23、37時間乾燥試験材各1本で測定したが、パラフィン液相に浸せき後、いずれも約5時間で104℃前後まで上昇し、その後、安定した。経過時間20時間付近で見ると、液温と材内温度の差は12~17℃

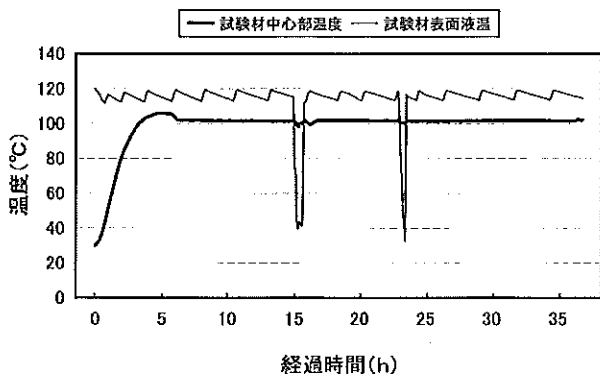


図3 パラフィン液温と材内温度 (37時間乾燥試験材)

であり、37時間経過時点でも同様であった。材中心部の温度が約100℃に達した後そのまま推移する傾向は、松岡ら (2001) が行ったパラフィン液温120℃におけるスギ正角材内温度の測定結果と等しかった。

2. 乾燥経過

1回目試験における乾燥経過を図4に示した。パラフィン乾燥前の含水率は15、23、37時間乾燥試験材各8本の平均値で、それぞれ80.9、70.4、82.2%であり、パラフィン乾燥後には含水率20%まで低下せず、それぞれ47.8、40.0、36.8%であった。仕上げ加工後、天然乾燥3ヶ月で37時間乾燥試験材は19.7%となり、15、23時間乾燥試験材も6ヶ月後にはそれぞれ19.9、20.0%となった。

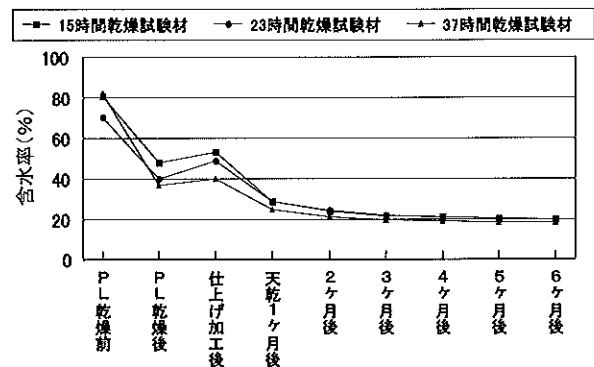


図4 乾燥経過 (1回目試験)

注) PL乾燥とはパラフィン乾燥の略である。

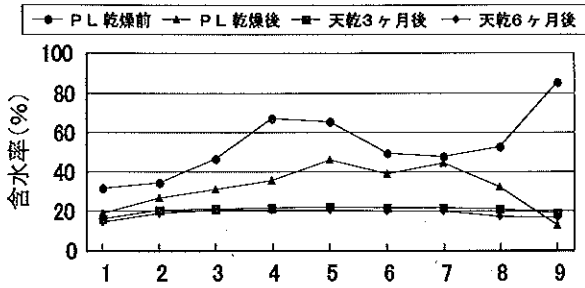
2回目試験における乾燥経過について、試験材32本の平均値で示すと、パラフィン乾燥前の含水率は75.3%であり、70時間乾燥後には17.2%となって、目標仕上がり含水率20%を満たした。室内養生5ヶ月後には13.5%となり、すべての試験材が20%以下となった。

3. 水分傾斜

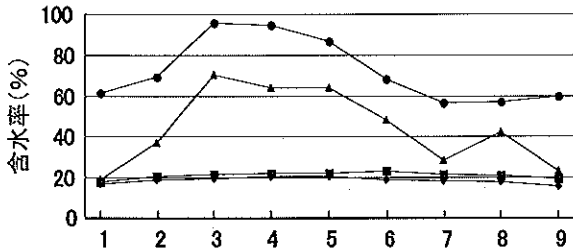
15、23、37時間乾燥試験材各8本のうち、平均的な含水率の試験材各1本について、水分傾斜の推移を図5に示した。いずれの試験材もパラフィン乾燥後には材中心部付近の含水率が高く、水分傾斜が認められたが、仕上げ加工後の天然乾燥3ヶ月で、内層部まで均一な含水率に揃ってきた。

また、70時間乾燥試験材32本のうち、初期含水率が高い試験材では、パラフィン乾燥後に水分傾斜が認められたが、室内養生後には内層部まで均一な含水率に揃ってきた。

15時間乾燥試験材(初期MC74.4%)



23時間乾燥試験材(初期MC70.2%)



37時間乾燥試験材(初期MC77.7%)

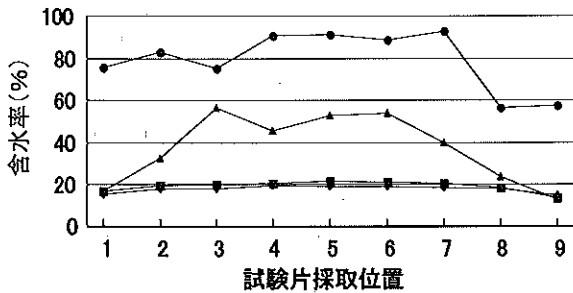


図5 水分傾斜の推移(1回目試験)

注) PL乾燥とはパラフィン乾燥の略である。

4. 収縮率

15, 23, 37時間乾燥試験材の収縮率については、パラフィン乾燥終了後1.0~1.4%収縮し、天然乾燥6ヶ月後には2.1~2.2%収縮した。

また、70時間乾燥試験材の収縮率は、パラフィン乾燥後に2.6%、室内養生5ヶ月後に3.0%であった。

スギ構造材の場合、パラフィンが材表面から5mm程度浸透する(松岡ら, 2002)ことから、仕上げ加工後にも材表面には1mm内外のパラフィン浸透層が残っていると云える。

5. 材面割れ

材面割れの測定結果を表2に示した。単位は試験材

表2 材面割れ測定結果

乾燥時間 (h)	材面割れ延長 (cm/m)		最大割れ幅 (mm)
	仕上げ加工後	天然乾燥6ヶ月後	
15	29.9	37.3	1.0
23	48.9	44.1	1.2
37	76.4	78.0	1.8
70	87.5	76.1*	1.4*

注) *: 室内養生5ヶ月後の数値である。

1m当たりの4材面に発生した材面割れの延長を表している。仕上げ加工後では、パラフィン乾燥時間が長いほど材面割れも長い傾向であった。70時間乾燥試験材については、室内養生5ヶ月後の材面割れは減少する傾向であった。仕上げ加工後と天然乾燥6ヶ月後および室内養生5ヶ月後の材面割れについて、t-検定を行ったところ、15, 23, 37時間乾燥試験材については有意差を認めず、70時間乾燥試験材についてのみ1%水準で有意差が認められた。このことから、パラフィン乾燥後、天然乾燥に移行した場合、材面割れは伸長せず、また、パラフィン乾燥のみで含水率17%付近まで乾燥させた場合は、養生期間における材内部の含水率低下に伴う収縮によって、材面割れは閉じる傾向にあると推察される。なお、天然乾燥6ヶ月後の最大割れ幅は、1.0~1.8mmであり、室内養生5ヶ月後の最大割れ幅は1.4mmであった。

この測定結果から、材面割れの延長や割れ幅が従来の乾燥方法(100℃以下の人工乾燥、天然乾燥)に比べ少なかったこと、および割れが表面から1cm程度の深さまでしか入っていなかったことは、吉田ら(2000)が行ったスギ心持ち正角材の高温低湿乾燥と同じ傾向であった。

6. 内部割れ

内部割れの測定結果を表3に示した。15, 23, 37時間乾燥試験材の内部割れはわずかであったが、70時間乾燥試験材にはすべて内部割れが観察された。これは、パラフィン乾燥により材表面部の含水率低下が先行してドラインゲット(片桐ら, 2001)が形成され、乾燥末期の材内部の含水率低下に伴う急速な収縮によって、天然乾燥を併用した場合よりも大きな引張応力が内部に生じたことによるものと考えられる。

この内部割れの測定結果を乾燥材の品質基準((財)

日本住宅・木材技術センター，2003) に照らして評価すると，パラフィン乾燥15，23，37時間の乾燥試験材において，見え隠れ材として使用する材長3 m心持ち柱角の品質ランクBの内部割れ基準（内部割れ長さ総計50mm以下，最大割れ幅1 mm以下）を満たした。

表3 内部割れ測定結果

乾燥時間 (h)	割れ延長 (mm)	最大割れ幅 (mm)
15	19	0.5
23	10	0.4
37	27	0.9
70	129	1.5

注) 最大割れ幅は，内部割れがある材の平均値である。

7. 材色

辺材と心材の明度指数およびクロマティックネス指数を表4に示した。パラフィン乾燥材は蒸気式中温乾燥材と比較して，いずれの乾燥条件においても辺材の明度の低下が認められた。また，辺材は赤み成分a*と黄色成分b*が同時に増加し，心材は黄色成分が増加したことにより，材全体が淡黄褐色化する傾向が認められた。

表4 辺材・心材の明度指数とクロマティックネス指数

測定箇所	表色系	蒸気中温	PL15時間	PL23時間	PL37時間	PL70時間
辺材	L*	76.7(3.4)	71.1(1.5)	71.5(1.0)	69.9(1.9)	67.5(1.5)
	a*	5.7(0.9)	7.9(0.8)	7.3(0.6)	8.6(1.2)	9.0(0.6)
	b*	21.6(1.4)	27.1(0.9)	25.8(1.3)	28.2(2.8)	27.5(1.6)
心材	L*	61.1(4.4)	63.5(2.3)	62.5(1.4)	61.8(1.7)	58.9(3.0)
	a*	12.7(1.6)	11.8(0.6)	11.3(0.7)	11.3(0.6)	11.2(0.9)
	b*	22.4(1.5)	26.2(1.6)	26.0(0.6)	26.9(2.3)	27.2(1.1)

注1) 数値は平均値を示し，()内は標準偏差を示す。

注2) PLとはパラフィン乾燥の略である。

8. 吸・放湿特性

吸・放湿試験における含水率の変化を図6に示した。パラフィン乾燥材の含水率は蒸気式中温乾燥材と比較して，吸湿側で1.5～3.4%，放湿側で0.9～1.2%低くなっており，t-検定を行ったところ1%水準で有意差が認められた。従って，パラフィン乾燥材においても他の高温乾燥材と同様に，平衡含水率が低下すると考えられる。

次に，試験片の寸法について，経過日数4日目の吸湿時の寸法を基準として収縮率を算出し，図7に示した。

放湿時の収縮率はパラフィン乾燥時間が長くなるほど小さくなる傾向を示した。従って，乾燥スケジュールを選択することにより，寸法安定性を向上させることが可能であると思われる。

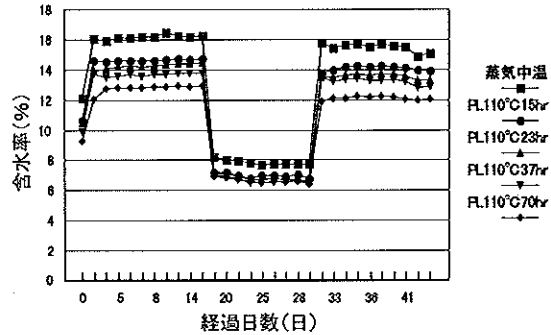


図6 吸・放湿試験における含水率の変化

注) PLとはパラフィン乾燥の略である。

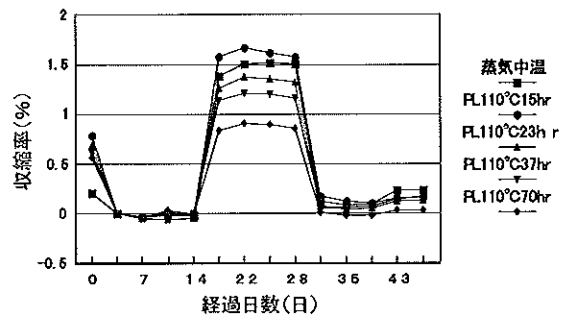


図7 吸・放湿試験における収縮率の変化

注) PLとはパラフィン乾燥の略である。

引用文献

- 日本国特許庁 (2000) 木材の人工乾燥法，特許公報 (B2) 特許第3008019号：1-3。
- 柳田英二 (1998) 液相乾燥法による木材の人工乾燥，日本木材学会中国・四国支部第10回研究発表会要旨集：84-85。
- 松岡良昭，野地清美，正岡尚志，水谷卓至，柳田英二，金川 靖 (2001) パラフィン液相乾燥におけるスギ構造材の乾燥特性，木材工業56(6)：270-274。
- (財)日本住宅・木材技術センター (2003) 品質・性能向上技術調査・開発事業報告書 (国産針葉樹乾燥材の生産技術マニュアル)：1-35。
- 吉田孝久，橋爪丈夫，藤本登留 (2000) カラマツ及びスギ心持ち正角材の高温乾燥特性—高温低湿乾燥条件が

乾燥特性に及ぼす影響一, 木材工業55(8): 357-362.
松岡良昭, 後藤純一, 藤原新二, 金川 靖 (2002) パラ
フィン高温液相乾燥におけるスギ構造材へのパラフィ
ン浸透特性, 木材学会誌48(5): 356-362.

片桐幸彦, 藤本登留, 豆田俊治, 近藤宏章 (2001) 湿度
無制御で熱風乾燥された心持ち柱材の品質に及ぼす高
温低湿処理の効果, 木材工業56(12): 617-620.

Drying Test in Paraffin Liquid on Boxed-heart Square Timber of Sugi
Produced in Shimane Prefecture

Shigeo Nakayama, Takashi Ikebuchi, Takashi Goto, Akira Fukushima
Hidemasa Iwatani, Seiji Yoshida, Tomotake Takahashi
Yoshihisa Nagano, Kenji Matsumura

ABSTRACT

Boxed-heart square timbers of Sugi(*Cryptomeria japonica* D.Don) produced in Shimane prefecture without saw-kerf were dried by a so-called as paraffin liquid drying method in this study. The dried timbers were surfaced by a planing machine and supplied for the various measurements. The following results were obtained in this study.

1. Moisture contents of timbers dried by paraffin liquid at the temperature of 110°C 70hrs became lower than 20%. On the other hand, moisture contents of those dried for 15hrs, 23hrs and 37hrs were higher than 20%. Moisture contents of those timbers, however, reached the lower level than 20% after the additional air drying for 3 months to 6 months (outdoor).
2. Moisture gradients within the timbers dried by paraffin liquid were remarkable, but they became almost flat after 3 months air exposure.
3. Surface checks of timbers dried by paraffin liquid were considerably few compared with those dried by conventional steam-heat drying.
4. Internal checks of timbers dried for shorter hours were slight, but those of timbers dried for 70 hrs were severe.
5. Brightness index L^* on the sapwood were lower than those of timbers dried by conventional drying.
6. Equilibrium moisture contents were lower than those of timbers dried by conventional drying.

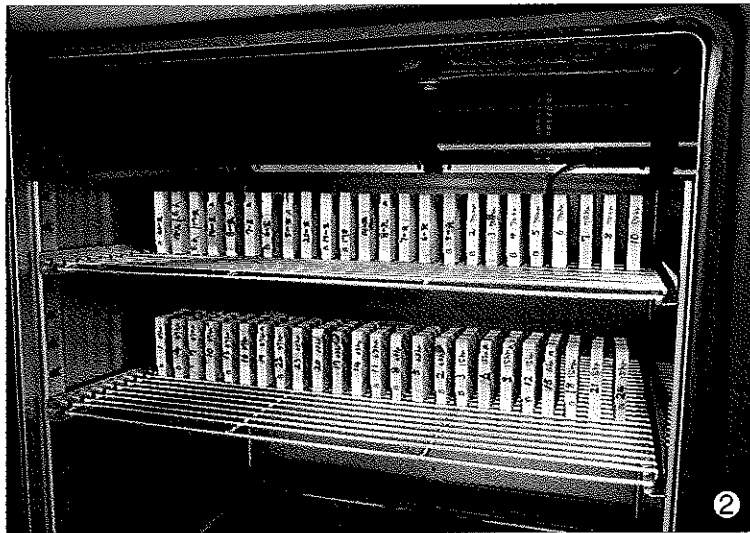


写真1 試験材と取り付けた熱電対（上段15，中段23，下段37時間乾燥試験材）

写真2 恒温恒湿器内の吸・放湿試験片

写真3 内部割れの様子（15時間乾燥試験材）

