

平成4年度 農林水産省補助事業

(財)日本住宅・木材技術センター

間伐材等針葉樹中・小径材製材品 の乾燥に関する資料集

平成5年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

はじめに

最近、木材は乾燥して使うのが当たり前という認識が定着しつつある。

一方、今、供給が期待される森林資源は、間伐材を含む針葉樹中・小径材であるが、そうした資源から製材木取りする場合、心持ち角を一丁取りするのが、能率的にも、製品の付加価値の面から見ても一番効率的である。

しかし、心持ち角は、一般に乾燥に伴う割れが発生しやすいため、乾燥が難しく、しかも製品の付加価値が低いため、手間やコストをあまりかけられないというのが実態であり、「木材乾燥」は建て前のみが先走りしている感がある。

今後乾燥材を普及させるためには、さらに、普及・啓発活動を一層強化するとともに、乾燥技術の高度化、定着に努力する必要があると判断される。

そこで、ここでは、乾燥にかかわる方々の参考資料として、新しい技術情報を中心に、針葉樹材の乾燥に関する文献による「資料集」を編纂することとした。

資料は、主として林材関係技術・研究誌等から転載させていただいた、ここに、転載に快諾を賜った関係者の方々に、また、本編を取りまとめるにあたって、ご指導、ご支援を賜った森林総合研究所 久田卓興氏、東京大学 信田 聡氏に心からお礼申し上げる次第である。

平成5年3月

間伐材等針葉樹中小径材製材品 の乾燥に関する資料集

第1章 総説	1
1 最近の木材乾燥技術動向 久田 卓興	1
日本木材加工技術協会 中国支部講演会資料 1993.3	
2 木造建築における木材乾燥の役割 [I , II] 鷺見 博史	10
木材工業 Vol.47, No.5, 6, 1992	
3 スギ材の利用と木材乾燥 久田 卓興	23
日本木材乾燥施設協会研究会資料 1993, 2	
4 木材乾燥に関する研究の動向 金川 靖	28
ウッドミック VOL.11, 93-2	
5 木材乾燥技術開発の方向 信田 聡	34
ウッド・プロ技粹 NO.17, 1992	
第2章 乾燥スケジュール等技術一般	38
1 スギ正角の乾燥スケジュールについて (I , II) 信田 聡ら	38
第41、42回 日本木材学会大会研究発表要旨集 1991, 4 1992, 4	
2 スギ心持ち無背割り材の乾燥 斎藤 周逸ら	40
第42回 日本木材学会大会研究発表要旨集 1992, 4	
3 スギ材の適正乾燥法 I 橋本 彰ら	41
第41回 日本木材学会大会研究発表要旨集 1991, 4	
4 心持ち柱材の乾燥スケジュール 東 正彦	42
日本木材乾燥施設協会研究会資料 1992, 2	
5 ヒノキ柱材の乾燥スケジュールについて 河崎 弥生ら	49
第42回 日本木材学会大会研究発表要旨集 1992, 4	

6	針葉樹構造用柱材の乾燥試験 中嶋 厚ら	50
	林業試験場報 第6巻, 第3号, 1992	
7	KDレポート(日本木材乾燥施設協会)掲載技術資料	56
7. 1	良い乾燥設備の条件 鷺見 博史 Vol.1	56
7. 2	木材乾燥における温度 久田 卓興 Vol.2	57
7. 3	木材乾燥における湿度 鷺見 博史 Vol.3	58
7. 4	木材乾燥における風速 久田 卓興 Vol.4	59
7. 5	木材乾燥の自動化 信田 聡 Vol.5,6,7	60
第3章 除湿及び高周波等特殊乾燥		64
1	スギ、ヒノキ柱材の除湿乾燥特性 小野 広治ら	64
	日本木材加工技術協会第8回年次大会要旨集 1990	
2	心持ち柱材の急速乾燥(I II) 斎藤 周逸ら	66
	第41、42回 日本木材学会大会研究発表要旨集 1991,4 1992,4	
3	内部加熱によるスギ柱材の乾燥促進 久保 健	68
	ウディレター 1991,12	
4-1	長期水中貯木の水分移動性および組織構造 小林 好紀ら	71
-2	乾燥促進法としての水中細菌の利用 小林 好紀ら	72
	第40、41回 日本木材学会大会研究発表資料集 1990,4 1991,4	
5	カラマツの葉枯らし、巻き枯らし等林内乾燥 斎藤 周逸ら	73
	第40回 日本木材学会大会研究発表資料集 1990,4	
6	建築用材の特殊乾燥法 吉田 孝久	74
	日本木材乾燥施設協会研究会資料 1992,2	
7	手づくり太陽熱利用乾燥装置の施工マニュアル 岩手県林業試験場	82
	木材の人工乾燥の手引 1992,3	
8	局所水蒸気爆砕法によるスギ材の乾燥性の改善 金川 靖ら	100
	木材工業Vol.47, No.8, 1992	
	Vol.46, No.10, 1991	

第4章 乾燥材の建築材としての利用と寸法変化	109
1 建築現場における製材品の含水率、品法変化の実態調査 河崎 弥生ら	109
山県木材加工技術センター 平成2年度業務報告	
2 スギ柱材の乾燥仕上がり状態とその後の寸法変化 小野 広治ら	116
第41回 日本木材学会大会研究発表要旨集 1991, 4	
3 製材品の含水率、寸法変化 小林 好紀	117
日本木材乾燥施設協会研究会資料 1992, 2	
4 製材含水率・寸法の工場から建築現場までの変化 菅谷 恵美子	123
北方林業1993, Vol. 45, No. 1	
5 エンジニアリングウッドを支える基礎技術 水分管理 信田 聡	127
木材工業Vol. 47, No. 11, 1992	
6 針葉樹建築用乾燥材の吸水について 奈良 直哉	136
北林産試だより1991, 4月	
第5章 乾燥材の強度、材色変化	139
1 乾燥法別の強度比較 谷口 義昭ら	139
第40回 日本木材学会大会研究発表要旨集 1990, 4	
2 人工乾燥による材色の変化について 河崎 弥生	140
第42回 日本木材学会大会研究発表要旨集 1992, 4	
3 スギ柱材における乾燥技術の確立（I）について 長谷川 良一ら	141
－乾燥による材色変化について－	
第40回 日本木材学会大会研究発表要旨集 1990, 4	
4 スギ構造材の干割れが力学的性質に及ぼす影響 荒武 志朗ら	142
木材工業Vol. 48, No. 4, 1993	
第6章 乾燥材と行政、規格、その他	147
1 都道府県における乾燥材への取組み（KDレポート）	147
1.1 熊本県 吉田 正信 Vol. 3	147

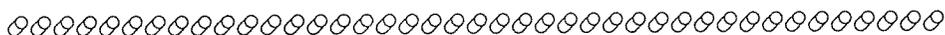
1. 2	北海道 大路 肇	Vol.4	148
1. 3	奈良県 松山 将壮	Vol.5	149
1. 4	福島県 矢吹 良美	Vol.8	150
1. 5	宮崎県 坂本 成海	Vol.9	151
2	秋田県における木材乾燥への取り組み姿勢	宮野 順一	152
	日本木材乾燥施設協会研究会資料	1993, 2	
3	長野県における乾燥材の生産の実態と乾燥材の供給にかかわる問題点		166
	長野県木材協同組合連合会		
	乾燥材生産マニュアル抜粋	1992, 3	
4	新製材JAS規格の考え方	三村 龍圓	177
	住宅と木材	1992,	
5	含水率の測定方法	全国木材組合連合会	183
	針葉樹の構造用製材の日本農林規格解説抜粋		
6	木材乾燥装置の導入と税制(特例措置)	日本木材乾燥施設協会	185
7	木材乾燥施設導入に係わる助成制度		186
	ウッドプロ	1992, No. 18	
8	乾燥施設の導入状況(平成3年度調査)	日本木材乾燥施設協会	187
9	製材用水分グレーダーの開発	結城 英恭	189
	日本木材加工技術協会第9回年次大会要旨集	1991, 10	
10	連続型自動水分測定装置の開発	中嶋 厚	193
	北林産試だより	1991, 7月	
11	乾燥装置関係用語	日本木材乾燥施設協会	198
12	日本木材乾燥施設協会(会員名簿)		200

建築用針葉樹材の乾燥に関する資料集

第1章 総説

1 最近の木材乾燥技術動向 久田 卓興

日本木材加工技術協会 中国支部講演会資料 1993.3.



1. はじめに

最近では木材乾燥の関心事がすっかり針葉樹材とりわけスギに移ってしまっただけでなく、乾燥技術の目標は良質の乾燥材を短期間で安く生産することに集約されるが、スギについては特に安いことが要求され、広葉樹材のように良質材を得たいといった従来からの基本概念は薄れつつある。このため、乾燥技術に対する要求内容も必然的に変化している。一方、広葉樹材の乾燥は国外生産の比率が強まる傾向にあり、これに対応する技術が求められる様になった。こうした生産事情を背景に最近の木材乾燥の動きを追って見ることにする。

2. 乾燥対象材から見た動向

(1) 建築用針葉樹材

建築用木材の乾燥の重要性が認識されるようになり、大手建築メーカーやプレカット工場では乾燥材への移行が急速に進んでいる。乾燥材の使用は木材の変形に伴う各種クレームの減少、建築工期の短縮、建築工事の合理化などに多くのメリットがある。これに対し、製品市場から木材を購入している一般の大工、工務店では依然としてまだ未乾燥材や乾燥の不十分な木材が多く用いられている。乾燥材が入手しにくいことや、乾燥材のが高いことが主な理由と言われている（図1）。

建築用針葉樹材のうちどのくらいの量が乾燥されているかを考えてみると、非常に大ざっぱではあるが人工乾燥設備の量から次のように推定される。林野庁の調査、日本木材乾燥施設協会のアンケート調査などを

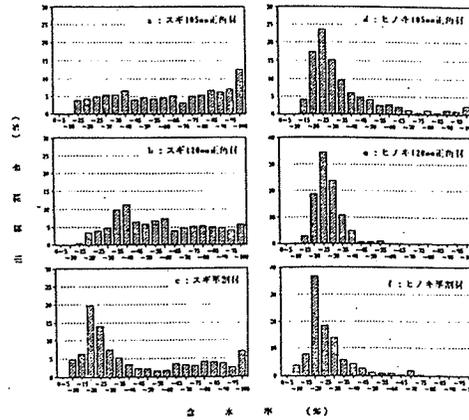


図1 製品市場における製材品の含水率分布（奈良林試、小林）

参考にすると、現在の乾燥施設の数 は約7,000室、総収容材積は約10万 m^3 である。このうち1/3が建築用針葉樹の乾燥に使われ、1カ月平均3~4回転で運転されるとすると、乾燥材の生産量は年間約150万 m^3 となる。平成3年度の建築用製材の出荷量が2,350万 m^3 であるため、人工乾燥材の比率は約6.4%ということになる。乾燥材が用いられるのは、主に敷居、鴨居などの造作用材や見付け面のある構造用材であるが、最近は見え隠れ材や羽柄材までその需要が増大しつつある。

乾燥技術としては材の用途や樹種によって色々な考え方が成り立ち、このため実際に多くの乾燥手法や方法が採用されている。同じ厚さの材を比べれば針葉樹材は広葉樹材より乾燥が容易であるが、広葉樹材に比べ材質的に適用し得る温度範囲が広いこと、断面積の大きな材が用いられること、材価が安いことなどの理由で、乾燥技術としてはむしろ難しい面が多い。見付け面のある構造材では色調や美観が要求されるため、除湿乾燥などで低温でゆっくり乾燥する方法が多い。これに対し、見え隠れ材では割れや変色はある程度許されるため、強い条件での乾燥が採

用される傾向にある。

(2) スギ一般材

スギは我が国の主要な木材資源で、その蓄積は次第に増加することが予想されている。しかし現在のところ、スギは材としての評価が低く木材価格も低いため、これより安い輸入材との競合により需要が低迷している。スギを利用する上での技術的な難しさは、材質の違いが大きいことと乾燥に時間がかかることである。このため今後、建築用材として利用を拡大していくには、材価の低いスギに合った乾燥技術を確立する必要がある。

心去り材や役物など高級材の乾燥には除湿乾燥などの比較的低温の乾燥条件が好まれ、これについては技術的にはほぼ確立されたと見て良い。残された課題は曲がりの軽減と歩留まりの向上であろう。

心持ちの並材の乾燥はこれまではあまり行われていなかったが、今後は次第に増加することが予想される。これを速くしかも安く乾燥するためさまざまな方法が考えられ、これが現在の木材乾燥研究の最大のターゲットになっている。乾燥方法として、蒸気式、除湿式、減圧式、太陽熱式など多くの方法が検討され、処理温度も低温からかなり高温まで適用範囲が広がる傾向がある。物理的あるいは化学的な処理で材質を変え

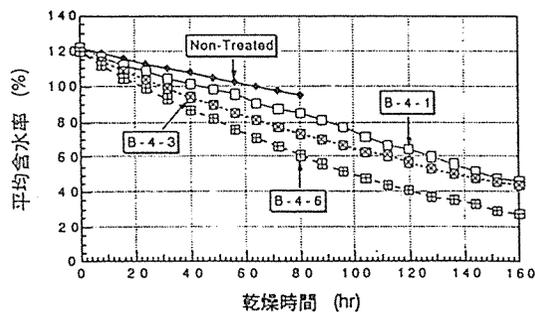


図2 局所的爆砕法によるスギ材の乾燥性の改善 (名大、金川ら)

ることにより速く乾燥する方法（図2）や、インサイジングなどの効果も研究されている。

(3)家具用広葉樹材

広葉樹資源の減少によって原木の輸入範囲が広がるにつれ、乾燥にかかわるさまざまな問題が生じるようになってきた。乾燥割れの許容レベルに対する感覚の違い、乾燥装置の構造の違いをまず認識しておく必要がある。我が国では乾燥むらを防ぐため装置の大きさを制限するが、諸外国では一般に装置が大きく、温度むらは大きくなる傾向がある。このため乾燥の難しい材では適正な乾燥操作が出来ない場合がしばしばある。小さな割れや閉じてしまった割れを気にしなければ、それほど問題は生じないかも知れないが、多くの場合は塗装や2次加工でトラブルが起こる。東南アジアにおけるゴムノキ、北米におけるホワイトオークなどの乾燥で良く見かけることで、乾燥操作だけでなく装置側からの検討も重要である。

乾燥に時間のかかる木材では、天然乾燥を併用するのが一般的であるが、割れの発生し易い材ではむしろ天然乾燥は避けるべきである。しかし、生材からの乾燥は経済的に成り立ち難いため、これを補う目的でブレイドライヤが利用される。ただし、その際には天然乾燥よりもむしろゆっくり乾燥するような思想が大切である。人工乾燥の初期にあたる期間をこの装置で安全に通過させるといった考え方をすべきである。したがって、初期割れの発生し易い材に対しては室内の湿度条件をかなり高く保つ必要があり、ブレイドライヤといえどもそのような構造や性能が要求される。

広葉樹資源は世界的に減少の方向にあり、今後は従来利用されなかった材の利用開発が必要になる。乾燥困難な為利用できない材はかなり多

いように思われる。我が国ではコジイ、イタジイがそれで蓄積もかなりある。これらについては各種の乾燥法による研究が行われているが、まだ依然として経済的に成り立つ段階まで至っていない。

(4)特殊材

特殊な用途の材の乾燥に特殊な乾燥法を適用する研究が多く見られるようになった。これには高周波やマイクロ波加熱装置、減圧あるいは加圧装置の普及が大きく関与している。特殊用途の高価な材を歩留まり良く短時間で商品化したいという願望は常にあるわけであるが、これまでは人工乾燥は不可能、あるいは良くないといった観念が強かったように思われる。しかし昨今、特殊な乾燥法に対する装置開発や研究は発達を遂げ、その適用の可能性が多方面から注目されるようになった。

3. 乾燥装置から見た動向

(1)蒸気式乾燥機

構造的には昔からあまり変化がないが、普及率は依然として最も高く、適用範囲の広いことがわかる。最近の装置には多量の材を低コストで乾燥するための大型化と、設置および取扱いが容易なコンパクト型の二つの方向が見られる。熱設備として前者は木屑だきボイラ、後者は油だきの貫流ボイラが多い。近年、制御装置の進歩が著しく、温湿度の設定がプログラム方式で簡単に出来るものや、コンピュータと連動した方式が普及しつつある。このため乾燥室内の木材含水率を測定して自動制御を行う方法も一部で取り入れられている。

最近の傾向は、装置としての基本的な性能の向上すなわち風速むらの減少、高温化、高耐久化よりは、むしろ簡素化、ローコスト化の方向が強い。これは対象材が針葉樹に移ってきたことと深いかわりがある。

(2)除湿式乾燥機

除湿式乾燥機は1980年代に著しく普及したが、最近では普及率が減少傾向にある。これは乾燥温度に対する要求が一般の除湿乾燥機の適温よりもしだいに高温に移りつつあるため、乾燥対象材種が役物から一般材に広がりつつあることが影響している。

乾燥コストを低減する方法として、加熱に他の熱源を併用する方法が検討され、蒸気、温水、太陽熱の併用方式が実用化されている。また最近では、乾燥設備の低廉化を目標に冷凍コンテナーを利用した装置の開発が行われ、実用化の目処が得られている。しかし一方、除湿式乾燥機ではフロンガス規制に対する対策が今後の課題として残っている。

(3)減圧式乾燥機

減圧乾燥機は設備費が高いため特殊な用途に使われてきたが、最近ではこれを一般材の乾燥に利用しようとする研究も行われている。また最近、減圧度の極く弱い装置が減圧乾燥機として登場してきたため、その乾燥特性の研究と従来からある装置との区別が必要になってきている。

減圧度の弱い装置は真空に近い装置に比べればもちろん減圧の効果は少ないが、普通の熱風乾燥よりは乾燥速度を速くできる可能性がある。減圧に必要な動力エネルギーとその効果をどう評価するかが、この種の装置の評価のポイントである。

真空乾燥機は材の加熱方法によって色々な方式がある。高周波加熱の方式が最も普及しているが、最近では複数の加熱方式を併用するいわゆるハイブリッド方式が各種研究されている。また、熱風乾燥や他の乾燥法と組み合わせて用いる方法も検討されている。図3はスギ心持ち柱材に高周波加熱減圧法を適用した例で、天然乾燥との組み合わせにより低コスト化をねらっている。

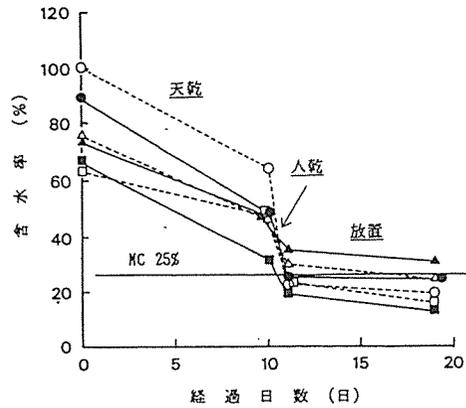


図3 スギ心持ち柱材の乾燥経過 (森林総研)
113mm背割り材、含水率はMOC0-2による

(4) 薫煙式乾燥機

樹皮や廃材などの燃焼ガスを機内に取り入れ、内部温度を200℃付近まで上昇させて熱処理し、その後温度を100℃あるいはそれ以下まで下げて乾燥する装置である。初期の高温処理がその後の材の狂いの抑制や乾燥速度の増加に効果があるとされている。また、燃料に廃材を利用するため資源の有効利用や熱エネルギー費の節減が図れるメリットがある。問題点は、作業の安全性、火災、公害防止である。

4. 省エネルギーと低コスト化

木材の乾燥では含有水分を1kg蒸発させるのにおよそ1000~1300kcalのエネルギーが必要である。もちろんこの値は乾燥する木材の種類、仕上げ含水率、乾燥方法によって異なり、天然乾燥ならば大気熱が使われるため最も省エネルギー的ではある。しかし、一方で工業的には短時間で乾燥材を得たいという要望があり、エネルギー問題はこれと切り放して考えることは出来ない。したがって、乾燥速度が速く、消費エネ

ルギーの少ない乾燥法が理想的といえる。

省エネルギーに関する研究では、まず既存の乾燥装置の改良により、壁体やドアからの熱ロスを防ぐ方法、排気熱を最小限に抑え、またこれを再利用するといった方法が検討され、少しずつ実用機に取り入れられてきた。しかし、そのために設備コストが上昇することから、依然として省エネルギーの意識が浸透しにくいのも事実である。今後の課題としては、エネルギー消費を考慮した適正規模の設備の設計、基本的な壁体構造の見直し、制御設備の改良、性能の優れた熱交換器の開発のほか、乾燥操作技術として高温条件の採用があげられる。

1980年頃から急速に普及した除湿乾燥法は、取扱いが容易な特徴を持つだけでなくヒートポンプを応用した省エネルギー乾燥法でもある。しかし、多くの設備が稼動するにつれて、乾燥に時間がかかること、設備の耐久性が弱いこと、電気代が意外にかかることなどの問題が生じてきて、利用方法の見直しや設備の改良が求められてきている。ヒートポンプは有力な省エネ技術で、とりわけ木材の乾燥ではその効果が期待されるだけに、今後の方向が注目される。中でも、高温型ヒートポンプの性能向上が待たれる。

木材工業では製造過程で必ず不要な廃材が出て来るため、この有効利用を考えなければならない。その一つが燃料としての利用であるが、これを蒸気として使うだけでなく、発電に使うなど総合的な利用方法を研究していく必要がある(図4)。発電とその余剰エネルギーを利用したいわゆるコージェネレーションは魅力の多い技術である。しかし、我が国では諸規則によって小規模発電がやりにくい環境があり、まずこの点が改善されなければならない。最近では関係省庁でもこの問題を検討する気運が見られ、近い将来は有望な方法になる可能性がある。

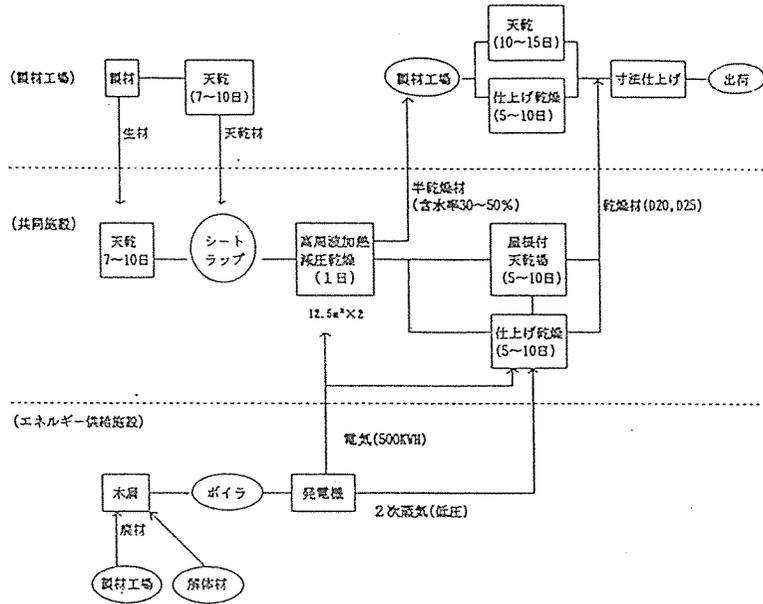


図4 スギ心持ち柱材の乾燥コスト低減をめざした乾燥システムのフロー（乾燥処理量 月間600 m^3 ）

太陽熱の利用はしばしば話題にのぼる省エネ技術である。簡易な設備を用い天然乾燥よりは速く乾燥させ、乾燥コストの低減を図ろうとする方法と、本格的な設備で設備コストが多少高くなってもエネルギーを節約しようとする二つの方式がある。いずれも一長一短があり、装置的にもまた使い方の面でもまだ改良すべき点や、研究すべき点が多い。

5. おわりに

今後、地球環境の保護、周辺技術の発達、労働人口の減少などの要因によって、木材の利用方法や技術は大きく変化していくことが予想されるが、利用が高度化すればするほど木材の乾燥は避けて通れなくなるプロセスになると考えられる。加工の高度化には常にエネルギーの多用と加工コストの上昇がつきまとうため、いかにしてそのバランスを保っていくかが今後の課題ではないかと思う。

鷺見 博史*

はじめに

平成3年度の住宅新設着工数は、過去数年間維持してきた160~170万戸/年に比べればやや低調のようである。木材は住宅建設に欠かせないきわめて重要な材料で、わが国の年間木材消費量約1億m³のうちの約1/3を建築用針葉樹製材が占めるとみられている。建築用木材の質の善し悪しは今後の木造住宅、大規模木造建築の進展に大きな影響を及ぼすであろう。住宅産業は、別名クレーム産業ともいわれる。そして、クレームの一端に木材の質が関わっていないとはいえない。木材の質には木材そのものの材質や寸法、含水率の均一性などが含まれるが、ここでは木材乾燥（含水率管理）と木造建築との関わりについて考えてみたい。

1. 木材乾燥技術の流れと問題点の所在

世界的にみても、木材を意識的に乾燥して使用するという習慣はかなり古い時代からあったようである。わが国の各種産業がまだ十分に発達していなかった時代には、木材は自然乾燥（枯らし）を行ってから使用されたが、明治40年頃に初めて英国より外部送風機型人工乾燥装置（スタートバント式）が導入され、大正末期の関東大震災後に大量の乾燥材の必要性に迫られるに及び、木材の乾燥技術は急速に普及、発展したといわれている。

木材業を産業としてみれば、木材乾燥といえば人工乾燥を指すことになろう。わが国の人工乾燥の本格的な発展の契機は、家具・調度品を製造するための国産広葉樹材を積極的に使用した昭和の初期~中期であったといえる¹⁾。その当時、木材乾燥の理論的解析、人工乾燥装置の改良、国産広葉

樹材の乾燥スケジュール等に関する試験研究が盛んに行われ²⁾、この時代に木材乾燥の基本的な技術はほぼ確立されたといっても過言でない。その技術は次のラワン、メランチを主とする南洋産広葉樹時代に受け継がれ、さらに発展した。

昭和33年に発行された木材工業ハンドブックで見ると、人工乾燥装置の性能に関する技術データはかなりのページ数をさいて記述されているものの、国産広葉樹材の乾燥スケジュールのデータは数種にとどまり、大半は米材のものでお茶を濁している感がある³⁾。この頃には、盛んに国産材の研究が進められていた時代で、まだ十分に完成された資料の蓄積がなかったことが窺われる。しかし、15年後の昭和48年発行の新版木材工業ハンドブックでは、各種の国産材ばかりか、多くの南洋産材の技術データが豊富に盛り込まれており、わが国の木材産業がこの間に大いに発展したものと理解できる。

そして現在、建築用材としての国産針葉樹材の乾燥問題が大きくクローズアップされるようになった。その背景には、木材の流通システムや住宅工法、ユーザーの住宅の質に対する要求度等の急激な変化、優秀な建築技能者の不足などさまざまな問題がある。そして、木材の乾燥の良否が建物の質を左右するほど重要であるという認識が、木材業者、建築業者、住宅のユーザー等に急速に浸透し始めるようになり、必然的にツー・バイ・フォー工法を基本とする米国から、安価な人工乾燥製材が陸續とわが国に送り込まれるようになった。にもかかわらず、軸組み工法のスギ、ヒノキ等の国産材だけが未乾燥であってよいという法はない。

かつて木材乾燥の研究にたずさわった者にしてみれば、広葉樹材の乾燥技術をほぼ確立させたという実績からすれば、針葉樹材の乾燥などはもの数ではなく、必要ならいつでもできるという安

*森林総合研究所 木材利用部

易な気持ちが多分にあるであろう。確かに断面の小さい板物についていえば、針葉樹材の乾燥は広葉樹材よりも技術的に数段やさしい。しかし、針葉樹材であっても断面の大きなハリ、ケタや心持ちの角材の乾燥は、いざやってみると大変難しい。難しさの中には、操作技術的な面と乾燥コストの面とが含まれ、いずれも未解決のままになっている。これをいかに克服するかというところに、現在の木材乾燥に関する問題点の所在があるといえよう。

2. 木質材料の乾燥規格

各種の住宅に関するアンケート調査によると、80%以上の日本国民がマイホームを持つとしたら、木造もしくは木質の住宅にしたいという願望を持っている。ようやく念願かなって住宅を購入したところ、「しばらくしたら柱がひび割れてきた」、「10.5cmのはずの柱が10.2cmしかない」、「柱と戸の間に隙間が出てきた」、「床鳴りがひどい」、「壁のクロスが裂けてきた」、「カビが生えた」等の苦情が相次ぎ、工務店等住宅メーカーはその対応に追われることになる。部材としての木材を正しく乾燥すれば、これらのクレームの多くを防ぎ得ることは明らかなことであろう。

現行の日本農林規格(JAS)および日本工業規格(JIS)には木材、木質材料の性能の一つとして含水率の基準が示されている。また、建築仕様書の中にも建物のランクに応じて木材含水率の基準が設けられている。これらの規格なり基準は、本来、消費者に一定の品質の商品を保証するためにあるはずである。これらの主なものを第1表に示す。

第1表にある針葉樹構造用製材の乾燥規格は、平成3年7月に発効したばかりの新しい規格である。それまで建築用製材に限定した乾燥規格はなく、一般製材の針葉樹材15%、広葉樹材13%という規定があっただけである。この含水率基準は家具、調度品などの木製品用製材の基準に引張られた感があり、建築用材とくに構造用材の基準としては実態にそぐわない値であったといえる。ここに制度上の大きな難点があった。このことを裏づける事例はいくらでも示すことができる。

第1図は、昭和62年に全国の大手製材品市場(6

第1表 木材含水率の各種基準

(単位:%)

JAS			
品名	材種	針葉樹材	広葉樹材
製材品(一般)	人工乾燥材	15以下	13以下
針葉樹構造用製材	乾燥材 D25	25以下	—
	D20	20以下	—
	D15	15以下	—
単層フローリング	天然乾燥材	20以下	17以下
	人工乾燥材	15以下	13以下
集成材		15以下	
枠組壁工法構造用材	乾燥材	19以下	
普通合板		14以下	

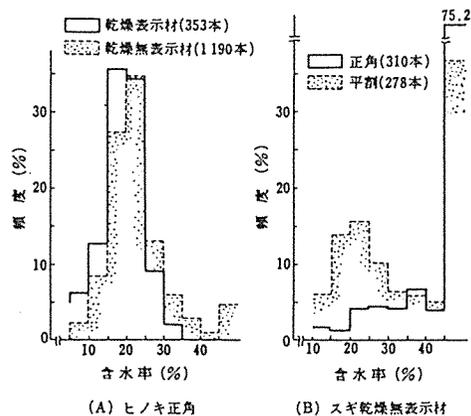
JIS

品名	含水率範囲
パーティクルボード	5~13
硬質繊維板	5~13
中質繊維板	5~13

建築仕様書

種類	材種	A種	B種	C種
日本建築学会建築工事標準仕様書(JASS 11)	造作材	18以下	20以下	24以下
建設大臣官庁官庁営繕部建築工事共通仕様書	構造材	20以下	24以下	—
	下地材	20以下	24以下	—
	造作材	18以下	20以下	—
住宅金融公庫融資住宅木造住宅共通仕様書	構造材	19以下		

A種:高級住宅, B種:中級住宅, C種:一般庶民住宅



第1図 製材品市場における含水率調査例(1987)⁵⁾
全国大手7市場, 含水率計使用

~7市場)で実際に流通している建築用材の含水率調査の結果である⁵⁾。スギ、ヒノキについていえば、「乾燥材」と表示されているものはヒノキの割りと正角のごく一部に過ぎず、スギには見あたら

ない。この時期には建築用の正角については、ヒノキもスギも人工乾燥材がきわめて少ないか、人工乾燥されたとしても、短期間おびなりに実施された程度であったことが窺える。初期含水率の低いヒノキ材はともかく、初期含水率が高くばらつきが大きく、おまけに乾燥性が悪いスギ材は、ほとんど生の状態で流通されていることを如実に物語っている。同様のことは、東京規格検査所の調査結果にも見られ、関西地方ではヒノキ材が好まれるため結果的に比較的乾いた材が使用され、スギ材の多い関東地方では生に近い木材が使用されているということになる⁹⁾。

建築用材の含水率に関する実態調査については、上記のものほかにさまざまなあり¹⁰⁾、いずれの調査でも十分に乾燥された材料が建築に供されているという報告は見あたらない。

3. 針葉樹構造用製材の日本農林規格制定までの経緯

上に見たように、従来の製材の農林規格が不備であったことは、現実に十分乾燥された木材が流通していないことから明らかである。このため昭和60年頃より、全国各地の木材業界が自主的に、独自の含水率基準を定める動きが活発化するようになった。「わが地域で生産する建築用材は、JASにとらわれることなく、ある一定の含水率水準にまで乾燥し、地域産材の振興を図ろう」という一種の自己防衛策ともいえよう。例えば北海道では、昭和61年に道内の木材業者有志によって「北海道乾燥材普及協議会」が設立され、以来、乾燥材を普及させるためのさまざまな活動を進めてきた。同協議会では、含水率の自主基準として構造材は17%以下、造作材は12%以下という線を設定した。秋田県では、やはり業界有志によって「秋田スギ製材品銘柄化推進対策協議会」を設立し、昭和61年からは割角等銘柄材については目標含水率を上限25%と定めた。その他長野県がカラマツについて、また熊本県、奈良県、茨城県等でも県産材(主としてスギ)について独自の基準を定めたり、乾燥材の生産マニュアル等を作成し、業界への啓蒙、普及を図った。

このような各地の自主基準制定の動きはもちろ

ん歓迎すべきことではあるが、一方で各地の含水率基準がまちまちであるのは、かえって業界に混乱を招くと危ぐする声も無視できなくなってきた。このため林野庁では、全国統一的な自主基準を早急に定めることが必要との判断から、その作業を財団法人日本住宅・木材技術センターに委託することにした。数次の検討会を経た後、昭和62年7月、「建築用針葉樹乾燥材の含水率自主基準(暫定)」ができた。ここで定められている含水率の規準は、少なくともこのレベルのものであって欲しいという願望を込めた数値になっている。そして当然のことながら、この規準は何ら法的な強制力を持たないあくまでも自主的なものである。しかし、この暫定規準が新聞紙上で公表されたとき、木材業界に与えたインパクトは相当強烈であったようである。

さらに、林野庁では暫定自主規準の成果を踏まえ、平成元年4月に「建築用針葉樹乾燥処理材の認証(AQ)制度」を発足させた。ここで含水率規準を設定するに当たり、木材生産者側と使用者側とで意見の対立が激しく、最終的には両者の中庸を採った線に落ち着いたという経緯がある。また、公庫仕様との兼ね合いも十分に検討されたことはいうまでもない。この制度の内容に関しては、すでに本誌に詳しく解説されているので¹¹⁾詳細は省く。これとほぼ同時に、木材の含水率を簡便に計測するための電気式(高周波型)含水率計の性能認定制度も設けられた。ちなみにAQに関しては、これまで数社が認定工場の資格を得、含水率計については3機種が正式に認定されている。

このような行政、業界あげての建築用乾燥材普及への盛り上がりの中で、林野庁は昭和63年度に製材規格研究会を構成し、現行(当時)製材JASの本格的な見直し作業を進めることにした。見直しに当たっては5本の柱を建て、これに沿って検討することとした。すなわち、

- ①現行の製材規格は用途を特定しない汎用規格で、これを用途別(例えば建築用)に改める。
- ②現在流通している木材の規格・寸法は複雑すぎるため、寸法の標準化、簡素化を図る。
- ③現行の人工乾燥規定は建築材に対して必ずしも適当ではないので、建築構造用の規格として見

直す。

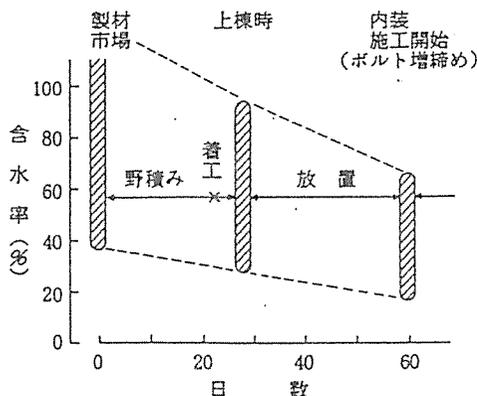
④現行の等級区分は、建築基準法との関係が不明確であるので、強度等級区分の整備を行う。

⑤中・大規模木造建築物に対応するため、強度性能を担保した製材規格を整備する。

原案を作成するまでの過程では、各分野を代表する委員の間で利害関係がまともにぶつかり合い、含水率規準、寸法の決め方など最後まで難航した。乏しい技術データを吟味し、不足分は追試するなどして、足掛け3年の検討の末にようやく原案が作成され、4年目にして針葉樹構造用製材の日本農業規格が施行されるに至った。

4. 適正な乾燥度と寸法変化

木材乾燥をいうとき、適正な乾燥の程度とは何か、最終的にある寸法を保証するためにはいくらの寸法で製材すればよいか、ということが常に議論される。根拠となるデータは沢山あるようで、実際は意外に少ない。気象条件と木材の平衡含水率との関係についての研究報告は確かにある¹¹⁾。また、古い木造校舎や民家の含水率を測定した調査結果も多少はある¹²⁾。含水率については、これらの資料から大体の値は見当付けられ、それが規格に反映されているわけである。しかし、寸法については無欠点、小試片の収縮率のデータは多いが、実際に利用できそうな実大材の資料はきわめて少ない。



第2図 建築中の柱材の含水率変化¹³⁾
スギ10.5cm角、15cm角、冬季
高周波型含水率計使用

第2図は、生材を使って建物を建てたとき、建築の進行の過程で変化していく含水率を筆者らが含水率計で調べた一例である¹³⁾。この建物は茨城県下にある公共木造建築物で、県産の心持ちスギを多用し、複数本の10.5cm角と1本の12~15cm角(いずれも背割りなし)をボルトで抱合せ、緊締して1本の大断面柱を構成する方法をとっている。図でも明らかなように、柱材が市場に置かれてあった段階では40~120%の含水率範囲であったが、着工1ヶ月後の壁貼りの時点では18~70%になった。この調査から、筆者はさまざまな事実を再確認することができた。その主要な点を挙げると以下のようになる。

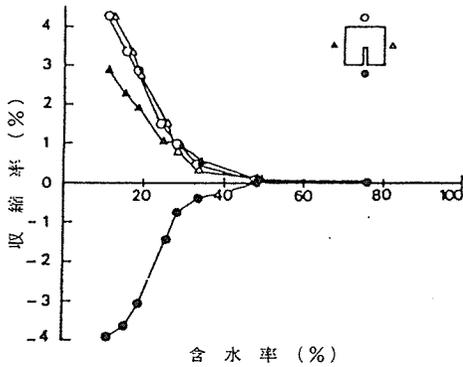
①スギ材の初期含水率はばらつきがきわめて大きく、初期含水率の高い材は乾き方が遅い。

②含水率が20%を超えている柱角の材面にはほとんど割れが発生していないが、20%以下の大部分の材には割れが発生している。

③壁塗り直前の段階では、ボルト(長さ約30cm)のナットが素手でも容易に締められるほどにゆるんでいる。

ここで筆者がとくに問題にしたいのは、乾燥度と柱材の割れとの関係である。背割のない心持ち角の乾燥で、含水率が22~23%程度までは大抵の場合、材面に割れが生じないことを筆者らはしばしば経験している。このことを木材生産者もよく知っており、柱材をあまり低い含水率まで乾燥することに消極的になっていることは事実である。しかし、この程度の乾燥度で必要十分な乾燥といえるのだろうか。構造材といえども、やはり含水率は少なくとも20%を切っていることが必要ではなからうか¹⁴⁾。

人工乾燥中の心持ちの柱角やはり等の収縮挙動は、無欠点、小試片の収縮とは別物と考えるべきであろう。断面が大きいだけに乾燥中の材内の含水率傾斜が急で、表層部にテンションセットが形成されやすく、また、背割りがあつたり材面に割れが生じれば、見かけの収縮率は小試片より小さめにおさまるのが通例である。第3図は、除湿乾燥中のスギ柱材の収縮経過である¹⁵⁾。また、同じ実大材であっても、人工乾燥と天然(自然)乾燥とでは、収縮経過が多少異なることも考えられる。



第3図 スギ心持ち柱角の除湿乾燥中の取縮経過¹⁵⁾

自然乾燥中の取縮率については、しっかりしたデータが得られていないので、針葉樹構造用製材のJAS原案を作成する過程で、全国8つの県立試験研究機関に依頼し、柱、はり等の実大の生材(スギ、ヒノキ、エゾマツ、ベイマツ等主要8樹種)を屋内で自然乾燥させ、その取縮経過を克明に測定した¹⁶⁾。その結果、およその値として含水率25%までの取縮率は多くても1.6%どまり、含水率20%までのそれは2.0%どまり、含水率15%までのそれは3.6%どまりとみてよいようである(第2表)。

5. 産地銘柄化と木材乾燥

わが国の木材産業はこれまで南洋産材、北米材、北洋材等輸入外材に大きく依存して発展してきた。それは、国産材に比べて価格が安く、大径の優良材が安定的に入手できるという有利性があったからである。しかし、いまや地球環境や森林資源の保全という世界的な一連の流れの中で、輸出国側も次第に伐採制限や輸出規制を強めてきており、そう遠くない時期に、かなりの量の木材を国産でまかなわなければならない時代がくることは容易に察せられる。戦後大規模に植栽されたスギ、ヒノキ、カラマツ等、人工造林木が間伐期を過ぎ主伐期に入りつつある現在、各県とも地元産材の銘柄化を推進し、生き残りを図るために懸命の努力を重ねている¹⁷⁾。ヒノキは、現在のところ、だまっけていても何とか生きていきそうであるが、問題はスギの並材であろう。

かつて銘柄材といわれた秋田スギは天然スギの役物のことであって、その天然スギ資源もすでに

枯渇寸前で、木材産業商品としての価値を完全に失っている。秋田スギといっても、造林木では全国どこにでもあるただのスギと何ら変わらない。同様のことは、かつて優良スギ材を生産した各地の有名林業地においてもいえる。

銘柄化を図るということは、他よりも良い製品を生産し、競争力を高めることにほかならない。いい換えれば、加工度を高め、品質の安定した良質の木材を恒常的に生産することである。そのためには乾燥が不可欠である。いろいろなアンケートでも、「乾燥の重要なことはわかる。しかし、スギ材は材価が安く、材価に乾燥コストが上積みできない」という回答が一様に返ってくる。行政が林業構造改善事業や乾燥材安定供給対策事業等施策によって、人工乾燥施設の普及を図ろうとしても、思ったように成果が挙がらないのは、この辺りに原因がある。

東濃ヒノキは、構造用製材としていち早く乾燥工程を導入し、市場での確固たる地位を築きあげた。カラマツ材は「ヤニがでる」、「狂う」という欠点を克服し、大断面の集成材として活路を見出した。「わが国で最も蓄積の多いスギ材を何とかしなければならぬ」。これが各県の産地銘柄化のドライビングフォースとなっている。地元産材を使った「くまもと型新木造住宅」とか「とくしまの家」などの開発は、銘柄化を図るための一つの方策ではあろう(つづく)。

第2表 天然（自然）乾燥における実大材の収縮率（幅または厚さ方向）¹⁶⁾

樹種	断面寸法 (mm)	本数 (本)	収縮率			方向
			MC: 25%	MC: 20%	MC: 15%	
エゾマツ	45×45, 心去り	30	0.95	1.50	2.34	厚さ 幅 厚さ 幅
	105×105, 心去り	32	0.96	1.51	2.36	
	105×210, 心去り	10	0.75	1.22	1.98	
	〃	(10)	0.64	1.19	2.22	
	105×210, 心持ち	10	1.28	2.17	3.68	
〃	(10)	0.44	0.80	1.48		
トドマツ	45×45, 心去り	30	0.30	0.67	1.52	厚さ 幅 厚さ 幅
	105×105, 心去り	30	0.69	1.27	2.34	
	105×210, 心去り	10	0.86	1.47	2.53	
	〃	(10)	0.53	1.04	2.03	
	105×210, 心持ち	10	1.58	2.23	3.14	
〃	(10)	0.19	0.38	0.76		
アカマツ	45×45, 心去り	30	0.64	1.06	1.76	厚さ 幅
	75×75, 心去り	30	0.58	1.09	2.05	
	105×105, 心去り	30	0.61	1.10	1.97	
	105×210, 心持ち	10	0.85	1.47	2.56	
	〃	(10)	0.54	0.84	1.31	
カラマツ	45×45, 心去り	30	0.29	0.70	1.65	厚さ 幅
	90×90, 心去り	30	0.32	0.69	1.47	
	90×90, 心持ち	30	0.40	0.79	1.56	
	120×120, 心持ち	10	0.34	0.69	1.41	
	120×270, 心持ち	10	0.56	1.06	2.02	
	〃	(10)	0.09	0.22	0.50	
スギ	45×45, 心去り	30	0.27	0.50	0.93	厚さ 幅
	75×75, 心去り	30	0.10	0.28	0.78	
	105×105, 心持ち	30	0.72	1.11	1.70	
	105×210, 心持ち	10	1.08	1.60	2.37	
	〃	(10)	0.40	0.60	0.91	
ヒノキ	75×75, 心去り	30	0.46	0.74	1.19	
	75×75, 心持ち	30	0.55	0.91	1.51	
	120×120, 心持ち	10	0.20	0.43	0.90	
	120×120, 心持ち*	10	0.23	0.42	0.78	
ベイマツ	45×45, 心去り	30	0.84	1.17	1.61	厚さ 幅 厚さ 幅
	75×75, 心去り	30	0.84	1.17	1.61	
	105×105, 心去り	30	0.44	0.75	1.29	
	105×210, 心去り	10	0.57	0.86	1.30	
	〃	(10)	0.63	0.98	1.54	
	105×210, 心持ち	10	0.42	0.74	1.31	
〃	(10)	0.37	0.59	0.93		
ベイツガ	45×45, 心去り	30	0.83	1.37	2.28	厚さ 幅 厚さ 幅
	75×75, 心去り	30	1.60	2.14	2.85	
	105×105, 心去り	30	1.24	1.69	2.31	
	105×210, 心去り	10	1.24	1.64	2.16	
	〃	(10)	0.88	1.33	2.01	
	105×210, 心持ち	10	1.09	1.63	2.44	
〃	(10)	0.35	0.61	1.06		

*: 背割りあり

文 献

- 1) 鷺見博史：58年度木材学会「木材と水研究会シンポジウム」要旨集（1983.10）
- 2) たとえば，小倉武夫，寺沢真ら：乾燥装置に関する研究第1～第5報，林試研報No.45（1950）～No.150（1963）
- 3) 林業試験場編：木材工業ハンドブック，丸善（1958.12）
- 4) 林業試験場編：新版木材工業ハンドブック，丸善（1973.1）
- 5) 財団法人住宅・木材技術センター：流通材の含水率調査（未発表）
- 6) 東京規格検査所：製材店頭検査にみる西と東（未発表）
- 7) 財団法人住宅・木材技術センター：建築用木材の乾燥に関する調査報告書（1988.3）
- 8) 大熊幹章ら：木造住宅における木材乾燥の実態とその適正化に関する調査研究（1989.6）
- 9) 財団法人木材備蓄機構：乾燥材供給体制基礎調査報告書（1990.3）
- 10) 秋山俊夫：木材工業 45, 71～73（1990）
- 11) たとえば，寺沢真，鷺見博史：わが国における木材の平衡含水率に関する研究，林試研報No.227（1970.3）
- 12) 田中俊成：木材工業 39, 604～609（1984）
- 13) 鷺見博史：未発表資料
- 14) 寺沢真，筒本卓造：木材の人工乾燥，(社)日本木材加工技術協会（1976.8）
- 15) 斉藤周逸：日本木材加工技術協会第6回年次大会講演要旨集（1988.10）
- 16) 財団法人住宅・木材技術センター：林産物の本農林規格設定等調査事業報告書（1990.2）
- 17) 鷺見博史編：産地の木材乾燥，林業改良普及双書109，(社)全国林業改良普及協会（1992.1）

木造建築における木材乾燥の役割〔II〕 完

鷺見 博史*

6. スギ、ヒノキの葉枯らし乾燥

6.1 葉枯らし乾燥の意義

葉枯らし乾燥というのは、樹木を伐倒した後、枝葉をつけたまま一定期間林内に放置しておく原木⁴。林内乾燥技術の一つで、英語ではTranspirational dryingとかBiological dryingとかの用語が当てられている。葉枯らし処理の目的としては種々のことがいわれているが、要約すれば次の3点に絞られよう。

- ①葉からの水分蒸散により、樹幹部の乾燥を促進させる。
- ②スギの黒心材部では黒色を和らげる。
- ③スギ、ヒノキの赤味をより鮮明にし、材の色艶を向上させる。

なかでも①が主たる目的とのようであるが、一体、樹木の葉の面積はどのくらいあるのであろうか。一般的なスギ、ヒノキの林の場合、山林1 haあたりの葉の面積は5~10ha (これを葉面積指数が5~10であるという)だといわれている。1 haの山林に平均1,300本の樹木(30~40年生)が生育しているとすれば、樹木1本あたりの葉の面積は38~77㎡に相当する¹⁹⁾。伐採直後に適当量を枝打ちしたとしても、丸太(樹幹)の表面積に比べれば、葉の面積ははるかに大きく、水分の蒸散作用も著しいという理屈である。

吉野、秋田、天竜、尾鷲等の有名林業地での葉枯らしの歴史は古く、とくに吉野地方では樽丸、磨き丸太の生産を中心に、遠く江戸時代の寛永、享保年間より伝承されてきた技術といわれる¹⁹⁾。葉枯らしと類似的林内乾燥法としては、秋田地方では明治の末期ごろより「立皮はぎ(たちかわはぎ)」が行われていたし²⁰⁾、小国地方では明治の初期より

「輪掛け(りんがけ)」が実施されていた²¹⁾。しかし、これらの林内乾燥は、戦後は次第に行われなくなっていった。その理由としては、造材・出材技術の向上、林道網の充実、原木流通システムの変化、人件費の高騰など、さまざまなことが考えられる。

ともあれ、戦後ほとんどかえりみられなくなった葉枯らし乾燥であるが、近年になって再び見直されるようになったのは、建築用材として乾燥材の需要が高まってきたことと大いに関係がある。古い歴史を持ち、さまざまな効用がいい伝えられている葉枯らし乾燥であるが、これに関する科学的、技術的なデータはまことに乏しく、既往の文献類にはほとんど主観に基づく記述がみられるに過ぎない。筆者が1985年に林業技術に葉枯らしについての記事を書いたとき²²⁾、このことを痛切に感じたものである。

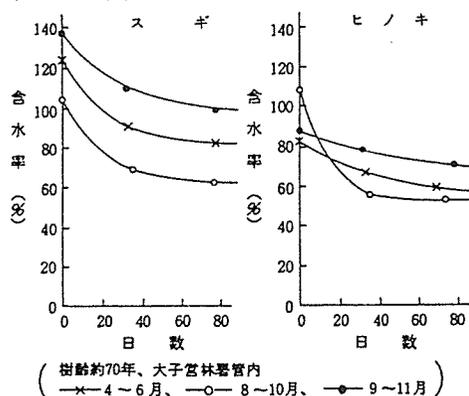
6.2 森林総合研究所の研究成果

昭和の最後の10年間は住宅における木造率や国産材のシェアが年々急速に低下し、住宅建設においては住宅の高級化、工法の工業化等に伴う乾燥材へのニーズが高まるなど、社会の情勢が著しく変化した。このため林野庁では、乾燥材の供給に弾みをつけ、国産材の高品質化、高付加価値化を進めることが国産材の需要拡大にとってますます重要であるとの観点に立ち、葉枯らし材を積極的に普及、推進させることとした。その第一歩として、国有林では昭和59年度からスギ、ヒノキを主体に試験的に葉枯らし材の生産、販売を進めるとともに、林業試験場(現、森林総合研究所)に調査研究を委託した。これを受けて森林総合研究所では昭和60年度、61年度にスギ、ヒノキの葉枯らし等林内乾燥技術に関する調査研究を実施した。この調査研究の使命は、従来からいわれている葉

*森林総合研究所木材利用部

枯らし処理によるさまざまな現象を、系統だった実験によって科学的に検証するとともに、従来よくわからなかった事象をより確かなものとし、最終的には、国有林が本格的に葉枯らし材を生産していくための生産マニュアルを作成することになった。

この調査研究では、伐倒時期、枝葉の付着量、伐倒方向などの処理条件と樹幹部の含水率変化の挙動を克明に調べるとともに、木材中の化学成分や材色の変化を調べることとした。同時に、補足的に葉枯らし（樹幹の基部に円周状の切込みを入れ、立木のまま枯らす処理法）についてもその効果を調べ、一定の成果を得た²³⁾。以下にその一部を紹介する。まず、葉枯らし（皮付き）により樹幹の含水率が減少する様子を第4図および第3表に示す。図および表から読み取られる事実は以下のようになる。



第4図 葉枯らし材の乾燥経過²³⁾

第3表 原木丸太の含水率²³⁾

原 木	含水率範囲 (%)		
	心材部	辺材部	全 体
ヒノキ (生 材)	35~45	110~180	70~110
ヒノキ (葉枯らし材)	25~35	60~110	50~70
スギ (生 材)	60~180	130~230	110~200
スギ (葉枯らし材)	50~130	60~130	70~100

葉枯らし期間：夏、秋に50~60日間（大子営林署管内）

- ①樹幹の含水率は、葉枯らし開始後40~60日までには急速に低下するが、その後の低下率は鈍化する。
- ②含水率の低下は辺材部において著しく、心材部では少ない。
- ③夏季の含水率低下が最も著しく、秋季、春季はこれよりやや劣る。

このような葉枯らし処理材から柱角を製材し、これを除湿乾燥法で人工乾燥する場合、どの程度の乾燥コストの節減が見込まれるかを試算したのが第4表である。ただし、この数値についてはさらに実験を重ね実証していく必要がある。

含水率に関するその他の主な知見としては、伐倒した際に梢端部（樹高の15~20%程度）以外の枝を落としても乾燥速度にさほど支障をきたさないこと、伐倒の方向による乾燥速度の違いははっきりしないこと、冬季（積雪期）の葉枯らしは乾燥の効果が少ないこと、梅雨期の葉枯らしは虫害の危険性が高いこと、枝葉が重なった状態の放置

第4表 葉枯らし材の人工乾燥経費節減効果試算例²³⁾
(12cm心持ち柱角の場合)

樹 種	製材用原木	柱角の初期含水率 (%)		人工乾燥 (除湿式)	
		夏季伐倒	秋季伐倒	低減日数 (日)	低減経費 (円/m ³)
ヒノキ	生 材	50	47	2-4	920-1,840
	葉枯らし材	40	44		
スギ	生 材	100	120	3-6	1,380-2,760
	葉枯らし材	65	95		

〔注〕 心材率：ヒノキ90%、スギ65%とする。

乾燥の仕上げ含水率（生材の所要日数）：ヒノキ20%以下（10-12日）、スギ25%以下（14-16日）。

いずれも電気式含水率計による。

人工乾燥経費単価 { (電力料30万円+人件費9万円) / 28m³ × 30日 } : 460円 / m³ · 日 (償却費、金利、管理費含まず)

は乾燥効果が少ないこと、2ヶ月程度の巻き枯らし処理は乾燥の効果が少ないこと、などが挙げられる。

木材成分の変化については、辺材部のデンプンの含有量が大幅に減少すること、辺材部の白色がやや黄色味を帯びてくること、ばらつきの大きい心材色は一定方向に収れんし、吉野スギ、秋田スギなどいわゆる優良スギの色調に近づいていくこと、などが認められている。このことは、樹木は伐倒されてもしばらくの間は辺材部の生理機能が維持され続けていることを裏付けている。これが葉枯らしと丸太の乾燥との大きな違いといえよう。

7. 国有林葉枯らし材「サンドライ」の生産

上述のような準備段階を経て国有林葉枯らし材の生産標準が出来上がった(第5表)。これに基づき、昭和63年度より本格的な葉枯らし材の生産がスタートした。同時にブランド名として「サンドライ」が採用された(第5図)。公募によって集まった100以上の候補名の中からこの名称が選ばれた理由は、ゴロがよく親しみやすいことが第一ではあるが、当時ドライビールがブームを呼んでいたことも与って大きい。

サンドライの生産量は、昭和63年度には70,500

第5表 「国有林葉枯らし材」生産のための作業方法の標準

生 産 標 準	
<p>「国有林葉枯らし材」とは、伐倒した木を枝葉、皮を付けたままの状態で一定期間放置し、木材中の水分を葉から蒸散作用により放出させ、含水率を低下させるため、下記のように処理した木材をいう(巻き枯らしによるものを含まない)。</p>	
記	
1. 対象樹種	スギおよびヒノキとする。
2. 品質目標	造材時の原木の平均含水率が、スギでは70~100%、ヒノキでは50~70%を目標とする。
3. 作業標準	<div style="text-align: center;"> <pre> graph LR A[対象林分の選定] --> B[伐倒] B --> C[一部枝払い] C --> D[葉枯らし処理] D --> E[玉切り造材・搬出] </pre> </div>
(1) 対象林分の選定	枝下高が高く、高品質な材の生産が相当程度期待できる林分を中心に選定する。
(2) 伐 倒	ア. 伐倒時期 梅雨明けの7月中旬から4月上旬までの伐倒を行うものとする。4月中旬から梅雨時期までの伐倒は、放置期間が梅雨時期にかかるため行わないこととする。また、積雪地方における12月上旬から2月上旬の伐倒は、葉枯らし効果があまり期待できないことから行わないこととする。
イ. 伐倒方向	伐倒方向は、作業上安全と思われる方向へ行うこととし、極力隣接した材の枝葉が重ならないようにする。
(3) 一部枝払い	伐倒した材の枝葉は、最低限、樹高の15~20%に相当する梢端部分は残すこととする。
(4) 葉枯らし処理	ア. 処理方法 伐倒一部枝払い後、樹皮は付けたまま林内に放置することとする。 イ. 処理期間 処理期間は、原則として40~50日とする。冬期間は、葉枯らし効果が少ないため70~90日とする。
(5) 玉切り造材・搬出	一般造材および搬出に準ずる。



国有林良質葉枯らし材

第5図 サンドライのシール

m²だったものが平成元年には151,200m²と倍増し、2年度には230,100m²、3年度は300,000m²(推定)、というように年々増加し、平成4年度には410,000m²の生産量が見込まれている。

しかし、葉枯らし処理は生産期間の延長や工程の二度手間などのために少なくとも10%程度の掛かり増しがあり、売り足は確かに速いが生産コスト増が販売価格に反映させられないという問題がある。なぜ高く売れないかであるが、なんとといっても葉枯らし材の絶対量が少ないというのが第一の理由であろう。折角乾燥の進んだ原木を購入しても量が少ないため、製材工場では生の原木と混材で製材し混材で出荷するため、葉枯らしの利点が発揮できないわけである。事情はどうあれ、国有林のサンドライ生産が民有林にも大きな刺激となったことは事実である。秋田県では森林組合が、徳島県では林業青年クラブがいち早く葉枯らし材生産に取り組んだのがよい例であろう。

前報で各地の銘柄化活動の一端に触れたが、現在ではほとんどの県で葉枯らしと人工乾燥を基調とした産地銘柄化拡大運動が進められているといわれてよく、商品にブランド名やマークを付けるところも多くなっている。これを「サンドライ効果」といえばいい過ぎであろうか。また、県の試験研究機関やいくつかの業界団体が、葉枯らし技術のさらなる研究、経済効果の調査などについて真剣な取り組みを行っているので、今後、多くの成果が現れてくるものと期待される。

ここで一つ葉枯らし材について注意を喚起したいのは、「葉枯らし材は乾燥材である」という誤解が根強く残っているという事実である。前項でも示したように、葉枯らし材は決して十分に乾燥したのではない。葉枯らし材は「人工乾燥の前処

理を施した材」に過ぎないことを、この際ははっきりと理解しておいて欲しいものである。さもないと過大評価や過大な期待がかえって葉枯らし材の評判を落とすことにもなり、折角盛り上がった乾燥材普及への障害にならないとも限らないからである。

8. スギ材を有効に利用していくために

スギはなんとも不思議な樹種である。品種の数は少なくとも200は下らないともいわれ、材質がごとごとく違っている。乾燥技術の面からよく話題になるのは、初期含水率のばらつきの大さき、辺心材率の違い、黒心材出現率の違いといったところであろう。これらが品種(産地)により個体により一定しないので、スギの人工乾燥スケジュールは?と問われても、簡単には答えようがない。おそらく品種別の材質の広がり、アカマツとヒノキとの差どころではないかも知れない。しかし、付加価値の高いスギ材の商品化を図るためには、乾燥は避けて通れない関門である。難しいがなんとかしてでも乾かさなければならぬ。木材を乾燥すればそれ相応のコストがかかる。しかし、スギ材は材価が安いうえに長い乾燥日数がかかる。ここにスギ材乾燥の致命的な問題点がある。

心持ち柱角(12cm)の人工乾燥を例にとると、乾燥方式の違いによっても異なるが、蒸気式乾燥の場合、ヒノキ材(背割りあり、含水率20%まで)は6,000~7,000円/m²、スギ材(背割りあり、含水率25%まで)は10,000~12,000円/m²ほどの乾燥コストになる²⁹⁾。これが材価に上乘せできればならぬ問題はないのであるが、それができないから問題なのである。このため、森林総合研究所や県の研究機関では、乾燥コストをいかに低減し、しかも良質の乾燥材を得るかについて必死の努力が重ねられているところである。木材乾燥の技術的な記載は別の機会に譲るが、乾燥経費が出せないからといって生材で家を建て、その結果クレームに追われることにどれほどの利得があるというのであろうか。いまここに、参考のため一つの試算を示そう。

木造住宅に使用される製材品(スギに限定しない)の量は床面積1m²あたり平均0.18~0.19m²で

ある（日本住宅・木材技術センター調べ）。床面積115㎡（35坪）の建物価格が約2,000万円、製材価格（単価）が平均75,000円/㎡とすれば、使用される木材の価格は、

$75,000\text{円}/\text{㎡} \times 0.19\text{㎡}/\text{㎡} \times 115\text{㎡} = 1,643,000\text{円}$ となり、建物価格に占める割合は8.2%になる。

一方、木材の人工乾燥経費を多めに見積って8,000円/㎡とすれば、使用する木材全部の人工乾燥経費は、

$8,000\text{円}/\text{㎡} \times 21.9\text{㎡} = 175,200\text{円}$

で、建物価格のわずか0.9%にしかならない。

スギ材の心持ち柱角やはり、けた類の人工乾燥については、残念ながら現在のところ画期的な方法が確立されていない。このような段階では、少しでも乾燥コストを引き下げするには、葉枯らし材の活用なり直接経費のかからない天然乾燥を積極的に実施するなりして、仕上げの人工乾燥経費を節減させるのが現実的な方策ではなかろうか。現にその方式を取り入れてかなりの成果を挙げている工場も少なくないようである。

9. これからの乾燥材流通上の課題

行政のテコ入れや木材業界の努力によって、木材乾燥施設数は年々少しずつ増加している。平成3年度に行った日本木材乾燥施設協会会員20社から得たアンケート結果によれば、昭和56年から60年までの5年間に設置された人工乾燥室数は1,535室（容量22,745㎡）、また昭和61年から平成2年までの5年間に導入された乾燥室数は1,879室（容量31,435㎡）と集計されており¹⁷⁾、近年着実に施設数、延べ容量ともに伸びてきていることが明らかである。

ちなみに、この20社は全体の約80%のシェアを有するとみられるので、実際の数字はこれに約1.25倍したものが全体数と推定される。昭和63年の別の調査資料⁹⁾によると、人工乾燥材の年間生産量は944,931㎡となっている。このうちスギ材が15%、ヒノキ材が9%、ベイツガ材が18%、ベイマツ材が9%を占め、全施設の生産能力からみると稼働率は約80%であると指摘している。また、木材流通業者が人工乾燥材を仕入れる場合の仕入れ先は、製材工場が95%、集成材工場が38%、市売り市場

31%、問屋28%、乾燥専門工場8%（重複回答あり）となっており、乾燥材を生産している工場からの直接購入に比重が偏っていることが窺える。統計にはないが筆者の感覚では、建築業者や工務店が入手するルートは、自社工場、直営工場、契約工場等、流通業者の場合よりもっと生産者に、それも自社の息のかかった生産者に直結しているのではなかろうか。

オープンマーケットでの乾燥材の取引量が少ない理由にはいろいろなことが考えられるが、一つには、木材に対するわが国のユーザーの特殊な価値観に問題があるようである。乾燥材は色がくすんでいる。割れが入っている。かんながけの時に硬くて作業しにくい、等。一人だけは解っていても他の人たちが乾燥材の評価規準を変えなければ、いつまでたっても市売り市場で乾燥材の正当な評価は得られまい。心持ちの構造用材は十分に乾燥してあれば、多分材面に割れが入っているだろう。しかし、割れは欠点であるとする感覚を払拭しない限り、いい換えれば、製材工場は見た目にきれいな生材を出荷し、流通業者は割れていない生乾きの材を扱い、建築業者は柱に割れがこないうちに住宅を売りつける、といったババ抜き的な流通システムを打破しない限り、建築用乾燥材の普及はおぼつかない。「割れている木材は乾燥材だからこれ以上は狂わない。縮まない。だからよい材料である」というような発想の転換や、割れを構造上の欠点とさせない建築技術上の工夫などが、木材および木造建築にたずさわる者のこれからの課題ではあるまいか。

おわりに

最近とみに建築用材の乾燥に関する関心が高まってきている。昨年7月に新しい針葉樹構造用製材の日本農林規格が設けられたが、その背景、建築における木材乾燥の現状、意義、位置付けなどについて考察した。読み返してみると本稿は内容的にバランスのとれた構成になってもないし、考察とはいえ、あちこちに筆者の主観が入り込んでいることに気づき、反省している。できるだけ客観的な記述を心がけたつもりであるが、常日頃考えていることや感じていることが、つい表現に

出てしまったのであろう。この上は、筆者の誤解や偏見に基づく表現のないことを祈るのみである。また、内容的な構成の面で不足の部分は、別の機会に穴うめさせていただく所存である。

文 献

- 18) (財)全国林業改良普及協会編：葉枯らし乾燥，林業改良普及及書104（1990.1）
- 19) 農商務省山林局編：木材ノ工藝的利用，大日本山林会（1912.3）
- 20) 長岐喜代次：秋田杉への郷愁，東北紙工（1969.11）
- 21) 小国町森林組合室原知明氏私信
- 22) 鷺見博史：林業技術 No.524（1985.11）
- 23) 鷺見博史ら：スギ，ヒノキ材の葉枯らし等林内乾燥試験，昭和61年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績報（1988.3）
- 24) (財)日本住宅・木材技術センター：建築用針葉樹乾燥技術研修会テキスト（1992.1）

<改訂版発行>

木材の人工乾燥

名古屋大学農学部名誉教授・農学博士 寺沢 真 共著
元農林水産省林業試験場木材部長・農学博士 筒本 卓造

昭和51年本協会発行の「木材の人工乾燥」は“緑の乾燥の本”ということで、学習書、現場技術の手引書として広く親しまれ活用されてきました。近年、木材需要の低迷するなかで、木材乾燥に対する関心は一段と高まり、除湿乾燥機、高周波減圧乾燥機など新方式の普及もめざましいものがあります。これらの内容をもりこみ、また現在までの木材乾燥士資格検定試験問題もすべて集録して、この度改訂版を発行いたしました。木材乾燥に対する正しい認識と技術の向上に役立つ技術書としておすすめいたします。

定 価 2,575 円 (本体 2,500 円)，会員割引 2,266 円 (本体 2,200 円) (送料 350 円)

体 裁 A5 判 上製本 199 頁

申込先・申込方法：現金書留、郵便振替（東京 5 49844）にて、会員割引の方は会員番号を明記の上、下記までお申込み下さい。

社団法人 日本木材加工技術協会 東京都港区芝公園 1 丁目 2 番 16 号 第 1 横ビル

3 スギ材の利用と木材乾燥

日本木材乾燥施設協会研究会資料 1993, 2

森林総合研究所 乾燥研究室長 久田卓興

1. 木材資源としてのスギ

我が国の森林資源はおよそ29億 m^3 で、そのうち約60%は針葉樹である。そして、建築用木材の主たる供給元である針葉樹人工林は面積1,000万ha、蓄積13億4,000万 m^3 に達し、戦後積極的に植林された造林木がまもなく伐期を迎え、多量の木材が市場に供給されうる態勢が出来上がりつつある。

スギについては蓄積は約8億 m^3 と言われ、ほとんどが民有林にあり、大分、秋田、宮崎、高知、福島、熊本などの各県に広く分布している。表1はスギ人工林の齢級別の蓄積であるが、このうち製材用原木として利用できるのは9~10齢級(40~50年)以上の材で、全体の約30%くらいである。一方、近年に於ける国産材の素材供給量は図1に示すように、針葉樹全体で1,900万 m^3 、スギは800万 m^3 程度で推移しており、この傾向が続けば蓄積は表1のように年々増加することが予想されている。特に1990年代の後半から2000年にかけては利用適木が大量に出てくることになる。

表1 スギ人工林の齢級別蓄積

単位 1,000 m^3

齢級別	総数		民有林		スギ(民有林)						
	数量	構成割合	数量	構成割合	1985年		1991年		1996年		
					数量	構成割合	適伐以上累計	構成割合	適伐以上累計	構成割合	適伐以上累計
総数	1,335,554	100.0	1,146,995	100.0	719,267	100.0		100.0		100.0	
1	145	-	79	-	73	-					
2	3,768	0.3	3,462	0.3	1,712	0.2					
3	51,380	4.0	44,737	3.9	20,261	2.8	100.0	0.2			
4	138,315	10.3	118,102	10.3	61,021	8.5	97.2	2.8	100.0	0.2	
5	225,866	17.1	195,423	17.0	114,029	15.9	88.7	8.5	97.2	2.8	100.0
6	268,709	20.2	231,921	20.2	145,774	20.3	72.8	15.9	88.7	8.5	97.2
7	201,379	15.2	174,887	15.2	117,065	16.3	52.5	20.3	72.8	15.9	88.7
8	86,868	6.9	79,529	6.9	56,276	7.8	36.2	16.3	52.5	20.3	72.8
9	69,802	5.6	64,648	5.6	45,021	6.3	28.4	7.8	36.2	16.3	52.5
10	62,686	4.7	54,281	4.7	37,342	5.2	22.1	6.3	26.4	7.8	36.2
11	56,097	3.9	45,058	3.9	30,164	4.2	16.9	5.2	22.1	6.3	28.4
12	46,125	3.3	37,568	3.3	25,064	3.5	12.7	4.2	16.9	5.2	22.1
13	39,042	2.8	32,219	2.8	21,229	3.0	9.2	3.5	12.7	4.2	16.9
14	29,770	2.1	23,510	2.0	15,737	2.2	6.2	3.0	9.2	3.5	12.7
15	55,622	3.6	41,571	3.6	28,499	4.0	4.0	6.2	6.2	9.2	9.2

林野庁監修「日本の森林資源」より作成 昭和61年3月31日現在調査

こうした我が国の資源事情や最近の地球環境問題を考えるとき、木材産業は必然的に原料を国産針葉樹とりわけスギに依存して行かなければならないことが理解できる。スギがようやく木材資源として注目され始め、そこで利用上の問題点として輸入材との価格競争と、乾燥の難しさが表面に出てきたわけであるが、スギの利用にとってこの2つは将来と

も重大なテーマとして残っていくであろう。製品価格については図2に示すようにスギと米ツガは常に競争関係にあり、乾燥についてもスギはやや不利な立場にある。建築ユーザー側が製材品の価格を最重視する状況の中ではスギの需要拡大はなかなか困難と言わざるを得ない。資源ナショナリズム的思想が広がってくれば状況は変化するであろう。

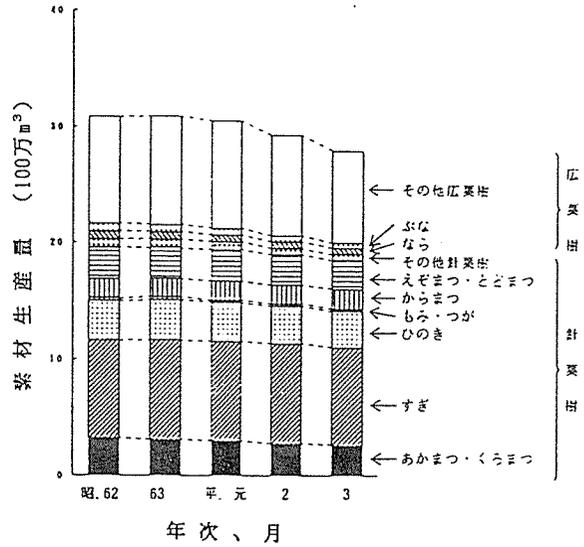


図1 国産材の素材生産量の推移

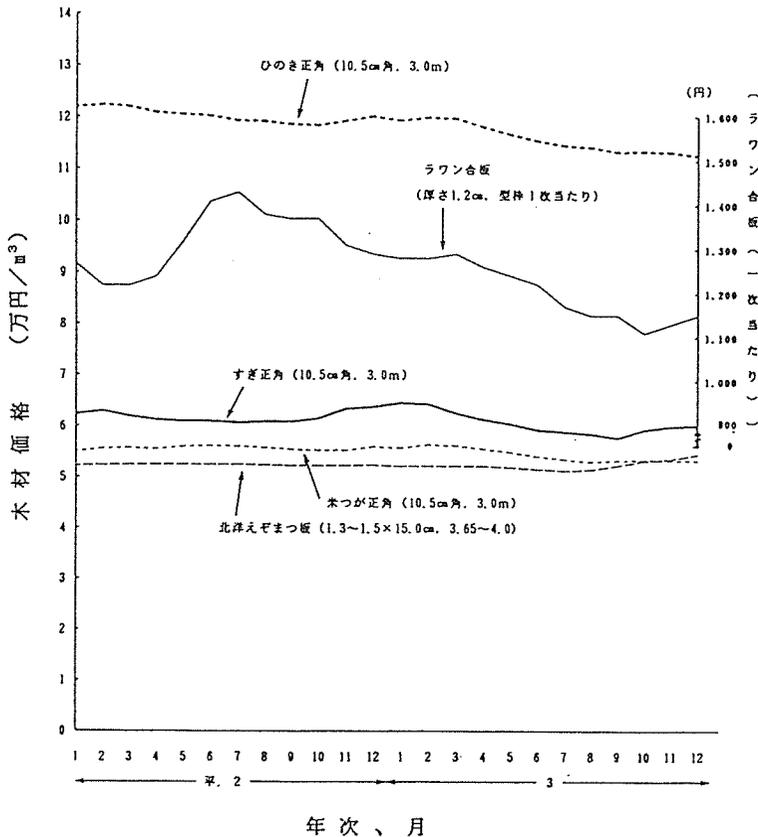


図2 製材品の卸売価格の推移

2. スギ材利用と乾燥材生産

建築用木材に対する乾燥の必要性はますます増大し、大手建築メーカーやプレカット工場での乾燥材への移行は急速に進みつつある。こうした工場では建築工期の短縮や、建築工事の合理化に乾燥材が不可欠な事情があるが、一般の大工、工務店では依然として乾燥材の購入に踏み切れない所も多い。これは乾燥材が入手しにくいこと、乾燥材が高いこと、乾燥材でなくてもなんとか使いこなせることなどの理由によると思われるが、乾燥材を利用したいという潜在需要そのものは非常に大きいように感じられる。

建築用針葉樹材のうちどのくらいの量が乾燥されているかを考えてみると、非常に大ざっぱではあるが人工乾燥設備の量から次のように推定される。林野庁の調査、日本木材乾燥施設協会のアンケート調査などを参考にすると、現在の乾燥施設の数約7,000室、総収容材積は約10万 m^3 である。このうち1/3が建築用針葉樹の乾燥に使われ、1カ月平均3~4回転で運転されるとすると、乾燥材の生産量は年間約150万 m^3 となる。平成3年度の建築用製材の出荷量は2,350万 m^3 であるため、人工乾燥材の比率は約6.4%ということになる。乾燥材の必要性がさげばれているわりには多くない数字である。これはヒノキやカラマツなどを含む全体の量であるため、スギに限れば乾燥材の生産はまだ微々たるものに過ぎない。これは昨年の研修会で報告された、全国の各研究機関による製材品の含水率調査でも明らかである。

しかし、この頃新聞紙上等で市場での乾燥材の流通が非常に増大し、これが主流になったとするニュースとか、新技術によって乾燥日数を飛躍的に短縮したニュースを見かけることが多い。ほんとにきちんと乾燥されているのだろうかという心配が先に立つ。市場のムードが確実に乾燥材へ向かっていることはたいへん喜ばしいが、乾燥材という名前のみが一人歩きし始めている場面も多いように感じられてならない。

その一方で、最近になって各地でスギ並材を対象にして大型の乾燥室導入の動きが見られ、本格的な乾燥材の供給態勢が整備されつつある。製材品の流通形態によって、乾燥レベルすなわち乾燥材としての生産目標も分化しようとしているようである。

3. 用途に即した乾燥技術と乾燥材の品質

木材の乾燥技術は用途に応じて乾燥材の仕上がり品質をコントロールし、いかに速くしかも安く乾燥するかが課題である。したがって、相対的に乾燥所要時間が長くかかり、しかも材価が低いスギ材は、かなり乾燥が難しい材ということになる。すなわち、材の種類や用途に応じた処理条件をきめ細かく管理してやる必要がある。

構造用材としては見えがかり材で特に美観が要求される用途と、見えがくれ材で主に強度や寸法の安定性が要求される用途がある。前者は割れの無いことや材色がきれいなことが求められるため、背割りをして除湿式乾燥機などにより低温条件で乾燥する方法が取られる。この場合は乾燥時間が長くなることはある程度やむを得ない。これに対し、後者の

見えがくれ材では色々な方法、すなわち背割りをしない方法、インサイジング処理をする方法、材の表面に切り込みを入れる方法、中心部に穴を開ける方法などがある。また、乾燥方法も蒸気式、除湿式、減圧式など多くの方法が考えられる。

(1) 乾燥による断面の変形と収縮

背割り材の断面の変形は図3に示すように、背割り側は開き、その他の面は収縮する。収縮量は含水率20%で1.5~2.0%に達し、その後も材のおかれた環境条件に応じて0.5~1.0%の収縮が起こる。建築に用いられた柱材の含水率は普通は18%付近で安定するため、仕上がり含水率が20%以下であればほとんど問題は生じないが、仕上がり含水率がこれより高い場合や、使用中の含水率が低くなる場合は注意を要する。

これに対し、全面にインサイジングを施した材は全体が均一に収縮し、収縮率そのものもやや小さくなる。これはインサイジングの幅が少しずつ開くことによって、材全体の変形が小さくなるもので、用途によっては外寸法の変化が少なく使いやすい。

スギ並材の乾燥では、割れは無視することにして背割りをしないで乾燥することも多いが、この場合も割れが4材面に均等に入ればインサイジングの場合と同様に、外寸法の変化は小さく抑えられる。但し、割れが最初に1面だけに発生し、その後緩やかに乾燥していくような条件が作られると、背割り材と同様に割れのある面が大きく外側に開いていくことになる。乾燥不十分な木材を建築に用いた場合のトラブルはこのような条件で発生することが多い。

どの乾燥法が適するかは建築ユーザー側の要求する性能にかかっているが、当然そこには判断基準として乾燥コストの問題が介在してくる。しかし、コストのみで無く、良い建築物を作るという考え方が基本にあってほしいものである。

(2) 心持ち柱材の割れ防止技術

背割りの無い材に乾燥割れを発生させない技術は、乾燥技術として究極の目標であり、もちろんこれが低コストで実現できれば理想的である。これに関して次のようないくつかの事例が報告されている。具体的な処理条件は明らかにされていないが、伊豆巴産業KKで

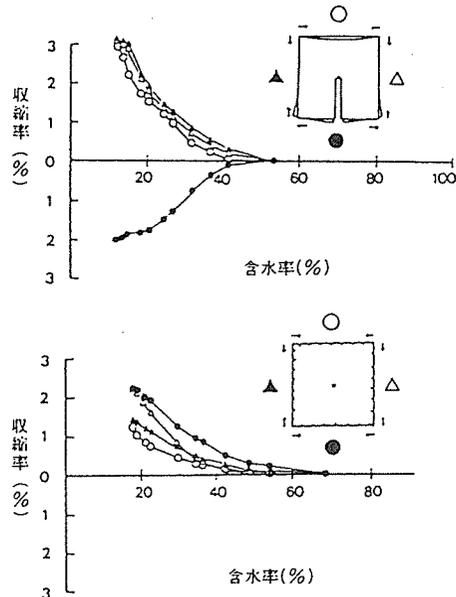


図3 背割り材とインサイジング処理材の収縮率変化の比較

は除湿乾燥機を用い、これに成功した例を新聞発表している。また、宮崎県工業試験場の迫田氏は風の循環や乾燥終了時の冷却機構を工夫した独自の蒸気式乾燥機を用いて、終始比較的高い湿度条件で乾燥する方法によって割れを非常に少なくする事が出来たことを報告している。また、森林総合研究所の斎藤は木口部分をシールし、乾燥の初期に85～90℃で20時間程度の十分長い時間蒸煮することによって、割れの発生をほぼ50～60%阻止出来ることを報告している。いずれの方法も背割り材に比べ乾燥時間が多少長くなる事が難点であるが、最終仕上げまでの歩止りを考えれば、むしろ有利な条件も有り得るわけで、今後の方向として注目される。

4. 乾燥材の生産コスト

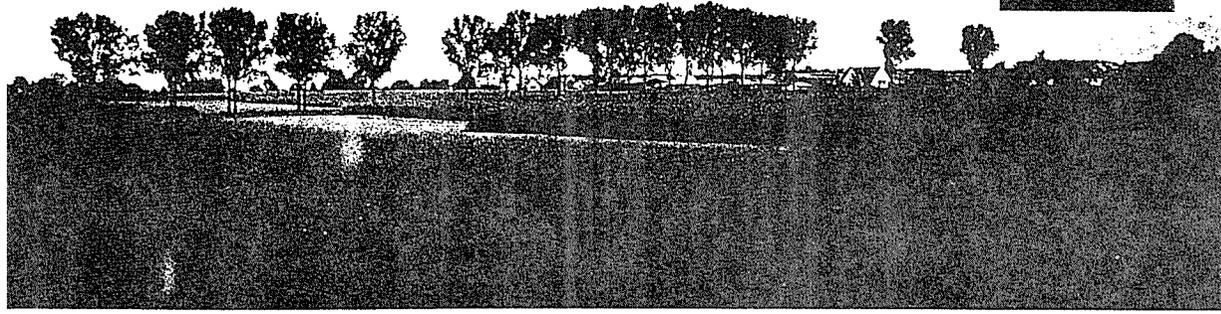
木材乾燥では乾燥方法の適否が乾燥コストによって評価されることが多いが、とりわけスギ材の乾燥ではこのことが重要な要素である。乾燥コストと乾燥材の品質とは密接な関係があるため、本来はまず品質の限界が定められる必要がある。しかし、一般のスギ柱材に対しては広葉樹のように絶対割れが許されないといった条件があるわけで無く、仕上がりが含水率にしてもそれほど高い精度は要求されないことから、評価の基準があいまいである。乾燥コストが生産者側とユーザー側でなかなか合意に達しないのもその辺に原因がある。ユーザー側は実際の乾燥経費を無視した低い乾燥コスト分しか認めないし、生産者側はなんとかあまい乾燥によってコストを下げようとする結果、乾燥経費が正当に評価されなかったり、乾燥材の品質がなかなか向上しないといった悪循環が生まれることになる。

心持ちスギ柱材の乾燥コストについては、材の価格の10%が限界とか20%以内とかが良く取りざたされるが、考えてみれば奇妙な話である。乾燥材が乾燥材としての機能を発揮するのに必要な経費が乾燥費として認められるべきである。未乾燥材の使用による不利益と、乾燥材の使用により生じる利益との差の分までは、乾燥費が認められてもおかしくはない。

現在の技術レベルの下では、スギ柱材1 m^3 をJASで定めたD25まで乾燥するのに、設備償却費やエネルギー費、人件費などを含めおよそ10,000円の経費が必要である。乾燥材を生産するには、この他に収縮を見越した製材時の大きな寸法による木取り、乾燥後の修正挽きの費用が必要で、さらに乾燥割れや曲がり、狂いによるはね材のリスクも見込んでおく必要がある。これら全部を含むと乾燥コストを生材の製材品価格の20%以内に納めることはかなり大変なことがわかる。スギ材の乾燥がなかなか進まない原因がここにある。

スギ材のための利用目的をしばった専用の乾燥機や、新しい乾燥システムが求められている。今まで適用できなかった特殊な乾燥手法についても見方を変えて取り組んでみる必要があるのではなかろうか。

4 木材乾燥に関する研究の動向
ウッドミック VOL. 11, 93-2



木材乾燥に関する研究の動向

名古屋大学工学部機械工学科・助教授 金川 靖

一、はじめに

平成四年八月下旬にフランス、ナンシー市にてIUFRO(国際林業研究連合)第五部門(林産関係)の国際会議が開催されました。開催地のナンシー市は、パリから特急列車で二時間半ほど西に行つたところに位置した、素敵な田園都市です。ナンシー市に向かう道々は、広々とした田園風景が続き、大地の豊かさと言葉を実感させるに十分なものでした。

この国際会議で、「日本における木材乾燥に関する研究動向」と題して発表するよう頼まれ、急遽これまでの木材乾燥の変遷を振り返るとともに、過去一〇年間の「木材学会誌」「学会大会要旨集」および「木材工業」を見直した次第です。特に、「学会大会要旨集」の口頭発表が時代の流れを反映しているようです。

〇年間の発表テーマを一覧すると、その年の年では見過ごしていた研究や興味の流れが見えてきます。社会のニーズや森林資源の状況等に敏感に反応しているからなのでしょうが、あるいは研究費の取り易さや人真似・流行とでも言うべき安易さの現われでしょうか。自分を振り返るまたとないチャンスでもありました。

IUFRO第五部門乾燥部会のアジア

・オーストラリア地域の世話役を仰せつかつている関係で、この国際会議でこれらの地域の木材乾燥の状況を報告する機会もありました。日本を取り巻く各国の様子なども含めながら、一九六〇年代以降の日本での木材乾燥の変遷を自分なりに纏めてみたいと思います。多分、私の独断と偏見が相当に含まれることと心配していますが、悪しからずお許しのほどお願い致します。また、間違いがありましたらご教示頂きますようお願い致します。

二、一九六〇年代以降の木材乾燥

木材の人工乾燥が本格的になったのは第二次世界大戦以後と聞いております。今、名古屋大学農学部で「木材乾燥工学」の講義を担当させて頂いておりますが、その第一日目に木材人工乾燥の歴史を

「進駐軍将校の住宅部材の乾燥から始まった」と話しますと、「進駐軍?」となかなか話し通じません。それぐらい歴史が長いということでしょうか。すでに一九四一年には松本氏の名著



「木材乾燥法」が著されています。また、小倉氏、満久氏による水分移動機構に関する精力的な研究がありました。しかし、一九六〇年代の終わりから木材研究に携わった私にとっては、皆様が余りにも先輩過ぎ、教科書で勉強した以上の実感がありません。敢えて一九六〇年代以降について纏めてみることに致します。

一九六〇年代以降の木材乾燥の流れを

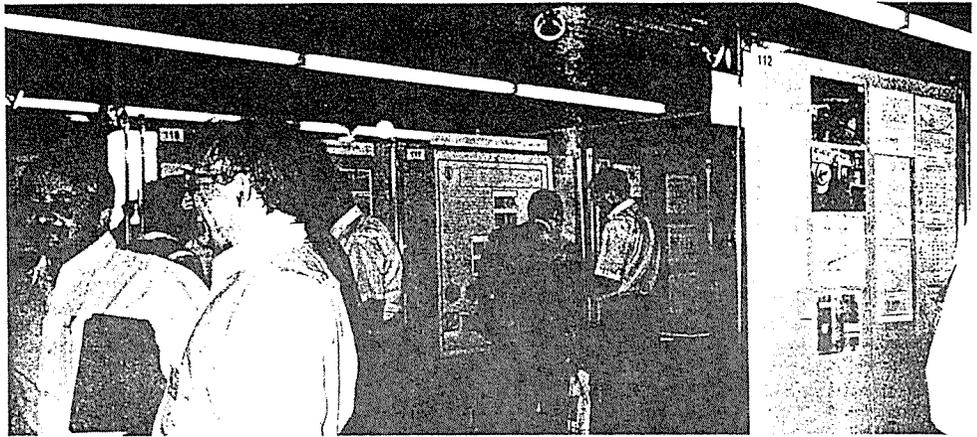


図 1

乾燥法と被乾燥材の変遷

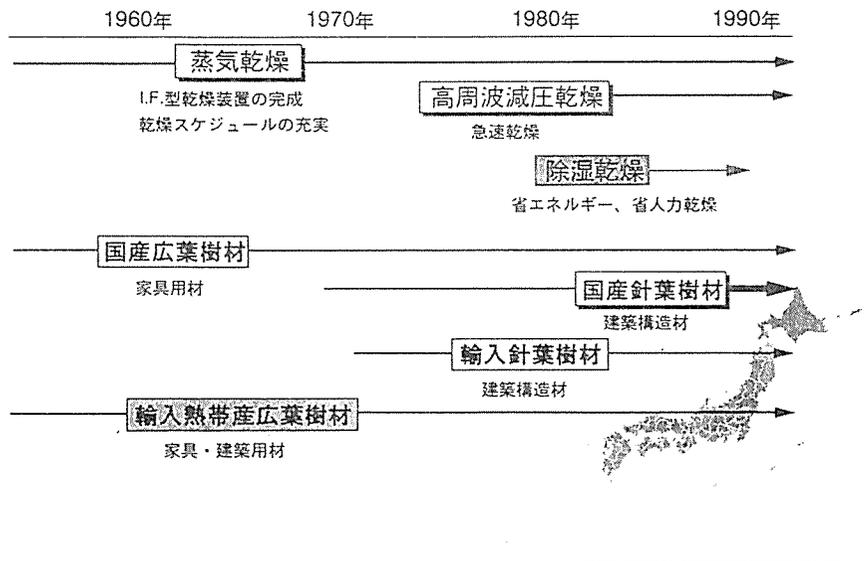


図1のように大きく二つに分けて考えてみました。一つは、社会のニーズである木材乾燥の対象となった主な樹種とその用途であり、他は、シーズとでも言うべき木材人工乾燥法のハード・ソフト面の開発です。図1のように被乾燥材の変化に伴って乾燥法が運動して開発され、現在に至っています。したがって、乾燥法別に日本での木材乾燥研究・技術開発の変遷を追っていくことに致します。

① 蒸気乾燥法

一九六〇年代は家具・建築内装材としての良質な国産広葉樹材、熱帯地域産の広葉樹材、いわゆる南洋材の乾燥が主体で、I・F・型と呼ばれた蒸気乾燥法の開発はハード・ソフト両面で一段落し、木材工業に定着しつつあった時期と言えます。ここで言う蒸気乾燥法とは、現在最も普及しているボイラーの蒸気を熱源として乾燥・湿球温度等で空気温度と湿度を制御する方法を指しています。南洋材の乾燥スケジュールの開発を含めたこれらの仕事の主力は、寺沢氏を中心とした林業試験場（現森林総研）のグループでした。木材乾燥の研究の最盛期と云ってよいかもしれません。とにかく、林業試験場のグループの方々の鼻息が荒かったことが印象的でした。その中でも、寺沢氏の職人芸的な「一〇〇℃試験」と称する乾燥スケジュール簡易決定法は、乾燥中に発生する表面割れ・内部割れの原因とその防止策を明解に示したもので、実用的に広く利用されたことも合わせ、この時代の成果取り纏めの代表例であったと思います。

一九七〇年代になると、南洋材の産地がフィリピンからインドネシアへと南へ移るにつれて、以前ほどの良質の材が入手し難くなり、いわゆる「未利用材の開発」の時代となり、木材乾燥の研究も未知の材を有効に乾燥するスケジュールの開発が主流となりました。この状況があったからこそ、前記「一〇〇℃試験」の

有用性・先見性を感じたのかもかもしれません。未利用樹種への最適乾燥スケジュールの開発は、乾燥中・後期のスチーミング等の乾燥効率化処理を含めて、試験場・企業が中心となって具体的に進められました。私も、一九七〇年代終わりにある企業と共同して、インドネシアの小さな島に産する未利用樹種の性質を調べたことがあります。マイナーな樹種を各性質毎に整理し、分類するのは大仕事で、二年間は研究室全体が振り回されてしまいました。

その一方で、乾燥によって発生する表面割れの発生機構をもっと基礎的な特性から説明できないか、落込みと呼ばれる含水率の高い状態での異常収縮の主な発生機構は何か等の研究が精力的に行なわれ、これまで経験的に納得していた現象の整理が進みました。また、どうしたら乾燥応力を正確にかつ自動的に測定できるか、如何にしたら乾燥応力が簡単に評価できるかなど乾燥装置の自動制御の基となるような研究も発表されました。一九七〇年代は蒸気乾燥にとって飛躍的な進展は特にありませんでしたが、乾燥に関する木材の性質を洗い直した時期と言えましょう。

一九七〇年代までに、蒸気乾燥のハード・ソフトともにはほぼ完成しましたが、乾燥操作の自動化、ランニングコストの低減等企業レベルでの実用的な問題が残っていたようです。一九八〇年代は、社会全体でコンピュータが持てはやされ

ました。木材乾燥もその例にもれず、コンピュータによる乾燥装置の自動制御等、多機能化、高機能化が追及され、乾燥装置が従来のコンクリートの塊から工業機器へと変貌していった時代でした。乾燥応力や含水率を連続的にモニターし、被乾燥材の状態によって条件を自動制御する本格的な試みも発表されましたが、大部分の乾燥装置は、カタログ的には麗しく、「コンピュータによる……」と書かれていても、設定したタイムスケジュールの自動運転装置、せいぜいあつても含水率を自動測定し、乾燥条件を変化させる時期をコンピュータにより決定するものでした。

他方では、戦後植栽されたスギ、カラマツの有効利用に向けての研究・開発が要求されました。乾燥分野では、林業試験場が中心となって、伐採後枝葉を付けたまま林地に放置し、予備乾燥する「葉枯らし」の研究が進められ、現在では「Semi Wood」と称して各地の試験場・センターが中心となって進められつつあります。

一九八〇年代には、木材の蒸気乾燥は木材工業に定着し、試験場等の強力な指導を必要としない程、各企業の実力が上がっていました。蒸気乾燥の安定度、汎用性、操作性等が確立したのが一九六〇年代以降の大きな成果ではないでしょうか。

② 高周波減圧乾燥

前記の松本著「木材乾燥法」には、す

で真空（減圧）乾燥法の記述がありま

すし、一九六〇年代には林業試験場での岩下氏らによる高周波乾燥の研究があったと聞いております。一九七〇年代後半に、改めて減圧乾燥法が注目されました。急速乾燥をセールスポイントにしたこの乾燥法も、経済成長の波に乗った乾燥の効率化の一つの現われでしょう。過去において、常圧下での蒸気加熱とその後の減圧乾燥、減圧中での熱板加熱等の方式が試みられ、減圧中で如何にして木材を加熱するかがテーマでした。次いで、加熱源として高周波が導入され、高周波減圧乾燥法の名前で、試験場、大学サイドで盛んに研究されました。誘電加熱により均一な含水率分布で急速に乾燥する、表面割れ・落込みが少ない、厚板に適している等種々の長所が発表されましたが、一方では初期設備費やランニングコストが高い等その経済性を危ぶむ声もしばしば耳にしました。現在、木材工業の中で高周波減圧乾燥装置は大小合わせ一五〇—二〇〇台程度が稼働していると聞いております。蒸気乾燥と競合するのではなく、その長所を活かせる分野で活躍しているようです。

この乾燥法の長所は原理的には早い段階で明らかでしたが、実用機として世に出るためにはハード面でのいくつかの技術開発が必要でした。一九七〇年代終わりには、高周波電界中で材温が測定できるセンサーが開発され、次いで乾燥に伴って刻々変化する木材の誘電特性を追尾

できる自動同調装置が開発されました。

これによって材温をモニターしながら高周波の発振を自動制御できるようになり、実用機の仲間入りを果たしたと言えます。過去に板材の乾燥による狂いをプレスで防ごうとした試みはありましたが、一九八〇年代半ばには、単板の波打ち等を防止するため、プレスしながら高周波を印加する方法が実用化され、広葉樹材やスライス単板等では好結果が得られています。また、乾燥中の木材の含水率を高周波発振機の自動同調装置で推定する方法も開発され、次第に装置としての完成度が高まりました。

蒸気乾燥の命は、乾燥装置自体の性能もさることながら、適正な乾燥スケジュールですが、高周波減圧乾燥法ではこれらをお手本にしながら樹種や材種に合わせ初期条件、即ち材温と缶内圧力を設定するものの、乾燥の進行に伴って条件を変化させる発想は余りありません。缶内圧力を一定に設定し、特別にスケジュールのな配慮をしなくても乾燥速度は余り低下しないこともその理由の一つでしょう。しかし、一九八〇年代後半からは、

材温・缶内圧力ともに変化させる乾燥スケジュールの検討が行なわれました。

これまで、木材の透過性、浸透性あるいは通気性と呼ばれる木材中の液体・気体の通り抜け易さは木材乾燥の分野では余り重要視されていませんでした。ところが高周波減圧乾燥の研究が進むにつれて、乾燥速度を支配する性質は透過性であり、この乾燥法に向く材は短尺材、単板等で、長尺材であれば透過性が高いことが不可欠の条件であることが判ってきました。したがって、今後は木材の通気性を考慮した、蒸気乾燥とは違う観点からの、乾燥スケジュールの開発が必要でしょう。

先に書きましたIUFRO国際会議の一週間前にオーストリア、ウィーンで第三回国際木材乾燥学会(3rd International Conference on Wood Drying)が開催されました。世界各国から一〇〇余名が参加し、五日間に互り木材乾燥に関することだけを議論する場で、回を重ねるにしながら参加者、発表件数も増え、なかなか面白い学会になってきました。特に目を引いた今回の傾向は、減圧乾燥に関する研究発表が例年になく多かったことでしょう。これまでは、日本からの発表が唯一件だけでしたが、今年は六件もありました。この原因は興味深く、多くの方々に尋ねましたが、スッキリした答は得られませんでした。総合すると、乾燥実務上の要求が主な理由のようです。減圧乾燥へのニーズの高まりは、来る平成

五年夏にはチェコスロバキアで木材の減圧乾燥学会(Vacuum Drying of Wood '93)が開催されることになった程です。

さて、減圧乾燥に対する各国の研究段階ですが、熱源の主流はまだ高周波ではありませんし、発表内容から見て余り進んでいるとは言えないようです。来年の学会のテーマは熱源の影響、材質の変化、乾燥装置の制御等で、我田引水で言いますと、日本での一九八〇年代半ばの段階のように察しました。約一〇年間のリードと言えるかもしれません。しかし、これは海外でのニーズがなかったことにもよりますが、半面、日本での研究成果が世界に役立っていないことを意味し、私達研究者と呼ばれる人達の海外に向けての情報提供の努力が足りなかったと言わざるを得ません。来夏の学会では、ハード・ソフト面での日本の開発の現状を大いに宣伝しようと意気込んでいます。

③ 除湿乾燥

除湿乾燥は、私にとっては何の前触れもなしに突然降って湧いたように現われました。初めて目にしたのは一九八一年で、イタリヤから輸入したものであったと記憶しています。この乾燥法の原理は、ヒートポンプと呼ばれ、クーラーの室外機と室内機を一箇所に置いたようなもので、結露により湿度を下げようとするものです。このセールスポイントは省エネルギーと省人力で、当時の経済状態にマッチし、大いに期待されたものでした。乾燥の機構は蒸気乾燥と全く同じですが、

冷凍機の性能上五〇℃以上の温度は難しく、含水率二〇%以下まで乾燥しようとすると非常に長い期間が必要でした。しかし、輸入針葉樹等の建築用材の乾燥ニーズや省エネルギー等の利点を目を付けた製材業者の間で大いに関心を持たれました。一九八〇年代の後半には、除湿

乾燥をテーマとした講習会や講演会が各地で開催されましたが、どの会場も満員になる程の盛況でした。乾燥装置メーカー、特に除湿乾燥だけのメーカーの宣伝・売り込みは相当なもので、これら講習会等にも積極的に参加していたのが印象に残っています。冷凍機の知識があれば簡単に作れたためでしょうか、除湿乾燥メーカー必ずしも木材乾燥の専門家にあらずとの感が強かったと思います。それにしても、短期間に木材工業にこれ程喚び込んだ乾燥装置はこれまでありません。

除湿乾燥の開発当時は、乾燥室に材を積み込み、操作パネルの電源をONにすれば、後はほとんど何もしなくてもよい、もつと正確に言うなら、ほとんど何もできないことでした。省エネルギーも大きなセールスポイントでしたが、含水率の高い時期はその通りですが、含水率が三〇%に近付くにつれ除湿効率は急激に低下し、あまり省エネルギーとは言えません。また、含水率一七%まで乾燥しようとする予備電気ヒーターによる加熱が必要となつてしまいます。長期間の乾燥時間と相まって、あまり乾燥コストも低いとは言えないようです。蒸気乾燥、除湿乾燥、

高周波減圧乾燥の乾燥コストの比較が報告されたことがあります。条件によって相当変化すると思いますが、その時の試算では、一㎡当たりのそれぞれの乾燥コストが大略八〇〇円、一万円、一万二〇〇〇円程度であったと思います。蒸気乾燥よりもコストが高く、乾燥時間が一・五〜二倍程度掛かり、しかも耐久性にも難があり、本格的な乾燥としては問題です。ところが、乾燥室として古い貨車やコンテナを再利用する試みもあり、製材業者の中には「カビが生えない程度に乾けばよい材料置場」と割り切っていた人達も居た程です。当時、木材乾燥の専門家中の専門家が居た大手乾燥機メーカーが本格的な除湿乾燥装置を発表しま

図 2

木材学会大会発表テーマの変遷

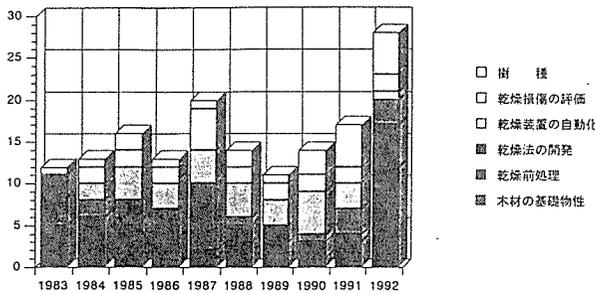


図 3

発表テーマの分布

第 4 2 回日本木材学会大会 (平成 4 年 4 月、名古屋)

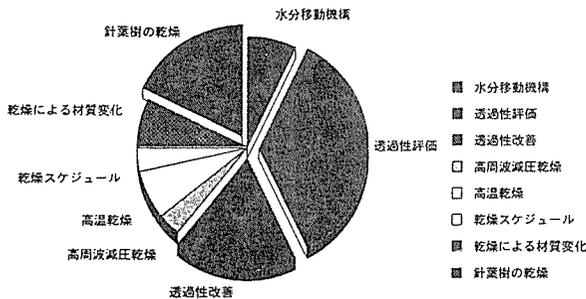


図 2 から直感的に言えることは、乾燥装置の自動化や乾燥スケジュール等乾燥材の材質や透過性評価等基礎的なテーマに大きく分けられます。全体としては年毎にバラツキがあり、一〇年間の傾向を細かく言うことはできませんが、

図 2 から直感的に言えることは、乾燥装置の自動化や乾燥スケジュール等乾燥材の材質や透過性評価等基礎的なテーマに大きく分けられます。全体としては年毎にバラツキがあり、一〇年間の傾向を細かく言うことはできませんが、

乾燥装置の自動化や乾燥スケジュール等乾燥材の材質や透過性評価等基礎的なテーマに大きく分けられます。全体としては年毎にバラツキがあり、一〇年間の傾向を細かく言うことはできませんが、

乾燥装置の自動化や乾燥スケジュール等乾燥材の材質や透過性評価等基礎的なテーマに大きく分けられます。全体としては年毎にバラツキがあり、一〇年間の傾向を細かく言うことはできませんが、

乾燥装置の自動化や乾燥スケジュール等乾燥材の材質や透過性評価等基礎的なテーマに大きく分けられます。全体としては年毎にバラツキがあり、一〇年間の傾向を細かく言うことはできませんが、

した。ところが、性能的には申し分ないものでしたが、蒸気乾燥機よりも高価なものになってしまい、奇しくも、木材乾燥の専門家の配慮とこの除湿乾燥の長所とが相入れないことを明らかにしてしまっていました。現在でも上手に利用している所があるようですが、一九八〇年代の終わりにはほとんど話題にならなくなったのが実情でしょう。

建築用材の乾燥ニーズが高まった時期に導入された除湿乾燥は、木材乾燥に縁

のなかった製材業の方々に乾燥の必要性和乾燥とは何かを広く啓蒙した点で木材工業に非常に大きな貢献をしたと思います。当時、「乾燥材」とは「乾燥機に入ったことのある材」と酷評される程、建築用材の分野では乾燥そのものが軽視されていましたが、一九八〇年代終わりに足掛かりを作ったのが、この除湿乾燥と言

三、過去一〇年間の学会大会発表の動向

これまで乾燥方法を中心にして、木材乾燥の大まかな変遷を見てきましたが、ここで木材学会大会での口頭発表のテーマの移り変わりをもう少し詳しく見てみたいと思います。大学を中心とした研究者の興味は、必ずしも木材工業の悩みや指向するものと一致していないかもしれ

この二、三年で発表件数が急増していることでしょう。平成四年度の乾燥部門の発表件数は一二件でしたので、この急増は、他部門で乾燥に関連する発表が増加したことを示しています。この増加分をもう少し詳しく見てみますと、スギ、カラマツ等主伐期を迎えた国産針葉樹材の材質に関するものが大部分でした。

乾燥プロバーナ発表件数は毎年五件前後と安定していますが、その内容は一九七〇年代とはかなり違っているようです。例えば、高周波減圧乾燥に関する研究についてみれば、一九八〇年代半ばまでは樹種や材種に対する最適乾燥条件の開発や蒸気乾燥との比較が中心でした。ところが特にこの五年間は、高周波減圧乾燥のランニングコストを如何にして下げるかといったより現実的な研究と、高周波減圧乾燥中木材の中では何が起きているのかを材内の圧力や応力などから明らかにしようとするより物性的な研究との二つに分かれてきました。

利用が如何に重要な課題であるかが判ります。また、透過性に関する研究がこれほど多かった年はありませんし、透過性の改善をこれほど多くの研究者が取り上げた時代もなかったと思います。乾燥関連の研究として透過性を挙げたのには、私の主観が大いに入っていますが、それにしても多数の研究発表があったものです。

これまで、同じ木材を扱っても、物性・組織・構造・乾燥・化学加工のそれぞれの部門で主に発表してきた人達には、何とも言えぬ色合いというか匂いというかがあり、なかなか同じ土俵に上がって議論することはありませんでした。また、あったとしても、議論が擦れ違っていたようです。ところが、この三年間ほどの発表を見てみると、これまで以上にそれぞれの分野で共通点が出てきたように思われます。平成四年一〇月に徳島で開催された「第22回木材の化学加工研究会シンポジウム」で、透過性改善に関して発表する機会を与えていただきました。乾燥分野で行なってきたことの発表でしたが、化学加工分野の方々にもある程度興味を持っていただけたのではないかと自分ながらほっと胸を撫で下ろしているところです。

四、木材の透過性改善

先にも触れましたが、木材の透過性改善に対する興味は各分野で高まっています。透過性改善の試みは古く、主には水中貯木等での微生物による木材組織の浸

食、さらには針葉樹仮道管の壁孔部分の成分的特徴を利用した酵素による壁孔破壊等が試みられました。化学的な溶解も含めて処理に長期間を要し、未だ実用化には至っていません。一九八〇年代には、透過性評価の研究は数人の研究者が独自の方法で進め、一方で広葉樹丸太の直接加熱処理により透過性が改善されるとの報告がありました。研究している本人以外は全く興味を持たなかったようでした。ところが、スギ、カラマツの有効利用の一環として透過性改善が再び注目されるようになったのがこの数年間で。例えば、スギの柔軟過ぎる材質を何とかしたい、初期含水率が極端に高く乾燥が難しいスギ黒芯材を何とかして効率よく乾燥したい等、全く違う発想から透過性改善が研究テーマとして取り上げられました。以前の理念的あるいは可能性を追求した透過性改善の研究と異なり、今回の一連の研究には、目前の課題であるスギ、カラマツを具体的対象として、実用化を目指す切実さを感じられます。

透過性を改善する試みとして、熱処理による方法および横圧縮による方法が注目されています。いずれも処理時間が短いところに実用化の芽がありそうです。木材工業を中心とした「スーパーウッド」プロジェクトでも同様な試みがなされているはずですが、残念ながらその成果は公表されていません。いずれにせよ、完成度の非常に高い木材に、細胞レベルの穴を開けようというのですから、その技

術開発、ましてや実用化は容易ではありません。しかし、どんな方法であれ木材の透過性を改善する方法が開発されれば、木材の利用用途が新たに広がる可能性がありましよう。さらに、これら技術開発を通してスギ、カラマツの有効利用が実現することを切に望んでいます。

五、おわりに

おがましくも、木材乾燥の変遷について独断と偏見を持って書かせていただきました。書き進めていくうちに、これまで自分なりに独自の発想で研究を行なってきたつもりでしたが、これらの仕事も結局は大きな時代の流れの中の必然の一つであったことに気が付き、なんとか流れに乗り遅れなかった安堵感と同時に、お釈迦さまの手のひらの上で踊っているような矮小感をも感じました。また、これまでの先人もふくめ、私達の木材乾燥研究は本当に正鶴を射たものであったかとの疑問も感じます。一つは、他の研究分野の方々との共通の話題を持ちながら研究をすすめてきたか？であり、他は、木材乾燥を職人芸的に捉え過ぎ、木材に限らず他分野の研究者と対等に議論できる後進を育てられなかったのでは？との心配です。ウイーンで開かれた前記の国際学会での部門分けを全て書き出しますと、水分移動・乾燥応力のモデル化、含水率等の測定技術、乾燥過程の物理学、乾燥過程の粘弾性、木材乾燥の応用および乾燥装置の制御となります。「木材乾燥の応用」部門の発表件数が確かに多く、

木材乾燥が実学であることを物語っていますが、一方で本格的な力学の問題として木材乾燥を表現しようとした発表が幾つかありました。日本での研究を内容を加味して前記部門に振り分けますと、一部に集中しそうです。一九六〇年代以降の日本の乾燥研究には、「水分移動・乾燥応力のモデル化」等がスッポリ抜けているような気がしてなりません。本文を纏めながら、教育システムも含め、大きな偏りを感じた次第です。

この原稿を纏めるに当たり、名古屋大学名誉教授の寺沢真氏に時代考証とでもいってべき多くの助言を頂きました。ここに心から感謝致します。

5 木材乾燥技術開発の方向 信田 聡

ウッド・プロ NO.17, 1992

木材乾燥技術開発の方向性

木材乾燥技術の方向性を驚見が指摘している『三つの省』に分類する方法を借りて展望してみる。すなわち省資源化、省力化、省エネルギー化の三つの方向である。図9に、これらの方向と各乾燥技術との関係を示す。

(一) 省資源化を向く乾燥技術
省資源化とは、木材資源を有効に利用することを意味しており、乾燥においては、木材の狂い、割れ、変色、腐朽などの損傷による歩留まり低下を防ぐための乾燥技術開発がそのテリトリーとなる。
損傷軽減のためには従来より熱気乾燥における適性乾燥スケジュールの開発による対応がなされてきた。

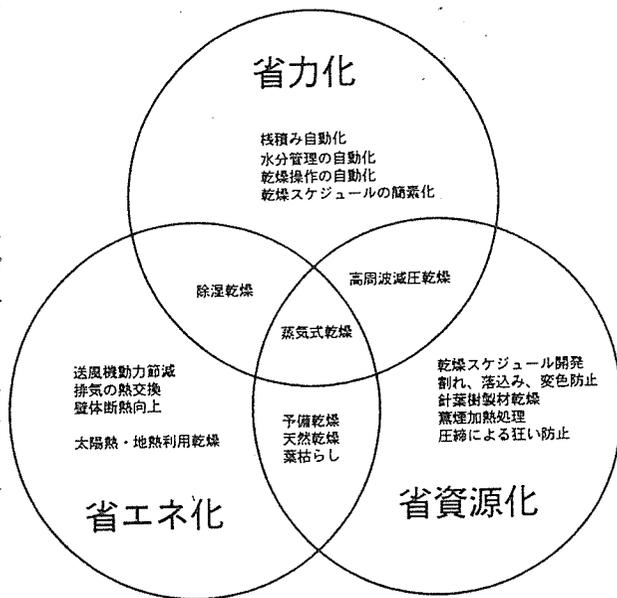


図9 木材乾燥技術の方向性⁹⁾

最近ではホワイトオーク、パラゴムノキ、アルダー、スギ、ヒノキ正角などの最適なスケジュール開発が行われている。

木材の損傷は、不適切な乾燥条件が与えられたことにより生じるが、その原因は製材含水率のばらつき、装置性能のばらつきなどに影響される。したがって材料の含水率状態を均一に保つ努力、例えば予備乾燥お

よび材質・含水率による仕訳などにより製材含水率を乾燥前に揃えておくこと、また、均一な乾燥条件を与えるために温度・湿度・風速が均一に保たれる装置構造の研究が課題となる。とくに除湿乾燥は乾燥時間一般の熱気乾燥よりも長くなるため、同じ材積の乾燥材を供給するためには室容量を大きくする必要があり、一般には熱気乾燥装置よりも室容量が大きなタイプが多い。したがって、温度、湿度、風の循環の均一性に關して装置構造の面での技術開発が必要に思われる。また、装置内での棧積み材の設置方法によつては、風の通路が遮断される恐れがあり、材の挿入方法の改善が必要に思われる。

木材の損傷に關して、落込みの現象解明・防止法、乾燥応力除去、狂い抑制方法の研究などがあり、これ

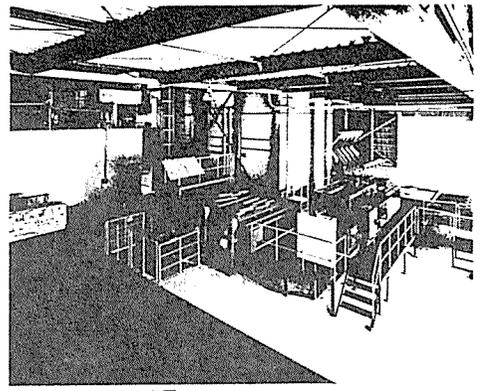


写真7 自動棧積み装置

らも省資源化に寄与するものである。
 アコースティックエミッションを利用して割れを予知し乾燥制御へ適用すること、歩留まり向上のための製材方法を含めた乾燥システム開発断面の大きな材の乾燥に適した高周波減圧乾燥、円柱材など不定形な材の乾燥に適したマイクロ波乾燥などの研究もあるが、これらも省資源化の方向を向いている。

さらに乾燥前処理として省資源化に寄与するものとして針葉樹の葉枯らしによる材質安定化・予備乾燥効果を期待する技術や、ケヤキ丸太の薫煙加熱処理による生長心力除去に

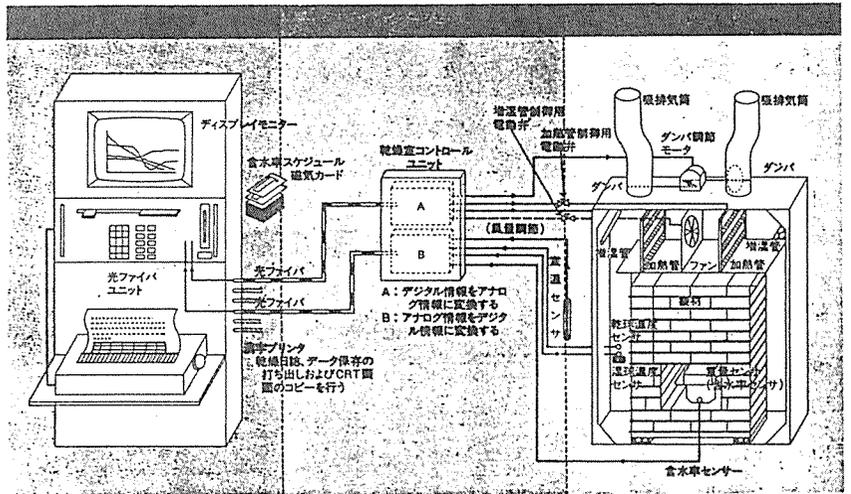


図10 乾燥操作の自動制御システム例

スト低減などに向けた研究の方向で、コンピュータ、機械化、自動制御等との関連が強い。

乾燥前の製材の棧積みは、乾燥技術の基本であり、材木の配列が揃っていることがポイントであるが、従来、手作業で行われることが多い。したがって、時間と労働力を必要とする作業である。これを自動化する試みは各所で行われている(写真7)。自動棧積みは技術的には広葉樹材などの長さ幅がまちまちである乱尺材を対象として、棧積み的一定矩形面積内に効率良く自動棧積みするシステムが最終目標であろう。そのための補助的器具として、材木パレット(材木を一定間隔に並べた一枚の枠)の利用も有効であろう(写真

8)。並べた材の上にパレットを置くだけで揃った材木列ができる(写真9)。

乾燥操作の自動化は、現場の作業者が乾燥室の管理のみに専従できない現場の現状を考えれば重要なことである。いわゆる片手間で乾燥室を操作しなければならぬ状況がある。したがって、自動化により乾燥条件を昼夜の別なくリアルタイムで変更できるため乾燥時間を短縮し乾燥コストを低減する効果があり、作業者の労働条件改善にも効果がある。写真10は乾燥室内のコントロール材の含水率を連続的にモニターするロードセル式含水率センサーで、図10のようなシステムで乾燥操作を自動制御する。

より、製材時の曲がりを減少させ歩留まり向上に寄与する技術、また物理的、化学的、生物的に難乾燥性木材の乾燥性を改善する試みもある。

(二) 省力化を向く乾燥技術

乾燥操作などの自動化、棧積み作業の自動化、水分管理の自動化など木材工業における労働条件改善、生産性の向上、安定した品質確保、コ

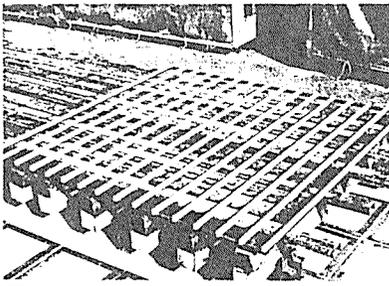


写真8 材木パレット (北海道立林産試験場)

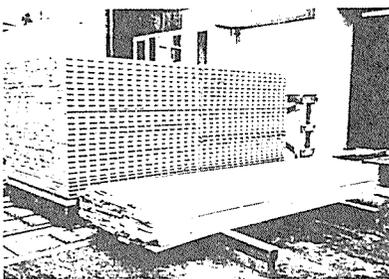


写真9 材木パレットを使用した棧積み台車 (北海道立林産試験場)

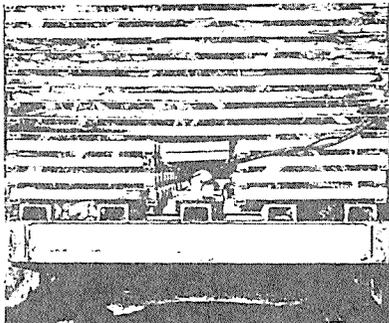


写真10 乾燥操作の自動化システム

表1 本邦産樹種の生材含水率 (矢沢)^{a)}

樹種	含水率 (%)		樹種	含水率 (%)	
	心材	辺材		心材	辺材
スギ	55.0	159.2	セシ	77.1	101.5
ヒノキ	33.5	153.3	ミズナラ	71.5	78.9
アカマツ	37.4	145.0	コナラ	67.2	74.6
サカブシ	38.3	154.5	ヤマナラシ	94.5	103.7
ノミ	56.9	228.9	シラカバ	89.7	95.0
エゾマツ	89.4	162.6	マカバ	65.2	76.9
トマツ	76.1	211.9	ミズバ	54.7	60.7
エゾマツ	40.6	169.1	ホノキ	52.2	93.0
			カヅラ	76.0	122.7
			シナラ	108.3	91.9
			トチノキ	166.1	123.2

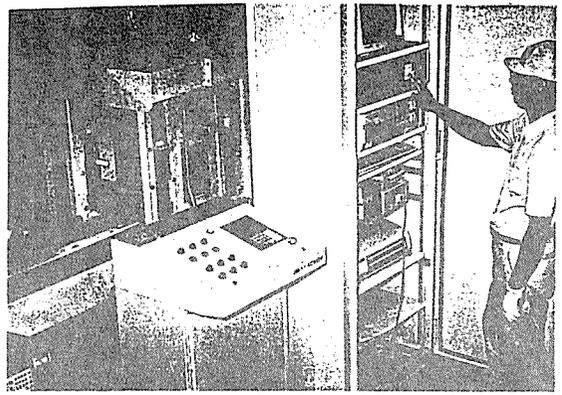


写真11 製材用連続水分測定装置 (北海道立林産試験場)

表2 乾燥法の長所・短所

	長所	短所	最大の特徴
天然乾燥	乾燥コストが安い 操作が簡単 低湿であるため一般に品質はよい	乾燥時間が長い 割れ変色ができる場合もある 乾燥時間は天候に左右される 土地が必要である 乾燥条件の制御はできない	乾燥コストが安い
太陽熱乾燥	乾燥コストが安い 操作が簡単 低湿乾燥であるため一般に品質はよい 設備費が安い	乾燥時間が長い 湿度湿度など場合に乾燥条件を制御できない 乾燥時間は天候に左右される	乾燥コストが安い
除湿乾燥	乾燥コストは安い 操作が簡単 低湿乾燥であるため品質はよい 少しの操作ミスなら大害に至らない 設備費が安い ボイラが不要	乾燥時間が長い 短かな乾燥条件の設定はできない 寒冷地では断熱断熱に考慮が必要 補助加熱が必要になることが多い 除湿機ラジエーターの耐久性が短い 除湿湿度が低くなく除湿能力が低下する	乾燥コストが安い
蒸気式乾燥	十分な乾燥条件の制御ができる 操作技術のノウハウの蓄積が多い 広範囲の樹材種に対応できる 熱源としての燃料の選択の幅がある 脱脂、調湿処理ができる	乾燥技術を要する 設備費は比較的高い ボイラ設備を必要とする	広範囲の樹材種の乾燥 (汎用性)
圧縮乾燥	乾燥速度が速い 操作自体は自動化されている 低湿乾燥であるため品質はよい 厚材の乾燥に効果がある べた積みのため材の圧縮操作がしやすい	設備費、メンテナンスが高い 乾燥コストが高い 乾燥技術の蓄積は蒸気乾燥に比べ少なく適性条件を見つけるため時間を要する 乾燥むらが比較的大さい	厚材乾燥に向く 急速乾燥
マイクロ波乾燥	形の不定なもの、厚材の乾燥に向く 乾燥速度が速い	乾燥コストが高い 実用的な製材乾燥用装置としては確立していない 設備費が高い 使用周波数に電波法の規制がある	急速乾燥 複雑な形状、厚材の乾燥
高温乾燥	乾燥速度が速い 乾燥コストは蒸気式の通常乾燥よりも安い 針葉樹構造材の乾燥が可能	変色、割れが出やすい 乾燥型体の断熱、耐熱構造が必要	急速乾燥
熱板乾燥	乾燥速度が速い 強い抑制効果がある 薄い材に適する	割れが出やすい 材種が限定される 製材用装置としては確立していない 処理材種が少ない	強い抑制 急速乾燥
(選)赤外線乾燥	薄い材に適する 熱放射による非接触加熱 選赤外線の場合には加熱効率がよい可能性もある	表面乾燥であるため厚材には適さない 製材用装置としては確立していない	薄材の乾燥
ブリードライヤ	天然乾燥代替の意味、効果がある	乾燥むらは避けられない	予備乾燥
昇温加熱処理	製材時のひき曲がりや低減し歩留まりが向上 乾燥中の乾燥性が改善される	乾燥技術が不十分 あくまで乾燥前処理である	歩留まり向上

ただ乾燥操作の自動化のみが先行しても良い乾燥材は出てこない。すなわちその前段階における乾燥状態をモニタする試験材の選別方法が自動制御の命運を握る。したがって乾燥操作の自動化の課題としては付帯技術を含めた開発が重要で、

①写真11に示すような製材含水率連続測定装置などが導入され被乾燥材全数の含水率がオンラインで予め判り試験材が自動的に選択できること、②乾燥室内の温度・湿度むらが少ないこと、③含水率、割れなどの

情報がフィードバックされながら乾燥の制御できること、などのバックアップが重要となる。

また合理的なスケジュールの簡素化なども手間を省くという意味では省力化の方向を向いている。

(三)省エネルギー化を向く乾燥技術

乾燥における省エネルギー化には、除湿乾燥のようにヒートポンプを用いて熱の効率的な利用を考えた省エネタイプの乾燥方法の開発や、既設設備におけるエネルギー消費の節約などが含まれる。例えば太陽熱を高く

収率で回収しこれを熱源とした乾燥設備の開発、地熱をヒートパイプで回収して熱源とする乾燥、インバータを使用して乾燥室内の風速を制御し送風機動力消費の節減を行うこと、乾燥室から出る高温の排気の熱交換を行いリサイクルする研究などがそれにあたる。さらに加工工場における廢熱の乾燥熱源としての再利用、乾燥施設の断熱構造についても検討の余地がある。100℃以上の高温乾燥は、乾燥時間の短縮により乾燥時間が著しく短縮されるためトータルエネルギー消費が削減され用途によつては効果的である。

今後望まれる技術開発

乾燥の最近の課題は木造住宅部材の乾燥、あるいは大断面製材の乾燥すなわちスギ・ヒノキ・カラマツ・エゾ・トドマツ、外材を中心とする柱材など比較的断面寸法の大きな針葉樹構造材の乾燥である。検討課題は、①断面が厚い材の乾燥に関するスケジュールとその推定方法、②スギ黒心などの乾燥が遅い材に対する対策、③厚い材の水分測定に用いる水分計の精度向上と水分管理、④心持ち材乾燥の割れ抑制について、⑤住宅部材の要求性能把握と適正含水

第2章 乾燥スケジュール等技術一般

1 スギ正角の乾燥スケジュールについて (I)

東京大学農学部

信田 聡

【はじめに】スギ心持ち正角の熱気乾燥スケジュールについて実験室規模の乾燥試験を行い、乾燥速度、材の含水率分布、損傷などを考慮しながら検討した。

【試験方法】試験材は大分県日田産のスギ正角を用いた。乾燥試験には $10.5 \times 10.5 \times 25$ cmの正角サンプルを用い、両木口面を木口割れ防止剤と家庭用ラップフィルムでシールして供試した。恒温恒湿装置と重量センサ(ロードセル)およびパソコンからなるシステムを組み、試験材重量変化に応じて温度湿度の制御を行い乾燥した。中温スケジュールを中心として適用し、乾燥中の乾燥速度(蒸発速度)、表面割れ観察および割裂法による木口面内の水分分布を測定しながら、適正スケジュールの模索を行った。

【結果・考察】図1は損傷が生じなかった乾燥経過の例である。蒸発速度は、初期に $40 \text{ g/m}^2\text{h}$ (含水率 $0.38\%/h$)、後期には約 $15 \text{ g/m}^2\text{h}$ (含水率 $0.14\%/h$)であった。この場合の初期含水率分布は図2で、心材部が辺材部よりも低い材であった。一方図3のように心材部が高い材では、図1と

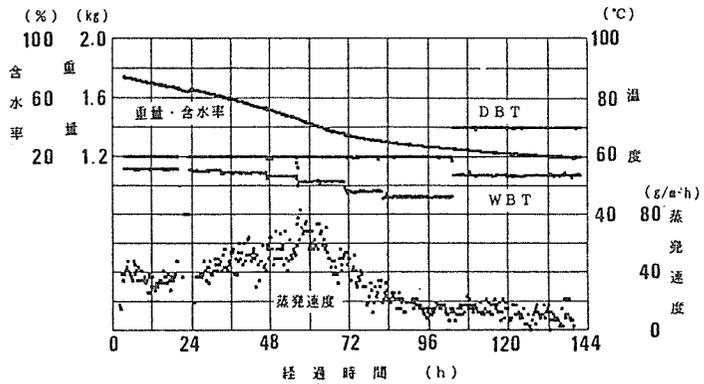


図1 スギ正角サンプル乾燥経過図

同様なスケジュールを適用すると割れが乾燥中期で生じた。その時点の含水率分布を図4に示す。すなわち初期に辺材部の乾燥が速やかに進んだ時点で、図2のような材では水分傾斜がそれほど生じないが、図3のような心材含水率が高い材では割れの危険が増大する。この時点が図1に示す蒸発速度が急に低下する時点に対応するものと考えられる。つまり、蒸発速度によるスケジュールを考えるとこの時点の検出が重要となる。この推定は辺材割合と辺材含水率、与える蒸発速度から推定できる。それ以後では表層部の蒸発を抑制するためEMC変化は押え、かつ材内水分移動を促進するため、昇温が必要となる。

黒心の場合の、この時点以後の乾燥条件について現在検討中である。

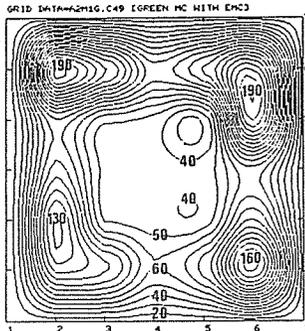


図2 スギ正角木口面内初期含水率分布(心材部低い)

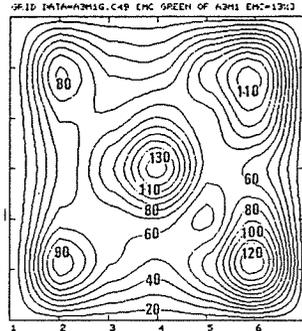


図3 スギ正角木口面内初期含水率分布(心材部高い)

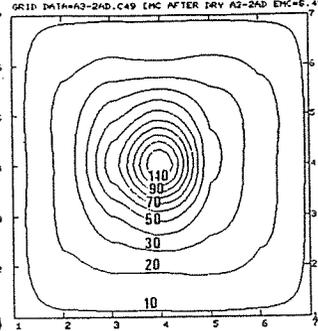


図4 スギ正角木口面内含水率分布(割れ発生時点)

スギ正角の乾燥スケジュール (II)

— 乾燥速度制御による中温スケジュール開発 —

(東大農) ○信田 聡 (住友金属工業(株) プラント部) 清水 大 吉田友志

【目的】 前報の結果を参考にDBTを80°Cとし、乾燥中の乾燥速度を2段階に設定して、その変更時点に注目して乾燥制御試験を行いスギ正角の熱気乾燥スケジュールを模索した。

【試験方法】 供試材は大分県日田産のスギ心持ち正角の生材である。サイズは、10.5cm × 10.5cm × 25cm。両木口面の乾燥抑制のため木口割れ防止剤と家庭用塩化ビニルフィルムでシールして供試した。実験室的な乾燥制御システム(恒温恒湿装置+重量センサー+パソコン)を用いて、重量変化から乾燥速度をモニターし、乾燥速度(初期・中期40g/m²h、中期・後期20g/m²h)による温度湿度制御を行い乾燥した。また乾燥速度変更時点(含水率)を変えて行った。温度湿度経過より含水率スケジュールを求めた。

【結果・考察】 (1)含水率: 供試材の平均初期含水率は概ね50%~70%の間に分布した。木口面内含水率分布は2つのタイプに分かれた。1つは図1に示すように辺材部とpith付近が高い含水率を示すタイプ、もう1つは図2に示す辺材部のみが高いタイプである。それぞれに対応する乾燥後の含水率分布の例を図3、図4に示す。いずれも材中心付近が高い含水率として残る。いずれも割れなし。

(2)乾燥スケジュール: 表1の含水率スケジュールは含水率状態が図1のものを表2の乾燥速度スケジュールを適用した場合の乾燥経過から求めた例である。すなわち乾燥中期(含水率45%以下)以降では図1のような辺材部が少なく、心材部含水率が高い材の乾燥速度は遅くなるため、一定乾燥速度を得るため湿度は低く制御されたことを表している。ここでは示さなかったが図2の材では相対的に中期の乾燥速度は良好なため、含水率45%以下のWBDは表1よりも3度ほど小さかった。このように、同一の乾燥速度スケジュール(表2)を与えても、材内の含水率分布により異なる含水率スケジュールができる。したがってスギについて含水率スケジュールを1つのみ与えることは難しい。心材部含水率が高いか低いかを、例えば心材色で判断(濃い色は含水率も高いことが多い)して、スケジュールを使い分ける必要があるかもしれない。

GRID DATA=B1N18D.C25 LUM=41.2K INITIAL MC OF B12

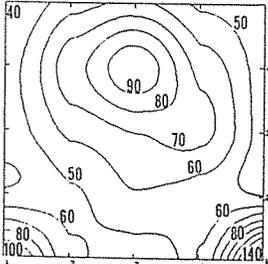


図1 初期含水率分布A

GRID DATA=B1N18D.C25 LUM=38.8K INITIAL MC OF B12

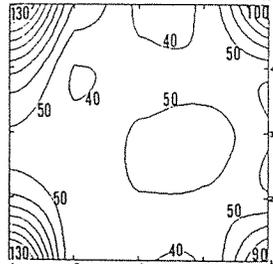


図2 初期含水率分布B

GRID DATA=B2-SND.C25 LUM=18.4K CP=43K VM=40 VB=20

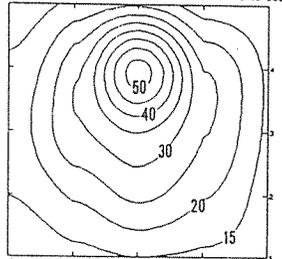


図3 乾燥後含水率分布A

GRID DATA=B1-SND.C25 LUM=34.4K LUM=24.1K EMC=11.9K

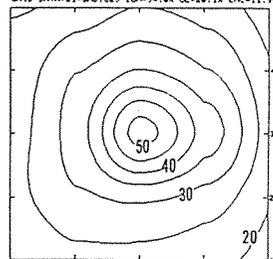


図4 乾燥後含水率分布B

表1 スギ正角の含水率スケジュール

含水率 (%)	DBT (°C)	WBT (°C)	WBD (°C)	RH (%)
生~45	80	77	3	88
45~	80	74	6	77

乾燥時間: 65.4%→25.1%まで193時間。
割れなし。20%まで乾燥続行後も割れなし。

表2 スギ正角の乾燥速度スケジュール

含水率 (%)	乾燥速度 (g/m ² h)
生~45	40
45~	20(15)

DBT=80°C、()は慎重な乾燥。

2 スギ心持ち無背割り材の乾燥

— 初期の熱処理条件と乾燥スケジュールの検討 —

森林総研 ○齋藤 周逸、久田卓興

【はじめに】 スギ心持ち柱材を背割り加工なしで乾燥するための乾燥スケジュールを求める目的で、乾燥の初期に熱処理する方法を検討した。

【試験方法】 試験材は、背割り無し心持ちスギ材（断面寸法113mm角、材長80cm）である。両木口コーティングしたものを1回の試験に12本用いた。その内の1本で乾燥経過を調べ、2本で乾燥途中の含水率分布および表面ひずみの状態を調べた。また、実大試験として、同じ断面で材長3mの材100本をIF型乾燥装置を用いて試験した。

【結果】 実験結果を図1に示す。各種の乾燥スケジュールを検討した結果、乾燥初期に高温高湿度（DBT 85℃、WBT 85℃）で処理し、その後材温を下げて温湿度の変化を小さくすることが割れの防止に有効であると考えられた。この方法により、約半数が割れなく乾燥できた。割れが生じたのはほとんどがコントロール材に比べ初期含水率が高い材であった。この点に初期含水率のバラツキが大きいスギ材乾燥の難しさがあると思われる。

しかし、実際の現場では初期含水率による区分けを導入するなどの方法で含水率をある程度の幅で管理できれば、割れない材で仕上げる確率は高くなると考えられる。また、材表面層部を切断して瞬間回復ひずみを測定すると、図2のように生材状態で表面層部に圧縮応力があるが、熱処理により僅かに引っ張りに転じ、以後乾燥の進行に伴い引っ張り応力が増大し最大値に達した後減少する傾向がみられる。乾燥初期の高温高湿度処理により材中央部に小さな割れが発生するが、これは表面層部の圧縮ひずみが熱処理によって回復するためと考えられる。このため、以後の乾燥では材の半径方向への収縮が容易になり、表面割れの発生が抑制されると考えられる。

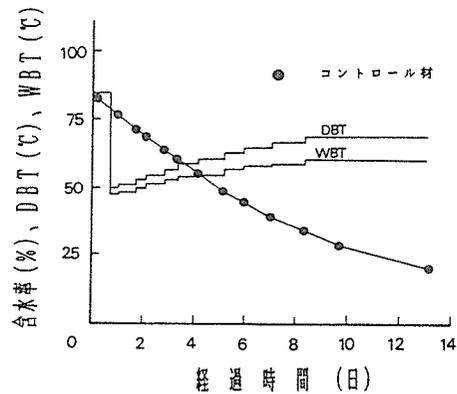


図1. スギ無背割り材の乾燥経過

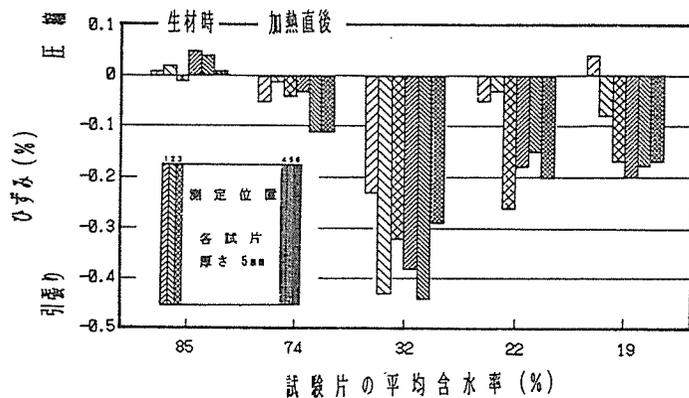


図2. 含水率変化に伴う表面層付近の歪の変化

3 スギ材の適正乾燥法 I

09210

富山林技セ ○橋本 彰、茅原正毅
森林総研 久田卓興

【はじめに】 スギの適正乾燥条件について、異なる乾燥条件下で直接検討したデータは少ない。一方、タテヤマスギは富山県の県木であり主要造林木であるが、銘柄化政策等により、効率的乾燥法の確立が要望されている。そこで本研究では、特にタテヤマスギに対して4種類の温度設定条件で試験し、比較検討した。

【実験方法】 タテヤマスギ心持ち柱材(12.0×12.0×380 cm)16本から、1本につき長さ85cmの試験材を4本採取した。全試験材の平均初期含水率は74.2%(38.0~131.6%)、平均全乾比重は0.38であった。1条件あたりの供試本数は16本(背割り無、有各8本)とし、操作は表1に示す4種類の温度設定で連続運転を行った。乾燥初期の平衡含水率は、4条件とも13.8~14.0%に設定し、また仕上がり含水率は15%を目標とした。乾燥終了後、断面寸法、背割り幅、表面含水率、水分分布、および材面、木口割れ長さについて測定した。

【結果】 試験終了後の乾燥特性値を表1に示す。これより、乾燥速度は“Ⅱ>Ⅰ>Ⅲ>除湿”、総割れ長さは“Ⅲ<Ⅱ<Ⅰ<除湿”、また収縮率は“除湿<Ⅲ<Ⅰ<Ⅱ”、背割り幅は“Ⅰ<除湿<Ⅱ<Ⅲ”となっている。ここで特徴的に言えることは、Ⅱの乾燥速度が著しく大きいことである。また、割れ、収縮率、背割り幅等についても、他の条件と比較して大きな差異はみられない。以上のことからタテヤマスギの乾燥に対して、Ⅱのような高温条件を適用すれば時間短縮の面から非常に有利であると考えられる。なお、乾燥経過は図1に示すとおりである。

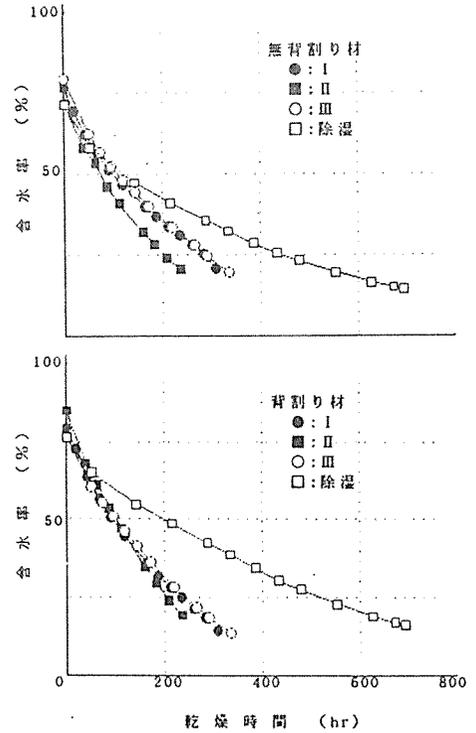


図1 タテヤマスギの乾燥経過

表1 乾燥条件および試験終了時の乾燥特性値

乾燥条件	蒸気Ⅰ		蒸気Ⅱ		蒸気Ⅲ		除湿	
初期乾球温度(°C)	60		85		55		35	
初期温度差(°C)	4		3		4		4	
終期乾球温度(°C)	70		90		80		45	
終期温度差(°C)	16		12		14		13.2	
測定項目\背割り	無	有	無	有	無	有	無	有
初期含水率(%)	70.8	75.1	70.3	79.6	75.9	73.9	68.7	73.6
終期含水率(%)	19.4	14.4	19.3	18.1	19.3	13.9	14.6	15.2
所要乾燥時間(hr)	307	307	231	231	335	335	695	695
乾燥速度(%/hr)	0.167	0.198	0.221	0.266	0.169	0.179	0.078	0.084
総割れ長さ(cm)	722 ¹⁾		492		427		753	
収縮率(%)	1.83	3.32	1.98	3.12	1.84	3.35	1.61	2.70
収縮率補正值 ³⁾ (%)	2.0	3.3	2.2	3.4	1.9	3.0	1.3	2.8
背割り幅(mm)	-		-		-		-	
	9.9		10.6		11.3		10.1	

- 1) 最終湿度にやや設定異常あり
2) 背割り材については背割り面を除く
3) 含水率15%時に換算

4 心持ち柱材の乾燥スケジュール

日本木材乾燥施設協会研究会資料

熊本県林業研究指導所 東 正彦

1. 目的

我国で利用される木造建築物用構造材は、断面が大きく、更に戦後人工造林された針葉樹（スギ、ヒノキ等）から採材された製材品には心持ち材が多いため、寸法変化の少ない乾燥処理材を生産することは非常に困難である。

そこで、林野庁の大型プロジェクト推進事業の「国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化」の一環として、品質がよく、生産効率のよい針葉樹心持ち柱材を生産することが可能な人工乾燥技術の確立を目的に、13道県の研究機関で調査・研究に取り組んだ。

2. 試験方法等

1) 供試材

供試材は、スギ、ヒノキ、カラマツ、エゾマツ、トドマツであった。

供試材の寸法は、主に105mm角または120mm角で、材長3mで、品等は特等または一等であった。

2) 供試本数

1試験当たり10本（この他に水分分布測定用2本）

3) 乾燥方法

除湿乾燥または熱気乾燥

4) 測定項目

含水率、水分分布、収縮率、割れ、曲がり、背割り幅

5) 乾燥仕上げ状態

含水率は、原則として熱気乾燥で15%、除湿乾燥では20%とした。

割れは、高品質の乾燥処理材を目的にする場合には、その最長の割れが材長の5%以下、乾燥効率を目的にする場合には、20%以下とした。

3. 試験結果

試験結果は、別表の通りであった。

試験数は、スギで27、ヒノキで9、カラマツとエゾマツとトドマツとで各々2例ずつで、合計42例であった。

樹種と乾燥法と背割りとの組み合わせで試験数を見れば、スギでは除湿乾燥で背割り無しが6例、除湿乾燥で背割りありが7例、蒸気乾燥で背割り無

しが7例、蒸気乾燥で背割りありが6例、地熱水利用乾燥で背割り処理無しのみが1例あった。ヒノキでは全て背割り処理をされていて、除湿乾燥で1例、蒸気乾燥で2例あった。エゾマツ、トドマツでは蒸気乾燥で背割り無しが2例ずつあり、カラマツでは蒸気乾燥で背割りありが2例あった。

仕上げ含水率を見れば、除湿乾燥で含水率を20%に低下させることはやや困難であった。また、蒸気式乾燥でも背割り無しでは含水率を15%に低下させることはやや困難な場合もあった。

樹種別乾燥法別の割れの発生状況から、最長の割れが材長の5%以下に発生が抑えられる高品質の乾燥処理材を目的にする場合に、スギでは除湿乾燥で背割り無しでは例が無く（含水率が低下していないため）、背割りありでは低温で比較的緩やかに乾燥した場合に、また、蒸気乾燥では背割り無しでは高温で乾燥した場合に、背割りありでは全試験で達成された。更にヒノキでは、全供試材に背割り処理がを施されていて蒸気乾燥の場合に、エゾマツ（背割り無し）とカラマツ（背割りあり）とでは、高温での蒸気乾燥の場合に達成することができた。トドマツ（背割り無し）の場合には達成することができなかった。

乾燥効率を目的にする場合に、最長の割れを20%以下と抑え、目標含水率を達成できたと考えられるものは、試験例の多いスギでは、蒸気乾燥で背割り処理し、高温で乾燥した場合に達成することができた。

乾燥速度は、いずれの乾燥においても乾燥温度が高いほど大きい傾向を示した。

収縮率は、スギの蒸気乾燥の場合に乾燥温度が高いほど大きい傾向を示し、乾燥温度が低い除湿乾燥やヒノキの蒸気乾燥では明瞭な傾向は示さなかった。

曲がりは、蒸気乾燥に比べ除湿乾燥に少ない傾向を示した。

4. 考察

割れの発生を抑制するためには、被乾燥処理材に背割り処理を施すことが、最も簡単で効率的である。

乾燥法と背割りの組み合わせで4通りの乾燥試験を行ったスギの乾燥では、高温での蒸気乾燥が効率的である。

樹種別乾燥方式別の乾燥試験結果(1)

番号	樹種	断面1	断面2	材長	等級	本数	年輪幅	心材率	比重	初期MC	仕上MC	乾燥法	運転法	制御法	積木間隔	荷重	背割	割止剤
		mm	mm	mm		本	mm	%	%	%	%				cm	kg		
1	エゾマツ	105	105	300	-	10	-	-	-	39.6	14.3	蒸気式	連続	ON-OFF	25	無	無	無
2	"	105	105	300	-	10	-	-	-	35.4	11.3	"	"	"	25	"	"	"
3	トドマツ	105	105	300	-	10	-	-	-	51.0	15.9	"	"	"	25	"	"	"
4	"	105	105	300	-	10	-	-	-	73.1	17.4	"	"	"	25	"	"	"
5	カラマツ	120	120	300	一等	20	5.1	-	0.40	34.9	14.9	"	"	PID	60	1170	有	"
6	"	125	125	300	"	40	2.2	-	0.48	39.5	18.0	除湿式	"	ON-OFF	60	無	無	"
7	スギ	105	105	300	"	10	6.9	67.1	-	80.7	19.6	"	"	"	60	"	"	有
8	"	105	105	300	"	10	7.4	81.4	-	86.4	24.2	"	"	"	60	"	"	"
9	"	120	120	300	"	10	-	-	-	105.1	26.3	"	"	"	60	"	"	無
10	"	120	120	300	"	10	-	-	-	56.3	28.1	"	"	"	60	"	"	"
11	"	105	105	300	"	10	3.9	62.6	-	80.2	31.7	"	"	"	60	"	"	"
12	"	120	120	300	"	10	-	-	-	105.2	32.6	"	"	"	60	"	"	有
13	"	120	120	300	"	10	-	-	-	42.4	17.4	"	"	"	60	"	有	無
14	"	105	105	300	"	10	4.4	65.1	-	56.7	20.9	"	"	"	60	"	"	"
15	"	120	120	300	"	10	-	-	-	104.6	31.0	"	"	"	60	"	"	"
16	"	120	120	300	"	10	-	-	-	79.9	32.4	"	"	PID	90	"	"	有
17	"	120	120	300	特等	10	-	-	-	95.2	34.0	"	"	"	100	"	"	"
18	"	120	120	300	一等	10	-	-	-	88.4	50.2	"	"	"	90	"	"	"
19	"	120	120	300	"	10	-	-	-	91.0	67.2	"	"	"	90	"	"	"
20	"	105	105	250	特等	10	4.7	75.0	0.40	71.4	15.0	蒸気式	"	ON-OFF	60	"	無	無
21	"	105	105	250	"	10	4.7	65.0	0.38	85.5	16.0	"	"	"	60	"	"	"
22	"	105	105	300	一等	11	3.9	82.0	0.39	85.9	17.5	"	"	"	60	"	"	"
23	"	105	105	300	"	11	3.5	79.1	0.41	94.4	18.3	"	"	"	60	"	"	"
24	"	120	120	85	"	8	6.8	91.9	0.38	70.3	19.3	"	"	PID	60	"	"	"
25	"	105	105	300	"	11	4.2	85.4	0.38	103.0	19.7	"	"	ON-OFF	60	"	"	"
26	"	120	120	300	"	20	5.6	-	0.35	84.6	26.2	"	"	PID	60	"	"	"
27	"	105	105	300	-	15	-	-	-	96.3	12.2	"	間欠	ON-OFF	60	"	有	"
28	"	105	105	250	特等	10	3.9	65.0	0.36	73.9	13.2	"	連続	"	60	"	"	"
29	"	105	105	300	-	15	-	-	-	96.6	13.4	"	間欠	"	60	"	"	"
30	"	120	120	300	一等	18	5.8	-	0.35	100.0	16.4	"	連続	PID	60	1170	"	"
31	"	105	105	300	-	15	5.9	22.0	-	106.1	17.7	"	間欠	ON-OFF	60	無	"	"
32	"	120	120	85	一等	8	6.8	91.9	0.38	76.9	18.1	"	連続	PID	60	"	"	"
33	"	105	105	300	"	10	4.4	77.5	-	82.2	20.0	地熱水	"	ON-OFF	100	"	無	"
34	ヒノキ	120	120	300	特等	5	-	-	-	34.4	22.0	除湿式	"	PID	100	"	有	有
35	"	130	130	250	一等	10	3.7	90.6	0.44	39.2	10.7	蒸気式	"	ON-OFF	60	"	"	"
36	"	130	130	250	"	10	3.0	94.1	0.46	38.4	12.5	"	"	"	60	"	"	"
37	"	130	130	250	"	10	3.7	89.2	0.46	39.9	14.4	"	"	"	60	"	"	"
38	"	120	120	300	"	20	3.3	-	0.44	32.7	15.2	"	"	PID	60	1170	"	無
39	"	125	125	300	"	40	2.9	-	0.44	31.5	15.4	"	"	"	60	無	"	"
40	"	133	133	300	"	36	2.8	-	0.44	32.0	16.5	"	"	"	60	"	"	"
41	"	120	120	300	特等	35	-	100.0	-	35.7	16.7	"	間欠	ON-OFF	45	"	"	"
42	"	120	120	300	"	10	-	100.0	-	37.0	16.9	"	"	"	45	"	"	"

注1:表中の“-”は、データなしを表す。

注 2 : 乾燥速度 1 は乾燥時間 (休止時間 (休止時間含まず。)) で算出した。
注 3 : EQ-DI はイココラング時の乾燥温度、EQ-WI は湿球温度、EQ-TI は実働時間 (休止時間含まず。)) で算出した。
注 4 : COND-DI はイココラング時の乾燥温度、COND-WI は湿球温度、COND-TI は処理時間を表す。
注 5 : SCE 初期 MC は乾燥開始時の被乾燥材の含水率、SCE 末期 MC は乾燥停止時の含水率を表す。

樹種別乾燥方式別の乾燥試験結果(2)

番号	段階	乾燥時間	休止時間	実働時間	乾燥速度1 %/時間	乾燥速度2 %/時間	初期温度 °C	末期温度 °C	初期湿度 %	末期湿度 %	風速 m/sec	SCH初期MC %	SCH末期MC %
1	含水率	5	218.0	67.5	150.5	0.12	60	75	2	11	-	35	15
2	"	5	287.5	79.5	208.0	0.18	80	90	2	11	1.2~2.3	35	15
3	"	5	218.0	67.5	150.5	0.16	60	75	2	11	-	35	15
4	"	5	287.5	79.5	208.0	0.19	80	90	2	11	1.2~2.3	35	15
5	"	5	72.0	0	72.0	0.28	95	95	5	30	-	30	10
6	"	4	36.0	0	36.0	0.22	90	90	5	15	-	30	15
7	時間	7	696.0	0	696.0	0.09	33	39	(85)	(65)	1.5	-	-
8	"	7	696.0	0	696.0	0.09	33	39	(85)	(65)	1.5	-	-
9	"	10	648.0	0	648.0	0.12	40	45	(85)	(56)	1.5	-	-
10	"	7	528.0	0	528.0	0.05	35	39	(85)	(55)	1.5~1.2	-	-
11	"	7	504.0	0	504.0	0.10	33	38	(85)	(67)	1.5	-	-
12	"	10	624.0	0	624.0	0.12	40	45	(85)	(62)	1.5	-	-
13	"	7	528.0	0	528.0	0.05	35	39	(85)	(55)	1.5~1.2	-	-
14	"	7	552.0	0	552.0	0.06	34	39	(85)	(60)	1.5	-	-
15	"	10	624.0	0	624.0	0.12	40	45	(85)	(62)	1.5	-	-
16	"	1	504.0	0	504.0	0.09	40	40	3.5	3.5	1.0	32.4	-
17	含水率	4	840.0	0	840.0	0.07	40	40	3.5	6	1.0	70	-
18	時間	1	336.0	0	336.0	0.11	40	40	3.5	3.5	1.0	50.2	-
19	"	1	168.0	0	168.0	0.14	40	40	3.5	3.5	1.0	67.2	-
20	含水率	5	318.0	0	318.0	0.18	60	80	4	15	-	50	15
21	"	5	245.0	0	245.0	0.28	85	95	4	15	-	50	15
22	"	11	524.0	0	524.0	0.13	60	70	4	18	-	65	15
23	"	11	426.0	0	426.0	0.18	75	85	4	18	-	65	15
24	"	7	231.0	0	231.0	0.22	85	90	3	12	-	60	20
25	"	10	405.0	0	405.0	0.21	85	85	4	18	-	65	15
26	"	4	276.0	0	276.0	0.21	95	95	4	10	-	35	15
27	"	4	231.0	131.0	100.0	0.36	100	110	4	20	-	40	15
28	"	5	243.0	0	243.0	0.25	60	65	4	10	-	50	15
29	"	4	200.0	88.0	112.0	0.42	90	95	4	20	-	40	40
30	"	4	115.0	0	115.0	0.30	95	95	4	10	-	35	15
31	"	4	317.0	115.0	202.0	0.28	50	65	4	20	-	40	40
32	"	7	231.0	0	231.0	0.25	85	90	3	12	-	60	20
33	"	3	480.0	14.0	466.0	0.13	40	50	(25)	(10)	4.0	60	24
34	"	3	336.0	0	336.0	0.04	40	45	5	7	1.0	35	-
35	"	7	288.0	0	288.0	0.10	60	75	3.5	14.4	-	27.2	9.7
36	"	7	462.0	0	462.0	0.06	45	60	3.5	15	-	27.9	12.5
37	"	7	571.0	0	571.0	0.04	35	45	3.3	13.5	-	27.8	14.4
38	"	5	72.0	0	72.0	0.28	95	95	5	30	-	30	10
39	"	4	216.0	0	216.0	0.09	60	70	4	15	-	30	15
40	"	4	192.0	0	192.0	0.09	60	70	4	15	-	30	15
41	"	5	-	-	-	-	45	60	3	11	-	31	20
42	"	4	-	-	-	-	30	65	5	20	-	30	15

樹種別乾燥方式別の乾燥試験結果(3)

番号	初蒸温度 °C	初蒸湿度 %	初蒸速度 °C/時間	中間蒸餾	EQ-DI °C	EQ-WI °C	EQ-T 時間	COND-DI °C(%)	COND-WI °C	COND-T 時間	試体数 本	平均未口割 %	最大未口割 %
1	-	-	-	無	-	-	-	80	78	24	5	0.8	116.2
2	-	-	-	"	-	-	-	90	88	9	5	3.0	187.8
3	-	-	-	"	-	-	-	80	78	24	5	6.0	320.6
4	-	-	-	"	-	-	-	90	88	9	5	4.8	229.0
5	95	95	5	"	-	-	-	95	95	8	1	0	0
6	90	90	5	"	-	-	-	-	-	-	5	0	0
7	33	(85)	13	"	-	-	-	-	-	-	5	2.0	857.6
8	33	(85)	13	"	-	-	-	-	-	-	5	0.6	101.0
9	40	(85)	19	"	-	-	-	-	-	-	5	3.4	787.6
10	35	(85)	8	"	-	-	-	-	-	-	3	1.0	499.3
11	33	(85)	22	"	-	-	-	-	-	-	5	5.0	407.8
12	40	(85)	18	"	-	-	-	-	-	-	5	1.2	266.7
13	35	(85)	8	"	-	-	-	-	-	-	3	0.3	20.0
14	34	(85)	18	"	-	-	-	-	-	-	5	1.2	47.4
15	40	(85)	18	"	-	-	-	-	-	-	5	2.6	197.5
16	-	-	-	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	40	36.5	8	"	-	-	-	40	36.5	8	-	-	-
18	-	-	-	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	"	-	-	-	80	77	27	5	1.8	448.0
21	-	-	-	"	-	-	-	80	77	21	5	1.6	835.2
22	70	70	2	-	-	-	-	70	68	24	6	1.5	518.2
23	85	85	2	-	-	-	-	85	83	24	6	0.8	313.7
24	-	-	-	無	-	-	-	-	-	-	3	0.3	223.3
25	90	90	1	-	-	-	-	85	83	24	6	1.3	95.9
26	95	95	5	無	-	-	-	95	95	5	5	1.6	385.0
27	-	-	-	"	-	-	-	-	-	-	6	0.8	17.2
28	-	-	-	"	-	-	-	-	-	-	5	0	0
29	-	-	3	有	-	-	-	-	-	-	6	0.2	3.7
30	95	95	5	無	-	-	-	95	95	5	5	0	0
31	82	-	3	有	-	-	-	-	-	-	8	0.8	43.4
32	-	-	-	無	-	-	-	-	-	-	2	0	0
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	無	-	-	-	45	40	8	-	-	-
35	-	-	-	"	75	70	24	-	-	-	5	0.2	24.4
36	-	-	-	"	60	54	24	-	-	-	5	0.2	3.8
37	-	-	-	"	45	39.5	24	-	-	-	5	0.6	82.6
38	95	95	5	"	-	-	-	95	95	8	1	0	0
39	-	-	-	"	-	-	-	-	-	-	5	0	0
40	-	-	-	"	-	-	-	-	-	-	5	0	0
41	-	-	-	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-

樹種別乾燥方式別の乾燥試験結果(4)

番号	原木		本		平均材面割		平均材面割		最大材面割		最小材面割		収縮率 %	曲がり %
	材	量	材	量	材	量	材	量	材	量	材	量		
1	0	22.4	83.0	608.0	11.0	2.31	1.70							
2	20.0	43.0	89.8	795.0	11.0	2.90	1.40							
3	20.0	57.8	135.1	1222.0	12.0	1.95	1.80							
4	13.0	54.0	96.4	1190.0	10.0	2.01	1.80							
5	0	0	0	0	0	3.43	0.09							
6	0	0	0	0	0	2.35	0.05							
7	0	5.6	418.0	830.0	0	1.38	0.11							
8	0	2.6	151.6	1100.0	0	1.08	0.27							
9	56.0	3.4	892.8	1455.0	0	1.43	0.06							
10	0	2.7	347.3	915.0	0	0.63	0.13							
11	20.0	16.8	304.6	1500.0	30.0	1.17	0.12							
12	0	3.8	353.0	0	0	0.89	0.26							
13	0	1.7	362.0	1030.0	0	1.57	0.10							
14	0	7.2	188.4	720.0	0	2.16	0.90							
15	0	9.4	190.2	0	0	1.56	0.24							
16	-	-	-	-	-	3.23	0.07							
17	-	-	-	-	-	1.52	-							
18	-	-	-	-	-	1.54	-							
19	-	-	-	-	-	2.64	1.00							
20	0	7.8	326.0	2500.0	25.0	2.98	2.60							
21	0	1.4	218.8	924.0	0	3.32	1.10							
22	0	5.7	216.2	2518.0	8.0	2.07	0.20							
23	0	10.5	464.8	1502.0	9.0	2.42	3.50							
24	0	0	0	0	0	1.8	-							
25	5.0	35.8	68.5	1130.0	5.0	3.04	6.40							
26	0	1.6	810.0	1700.0	0	2.76	0.13							
27	0	1.0	12.0	395.0	0	4.27	0.10							
28	0	0	0	0	0	3.71	2.80							
29	0	1.8	26.5	217.0	0	3.60	0.08							
30	0	0.8	184.0	370.0	0	3.04	0.13							
31	0	1.5	110.1	1110.0	0	2.38	0.16							
32	0	0.0	0.0	0.0	0	2.92	-							
33	-	-	-	-	-	2.00	-							
34	-	-	-	-	-	1.42	-							
35	0	0.8	33.4	75.0	0	2.64	0.10							
36	0	0.8	23.0	56.0	0	2.76	0.19							
37	0	0.8	27.6	134.0	0	3.23	0.07							
38	0	0	0	0	0	2.75	0.04							
39	0	0	0	0	0	2.65	0.22							
40	0	0	0	0	0	2.65	0.10							
41	-	-	-	-	-	1.30	1.60							
42	-	-	-	-	-	2.60	1.80							

5 ヒノキ柱材の乾燥スケジュールについて

岡 山 木 技 セ ○ 河 崎 弥 生 ・ 見 尾 貞 治 ・ 金 田 利 之

〈はじめに〉 ヒノキ柱材の乾燥は、スギ柱材と比較して容易であるとされ、研究も一応の成果を得たものとされている。しかし、ローコストで、より品質の高い乾燥材を生産するためには、まだ検討を要する点が残っている。ここでは、蒸気式及び高周波減圧式による乾燥時間短縮効果について検討を行ったので報告する。

〈実験方法〉 ヒノキ13cm角・心持柱を、表1に示すような5条件のスケジュールで人工乾燥し、含水率、割れ等の推移を測定した。供試本数は、各条件とも概ね10本である。人工乾燥は、当センターの10石入りIF型蒸気式乾燥機および2石入高周波減圧乾燥機を用いた。

表1 ヒノキ柱材の人工乾燥スケジュール

乾燥条件	No 1 (蒸気)	No 2 (蒸気)	No 3 (蒸気)	No 4 (蒸気)	No 5 (高周波減圧)
初期 乾燥球温度(℃)	35.0	45.0	60.0	85.0	・ 缶体内圧力 50mmHg ・ 材温40℃ ・ 発振5分on 10分off
乾燥球温度差(℃)	3.3	3.5	3.5	2.4	
末期 乾燥球温度(℃)	45.0	60.0	75.0	95.0	
乾燥球温度差(℃)	13.5	15.0	14.4	13.9	

〈結果〉 図1に、各スケジュール条件における乾燥経過を示す。蒸気式においては乾燥する温度域が、所定の含水率に達する乾燥時間と密接に係り合っている。表2に、各スケジュールにおける含水率範囲ごとの乾燥速度を示す。いずれのスケジュール条件においても、乾燥末期の乾燥速度の低下は否めないが、高温度スケジュールの方が低温に比較して、その割合は少ないと判断される。また高周波減圧式の場合は、低含水率域に達しても乾燥速度の低下割合は比較的小さい。表3に、各スケジュールによって発生した欠点の量を示す。この表から本試験における各スケジュールは、一応、乾燥スケジュールとして実用化可能であると判断される。

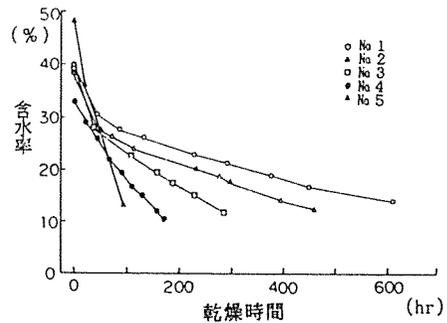


図1 各スケジュールにおける乾燥経過

表2 各スケジュールにおける含水率範囲ごとの乾燥速度(%/hr)

含水率(%)	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5
生~30	0.177	0.221	0.274	0.322	0.502
30~25	0.047	0.086	0.109	0.135	0.313
25~20	0.028	0.035	0.063	0.128	0.417
20~15	0.024	0.036	0.068	0.111	0.263

表3 各スケジュールにおける欠点発生量の推移

乾燥範囲(%)	No 1			No 2			No 3			No 4			No 5		
	材面割れ		曲り(mm)												
	発生率(%)	長さ(mm)		発生率(%)	長さ(mm)		発生率(%)	長さ(mm)		発生率(%)	長さ(mm)		発生率(%)	長さ(mm)	
生~25	23.3	78.3	1.95	46.6	39.6	3.05	23.3	44.3	1.80	53.3	128.6	3.45	6.3	48	0
生~20	23.3	104.3	2.05	50.0	40.1	4.75	26.7	52.6	2.15	56.7	156.6	3.55	6.3	52	1.00
生~15	33.3	180.7	2.95	53.3	91.6	6.20	33.3	57.5	2.80	56.7	163.6	4.00	6.3	52	1.00

(注) 材面割れ：発生率は無背割れ面における発生割合で、長さは1本当りの平均値を表す。
曲り：4材面に発生した量を合計した値を表す。

6 針葉樹構造用柱材の乾燥試験

—乾燥スケジュールと圧縮乾燥による品質特性—

中 篤 厚 菅 谷 恵 美 子

Drying Tests on Sawn Softwood for Structural Squares —Effects of the drying schedule and press on qualities of squares—

Atsushi NAKAJIMA Emiko SUGAYA

Sawn squares (10.5×10.5×365cm) of ezomatsu, *Picea jezoensis*, and todomatsu, *Abies sachalinensis*, were kiln-dried in a conventional (60–80°C) and in a high-temperature (80–90°C) schedules. Effects of the drying schedules and press were evaluated on the qualities of squares. The high-temperature schedule apparently reduced the drying time without increasing wood defects compared with the conventional one. The press-drying was efficient in preventing deformations in the squares.

建築用柱材(エゾマツ、トドマツ)の乾燥試験を、中温(60–80°C)および比較的高温(80–90°C)条件で行い、乾燥特性を検討した。また、圧縮効果についても検討を加えた。

高温乾燥は中温乾燥に比べ、乾燥時間が短く、材の品質では大差ないため、高温乾燥の方が実務面で有利である。また、圧縮乾燥は特にエゾマツのねじれ抑制に効果がみられ、狂いが発生し易い材に有効である。

1. はじめに

近年、人工乾燥された建築構造用柱材(エゾマツ、トドマツ)の需要が急速に伸びてきている。住宅性能の向上を図る上でも、適正な含水率に管理され、かつ、品質の良い製材品を求める声が、木材を供給する側、それを使用する側(工務店や特に最近では設計者)共通にあり、とみにその要求度の高まりをみせている。しかし、現状では木材を売る側は乾燥による割れ、狂いなどの損傷への警戒や、乾燥コストを出来るだけかけたくないことなどから、必要最小限の乾燥を行う傾向にある。

今回は、これらの建築用柱材について蒸気式 I.F.

型乾燥装置を用い、中温および比較的高温乾燥条件によって乾燥を行い、諸々の乾燥特性について比較検討した。また、狂い抑制に有効と考えられている圧縮乾燥の効果を確認し、これらにより建築用柱材の適正乾燥条件を追求したので報告する。

2. 試験方法

2.1 乾燥装置

乾燥試験に使用した人工乾燥装置は、ヒルデブランド社製の側部送風型のもので、標準の木材収容材積は約2.2m³である。またこの装置は、自動油圧プレスを装備し、積積み上部から最大約15トンの荷重を加えるこ

第1表 試験条件
Table 1. Drying test conditions

条件事項 Item of condition	乾燥スケジュール Drying schedule	圧縮 Press drying
条件 1 Condition No.1	中温 Conventional schedule	無し Non-press
条件 2 Condition No.2	高温 High-temperature schedule	無し Non-press
条件 3 Condition No.3	中温 Conventional schedule	有り Press
条件 4 Condition No.4	高温 High-temperature schedule	有り Press

とができる。

2.2 乾燥条件

乾燥試験は、第1表に示すとおり4条件を設定した。すなわち、条件1は中温乾燥スケジュールにより圧縮を行わない。条件2は高温乾燥スケジュールで同じく圧縮を行わない。条件3は中温乾燥スケジュールにより圧縮を実施した。条件4は高温スケジュールにより圧縮を行った場合である。乾燥スケジュールは中温、高温で第2表に示すとおりである。また圧縮条件は椈木の単位面積にかかる圧力が約6 kg f/cm²で、椈木間隔は30cmである。

2.3 供試材

乾燥試験に供試した試験材は各条件とも、10.5cm正角材(長さ365cm)のエゾマツ20本、トドマツ20本の計40本で、各樹種20本のうち、心去り材が17本、残り3本は心持ち材である。また、各条件で含水率スケジュール用コントロール材をエゾマツ、トドマツ各1本(長

さ1 m、心去り材)用い、これを含水率測定用とした。初期含水率は50%前後の生材で、目標仕上げ含水率を15%として乾燥した。

2.4 測定事項

乾燥経過中は、コントロール材の含水率(重量法)と収縮(寸法)を一定時間ごとに測定した。寸法の測定箇所は材幅を1材面4点(幅方向の端部2点と、その内側を等間隔で2点)、直交する2方向で計8点を1/100mm精度のデジタルノギスで計測し、2方向のうち大きな収縮量を示した幅方向4点の平均値を検討の対象とした。

また乾燥終了後、各条件で材の品質を比較するため、供試材全数についてねじれ、曲がり、割れの損傷を測定した。ねじれは末口・元口の角度差をデジタル角度計で隣合う2材面につき測定し、この平均値を材長365cm当たりのねじれ角とした。曲がりは同じく長さ方向の中央矢高を0.5mm単位で4材面測定し、この4材面のうちの最大値を材長当たりの曲がり量とした。割れは木口から伸びた木口割れと材面に現れた表面割れを区別し、それぞれ10mm以上の割れ長さについて4材面測定し、その割れ長さ合計を材1本当たりの割れ長さ量とした。

3. 結果

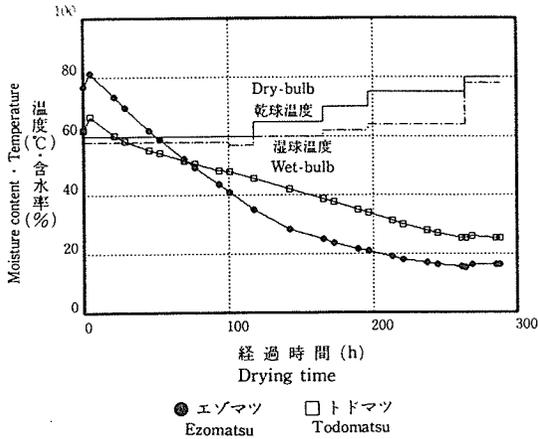
3.1 乾燥速度

各条件の乾燥経過図を第1～4図に示す。各条件・樹種で初期含水率に違いがあり、厳密には比較検討は

第2表 乾燥スケジュール
Table 2. Drying schedule

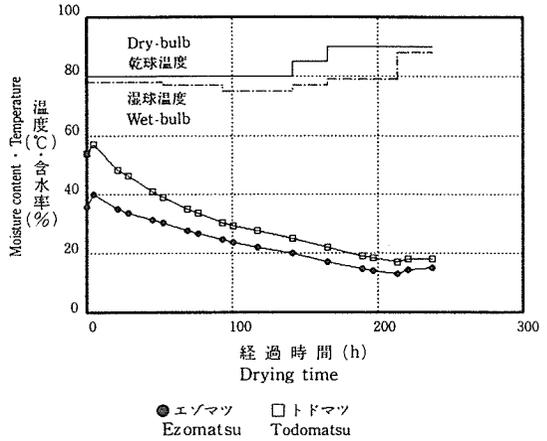
含水率 Moisture content (%)	中温スケジュール(°C) Conventional schedule		高温スケジュール(°C) High-temperature schedule	
	乾球温度 Dry-bulb	乾湿球温度差 Wet-bulb depression	乾球温度 Dry-bulb	乾湿球温度差 Wet-bulb depression
	生材 Green wood	60	2	80
~35	"	3	"	3
~30	65	5	"	5
~25	70	8	85	8
~20	75	11	90	11
~15	80	2	"	2
調湿処理※ Conditioning				

※：調湿処理は約24時間行う。
conditioning for 24 h



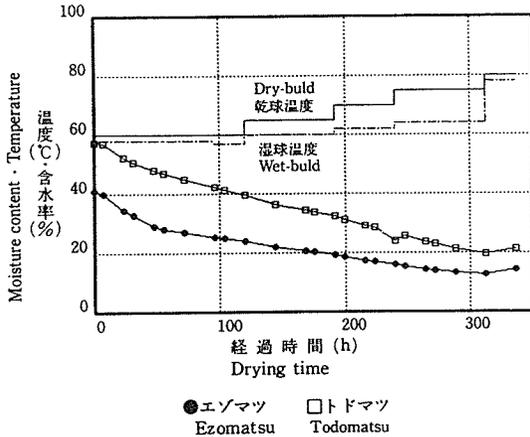
第1図 含水率経過 (条件1)

Fig. 1. Kiln schedule and drying curve for samples (Condition No. 1)



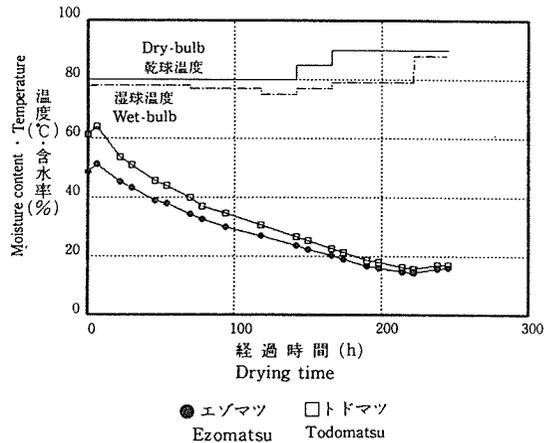
第2図 含水率経過 (条件2)

Fig. 2. Kiln schedule and drying curve for samples (Condition No. 2)



第3図 含水率経過 (条件3)

Fig. 3. Kiln schedule and drying curve for samples (Condition No. 3)



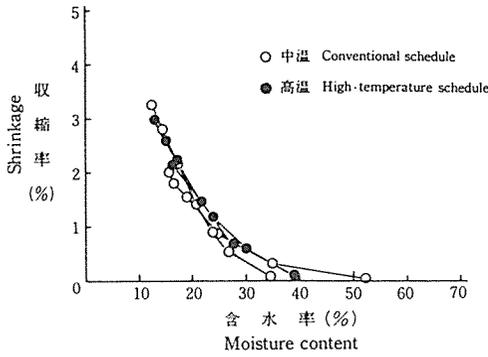
第4図 含水率経過 (条件4)

Fig. 4. Kiln schedule and drying curve for samples (Condition No. 4)

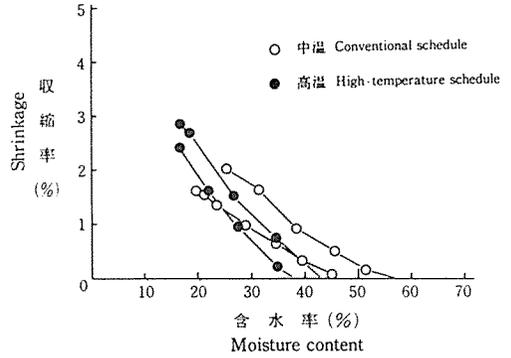
できないが、中温乾燥の条件1と3の乾燥日数は調湿処理時間(1日)を含め12~14日、高温乾燥の条件2と4の場合は約10日未満となり、高温スケジュールは中温に比べ、約25%短縮された。また、中温乾燥条件では高温に比べ、トドマツの乾燥性が悪い結果となった。これは材質・水分むら等による影響と考えられるが、いずれにしろ高温乾燥の方が時間短縮が図られ有利と考えられる。ただし、この問題は材の品質と合わせて考える必要があり、このことについては後半で触れることとする。

3.2 収縮

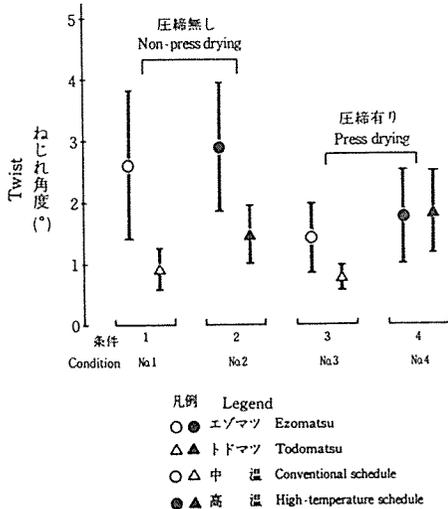
エゾマツ、トドマツの生材寸法を基準とした収縮率経過を、第5、6図に示す。これらの収縮率は、厳密にはそれぞれ測定断面の方向性に違いがあるが、ほぼ心去り材の追い柵方向の収縮を表し、一般的には心持ち材に比べ大きく¹⁾、標準的か、やや大きめの数値として考えられる。これらの結果から、中温・高温乾燥による違いを見ることはできないが、エゾマツでは平均含水率40~50%付近から収縮が始まり、両条件ともほぼ類似した傾向で推移し、気乾含水率(15%)時で約



第5図 収縮率経過(エゾマツ)
Fig. 5. Relationship between moisture content and shrinkage (Ezomatsu)



第6図 収縮率経過(トドマツ)
Fig. 6. Relationship between moisture content and shrinkage (Todomatsu)



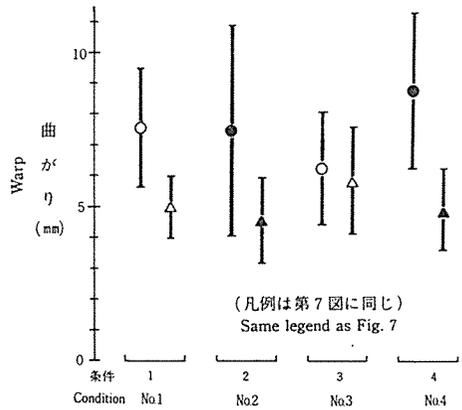
第7図 ねじれ角度の平均値とその区間推定
(信頼度95%)
Fig. 7. Interval estimation of twist
(Confidence coefficient: 95%)

2.8%の収縮率を示した。また、含水率20%までの収縮量(率)は、エゾマツが1.6~2.3mm (1.5~2.1%)、トドマツが1.8~2.8mm (1.7~2.6%)の範囲であった。

3.3 材の損傷

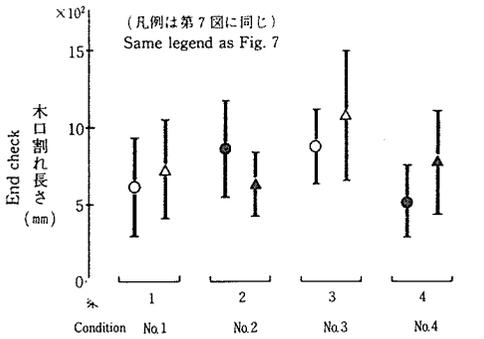
材の狂いについて、条件別にねじれ角度、曲がり量の平均値と危険率5%でその信頼区間を求めた結果を、それぞれ第7、8図に示す。

図で明らかのように、ねじれ、曲がりともエゾマツの方が大きな値を示し、今回供試した試験材では、エ



第8図 曲がりの平均値とその区間推定
(信頼度95%)
Fig. 8. Interval estimation of warp
(Confidence coefficient: 95%)

ゾマツの方がトドマツより狂い易かった。一方、圧縮の効果は特にエゾマツのねじれ抑制に認められ、条件1と3(中温条件)、条件2と4(高温条件)の間で分散分析を行ない、ねじれ抑制効果を評価した結果、ともに危険率5%で有意であった。しかし、トドマツのねじれ、および両樹種の曲がりについては、中温・高温条件いずれも有意差は認められず、ほぼ同様な狂い量と考えられる。また、トドマツのねじれに関しては、条件1と2あるいは条件3と4との間、すなわち乾燥スケジュールの違いにより、危険率5%で有意差が認められ、中温乾燥より高温乾燥でねじれが大きくなる傾向となった。しかし、エゾマツに比べればその



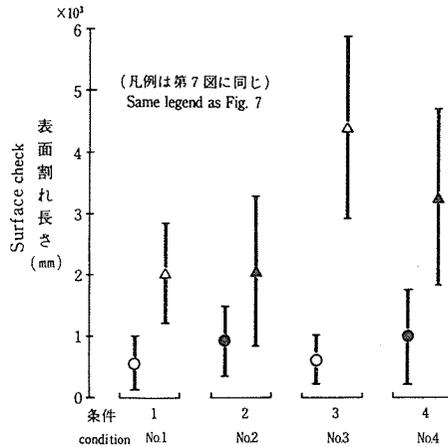
第9図 木口割れ長さの平均値とその区間推定 (信頼度95%)
 Fig. 9. Interval estimation of end check (Confidence coefficient : 95%)

相対量は小さく、混材で乾燥する場合は、乾燥時間の短い高温乾燥が有利と予想できる。

次に割れの積算長さを木口割れ、表面割れに分け、それぞれ第9・10図に示す。丸印と三角印は同じく、エゾマツとトドマツを表す。木口割れは両樹種に違いはあまりみられないが、表面割れは全般的にトドマツで多く発生し、エゾマツはいずれの条件でも低位であり、品質の面ではトドマツの表面割れに対し注意を要するという結果となった。

また、これらの結果について、乾燥スケジュールの違い(中温・高温)、圧縮の有無によって差があるかどうかを検討するため、狂い同様に、これらを2因子として、木口割れ長さ、表面割れ長さごとに分散分析を行い評価してみた。

その結果、木口割れについてはエゾマツの条件3と4、すなわち乾燥スケジュールの違いにより危険率5%で有意となった。その他の条件の比較では、乾燥スケジュールの違い、圧縮の有無で差は認められず、木口割れを抑制する上ではむしろ両樹種とも高温乾燥が有効と考えられる。一方、表面割れについては、トドマツの条件1と3、すなわち中温乾燥条件で圧縮の有無により高度に有意と認められたが、エゾマツでは中温・高温条件とも差がない。これは条件3に供試したトドマツ材の内、心持ち材3本に割れが多発したことが影響したものと考えられ、特に割れの発生が予想さ



第10図 表面割れ長さの平均値とその区間推定 (信頼度95%)
 Fig. 10. Interval estimation of surface check. (Confidence coefficient : 95%)

れる心持ち材あるいは節の多い材では圧縮乾燥は狂いを抑制する反面、割れを増大させられると思われる。

4. まとめ

建築用針葉樹エゾマツ、トドマツ正角材を中温乾燥および高温乾燥の2つの乾燥スケジュールにより、上部荷重による圧縮をかけた場合とかけない場合の2条件で人工乾燥試験を行い、両樹種の乾燥性を比較検討した。結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 乾燥時間は中温スケジュールに比べ、高温で2～3割短縮できる。
- (2) 含水率約20%までの心去り材の収縮量(率)は、中温・高温条件の乾燥スケジュールによる差は明らかでなく、エゾマツで1.6～2.3mm(1.5～2.1%)、トドマツが1.8～2.8mm(1.7～2.6%)の範囲であった。
- (3) 圧縮乾燥は特にエゾマツのねじれ抑制に有効であった。トドマツのねじれは、高温乾燥条件の方が大きくなるが、その量は僅かである。また、曲がりについては乾燥スケジュール、圧縮による有意差は両樹種とも確認できなかった。
- (4) 材の割れは、エゾマツと比較するとトドマツの表面割れが大きい。また、スケジュールによる差は小

さく、高温乾燥の方が時間短縮の意味で有効と考えられる。トドマツの場合、圧縮乾燥により表面割れの発生が懸念される。

文 献

- 1) 信田 聡, 千葉宗昭, 奈良直哉: 林産試験場月報, No.403, 1~9 (1985)

—技術部 乾燥科—

(原稿受理 H 4 · 4 · 14)



7. 1 よい乾燥設備の条件

乾燥室の形式や仕様には、メーカーによってさまざまなものがある。どの装置がよいとか悪いとかは一概にいえないが、メーカーや形式の如何にかかわらず、木材乾燥室としての望ましい条件はみな同じである。望ましい条件としては、以下のものが挙げられる。

(1)適正な大きさ、規模の乾燥室であること

扱う木材の量やサイズ(とくに長さ)に適した大きさが良く、無駄な空間が多すぎたり、逆に風路がとれないほど狭いものはいけない。

(2)温度、湿度、風速の分布が均一であること

いうはやさしいが、これに適う装置は意外に少ない。収容量の大きい乾燥室ほどむらが出やすい。送風量は十分であっても静風圧が小さすぎるファンでは、風が棧積みの中を十分に回らない。感温体の取り付け位置も非常に重要である。

(3)室内温度、湿度の維持、調節が容易なこと

扱いやすく、精度の高い制御方式が望ましい。

(4)耐久性がよい(耐用年数が長い)こと

壁体や室内の金属製機材が、高温、高湿、酸性条件で劣化しない材料を使用する。

(5)気密性、保温性が優れていること

熱エネルギーの節約と室内温度湿度維持の両面から、必要な条件である。意外に多いのが大罪のすきまからの熱や空気のもれである。

(6)乾燥コストが安いものであること

設備の値段と運転経費の両方ともが安いものほどよい。ただし、「安かろう悪かろう」は駄目で、きちんとした品物(乾燥材)が生産されてこそ、真の設備といえる。

(7)火災発生の危険がないこと

以上は木材乾燥設備として是非とも備えているべき条件であるが、最近では、さらに性能を向上させるためのさまざまな工夫も見られる。たとえば、ファンモーターの動力費を節約するための回転数制御機(インバーター)や、排気熱を回収して再利用を図るための熱交換器などがそれである。すでに確立されている技術のみにとどまることなく、装置の中に最新の技術をどんどん取り入れていくよう、メーカー側に期待したい。

森林総合研究所木材利用部加工技術科長 鷲見博史

7. 2 木材乾燥における温度

乾燥方法のうち現在最も多いのは、木材を一定の温湿度の乾燥室に入れ、空気を循環しながら乾燥を進めて行くいわゆる熱風乾燥です。熱源の種類によって温度域が異なりますが、板材や柱材の乾燥では通常30～95℃が用いられます。除湿式、温水式、太陽熱利用式なども熱風乾燥の一種と言えます。

人工乾燥における乾燥条件のうち温度(乾球温度)は最も重要な因子で、他の条件が同じならば温度が高いほど乾燥速度は大きくなります。木材乾燥では表面付近の水分だけを早く蒸発させても、内部の水分が表面に移動してこなければ速く乾燥させることはできません。乾燥温度は内部水分の移動に大きく影響し、温度が高いほどそれが速く行われます。またその影響は含水率が低くなるほど大きくなります。仕上げ含水率が低い場合は温度を高くした方が有利なのはこのためです。

しかし、乾燥温度を高くすると材によっては割れ、狂い、落ち込みなどの損傷が発生することがあります。広葉樹材の場合は温度を高くするといろいろな損傷の発生が大きくなり、特に落ち込みの生じやす

い樹種では危険です。針葉樹の場合は乾燥温度の高低はそれほど損傷の発生に影響しませんが、中には温度が高いほど割れの発生が少なくなる場合もあります。ただし、材の色を白く仕上げたい場合には温度は低くした方が有利です。このように、木材の乾燥では材の種類や用途によってそれぞれ適した温度があります。

木材乾燥室はそうした木材の乾燥に必要な温湿度を均一に、正しく設定できることが大切です。そのためには温湿度の測定装置や制御装置が優れていなければなりません。忘れてはならないのは送風装置の性能と壁体の断熱性能です。これが不十分な装置ではいくら優秀な電子計器を用いても正しい乾燥条件を保つことはできません。記録計には所定の温湿度が表れていても、実際の被乾燥材のまわりの温湿度はこれと違っているケースがしばしばあります。乾燥装置の設計・製作上注意したいことの一つです。

森林総合研究所木材利用部乾燥研究室長 久田卓興

7.3 木材乾燥における湿度

空気加熱乾燥では、温度（熱）と同様に湿度が重要な役割を果たしています。前号で説明されてきましたように、温度が木材内部から材面の方へ水分を押し出す力の原動力になっているのに対し、湿度は材面からの水分蒸発をコントロールする役割を担っています。

実際の木材乾燥では、適当な温度条件を保ちながら湿度を一定の水準に維持し、材面からの水分蒸発をある程度規制してやります。これによって木材内の水分傾斜が適度に保たれ、乾燥応力は和らげられ、割れの発生をくいとめることができます。これが湿度の役割です。特に乾燥の初期には、わずか2～3%の湿度の違いで割れが防げたり、防げなかったりの差がでますので、この時期の湿度の制御には細心の注意が必要です。しかし、割れの危険性がなくなる中～後期ではあまり神経質になる必要はありません。このように、空気加熱乾燥においては、温度と湿度はクルマの両輪のような役割を果たしているのです。どちらが欠けてもよい乾燥は期待できません。湿度はまた、落ち込みの回復を目的とするリコンディショニング処理や乾燥後の調湿処理にも不

可欠の要素です。

通常の蒸気加熱式乾燥では、蒸煮管や増湿管から生蒸気を噴霧して室内の湿度を維持します。しかし、ボイラを持たない乾燥装置では、何らかの方法で水蒸気を発生させる機器が必要です。たとえば除湿式乾燥装置では、必要に応じて電熱式の蒸気発生器が設置されます。寒い地方では冬季に、生蒸気をいくらか供給しても壁面で結露、水滴化し、室内の湿度が思うように上がらないことがあります。これは乾燥室の壁体に断熱材を施工することで容易に解決できるものです。また、熱帯地方のように外気温の高いところでは、生蒸気の噴霧によって温度が上昇してしまい、これまた所定の湿度が得られにくいことがあります。この場合には、生蒸気の代わりに冷水を噴霧するなどの配慮が必要になるでしょう。

このようなことから、乾燥装置の設計、製作に当たっては、棧積み材全体に適正な温度、湿度が均一にゆきわたるような工夫が大切です。

森林総合研究所木材利用部

加工技術科長 齋貝博史

7. 4 木材乾燥における風速

木材から水分を取り去るには、力を加えて水を絞り出す方法や遠心分離など、水を液体のまま取る方法もありますが、普通は水は一度水蒸気になってから外に出て行きます。水が液体から気体に変化する時には多量の熱が必要で、これが蒸発潜熱と呼ばれるものです。このため、乾燥を促進するには被乾燥材へどんどん熱を供給してやる必要があります。

木材乾燥に於ける風の第一の役割はこの熱の供給です。風が弱いと熱は風上だけで消費されてしまって風下には行き届かないため、風下側の乾燥が遅れることとなります。特に、木材含水率の高い乾燥の初期にはこうした状態が起きやすくなります。これに対し、乾燥速度が小さくなる乾燥の終期にはそれほど多量の風は必要なくなるので、インバーターで風速を弱めるのも電気代を節約する良い方法です。乾燥割れが怖い乾燥初期に風速を弱めているケースを時折見かけますが、基本的には考え方が逆なわけです。

風の第二の役割は蒸発した水分を材の表面付近からすみやかに取り除くことです。乾燥過程で木材中

の水分は水蒸気として材表面から外に出て行きますが、これが表面付近に漂っていると、その部分の湿度は高くなって乾燥が遅れます。そのため風によってこの湿度の高い部分を吹き払ってやる必要があります。湿度センサーで測定される数値と被乾燥材のまわりの湿度とは実際には差があることが多く、できるだけこれを近づけ、さらに棧積み全体でも差を少なくすることが大切です。水分蒸発の面では湿度と風速は切っても切れぬ関係にあるわけですから、乾燥スケジュールを決める際には必ず風速のことを念頭に置いておく必要があります。

乾燥装置の風速条件については、歴史的にいろいろな考え方が取られてきました。これには乾燥理論や機械性能だけでなく、能率や経済性、社会事情などさまざまな要因がかかわってきたわけですが、ここらでもう一度基本から考え直してみる必要があるかも知れません。

森林総合研究所木材利用部
乾燥研究室長 久田卓興

7. 5 木材乾燥の自動化(1)(2)

(1) 木材乾燥工程

筆者は木材乾燥工程を、木材乾燥本工程とその周辺工程を含めたものとして捉えている(図1)。

屋外における天然乾燥、各種乾燥法を用いた人工乾燥などの本乾燥工程(5)を中心としてその前後で、棧積み(3)、乾燥の進み具合を監視するための試験材の調整・含水率推定作業(4)、棧降ろし(8)、仕上がり含水率のチェックや割れなどの欠点検査(6)、検査で未乾燥であった材の再乾燥(7)などがある。さらに乾燥材は次工程へ移るまでの時間調整のためのストックを兼ねた養生(9)などが必要なこともある。加えて、現在はまだ馴染みがうすいが、生材の含水率による選別、振り分け工程(2)も均一な乾燥のために材によっては必要な工程であろう。

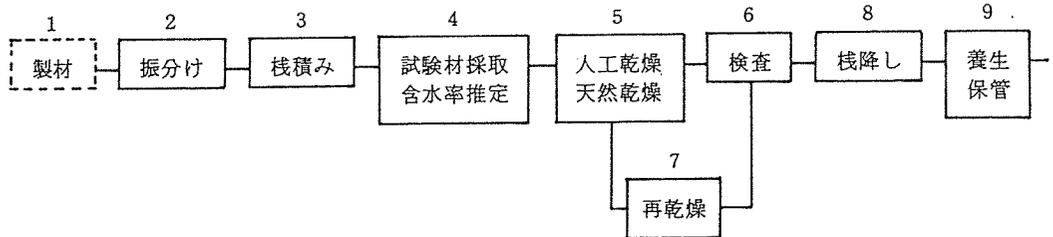


図1 木材乾燥工程のフロー

——自動棧積み——

(3) 棧積み作業の自動化

棧積み作業は、天然乾燥をするにしても、様々な人工乾燥を行うにしても、バッチ式の乾燥方式が多いため必要な工程となっている。この工程の作業の善し悪しが乾燥材の品質に大きく影響する。すなわち棧木の揃え方、挿入方法ひとつで、そりや、われ、乾燥むらにまで影響する。通常は数名で行い、時間と労力を必要とする工程である。

したがって、この工程を自動化することは、省力化、工程の処理速度向上、労働環境改善、安定な品質の乾燥材供給などのメリットがあるため、自動化を進めることの意義は大きい。

具体的には「自動棧積み機」を考えることになる。同一材種を大量に乾燥する企業においては特に開発は困難ではないと思われる。すなわち製材を一定本数縦、横に揃え材種により指定された間隔に棧木を挿入し、その上に再び製材を同じ本数だけ重ね、これを繰り返す、ある高さになった時点で一つの棧積

(2) 自動化が望まれる工程

乾燥工程において自動化を行う目的はいくつかある。①単純作業の効率化、②専門作業の一般化、③危険・汚い作業のイメージアップ、④タイムロスの軽減、⑤乾燥材品質管理の向上、などである。

上記条件を考慮し、かつ現実的な課題として自動化が望まれる工程は、①棧積み(棧降ろし)工程における作業の自動化、②本乾燥工程における乾燥操作の自動化、③乾燥材の仕上がり含水率検査、生材の振り分け、工程等、試験材選別のための水分管理の自動化、が考えられる。(次回に続く)

東京大学農学部林産学科助手 信田 聡

みを終了させるというパターンのみ考えればよいからである。各地、各社にて工夫を凝らした棧積みの省力化が行われている。いずれも一定寸法の製材向けであり、材種の多様性に追従できないことが多い。汎用性をもたせることは困難ではないが、それだけ開発費用が上乗せになる。ちょっとした棧積み機でも数千万円の設備投資が必要なことから、現状ではなかなか普及していない。しかし、木材工業の3Kを払拭して若い人を集め業界を活性化する意味でも、また上記のメリットを考えれば、今後開発の重要性は増してくる。特に、家具用材としての広葉樹掛尺材、幅、長さがまちまちな板を一定の体積内にうまくはめ込む棧積み作業はパズルを考えるような思考時間と労力が掛かり、これこそ自動化により時間短縮に大きく貢献するものと思われる。自動棧積み機のたどりつく道はこのような材料の棧積みにあると考える。(P. 7「木材乾燥の自動化(3)」に続く)

木材乾燥の自動化(3)

—乾燥操作の自動化(1)—

(4) 乾燥操作の自動化

現在製材の人工乾燥に用いられる乾燥設備としては、蒸気式 I F (インターナルファン) 型の乾燥室が全体の 2/3 以上で最も多い。この装置で乾燥を行う場合、現在では、乾燥経過に応じて手動で制御盤内の調節計の設定変更を行い制御する方法が取り入れられている。したがって、温度、湿度の変更のためには、スケジュールに従い、昼夜を問わず決められた時点で人が設定変更を行う必要がある。実際には、専従の乾燥士がいることはまれであり条件変更なども、他の作業の片手間に行うことも多く、夜間の場合にはさらに条件変更が適切に行われなため乾燥時間の延長、時間のロスにつながる。したがって、自動的に温度、湿度を制御することが目下の乾燥操作の自動化の主流といえる。最近ではインバータを使用して乾燥初期含水率が高い状態では風を多く与え蒸発を促進させ、含水率が低い段階では風速を抑えるように送風機の回転数を制御して材間風速を

乾燥程度に応じて変化させる、いわゆる風量制御も省エネルギーの観点から合わせて取り入れられるようになってきている。

① タイムスケジュールによる制御

乾燥経過時間を基準として、一定時間ごとに乾燥室内の条件を変化させる制御方法。経験的に時間と損傷、乾燥程度の関係がわかる場合に採用しやすい。例えば針葉樹製材で単一木取り、同様な初期含水率の製材しか乾燥しないという状況においては、現場の担当者の経験を活かし時間経過毎の温度、湿度(湿球温度)の組みをいくつか設定して、それをプログラムが組める温度調節計にセットすることにより自動運転ができる。扱う材料が決まっている場合には有効な制御方法である。除湿乾燥装置においてはこの方式が多く取り入れられ、タイマーで除湿機運転間隔をセットして乾燥室内の除湿と加熱を制御する。経験のない樹材種への適用性はいま一步である。

(次回へ続く)

東京大学農学部林産学科 助手 信田 聡

木材乾燥の自動化(4)

—乾燥操作の自動化(2)・水分管理の自動化(1)—

(4) 乾燥操作の自動化(続き)

② 含水率スケジュールによる制御

木材含水率を何等かのセンサで検出して、含水率を基準として乾燥室内の条件を変化させる制御方法。

基本的には木材含水率と損傷の関係が従来の研究により明確にされ、乾燥スケジュールも揃っている。したがって大方の樹種、材種、各レベルの含水率の材に適用できる。家具、楽器用材等精度の高い乾燥を要求される場合、従来より本方法が取り入れられてきた。スケジュール開発としては最近、建築用の柱材、梁材等の断面が大きな材について研究が進められている。

含水率を測定するセンサが重要なポイントであるが、最近では重量測定用の耐熱耐湿型のロードセルも開発され重量から含水率を求めるセンサを用いた自動化システムも普及段階にある。また電気式水分計を改良した含水率センサも使用される。

③ カップ法の応用による制御

木材の乾燥にともなう木材内に生じる乾燥応力、または変形の程度を基準にして制御する方法。

木材の乾燥に伴う応力を変形(幅どり:カップ)の形で検出して、これを指標に割れの出ない乾燥を行うもので、タイムおよび含水率スケジュールに比較して、木材の材質、損傷を考慮したフィードバック制御方式といえる。

④ AEによる制御

アコースティックエミッション(AE)を応用した割れ予知センサによる制御方法。

乾燥中の木材の微細な割れが発生する時の弾性波(AE)を検出して、これを割れの前兆として制御系へフィードバックしながら、温度、湿度を制御する。含水率および時間スケジュールに比べれば、より細かい制御ができる可能性がある。しかし体系的に樹材種、含水率などとAEの関係の基本的な研究、整理が不足しているため、特定の樹種、材種に適応されるにとどまっている。

(5) 水分管理の自動化

木材乾燥では水分管理が重要であることは言うまでもない。乾燥材の含水率検査は携帯型の電気式水分計により乾燥した製材の中からサンプルを抽出して検査することが多い。したがって、ロット中にはまだ乾燥不十分なものも含まれている可能性がある。木材製品の品質の向上を期するために、さらに細かい水分管理が要求されている。

水分管理の目的は含水率の均一化による品質安定を目指すものである。そのためには以下に示す2つの場面での水分管理が重要となろう。

① 乾燥前の含水率による選別・振り分けのための水分管理

被乾燥材の初期含水率を揃えることが乾燥の均一化の第一歩である。製材直後の材、特に針葉樹製材は含水率の差は心材と辺材の間で100%以上あるのも普通である。林地における葉枯らし、天然乾燥および除湿乾燥を予備乾燥として導入することで材の含水率をある程度揃えることができる。これらは現在行われている製材含水率を揃えるための方策である。しかしスギ、トドマツなどの心材含水率が極端に高い材を生材から直接人工乾燥するには、含水率による材の選別、振り分け、別ロットで乾燥するという工程を取り入れることも今後重要になると思われる。

この工程では含水率による分類のために被乾燥材の全数の含水率測定を行うことから、被乾燥材の中から乾燥制御の基準となるサンプル材を選択するための客観的データが得られることが大きなメリットとなり、乾燥操作の自動化のための重要な基本技術となる。

具体的な課題としては、製材後の板または角材をライン上で含水率を連続的に把握して、それを分類して、天然乾燥や人工乾燥の積込みのロット分けを行う方式が考えられる。

木材乾燥の自動化(5)

——水分管理の自動化(2)——

(5) 水分管理の自動化(続き)

② 乾燥材の含水率検査

乾燥材の仕上がり含水率を検査することは、広葉樹材についてはもちろんであるが、建築用針葉樹製材についてもJAS(平成3年)などで乾燥材含水率基準が定められ、乾燥材の重要性が認識されつつある昨今、従来以上に必要性が高まっている。

木材の生物的なバラツキを盾にあまりにもおおまかな水分管理をしているところに、木材の品質の不安定さを指摘される根元がある。つまり乾燥時間も技術も十分ではない現状があるため、均一な含水率に仕上げることはできていないのが大勢であり、したがって、製品にした後にクレームが多くなり、木材が信用を失うことになる。

水分測定において最も重要なことはセンサとしてなにを使用するかということであろうが、従来からある電気式水分計(高周波容量式, 高周波抵抗式, 電気抵抗式)に用いられた原理を応用してセンサに改良を加えたものを採用することが実用的である。

また、断面が大きな製材に適用するためにこれらに改良を加えたセンサが開発されている。さらに水分推定法として、パンマーなどで叩いたときの木材の振動現象の応用, 木材重量(密度)と含水率の関係を利用することなどが研究されている。

これら電氣的センサを使用して建築用製材のオンライン含水率装置の開発が最近各所で行われている。こうした装置により乾燥材個々の仕上がり含水率がオンラインでチェックできる時代がくれば、木材の品質は飛躍的に向上する。同時に乾燥技術のパロメータとなろう。このことについて、例えば乾燥技術の未熟さが暴露され、コストアップをまねくので経営上成り立たないなどと、ネガティブな対応をするのは見識が低く、木材が他材料と肩を並べて工業製品としての地位を得るには、実は乾燥とそれに伴う水分管理がなににも先んじて重要なことであることを再認識すべきであろう。(完)

東京大学農学部林産学科 助手 信田 聡

第3章 除湿及び高周波等特殊乾燥

1 スギ、ヒノキ柱材の除湿乾燥特性

奈良県林業試験場 ○小野広治 小林好紀 久保 健

建築用針葉樹材にも乾燥材が要求されるようになり、最近では除湿乾燥などの人工乾燥が盛んに行われている。しかし、スギ、ヒノキの柱材のように断面の大きな材の乾燥スケジュール、乾燥特性あるいは乾燥時間などは明らかでない。そこでスギ、ヒノキ柱材の除湿乾燥特性を明らかにするとともに、仕上がり含水率のちがいによる乾燥後の形質変化について検討したので報告する。

1. 乾燥条件と乾燥速度

同一素材から採取した柱材（長さ50cm）を用いて検討した。スギについては乾燥温度が40℃で、相対湿度が80%と70%、並びに相対湿度が60%と45%における乾燥速度の差について比較した。ヒノキについては乾燥温度（相対湿度が60%一定で温度が30℃と50℃並びに30℃と40℃）、相対湿度（乾燥温度が40℃一定で相対湿度が88%と45%並びに60%と45%）、風速（乾燥温度が40℃、相対湿度が60%一定で風速が2.5~3.0m/sと0.5~1.0m/s）の違いにおける乾燥速度の差について比較した。

スギで相対湿度と乾燥速度の関連を見ると、湿球温度の飽和水蒸気圧の比と近似した値になり、ヒノキでは、乾燥温度と乾燥速度の差は、湿球温度の飽和水蒸気圧とその時の温・湿度に対応する水蒸気圧を引いた値の比と近似した値になった。また、相対湿度が異なると湿球温度の飽和水蒸気圧の比に近似した値になった。風速が異なるときの乾燥速度の差は認められなかった。以上のことと板材の場合とを比較すると、相対湿度の影響は両者ともよく類似していたが、乾燥温度については板材の場合に比べて小さかった。

2. スギ、ヒノキ柱材の除湿乾燥特性

図1の実大柱材（12.0cm角、3m材）の乾燥経過から、スギの乾燥経過では初期含水率に差があってもその乾燥経過に大きな違いがないが、ヒノキの乾燥経過では初期含水率の高い材の初期の乾燥速度が著しく大きく、初期含水率により乾燥経過に大きな違いがあることがわかる。これにはスギ、ヒノキ柱材の生材時の水分分布の違いが関与している。すなわち、スギでは初期含水率に差があっても表層の含水率には大きな差がないため、初期含水率の差による乾燥経過の違いはあらわれないがヒノキの初期含水率の高い材では表層の含水率が高いために乾燥速度が大きく、初期含水率によって乾燥経過に違いがでる。そのため初期含水率の高いスギの乾燥には長時間を要するが（図2）、ヒノキでは初期含水率の影響は小さい。

3. 乾燥度の違いによる放置中の形質変化

除湿乾燥によりスギは含水率を約25%、約30%、40%以上に仕上げた材、ヒノキは約20%、25%に仕上げた材を室内放置して、放置中の含水率、寸法の変化を測定した。

スギは35日間除湿乾燥した後80日間放置したが、仕上がり含水率の高い材ほど放置中の含水率の減少が大きいが、収縮率、背割り幅の変化はほとんどなかった（図3）。含水率の減少を水分分布の変化からみると、表層の含水率の変化がほとんどないのに対し

日本木材加工技術協会第8回年次大会要旨集(1990)

て内層の含水率が大きく減少していた。そのため全体の含水率が減少しても収縮率、背割り幅は変化していない。ヒノキは14日あるいは21日間除湿乾燥した後84日間放置したが、仕上がり含水率が約20%、25%の材とも含水率の変化はほとんどなく、寸法はむしろ増加した。ヒノキの乾燥終了後と放置終了後の水分分布には変化は見られなかった。

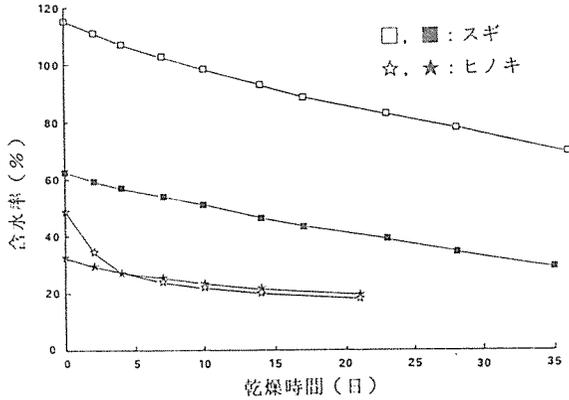


図1 スギ、ヒノキ柱材の乾燥経過

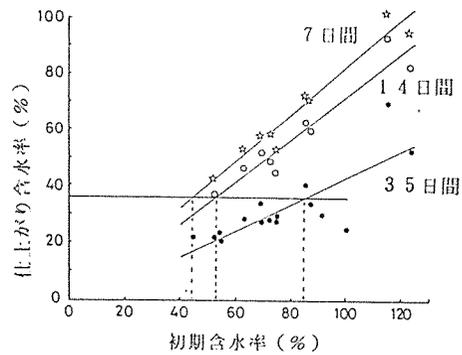


図2 スギ柱材の初期含水率と仕上がり含水率の関係

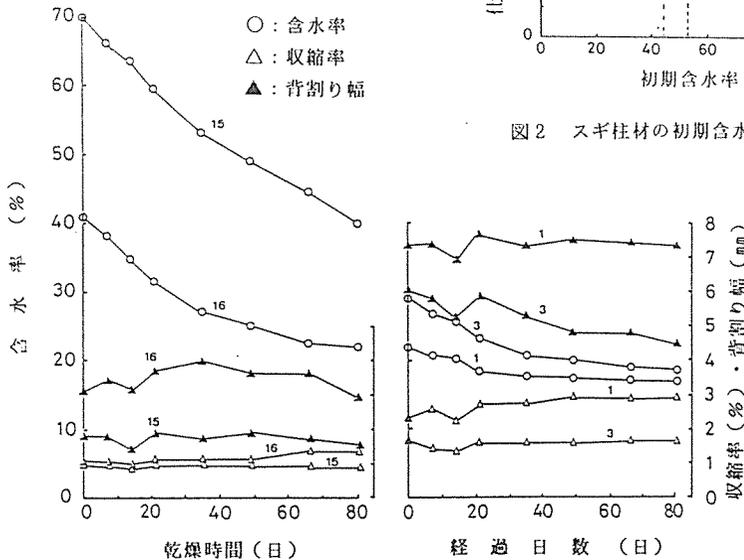


図3 放置中のスギ柱材の含水率と寸法の変化

2 心持ち柱材の急速乾燥

— 材面被覆による割れ防止と減圧処理 —

森林総研 ○齋藤周逸, 久田卓興

【はじめに】 建築用国産針葉樹材、特にスギ材の乾燥コストを低減し、市場流通をスムーズにする方策の一つとして、心持ち柱材の表面を塩ビフィルムのシートで被覆し、表面割れを防止しながら高周波加熱減圧により急速乾燥する方法を検討した。

【試験方法】 断面寸法約11cm角、材長2mの背割り入りスギ心持ち柱材を、各試験6本ずつ用い、あらかじめ円筒状の塩ビフィルム（商品名：ファンシーラップ、厚さ30 μ 、ケンビKK製）で木口を除く全表面を被覆した。この材を高周波加熱減圧で乾燥し、含水率減少経過、収縮率、仕上がり品質、消費電力をしらべた。試験装置には富士電波工機製 HED-0301型（収容材積 0.28 m^3 , 6.7MHZ, 出力3KW）を用いた。

【結果】 含水率減少経過の概要を図1に示す。図中の点線は他の乾燥法との比較を示したものである。高周波減圧法では高周波の与え方によってかなり急速に乾燥することが可能であるが、乾燥条件によっては当然割れが発生する。図の④⑤は表面被覆しない通常の乾燥であるが、割れを発生させずに乾燥するには、平均含水率約35%までの乾燥でおおよそ5日くらいを要する。これに対し、表面被覆した今回の方法②③によると割れなく2～3日で乾燥することが可能である。これは表面からの水分蒸発が抑制された状態で、強い高周波電力を与えられることによって、安全に急速乾燥が行われたためと考えられる。この材は乾燥後シートを取り去って一週間ほど放置することによって、特に表面付近の含水率が大きく低下し、目的の含水率状態の材を得ることが可能になる。この方法による乾燥所要経費はおおよそ10,000～15,000円/ m^3 と考えられる。範囲が少し広いが、これは高周波減圧乾燥終了時の含水率をどの程度に管理するかの違いと、実用機における減圧ポンプや冷却水用動力の値が不明確なためである。この方法は乾燥コストの低減とともに、乾燥材の流通のための時間を大幅に減少できることに特徴があり、十分実用化の可能性があると考えられる。

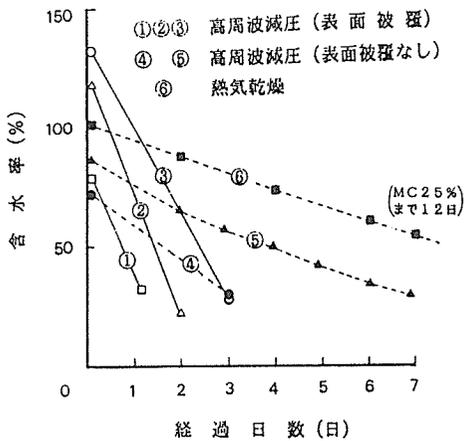


図1. 含水率の減少経過

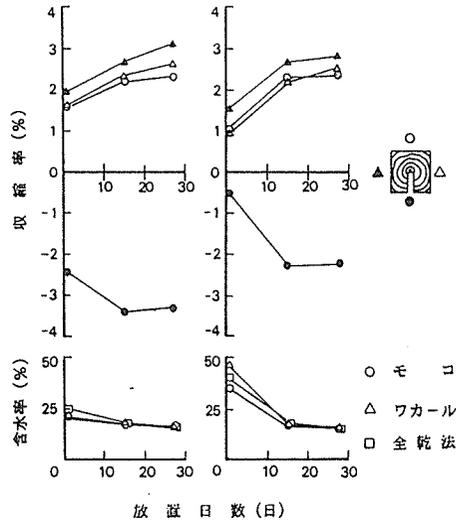


図2. 乾燥後放置中の含水率・収縮率の変化

心持ち柱材の急速乾燥 (II)

— 短期間の天乾と高周波減圧乾燥の併用 —

森林総合研究所 ○久田卓興、齋藤周逸

1. はじめに 心持ち柱材を低コストで急速乾燥するため、短期間の天然乾燥と仕上げ含水率を適度にコントロールした高周波加熱減圧乾燥とを組み合わせる方法を検討した。

2. 方法 短期間の天然乾燥で表層付近の含水率を低下させた後、材を円筒状の塩ビフィルムで被覆し、これを高周波加熱減圧法により急速乾燥した。乾燥終了時の含水率は最終仕上げ含水率よりは若干高い値を目標とし、塩ビフィルムを取り去ってからさらに一定期間天然乾燥して所定の含水率に仕上げた。試験材は背割り入りのスギ心持ち柱材 (113mm角、長さ2m) を1試験あたり各6本用いた。乾燥装置は富士電波工機製 HED-0301型 (収容材積 0.28m³, 6.7MHZ, 3KW) である。

3. 結果 1週間の天然乾燥の後、約1日人工乾燥し、その後放置した材について、含水率の減少経過と収縮率の変化を図1に示した。人工乾燥は初めは常圧で加熱のみを行い、材温を85℃まで上昇させこれを約3時間保った。続く減圧乾燥は圧力100mmHgで開始し、乾燥の進行につれこれを次第に60mmHgまで低くして行った。この間、材温は55℃から60℃で制御した。天然乾燥で表面付近の含水率が低下した材は、塩ビフィルムで覆って加熱され、さらに次の減圧工程で主として背割り部分から水分が外に引き出されることにより、普通の熱風乾燥に比べ含水率分布が非常に小さい状態でも乾燥が速く進行する。乾燥後は塩ビフィルムを取り去って放置するが、表面付近の含水率が比較的高いため、短い期間でこれが外気の平衡含水率に近づき、1週間くらいで熱風乾燥とほぼ同じ仕上がり状態を得ることが出来る。

高周波減圧乾燥は急速乾燥が可能であるが、制御が難しいことと設備費や電気消費量が高いことが難点とされていたが、今回の方法によりこれらの問題を解決できる。表1は乾燥コストの試算であるが、蒸気式や除湿式など一般の熱風乾燥に比べ、乾燥コストを低くできる可能性がある。また、材の仕上がり状態は材色がきわめてきれいである。

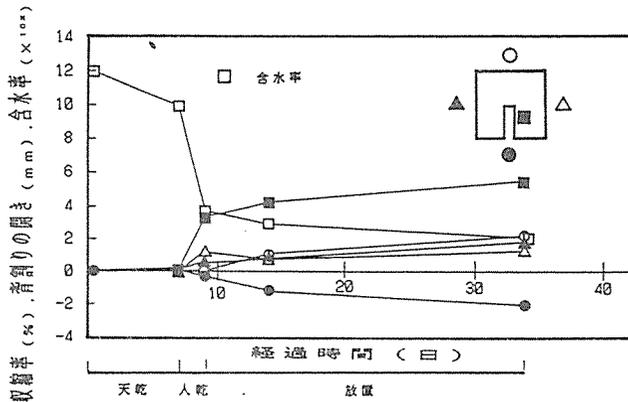


図1 含水率、収縮率、背割り幅の変化の測定例

表1 乾燥コストの試算

人工乾燥の時間 (hr)	24	
乾燥処理量 (m ³ /月)	350	
天乾後の含水率 (%)	80	
人乾直後の含水率 (%)	30	
1週間後の含水率 (%)	25	
乾燥所費	電力費 (円/m ³)	6,980
	真空管 (円/m ³)	140
	ポンプ・冷却水 (円/m ³)	60
	塩ビシート (円/m ³)	650
	人件費 (円/m ³)	370
	設備費 (円/m ³)	1,560
	天乾燥費 (円/m ³)	800
計 (円/m ³)	10,660	

スギ心持ち背割り材、113mm角、初期含水率 85%
乾燥室容積 1.4m³ (50石) 1室

3 内部加熱によるスギ柱材の乾燥促進 久保 健

ウディレター 1991, 12

1. はじめに

建築用材の人工乾燥には、これまで除湿乾燥をはじめとしていくつかの乾燥法が試みられています。これらは、いずれも乾燥室内の温度と湿度の関係によって、木材表面からの水分の蒸発を促すことにより乾燥するものです。ところがこの方法では、内部の含水率が高い材や断面積が大きな材を中心部まで乾燥するのに長期の乾燥時間を必要とします。

そこで、これらの人工乾燥に移る前処理としてスギ材等の内部含水率が高い材を高周波やマイクロ波の照射によって加熱し、中心部の水分を表面の方へ押し出した後、除湿乾燥をすることを考えています。以下に、その一部を紹介します。

2. スギ材とヒノキ材の水分分布の違い

生材の含水率は、ヒノキ材では辺材部が高く、心材部で低いものに対して、スギ材では心材部、辺材部ともに高く、移行材が低い丸太が多いことが知られています(図1)。この生材含水率分布の違いが、スギではヒノキより著しく長い乾燥期間の差となって現れます。そこで、スギに高周波やマイクロ波を照射して内部加熱して、水分分布をスギ型からヒノキ型に変えることができれば、あとは表層近くの水分を取り除くだけで乾燥時間の短縮が期待できると考えました。

3. 内部加熱とは

木材を加熱する方法としては、熱気乾燥のように外部から表面を加熱し、その熱伝導によって徐

久保 健

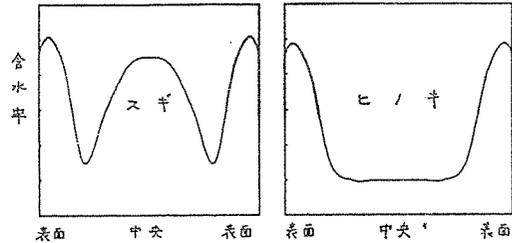


図1 スギ・ヒノキ心持ち柱材水分分布モデル

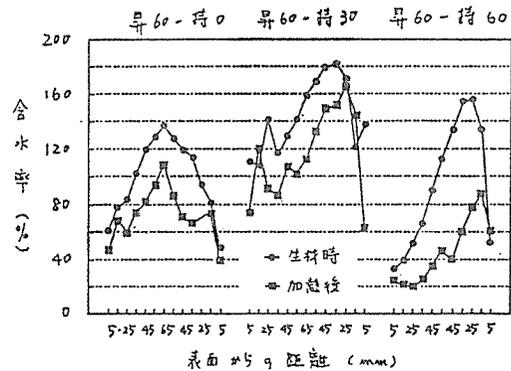


図2 加熱温度による水分分布の変化

々に内部まで加熱する外部加熱法が一般的です。

これに対して、周波数の高い電磁波を用いて誘電体(木材の場合は主に水分)を発熱させる内部加熱法は、外部に逃げる余分な熱が少ないので、木材を効率よく均一に加熱できます。

内部加熱は使用する電磁波の周波数により高周波加熱(一般に13.56 MHz)とマイクロ波加熱

(一般に 2,450 MHz)に分けられます。マイクロ波加熱は家庭用の電子レンジに使用されていることで知られています。

4. マイクロ波による加熱条件の検討

(1) 加熱温度による比較

スギの心持ち柱材(12cm角)を、中心の温度が80°C、100°Cあるいは120°Cに達するまでの所要時間(以下、昇温時間という)を60分、その温度を保持する時間(以下、持続時間という)を60分としてマイクロ波により加熱処理しました。その結果図2に示す加熱処理後の水分分布を見ると材中心部の含水率は加熱温度が80°C、100°C、120°Cのいずれの場合であっても低下しています。これは、材内部の水分がマイクロ波によって発熱して、材の表層へと移動していることを示しています。

また、平均含水率は、80°C、100°Cの場合にはわずかに低下しませんが、120°Cの場合は加熱前の82.7%から加熱後の39.2%まで大きく下がっています。この違いは、120°Cでは80°Cや100°Cよりも木材内部の蒸気圧が著しく高くなることによるものと考えられます。このように、内部温度はなるべく高くした方が中心部の含水率が早く低下しますが、急速に高くしすぎると、内部に割れができる場合があります。

(2) 加熱時間による比較

つきに加熱処理の時間について昇温時間と持続時間に分けて検討しました。

㊤ 昇温時間について

加熱温度を120°Cとして、材中心部がその温度に達するまでの昇温時間について30分と60分について比較しました。加熱処理前と後の水分分布を図3に示しています。30分の時は水分分布にほとんど変化がないのに対して、60分では内部の含水

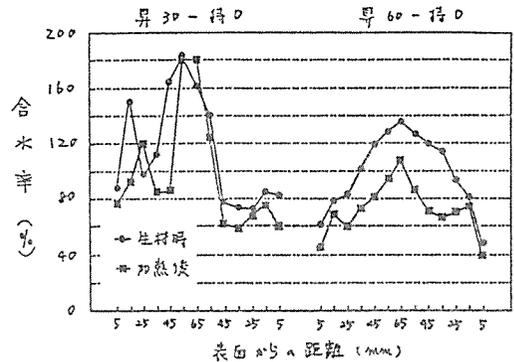


図3 昇温時間による水分分布の変化。

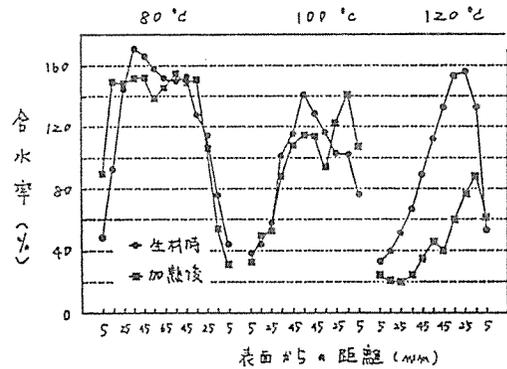


図4 持続時間による水分分布の変化

率が低下していることがわかります。

これは、30分では材温が上昇しても水分を表層へ移動させる力が小さく、60分では徐々に移動が起こっていることを示しています。

また、昇温時間30分で120°Cまで材温を上げた場合、途中で破裂が発生して木口面から蒸気もれているのが確認されました。

㊤ 持続時間について

加熱温度を㊤と同様に120°C、昇温時間60分と

して、その温度を保持する持続時間について、0分、30分、60分について比較しました。処理前と処理後の水分分布を示した図4では、材中心部の含水率が、持続時間が長くなるにつれて低下していることがわかります。これは、中心部を高い材温に保つことにより内部の蒸気圧が水分を表層へと押し出すためと考えられます。

④および⑧の結果から、昇温時間は材に破裂の起こらない60分が、持続時間は中心の含水率の低下の著しい60分が、それぞれ適当であることがわかりました。

5. 除湿乾燥における乾燥時間の短縮

以上の結果から、最も有利と思われる条件（昇温時間60分、持続時間60分）で加熱処理した試験材と加熱処理しなかった材を除湿乾燥（乾燥温度40°C、相対湿度70%の一定条件）して、乾燥経過乾燥後の水分分布について比較しました。

図5は、その乾燥経過を示したもので、加熱処理した材の平均含水率は、乾燥開始の時点で50%まで下がっており、そのため約3日間で30%まで約2週間で20%以下まで低下しています。これに対し加熱処理しなかった材では、乾燥前の平均含水率が著しく高いうえ、内部に多くの水分が残っていて、乾燥中期以降になると乾燥速度が急激に低下し、3週間後も含水率は30%になりません。

図6は、処理材と処理しなかった材の生材時、加熱処理後および乾燥終了時の水分分布を示したものです。加熱処理材では、処理によって内部の水分が表層に移動しているのので、比較的容易に内部まで乾燥でき、表層と中心部との含水率を同じように下げることができます。これに対し処理しなかった材では、処理材と同じ乾燥期間では中心部の水分を取り除くことができず、表層との間に含水率の大きな差が残っています。

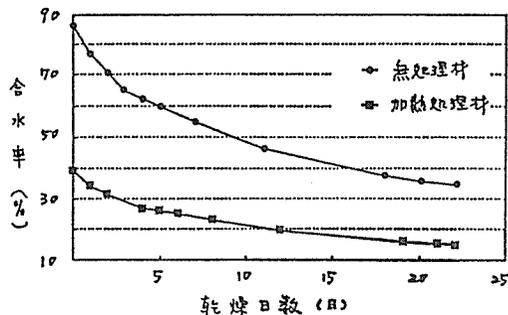


図5 乾燥経過

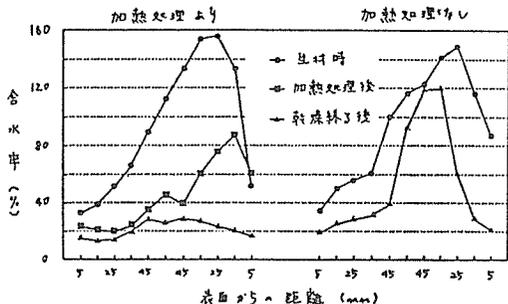


図6 材内水分分布の経過

6. おわりに

以上の結果から、乾燥の前処理として内部加熱すると、①乾燥前の含水率を下げることができる②内部の水分を表層に押し出すことにより乾燥速度を短縮できる③乾燥終了後の表層と中心部の含水率の差を小さくできることがわかりました。

ここでは、マイクロ波加熱を用いましたが、生産現場では、高周波の方が多くの点で有利です。しかもこの方法では、従来の高周波減圧乾燥のような真空缶を必要としないので設備費も安く操作も簡単です。〔くぼ・たけし、奈良県林業試験場木材加工課〕

4-1 長期水中貯木の水分移動性および組織構造

奈良県林試 ○小林好紀

京大木研 今村祐嗣

【はじめに】 スギ，ヒノキ，ベイスギ，ベイツガなどの心材は、辺材に比べて乾燥が著しく遅いうえ、大きな水分傾斜が発生して割れが生じたり、部分的な水分残留が生じて乾燥むらを引き起こしやすい。これら難乾燥材に対して、水中貯木による乾燥促進効果が従来から指摘されているが、演者らも丸太のまま長期間水中貯木したスギ，ヒノキ材の水分移動性および乾燥性を検討し、それに対応して組織構造上の特徴を観察した。

【材料と方法】 水中貯木期間が1,2,3,10年のスギ丸太（直径15~25cm）、および同1,2年のヒノキ丸太（直径18~25cm）を供試した。木口から繊維方向長さ5cmの円盤を連続して採り、それぞれの円盤から、放射方向長さ2cmで厚さ5mmのまさ目試片を採取した。試片の一方のまさ目面をシリコン樹脂とアルミホイルで封をして、乾燥温度30℃、関係湿度60%で乾燥し、含水率を測定した。乾燥試験に供した試片に隣接する部分より、同寸法の浸透性試片を調整し、生材のまま、あるいは含水率約11%に乾燥して、0.5%酸性フクシンを十分に浸ませたろ紙に木口面を密着させて16時間放置し、染料の浸透長を測定した。上記試片の採取位置に対応するように、走査電子顕微鏡（SEM）観察用試片を採り、アルコールシリーズ，アセトン，ペンタンで溶媒置換乾燥して、常法によりSEM観察した。

【結果】 ①乾燥経過と水中貯木期間および木口からの距離との間には一定の関係が見られ、長期間の水中貯木を行うことによって、乾燥速度は向上した(図1)。

②ヒノキよりもスギで、水中貯木による浸透性改善効果が大きく現れた。2年間貯木のスギ材の浸透性には心材部位によってむらがあり、しかも木口からの距離が大きくなると低下した。3年間貯木材では浸透性が向上し、心材内の染色むらが少なくなった。

③長期間の水中貯木によって、分野壁孔壁がまず選択的に崩壊し、柔細胞側に開孔している様子が観察された(写真1)。有縁壁孔壁に細菌類が集まり、トールスが薄化、脆弱化して中央部で破壊している様子が多く観察された(写真2)。

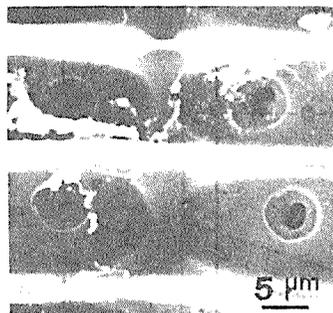
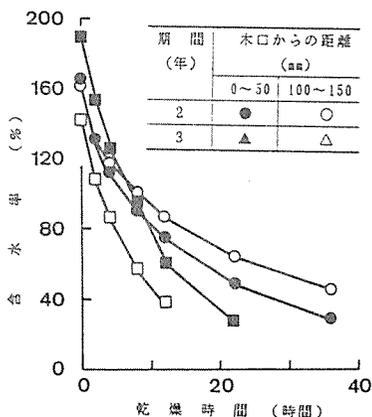


写真1 開孔した分野壁孔
(ヒノキ柔細胞内腔面・2年)

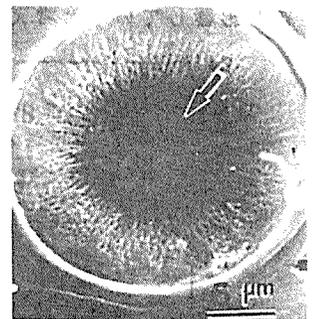


写真2 トールスの部分が崩壊した有縁壁孔壁
(↓, スギ・2年)

図1 水中貯木年数，木口からの距離と乾燥経過

4-2 乾燥促進法としての水中細菌の利用

(奈良林試) ○小林好紀・渡辺和夫
(京大木研) 今村祐嗣

【はじめに】 難乾燥材とされる建築用スギ材の乾燥前処理技術を開発する目的で、水中貯木による乾燥促進効果に注目し、今回は、丸太のままで長期間水中貯木したスギ、ヒノキの組織構造の変化、水分移動性および乾燥性を検討した。今回は、水中細菌の分離培養を行うとともに、これらの細菌にスギ材を攻撃させて、組織変化の観察、染料の浸透性および乾燥性を検討した。

【材料と方法】 3年間水中貯木したスギ丸太から水中細菌を取り出して普通かんてん培地に移し、30℃の雰囲気中で培養した後、細菌のコロニーを画線分離して形態の異なる菌株を分離した。分離した菌株を滅菌水に溶解して、細菌浸漬処理液を作成した。

新鮮な赤心材と黒心材の丸太を採取し、辺材、移行材および心材から、オートレーブによる120℃・30分間の加熱滅菌処理およびエチレンオキシドによる2日間の常温滅菌処理をした10(T)×10(R)×50(L)mmのSEM観察用試片と、10(T)×170(R)×100(L)mmの染料浸透性測定用試片とを作成し、ともに細菌浸漬処理液に浸漬して20℃の雰囲気中で最長7ヶ月間保存した。また、赤心材と黒心材の半径方向部位による乾燥性の違いを、45(T)×10(R)×50(L)mmの試片で乾燥温度30℃、関係湿度70%の条件で検討した。

【結果】 ①水中貯木のスギ丸太から *Pseudomonas* sp. とと思われる桿状菌6種と *Staphylococcus* sp. とと思われる球状菌1種の合計7種の細菌が分離された。このうち4菌株は通性嫌気性であり、3菌株は通性好気性であった。通性嫌気性の4菌株のうち3菌株は培養開始直後に培地をアルカリ性に変え、約7ヶ月後にはpHが約8.4になった。通性好気性の3菌株の培地はほぼ中性のままであった。すべての細菌が2ヶ月後には試料内部の仮道管先端部(写真1)、壁孔室(写真2)や柔細胞(写真3)内に侵入した。②種々のpHの滅菌緩衝液に試片を浸漬すると、pH8の液は数日で赤褐色に濁り始めて徐々に濃さを増し、抽出物の浸出が認められた。③加熱滅菌して細菌浸漬処理液に浸漬した試片では、処理期間が長くなるにつれて心材仮道管壁孔壁の充填、沈着物質が取り除かれ、壁孔壁がポーラスになる一方、破壊された壁孔壁が多く観察された(写真2)。



写真1 仮道管先端の桿状菌



写真2 壁孔室の桿状菌



写真3 柔細胞の桿状菌, 球状菌

5 カラマツの葉枯らし、巻き枯らし等林内乾燥

森林総研 ○齋藤周逸、久田卓興、佐藤庄一、鷲見博史

【はじめに】国有林では、近年、品質の向上による需要拡大を目標にしたスギ、ヒノキの葉枯らし材（サンドライ）生産が積極的に推進されつつある。そして、今後さらに葉枯らし対象樹種の拡大が計画されている。カラマツについてはすでに長野営林局等で試験的に実施されているが、その効果や実験データ等は未知の部分が少ない。そこで、今回は長野営林局上田営林署の協力を得て、人工林カラマツの葉枯らし、巻枯らし試験を行った。

【試験方法】試験地は上田営林署管内和田村国有林147林班わ小班、標高約1500mの比較的緩やかな南東斜面であった。試験時期は、夏期1989年7月20日 - 10月24日、秋期、同年9月13日 - 12月1日の2シリーズとした。試験に供したカラマツは主伐木で、樹齢52年、樹高約24m、胸高直径約30cmであった。葉枯らしによる含水率減少量は、試験木5本を1ロットとし、予め定めたいくつかのロットから一定期間後に円板サンプルを採取して全乾法で求めた。さらに、他の1ロットでは木工錐によって全期間における含水率減少経過を継続的に求めた。また、巻枯らしは別の1ロットについて行い、胸高部分を約1mの幅で環状剥皮し、さらにチェーンソーを用いて深く切込み、辺材部分の一部を取り除いた。巻枯らし中の含水率測定は木工錐サンプルで行い、終了後は材を伐倒して円板サンプルを採取し全乾法で求めた。

【結果】伐根部の初期含水率は、平均で夏期が心材53%、辺材113%、秋期が心材49%、辺材98%であり、含水率の各個体差は過去に実施したスギに比べて小さかった。また、心材部内および辺材部内の位置による含水率の差は少なかった。

カラマツは落葉性の針葉樹であるため、当初、葉枯らしによる水分蒸散作用が十分行われないうまま落葉してしまうと予想されていた。しかし、落葉は予想外に遅れ、図1の夏期の経過からみても判るように、辺材部分の含水率は伐倒後約3カ月に至るまで継続的に減少した。秋期の葉枯らしによる蒸散効果は夏期に比べ少なかった。一方、巻枯らしについては夏期、秋期とも辺材部の含水率が著しく減少し、最終的に心材部の含水率と同程度になった。含水率減少効果は、むしろ葉枯らしによるよりも大きいように思われた。

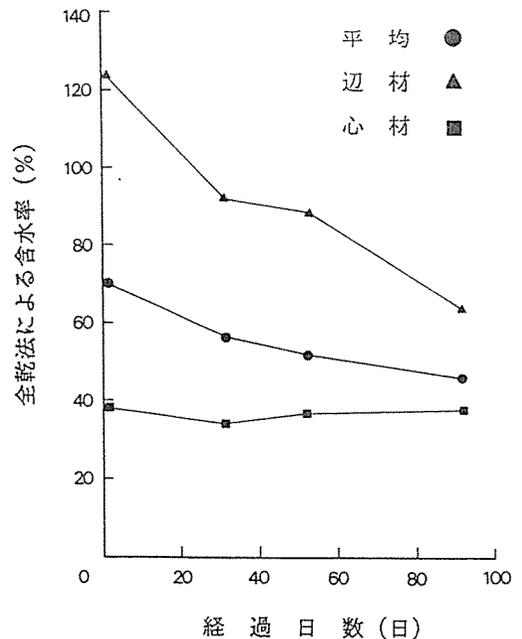


図1. 葉枯らしによる含水率減少経過（夏期）
（円板サンプルによる含水率）

6 建築用材の特殊乾燥法

日本木材乾燥施設協会研究会資料 1992, 2

長野県林業総合センター 吉田孝久

柱材の乾燥を考える場合

- A、いかに短時間で乾燥させるか。
- B、いかに損傷なく乾燥させるか。
- C、いかに安く乾燥させるか。

材質的改善	① 背割り柱材	→ B + (A)
	② 心抜き柱材	→ A + B
乾燥スケジュールの改善	③ 低温高湿乾燥	→ B
	④ 高温高湿乾燥	→ A + (B)
乾燥装置の改善	⑤ 太陽熱利用乾燥	→ C
	⑥ 地熱利用乾燥	→ C
	⑦ 高周波減圧乾燥	→ A + (B)

1、太陽熱利用乾燥

太陽熱利用乾燥で既に成功している例では、北海道林産試験場のソーラードライヤーの他、奈良県林業試験場の除湿機と組み合わせた太陽熱乾燥などが見られる。前者は針葉樹構造用材の乾燥を第一に考え、省エネと建設コストの低減にポイントを置いた開発であり、後者は、天候（太陽）に左右される装置内の温湿度条件を、除湿機の併用により調整し、効率的に乾燥を進めることをポイントとしたものである。

現在、各地で試みられている装置は、北海道林産試験場の装置を基本としたもので、本文では各地域での太陽熱利用乾燥の特性について試験したものを報告している。

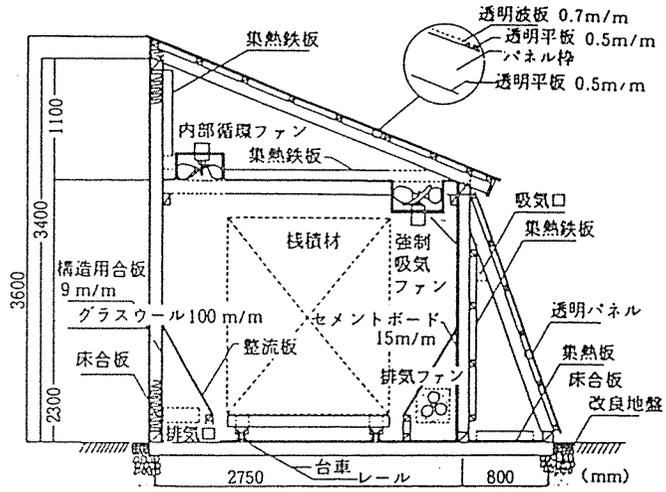
装置の構造は一般的に北側の壁を高くし、屋根面及び南面は太陽光透過面としプラスチック板（ポリカーボネイト）を張る。透過面以外は断熱材を合板によりサンドイッチとした構造をとる。透過面内部には集熱板を設置し効率的な熱の収集を行う。床面は一般的にはコンクリートであるが、砂利を敷き重ね蓄熱を行うなどの工夫も見られる。

太陽熱利用乾燥は、その熱利用システムから2つのタイプに分類できる。ひとつは太陽熱を自然に近い形で利用するいわゆる温室タイプのパッシブ・システムと、もうひとつは、集熱時に水や空気を利用した熱媒体（コレクター）を使用したタイプのアクティブ・システムである。北海道タイプのもはパッシブ・システムであり、静岡県タイプのもはアクティブ・システムといえる。前者は、装置の価格をかなり低減できるものである。

1、太陽熱利用乾燥装置の設計上のポイント

- ① 熱エネルギーの効率的収集
- ② 熱エネルギーの効率的保持
- ③ 建設コストの低減
- ④ 補助熱源及び調湿機構の設置

《パッシブ・システム》



第1図 ソーラードライヤーの断面図 北海道林産試方式

《アクティブ・システム》

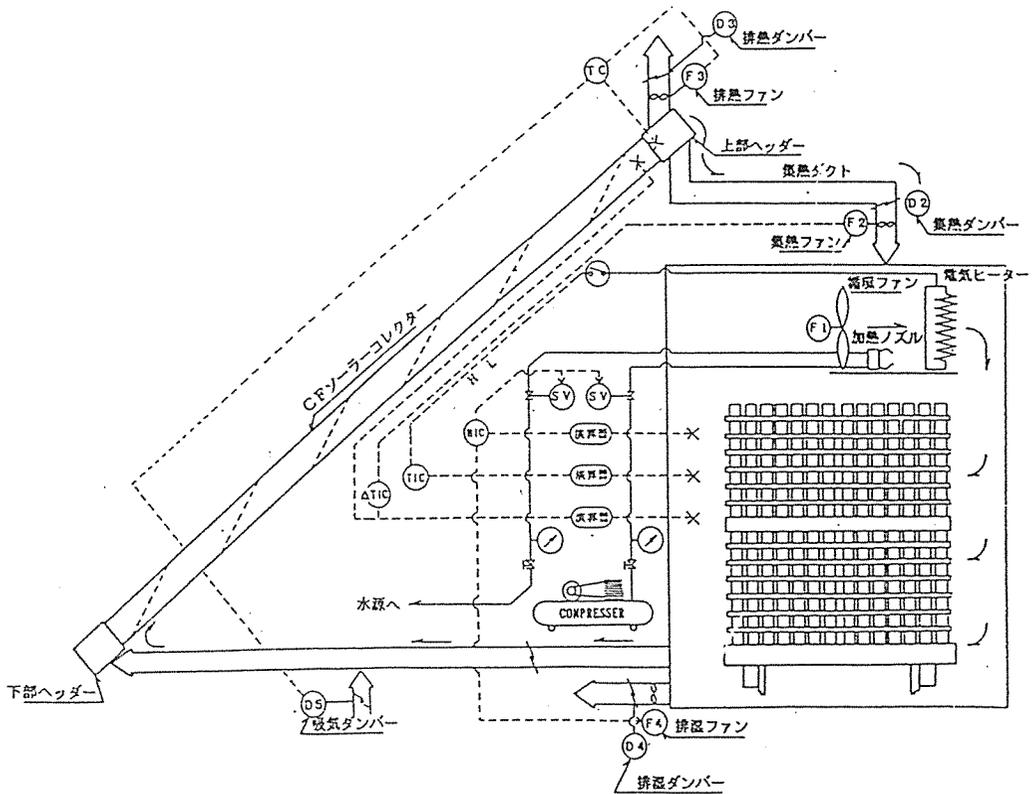


図-1 装置の構造及び供試材の位置

静岡県林業技術センター方式

2、太陽エネルギー（日射量）の状況

日射量の全国平均	1日当り	水平面	約 3200kcal/m ²
		傾斜面	約 4000kcal/m ²
日射時間	概ね	冬季	約 5時間
		夏季	約 7時間

日射量が多ければ太陽熱利用乾燥に有利

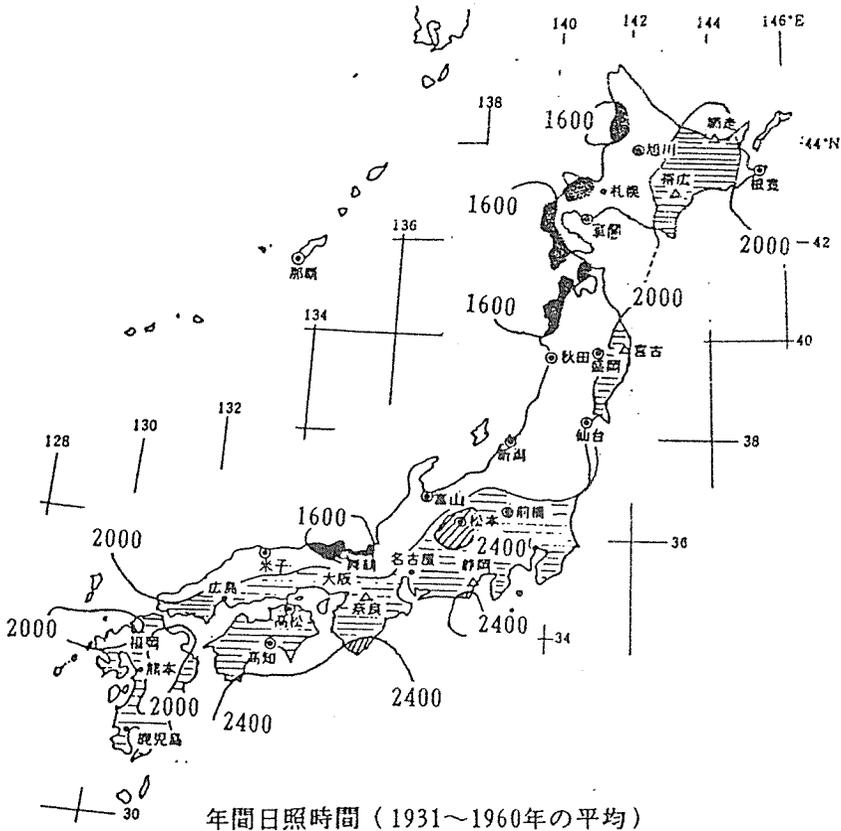
① 熱エネルギーの効率的収集

太陽熱吸収コレクターは、太陽に対し最も効率の良い吸収ができるよう、その設置角度を考慮すべきであるが、太陽の角度は1年のうちで大きく変化する。このため、太陽熱吸収コレクターは、これに合わせた傾斜変化できるよう設置されることが理想であるが、これが不可能な場合、年間通じての最適傾斜度を設定すべきか（緯度+15°程度）、あるいは複数角度に設定すべきである。

日南中高度	冬季……31°
(東京)	夏季……77°

② 熱エネルギーの効率的保持

収集した熱エネルギーの保持には、装置の気密性が要求される。さらに、壁からの熱伝導を抑制するため壁内には断熱材の使用も重要である。



3、太陽熱乾燥の乾燥促進性

太陽熱乾燥法による乾燥期間（時間）は、その時の天候に大きく左右されるが、各県の太陽熱乾燥と同時に行った天然乾燥の乾燥期間との比較をみると、天候が順調であればおよそ1/2に短縮される。

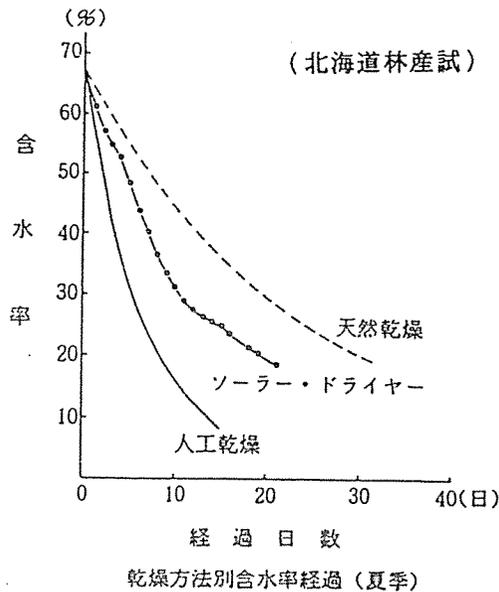
天然乾燥の場合、含水率約20%（全乾法）に仕上げるのにその所用期間は樹種別、材種別、季節別等により異なるが、およそ2～3カ月間あるいはそれ以上を要する。これを太陽熱乾燥を利用すれば、1カ月間かそれ以上の期間に短縮される。これは昼夜通じての温度の確保が大きく影響しているものであり、装置内の温度は、冬季夏季問わず外気に比べおよそ10～20℃近い温度差を確保している。

4、損傷抑制には湿度コントロールがカギ

太陽熱乾燥装置は、太陽熱を利用し装置内の温度上昇をねらいとしているが、装置内の温度が上昇すると、これに伴い湿度は低下する。湿度が低いと材内の水分はさかんに放出され、装置内の湿度は除々に高くなっていくはずであり、乾燥初期に高温状態が保て、割れの抑制には効果的であると思われる。しかし、今回の報告では、「割れの発生多い。」という報告と「割れの発生が少なかった。」という両者の報告があった。これは、湿度コントロールに問題があると思われる。

「割れの発生多い。」……装置の乾燥容量に対し、被乾燥材の量が少ない場合。
加湿機の設置がない場合。

「割れの発生が少ない」…装置の乾燥容量いっぱい被乾燥材を積んだ場合。
加湿機が設置されている場合。



II、高温乾燥

高温乾燥は、特に乾燥時間の短縮を図る意味で従来から数多くの試験報告がなされているが、乾燥温度が高温のために、被乾燥材の損傷や乾燥装置の損耗の危険性からなかなか普及に移せない状態にある。

針葉樹の柱材を蒸気式木材乾燥により乾燥させる場合、その温度スケジュールは60～70℃が一般的な温度範囲である。また除湿乾燥に関しては、35～45℃が標準範囲とされている。しかし、乾燥の対象とされる樹種によっては、特に柱材に関しては、乾燥に非常に時間がかかり、またスギやカラマツ、ベイツガでは割れの発生の危険性が高い。

これらの問題点をスケジュール的に解決できないかということで、一般温度域より高いスケジュール＝高温乾燥で乾燥した結果を報告する。

人工乾燥一般スケジュールでの乾燥日数（蒸気式・除湿式）
（12cm心持ち背割り材）

樹種	含水率範囲	乾燥方法	乾燥日数
スギ	100%→20%	蒸気式（60～70℃）	19日
		除湿式（35～45℃）	28日
		高周波式	7日
ヒノキ	35%→20%	蒸気式（60～70℃）	9日
		除湿式（35～45℃）	12日
		高周波式	3日

（森林総研 久田）

ここで高温乾燥を定義しておく。一般に高温乾燥とは100℃以上の加熱蒸気を用いた乾燥を指しているが、ここでは一般の蒸気式木材乾燥装置で取り得る80～95℃の温度域での乾燥を指す。



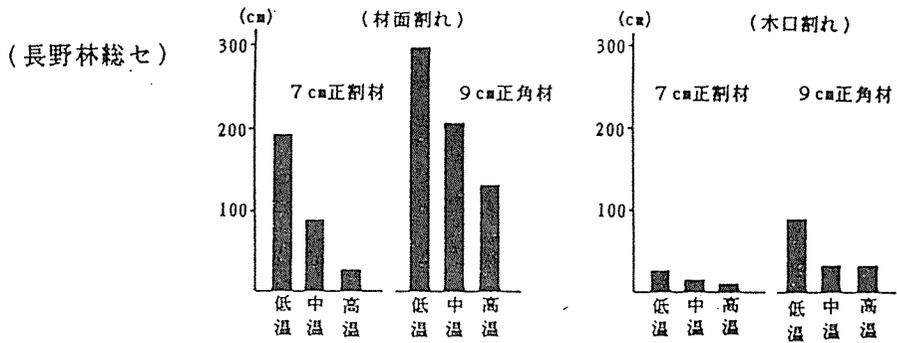
1、高温乾燥の利点

《割れ防止》

一般に、針葉樹は広葉樹に比べ乾燥が容易で乾燥時間も短いとされている。割れに関しても針葉樹は広葉樹に比べて、その発生の危険は少ないとされているが、こと心持ち柱材に関しては、割れ発生の危険性は極度に高くなる。

これは、材厚が厚いことが乾燥過程において大きな水分傾斜を生じ、材表層部に大きな引張応力を生じさせ割れ発生の原因となるためである。

しかし、高温乾燥は、材の熱軟化性を利用したものであり、低温で処理するよりも場合によっては、はるかに割れ発生が抑えられ好結果が得られる。ただし材色の変化が生じる樹種もあるため、この点はその材の使用場所を考慮して乾燥すべきである。



乾燥温度別の1本当り割れ発生状況(カラマツ心持ち、背割り無し)

《乾燥時間の短縮》

柱材の乾燥は、標準的には低温(50℃)から中温(70℃)の温度で乾燥するが、この場合2~4週間の乾燥期間となる。これを高温乾燥した場合、後に紹介するようになりかなりの時間短縮となり、乾燥期間はおよそ1/2程度で済む。ここでいう高温乾燥とは乾球温度60℃~95℃の温度で近年の蒸気式木材乾燥装置でとり得る範囲の温度域である。

高温乾燥をした場合、時間短縮とは裏腹に、材内水分傾斜が大きくなり易いため、含水率を15%以下まで乾燥し、その後の調湿で材外層部の含水率をもどしてやるのが適当である。また、背割りは材内部の含水率の低下に大きく貢献する。

樹種	寸法	背割り	乾燥温度(℃)	含水率変化(%)	乾燥日数	備考
スギ	10.8×10.8	無	85	103→20	18	熊本県
	10.5×10.5	無	95	86→16	11	岩手県
	12.0×12.0	無	95	90→26	12	長野県
	12.0×12.0	無	90	70→19	10	富山県
	12.0×12.0	有	90	80→18	10	富山県
	11.4×11.4	有	95	97→13	* 8	岐阜県
	12.0×12.0	有	95	101→14	5	長野県
	11.5×11.5	有	95	95→12	* 9	岐阜県
ヒノキ	12.0×12.0	有	85	35→15	*10	山梨県
	12.0×12.0	有	95	35→14	4	長野県
カラマツ	12.0×12.0	有	95	35→14	4	長野県
	12.5×12.5	有	90	32→20	4	長野県
トドマツ	10.5×10.5	無	115	58→18	3	北海道

★岐阜県及び山梨県は間欠運転

《ヤニ滲出防止》……(既往の報告)

木材の利用上、ヤニが滲出することは大きな欠点として取り上げられる。針葉樹材は、多かれ少なかれヤニを含有しているが、これが常温で流動性を帯びているかどうか問題となる。カラマツやベイマツは特にヤニ滲出が嫌われ、時によってはヒノキのヤニも問題となる場合もある。

ヤニ滲出防止法としては、蒸気式木材乾燥装置を用いて蒸煮処理する方法がよく使われているが、高温高温乾燥だけでもかなりヤニ滲出防止効果があることが確認されている。

2、高温乾燥の問題点

- (1) 材色の変化は使用上問題ないか。
- (2) 材強度の低下はないのか。
- (3) 乾燥室の傷みはどうか。
- (4) 水分傾斜のある材は、後の寸法変化等への影響はあるのか。

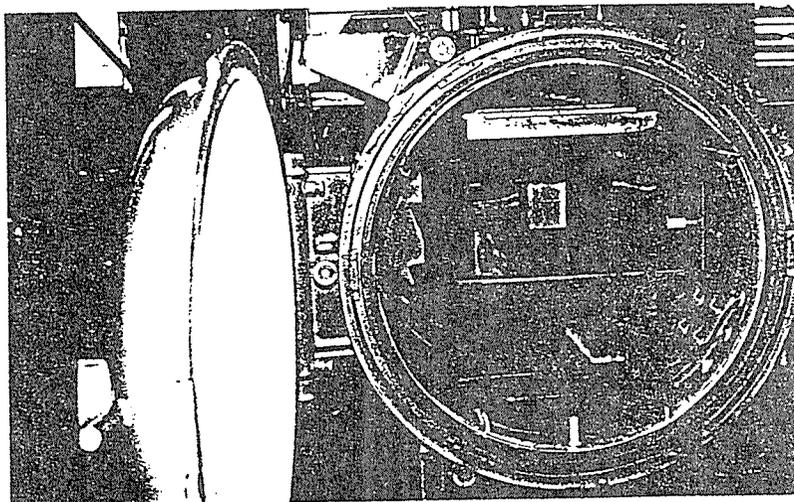
Ⅲ、高周波減圧乾燥

高周波加熱による木材乾燥は、かなり以前から試みられてきた方法であるが、当時は材温のコントロールができなかったため、急激に材温が上昇し材内部に損傷を与えることが多かった。近年材温感知センサーが開発されて本乾燥法の成功につながった。

高周波減圧乾燥の特徴として、損傷が少なく乾燥速度が速いことが言われている。この加熱は内部加熱方式であるため材表層部と材内部とに蒸気圧差が生じ、さらに減圧による空気圧差が水分移動に大きく作用するものである。このような原理から、材厚の厚い柱材についても有効な乾燥方法と考える。

また高周波減圧乾燥は、一般の乾燥の積木を用いた積みと比べ、ベタ積みという点で大きな違いが見られる。さらに、近年の装置は狂い防止のためのプレス装置が設けられている。高周波減圧乾燥で唯一の問題は設備費が高いことである。

高周波減圧乾燥装置…… 30石 35KW 約4200万円
50石 50KW 約4700万円

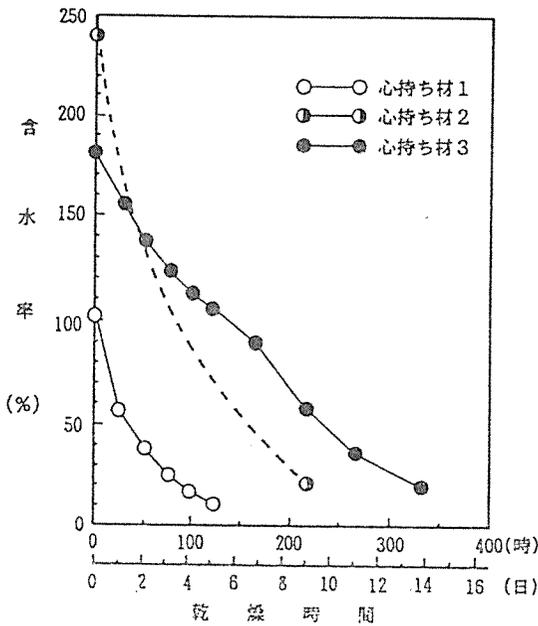


- ☆ベタ積みである。
- ☆電極板付近の温度が低い→合板、金網等で改善。
- ☆プレスによる狂い抑制。
- ☆内部加熱方式

1、乾燥時間の短縮

樹種	寸法	背割り	乾燥条件	含水率変化 (%)	乾燥日数 (days)	備考
スギ	12.5×12.5	有	50t-ℓ 30℃	113→14	17	富山県
	12.0×12.5	無	50t-ℓ 40℃	106→40	11	福井県
ヒノキ	13.0×13.0	無	50t-ℓ	36→13	4	岡山県
	13.0×13.0	有	50t-ℓ	49→14	4	岡山県
	10.5×10.5	無	48t-ℓ 39℃	33→13	2	山梨県
ヒバ	10.5×10.5	無	50t-ℓ 45℃	32→13	2	石川県
ベイツガ	12.0×12.0	無	47t-ℓ 40℃	57→13	3	—

スギ柱材に代表されるように、初期含水率の高いものは、乾燥終了時での材内の含水率が高いものが目立つ。これは無背割材に多い。……（福井県、富山県）



心持ち材 1 …… 辺材が多い赤心材
 心持ち材 2 …… 心材が多い赤心材
 心持ち材 3 …… 黒心材

(鳥取県 谷口)

図3 心持ち材(背割り)の高周波減圧乾燥経過

2、割れの発生について

高周波減圧乾燥は内部加熱方式であり、本来割れの発生し難いことが期待できる乾燥方法であるが、各県の報告をみると、無背割材の柱材について非常に効果的であると結論しているものもあれば、割れの発生が他の乾燥方法と変わらないとしているものもある。これは、装置の運転条件つまり乾燥スケジュールと、さらに材質的な要因が微妙に関係し両者の結論が出てきたものと考え、実用的には危険が伴う。したがって、さらに踏み込んだ乾燥スケジュールの検討が必要であろう。

3、材色について

鳥取林試 スギについて材が淡色に仕上がる。…乾燥途中に缶体内を大気圧に戻して70～80℃に加熱し、再び減圧乾燥することにより解決。

岡山木技 ヒノキについて材色が白っぽい。…表面だけなので二度びきやプレナーがけにより解決。

7 手づくり太陽熱利用乾燥装置の施工マニュアル 岩手県林業試験場 木材の人工乾燥の手引 1992, 3

1 太陽熱利用乾燥

太陽熱利用による木材乾燥は、人工乾燥装置の省エネルギーを目的にしたものと単に太陽のエネルギーを積極的に利用して天然乾燥を促進するもののタイプに分けられる。

当林業試験場では、後者のタイプの装置を製作して、一般建築材を対象に乾燥試験を行ってきた。その結果、実用的に使用できることが明らかになったので、装置（収容規模約 $2.8 m^3$ ）の作り方、所要経費及び乾燥試験の結果を報告する。

2 装置の作り方の要点

装置の設計・構造に際しては、次の点を考慮した。

収容規模約 $2.8 m^3$ （10石）とする。

- (1) 太陽のエネルギーのみを利用し、補助熱源を使用しない。
- (2) 壁体からの熱損失を少なくするため、壁体に断熱材を入れる。
- (3) 日光を受ける透過パネルは、透過率が高く、安価な材料を選ぶ。
- (4) 透過パネルは、外力や熱応力に対して十分な強度を備えている。
- (5) 長期間の使用に耐える構造とする。
- (6) 構造材には木材を使用する。

3 施工手順と要点

装置の大きさは、長さ 4 m の材が収容できる実材積約 2.8 m^3 (10石) の規模である。

装置の施工は、以下の順に示してあるが、ここでは施工上留意すべき要点について述べることにする。

装置の全体の立面図を図-1、断面の概略図を図-2に示す。

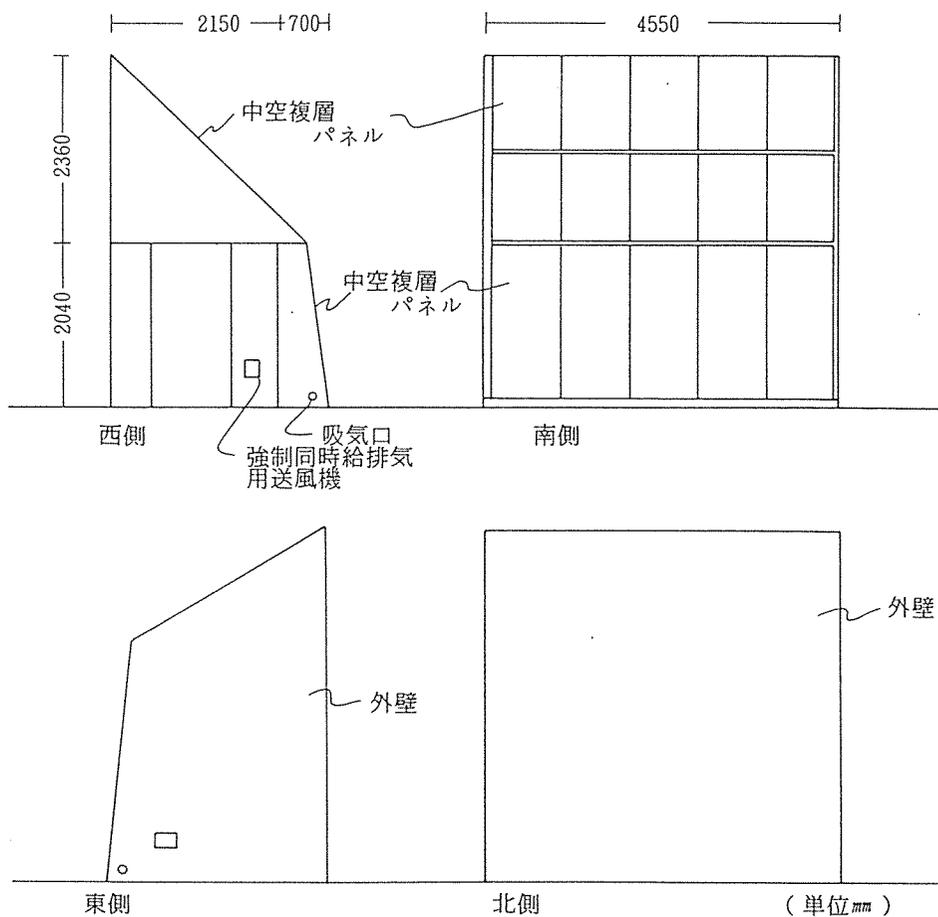


図-1 全体の立面図

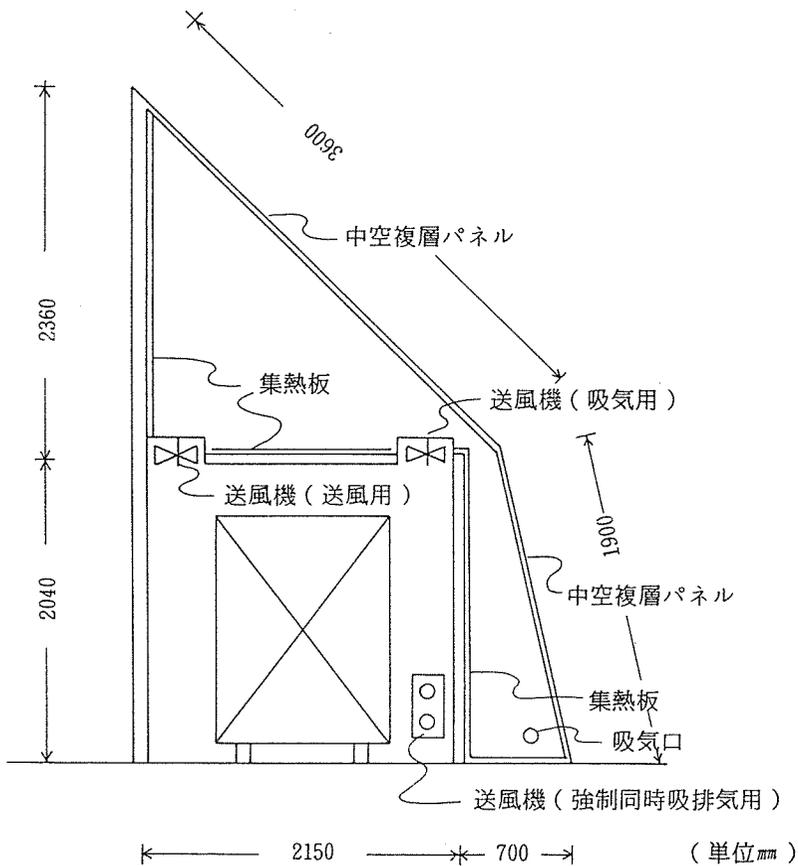


図-2 断面の概略図

(1) 基礎工事

建設する場所は、常に太陽の日射を受けるように週辺に障害物のない所を選ぶ。

基礎伏図を図-3に示す。

基礎は、コンクリートによる布基礎（アンカーボルト埋め込み）とする。

床は土間コンクリートを打って仕上げとする。その際、棧積みする室内には、玉砂利を敷きつめて整地し、レールを敷設するため枕木（防腐処理）を約60cm間隔に並べて、コンクリートを流し込む。レールを敷設後、保温効果を高めるため床全面をアスファルト（5cm厚）で覆う。

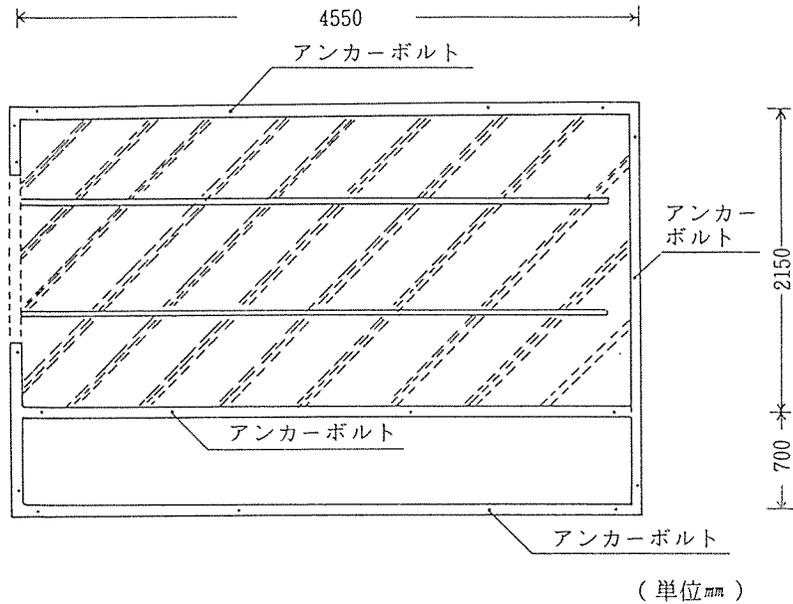


図-3 基礎伏図 縮尺 1/40

(2) 軸組み工事

基礎に防錆処理(クレオソート塗布)した土台を据えてアンカーボルトで固定する。

その平面図を図-4、軸組みを図-5~8に示す。また、図-9に軸組みした外観とその各部材の名称を示した。

軸組みする部材は、すべて十分に乾燥した木材を使用する。

年中を通して日光を受けるように屋根は勾配を45度、南の壁面は65度になるような構造とする。

構築に当たって、比較的複雑と思われる構造の細部の詳細を図-10、11に示した。

一通りの軸組みを終えると、内装工事にとりかかる。

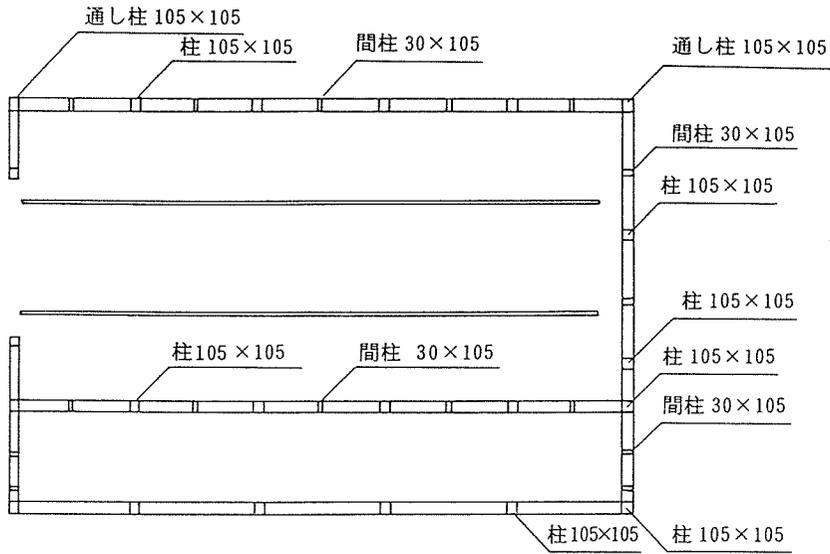


図 - 4 平面図 縮尺 1/40

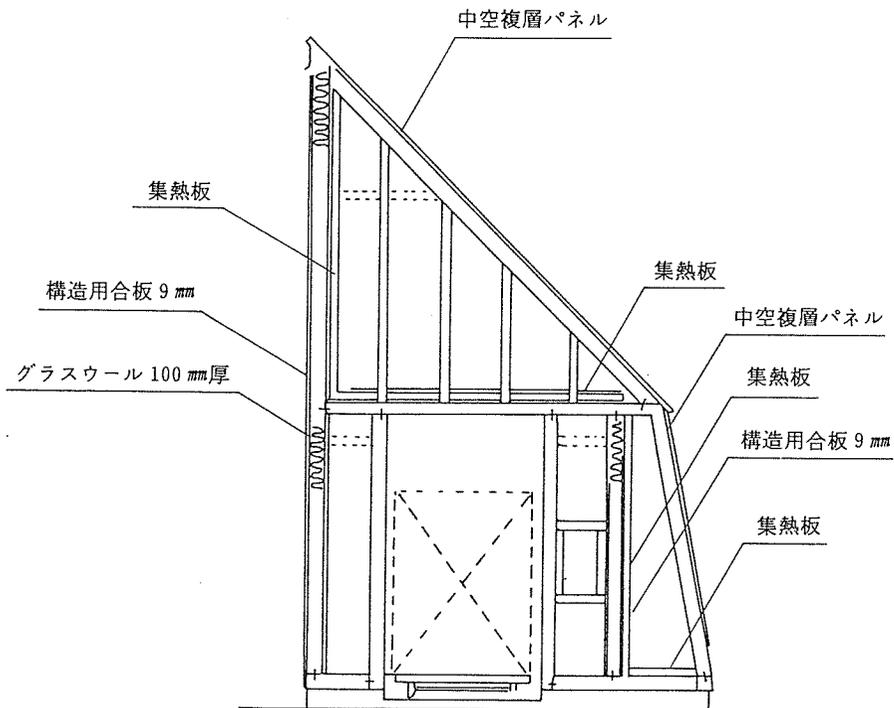


図 - 5 軸組み図 (西側)

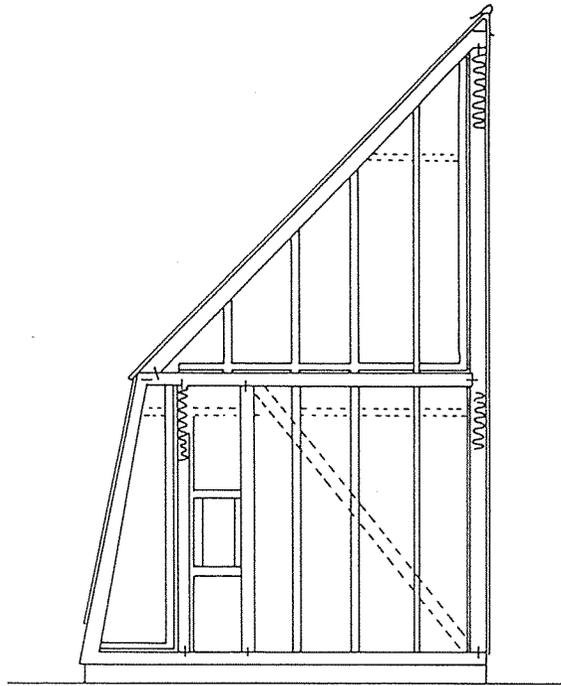


図 - 6 軸組み図 (東側)

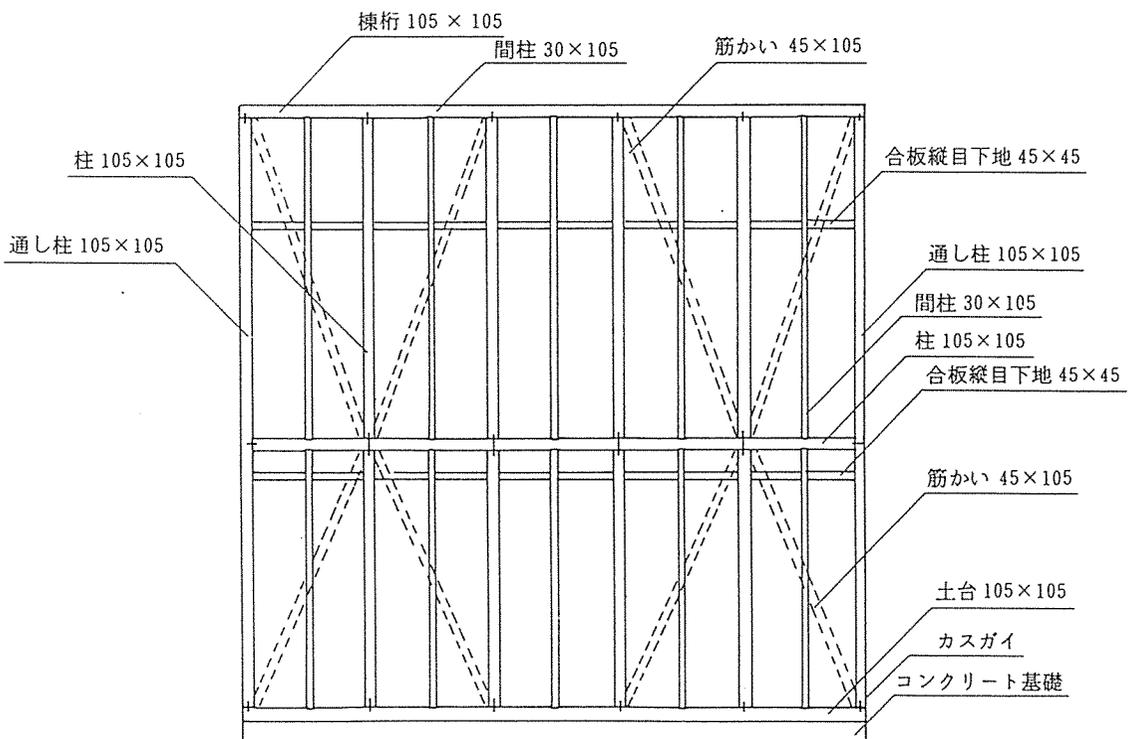


図 - 7 軸組み図 (北側)

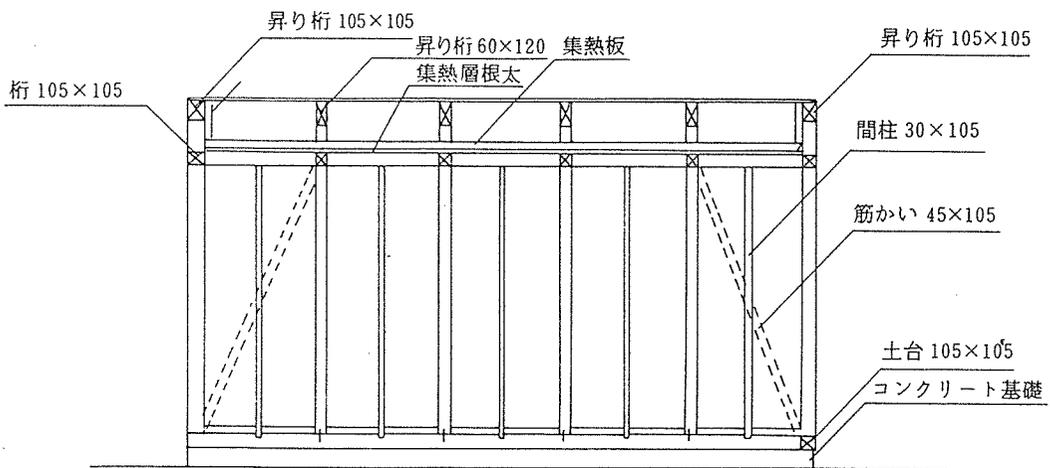


図 - 8 軸組み図 (南側中仕切り)

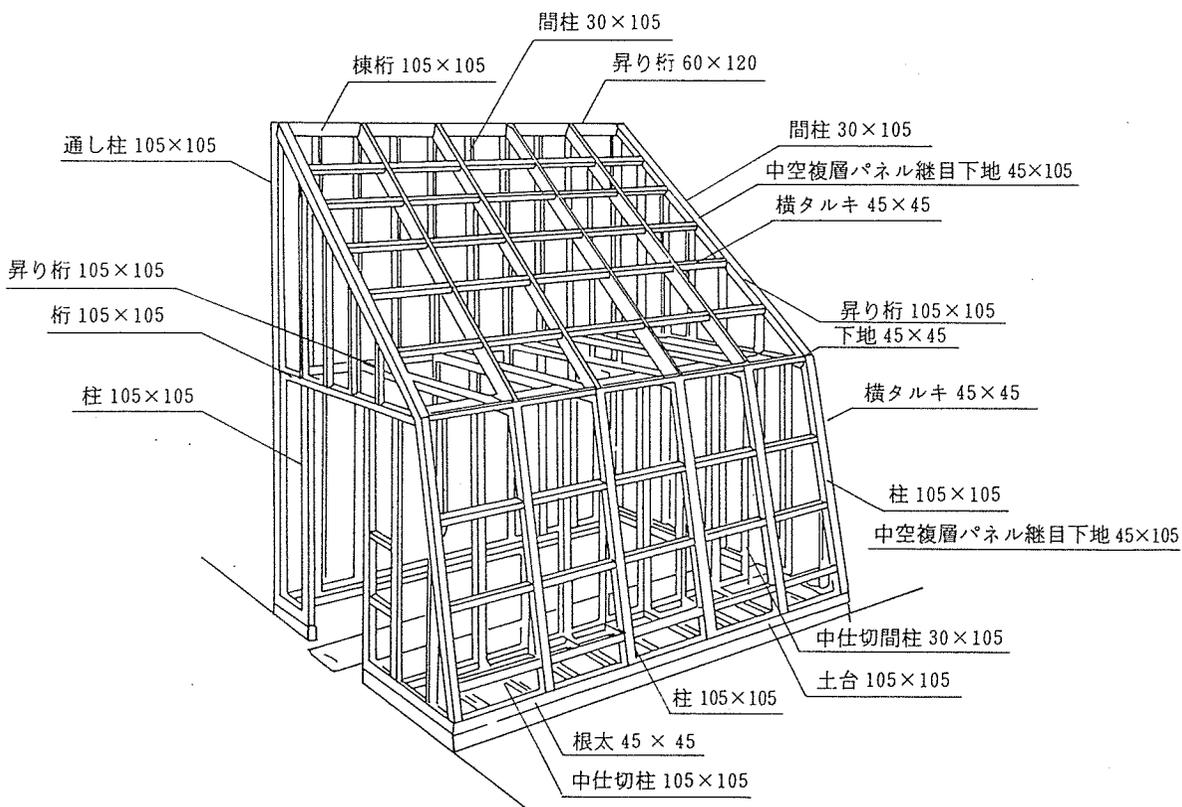


図 - 9 軸組み立体図

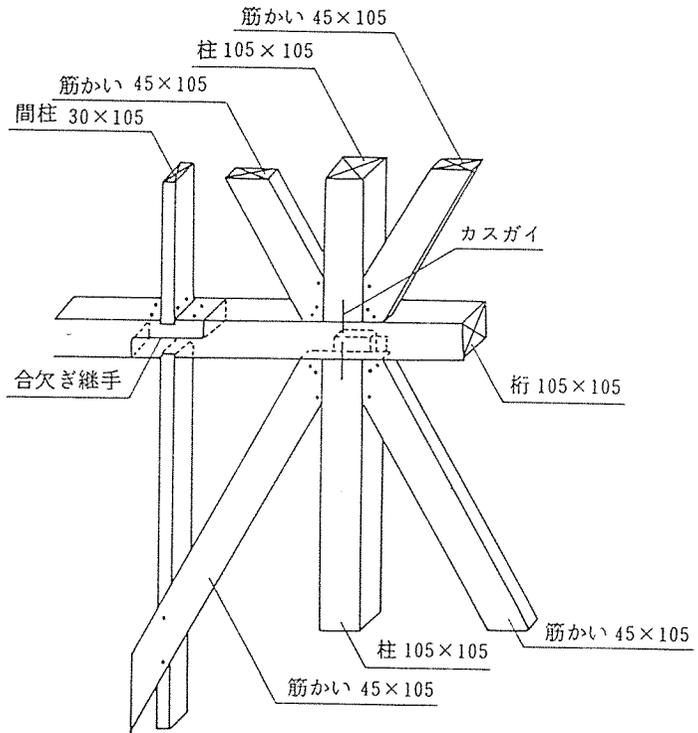


図 - 10 軸組み部の詳細図

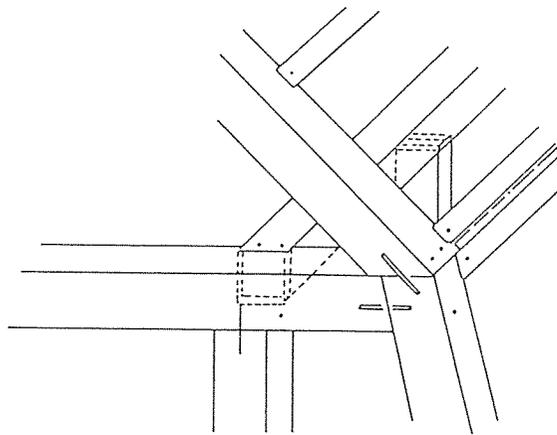


図 - 11 軸組み部の詳細図

(3) 内装工事

ア 壁体の取付け

南面以外の壁体と装置内の南側の間仕切り部には、断熱材（厚さ 100 mm、グラスウール）を入れ、これをはさむ形で壁体の両側から構造用合板（厚さ 9 mm）を打つける。

合板は風雨がかかる外壁には特類、それ以外は I 類の規格のものを使用し、取付けには専用釘を用いる。さらに、気密性を高めるため、合板の継目にはコーキング剤を埋め込む。

比較的複雑と思われる構造の細部を図 - 12、13 に示した。

壁体などの内装工事を終わると、次に集熱板を取付ける。

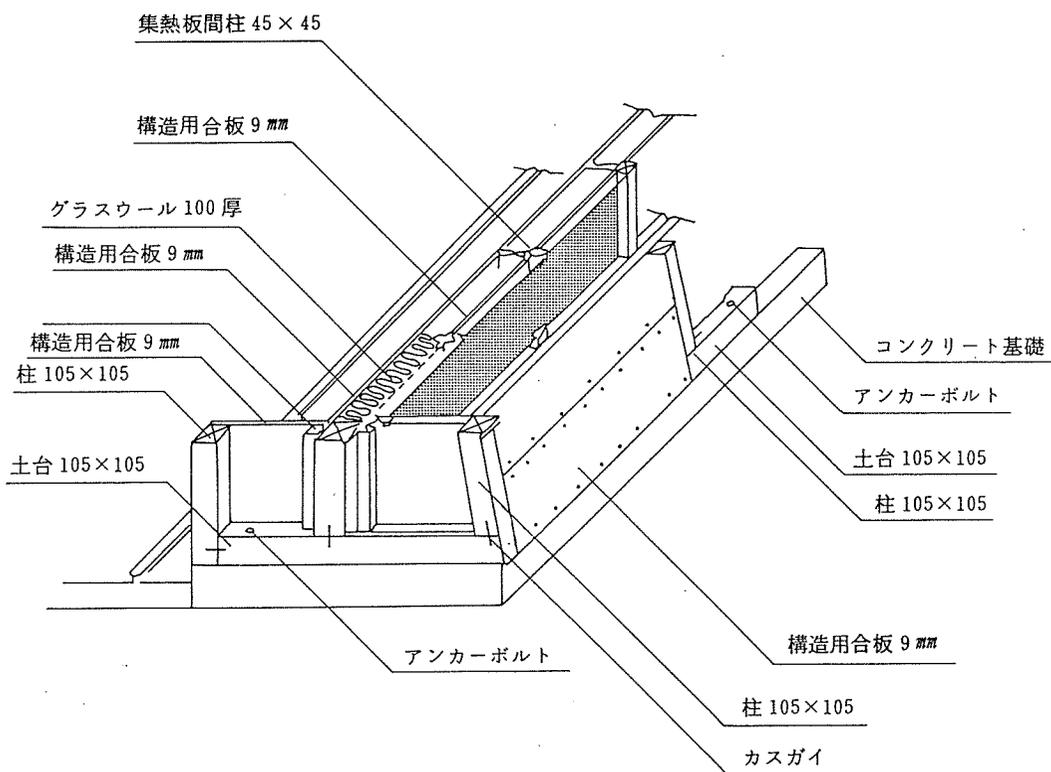


図 - 12 南面下部の詳細図

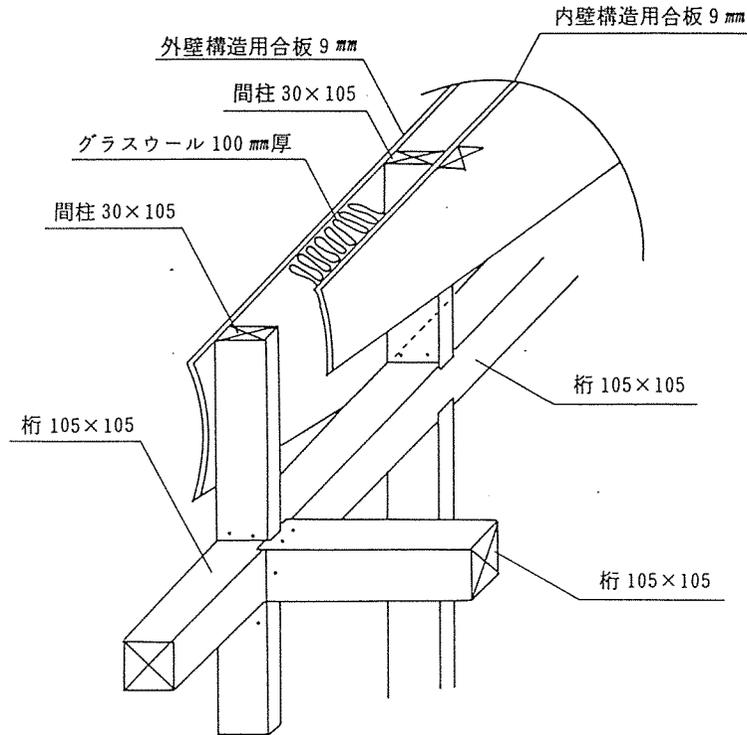


図-13 壁部の詳細図

イ 集熱体の取付け

太陽のエネルギーを受けて熱を吸収する集熱板は、比較的安価で熱伝導率のよい薄い平板として黒色亜鉛鉄板を使用する。この板の表面に日光が当たると熱を吸収して温度が上がり、これによって温度が上昇した空気を熱源として利用する。

集熱する室は、屋根の天井室と南面の三角集熱室であり、これを一体化した構造とする。

集熱板は日光を直接受ける壁面、すなわち、南面の壁及び天井部などの面材（構造用合板）にタルキ材を取付け、その上全面に張付ける。

タルキ材の取付けに当たっては、後述する送風機による温風がスムーズに乾燥室内に流れるような方向に取付け、集熱板がたわまない程度の間隔とする。

なお、集熱板を面材（構造用合板）壁体合板に直接張付けると太陽光の熱吸収が低下し、思うような熱効率が得られないことがある。

製作した装置の集熱面積は約 $30m^2$ である。

集熱板の取付け構造の詳細部分を図-14～16に示した。

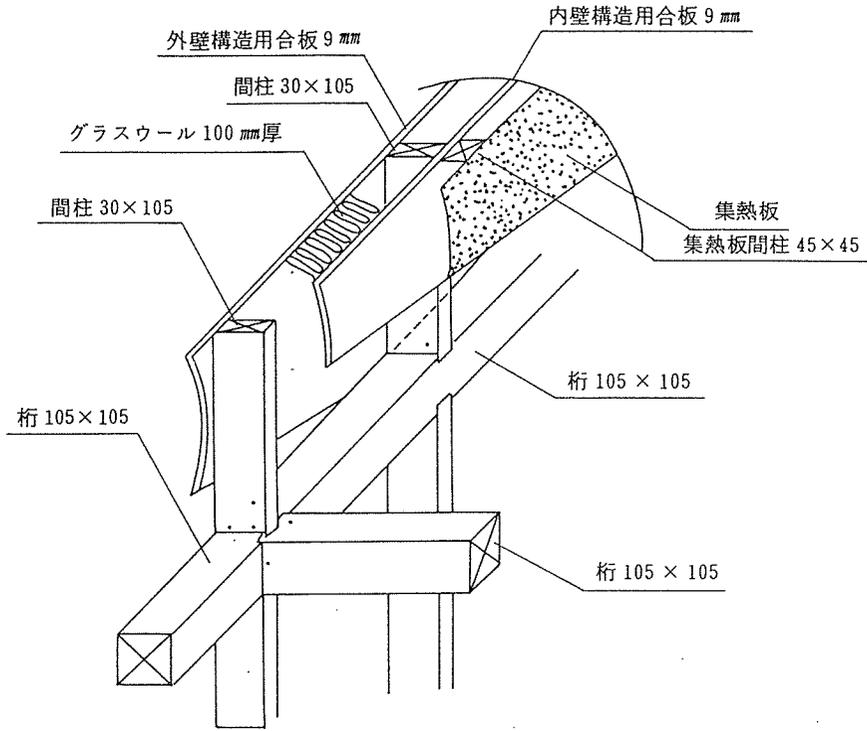


図-14 壁部の詳細図

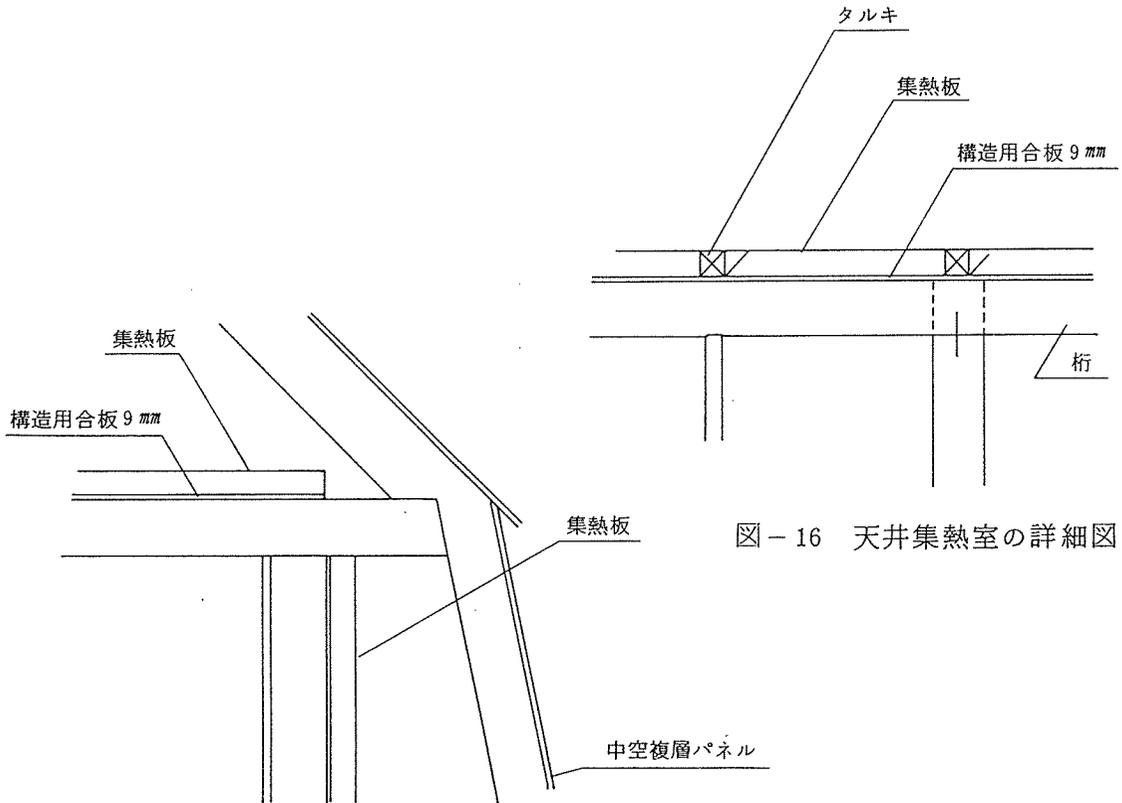


図-15 天井集熱室の詳細図

図-16 天井集熱室の詳細図

ウ 透過パネルの取付け

太陽光を透過させるパネルは、透過率が高く、かつ集熱板表面からの熱放射を遮る材料を選ぶことが必要である。ここでは、保温性・耐光性の優れている市販の中空複層パネル（9mm厚）を使用することにした。

中空複層パネルは、温度の変化により伸び縮みして破損するおそれがあるので、必ず釘径より2倍以上の大きさの穴をあけるようにする。また、風圧、積雪のたわみを考慮して、取付けには十分に留意する必要がある。

このパネルを骨組した屋根部と南面の壁部に取り付ける。特に北、東及び西面の壁体の上部とパネルとの接合部には、隙間が生じないようにコーキング剤をしっかりと埋め込む。

また、パネル間は専用のつなぎ材を使用して、仕様にしたがって施工する。

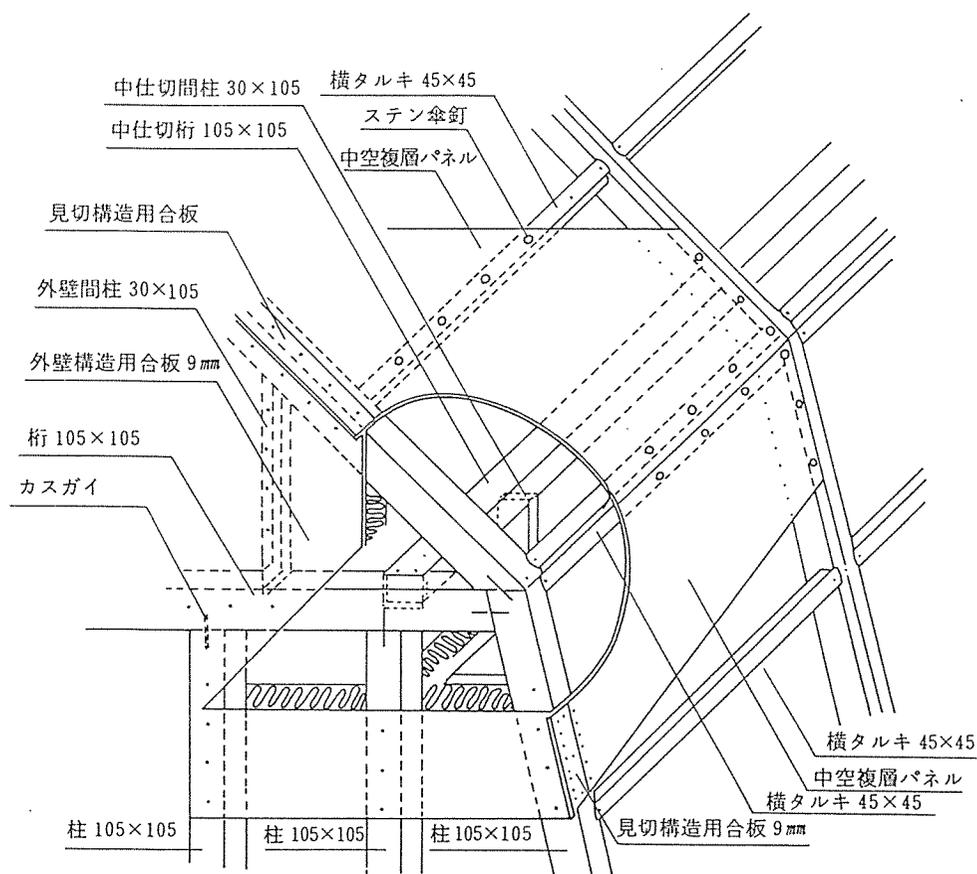


図-17 南面上部の詳細図

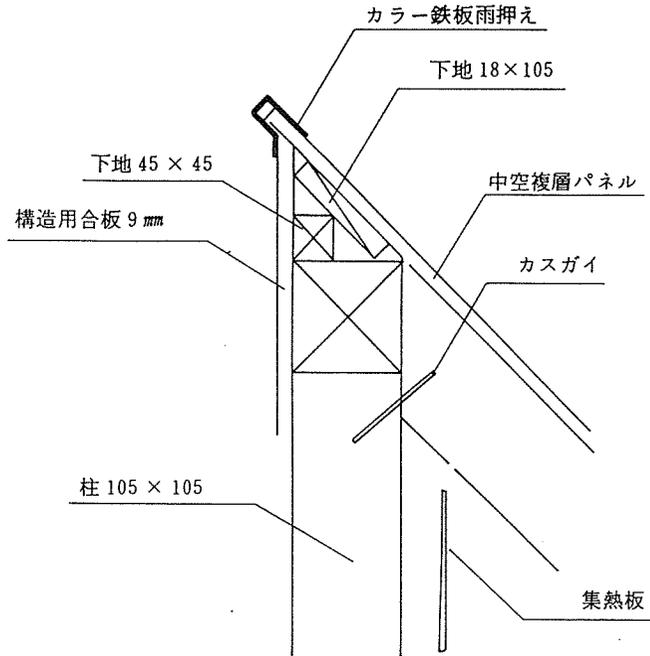


図-18 北面上部の詳細図

(4) 送風機の取付け

集熱室の熱エネルギー（過風）を装置内（乾燥室）に送る役目は送風機である。

本装置の送風機の取付け方法を、以下に示す。

ア 送風機は、装置内に吹込む送風用（直径35cm、風量 $43\text{m}^3/\text{分}$ ）と装置内の熱を吸出す吸気用（直径30cm、風量 $28\text{m}^3/\text{分}$ ）をそれぞれ北、南側の天井部に各2基を取付ける。

これらの送風機に、送風用には風量調節器、吸気用には自動タイマー制御機能装置をそれぞれ取付けてある。

イ 室温の熱損失を少なくする強制同時吸排気用送風機（熱交換効率70%以上、風量 $110\text{m}^3/\text{時}$ ）を東及び西面の壁体に各1基を取付ける。（図-1）

ウ 南面集熱室の東及び西面の壁体には、乾燥初期の必要外気量を取入れる開閉式の吸気口を設ける。（図-1）

その設置位置を図-19、温風の流れを図-20に示す。

なお、強制同時吸排気用送風機を用いない場合は、排気口による自然排気の方法でもよい。

その方法としては、

ア 装置内の送風機の取付けは、上記のアの項と同じである。

イ 強制同時吸排気用送風機の位置に、 $20 \times 25\text{cm}$ 程度の大きさの排気口を取付ける。

ウ 南面集熱室の東及び西面の壁体には、上記のウの項目と同様な吸気口を設ける。

なお、乾燥の進み具合は、送風機の大きさと風量によって決まるので、大きい装置を作る場合は、その台数を増やすか風量の大きいものを使用する。

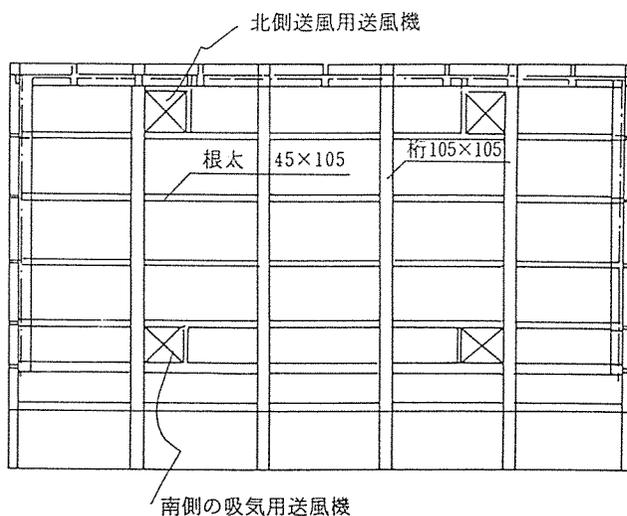


図-19 送風機の設置位置 縮尺 1 / 40

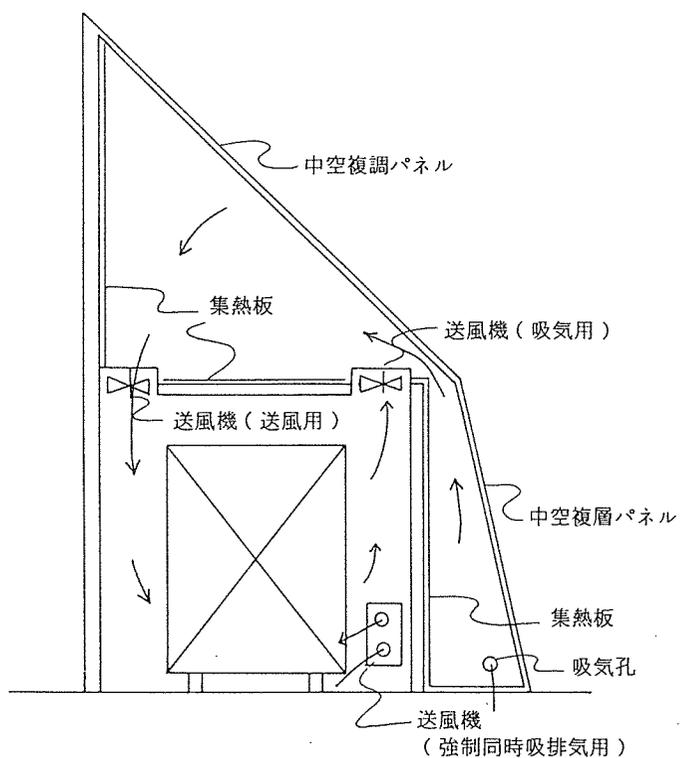


図-20 温風の流れの模式図

(5) その他

台車のレールは、装置と屋外を連結式にする。なお、屋外のレールは必要以外の時には、別の場所に置く移動式が最も簡単な方法であり、価格的にも安価である。

4 建設費

材料の仕様及び経費（昭和63年12月現在）は表－1のとおりである。

建設費は約117万円であり、うち材料費は約92万円となった。

表－1 仕様及び建設コスト

（昭和63年12月現在）

項目	品目	規格	数量	金額(円)
基礎関係	セメント		一式	34,000
	砂			
	砂利			
	アスファルト		2トン	12,000
組立関係	製材品		2.0 m	108,000
	断熱材	厚さ 100 mm	14 坪	14,560
	構造用合板	厚さ 9 mm	66 枚	99,000
	中空複層パネル	厚さ 9 mm	15 枚	180,000
	パネル用つなぎ		1 式	18,200
	黒色亜鉛鉄板	厚さ 0.35 mm	28 枚	42,000
電気関係	換気扇（送風用）	風量 43 m ³ /分	2 基	70,400
	換気扇（吸気用）	風量 28 m ³ /分	2 基	58,200
	空調換気扇	風量 100 m ³ /時間	2 基	79,600
	電気部材等		1 式	44,900
台所等	台所、レール等		1 式	130,000
その他	コーキング材		10 本	8,500
	釘類等		1 式	15,000
労務費	製作、諸経費等			194,400
	台車等製作費			58,000
総計				1,166,760

5 乾燥試験の結果

スギの正角材(11.5cm角)と平割材を用いて、冬季(平成元年1月)及び夏季(同8月)に、実証試験を行った。その乾燥経過の一例を図-21に示した。

その結果は次のとおりである。

- (1) 冬季の乾燥促進は極めて良好であり、含水率30%までの効果は大きい。
- (2) 冬季の乾燥は、天然乾燥に比較して約1/2の日数で含水率20%になった。
- (3) 夏季の乾燥は、天然乾燥に比較して約1/2~1/3の日数で含水率20%になり、これは人工乾燥に匹敵する乾燥速度であった。
- (4) 乾燥は、日射量による影響が大きい。
- (5) 建築材の乾燥用に、太陽熱利用乾燥装置を利用できることが確認できた。

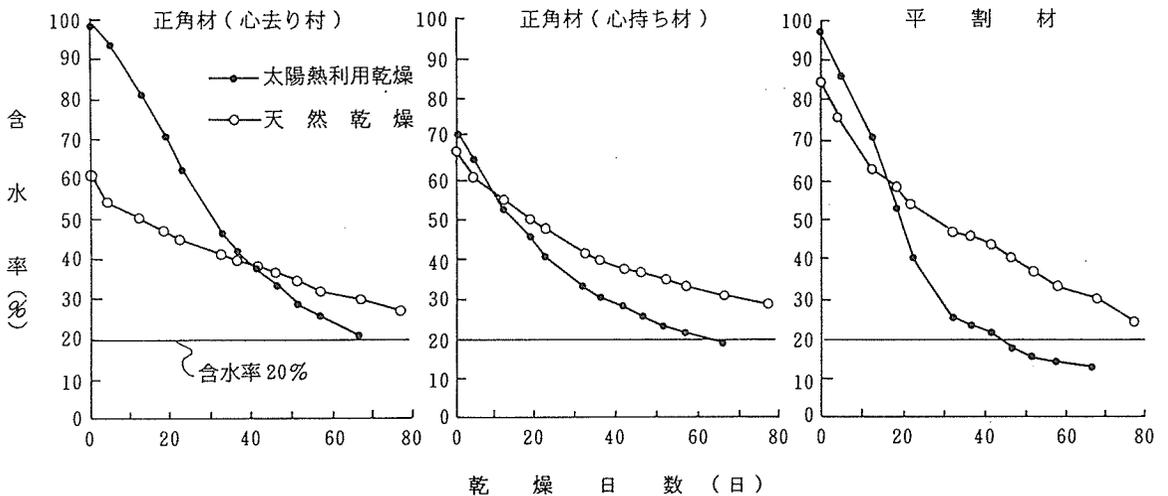


図-21 乾燥経過(冬季)

6 乾燥経費

乾燥の直接経費を電力費のみとして、含水率20%までの経費を表-2に示した。
なお、送風機は、送風用、強制同時吸排気用が連続運転、吸気用が日中のみの
間欠運転とした。

表-2 乾燥経費

季節	材種	乾燥日数 (日)	積算電力量 (kwh)	乾燥経費 (円/m ³)
冬季	正角材	66	545	3,170
	平割材	43	355	2,210
夏季	正角材	21	209	1,343
	平割材	9	92	571

注) 電力費(従電電灯乙)は、1 kwh 当り18円で試算した。

金川 靖*1・林 和男*2・渋谷昌資*2・安島 稔*3

1. 木材の透過性と研究目的

木材は種々の物理的特性が優れているにもかかわらず、燃える、腐る等の性質のみが強調され過ぎたきらいがある。ところが、木材は生物材料として完成度が高いため、一見欠点と見られるこれらの性質を補う合目的な特性を人為的に付加するのは非常に難しい。しかし現在では、化学加工に関する研究が発展し、木材の外観あるいは本来の特性を損なうことなく、最終用途に合致した特性を付与できるようになり、その一部は既に実用化されている。しかしながら、薄単板以外のある程度の寸法を持つ木材に対しては、これらの化学修飾は期待する程の効果が上がっていない。この最も大きな原因は木材の低い透過性にある。

木材の透過性は化学処理性ばかりでなく、乾燥性にも大きな影響を及ぼす。特に高周波減圧乾燥においては、木材中の水分の蒸発・排出に対する高周波エネルギーの効率的利用を決定し、乾燥速度や損傷の発生を決定するのは透過性であると言っても過言ではない。

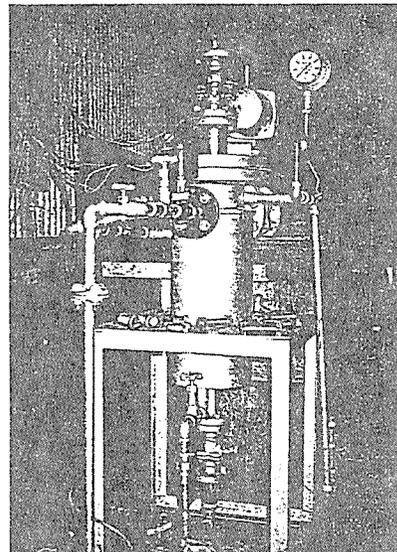
以上のように、木材の透過性の改善処理法の開発は多くの分野から望まれているところである。改善方法として、透過性を阻害する成分あるいは要素を化学的または(微)生物的に溶解・侵食する方法や、機械的に木材組織を破損する方法などが試みられてきた²⁾。しかしながら、十分な処理効果を得るには、前者は非常に長い処理時間を要し、後者は強度性能を低下させるなど実用化には至っていない。一方、丸太を100℃以上で燻煙処理すると短時間で通気性が向上する結果が報告されており³⁾、熱を利用した透過性の改善処理が実用化の可能性を持っている。

本報告で取り上げた「局所的爆砕法」は、ファイバーボード原料の作成方法として開発され、近年改めてバイオマス研究で注目を集めた「爆砕法」⁴⁾を緩慢な条件に修正し、木材の健全性は損ねず、透過性の阻害因子だけを取り除こうとする方法である。すなわち、針葉樹においては心材化の過程で閉鎖された壁孔を加圧蒸煮後の急速な復圧により破壊し、透過経路を作り出

そうとするものである。スギ材を用いた予備実験の結果、緩慢な条件の「局所的爆砕法」により心材部分の透過性が改善されることが明らかとなった。スギ材は、その有効利用あるいは用途拡大につながる各種処理技術の開発が特に望まれている樹種である。本研究は、透過性の改善によって化学処理性あるいは乾燥性を向上させ、スギ材の利用拡大に寄与せんとするものであり、「局所的爆砕法」は木材加工現場に導入可能な緩慢な条件で実現可能なことを示唆する結果を得たので、結果の概要および今後の研究計画について報告する。

2. 処理条件と処理効果の評価

処理装置の概要を第1図に示す。本処理の手順は、



第1図 処理装置本体の外観

木材ブロックを加圧蒸煮し、所定の処理時間後に急速に復圧するため、処理装置は、急速復圧装置を備えた耐圧缶体および温度(圧力)の自動制御装置を持つ加圧蒸気発生装置から構成される。本処理の主な目標は、木材組織の機械的な局所破損による透過経路の生成と確保、および木材の構造要素には極力損傷を与えない健全性の維持の2点である。したがって、加圧蒸煮処理による木材の劣化を抑え、かつ壁孔等の最弱部分を局所的に破損させるに十分な圧力(水蒸気圧)を木材

*1名古屋大学工学部 *2愛媛大学農学部 *3安島製缶㈱

細胞内に発生させる処理温度(圧力), 処理時間の設定が最も重要となる。従来の爆砕処理条件あるいは木材主要成分の軟化温度等を参考にして, 第1表に示す条件で予備実験を行った。なお, 復圧時間も処理効果に

第1表 処理圧力(温度)および処理時間

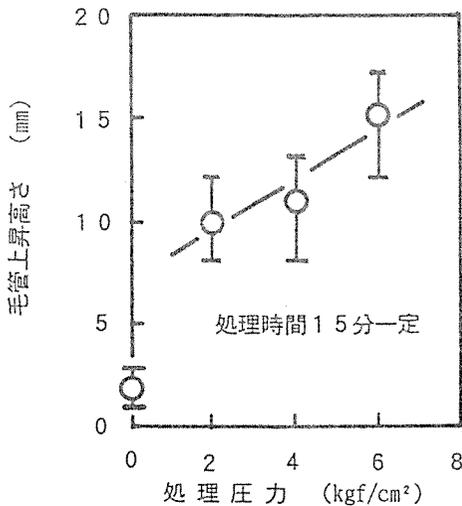
時間(min)	15	60	120
2 (140°C)	○	—	—
4 (150°C)	○	—	—
6 (165°C)	○	○	○

○: 予備実験実施条件

影響を及ぼす因子であるが, 今回は約8ℓの圧力容器に対して直径約7cmの排気管を用い, 瞬間的な排気により細胞内圧力を最大限利用した。

供試材料は, 黒芯材と呼ばれている心材色の濃いスギ生心材を用いた。試験材寸法は繊維方向約40cm, 横方向約5cm×5cmとし, エンドコートは施していない。

処理による透過性改善効果は, 染料の自然浸透による毛管上昇高さを測定し, 繊維方向につながる無処理基準試料と比較して評価した。用いた染料はダイレクトスカイブルー1%水溶液である。自然浸透による毛管上昇パターンは春夏材で異なり, グラスファー材程の極端な差は無いが⁵⁾夏材の浸透性が高い。また, 透過性が比較的低い春材部であっても, 板目面で数細胞と推定される極めて狭い部分で高い毛管上昇が観察される。したがって, ここでは極端に高い毛管上昇部分を除き, 春材部分で最も高い毛管上昇高さを測定し, 透過性の指標とした。測定部位は処理時の木口面および試料中心断面である。

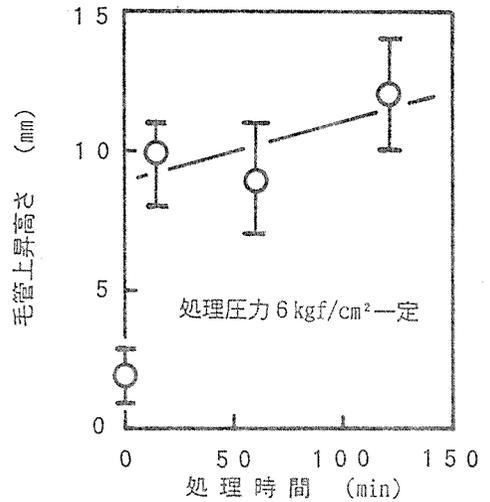


第2図 処理圧力の影響

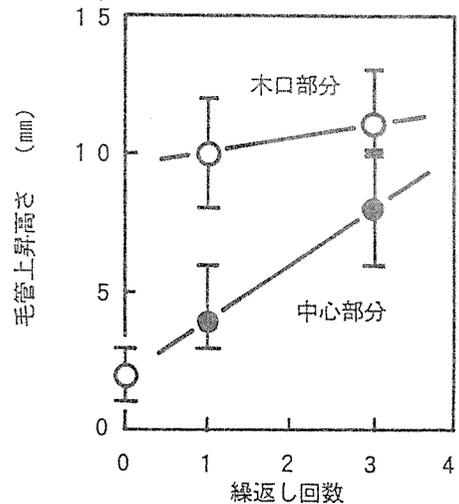
3. 処理効果の特徴

処理時の木口面における染料の毛管上昇高さを, 処理時間15分での処理圧力の影響を第2図に, 処理圧力6 kgf/cm²一定の下での処理時間の影響を第3図に示す。それぞれの影響を調べる試験材は繊維方向に連続したものを用い, 測定値は3~5断面における平均値およびばらつきの幅で示している。なお, 第3図, 第4図において圧力6 kgf/cm²時間15分の条件での毛管上昇高さが異なるが, 圧力と時間の影響を調べた一連の試験材の個体が異なるためである。測定値のばらつきは大きい, 両図から以下のような結論が得られよう。

1) 処理時間を15分一定とした場合, 圧力(温度)の



第3図 処理時間の影響



第4図 繰返し処理の影響
圧力6 kgf/cm², 時間15min

上昇に伴って透過性の改善効果は増大する。

2) 処理圧力 6 kgf/cm^2 一定とした場合、測定値のばらつきは大きい、処理時間の増加に伴って透過性は改善されるものの、その効果は顕著ではない。したがって、あまり長時間の処理は必要でない。

処理圧力 6 kgf/cm^2 60分以上の処理では木口から面に掛かる割れ等の損傷が発生する。また、試験材が樹心に近いこともあるが、乾燥後には落ち込みによる材面のへこみが認められるなど、材の健全性を損なう危険性が高い。

無処理基準材の毛管上昇高さは約 2 mm であるのに対して、圧力 6 kgf/cm^2 時間15分の処理によって処理時木口部分では毛管上昇高さは約 10 mm に増大し、透過性の改善が確認できる。同様に測定した無処理スギ赤心材およびヒノキ心材の毛管上昇高さはそれぞれ約 4 mm 、約 30 mm である。したがって、この処理によってスギ黒心材の木口に近い部分の透過性はヒノキ心材程ではないが、相当改善されていると推測される。一方、辺材部についてみると、処理、無処理に関わらず毛管上昇高さは大きく変化せず、ともに $35 \sim 40 \text{ mm}$ の範囲である。したがって、既に透過性の高い部分は本処理によってそれ以上の改善はない。すなわち、透過性の改善を局所的損傷の結果と考えれば、本処理は透過性の高い部分にはほとんど損傷を与えないと言えよう。

以上は処理時木口部分の結果であるが、処理試験材中央部分、すなわち木口面から約 20 cm の部分での毛管上昇高さは約 4 mm であり、透過性の改善効果は認められるもののその効果は木口部分に比べると低い。木口部分と同程度に透過性が改善されている範囲を求めるのは困難であるが、木口面から 10 cm 以内であろうと推定される。

4. 繰返し処理による改善効果の進展

上記の局所的爆砕処理では、スギ黒心材木口部分の狭い範囲だけ透過性が改善され、実用的な処理方法とは言えない。したがって、次いで、処理効果を試験材全体に及ぼすための方法として、材質を劣化させない緩慢な処理を繰返し実施する方法を試みた。

無処理基準材および圧力 6 kgf/cm^2 時間15分1回処理材と繊維方向に連続した試験材を用いて、同条件の処理を15分の放置時間を挟んで3回繰返し実施した。繰返し処理による透過性改善効果の進展を処理時木口部分と中央部分について第4図に示す。図から明らかなように、木口部分における透過性は繰返し処理によってあまり改善されない。一方、木口面から約 20 cm の中央部分は処理1回では毛管上昇高さは 4 cm であつた

のに対し、3回の処理により 8 cm と増大し、顕著な透過性の改善が認められる。繰返し処理によって木口部分と同程度の透過性改善効果が試験材の中央部分へ次第に進展していることは明らかである。

以上の結果は、1回の処理では木口部分の限られた範囲しか透過性が改善しない緩慢な処理条件でも、すなわち材の強度的特性を低下させない安全な処理条件でも、処理を多数回繰返すことによって長尺材全体の透過性を改善し得る可能性を示唆している。

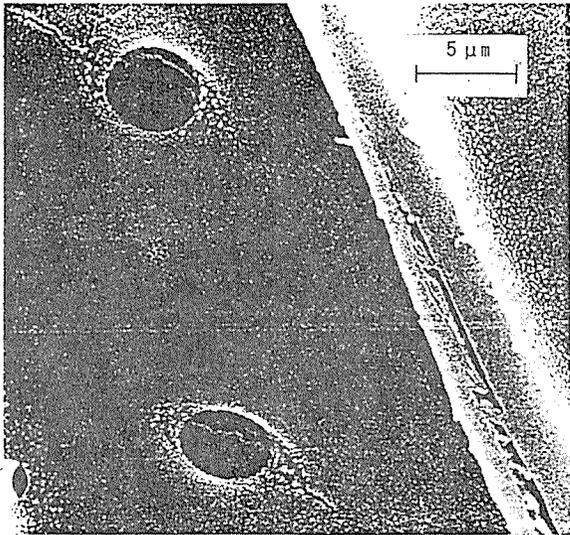
5. 処理による局所損傷の観察

局所的爆砕法の処理条件は緩慢であるといっても、温度は $120 \sim 160^\circ \text{C}$ であるため、処理時間が長いと湿潤状態では比較的軟化点の低いヘミセルロースやリグニンが豊富な細胞間層等の部分が損傷を受け易くなる。本処理で期待するのは、強度的特性を低下させる細胞壁あるいは細胞間層の損傷ではなく、透過経路を確保するための水蒸気圧力による閉鎖壁孔の開放である。したがって、予備実験の段階では、水蒸気圧力は許される範囲内で高くし、処理時間は材内部まで十分に加熱されるできるだけ短い時間、圧力 6 kgf/cm^2 時間15分の条件を基準とした。この基準条件を中心として、目視観察および処理によって生ずる損傷、すなわち閉鎖壁孔の破損と細胞間層の損傷に注目して、木口部分の走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察を行った。

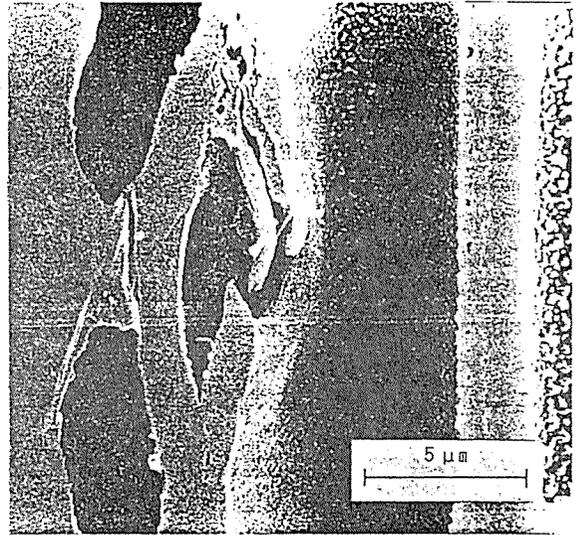
目視による処理材の観察および染料水溶液の浸透から処理による材の割れを調べた。圧力 6 kgf/cm^2 の場合、時間120分、60分の条件では、明らかに処理過程で発生したと判断される深さ 10 cm 以上の木口から面に掛かる割れが観察された。一方、第1表に示すその他の条件では、木口面にわずかに木口割れは認められるものの、それらが処理過程で発生したのか処理後の乾燥によって生じたのかは判断し難く、また木口割れの深さも 1 cm 程度であるため実用上は全く問題にならない。圧力 6 kgf/cm^2 時間15分の繰返し処理についても同様である。したがって、処理圧力 6 kgf/cm^2 時間120分および60分の条件は、明らかに材の健全性を維持するには厳しすぎる。圧力 6 kgf/cm^2 時間60分の処理による割れは細胞間層の損傷に起因するものと判断される。

第5図にこの条件における壁孔付近のSEM写真を示す。柁目断面においては、壁孔の破壊から細胞壁へのき裂の進展と細胞間層の剥離が、また、板目面では有縁壁孔を閉鎖していたツールが破壊され、透過経路を生成している様子が明確に観察される。

一方、処理圧力 6 kgf/cm^2 時間15分の処理を1回および3回実施した場合の柁目面での閉鎖壁孔の状態を第6

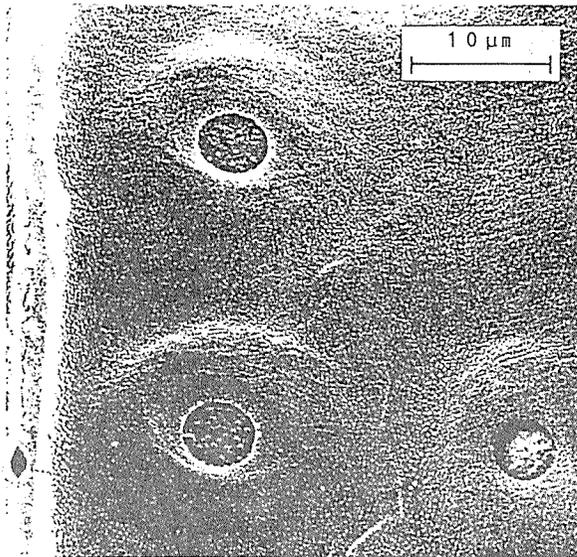


(a) 柁目面

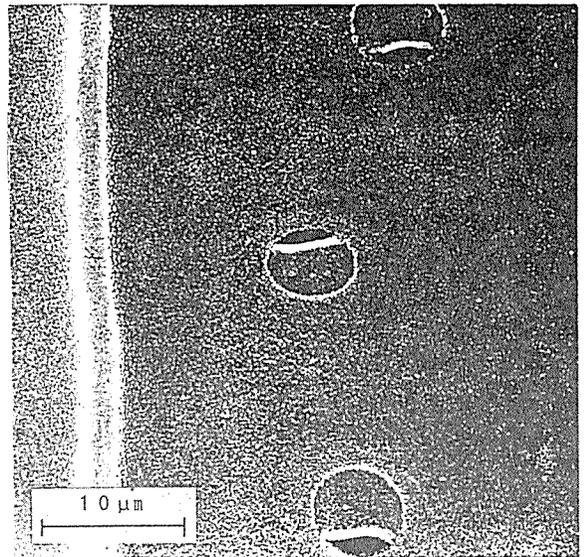


(b) 板目面

第5図 圧力6 kgf/cm², 時間60min処理による損傷



(a) 1回処理



(b) 3回繰返し処理

第6図 圧力6 kgf/cm², 時間15min繰返し処理による閉鎖壁孔部の損傷(柁目面)

図に示す。1回の処理によって壁孔を閉鎖していたトールスが壁孔縁に沿って裂開あるいはトールスが壁孔縁から剝離している様子が観察されるが、その破壊は細胞壁にまでは進展していない。これに対して、3回の処理によってトールスの破壊が進展し、その裂開部分が増大しているものの、これらの処理によっては細胞壁の破損あるいは細胞間層の剝離はほとんど認められない。第5図、第6図から明らかなように、処理条件

が異なると典型的なトールスの裂開状況は変化するが、第3図、第4図に示した大差のない毛管上昇高さの結果から、裂開部分の面積あるいは透過性改善への寄与は全体的に大差はないものと推測される。

以上の観察結果は、圧力6 kgf/cm²時間15分の処理を繰返すことによって、細胞壁および細胞間層の損傷を発生させずに透過性を改善し得る可能性を示している。

圧力 6 kgf/cm² 時間 15 分を局所的水蒸気爆砕処理法の基準条件とし、スギ黒心材の透過性改善結果を示した。上記予備実験結果の範囲内では、圧力 6 kgf/cm² 時間 15 分の条件では強度低下をもたらす損傷は認められなかったが、材質むらやスギ材以外への適用を考慮すると、1 回の最適処理条件は圧力 4 kgf/cm² 前後、時間 15~30 分程度であろう。最適な圧力(温度)、時間および繰り返し回数等の処理条件は今後の詳細な実験に待たねばならないが、上記の結果はこの処理を多数回繰返すことによって長尺材全体の透過性が改善できる可能性を示している。

今後の研究課題としては、透過性の改善と材質劣化(強度特性低下、変色等)と処理条件との関係を明らかにし、最適処理条件を見いだすことは勿論のことながら、透過性の評価方法、特に繊維方向に分布する透過性の評価方法の開発、透過性改善による高周波減圧乾燥の効率化、長尺材および広葉樹を含めた他樹種への適用、乾燥あるいは薬剤注入等の処理後の加工に要求される透過性改善の程度を明確にする等明らかにすべき課題は多い。将来の夢としては、透過性改善、薬剤注入・回収・反応、乾燥等の一連の加工過程を 1 つの装置・システムで行い、スギ材の利用拡大を含め、木材の高付加価値化、機能化へ寄与したいものである。

- 1) 金川 靖, 寺沢 真: 木材の高周波減圧乾燥(2), 木材工業, 39 (4), 168 (1984)
- 2) 例えば, 大越 誠, 中戸莞二, 佐道 健: 針葉樹材中の液体流動における壁孔膜小孔の寄与, 木材学会誌, 28, 590 (1982)
- 3) 金川 靖, 奥山 剛, 服部芳明: 直接熱処理による木材透過性の改善, 木材学会誌, 34, 479 (1988)
- 4) 例えば, 棚橋光彦他: 爆砕処理木材の特性解明(第 3 報), 木材学会誌, 35, 654 (1989)
- 5) 近藤久晴, 金川 靖: ダグラスファー材の通水性に関する研究, 材料, 32, 875 (1983)



局所水蒸気爆砕法によるスギ材の乾燥性の改善（本報）

金川 靖*1・林 和男*2・渋谷昌資*2・安島 稔*3

Improvement on Dryability of SUGI Wood by Local Steam Explosion Pre-treatment⁺

YASUSHI KANAGAWA*1, KAZUO HAYASHI*2, MASASUKE SHIBUYA*2
MINORU YASUJIMA*3

*1School of Engineering, Nagoya University

*2School of Agriculture, Ehime University

*3Yasujima Co., Ltd.

Diameter of Sugi log (*Cryptomeria Japonica* D. Don) produced from plantation is small and density is low. Many logs have so-called the black heartwood whose green moisture content is extremely high. In addition, physical and mechanical properties vary in the wide range. Those characters are disadvantages for more effective utilization of Sugi wood. It is necessary to improve the permeability and dryability of Sugi.

Authors reported previously that the permeability was improved by the local steam explosion treatment. In this study we investigated the effect of improved permeability of the black heartwood of Sugi on dryability. Such result was obtained in this study as free water in the green wood was reduced to some extent by the treatment and drying time in vacuum drying with radio frequency heating system could be shortened.

はじめに

スギ人工造林木は、小径木であるばかりでなく、柔か過ぎることやいわゆる黒芯材とよばれる高含水率心材が多い等の材質的な欠点を持ち、未だ有効に利用されていないのが現状である。スギ材を素材として有効利用するには、その材質と乾燥性の改善が不可欠である。現在では木材の化学的改質処理法の開発が飛躍的に進歩しているが、スギ材は透過性が低く処理薬剤の浸透が容易でないため、これらの処理技術が活かされていない。また、高含水率心材は含水率が高いだけでなく、乾燥速度が非常に遅く、乾燥時間が20日以上を要することが多く、乾燥経費の高騰の原因となっている。

⁺ 第42回日本木材学会大会（名古屋）において発表。

*1 名古屋大学工学部

*2 愛媛大学農学部

*3 ㈱ヤスジマ

透過性あるいは通気性と乾燥性との関係は未だ明確でないが、高周波減圧乾燥のような材内外の絶対圧力差で内部水分を排出する乾燥法ではその影響は顕著であり、一般に熱気乾燥においても透過性の影響は少ないとはいえない。したがって、材質の改善あるいは乾燥性の改善に共通して関連する基本的物性は透過性であり、透過性の改善によりスギ材の有効利用の可能性が広がるものと考えられる。

透過性改善の試みは多くなされているが¹⁾、木材はその構造的完成度が非常に高いため、実用性のある成果はほとんど報告されていない。しかしながら、筆者らは加圧水蒸気による木材の熱軟化とその後の瞬間復圧により木材細胞を局所的に破壊する局所的水蒸気爆砕処理法を開発し、この短時間の処理によりスギ黒芯材の透過性が改善されることを報告した²⁾。本論文では、本処理法によるスギ黒芯材の透過性の改善効果とその乾燥性に如何に影響を及ぼすかを検討した。

1. 試験材および実験方法

1.1 試験材

石川県産の黒ヒスギ生材を用いた。辺材を一部含む10.5cm心持ち角材とし、1本の丸木内では材質は一定とみなして、1本の柱材から無処理材および各条件での処理用試験材を切り出した。試験材の寸法は10.5cm×10.5cm×30cmとし、処理に際しては両木口ともシールは施していない。

1.2 処理条件

処理水蒸気圧力は4気圧一定とし、処理時間15分、その後瞬間復圧し大気圧中に15分放置する工程を1回の処理とした。この処理を1～6回繰返し、繰返し処理の影響を無処理材と比較しながら検討した。また、処理前後の重量測定から、脱水とでも言うべき処理自体による含水率の低下を求めた。

1.3 乾燥法および乾燥条件

透過性あるいは通気性が乾燥時間の決定要因である高周波減圧乾燥法によって乾燥性の改善効果を検討した。乾燥装置は前報²⁾と同じ実験室規模の装置を用いた。試験材は爆砕処理材そのものを用い、木口面は透過性改善効果を強調するためにエンドコードは施していない。乾燥条件は、試験材中央部の表層材温が40℃一定となるように高周波出力をOn-Off制御した。また、罐内圧力は乾燥時間120時間までは55mmHgとし、その後は乾燥条件を厳しくするため50mmHgとした。これら材温、罐内圧力は乾燥速度を制御するもので、熱気乾燥法における温度、湿度の設定に相当する。なお、乾燥経過中の含水率の測定は、所定の時間に乾燥を中断し、各試験材の重量を測定し、平均含水率として表した。

1.4 透過性の評価方法

試験材を乾燥した後、繊維方向に添って4等分割した5cm×5cm×30cm材を繊維方向に2分割し、5cm×5cm×15cm浸透性測定用試験片を作成し、処理時の開放木口面以外の面をシリコン樹脂でシールした。この試験片をダイレクトスカイブル1%水溶液に浸漬し、減圧3時間—常圧21時間の条件で染料を注入した。乾燥後、柢目面で割断し、柢目面における試験片全幅に対する染料浸透部分の幅の比率を求め、気乾状態での浸透性を易浸透部分の比率として表し、無処理材との比較において改善効果を評価した。

2. 結果および考察

2.1 透過性の改善

4気圧の加圧水蒸気による透過性の改善およびその他の効果を第1表に示す。易浸透部分の比率は開放木口面からそれぞれ1, 7, 13cmの位置での結果を表している。なお、試験材の番号は〔試験体名〕—〔処理圧力〕—〔繰返し回数〕を表している。

第1表 局所的水蒸気爆砕処理の効果

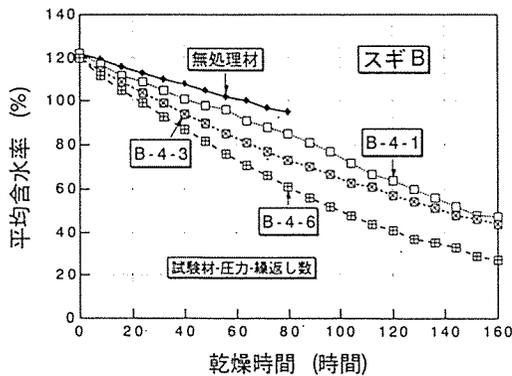
試験材	易浸透部分の比率 (%)			処理による含水率低下 (%)	乾燥初期含水率 (%)
	1 cm	7 cm	13 cm		
B-0	18.6	8.5	5.7	-	142
B-4-1	40.2	19.0	12.0	1	140
B-4-3	64.5	55.7	49.8	4	129
B-4-6	72.5	56.5	50.8	13	120

表から明らかなように、処理により透過性の指標である易浸透部分の比率は増大し、繰返し処理の効果が顕著である。繰返し回数が3, 6回になると木口面から13cmの試験材中央部付近でも易浸透部分の比率はそれ程低下しないことから、処理を繰り返すことによって処理効果が木口面から徐々に繊維方向へ進展していくと考えるよりも、1回の処理によって繊維方向にある程度の深さまで(今回の試験では少なくとも15cm程度)処理効果があり、繰返し処理によって試験材全体での処理効果の程度が徐々に増大すると考えた方が合理的である。易浸透部分の比率は柢目面上で測定した値の平均値であるが、これらの値は木口断面での浸透が容易な部分の面積率に対応する。易浸透部分の透過性は均一であると仮定しても、4気圧6回の繰返し処理により全体としての透過性は約8倍に改善されている。さらに、処理により易浸透部分の透過性自体も改善されるであろうことを考慮すれば、総合的には8倍以上の透過性改善が期待される。

また、6回の繰返し処理では易浸透部分の比率はほとんど増大していないが、今回の処理時の水蒸気圧力あるいは加熱時間条件では透過性改善効果には上限があるとも考えられる。しかしながら、処理のメカニズムの解明のためにはさらに多くのデータの蓄積が必要であり、特に、長尺材における浸透性改善効果の繊維方向の分布を明らかにすることが実用上重要である。

2.2 乾燥性の改善

生材時の含水率の違いあるいは処理に伴う脱水効果の違いによって乾燥試験開始時の初期含水率は第1表のように異なる。したがって、比較を容易にするために平均含水率120%以降の乾燥経過曲線を第1図に、ま



第1図 含水率120%からの乾燥経過曲線

た、含水率低下に伴う乾燥速度の変化を第2図に示す。無処理材については、乾燥時間が非常に長いので、乾燥開始後80時間で乾燥試験を打ち切った。

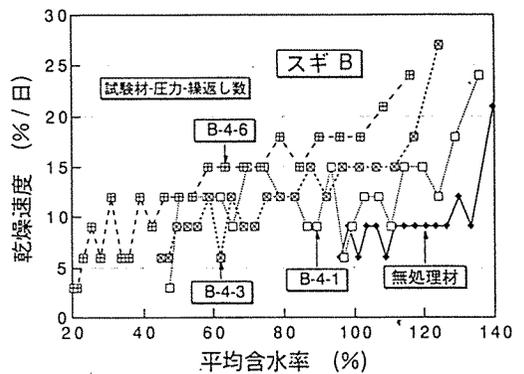
2.2.1 処理による脱水効果

処理後の含水率の低下は、3回処理に比べ、6回の繰返し処理の効果が顕著である。これは改善された透過性を利用して、瞬間復圧時に自由水が排出されるものと推測でき、処理による含水率の直接的な低下(脱水効果)はある範囲以内では繰返し処理回数に比例するものと思われる。

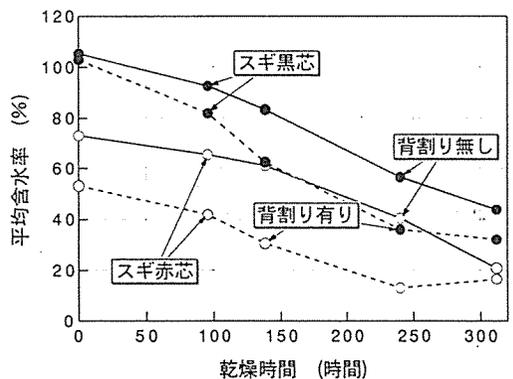
6回繰返し処理による13%の含水率の低下(第1表)は、無処理材乾燥初期の乾燥経過から換算すると約2日間の乾燥時間に相当する。これは本乾燥試験における平均含水率20%までの推定乾燥日数約15日に対して1割強となり、処理による脱水効果は無視できない。長尺材においても処理による脱水効果が同様に期待できるかは、本試験の範囲内では不明であり、処理後の最尺材長さ方向の含水率分布を調べる必要がある。また、この処理による脱水効果は、高温蒸煮処理と同様に初期含水率が100%を越えるような高含水率材のみで認められる現象であり、生材含水率の低いベイマツ材等では処理により含水率が若干増大することもある。

2.2.2 乾燥時間の短縮効果

繰返し処理回数の増加に伴って乾燥速度は増大し、乾燥開始後80時間での含水率低下量は、無処理材(B-0)約25%に対して、6回処理材(B-4-6)では約60%に達し、透過性改善に伴う乾燥性の向上は顕著である。本乾燥試験では透過性の改善効果を強調するため、両木口が開放された短尺試験材を用いているため、第1図の結果から実大材の乾燥時間を推定することはできないが、乾燥初期の無処理材の乾燥速度が維持される



第2図 処理による乾燥速度の増大



第3図 スギ赤芯材と黒芯材の乾燥経過の比較

とすれば、6回繰返し処理により平均含水率20%間での乾燥時間は無処理材の約1/2程度に短縮されることになる。さらに、乾燥後半では乾燥速度が半分以下に低下することを考慮すれば、多数回の繰返し処理により乾燥時間は約1/3程度まで短縮できるものと期待できる。

別途行ったスギ実大心持ち柱材の高周波減圧乾燥試験結果を第3図に示す。無処理であり、試験材寸法は10.5cm×10.5cm×300cmである。赤芯、黒芯柱材を用い、それぞれ背割り有り、無しの4条件の試験材各5本について実用規模の乾燥機で試験を行った。第3図中にはこれら5本の平均値で乾燥経過を示している。なお、含水率は試験材の重量測定により平均含水率で表している。乾燥条件は乾燥全期間を通して表層材温約30℃であり、罐内圧力は42mmHgとした。初期含水率から平均含水率20%までの乾燥時間は背割り無し黒芯材で最も長く約20日(推定)であり、一方、背割り無し赤芯材では約13日である。本乾燥条件において、材中心部分の温度は表層に比べ乾燥前半は+1℃程度であり、乾燥後半では+5℃程度の材温分布が測定された。また、齋藤らの結果⁵⁾から、背割り有り芯持ちスギ柱材の

通常の高周波減圧乾燥時間は、初期含水率によって異なるが、平均含水率20%まで5～9日と推定され、本試験結果に比べ相当に短い。したがって、本乾燥試験条件は相当に緩やかなものと判断される。しかしながら、同一の乾燥条件による赤芯、黒芯背割り無し芯持ち柱材の乾燥時間の相対的な比較は可能であり、第3図の結果から赤芯材は黒芯材の約2/3の乾燥時間であることが分かる。したがって、局所的水蒸気爆砕処理によって黒芯材は赤芯材以上の乾燥性に改善されたと考えられる。

2.2.3 乾燥による損傷

爆砕処理材の乾燥経過中の損傷発生は無処理材と同程度であり、表面割れは全く認められなかった。また、乾燥経過中の中心部材温は表層温度と変わらず、第3図の乾燥条件以上に非常に緩慢な条件で乾燥を進めたと判断される。高周波減圧乾燥法の最大の特長は、誘電加熱による均一加熱と減圧下での活発な表面水分蒸発により表層部分の材温が低下するため中心部分の材温が高くなり、この温度差によって生ずる絶対圧力差によって、拡散ではなく、流れとして水分を材外に排出する乾燥メカニズムである。材中心部分の温度上昇は、誘電加熱により材内で蒸発する水蒸気量と排出される水蒸気量のバランスによって決まる。本試験で観測された均一な材温分布は、材中心部分が加圧状態になっていないことを意味し、本乾燥メカニズムを十分活かしていないことになる。この原因として通気性(透過性)が非常に高い、あるいは蒸発量が非常に少ないことが考えられる。しかし、無処理材においても材温分布はほぼ均一であることから、蒸発量が少ない、即ち、投入した高周波エネルギーが不十分であったものと判断される。

以上の結果、本処理材に対してはもっと厳しい乾燥条件が許されることとなり、透過性改善効果が乾燥性向上に寄与する割合がさらに高まるものと思われる。

おわりに

局所的水蒸気爆砕処理およびその後の高周波減圧乾燥試験の結果、以下の各項が確認された。

- 1) 水蒸気4気圧3回繰返し処理によって、透過性は顕著に改善されるが、さらに6回繰返し処理では透過性の進展は余り認められない。処理条件により透過性改善の程度には限界があるものと推測される。また、木口面から7cmおよび13cmの部分の透過性の改善効果はほとんど同じであることから、各処理条件においても繰返し処理回数の増加に伴って試験材

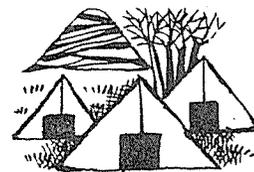
全体の透過性が徐々に改善されるものと判断される。

- 2) 高含水率スギ材においては本処理自体により含水率の低下が認められた。この脱水効果は、6回処理では13%に達し、乾燥時間の短縮にとって無視できない効果がある。
- 3) 透過性の改善は、直接乾燥速度の増大をもたらし、乾燥時間の短縮効果は顕著である。6回処理材の乾燥時間は無処理材の1/2～1/3程度となることが推測され、これは黒芯材を局所的水蒸気爆砕処理することにより赤芯材以上の乾燥性に改善できることを示唆している。

以上は繊維方向30cmの木口を開放した短尺材の試験結果から得られた結論であるが、本爆砕処理により試験材全体の透過性が改善されること、乾燥条件が緩であったにもかかわらず、透過性の改善効果が乾燥時間の短縮効果に直接強く寄与すること等から、実大材においても本局所的水蒸気爆砕処理法の効果は実現されるものと期待できる。

引用文献

- 1) 例えば、小林好紀、渡辺和夫、今村祐嗣：第41回日本木材学会大会研究発表要旨集、370(1991)
- 2) 金川 靖、林 和男、渋谷昌資、安島 稔：木材工業、46(10)、468-472(1991)
- 3) 金川 靖：木材工業、40(2)、66-70(1985)
- 4) 寺澤 眞、小林拓治郎：木材工業、29、378(1974)
- 5) 齋藤周逸、久田卓興：第41回日本木材学会大会研究発表要旨集、365(1991)



第4章 乾燥材の建築材としての利用と寸法変化

1 建築現場における製材品の含水率、品法変化の実態調査 岡山県木材加工技術センター 平成2年度業務報告

河崎弥生・見尾貞治・金田利之

1. はじめに

住宅の品質管理を考える上で、建築部材の水分管理を行うことは極めて重要な点である。当センターでも、昭和63年度より、建築現場における部材の含水率などの実態調査を継続し、昨年度までに、県南・県北地域の8棟の住宅について、上棟および内装直前時の含水率などのデータを得た。この結果、県南地域に多く見受けられる外材を主体とする住宅では、乾燥材を使用しようとする意識が希薄であることが知られた。これに対し、県北地域では、国産材を主体とする住宅が多く、しかも、材の品質の良否は別にして、乾燥材を使いたいとの要求は極めて強いことが明らかになった。

本年度は、県南と県北における典型的と考えられる住宅について、多少詳細な調査を行った。得られた結果を基にして、住宅部材が住宅の品質に与える影響などについての考察を行った。

2. 方法

1) 調査場所

岡山市および津山市

2) 対象建物

第1表に概要を示す。

県南地域の住宅Aはベイマツを主体としている。柱材などの見掛かり部分ある

いは外材との価格差がない樹種に国産材を使用し、見かけ上の高級感を持たせようとした都市型住宅で、最近よくみられるものである。

一方、県北地域の住宅Bは、原則として国産材を使用している。しかも、こまい竹を使って土壁を塗るといった典型的な在来工法住宅でもある。

3) 調査方法

①調査時点

上棟直後と内装直前の2回調査した。その間隔は、住宅Aで約1カ月(7~8月)、住宅Bでは約2カ月(8~10月)であった。

②測定部材

柱、土台、梁、大引き、根太、敷居、鴨居など

第1表 調査対象の概要

対象建物		建築様式			延べ面積 (㎡)
記号	地域	本体構造	外壁	屋根	
住宅A	県南部	木造2屋建て	モルタル	寄棟	213.32
住宅B	県北部	木造2階建て	土壁	入母屋	253.00

③測定項目

以下の4項目の測定を行った。

7.含水率：日本住宅・木材技術センター認定機種の高周波式水分計（デルター5）で測定

イ.寸法：デジタルノギスで測定

ウ.環境：住宅の内部、床下などにおける温度と湿度を温湿度計で測定

3. 結果

1) 柱材、土台材および梁材の含水率変化と収縮率

上棟時と内装直前時の部材の含水率を第2表に、その間に生じた部材の収縮率を第3表に示す。

①住宅Aの柱材

住宅Aでは、既の上棟時に人工乾燥材が使用されており、内装直前までの含水率低下は1%程度に過ぎない。また、北面に位置する材は、他に位置する材に比べ含水率低下が少ない。

この含水率変化に対応すると考えられる収縮率は、無背割り面では、平均が0.16~0.31%で、12cm角の柱では0.4mm程度の収縮が生じたことになる。背割り面では、-0.03~0.33%の数値が

第2表 柱材・土台材・梁材の含水率

調査対象					含水率 (%)						平均値 の差 ①-②
建物		部材			上棟時			内装直前			
記号	地域	名称	位置	樹種	最高	最低	平均 ①	最高	最低	平均 ②	
住宅A	県南	柱	南面	ヒノキ	20.3	16.5	18.4	20.0	15.8	17.3	1.1
			中央	"	23.5	19.0	20.6	20.4	18.0	19.3	1.3
			北面	"	19.8	17.0	18.5	18.6	17.6	18.2	0.3
		土台	南面	アピトン	38.0	30.0	33.8	27.3	20.6	24.7	9.1
			中央	"	33.3	30.0	31.9	34.8	33.0	33.9	-2.0
			北面	"	40.7	33.3	35.8	36.8	30.8	33.4	2.4
梁	中央	ベイマツ ¹⁾	22.0	15.7	18.7	20.0	14.8	17.7	1.0		
	"	"	" ²⁾	25.5	15.5	19.8	23.0	15.8	19.7	0.1	
住宅B	県北	柱	南面	ヒノキ	19.5	14.9	17.2	23.3	18.9	21.0	-3.8
			中央	"	20.5	16.5	18.5	21.4	17.8	19.9	-1.4
			北面	"	22.0	15.5	18.6	22.0	20.3	21.2	-2.6
		土台	南面	ヒノキ	20.7	17.3	19.1	25.0	20.0	22.5	-3.4
			中央	"	21.3	19.0	20.3	23.0	21.3	22.2	-1.9
			北面	"	19.5	16.7	18.6	25.0	21.5	23.3	-4.7
梁	中央	アカマツ ¹⁾	30.0	18.0	20.6	22.0	20.0	20.9	-0.3		
	"	"	" ²⁾	62.3	16.3	30.9	25.0	18.5	21.0	9.9	

(注) 1) 心材 2) 辺材

第3表 柱材・土台材・梁材の収縮率

調査対象					収縮率 (%)					
建物		部材			背割面 (柱) セイ (梁)			無背割面 (柱) 幅 (梁)		
記号	地域	名称	位置	樹種	最高	最低	平均	最高	最低	平均
住宅A	県南	柱	南面	ヒノキ	0.33	-0.12	0.08	0.34	0.15	0.23
			中央	"	0.17	-0.29	-0.03	0.63	0.07	0.31
			北面	"	0.99	-0.25	0.33	0.22	0.11	0.16
		土台	南面	アピトン	1.73	1.14	1.45	----	----	----
			中央	"	0.65	0.65	0.65	----	----	----
			北面	"	1.14	0.50	0.92	----	----	----
梁	中央	ベイマツ	2.90	0.40	1.80	0.85	0.50	0.68		
住宅B	県北	柱	南面	ヒノキ	1.43	0.89	1.32	0.33	-0.41	-0.04
			中央	"	1.48	0.23	0.79	0.37	-0.49	-0.11
			北面	"	0.33	0.33	0.33	0.70	-0.17	0.22
		土台	南面	ヒノキ	-1.34	-1.34	-1.34	----	----	----
			中央	"	-0.11	-0.11	-0.11	----	----	----
			北面	"	-0.52	-0.52	-0.52	----	----	----
		梁	中央	アカマツ	0.41	0.07	0.24	1.69	0.17	0.92

第4表 内装直前の住宅部材の含水率

調査対象				含水率 (%)				
建物	部材	樹種	最高	最低	平均	標準偏差	変動係数	
住宅A	大引き	ヒノキ	22.0	18.0	19.9	1.42	7.14	
	根太	ベイマツ	65.0	12.5	30.4	16.60	54.61	
	筋かい	ヒノキ	17.5	13.5	15.9	1.82	11.45	
	野地板	ヒノキ	17.5	12.5	15.5	1.42	9.16	
住宅B	大引き	ヒノキ	28.0	21.0	24.6	2.97	12.07	
	根太	アカマツ	25.0	20.0	21.8	2.05	9.40	
	筋かい	ヒノキ	26.0	17.0	22.0	3.67	16.68	
	野地板	スギ	24.0	12.0	16.3	4.35	26.69	
	胴差し	アカマツ	75.0	18.0	34.4	26.00	75.58	
	数居	ヒノキ	22.0	14.0	18.3	2.74	14.97	
	鴉居	スギ	21.0	14.0	17.2	2.30	13.37	
造作材	ヒノキ	27.0	17.0	21.2	3.29	15.52		
"	スギ	26.0	12.0	19.3	4.09	21.19		

得られた。全体としては、0%前後の値の頻度が高い。これは、乾燥の進行に伴う材自体の収縮と背割りの開き幅の拡大が均衡して推移するため、見かけ上の寸法変化が小さくみえるためと推察する。

②住宅Bの柱材

上棟直後より内装直前の方が含水率が高い。この原因として、秋雨時期を経過することで吸湿したことと、測定日の前日に降雨があったことが考えられる。データの中で、北面・南面の含水率上昇の程度が大きいことは、特に後者、降雨の影響の可能性が大きいことを裏付けている。

このような含水率の状況下で、無背割り面では、収縮率は負の値、すなわち寸法が増大(膨潤)している。しかし、背割り面では、含水率の増加に関わらず収縮している。これは吸湿により背割り幅が減少したか、材自体の膨潤量より背割り幅の変化量が大きいいため、断面寸法が見かけ上減少したようにみえたためであろう。

③土台材

住宅Aは、防腐処理されたアピトン材が使用されていた。防腐処理後の乾燥が不十分なまま使用されたため、0.65~1.45%もの収縮が生じた。

住宅Bはヒノキ材を使用していた。柱材と同様に、上棟時に乾燥材を使用したため、内装時に若干の膨潤を生じた。

④梁材

梁材としては、それぞれベイマツ材とアカマツ材が使用されていたが、両者とも含水率はやや低下し、収縮も生じていた。ベイマツの場合、含水率は20%程度とやや低めである。しかし、収縮率を勘案すると、実際は表面のみが乾燥しているに過ぎない材であると思われる。

なお、ここで、梁材の木取りの影響について注意しておきたい。一般にアカマツ材では、丸太から一丁取りされるため、断面の縦方向(梁セイ)に比較して、横方向(幅)はT方向(接線方向、板目面)の要素が多く、収縮も大きな影響を受けやすい。しかし、ベイマツ材では、大径木からの割材であるため、上記のような傾向は明瞭ではない。これは、部材の木取りが建築現場に与える微妙な影響の一例である。

2) その他の住宅部材の含水率

大引き・根太などの構造材と、敷居・鴨居などの内装材について、内装直前時の含水率を第4表に示す。

①大引き・根太・筋違い

これらの構造材は、国産材の場合ほぼ乾燥材であったが、外材では乾燥不十分であった。

②野地板

多分、意識して人工乾燥されたものではないと思われるが、測定時には、スギ・ヒノキ材とも乾燥状態にあった

③数居・鴨居など

これらの造作材はすべてほぼ乾燥材であった。

3) 住宅に使用される部材の材積と乾燥材の割合

2棟の住宅に使用された部材のうち、主に構造部材の材積と、それぞれの部材が全体の材積に対して占める割合などを第5表にまとめた。さらに、前述の測定結果などから乾燥材率（使用木材に対する乾燥材の割合）を算出し、一緒に示した。なお、本表の作成には、部材納入業者から提出された「木ひろい表」を参考にした。

第5表 住宅における構造用部材の使用材積と乾燥材使用の割合

材種	住宅 A				住宅 B			
	樹種	材積 (m ³)	割合 (%)	乾燥度	樹種	材積 (m ³)	割合 (%)	乾燥度
土台	アピトン	1.452	5.1	×	ヒノキ	2.588	7.0	◎
大引き	ヒノキ	0.880	3.1	○	ヒノキ	1.829	5.0	○
根太	ベイマツ	1.040	3.6	×	アカマツ	1.942	5.3	○
柱	ヒノキ	4.719	16.4	◎	ヒノキ	5.189	14.1	◎
間柱	スギ	0.580	2.0	×	スギ	1.612	4.4	×
筋かい	ヒノキ	0.520	1.8	○	ヒノキ	0.937	2.5	○
胴差し	ベイマツ	1.412	4.9	×	マツ	1.998	5.4	×
梁	マツ ¹⁾	5.467	19.0	×	マツ ²⁾	9.785	26.6	×
桁	ベイマツ	2.734	9.5	×	マツ ³⁾	2.385	6.5	×
母屋	ベイマツ	1.713	6.0	×	アカマツ	1.455	4.0	×
棟木	ヒノキ	0.528	1.8	○	アカマツ	0.277	0.8	×
垂木	ベイマツ	2.500	8.7	×	アカマツ	3.597	9.8	○
野地板	ヒノキ	5.200	18.1	○	スギ	3.168	8.6	○
合計		28.745	100.0			36.762	100.0	
単位面積 当りの 使用材積		0.135 m ³ /m ²				0.145 m ³ /m ²		
乾燥材率								
上棟時		16.4 %				21.1 %		
内装時		41.2 %				52.3 %		

(注) 1), 3): ベイマツ・アカマツ、 2): ベイマツ・アカマツ・スギ、が混在する。

①材積

使用された構造材の総計は、住宅Aでは約28.7m³、住宅Bでは約36.8m³である。これを1m²当

りの床面積に換算すると、前者で 0.135m²、後者では 0.145m²となる。結局、旧来の在来工法住宅は、最近の都市型住宅に比べ、木材の使用量が1割程度多いといえる。

②住宅における部材の占める割合

一般に、1棟の住宅を建築する場合、柱に20%、梁・桁に30%、土台・床回りに20%、壁回りに10%、屋根回りに20%程度の割合で構造材が使用されている結果が得られた。

③上棟時の乾燥材率

上棟時にまで積極的に使用されているのは、ヒノキの柱材と土台に限られていた。このため、上棟時の乾燥材率は20%程度に過ぎない。

④内装直前時の乾燥材率

内装直前時に至ると、上棟後の時間の経過もあいまって、実際上乾燥材とみなせる状態の部材が増加する。これらも乾燥材に含めて乾燥材率を計算すると、この時点では、住宅Aでは約40%、住宅Bでは約50%にまで増加した。しかし依然として、およそ半分、場合によってはそれ以上の部材が乾燥不十分な状態におかれていることは十分注目に値する。

4) 住宅における温湿度条件 (1例)

住宅Aにおいて、建物の内外の数カ所で温湿度を測定した結果を第6表に示す。測定は8月に行った。

①屋内・屋外条件

屋外と屋内では、温湿度条件にかなりの差があった。計算上、この差は木材の平衡含水率に対し、約2%の差に相当すると考えられる。

②部材の使用位置

屋内でも、南側と北側では差がある。北側の方が高い平衡含水率の条件にある。

③床下・床上条件

床下は住宅の上方部分(床上)に比べ、総じて平衡含水率が高い条件に晒されている。また、同じ床下でも、通気孔付近より中央部の方が平衡含水率が高い。

今回測定した温湿度条件の結果は、夏期における1事例に過ぎない。しかし、これだけでも、日変動・年変動を考慮すると、住宅の各場所によって複雑に環境条件が変動していることが容易に推測される。しかも、この環境条件が当然住宅部材の含水率変動に

第6表 住宅における温湿度条件 (住宅Aの場合)

測定条件	測定場所				
	屋外	屋内		床下	
		南側	北側	通気孔	中央部
温度 (°C)	34.5	34.0	32.9	32.7	32.3
湿度 (%)	56.0	65.0	66.9	65.9	68.0
平衡含水率 (%)	9.5	11.2	11.7	11.5	12.1

直結しているものであるから、水分管理の難しさが予想される。

4. 考察

以上の結果から、住宅部材の水分管理を的確に行うことの困難さが改めて痛感される。厳密に言えば、1本の柱材であっても、下部と上部では環境条件に見合う平衡含水率に差が生じているはずである。内装材にしても、湿度条件が高い水回りに近い場所と日光が差し込む場所とでは、当然、平衡する含水率に相違があることが予測される。設計段階からこれらをすべて把握して部材の水分管理を行うことは、おそらく現段階では無理と思われる。しかし、理論的に考えられる最高の対応を厳密に行うことは困難であるということであって、現実的な対応の可能な部分での努力は当然要求される。例えば、今回の測定で、人工乾燥された柱材は外周条件により多少の収縮膨潤が生じるが、その割合は小さく、12cm角の材でも高々0.5mm程度に過ぎないこと、さらに、背割りがされた材は材自体が収縮するときには背割りが開くため、見かけ上の寸法変化は相殺されることなどが知られた。これは、良質な乾燥材を使用することの意義を改めて認識させると考える。ただし、ここに挙げた0.5mmの収縮が、建築構造上に与える影響・意味については、今後の詳細な検討を要することはいうまでもない。

ここで一度、背割りの効用について考えてみたい。一部には、「背割り材は施工後に背割りが開いてトラブルを助長するため適当でない」との否定的な見解がある。しかし、この議論では、「良質な乾燥材を施工時に使用する」という前提を欠いており、賛成しかねる。背割りの本来の目的は、「欠点の発生をできるだけ防止しながら適切な乾燥を行うため」である。言い換えれば、背割り材は使用時においては本質的に乾燥材でなければならないことになる。すなわち、乾燥後の材の動きを問題にしなければ、背割りの効用について議論したことになる。乾燥不十分な材の背割りが、乾燥するにしたがってさらに開くのは当然で、議論の対象にはならない。

今回の調査で、柱材以外のものは乾燥材も乾燥不十分な材もあり、一定していないことが分かった。このことは住宅建築においてかなりの不都合を生じるであろう。例えば、床回りにおいて、大引きが乾燥材であっても、生材をはじめとしているいろいろな含水率の状態の根太で施工された場合、床の水平が微妙に保たれない状況や、床鳴りの原因になりかねない。同様の不都合な点が各所の接合部でも発生する可能性が高くなる。理想としては、住宅部材の水分管理は住宅全体を考慮にいたったものでなければならない。現実には、梁材などの断面が大きい部材の人工乾燥の難しさのように、解決されていない問題点が多く残されているのも事実である。

「住宅産業はクレーム産業である」という言葉を耳にして久しい。枠組壁工法による住宅など、在来工法以外の住宅においては、問題点を着実に克服して高品質・高性能住宅化を押し進めている。軸組在来工法においても、同様な努力が必要であると考えられる。

今後は、現在までに調査した住宅の今後の状況などを追跡し、建築時の水分管理の良否が住宅の品質に与える影響について、具体例を抽出する予定である。

2 スギ柱材の乾燥仕上がり状態とその後の寸法変化

奈良林試 ○小野広治・小林好紀・久保健

【はじめに】 乾燥材の需要が高まり、市場には様々な乾燥状態のスギ、ヒノキ建築用構造材が流通しているが、これらの乾燥後の寸法安定性についてはほとんど明らかにされていない。一方、日本農林規格では乾燥、寸法などの基準の改定が予定されている。

そこで、今回はスギ柱材について、乾燥仕上がり状態とその後の寸法変化との関連について検討した。

【材料と方法】 製材工場から購入した特等のスギ柱12.0cm角、3m材10本（初期含水率49.8~168.9%，平均年輪幅2.1~5.1mm）をそれぞれ約1mに3等分し、木口をコーティングして供試材とした。これらを除湿乾燥（乾燥温度40℃，相対湿度80%の一定条件）により7，14，21日間乾燥した後、実験室内に90日間（1990/10/11~1991/1/23）放置して、放置中の含水率，収縮率，背割り幅などの変化を測定した。また、乾燥前，乾燥終了時，放置終了時にそれぞれ水分分布を測定した。

【結果】 ①90日間放置中の寸法変化は、乾燥時間により異なった。すなわち、乾燥時間が7および14日間の材では収縮率は放置中の含水率の減少にしたがって漸増したが、21日間の材ではほとんど変化しなかった。②同一乾燥時間で乾燥仕上がり時の平均含水率や水分分布が異なる材相互間でも、放置中の寸法変化には大きな違いはなかった。③21日間乾燥した材では、仕上がり時の平均含水率や水分分布が異なっても、放置中の寸法変化には大差がなかった。これには表層がどの程度の深さまで十分に乾燥しているかが関係しているように思われる。すなわち、表層5~10mm部分の含水率は乾燥時間が7および14日間の材では20~30%であったが、乾燥時間が21日間の材では20%以下であった。このことから、乾燥後の寸法安定性を得るためには、中心部の含水率を下げるよりも、表層をなるべく深くまで20%以下に乾燥することの方が重要であるように考えられる（図1，図2）。

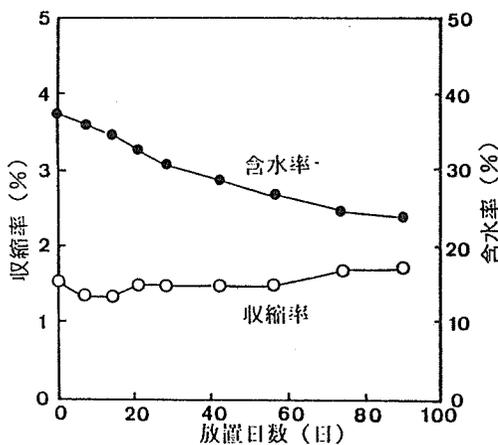


図1 放置中の含水率，収縮率の変化

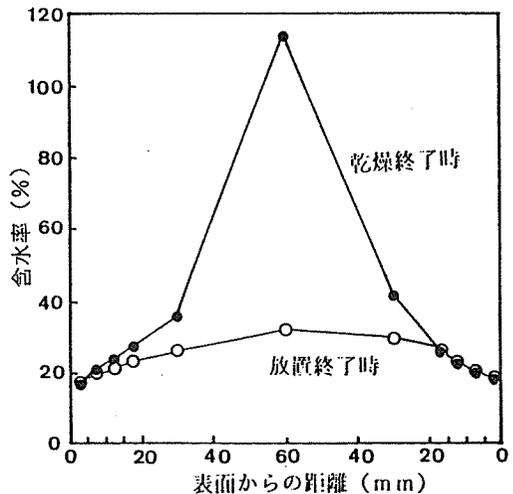


図2 水分分布の変化

3 製材品の含水率、寸法変化

日本木材乾燥施設協会研究会資料 1992, 2

奈良県林業試験場 小林好紀

1 はじめに

・国産針葉樹材の需要の大半は住宅建築用材であるが、木造住宅率の低下などにより、近年木材需要は停滞している。一方、スギ、ヒノキなどの国産針葉樹材は、今後その供給量を増大する見通しにあるが、近年の急激な円高傾向により、国産材は輸入材に比べ著しく競争力を低下させている。そこで、国産森林資源を有効利用すると共に、これらを扱う木材産業の収益向上を図るため、木材についての高付加価値化技術の改良・開発を図ることが緊急に必要となっている。

このような背景を踏まえて、今後の針葉樹材の生産見通しおよび木造住宅の品質向上の点から重要な問題である柱材の乾燥技術の開発など、国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化を図る。そのためにまず、製材工場、製品市場および建築現場における建築用針葉樹材製材品の含水率および寸法の実態を把握するとともに、製材工場から出荷された製材品の含水率、寸法が流通過程や建築現場などでどのように変化するかについて実態を調査した。

以下に、これに参加した16道県（北海道、岩手、山梨、長野、静岡、富山、石川、福井、岐阜、奈良、和歌山、岡山、島根、徳島、大分、熊本）の調査結果の一部概要を述べるが、これは調査開始時の取り決めにより、奈良県林業試験場が上記参加県を代表して取りまとめた仮報告である。正式な調査結果は後日林野庁より報告される予定である。

2 調査方法

製材工場、製品市場および建築現場における調査の概要は以下の通り。

2・1 流通段階における実態調査（製材工場、製品市場）

（1）対象材：柱、鴨居、土台、はり

（2）測定時：製材工場においては出荷時、製品市場においては保管中。

（3）測定項目と方法：

イ 断面寸法

ロ 含水率：長さの中央部4面、高周波式水分計（デルタ-5）を使用。

ハ 割れ：最長割れの長さ（0.5mmまで）

（4）チェック項目：樹種、木取り、背割り、品等区分、乾燥履歴、心材色、経過日数の確認

2・2 建築現場における実態調査

- (1) 対象材：柱，鴨居，根太，土台，はり
- (2) 測定時：棟上げ直後と内装にかかる直前
- (3) 測定項目：
 - イ 断面寸法と含水率：前項と同様
 - ロ 含水率：前項と同様
- (4) 測定箇所：柱については住宅の南面，北面，中央部
- (5) チェック項目：樹種，木取り，背割りの有無，住宅の概要，割れの有無

3 調査結果と考察

製材品の含水率と寸法の調査が参加県の事情に合わせて詳細に行われ、膨大な資料が得られているが、ここでは、主として正角材の含水率の全国平均に注目整理して、針葉樹構造用製材の日本農林規格（JAS）と絡めて考察したい。

3・1 製材工場における含水率，割れの実態

製材工場における出荷直前のスギ，ヒノキの105mmおよび120mm正角材と平割材の含水率を図1のa～fに比較して示す。

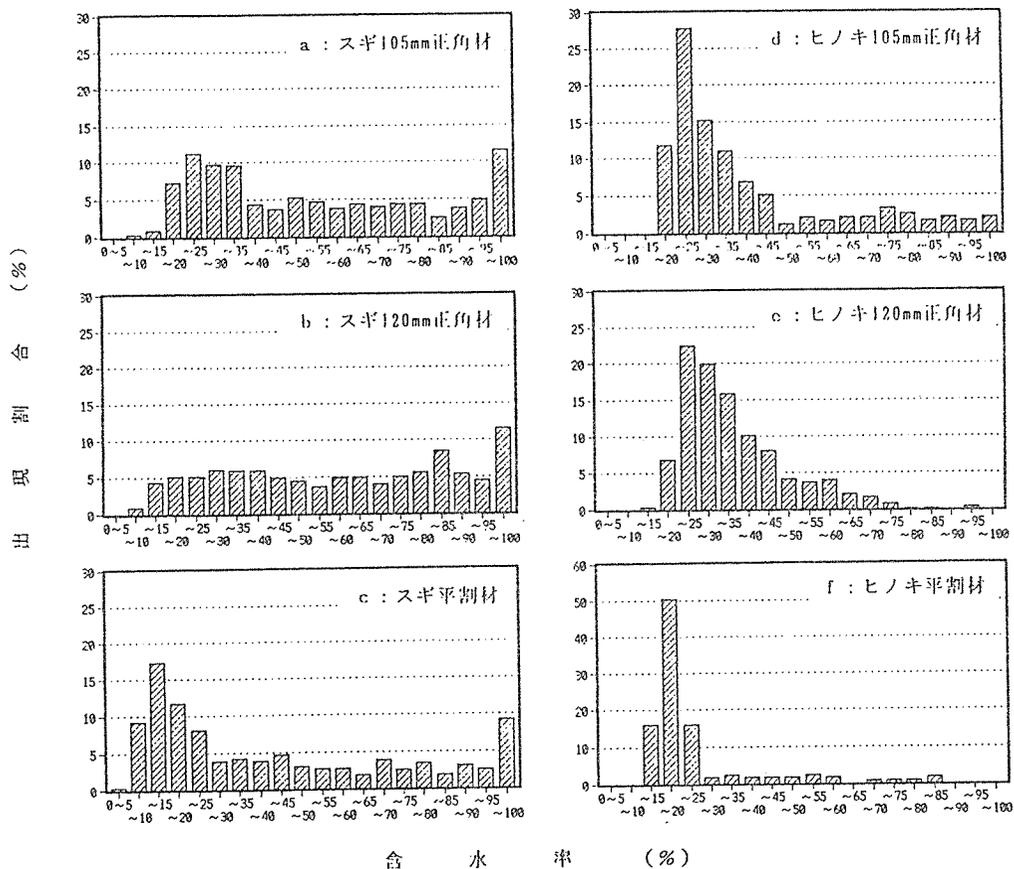


図1 製材工場における含水率分布

スギの105mmと120mm正角材の15～20%は含水率25%以下の材が占めるが、両者の間には明確な違いが見られる。すなわち、120mm材では各含水率域に平均的に分布しているのに対して、105mm材では比較的低含水率のものが多く、見掛け上断面の小さい方が乾燥されているように見える。これには素材丸太の形質や製品荷動きとの関連が強く現れ、105mm材が120mm材より水分管理が行き届いていることを必ずしも表したのではない。

ヒノキ正角材では、105mmと120mm材との間にスギのような違いはなく、30～40%が含水率25%以下である。また20%以下の材が多いことを考えると、ヒノキ正角材は、製材工場の段階で比較的多く人工乾燥されていることが推測できる。

平割材では含水率25%以下の材が、スギでは約半数、ヒノキでは2/3以上あり、正角材に比べて製材工場での乾燥が良く行われている。

割れの発生数は、製材後の日数が経過して含水率が低下するのに従って増加し、製材後2週間以上経過した材には、低含水率であるほど高い割合で発生していた。この傾向は、スギよりもヒノキにおいて顕著であるが、ヒノキの方が割れやすいことを示すものではない。含水率25%以下のヒノキ正角材では、その90～70%に割れが観察されているが、ヒノキの方がスギよりも低含水率材が多いためである。これらの割れはスギでは含水率が70%を、ヒノキでは50%を割り始めるころから発生する傾向が見られた。

3・2 製品市場における含水率，割れの実態

製品市場における前項と同様の検討を、図2のa～fについて行う。

スギ正角材では、105mmおよび120mm材とも各含水率域に広く分布しているが、含水率が25%以下の材も10～15%含まれている。この割合は製材工場におけるそれより小さく、製材工場と製品市場との間に運搬の逆転が生じているが、この理由の一つには、乾燥材は製材工場から直接需要先に出荷されるものが多いことが挙げられる。一方、含水率100%以上の高含水率材も多く、製品市場に出荷されるスギ正角材のほとんどは乾燥されていないと考えて良い。

ヒノキ正角材の40～50%は含水率25%以下であり、製材工場における傾向とほぼ同様に、なんらかの乾燥履歴を持つものが半数以上を占めていた。

平割材は正角材に比べて人工乾燥が一般的に行われているうえ、ヒノキやスギ類平材のように天然乾燥が容易な材も含まれるので、全体の45～70%が含水率25%以下の材で占められていた一方、スギ赤身材のように乾燥しにくい材には高含水率材があるなど、含水率分布域が広い。

人工乾燥材と表示して製品市場に出荷された角材でも含水率が60%以上の材が見られ、とくにスギでは乾燥表示の有無に関係なく両者が同様に広い含水率域に分布していた。すなわち、乾燥材と表示されていても実際には含水率が30%以上

である材が全体の60%を占めていた。ヒノキの場合、表示された材では表示のない材に比べて高含水率材の割合が減少して含水率分布域は小さい。ヒノキ角材では50~60%が、平割材では100%が、また、スギ角材では15~25%が、平割材では50%が含水率25%以下の範囲に属していた。

製品市場における割れは、実際にはどの過程で発生したかを特定できないが、入荷後の日数を経るに従い長い割れが増加していた。

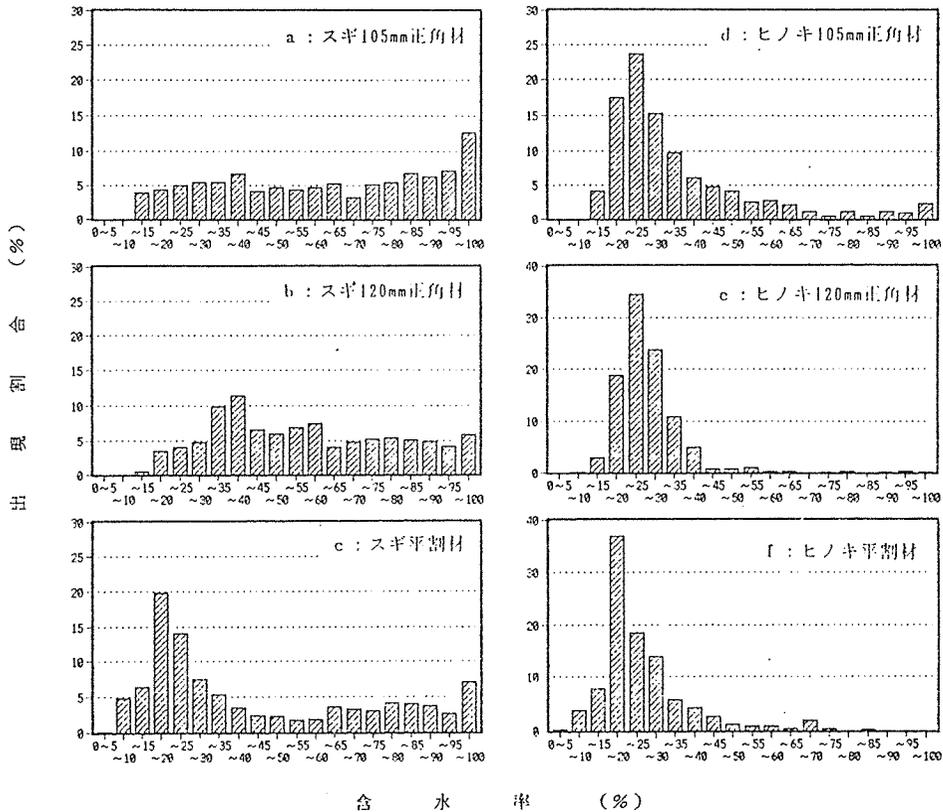


図2 製品市場における含水率分布

3・3 建築現場における含水率の実態、寸法変化

図3のa~dに、建築に使用された時のスギ、ヒノキ柱の含水率とその分布域を、図4のa, bに上棟時から内装直前にいたるまでの約1ヶ月間の、同じ柱の同じ部分の含水率変化を示した。これらから住宅部材に使用されるスギ、ヒノキの含水率、建築中に進行する乾燥の度合いがわかり、柱の収縮量、割れや隙間発生の危険性などが推察できる。

まず、木造住宅に使用されるスギ柱の約60%は、含水率25%以上のJASでいう未乾燥材であり、乾燥材は40%にすぎない。製材工場と製品市場ではスギ正角

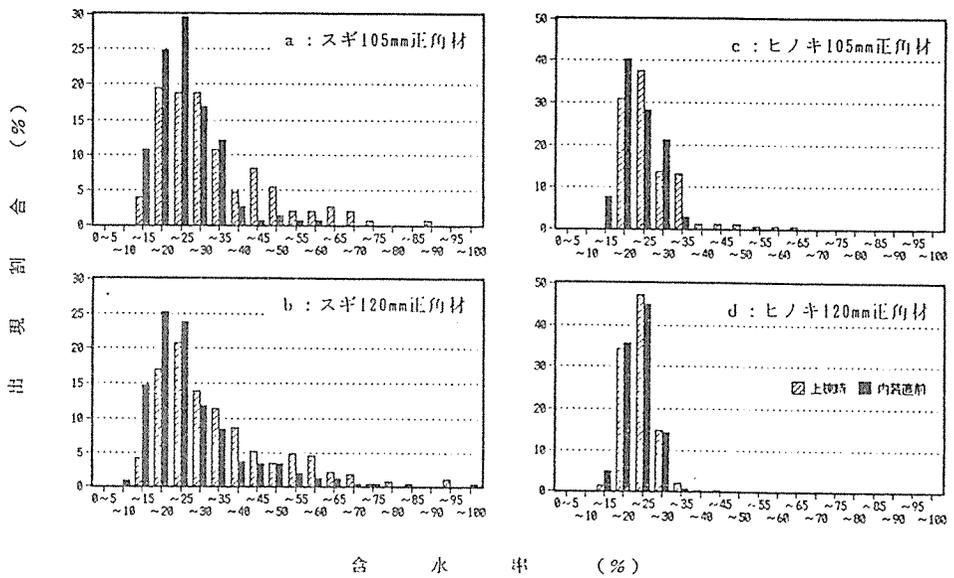
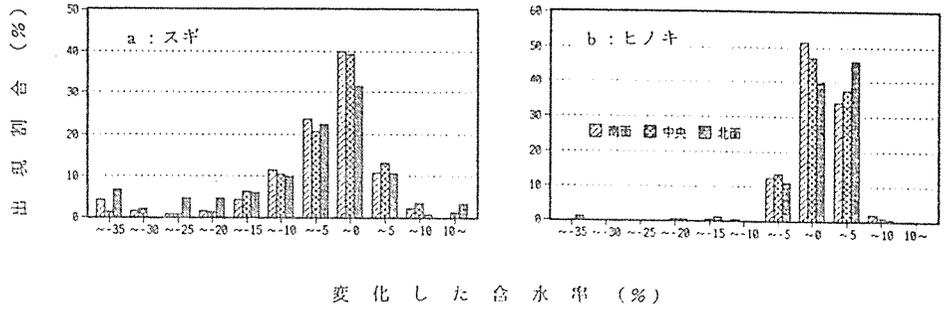


図3 建築現場における含水率分布

材のうち、含水率25%以下のものは10~20%であったことから考えれば、棟上げまでに自然に乾燥が進んでいることがわかる。多くの柱は上棟時には割れが発生しやすい状態にあることも予想できる。図4-aから、上棟から内装までの1ヶ月間に40%のスギ柱の乾燥が進み、含水率が最大では35%以上、平均約15%ほど低下していることがわかり、建築用材に生材を使用すると、建築工事中に乾燥して、割れ発生などのトラブルにつながりかねないことがわかる。

スギ柱と対称的に、ヒノキ柱の70~85%は含水率25%以下の乾燥材であり、上棟から内装までの1ヶ月間の含水率変化にも、スギのような大きな変化は見られず(図4-b)、約95%が含水率5%以下の変化にとどまっている。



変化した含水率(%)

図4 上棟から内装までの柱の含水率変化
(105,120mm材の合計。横軸の-は減少, +は増加)

上棟から内装までの約1ヶ月間に生じる含水率変化にスギ柱とヒノキ柱の間に差が見られるが、図5-a~dに示した断面寸法の変化率からは、含水率変化とは逆の傾向が見られる。すなわち、120mm材では寸法変化率の分布型は類似しており、寸法変化のないものがスギ、ヒノキとも60%以上を占めている。しかし、105mm材では分布型は異なり、含水率変化の小さかったヒノキ柱（図4-b）の方が、変化の大きかったスギ柱（図4-a）よりも寸法変化を生じるものが20%も多い。ヒノキはスギより乾燥割れが発生しにくいという性質はあるが、ヒノキ柱は見えかかり部材として使われることが多いことを考えると、この結果には、住宅部材の水分管理を考えるに当たって示唆するものがある。

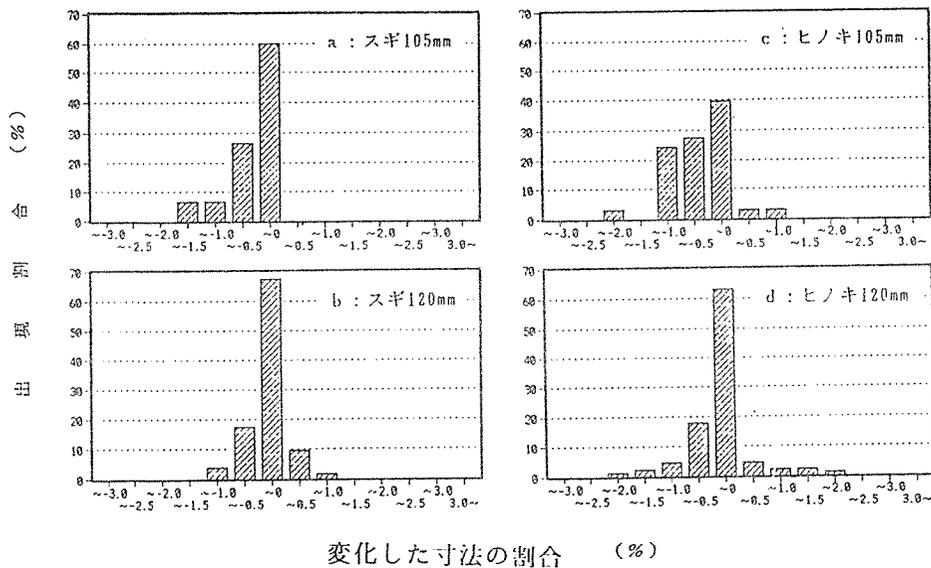


図5 上棟から内装までの柱の寸法変化
(横軸の-は減少, +は増加を示す)

4 おわりに

建築用製材について、含水率、寸法、損傷の詳細な調査が4年間にわたって全国的に行われ、膨大な資料が得られている。ここではその一部の報告にとどまったが、示唆するものを多く含んでいる。何かの参考になれば幸いである。

4 製材含水率・寸法の工場から建築現場までの変化

北方林業1993, Vol. 45, No. 1

菅 谷 恵 美 子

はじめに

わが国では木造住宅を好む人が多く、かつ最近では省エネルギーの観点から住宅の高断熱・高气密性が求められている。施工後にも気密性を維持するように、構造部材の乾燥による収縮や割れをできるだけ抑えるために乾燥材を使用したいという要望が多い。しかし、この乾燥材は北海道内の木材市場では約2割(平成2年)に過ぎず、需要を十分に満たすことはできず、その増加が要望されている。木材は置かれている環境に応じて吸・脱湿し、それに伴って寸法も変化する。木材は、製品として使用される環境に応じた含水率まで乾燥させてから加工しないと、使用中にもさらに乾燥が進み、収縮、割れや狂いなどの様々なトラブルが発生することになる。生産工場において乾燥されていても、その程度が不十分であると、その後の流通・建築などの段階を経ていくうちに、また製品として使用しているうちに前述のような原因でトラブルが発生する。乾燥材を仕入れる建築関係者も、乾燥材が現場に着いたとき、その乾燥材がどれほど乾燥されているのか知らない場合がほとんどと思われる。

そこで今回、流通と建築の各段階においてどの程度の含水率・寸法の乾燥材が実際に流通しているか実態調査を行い、その結果をもとに、各段階を経て使用者の手元に届くまでの変化についてまとめた。

1 調査・分析の方法

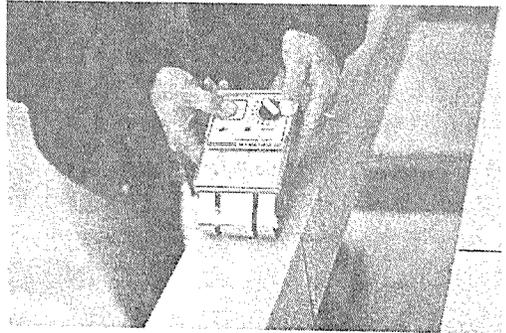
1.1 実態調査

ここで流通段階とは、製材工場出荷前及び製品市場入荷後とし、建築段階とは建築現場棟上げ時と内装直前時とした。実態調査は、製材工場2か所(A・B工場とする)、製品市場1か所を平成3年に、建築現場3か所(うち2か所をA、B棟とする)を平成2年に行った。

1.2 調査の内容と方法

調査の対象とした樹種・材種は、製材工場、製品市場では乾燥材表示(業界の自主基準によるもの)のあるエゾマツ105mm正角材、建築現場ではエゾマツ同寸法の柱材で、それらの含水率と寸法についてまとめたものである。

含水率の測定には高周波式水分計・デルター5(写真)を用いた。測定位置は長さ方向の中央部における4材面で、材1本ごとの含水率は、それ



高周波式水分計(デルター5)

ら4材面の測定値を平均したものである。

寸法は、長さ方向の中央部において断面寸法2方向を測定した。

これらの調査・測定結果は、製材工場・製品市場については生産工場ごとに、建築現場については柱が立っている方位ごとにまとめ、それらの含水率と寸法の変化について傾向をみた。

2 調査結果

2.1 含水率

図1は、製材工場Bで生産されたエゾマツ105mm正角材の工場出荷前、および製品市場入荷後における含水率の分布を示す。

製材工場出荷前における実態調査を行ったのは平成3年9月25日で、測定対象材は人工乾燥後5日から1ヵ月経過したものである。また製品市場入荷後における実態調査は、測定対象材が製品市

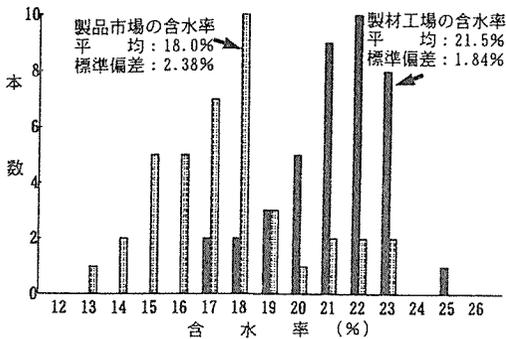


図1 製材工場と製品市場におけるエゾマツ105mm角材の含水率

場に入荷された当日（平成3年8月6日）に行った。なお測定本数はそれぞれ40本であるが、製材工場と製品市場の測定対象材は同一のものではない。したがってこの結果は、“実際に流通しているエゾマツ105mm正角材の含水率の製材工場出荷前および製品市場入荷後における実態”ということになる。このことをふまえたうえでこれらの結果を比較してみると、測定対象材40本の含水率の平均値は、製材工場出荷前より製品市場入荷後が3.5%小さくなっていった。また製品市場における標準偏差が大きくなっていることから、分布のパラッキ、すなわち測定対象材1本ごとの含水率のパラッキは製材工場出荷前より製品市場入荷後のほうが大きくなっていった。

図2は建築現場A棟およびB棟における柱について、棟上げから内装直前時までの含水率変化を示し、柱が立っている方位別に1本ずつの含水率の変化を表している。A棟では棟上げ（平成2年7月16日）から内装直前時（平成2年8月20日）まで35日間経過し、含水率の減少は北面の柱がやや少ないものの、A棟全体では5.5%程度であっ

た。測定本数に違いがあるが、含水率の低下は方位によって大差なく、内装直前時における含水率は12~13%になっていた。

B棟では棟上げ（平成2年8月27日）から内装直前時（平成2年9月4日）まで9日間経過していた。含水率の減少は、南面の5本の平均が1.7%、中央の5本の平均が1.4%、北面の柱が3.5%であった。北面の含水率の減少が他より大きかったのは、棟上げ時の含水率が他より高かったためと考えられる。棟上げ時の含水率が20%以上であった柱（柱番号南面1, 4, 中央4, 北面1の計4本の棟上げ時含水率平均23.5%）と棟上げ時の含水率が15%程度であった残りの柱（計7本、棟上げ時含水率平均15.9%）の含水率減少の平均値は、それぞれ含水率値で2.6%と1.1%であり、高い含水率の柱ほど乾きやすいという結果がでている。またB棟の含水率の減少は、A棟に比べて棟上げから内装直前までの期間が短かったため、A棟より小さくなっていった。

以上の調査結果をもとにして、各段階における含水率の割合がどのように変化しているかを図3にまとめてみた。この図は、含水率14%未満と含水率14%以上を2%ごとに区切り、調査本数における各区分の本数の割合を示したものである。製材工場・製品市場はB工場のエゾマツ105mm正角材を、建築現場はA・B棟あわせた柱材を対象としている。製材工場出荷前の含水率は、約8割が20%以上であった。製品市場入荷後には含水率20%以上の割合が約2割に減り、約5割が18%未満であった。建築現場の棟上げ時には含水率20%以上の割合が若干増えていたが、18%未満の割合も増えていた。これが内装直前になると、含水率

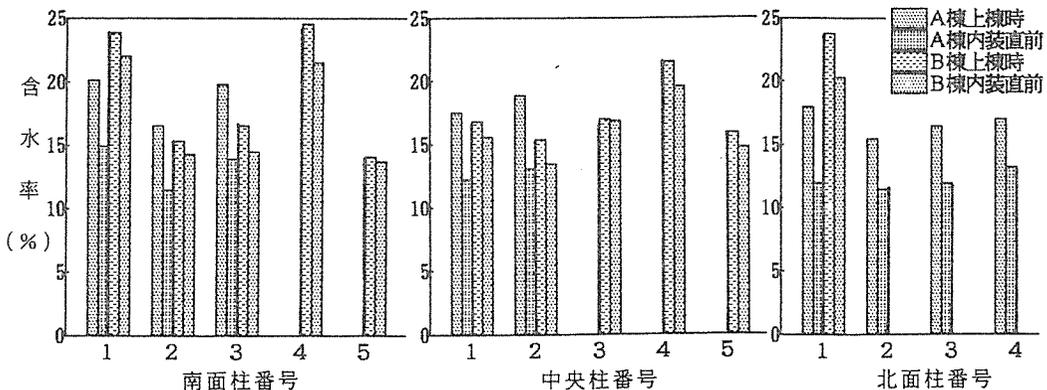


図2 建築現場におけるエゾマツ柱の含水率変化
 (A棟:1990. 7. 16~8. 20→35日間, B棟:同年8. 27~9. 4→9日間)

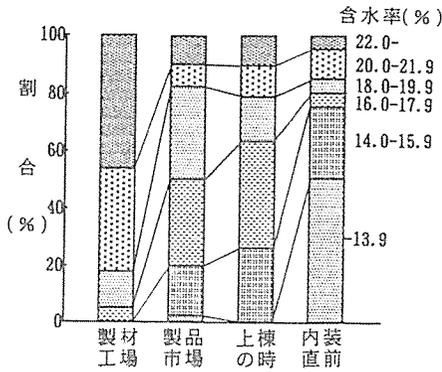


図3 製材工場から内装直前までの含水率変化

18%未満の割合は約8割、14%未満の割合は約5割になっていた。このように、段階を経るごとに低含水率材の割合が増加していくということは、生産工場出荷時にはみられなかったトラブル等が発生する可能性も段階を経るごとに高くなっていくことになる。

2.2 寸法

今回の調査では、製材工場から出荷された同一の対象材を製品市場で追跡調査していないので、寸法と含水率との関係を明らかにすることはできなかった。そこで、実際に流通している乾燥材の寸法を生産工場ごとに傾向をみた(表1)。製材工場出荷前の寸法は、A工場では表示寸法よりも測定本数20本の平均で1mm程度小さく、B工場

は0.5mm程度大きく仕上がっていた。この傾向は製品市場入荷後にもみられ、A工場からの入荷材は0.5mm程度小さめに、B工場からの入荷材は1mm程度大きめであった。製品市場における寸法は、A・B工場あわせて表示寸法105mm±1mmの範囲に収まっていたのは約6割で、寸法精度の一層の向上が望まれる。

建築現場における寸法は(表2)、棟上げから内装直前までにA棟では0.3~0.8mm(35日間)、B棟では0.2~0.8mm(9日間)減少していた。期間中の含水率の低下はA棟で5%、B棟で2~3.5%程度であったので、寸法の減少もA棟よりB棟が小さい傾向が見られた。

おわりに

今回の調査結果から、製材工場出荷時から建築現場内装直前までの含水率変化は、おおむね平均含水率8~10%減少していた。仮に、最も収縮する接線方向において、含水率1%あたりの収縮率を0.3%とすると、105mm正角材は3mm収縮することになる。これは今回の105mm正角材での実態調査結果に基づく試算なので、製材工場から出荷されてからの期間がより長ければ、同じ測定対象材であってもより収縮するであろうし、また材厚が105mmより薄いものであれば、同じ期間であってもより含水率の減少が著しくなるであろう。

流通・建築段階で木材のおかれている環境は、季節的な温・湿度の変動や建築工法・期間などの影響を受ける。今回の調査は一年間のうちで木材にとって比較的乾燥し易い季節に行ったので、特に北海道の冬場においては今回の結果ほど含水率が低下しないと考えられる。先にも述べたとおり、木材の寸法変化は含水率の変化によって引き起こされる。木材は置かれている環境に応じてその含水率は絶えず変動しているが、一度低含水率まで乾燥させると吸湿しにくい特徴がある。逆に言えば、生材あるいは含水率が高い木材ほど環境の変動による影響を受けやす

表一 製材工場と製品市場におけるエゾマツ105mm正角材の断面寸法

測定時	工場別	測定本数	最小-最大(mm)	平均寸法(mm) (表示寸法との差)	標準偏差
製材工場 出荷前	A工場	20	102.21-105.58	104.01(-0.99)	0.78
		20	101.39-105.15	103.40(-1.60)	1.04
	B工場	20	104.53-107.15	105.49(+0.49)	0.67
		20	102.39-106.74	105.40(+0.40)	0.74
製品市場 入荷後	A工場	20	101.98-106.63	104.40(-0.60)	0.89
		20	103.23-106.46	104.70(-0.30)	0.79
	B工場	20	103.28-108.32	105.85(+0.85)	0.76
		20	105.16-109.14	106.14(+1.14)	0.68

表二 建築現場におけるエゾマツ柱の上棟時から内装直前までの寸法変化 (寸法単位: mm)

調査対象	期間	方位	測定本数	上棟時寸法 最小-最大	内装直前寸法 最小-最大	寸法変化
A棟	'90.7.16 ~8.20	南面	3	102.21 102.08-102.26	101.88 101.66-102.06	-0.33
			2	102.16 102.02-102.24	101.39 100.81-101.88	-0.77
	35日間	北面	4	102.22 101.04-102.28	101.72 101.28-102.06	-0.55
			5	102.50 102.34-102.90	102.29 102.19-102.38	-0.21
B棟	'90.8.27 ~9.4	中央	5	102.50 100.49-102.65	101.73 100.20-102.09	-0.77
			1	102.51 102.50-102.51	102.22 102.17-102.27	-0.29
	9日間	北面	1	102.51 102.50-102.51	102.22 102.17-102.27	-0.29

い、あるいはトラブルが発生しやすいことになる。

平成3年7月31日から施行された“針葉樹の構造用製材の日本農林規格（JAS）”では、乾燥材と表示する場合の含水率および寸法について、新たに規定が設けられた。しかしその規定は生産工場出荷時におけるものにすぎない。年間を通じて高品質な木材を使用者に供給するためには、使用環境において平衡する含水率まで生産工場乾燥させ、できるだけ木材内の水分むらが小さいものを出荷すること、また流通・建築段階において雨や風の影響を極力避けることが必要である。そう

することによって、使用者に含水率が安定した木材、すなわち使用環境において寸法変化やトラブルが少ない木材を供給することができることになる。製材品を扱う各方面の関係者に、今回の実態調査結果を製材品の水分管理の目安のひとつとして利用していただければ幸いと思う。“乾燥材”＝“品質を保証する木材”ということが広く一般の方々にも定着し、また使用者の期待を裏切らなくなることを願っている。

（北海道立林産試験場）

5 エンジニアリングウッドを支える基礎技術 水分管理

東京大学農学部

信田 聡

はじめに

ボード類、合板などはファイバー、チップ、単板など比較的小さなエレメントで構成されているため、エレメントの迅速な乾燥が可能であり、ジェットドライヤ、ロールドライヤ、回転式ドライヤなど連続的乾燥システムが採られる。またエレメント形状が小さく、厚さも薄いことから、水分検知手段としての電気抵抗法、誘電率法、近赤外線法、重量法などが比較的容易にオンラインで適用されている。

一方、建築用の製材、集成材ラミナ等は、チッ

プ、単板に比べてエレメントが厚い（1 cm以上）製材であり、いわゆるバッチ式（一定量の製材を箱型乾燥装置に収容して乾燥する非連続的乾燥）の木材乾燥装置で乾燥することが多い。乾燥がバッチ式であるために乾燥後の水分管理の方法も前者と異なり、従来抜き取り式の水分検査に頼っている。その水分管理は、オンラインによる連続検査に比べ、非能率的、不完全とならざるを得ない。

本項では今後、充実した水分管理が望まれる後者のエンジニアリングウッドを中心として、それらの乾燥を含む水分管理について述べる。

木材工業 Vol. 47, No. 11, 1992

1. エンジニアリングウッドの水分管理とは

エンジニアリングウッドの水分管理は、乾燥した原材料の含水率測定をいかに行うかを考える前に、乾燥によるばらつきを考慮した上で、「どこまで乾燥すれば良いか」を、強度性能、寸法精度、狂い、損傷など要求される製品性能と照らし合わせて決定し、それを踏まえて水分管理を行うことが重要である。すなわち原木丸太から乾燥材までの乾燥工程において含水率基準値をクリアするために含水率のバラツキ軽減を様々な段階で考え、同時に損傷・狂い防止技術を含めて管理されなければならない。

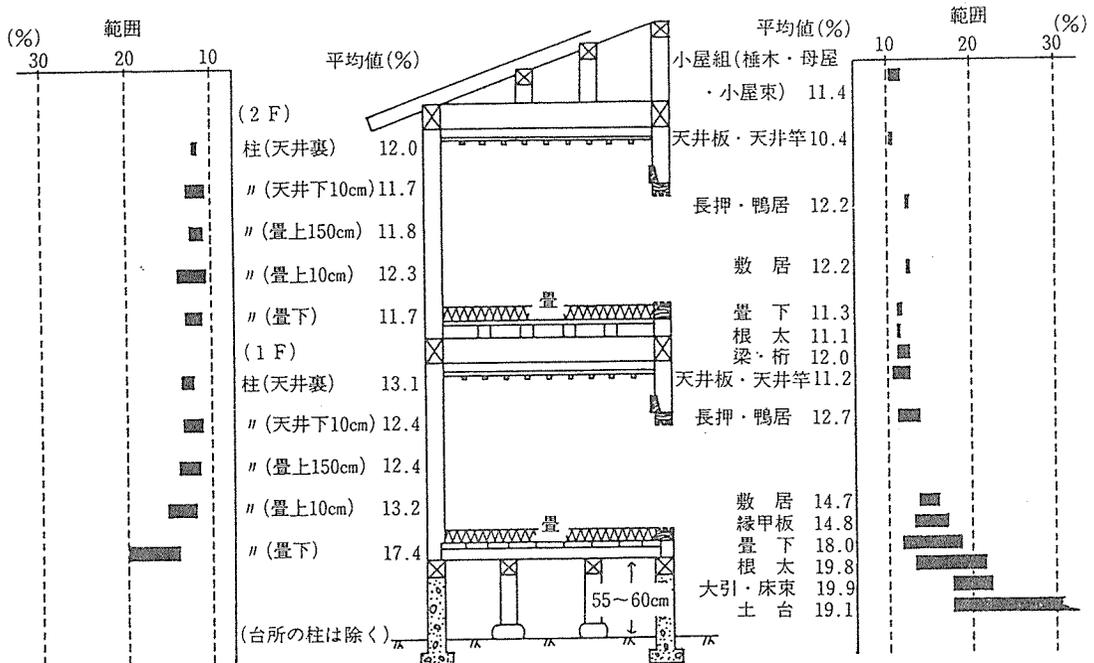
2. 構造部材の平衡含水率

「どこまで乾燥すれば良いか」といえば、やはり、その材料が製品となって、実際に使用される場所の平衡含水率まで乾燥しておくことになる。では実際の住宅の構造部材の平衡含水率はどの程度であろうか。部材の平衡含水率は住宅構造、空調条

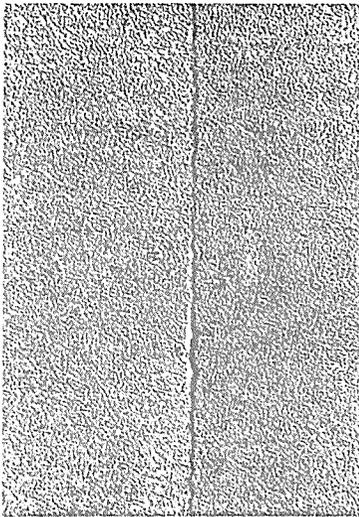
件、地域の気候条件、居住条件により異なる。一例として第1図¹⁾に在来木造住宅の部材含水率調査例を示す。一般的な傾向は、住宅の高さ方向で見ると、高い部位に使用される材ほど低い含水率になっている。すなわち、二階部分及び小屋組部材の含水率は低く15%以下であるが、一階部分は15%~20%、および床下の根太、大引などは20%前後、土台は20%~30%という含水率状態である。柱は10%~20%の範囲にある。

平衡含水率まで乾燥しておくことは、主に、使用中の含水率変動を極力抑え、それに伴う寸法変化を少なくして、施工後の変形による問題、例えば壁内部の柱の変形による内装仕上げ材（ビニルクロス）の亀裂（第2図）、柱の曲がりによる建具類との間の隙間（第3図）などを防止する意味で重要である。

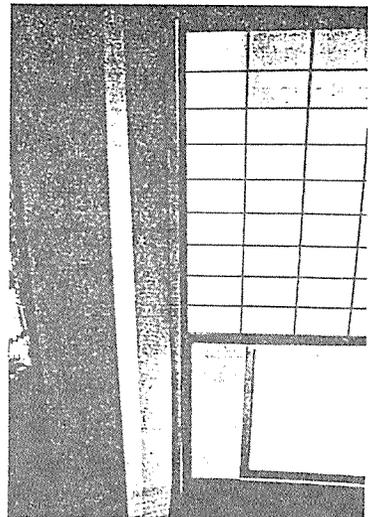
また、屋外に暴露して使用される構造部材の場合は、日本各地の気候値から計算した気候値平衡含水率、約15%²⁾が目安となる。



第1図 各部材別含水率の平均値とその範囲
および柱の高さ別含水率の平均値とその範囲



第2図 柱の変形による仕上げ材(ビニルクロス)の亀裂
(一条工務店, 平野茂氏提供)



第3図 柱の曲がりによる建具との間の隙間
(一条工務店, 平野茂氏提供)

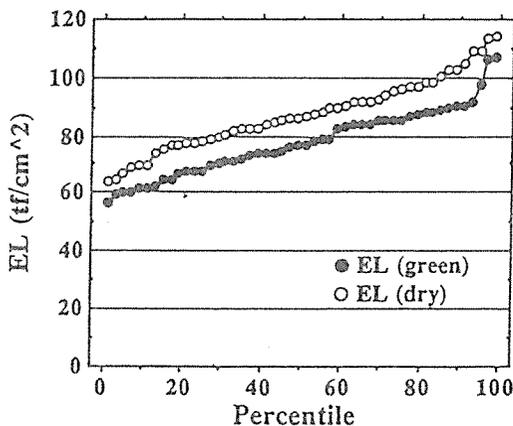
3. 部材性能と含水率

3.1 曲げ性能と含水率

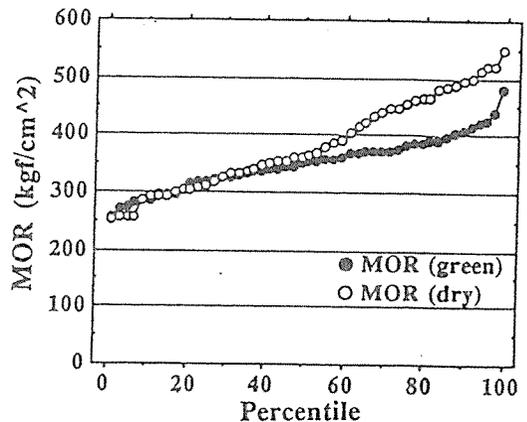
第4図³⁾, 第5図³⁾は, スギ平角生材(断面寸法, 12cm×24cm, 初期平均含水率80%)を, 温度50~65℃で42日間かけて平均含水率19%まで蒸気式乾燥装置で乾燥した乾燥材と未乾燥材の曲げ強度(MOR), 及び曲げヤング係数(EL)を比較したものである。乾燥材はMORで9%, ELで12.5%, それぞれ生材よりも増加している。しかしMORでは, 乾燥による強度増加が顕著に現れているの

は強度, ヤング係数それぞれの順位が50パーセント以上の材であり, 強度の弱い材では乾燥による強度増加が少ない傾向も伺える。この傾向はベイマツにも認められ⁴⁾, 特に5パーセント以下のごく弱い材では, 逆転して未乾燥材の方が高い強度を示すことも報告されている^{4,5)}。

しかし, 水分傾斜と関係づけて推測するならば, 断面寸法の大きな材は平均含水率20~30%程度の乾燥では通常, 断面内部の多くの部分の含水率が生材時(30%以上)と差がない状態にある場合が多い。したがって, 強度増加に乾燥の影響が出に



第4図 正規化した平角生材と乾燥材の曲げヤング係数(EL)
green: 含水率80%, dry: 含水率19%

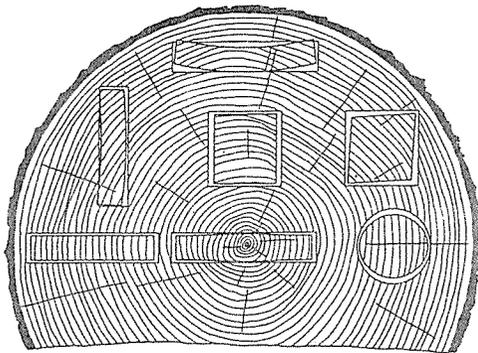


第5図 正規化した平角生材と乾燥材の曲げ強度(MOR)
green: 含水率80%, dry: 含水率19%

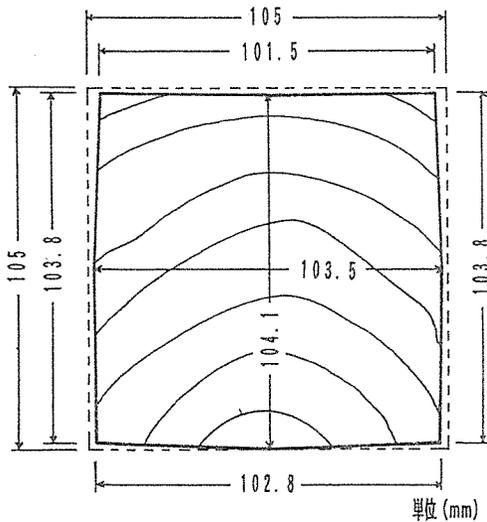
くことが考えられる。したがって、水分傾斜が
少ない状態で良好な乾燥が行われれば明らかに乾
燥材は未乾燥材よりも強度は増加する。

3.2 寸法・狂いと含水率

木材は軸方向、接線方向、半径方向など方向に
より収縮率が異なるため、木取り位置の違いによ
り第6図⁶⁾に示すように様々な断面変形を生じる。
そして第7図⁷⁾のように正角でも乾燥に伴い、断面
寸法が変化する。また、柱材の中には、割れ防止
のために背割れを施す慣習がある地域もあるが、
この場合には、第8図⁸⁾に示すように、乾燥に伴い
背割れ面が開く形状で収縮・変形が起こる。この

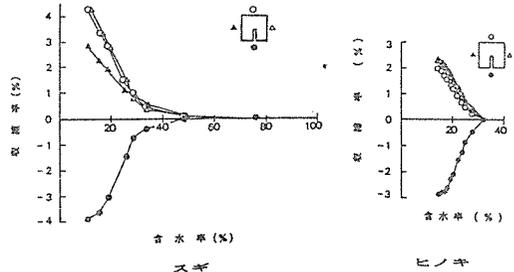


第6図 木取り位置と収縮による断面の変形

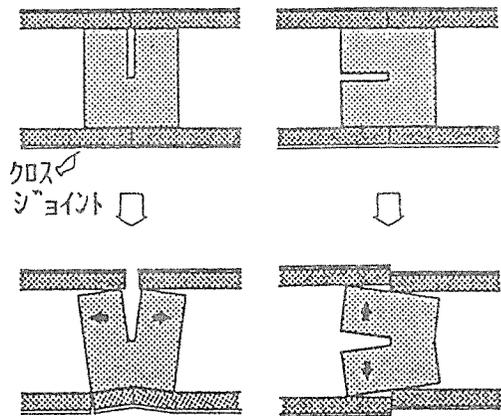


第7図 乾燥に伴う正角(105mm)の断面寸法変化
(トドマツ心去り、含水率20%時)

ような変形により第9図⁹⁾に示すような、仕上げ材
への影響がある。したがって、含水率をいくら管
理しても本質的に変形することに違いはなく、寸
法問題については、含水率を何%にするかという
話題とは別に、乾燥後のプレーナによる仕上げを
行うことが不可欠になる。



第8図 12cm角材の除湿乾燥時の収縮経過



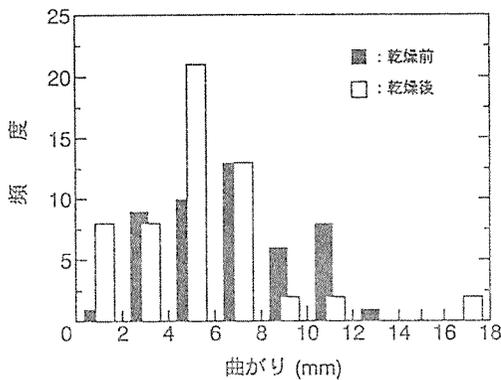
第9図 背割れの方角による仕上げ材への影響

新JASでは、第1表に示す寸法規定が乾燥材と
未乾燥材に対して導入された。様々な木取り、断
面寸法の製材に対して、すべての材種に適用でき
る基準を制定するには基準値を多く必要とする。
これは返って基準が複雑になりすぎ基準の意味が
薄れる。したがって、ある程度の割り切りが必要
になる。断面寸法の変化については、様々な針葉
樹種を勘案して、気乾収縮率(生から含水率15%
までの収縮率)を半径方向2.5%~3.0%、接線方
向4.5%~5%と考えた。安全を考え接線方向を基
準として求められた。また含水率が5%減ること
に1.0~1.5%の収縮があるとした。

製材品の狂いには、曲がり、縦反り、幅反り、

第1表 寸法の許容限度(単位mm)

区 分		表示された寸法と測定した寸法の差	
短辺及び長辺	乾燥材	90未満	±1.0
		90以上	±1.5
	未乾燥材	36未満	+1.0 -0
		36以上 90未満 90以上	+2.0 -0 +3.0 -0
材 長		+制限せず	-0

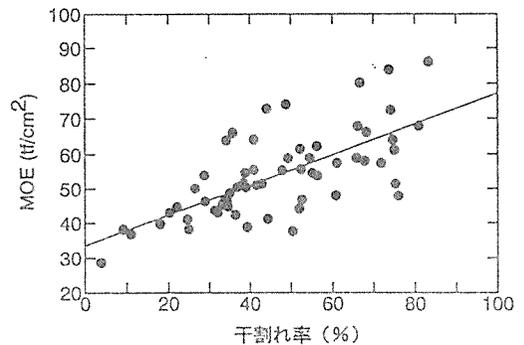


第10図 天然乾燥前後の正角の曲がりの分布(トドマツ)
 初期平均含水率: 58.6%
 標準偏差: 15.7%
 仕上がり平均含水率: 18.5%
 標準偏差: 1.3%
 乾燥前の曲がり: 平均6.3mm 標準偏差2.9mm
 乾燥後の曲がり: 平均4.9mm 標準偏差3.2mm
 材長365cm

ねじれなどがある。新JASでは、曲がりについて0.2%~0.5%の基準が設けられた。これを3m材に適用すれば、長さ方向の最大矢高が6mm~15mmとなる。乾燥による曲がりは、第10図¹⁰⁾に示すように、乾燥前後でそれほど差があるものではない。すなわち曲がりの大小は含水率の問題というよりも、木材の組織構造の不均一が影響している。したがって、曲がりあるいは縦反りを抑えるには、圧縮乾燥などの狂い防止技術が導入されなければ効果がない。

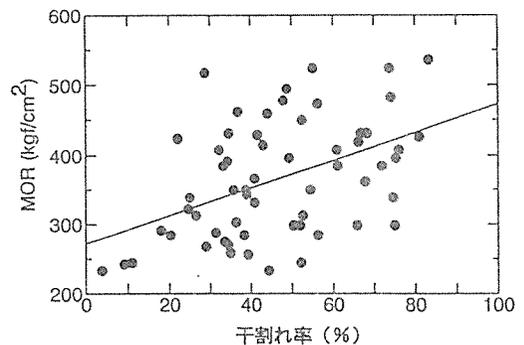
3.3 干割れと強度

乾燥に伴う割れが発生した場合、これが強度低下につながるかどうかよく話題となる。定量的なデータは少ないが、第11図、第12図にスギ正角の乾燥による干割れ(材面割れ)と曲げヤング係数(MOE)、曲げ強度(MOR)の関係¹¹⁾を示す。この結果では、干割れが多い方がMOE, MORとも高くなる傾向が認められた。すなわち干割れの存在は強度低下にはつながらないという結果である。この理由は2つ考えられる。ひとつは、強度と比重の間には正の相関があり、比重の高い材ほど強



第11図 スギ正角乾燥後の干割れ率と曲げヤング係数の関係

干割れ率: 4材面の材面割れ長さの合計を材長の4倍で除した比率。
 危険率1%で有意差あり。
 仕上げ含水率は12.4%~15.5%
 正角断面寸法: 10.5cm角



第12図 スギ正角乾燥後の干割れ率と曲げ強度の関係

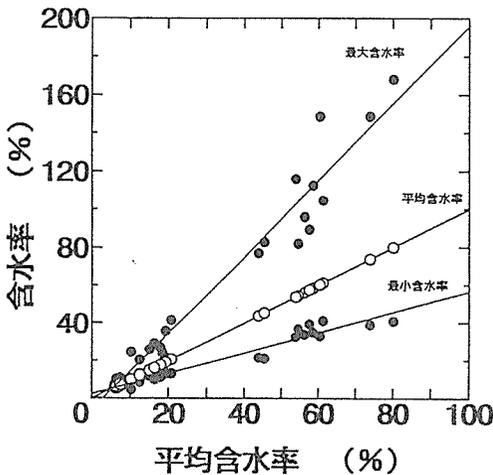
干割れ率: 4材面の材面割れ長さの合計を材長の4倍で除した比率。
 危険率1%で有意差あり。
 正角断面寸法: 10.5cm角
 仕上げ含水率は12.4%~15.5%(全乾法)

度は高いが、同時に同じ乾燥条件下では比重の高い材は割れが発生しやすいこと、及び含水率を低くするほど割れも多くなる傾向があるが、それと同時に乾燥しているほど前述のように強度も増すこと、などが影響したものと思われる。したがって、乾燥による干割れの存在は、曲げ強度に対して強い影響を及ぼす因子ではなく、他の物性すなわち比重、含水率の方が強く影響すると思われる。

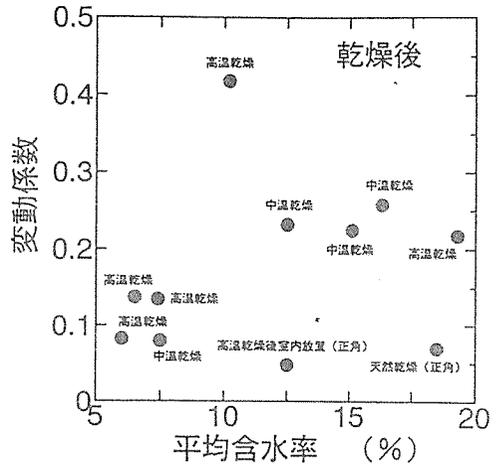
4. 含水率のばらつきの現状とその制御

4.1 乾燥材の含水率のばらつき

木材乾燥における、あるロットの平均含水率とそのばらつき(最大値と最小値の幅)は、第13図¹²⁾に示すように平均含水率(○)が低くなるほど小さい幅になる。また乾燥後の平均含水率と変動係数を見ると第14図¹²⁾に示すように、乾燥温度条件、乾燥時間により異なるが、実際の蒸気式乾燥装置の操作の範囲では、概ね、変動係数が平均含水率15%時点で、0.2~0.3程度であるといえる。高温乾燥で、急速に乾燥すれば、変動係数が0.4以上と



第13図 ロット内の含水率のばらつき
 最大含水率=2.01×平均含水率-5.72
 最小含水率=0.54×平均含水率+2.44
 各点は各ロットの平均値および最大含水率、最小含水率
 各ロットの試験体数は16~109体
 樹種：トドマツ、エゾマツ、
 材種：厚板(27mm)、正角(105mm)
 乾燥法は、天然乾燥と中温および高温乾燥



第14図 ロットの平均含水率と変動係数
 変動係数=標準偏差/平均含水率
 各乾燥ロットの材数は16~109体
 高温乾燥は100~110℃、中温乾燥は50~90℃、天然乾燥は3カ月
 乾燥材種は厚板(27mm)と正角(105mm)、樹種はトドマツ、エゾマツ

大きく、また、天然乾燥3カ月、及び乾燥後の養生期間が長ければ(高温乾燥後室内放置)変動係数は0.1以下まで小さくすることができる。

4.2 含水率のばらつきの制御

品質向上、信頼性向上のためには、含水率の基準をどこに置くかということよりも、乾燥による含水率のばらつきを少なくすることが、第一に重要な課題である。含水率のばらつきに影響する因子は、木材材質、原木管理方法、製材方法、乾燥法、乾燥時間、養生方法などいくつかある。

したがって、含水率のばらつきを少なくするためには、●伐採時に葉枯らし等により、辺材部含水率を下げて丸太含水率の均一化をはかる(第2表¹³⁾)、●製材時に含水率別にロットの振り分けを行い、乾燥ロットの含水率を揃えて乾燥する。●天然乾燥、予備乾燥により、ある程度ばらつきを小さくする、●乾燥装置は、温度、湿度、風が思い通り制御できるもの、及び躯体の断熱構造が完璧であるものを採用すること、性能不十分な装置の場合には、ばらつきも大きくなり、乾燥時間も長引く、●乾燥時間は長引くが、スケジュール操作で乾燥末期にイコーライジング処理を行い含水

第2表 原木丸太の含水率(鷲見1988)

	含水率範囲(%)		
	心材部	辺材部	全 体
ヒノキ(生 材)	35～45	110～180	70～110
ヒノキ(サンドライ)	25～35	60～110	50～70
スギ(生 材)	60～180	130～230	110～200
スギ(サンドライ)	50～130	60～130	70～100

葉枯らし期間：夏、秋に50～60日間(大子営林署管内)

率を揃えること、●乾燥後の養生期間を設け乾燥材の含水率の均一化をはかること、●乾燥材の含水率検査を行うこと。文字どおり、未乾燥材がないかどうかを然るべき方法により検査すること。基準に合わない未乾燥材は、再乾燥するか、養生時間を長くすること、などを考慮すべきであろう。

5. 含水率基準

製品別、建築仕様書等の含水率基準を第3表¹⁴⁾に示す。新JASでは、構造用針葉樹製材の乾燥材の含水率基準としてD15(含水率が15%以下)、D20、D25の3つが採用された。いままで述べてきたような性能、断面形状、乾燥技術の現状などを考慮して決定されている。また集成材、構造用大断面集成材は15%以下、枠組壁工法構造用材は19%、合板、複合フローリングは14%以下である。針葉樹構造用製材の乾燥材と比べれば、接着製品である集成材、合板など木質材料の含水率基準値は低く、何らかの人工乾燥が必要となっている。

6. 水分計

現在、製材等の水分管理に用いる水分測定方法はサンプリングにより電気式水分計を用いて測定する方法である。また現在多く利用されている水

第3表 木材含水率の各種基準

日本農林規格(JAS)

品 目	材 種	針葉樹材	広葉樹材
製 材 (一 般)	人工乾燥材	15%以下	13%以下
枠組壁工法構造用材	乾 燥 材	19%以下	
単層フローリング	天然乾燥材	20%以下	17%以下
	人工乾燥材	15%以下	13%以下
集 成 材		15%以下	
構造用大断面集成材		15%以下	
構造用針葉樹製材	乾燥材D25	25%以下	—
	同 D20	20%以下	—
	同 D15	15%以下	—
合 板		14%以下	
複合フローリング		14%以下	

建築仕様書

種 類	材 種	A 種	B 種	C 種
日本建築学会建築工事標準仕様書(JASS11)	造作材	18%以下	20%以下	24%以下
建設大臣官房官庁営繕部建築工事共通仕様書	構造材	20%以下	24%以下	—
	下地材	20%以下	24%以下	—
	造作材	18%以下	20%以下	—
住宅金融公庫融資住宅木造住宅共通仕様書	構造材	19%以下		

A種：高級住宅、B種：中級住宅、C種：一般庶民住宅

第4表 認定木材水分計(1992年現在)

認定番	商品名	型式	会社名(所在地、電話番号)
89-001	高周波木材水分計 MOCO-2	HM-520	株式会社ケット科学研究所 〒143 東京都大田区南馬込1-8-1 TEL 03-3776-1111
89-002	高周波式木材水分計ワカールS	FSK-118	フソー株式会社 〒663 奈良県桜井市吉備588-1 TEL 07444-3-2020
89-003	CSA高周波式木材含水率計	DELTA-5	有限会社エーデス機械産業 〒187 東京都小平市花小金井1-15-10 TEL 0424-67-0401

分計は、針状の打ち込み電極による電気抵抗式、押し当て式平行電極を持つ高周波容量式の2つである。

新JASでは、全乾法による含水率測定を基本としながらも、実際には、電気式水分計も使用が可能される。この場合、格付け機関(財)日本住宅・木材技術センター)が性能認定した高周波型水分計を用いることとなっており、現在、第4表に示す3機種の使用が可能となっている。

7. 今後の水分管理技術

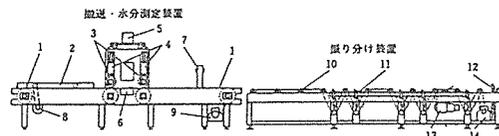
乾燥材の水分管理は、サンプリングによる計測が支配的であるが、将来は、全数チェックによる個々の材の管理が望ましい。すなわち製材個々の含水率を管理できることにより、含水率のばらつきを知ることができるため、乾燥工程におけるばらつきの改善に寄与できる。さらに集成材、縦つきなどを考える場合には、1枚の材の部分ごとの含水率も測定できることが必要であろう。そのためには、連続測定のできる水分測定システムの導入が望まれる。いわゆるメカニカルグレーディング(機械的等級区分)と併用して水分グレーダーの設置が望まれる。現在、連続型計測システムに関するセンサ、ラインの研究が行われつつあり、第15図に示すようなプロトタイプシステム¹⁵⁾も開発され、それによる含水率測定における断面の大きな材の測定精度も実用に耐えるまで(低い含水率域で±2%)に向上している(第16図)¹⁶⁾。

おわりに

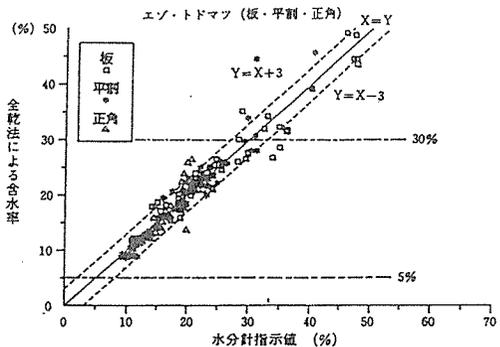
エンジニアリングウッドの水分管理については、

各部の名称

1: ベルトコンベア、2: 輻寄せ用移動定規、3: 製材押え用昇降ローラ、4: エアソリリング、5: 昇降ローラ用モータ、6: 水分センサ、7: マーキングスプレ、8: 輻寄せ用モータ、9: コンベア用モータ、10: ライブローラ、11: チューントリップ、12: 後方ストップ、13: チューントリップ用モータ、14: ライブローラ用モータ



第15図 連続型自動水分測定装置の断面図



第16図 連続水分測定試験結果(全測定値の場合)

材料の保持すべき性能と含水率の関係について一層の検討の上に立った含水率基準が選択されることが望ましい。それはまさしくエンジニアリング的アプローチである。新JASでは、先鞭を切って建築用針葉樹構造材について乾燥材の含水率基準と規定寸法が定められたが、一步前進である。

さらに品質安定、信頼性向上のためには含水率のばらつきをいかに少なくするかという課題があり、そのためには、原木、製材、乾燥、二次加工の一貫した木材加工システムの中で水分管理を考えたシステム開発が必要となろう。

文 献

- 1) 三村・橋爪・吉田・奥村・小林・向山：カラマツ材の乾燥，長野県林業指導所研究報告（第1号），41（1986）
- 2) 寺沢真・鷺見博史：木材工業，25，7，279（1970）
- 3) 中井孝・長尾博文・黒沢有一・古沢信：第41回日本木材学会大会研究発表要旨集，99（1991）
- 4) Borg Madsen：“Structural behaviour of Timber”，225，Timber Engineering Ltd.（Canada）（1992）
- 5) 菱田・大野・木方・祖父江：スギ芯持ち正角材の乾燥に伴う曲げ強さの推移，第42回日本木材学会大会研究発表要旨集，142（1992）
- 6) F.P.L.：“Wood engineering Handbook 2nd edition”，3-12，Prentice hall，New Jersey（1990）
- 7) 信田聡：未発表資料
- 8) 斎藤周逸：日本木材加工技術協会第6回年次大会講演要旨集，25（1988）
- 9) 平野茂：日本木材学会木材と水研究会平成2年度シンポジウム要旨集（スギ材の乾燥），4（1990）
- 10) 信田聡：未発表資料
- 11) 荒武志朗・迫田忠芳：製材品の干割れが強度に及ぼす影響（未発表資料），宮崎県工業試験場工芸支場（1991）
- 12) 信田聡：合板レポート，No.12，30-33（1989）
- 13) 鷺見博史：「産地の木材乾燥」，33，林業改良普及双書109，（社）全国林業改良普及協会（1992）
- 14) 鷺見博史：「葉枯らし乾燥」，林業改良普及双書104，22，（社）全国林業改良普及協会（1992）
- 15) 菅谷恵美子・中馬厚・奈良直哉：連続型自動水分測定装置の開発，日本木材学会北海道支部講演集第23号，49（1991）
- 16) 奈良直哉・中馬厚・信田聡：連続測定型センサによる水分管理技術の研究，木材高度利用複合化システム開発事業，第1部要素技術研究開発成果報告書，136，北海道林務部（1991）

6 針葉樹建築用乾燥材の吸水について

北林産試だより1991, 4月

奈良直哉

はじめに

近年、北海道内における木造住宅は、地域性がありますが、高断熱、高气密の北方型住宅と称されるものが主流となっており、このために、建築用材の乾燥は不可欠な要素となっています。北海道内の木材業界では、いち早くこの乾燥問題に取り組み、昭和61年2月に全国に先がけて「北海道乾燥材普及協議会」が発足し、乾燥材の普及と技術の研さん、さらに異業種業界との交流会など積極的な活動を行っています。また国も、全国的レベルで建築用材の乾燥問題に取り組み、乾燥材のAQ認証制度、また近くJASの改正の中に乾燥材規格を取り入れるなど、建築用材の乾燥問題は大きく発展してきている状況と考えられます。

このようななかで、乾燥材の高品質化とともに乾燥材を使用する上での管理上の問題が先に述べた異業種交流会などで出てきています。すなわち、多大の経費をかけて乾燥された材の保管、輸送、取扱い上での問題です。具体的には建築現場での取扱い、保管が不備なため、雨露がかかり吸湿し、住宅建築後クレームが発生する。あるいは、乾燥材の保管が悪いため、実際に現場で使用する時には吸湿して使用できないなどの問題です。当然のことながら、乾燥された材は適切な取り扱いと管理が重要であり、この点をおろそかにして論議すること自体に問題があると考えます。

今回は、ほぼ適正な含水率まで乾燥した材を水に漬けた場合、どのように含水率が変化するのか、

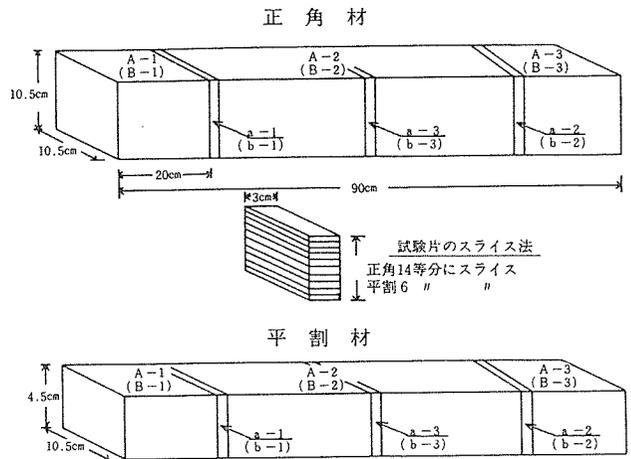


図1 試験片の採材方法

実用的な問題を考慮した実験を試みてみましたので参考にして下さい。

実験方法

実験には長さ90cmのエゾマツの正角(10.5cm)と平割(4.5×10.5cm)材それぞれを2本用い、生材から含水率17~18%まで常法により乾燥を行いました。その後ほぼ1か月間、温度20℃、関係湿度85%(平衡含水率約18%)の恒温恒湿室に入れ、供試材の含水率の平均化を図りました。

この供試材を図1に示すように材の両木口(A-1, A-3並びにB-1, B-3)の20cmのところから試験片(長さ3cm)を採材し、厚さ方向を正角は14等分、平割は6等分(一片の厚さは7.0~7.3mm)にスライスし全乾法により含水率を求めました。それぞれの残りの中央部約

49cmの材は、ただちに水を張った水槽に入れ、供試材を吸水させましたが、浸水時間は正角、平割とも1時間と7時間の2条件としました。浸水後の供試材は図に示すように直ちに材の中央部から試験片を採材し、上記と同様な方法でスライスしてそれぞれの含水率を求め、吸水前後の含水率の比較を行いました。

結果と考察

1時間浸水

図2, 3に正角、平割材それぞれの浸水前後の含水率を示しました。正角材の1時間浸水の場合浸水前の両木口から20cmの位置における試験片(a-1, a-2)の含水率は両者ともほぼ同様な傾向を示し、表層部は16.0~16.5%, 中心層は約19%であり、その平均含水率は両者とも同様な約18%でした。このような値を示した供試材中央部(A-2)の1時間浸水後の含水率(試験片a-3)は図に示すように表層部は約21.0~22.5%と大きく増加しました。しかし、平均含水率で

は浸水前の含水率と大差なく約2%程の増加となりました。また平割材については浸水後(a-3)の表層部のみの含水率は浸水前(a-1, a-2)の値(17.7~18.5%)に対して約11%も高い27.5~28.8%となりました。中心層についても傾向としては正角材と大差ありませんが、若干異なっているように見受けられます。すなわち、6等分にスライスした2層目の含水率が浸水前とは異なった変化を示しており、その結果として平均含水率も浸水前の約18.6%に対して22.9%と4.3%程度増加しています。

この結果から、考察しますと、1時間程度の浸水では、表層部の含水率はかなり増加するものの全体的な含水率の増加は一般的に想像するよりは小さいことが明らかに認められます。しかし、供試材の長さ方向の含水率に若干のバラツキがあり、このことが測定値に影響を与えているとは考えられますが、平割材の結果からは材の断面寸法(特に材厚)の影響をかなり受けるものと思われ、断面寸法の小さい場合は、材の吸湿に対して十分注意することが必要と考えます。

7時間浸水

正角材における浸水前の含水率(b-1, b-2)は、1時間浸水の場合とほぼ同様であり、表層は約16.5%, 中心層では約19%前後で、その平均含水率は約18%でした。7時間浸水後の含水率(b-3)は表層が約25.5~27.7%と大きく増加していますが、中心層の含水率増加は顕著でなく、平均含水率も20.5%と浸水前に比較して2.4%程度の増加であり、前項の1時間浸水条件の含水率とほぼ同様な結果を示しました。また平割材についても浸水

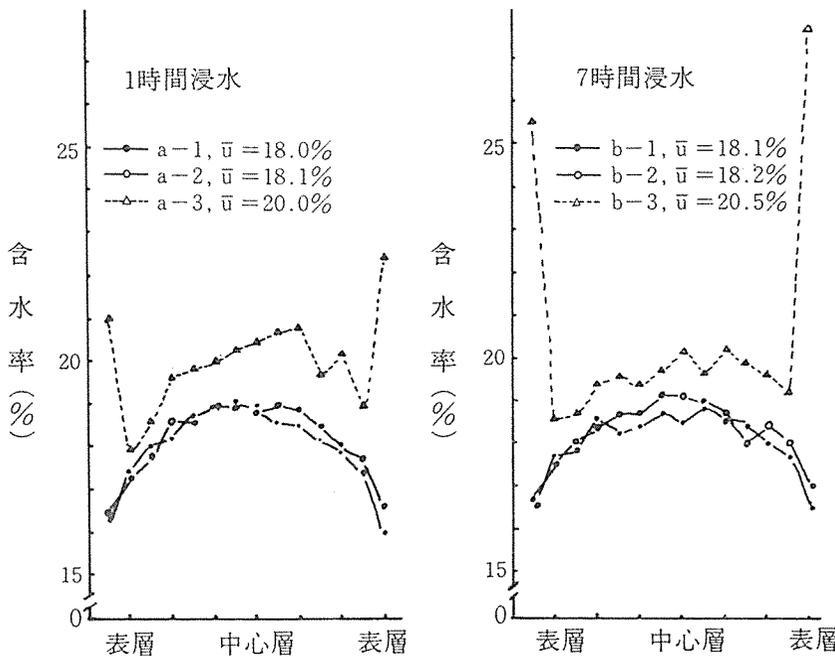


図2 正角材の含水率
注: \bar{u} は平均値を示す

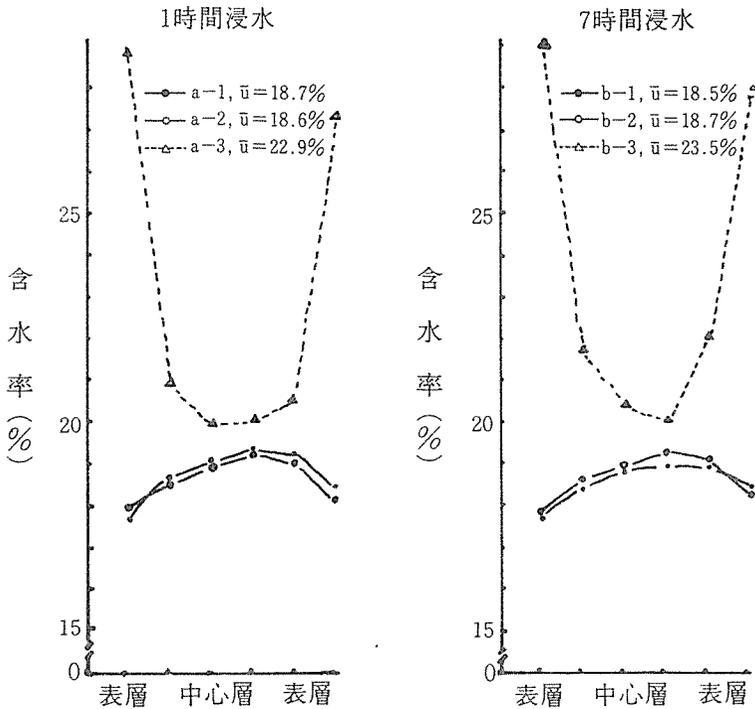


図3 平割材の含水率
注: \bar{u} は平均値を示す

前の含水率 (b-1, b-2) は1時間浸水の場合と同様で、表層は約17.7~18.3%、中心層約19%、平均含水率は約18.6%でした。7時間浸水後の含水率 (b-3) は正角材と同様に表層のみが約28~29%と大きく増加しており、平均含水率では23.5%と浸水前より4.1%程度の増加となりました。このことは、正角、平割材とも前項の1時間浸水の場合と同様な傾向を示すものであり、今回設定した1時間、7時間の浸水時間内での含水率変化は大差ないものといえます。しかし、1時間浸水の場合と同様に材種の相違による影響は明らかに認められ、正角材に比較して平割材の含水率増加は大きい値を示しています。

おわりに

以上、非常に簡単、粗雑な手法ですが実用的な面からの乾燥材の吸水性の実験を行ってみました。その結果、十分な乾燥を行った材であれば、若干の雨露がかかっても、吸水するのは表層の極く一部であり、比較的内部の含水率には変化のないことが明らかです。

このことは、乾燥材の保管、管理が不適當でも良いということではありません。当然、浸水時間が長くなれば、木材内部まで吸水、すなわち、含水率が増加しますので十分な管理が重要です。また十分乾燥されてない材については、この影響は特に顕著に受け、

大きなトラブルの発生にもなりますので注意が必要です。したがって、木材の乾燥は、適正な手段、方法で行うとともに乾燥材については、十分な保管、管理が重要であり、例えば、ベタ積みを行い上部にビニールシートを掛ける、あるいはビニールシートで包装するなどが不可欠です。

さらに、建築現場におけるトラブルも多くあるように思われますので乾燥材生産者ともども工務店サイド、大工さんも乾燥材の取り扱いには十分な配慮を行って欲しいものと考えます。

なお、本実験は乾燥科職員沼田、幡多、上野らが実施したものをとりまとめたものです。

(林産試験場 経営科)

第5章 乾燥材の強度、材色変化

1 乾燥法別の強度比較

—スギ、ヒノキ間伐材の強度特性—

鳥取県工試 ○谷口義昭、中村昭二、西尾茂

1 はじめに

前報では板材を4つの乾燥法、すなわち(1)熱風乾燥、(2)除湿乾燥、(3)高周波減圧乾燥、(4)天然乾燥で乾燥し、乾燥法別の材質特性を把握した。その結果、収縮量と平衡含水率において乾燥法による差は幾分あるが、乾燥後の寸法変化及び無欠点小試験片の強度比較では、その差は明かでなかった。本報では乾燥法別の強度比較を間伐材ではあるが、節等を含む実用に近い寸法の試験材で行った。

2 実験方法

供試材は8cm角、長さ2mのスギ(鳥取県・沖の山産)及びヒノキ(広島県産)材で、乾燥前に背割り処理を施した。90本の試験材をスギでは任意に3つの乾燥に、ヒノキは120本の試験材を乾燥実験前に100kgfの荷重を負荷してヤング率を求め、4つの乾燥に振り分けた(平均値88.5~88.8、標準偏差8.3~9.0×10³kgf/cm²、変動係数9~10%)。

乾燥試験は熱風乾燥及び除湿乾燥は温・湿度調整可能な大型環境試験装置(内寸法1970×1970×2100)で、高周波減圧乾燥は既設の実験用装置(乾燥有効寸法500×450×2000)、天然乾燥は天然乾燥場で行った。乾燥条件は熱風乾燥で乾球温度55~75℃、乾湿球温度差4~15℃、除湿乾燥は乾球温度40℃、関係湿度80~50%、高周波減圧乾燥は材温40℃、圧力40Torr、天然乾燥は7~10月、12月~継続中で行った。

強度試験はスパン180cmの中央集中荷重で行った。強度値は背割り処理のため断面欠損はあったが、欠損のない方形断面として算出した。また、各強度値は含水率15%時の強度に換算して $[\delta_2 = \delta_1 \{1 - \alpha(u_2 - u_1)\}]$ 、曲げ強度 $\alpha = 4\%$ 、ヤング率 $\alpha = 2\%$ 、比較した。

3 結果

スギ間伐材について乾燥終了時の含水率は熱風乾燥で平均13.6%、高周波減圧乾燥12.4%、その後室内に約2ヶ月放置した。試験時の含水率は天然乾燥で15.6%、高周波減圧乾燥で14.3%、熱風乾燥14.5%であった。含水率15%に換算した時の強度値を表に示す。各平均値の有意差検定を行ったところ、3つの乾燥法で乾燥された間伐材の強度値には差が無いことがわかった。ヒノキの結果は口頭で発表する。

表 スギ間伐材の乾燥法別の強度性能 (含水率15%に修正)

項目	天然乾燥			高周波減圧乾燥			熱風乾燥		
	含水率	ヤング率	強度	含水率	ヤング率	強度	含水率	ヤング率	強度
平均値	15.57	54.41	404.16	14.28	54.48	399.57	14.49	54.09	394.91
標準偏差	0.55	13.02	66.46	1.01	11.84	72.48	0.68	11.81	58.19
変動係数(%)	3.56	23.92	16.45	7.05	21.73	18.14	4.69	21.83	14.74
区間推定	15.78-15.36	59.27-49.55	429.0-378.4	14.60-13.85	58.37-50.46	424.6-374.5	14.74-14.24	58.50-49.68	416.6-373.2

単位:含水率 %、ヤング率 ×10³kgf/cm²、強度 kgf/cm² 試験材数:各乾燥法30

前報:浜野義昭、中村昭二、西尾茂、第39回日本木材学会大会研究発表要旨集(1989)、p124.

2 人工乾燥による材色の変化について

岡 山 木 枝 セ

河 崎 弥 生

〈はじめに〉 木材を人工乾燥する場合、変色が問題となるケースがある。建築用材においても、見えがかり材においては材色に対する関心度は高い。ここでは、ピンクがかった心材色が特に大切にされるヒノキ柱材について、人工乾燥による材色の変化について検討したので報告する。

〈実験方法〉 異なる4タイプの蒸気式乾燥スケジュール（講演「ヒノキ柱材の乾燥スケジュールについて」中のもと同様）等によって乾燥した場合における、ヒノキ柱材の表面及び内部10mmまでの材色の変化を測定した。測定には、色差計（SMコンピューター5型、スガ試験機）を用いた。測定スポット径は12mmとし、原則として心材部、辺材部それぞれ4カ所の測定とした。

〈結果〉 図1～図3に、 $L^*a^*b^*$ 表色系を用いて示した各スケジュール条件下における材表面の心材色の変化を示す。乾燥温度域が高いスケジュールの方が明度指数 L^* の低下が著しく、クロマトイクネス指数も a^* が減少し b^* が増大する傾向が顕著である。しかし、このクロマトイクネス指数の増減傾向は、高温度域スケジュールの場合においては、早い時点で a^* が増大し b^* が減少する方向へと転換する。ここには示さないが、乾燥終了時の深さ方向の材色の変化について、 L^* 値で見ると、低温度域スケジュールの場合、低下が見られるのは深さ1mm前後までにとどまり、それより深い部分には乾燥による影響は見られない。しかし高温度域スケジュールの場合は、深さ10mmでも依然として乾燥による影響が存在することが確認できた。このような傾向は、 $a^* \cdot b^*$ についても同様であった。

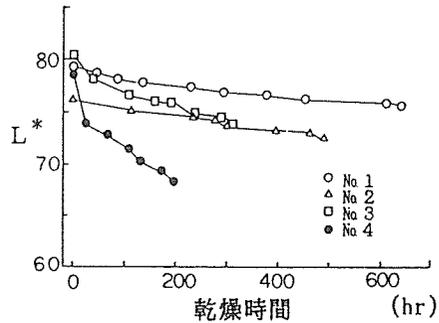


図1 乾燥による明度指数 L^* の推移

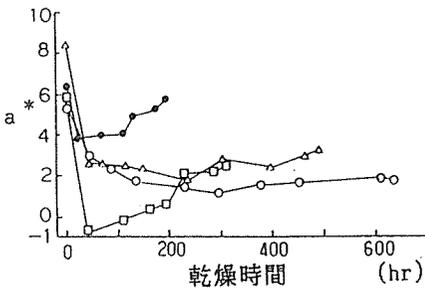


図2 乾燥によるクロマトイクネス指数 a^* の推移

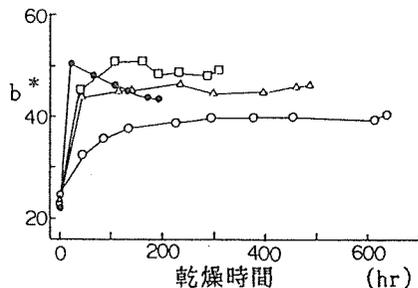


図3 乾燥によるクロマトイクネス指数 b^* の推移

3 スギ柱材における乾燥技術の確立 (I) について — 乾燥による在色変化について —

岐阜県林業センター ○長谷川良一 香川紘一
杉山正典 平岡厚雄

〔目的〕 スギ材の効率的な乾燥法が重要視される中で人工乾燥の前処理としての葉枯らしが見直されている。そこで、葉枯らしの効果について、含水率、材色、製材品の性状について検討するとともに、人工乾燥による材色変化について測定した。

〔方法〕 試験地として、岐阜県林業センター実験林、県内郡上郡明方村の2ヶ所を選定した。この林分から樹齢25年のスギを対象に各10本ずつ（5個体を葉枯らし、5個体をコントロールとした）3回の葉枯らしを行い製材品の性状調査を実施した。その後葉枯らし材とコントロール材を用い、当場のIF型熱気乾燥室において、2種類（低温、中温）のスケジュールにより含水率15%まで乾燥し、乾燥条件の違いによる心材色の材色変化を測定した。なお材色試験片は柃目面とし、表面をサンドペーパーで研磨した。材色の値は、客観性のあるL* a* b* 表色系と、視覚的なマンセル表色系で表した。

〔結果〕 1. 葉枯らし後の材色変化を図-1に示す。葉枯らしをすることによりL* a* b* 表色系による表示では、明度L*が増加するとともに、a*値が2.63 b*値が1.26減少し、コントロール材との色差 ΔE^* は4.43となった。またマンセル表色系による表示では、色相が3.4 YRから4.5 YRへと移行した。これらのことにより、明るさが増し、黄味がかったといえる。

2. 乾燥スケジュールの違いによる材色変化を表-1に示す。葉枯らし材の人工乾燥を行った結果、低温条件では乾燥後の材色変化はほとんどみられないが、中温条件で乾燥した場合は色差 ΔE^* が3.77と乾燥による変色のみられた。

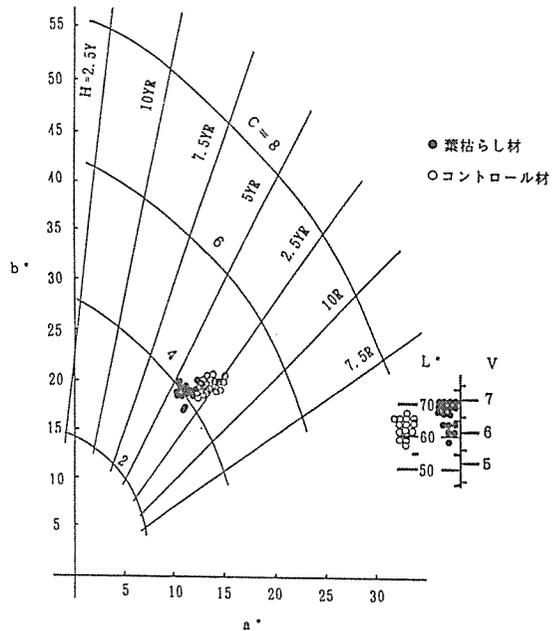


図-1 葉枯らしによる材色変化 (夏季)

表-1 人工乾燥による材色変化 (葉枯らし材)

表示方法	低温乾燥			色差 ΔE^* 0.57	中温乾燥			色差 ΔE^* 3.77
	64.49	10.93	20.69		67.92	10.14	19.81	
L* a* b*	64.51	10.43	20.97		70.46	7.40	20.31	
H V/C	4.9YR 6.3/3.9				5.0YR 6.7/3.7			
	5.4YR 6.4/3.9				7.0YR 6.9/3.5			

上段 乾燥前
下段 乾燥後

引用文献

基太村洋子：日本木材学会
大会研究発表要旨集，37
(1987)

4 スギ構造材の干割れが力学的性質に及ぼす影響

—曲げ強さと曲げヤング係数について—

荒武志朗*¹・有馬孝禮*²・迫田忠芳*¹・中村徳孫*³

Effects of Season Crack on Mechanical Properties of Sugi Structural Lumber

—Modulus of rupture and modulus of elasticity in bending—

SHIRO ARATAKE*¹, TAKANORI ARIMA*²,
TADAYOSHI SAKODA*¹, YASUHIKO NAKAMURA*³

*¹Miyazaki Prefectural Industrial Research Institute, Industrial Arts Branch

*²Faculty of Agriculture, The University of Tokyo

*³The University of Miyazaki

The main purpose of this study was to examine the effects of season crack on modulus of rupture and modulus of elasticity in bending of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) structural lumbars which were sawn into square lumber with pith. In addition, explanatory variables for lumbars which has a tendency to make the season crack were investigated. Lumbars were dried by quite a hard condition. The season crack was evaluated to the full amount of longitudinal sectional area of it and ratio of its length to lumber length. The results are summarized as follows: The positive correlations were observed between season crack and modulus of rupture or modulus of elasticity in bending. That is to say, the lumbars which has marked season crack had higher mechanical properties. As seen from these results, it can be considered that there is no effect of season crack on mechanical properties of Sugi structural lumbars. In regard to explanatory variables for lumbars which has a tendency to make the season crack, compared with average annual ring width, eccentricity of pith, and other visual factors, modulus of elasticity in bending was obtained higher simple correlation coefficient.

はじめに

スギの生材含水率は一般に高く、しかも心材の水分移動が非常に悪いため、特に心材率の高い心持ち材では表面割れなどの損傷を生じやすい。このため、干割れ防止技術の開発などが技術的課題¹⁾とされている。

干割れ(特に表面割れ)は、主として表層部の乾燥による収縮が内層部によって拘束されるため²⁾に生じる。したがって、収縮率などとの関連から、干割れを生じやすい材はむしろ材質的に強度性能が高いと推察されなくもない。『針葉樹の構造用製材の日本農林規格』(以

下新 JAS と記す)の割れに関する規定も、干割れが強度に影響しないとの考えから貫通割れのみが対象とされ、それ以外はその他の欠点として取り扱うこととされている。しかし、工務店やハウスメーカーなどの干割れに対する評価は厳しく、近年報告された例³⁾でも、干割れは乾燥に関するクレームのうち一位にランクされている。また、干割れに対するクレームには、視覚的に見苦しい、施工上の問題などの他に、強度低下の原因と言われる例も多いことから、前述した新 JAS の考え方などが、必ずしもユーザーに理解されていないのが現状である。この原因には、干割れと強度との関係について、これまでに報告された例がないことから、エンドユーザーの理解を十分に得る機会が設けられなかったことも考えられる。

そこで、本実験では、スギ製材品の干割れと強度性

*¹宮崎県工業試験場工芸支場

*²東京大学農学部

*³元宮崎大学

能との関係を明らかにするために、比較的厳しい（干割れを生じやすい）乾燥条件により気乾状態にまで乾燥した心持ち正角材に対して曲げ試験を行い、干割れが曲げ強さ及び曲げヤング係数に及ぼす影響を調べた。また、干割れを生じやすい材の予測因子についても併せて検討した。

1. 実験

1.1 供試体と乾燥方法

宮崎県耳川流域産スギ(*Cryptomeria japonica* D. DON)で、10.5×10.5×300 (cm)の心持ち材60体を実験に供した。

乾燥方法は、製材後天然乾燥を2カ月間実施し、その後蒸気式により65～70℃、相対湿度80～95%で、30日間の人工乾燥を行った。なお、天然乾燥は屋内で実施したが、干割れを促進させるために2台の扇風機で常時強制的に対流させた。この場合、供試体の積積み位置によって干割れの進行条件が異なるため、一定期間毎に積積みをしなおして、全供試体が同程度の期間外側に配列されるように注意した。

ここで、第1表に供試体の物理的性質を示す。なお、同表における乾燥後の含水率は、曲げ試験終了後に破壊試験体の一部から試験片を木取り、全乾法によって測定、算出した。また、生材時の含水率は、以下の要領で算出した。

$$W_o = \frac{100W_d}{mc_d + 100} \quad (1)$$

$$mc_g = \frac{W_g - W_o}{W_o} \times 100 \quad (2)$$

ここに、
 W_o : 供試体の全乾重量 (g)
 W_d : 供試体の乾燥後の重量 (g)
 mc_d : 供試体の乾燥後の含水率 (%)
 mc_g : 供試体の生材時の含水率 (%)
 W_g : 供試体の生材時の重量 (g)

第1表 供試体の物理的性質

	生材時	乾燥後
含水率(%)	63.58(22.20)	13.17 (0.543)
比重	0.530(0.079)	0.384(0.037)
平均年輪幅(mm)	—	5.67 (1.52)

カッコ内の数字は標準偏差

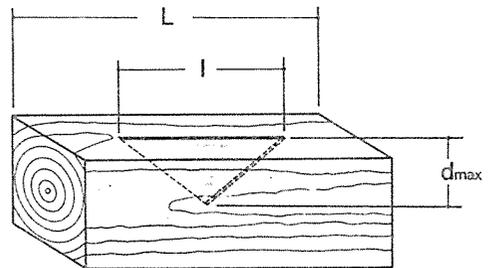
1.2 干割れの評価方法

本実験では、先に天然乾燥を実施したことなどから、内部割れは発生していない。したがって、評価の対象は木口部分から発生した表面割れ、並びに材面に独立して発生した表面割れである。

干割れの測定は、乾燥終了後、各供試体の木口面を除く4材面について、それぞれの干割れの長さを1mm単位目盛りのスケールで測定し、さらに、干割れの深さを1mm単位目盛り付きの隙間ゲージ(厚さ0.2mm)で測定した。

干割れの評価は次の2通りによることとした。

干割れが強度やヤング係数に及ぼす影響を調べるためには、干割れによって欠損した部分の縦断面積を求めなければならない。しかし、これを厳密に求めることはかなり困難である。そこで、本実験では、便宜上干割れの長さ方向の両端と干割れの最大深さの位置を頂点とする三角形の面積(第1図参照)、すなわち $ld_{max} / 2$ (cm²)を干割れによる縦断面の欠損面積とみなし、供試体4材面におけるこれらの合計(以下干割れ面積と記す)を評価した。一方、現場的には、簡易に干割れ長さのみから強度やヤング係数との関連を評価できることが望ましい。そこで、供試体4材面の長さの合計に対する同材面に生じた干割れ総長さ($\Sigma \ell$)の割合(以下干割れ率と記す)、すなわち $(\Sigma \ell / 4L) \times 100$ (%)を併せて評価した(第1図参照)。以上の方法でそれぞれ測定、算出した結果、全体に干割れの進行が著しく、干割れ面積は33.6～1420.3cm²(平均値は690.9cm²)、干割れ率は3.8～83.3%(平均値は46.3%)であった。



第1図 干割れの評価方法

L : 材長 (cm)
l : 干割れの長さ (cm)
 d_{max} : 干割れの最大深さ (cm)

1.3 曲げ試験

干割れ長さ、深さ、及び縦振動ヤング係数などを測定した後、全ての供試体(60体)に対し、オルゼン式万能試験機(10tf)を用いて3等分点4点荷重方式による曲げ試験を実施した。ここで、干割れは主として水平せん断力との関係が深いと考えられることから、試験の実施に当たっては、4材面のうち干割れ面積が最大となる面が水平(はりせい面)に位置するように供試体をセットした。

ここで、第2表に供試体の機械的性質を示す。

第2表 供試体の機械的性質

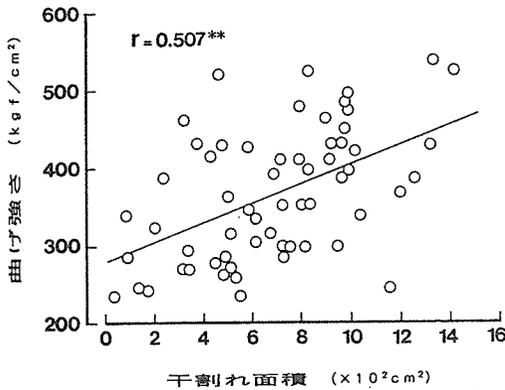
曲げ強さ(kgf/cm ²)	364.9(84.3)
曲げ比例限度(kgf/cm ²)	276.0(61.5)
曲げヤング係数(×10 ³ kgf/cm ²)	53.3(11.6)
縦振動ヤング係数(×10 ³ kgf/cm ²)	59.8(12.8)

かっこ内の数字は標準偏差

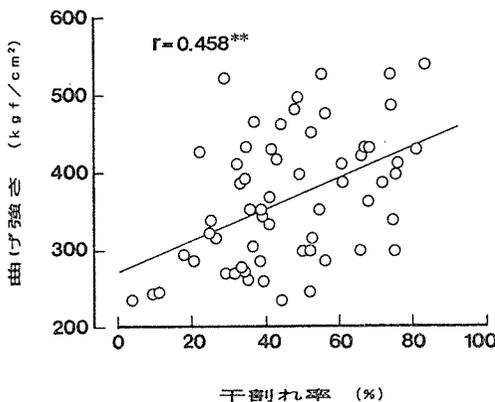
2. 結果と考察

2.1 干割れの曲げ強さに及ぼす影響

曲げ強さと干割れ面積及び干割れ率との関係を第2, 3図に示す。同図から、両者の関係は、何れも危険率1%で正の相関を得ており、干割れが顕著なほど曲げ強さは高い傾向を示している。また、この傾向は、干割れによる縦断面の欠損面積を対象とした第2図で特に顕著に認められることから、干割れによって縦断面が大きく欠損した材であっても、曲げ強さが低いとは言えず、むしろ干割れを生じやすい材の曲げ強さは、材質的に高いことが示唆されたものと言える。ここで、

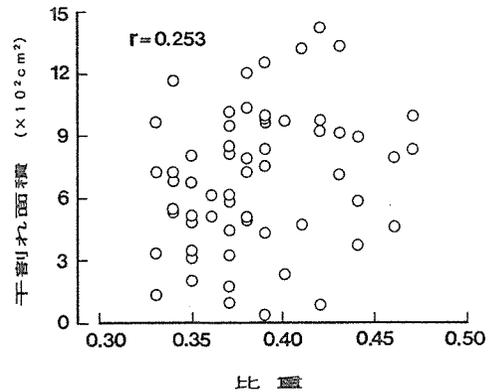


第2図 曲げ強さと干割れ面積との関係



第3図 曲げ強さと干割れ率との関係

木材の収縮率と比重との間には密接な関係があるとされており¹⁾、また、収縮率が干割れの発生原因のひとつに挙げられている²⁾。すなわち、一般に言われる強度の比重依存性から、本実験における曲げ強さと干割れとの関係が説明可能と推察した(曲げ強さと比重の関係は $r=0.743^{**}$ であった)。しかし、干割れ面積と乾燥後の比重との関連性は第4図に示すように殆ど認められず、本実験結果からは、干割れ材の曲げ強さが高い要因を、比重との関連から説明することは出来ない。なお、曲げヤング係数との関連から次節で考察を加えることとする。

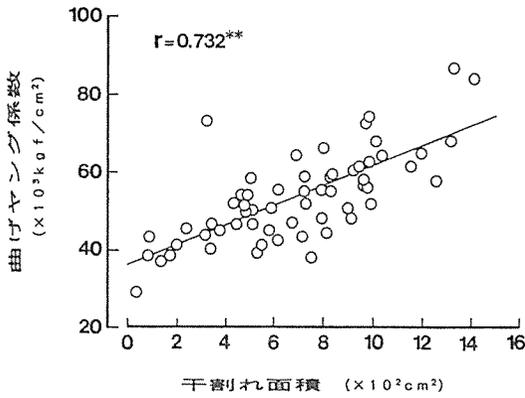


第4図 干割れ面積と比重との関係

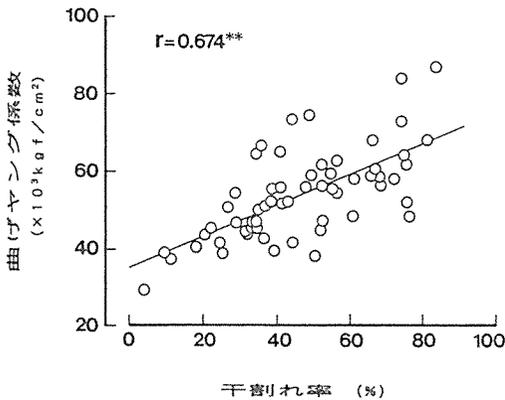
2.2 干割れの曲げヤング係数に及ぼす影響

曲げヤング係数と干割れ面積及び干割れ率との関係をそれぞれ第5, 6図に示す。同図から、両者の関係は、何れも危険率1%で正の相関を得ており、しかもこの傾向は、曲げ強さにおけるよりもさらに著しい。また、曲げ強さの場合と同様に、この傾向は、干割れによる縦断面の欠損面積を対象とした第5図において特に顕著であり、曲げヤング係数に対しても干割れを生じやすい材の方が高い値を示すことがかなり明確に示唆されている。このことは、材が変形しやすいほど表面割れが発生しにくいとされていること²⁾、本実験でも、第7図に示すように、干割れ面積と最大縦反り矢高との間に危険率1%で負の相関を得ていること、及び、図には示していないが、最大縦反り矢高と曲げヤング係数との間に危険率5%で負の相関を得ていることなどから理解できる結果と言えよう。

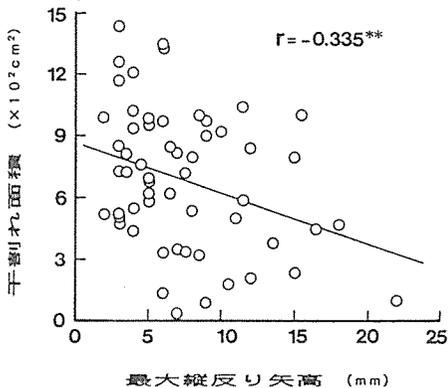
ところで、一般的な傾向と同様に本実験でも曲げ強さと曲げヤング係数の相関は高いこと($r=0.628^{**}$)から、干割れを生じやすい材を曲げヤング係数の高い材と考えれば、前節の曲げ強さと干割れとの関係も容易に理解できる。



第5図 曲げヤング係数と干割れ面積との関係



第6図 曲げヤング係数と干割れ率との関係

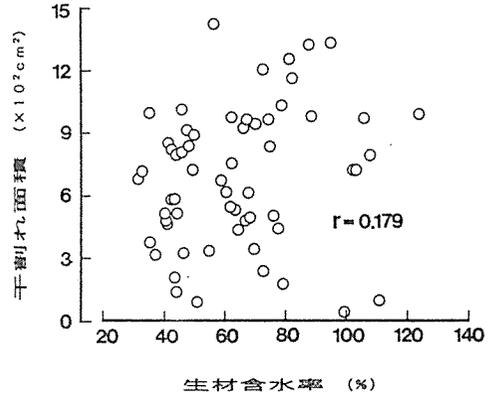


第7図 干割れ面積と最大縦反り矢高との関係

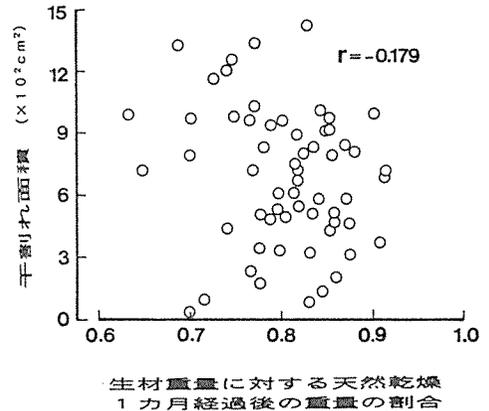
2.3 干割れの予測因子

干割れは、材内の水分傾斜及び収縮異方性などが乾燥応力を発生させることによって生じる。特に、スギは心材の水分移動が非常に悪いため⁵⁾、必然的に干割れを生じやすい。そこで、ここでは主として乾燥前の段階で干割れを予測するための関連因子を検討する。

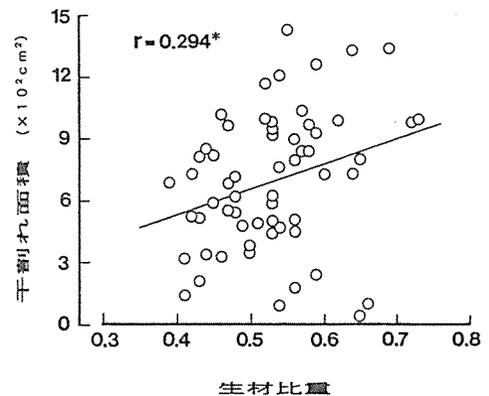
干割れ面積と生材含水率、生材重量(乾燥前の重量)に対する天然乾燥1カ月経過後の重量の割合(以下初期重量比と記す)、及び生材比重(乾燥前の比重)との関係を第8～10図に示す。第8図と第9図では有意な相関が得られておらず、第10図においても危険率5%



第8図 干割れ面積と生材含水率との関係



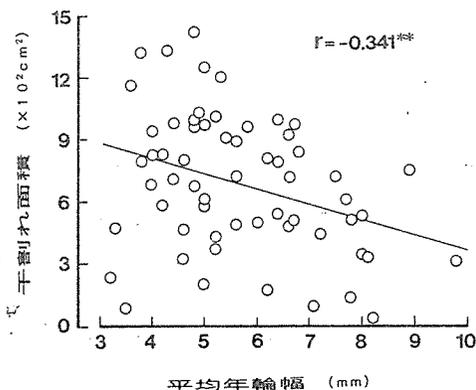
第9図 干割れ面積と生材重量に対する天然乾燥1カ月経過後の重量の割合との関係



第10図 干割れ面積と生材比重との関係

の相関を得ているものばらつきが大きい。したがって、本実験における干割れは、生材含水率や乾燥初期の含水率変化の程度にはさほど依存していないものと言える。

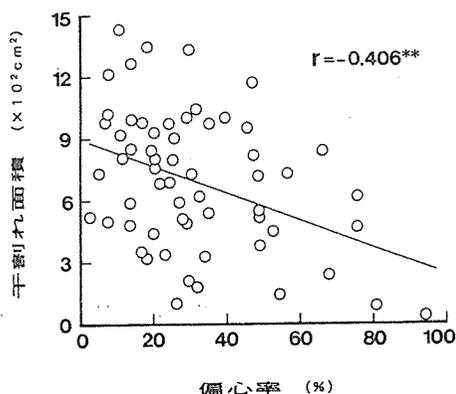
干割れ面積と平均年輪幅との関係を第11図に示す。



第11図 干割れ面積と平均年輪幅との関係

同図において、両者の間には危険率1%で負の相関が得られており、平均年輪幅が小さいほど干割れを生じやすい傾向を示している。ここで、干割れに対しては、収縮率との関連から、外層部の年輪幅が大きく影響するように思われる。そこで、供試体の木口面(元口側)に直径8cmの円を描き、その部分の外側の平均年輪幅を測定したうえ、干割れ面積との関係を検討した結果、相関はさらに高くなり $r = -0.456^{**}$ を得た。すなわち、干割れに対する平均年輪幅、特に外層部平均年輪幅の関与が認められた。

干割れ面積と偏心率(元口側)との関係を第12図に示す。同図から、偏心している材ほど干割れが少ない傾向を示している。偏心材の繊維走向は、材の軸方向に平行でないために干割れが連続しにくいことが要因と推察される。



第12図 干割れ面積と偏心率との関係

ここで、干割れ面積を目的変数、上述の各因子及び曲げヤング係数を説明変数として重回帰分析を行った結果、最適重回帰モデルは曲げヤング係数、初期重量比、偏心率の組み合わせがベストとなった。ただし、上述の各因子を全て組み合わせても曲げヤング係数単独よりも推定精度は低い。したがって、実際の乾燥に当たって干割れを生じやすい材を予測する場合、材の曲げヤング係数に注意することが適切であろう。しかし、本実験では一般的に言われる干割れの要因とは必ずしも一致しない結果も得られていることから、実際には、干割れは水分傾斜、収縮異方性のみならず、製材方法、乾燥方法なども含めた各因子間の複雑な関連から発生することに注意しなければならない。

まとめ

スギ心持ち直角材に対して、比較的厳しい乾燥条件により気乾状態まで乾燥した後曲げ試験を行い、干割れが曲げ強さ及び曲げヤング係数に及ぼす影響を調べた。また、干割れを生じやすい材の予測因子についても併せて検討した。その結果、干割れは曲げ強さ及び曲げヤング係数には影響せず、むしろ干割れを生じやすい材はそれらの値が高い傾向を示すことが示唆された。また、干割れを生じやすい材の予測指標としては、偏心率などの視覚的因子よりも、曲げヤング係数が高い推定精度を示すことが分かった。

謝辞

本研究の取りまとめに当たって、東京大学農学部林産学科信田聡助手より種々のご助言を頂きました。ここに、深く感謝の意を表します。

文献

- 1) たとえば日本木材学会木材強度・木質構造研究会：新JASに係わる諸問題と新たな動き、1-8 (1991)
- 2) 寺沢真、筒本卓造：“木材の人工乾燥”，社団法人日本木材加工技術協会，p.47 (1976)
- 3) 大熊幹章：木造住宅における木材乾燥の実態とその適正化に関する研究，住宅・土地問題研究論文集(15)，271-316，財団法人日本住宅総合センター(1990)
- 4) 伏谷賢美他8名：“木材の物理”，文永堂出版，p.64 (1989)
- 5) 小林好紀：スギ心材の乾燥特性とその改善の試み，日本木材学会「スギ」分科会，43-44 (1991)

(1992.9.24受理)

第6章 乾燥材と行政、規格、その他

1 都道府県における乾燥材への取組み（KDレポート）

1.1 熊本県における

乾燥材供給体制の整備

熊本県林業振興課木材流通対策室参事

吉田正信

熊本県では、外材支配体制下の厳しい産地間競争のなかで県産材の需要拡大を図るための方策として、スギ、ヒノキ一般材を人工乾燥することで商品性の向上を図り、その安定的な供給ができる体制の整備を進めている。

(1)乾燥施設設置状況

本県における乾燥施設の設置状況は表1のように県内55工場に84機が設置されている。乾燥窯の容量は平均9.7㎡であり、最近では10㎡を超えるものが多い。

また、乾燥方式を見ると表2のとおり概ね蒸気式と除湿式が同程度設置されている。

最近の施設導入資金についてみると、表3に示すとおり融資制度によるものが一番多く、次いで補助事業となっている。

表1 工場のタイプ別設置状況

	国産材 専門	国産外 材併用	外材 専門	合板	木工 家具	計
工場数	39	10	2	2	2	55
機械数	54	21	3	4	2	84

表2 乾燥方式別設置状況

	蒸気	除湿	高 除 温 湿	その他	計
機械数	37	34	8	4	84

(2)乾燥施設の利用状況

利用状況を見ると、従来大部分が造作用材、集成材（造作用）部材の乾燥用に使われてきた。

しかし、最近スギ構造用一般材を人工乾燥し品質性能の高い商品として出荷しようとする動きが見られる。

(3)乾燥材普及の現状

県では、人工乾燥した構造用材の普及宣伝のため、平成元年度から熊本市内の製品市場で展示市を行うとともに、東京の製品市場でも乾燥・プレーナー仕上げをした構造材を主体とした、「くまもとドライフェア」を開催している。

これに併せて、乾燥施設の導入促進を行うとともに、生産現場における生産技術研修を行い供給体制の整備に努めているところである。

さらに、熊本県が開発した「くまもと型新木造住宅（愛称「郷の匠」）」では、構造用部材はすべて含水率19%以下の乾燥材を使用することとし、使用部材は熊本県木材協会連合会が品質検査をしたあと出荷することで、住宅の品質向上を図っており、地元ビルダーに対し本工法普及を推進している。

表3 最近の乾燥施設導入状況

	昭和 63年	平成 元年	平成 2年	計
利子助成制度		1		1
リース助成制度		1		1
融資制度	9	5	2	16
補助事業	10			10
計	19	7	2	28

平成3年3月発行

1. 2 北海道における 乾燥材普及への取組み

北海道庁林産振興課 大路 肇

北海道における住宅は、北国型住宅として高断熱高気密化が要求されており、これらのニーズに応えつつ、木造住宅の建設を促進し、木材需要の拡大を図るためには、乾燥等を施すことによって高品質な製材を安定的に供給することが必要になります。このようなことから、その普及に次のような取組みを行っています。

(1) 乾燥関連の施策

昭和62年度に木材需要拡大推進事業の一環として、

①工務店、建築設計事務所等との異業種交流会の開催

②乾燥材の展示PR、パンフレットの作成

③乾燥材生産技術研修会の開催

を3本柱として、道単費で「乾燥材流通安定対策事業」を実施し、昭和63年度からは、国の「乾燥材供給総合対策事業」へ引き継ぎ、現在に至っています。

(2) 乾燥材の普及組織

乾燥材の普及については、昭和61年2月に製材業を中心として、48社で「北海道乾燥材普及協議会」が設立され、現在では140社を超えるまでになって

おり、乾燥材の情報収集や乾燥材の普及、生産技術の向上を目指して活動しています。特に、乾燥材の品質を確保するため、構造材については含水率を17%以下、造作材については12%以下という自主基準を設定し、この基準に合格したものについて、㊦マークを表示しています。

(3) 乾燥材の普及

乾燥材の生産状況は年々増加しており、建築用材の13%が人工乾燥されるようになってきています。一方、道庁の発注する営繕工事に乾燥材の使用を特定する場合には、仕様書への特記と乾燥経費の積算が行われ、また「北国型住宅の特別融資制度（融資金限度額500万円）」では、乾燥材の使用が義務づけられるなど、乾燥材は着実に普及してきています。

(4) 今後の課題

人工乾燥については、設備投資や一定の処理コストがかかることから、未乾燥材と比べ価格は若干割高になり、その経費負担問題やハウスメーカー等からの即納問題などとともに、今回のJAS規定による寸法精度との関連等、乾燥材の生産、普及に多くの課題を抱えているものの、一層の高品質な乾燥材が、木材を工業製品化への道を加速させるものと考えております。

● 建築用材の人工乾燥処理実績

(千 m^3 , %)

年 度	全道建築用材出荷量			工場数	
		うち人工乾燥処理	比 率		
昭和60	1,259	(53) 56	4.5	(60)	64
" 61	1,284	(60) 64	5.0	(65)	70
" 62	1,459	(100) 106	7.2	(100)	107
" 63	1,460	(136) 144	9.9	(143)	153
平成元	1,419	(168) 178	12.5	(150)	161

()は62年を100とした指数

平成3年7月発行

1. 3 奈良県における 木材乾燥の実情

奈良県農林部林政課 松山 将 壯

1. 県製材業界の現況

奈良県の木材業界は建築用材が中心の業界である。素材需要量は88万9000 m^3 で、そのうち外材が40万7000 m^3 である。県内には476の製材工場があり、その年間生産量は59万4000 m^3 、全製材品の89.2%に当たる53万 m^3 が建築用材で占められている。

奈良県と言えば「吉野スギ」、「吉野ヒノキ」で代表されるように、針葉樹の製材が主で、広葉樹はごく一部の銘木を除いて、ほとんど取り扱っていない。

県内476製材工場に設置されている乾燥機は、96台で、乾燥機の普及率は決して高いとはいえない。全製材品59万4000 m^3 のうち乾燥材として出荷されているのはわずか11万 m^3 、18.5%である。(ただし、集成材業界には、22社に約60台の乾燥機が設置されている。)

2. 県の木材乾燥関連施策

県では、人工乾燥の普及宣伝のため、平成元年より乾燥材供給総合対策事業を実施し、生産現場への乾燥施設の導入促進を図るとともに、技術の普及の製材工場の現況(元年度)

	国産材 専 門	国 産 材 外材併用	外 材 専 門	計
工 場 数	289	138	49	476
生産量 千 m^3	263	155	176	594

ための研修、講習会を開催し、供給体制の整備につとめている。

また、国産材産業振興資金貸付事業において乾燥材供給促進資金融資枠6000万円をもうける一方、国産材高度利用加工資金では、従来より乾燥装置のみをその対象として製材品の乾燥促進を重点的に推進してきた。

3. 今後の課題

木材乾燥は、いうまでもなく木材加工にとって最も基礎的で重要な技術の一つである。木材を含水率の高いまま使用すると、次第に乾燥して収縮が起こり、製品に狂いやすきまができる。特に近年は日本の住宅にも冷暖房設備が普及しており、十分に乾燥されていない材料を用いて建築すると、時間の経過と共に材の乾燥が進み、種々のトラブルが発生している。

乾燥には設備投資に多額の費用がかかる上、その処理コストが製品価格に上乘せしにくい等多々問題はあがあるが、ユーザーの木材に対する信頼を得るためにも乾燥は欠かせない処理である。新構造用製材の日本農林規格が本年7月に施行され、このなかに乾燥に関する規格が明確にされたことでもあり、今後乾燥機の導入を推進し、乾燥材生産の普及に努めていく必要がある。

乾燥材生産の現況(元年度)

	国産材 専 門	国 産 材 外材併用	外 材 専 門	計
工 場 数	289	138	49	476
機 械 数	45	11	40	96
生産量 千 m^3	31	15	64	110

平成3年11月発行

1. 4 福島県における 乾燥材普及への取り組み

福島県林業指導課 矢吹良美

1. 乾燥材生産の現状と課題

福島県における乾燥施設の設置状況は昭和55年以前は広葉樹家具材を主体に17企業であったが、60年以降は造作材の乾燥を目的としたものが急速に伸び、平成2年末には66企業となっている。しかし、柱材を目的とした乾燥は3企業で全体の4.3%と低い。平成2年の乾燥材生産量は約54千 m^3 であり、これは県内製材品生産量(1,531千 m^3)の3.5%にすぎない。また、具体的に乾燥作業を担う専任乾燥技術者の配置も35人と少ない現状にあり、乾燥施設の整備と乾燥技術者の養成が当面の課題である。

そのため、平成2年度において、今後大量に供給が予測される県産スギ一般材の需要の拡大とさらに見込まれる建築大工技術者の減少を見据えて乾燥材安定供給体制整備指針を策定したところである。

2. 乾燥材の普及

平成3年度は低コスト乾燥を目指し荒挽き材乾燥モデル整備事業を実施し、現在稼働中であり、普及のためのデータを蓄積している。また、県単独事業により乾燥技術者の養成のため、(財)日本住宅・木材技術センターと連携して建築用針葉樹乾燥技術研修会を開催し、県内関係者52名の研修を終了したところである。

3. 今後の取り組み

平成4年度より5か年間の計画で県木材協同組合連合会が事業主体となり、県産材のブランド化を推進することになっているが、本県では針葉樹の構造用製材の日本農林規格に基づく製材品の生産を促進す

ることがブランド化の基本であり、特に乾燥材の生産は、木材を品質保証のできる工業化製品として供給していく上で、必要不可欠と考えている。このため、今後は、この事業を中心として施設の増設と乾燥技術者の育成、乾燥材生産工場の認定を促進するとともに、品質基準の作成と検査体制の整備を促進し、乾燥材の普及を図って行きたいと考えている。

○乾燥設備設置状況(企業数)

	乾燥方式		乾燥目的				計
	除湿	蒸気	柱材	造作材	家具材他	集成材	
昭和55	5	12	—	6	10	1	17
60	18	17	—	19	14	1	35
平成2	(44) 39	(69) 31	3	47	16	4	(113) 70

注1) 4企業が除湿式及び蒸気式の両乾燥施設を導入しているため、合計では70となっているが、実際の設置企業数は66である。

注2) 平成2の()内は室数である。

○乾燥作業従事者状況(平成2年末)

乾燥作業従事者	専任乾燥技術者	ボイラー技士
109人	35人	20人

平成4年10月発行

1. 5 宮崎県における 乾燥材生産の取り組み

本県の平成3年スギ生産量は、768千 m^3 とついに「日本一」となった。現在、そのスギ材のほとんどは県内の製材工場で加工され、50%強は柱材等建築用材として県外に出荷されている。今後、外材あるいは他県産材との競争の中で、県産材を有利に販売していくためには、新JAS規格に合致した高品質の乾燥材を安定的に生産し、県産材のブランドを確立することが課題である。

スギ材、特に柱材等構造材の乾燥は、生材を使用した場合に生ずる割れや狂いの防止、変色菌・腐朽菌の防止、強度性能の向上など大きなメリットがあり、ユーザーからの要請も近年とみに高まっている。

本県における人工乾燥材の生産は、昭和30年代から行われているが、平成2年度末で人工乾燥室を設置している製材工場は、52工場136室(表1)となっている。しかしながら、このほとんどが集成材、フローリング用材や家具用材を生産しているものであり、スギの建築用材の乾燥は極めて少ない。

このため、県では、平成元年度からスギ等構造用材の乾燥材生産体制を整備するため、乾燥材の普及・啓発、生産技術の定着化を行う「乾燥材供給総合対策事業」を実施し、さらに平成4年度から県単独事業で「宮崎スギ製品グレードアップ推進事業」を創設して、乾燥材供給システムの整備に取り組んでいる。

本県が力を入れているのは「葉枯らし」から「人工乾燥」にいたるまでの一貫した生産体制の整備で

ある。特に、「人工乾燥」については、宮崎県工業試験場などの高い技術力を背景に、乾燥材の普及、生産技術の向上についての研修に取り組んでおり、毎年多くの技術者が受講し、好評を得ている。

その乾燥技術の基盤となるのが宮崎県工業試験場工芸支場が開発した「全自動木材乾燥装置」(特許出願中)である。これは、蒸気と冷水噴霧を併用した温・湿度調節機能を備え、さらに、棧積み木材間を通過する空気の循環ムラを小さくするために、装置内両壁面に整風板を設けた新しいシステムである。

この新システムは、乾燥が終了し、材を直接外気へ出した場合の放射冷却現象に起因する表面割れや仕上がり含水率のバラツキ防止に効果を上げており、今後の乾燥材生産の中心となるスギ材の芯持ち柱や梁材の乾燥に大きな役割を果たすものと期待している。

今後は、前段階としての葉枯らし乾燥の定着、製品の天然乾燥の促進に努め、低コストの木材乾燥システムの確立と、乾燥材使用促進のためのPR活動を展開し、乾燥材の安定出荷体制の整備を積極的に推進したい。

表1 人工乾燥材生産工場 (単位:工場,室,千 m^3)

区 分	63年	元年	2年
生産工場数	45	50	52
乾燥室数	123	132	136
乾燥材生産量	94(9)	92(10)	97(10)

注)乾燥材生産量の()書きはスギ

平成5年1月発行

2 秋田県における木材乾燥への取り組み姿勢

日本木材乾燥施設協会研究会資料 1993, 2

秋田県木材産業課 宮野 順一

I. 銘柄化へ向け業界活動が活発化

(1) 木材乾燥導入の起点

★ 本県で木材乾燥が強く意識されはじめたのは、木材の長期不況に突入した昭和56年度以降である。

★ 当時、本県製材品を代表するスギ割角は、販路拡大が進んでいた九州市場を中心に、中国・四国、地元九州勢と優劣を巡って競合を激化させていたが不況期に伴う買い方の先行き販売難から、荷傷みが懸念される未乾燥材へのクレームが問題視され、乾燥の是非が購入の新たな評価ポイントとなり、製品の乾燥化を強く本県に要求してきたためといわれる。

(2) 木材乾燥を差別化

★ このような気運を受け、昭和58年には初めて木材乾燥が講習会（『能代木材産業セミナー』）のテーマに取り上げられた。

★ 更に、昭和59年には、業界自らが木材乾燥を差別化要因とする『秋田杉製材品銘柄推進対策』を取りまとめ、翌昭和60年には、銘柄材の目標含水率を25%と定めるとともに、同年には県工業技術センターで初の技術研修会が開催された。

(3) 技術開発に着手

★ その後、昭和61年には製品の人工乾燥技術の開発を目的として乾燥施設導入企業や予定企業を中心に『秋田県木材乾燥技術研究会』（会長：沓沢貞夫）

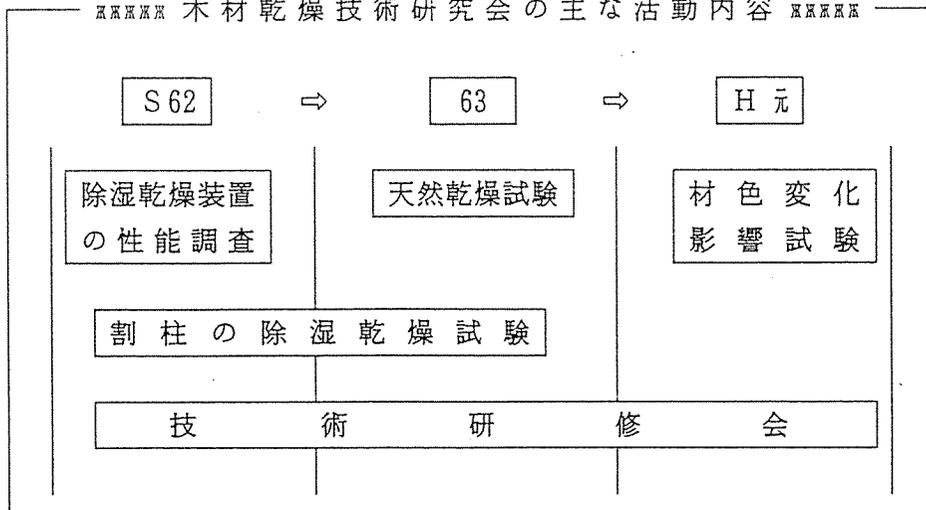
を設置し、これまで、割柱の除湿乾燥試験（昭和62年～63年まで3回実施）や各種除湿乾燥装置の性能調査（昭和62年）、予備乾燥としての天然乾燥試験（昭和63年）、人工乾燥に伴う材色変化影響試験（平成元年）等を実施しその都度報告会を開催し成果を公表してきている。

★ このように、本県では行政に先んじて業界自らが銘柄化促進の一環として木材乾燥をいち早く導入し精力的な技術開発等に努めてきたところである。

— 業 界 活 動 の 変 遷 —

- S58 ☆『能代木材産業セミナー』で“乾燥”をテーマとする
- 59 ☆『秋田杉製材品銘柄推進対策』で木材乾燥を差別化
↓
- 60 ☆ 乾燥基準を25%に定める
- “ ☆『木材乾燥技術研究会』（31社）設置

***** 木材乾燥技術研究会の主な活動内容 *****



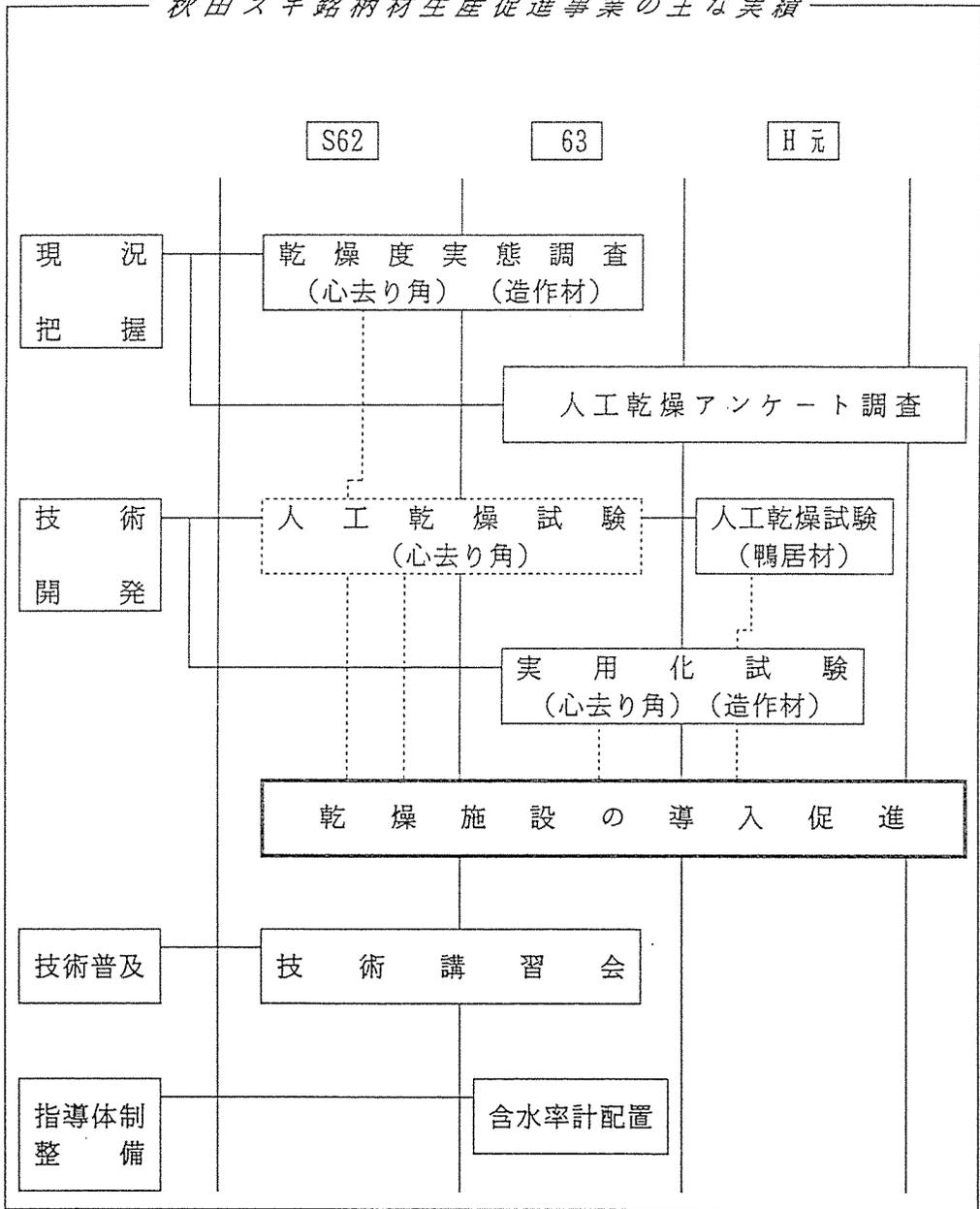
II. 県が木材乾燥に本格的着手

(1) 県単独事業を発足

☆ 一方県では、このような業界団体の積極的な活動を支援・助長するため、昭和62年度から新たに、県単独事業として、『秋田杉銘柄材生産促進事業』（昭和62年～平成元年）をスタートさせ、乾燥技術の開発普及や指導體制の整備等を図ることとし、将来の乾燥材の生産及び流通の在り方などのついて検討を加えることとした。

☆ 本事業による主な実績は、割柱及び敷鴨居材について、工場、製品市場、住宅建築現場における乾燥度実態調査（昭和62年～63年）を実施してきたほか、製材企業を対象とした人工乾燥実用化試験（昭和63年～平成元年）、県工業技術センター委託による鴨居材除湿乾燥試験（平成元年）等を進めてきたほか、各種技術講習会の開催、又指導體制整備のため、県内8カ所の地方機関に含水率計（モコII）を配置するとともに、全企業を対象としたアンケート調査（昭和63年～）を実施している。

秋田スギ銘柄材生産促進事業の主な実績



(2) 国庫補助事業の導入による施策の拡充

■ 昭和62年度以降3年間にわたり実施してきた『秋田杉銘柄材生産促進事業』は、どちらかといえば技術開発を主力としてきたが、幸い一応の目途がついたことから、県では、平成元年度よりの国庫補助事業の導入を契機として乾燥材の安定供給体制整備や生産技術の普及等を精力的に行い施策の一層の充実を図っている。

(ア) 技術開発と成果の公表

- ◇ 県内製材企業の乾燥技術向上を図るため、あらかじめ特定した製品について、県工業技術センターが中心となって、人工乾燥試験を実施している。
- ◇ なお、その対象製品は、敷鴨居材（平成元年度）、心持並角（平成2年度）羽柄材（平成3年度）と順次一般材にターゲットを絞るとともに、本年度は心持ち並角の高温乾燥試験を実施している。
- ◇ 今後は、黒心材やアテ材といった乾燥不適材等を対象とした乾燥試験を実施し、あらゆる材質に適応した乾燥技術の確立を目指す。
- ◇ また、技術開発の進展に応じてその都度その成果を公表する技術研修会を開催しているが、中でも平成2年度に実施された、心持ち並角乾燥試験では平均含水率19%台と極めて良好な成果を上げるなどし参加企業の強い関心を集めた。

〇〇〇〇〇〇 人 工 乾 燥 試 験 実 施 状 況 〇〇〇〇〇〇

年 度	対 象 製 品	乾 燥 方 法 ・ 乾 燥 日 数	数 量	試 験 項 目	含 水 率 経 過
H 元	鴨 居 材	除湿乾燥 (10日間)	217本	含水率	(初) 78%→(終)15%
2	心持並角	蒸気乾燥 (12日間)	背 割 40本 無背割 40" (計 80本)	収縮率 狂 い 割 れ	背(初) 71%→(終)19% 無(初) 61"→(終)20"
		除湿乾燥 (16日間)	背 割 40本 無背割 40" (計 80本)	材 色	背(初) 87%→(終)23% 無(初) 87"→(終)25"
3	板 割 貫	天然乾燥 (17日間)	板 割 120本 貫 150" 垂 木 150" (計 420本)		板(初) 61%→(終)17% 貫(初) 86"→(終)17" 垂(初) 62"→(終)18"
	垂 木	除湿乾燥 (5日間)	板 割 90本 貫 130" 垂 木 70" (計 290本)		板(初) 70%→(終)10% 貫(初)136"→(終) 8" 垂(初) 89"→(終)11"

(イ) マニュアルによる技術普及

◆ 本県製材業界の加工度向上への取り組みは、家具や集成材企業に比較すると劣っていることは否めない。しかし、全国的に熾烈な技術開発競争が繰り広げられていることから、早晩、いずれの産地が抜きんではかることは必須であり、本県が現状に甘んじて遅れをとることのないよう高いレベルを目標として努力を重ねる必要がある。

◆ このようなことから、これまでの技術開発の蓄積をもとに、『割柱・敷鴨居材』（平成元年度）及び『心持並角・羽柄材』（平成3年度）についての技術マニュアルをそれぞれ作成したが、今後とも技術開発の進展に応じて既存マニュアルの修正や作成を進めて行く。

(ウ) 官民一体の行動計画を策定

△ 木材乾燥は本県製材業が激化する産地間競争に打ち勝ち、秋田スギブランドを維持発展させていくための不可欠な生産対策であると同時に、木材需要拡大のため、乾燥木材を安定的に供給するという消費対策でもある。

△ しかし、目指す行く手は遠く幾多の困難が待ち受けていると思われることから、目安となるものを定める必要があると考え、5年後、10年後の乾燥製品の生産目標を明らかにするとともに、県として現在実施している対策を含め今後数年間に渡り官民一体となって木材乾燥を推進するための『木材乾燥推進対策』を平成元年度において作成した。

△ 目標設定にあたっては、構造材として強度に関係するものや、化粧材として内装に使用されるものを中心に人工乾燥を先行させ、乾燥材の評価を確立することを狙いとし、その目標達成のためには、木材団体や各企業、更には県が一体となって生産から流通、消費の各般において、計画的、総合的な対策を講じることが重要となっている。

***** 人工乾燥材の生産目標 *****

(単位：千m³.%)

区 分	対 象 製材品	現 在 (S63)	生 産 目 標		
			5年後	10年後	20年後
役 物	84	11	30	47	55
並 物	331	2	19	84	157
計	415	13	49	131	212
人工乾燥材 のシェア	役 物	13	36	56	65
	並 物	0.6	6	25	47
	計	3	12	32	51

***** 乾燥施設の導入目標 *****

(単位：基)

区 分	現 在 (S63)	5年後		10年後		20年後	
		台 数	年平均	台 数	年平均	台 数	年平均
役 物	28	62	7	114	10	123	12
並 物	6	22	3	70	10	124	11
計	34	84	10	184	20	247	13

(エ) 展示求評活動の推進

▼ 乾燥材の市場価格形成の早期確立を図るため、平成元年度以降県内市場において『人工乾燥製品フェア』を継続的に開催し、本県では初めての試みとして、含水率25%以下割柱（鴨居材は18%以下）を3カ月連続出品するなどこれまで合計約 20,000本（うち鴨居材2,000本）の出品をみている。

▼ これまでの出品企業は、乾燥材生産の先駆的企業で、出品に当たっては、県があらかじめ出品予定製品の全量を含水率測定し、所定の含水率をクリアしたものに限り出品するなど、万全のチェック体制で対処している。

▼ 販売価格の動向について、これまでの価格分析から総じて高い傾向にあると言えるが、イベント性に誘因される傾向があるため、生材との正当な価格差及び乾燥材市場の定着化を早期に実現するためにも、今後とも当該フェアを継続的に開催し、乾燥材の性能等をPRして行く。

人工乾燥材と生材との販売価格比較

調査 年月日	対象 製品	A. 乾燥材 販売額 (千円)	同左m ³ 当 単 価 (円)	B. 生 材 販 売 額 (千円)	(A/B) 比 較 (%)	摘 要
H2. 1. 11	割 柱	7,699	210,300	7,259	106	人工乾燥製品フェア
2. 2. 7	割 柱	8,422	199,500	7,515	112	人工乾燥製品フェア
	鴨 居	816	160,050	760	107	
3. 1. 11	割 柱	9,620	181,074	9,032	107	人工乾燥製品フェア
3. 12. 11	割 柱	10,141	246,196	7,145	142	J A S 展 示 会
	鴨 居	448	165,521	409	110	
3. 2. 6	割 柱	4,179	148,586	4,398	95	人工乾燥製品フェア

(オ) 需要者PRの強化

□ 昨今の未乾燥材使用による木造住宅でのアフターメンテナンスの問題の解消に向け、大工・工務店等建築関係者を対象とした講習会の開催や、平成2年度については、木材乾燥ビデオを作成するなどし、需要者への乾燥材使用を普及宣伝するためのPR活動にも積極的に取り組んでいる。

iiiiii 乾燥材講習会の内容 iiiiii

開催年月日	開催場所	講習内容	参加者数
H2.3.6	能代市	＊ 木造住宅と乾燥材使用について 北海道大学教授 宮島 寛氏 ＊ 秋田県における乾燥材生産の 取り組みについて 秋田県製材協会 佐藤 弘氏 ☆製材企業視察 東北木材(株)	・製材 25名 ・建築 38〃 ・設計 10〃 ・その他 10〃 計 83名
3.3.12	秋田市	＊ 住宅建築工法の変化と乾燥材 ニーズの高まり 東京大学助教授 有馬 孝禮氏 ＊ スギ心持ち並角人工乾燥試験 報告 秋田県工業技術センター 目黒 忠 ＊ 秋田県のスギ人工乾燥企業 の実態 秋田県木材産業課 宮野 順一 ☆ 乾燥試験材展示 スギ心持ち並角	・製材 26名 ・建築 35〃 ・設計 13〃 ・その他 12〃 計 86名
4.3.25	秋田市	＊ 木造建築における乾燥材使用の 有効性 室蘭工業大学助教授 鎌田紀彦氏 ＊ スギ羽柄材人工乾燥試験報告 秋田県工業技術センター 目黒 忠 ＊ 秋田スギ人工乾燥材の県外での 評価 秋田県木材産業課 宮野 順一 ☆ 乾燥試験材展示 スギ羽柄材	・製材 21名 ・建築 40〃 ・設計 10〃 ・その他 14〃 計 85名

~~~~~ 木材乾燥普及宣伝物の作成内容 ~~~~~

| 作成年度  | 作成物                                     | 作成数量   | 配布先                            |
|-------|-----------------------------------------|--------|--------------------------------|
| 平成2年度 | ☆ 普及用ビデオ<br>『木材乾燥の推進』                   | 80本    | ・ 県内製材企業等<br>・ 県地方事務所<br>・ 国機関 |
|       | ☆ 普及用パンフレット<br>『木材乾燥』                   | 1,500部 | ・ 県内製材企業等<br>・ 県地方事務所<br>・ 国機関 |
| 平成3年度 | ☆ 普及用パンフレット<br>『秋田スギ人工乾燥<br>製材品"ドライ25"』 | 1,500部 | ・ 県内製材企業等<br>・ 県地方事務所          |

### Ⅲ. 今後クリアーする課題

● 技術開発に一応の目途がついてきたことから、次は技術の普及と生産拡大更には市場開発が大きなテーマとなっている。

● 今後、乾燥材需要はますます増加すると思われるが、秋田産地がこれに対応した十分な供給をなし得なければ、県内各地で盛り上がりを見せている木材需要拡大運動に支障をきたす恐れがあるだけでなく、県外市場での産地間競争の激化の前に、秋田材は後退を余儀なくされることから、当面次の課題をクリアーしていく必要があると考えている。

#### (1) 一般材乾燥のローコスト化の確立

○ 本県で当面乾燥コストを吸収できるのは役角であり、これを中心に乾燥材生産を続けて行くが、今後一般材の供給が本格化する傾向にあることから、一般材製品のローコスト化乾燥への技術研鑽が不可欠となってくる。

○ このため県としては、秋田ドライエース（秋田スギ民有林乾燥丸太）の量産化を進めるほか、企業においては、工場土場での丸太の天然乾燥及び荒挽材の天然乾燥の促進、また、県工業技術センターにおいては、高温乾燥による乾燥日数の短縮化を図る等、官民一体となって乾燥コストの低減化を図って行く。

#### (2) J A S工場化の促進

★ 乾燥材についての需要者ニーズが益々高まりつつある中で、供給側は、需要者の信頼を損なうようなあいまいな含水率となってはならず、統一された基準をもって乾燥材を供給していくことが重要となってくる。

★ このためにも、一定の検査基準を経て品質が確保されるよう J A S工場化

を促進させて行く。

### (3) 公共建物への乾燥材使用の徹底

★ 木造見直しのシンボルとしての公共建物の木造化の推進については、未乾燥材の使用で欠陥建築物としてはならず、乾燥材使用を徹底していく必要がある。

★ このため、J A S工場を主体とした企業の組織化を進め、納入ネットワークの形成や公共用乾燥材使用を徹底していく他、公共用乾燥材価格の実現化を図っていく。

(付表)

秋田県における乾燥材生産量の推移

| 年度  | 建築用製材品<br>生産量 (千 $m^3$ ) | 乾燥材生産量 ( $m^3$ ) |        | 乾燥材の<br>シェア(%) |     |
|-----|--------------------------|------------------|--------|----------------|-----|
|     |                          | 構造材              | その他    |                |     |
| S62 | 856                      | 6.750            | 3.730  | 3.020          | 0.8 |
| 63  | 840                      | 13.883           | 9.464  | 4.419          | 1.7 |
| H元  | 844                      | 12.451           | 9.243  | 3.208          | 1.5 |
| 2   | 788                      | 12.960           | 11.242 | 1.718          | 1.6 |
| 3   | 780                      | 23.281           | 20.989 | 2.292          | 3.0 |

秋田県における建築用人工乾燥施設導入の推移

(平成4年4月1日現在)

| 導入<br>年次 | 方 式       |           |           |          | 計          | 累 計        |
|----------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|------------|
|          | 蒸気式       | 降湿式       | 減圧式       | その他      |            |            |
| S56以前    | 3 (150)   | 0         | 0         | 0        | 3 (150)    | 3 (150)    |
| 57       | 0         | 0         | 0         | 0        | 0          | 3 (150)    |
| 58       | 5 (250)   | 3 (140)   | 0         | 0        | 8 (390)    | 11 (540)   |
| 59       | 0         | 2 (120)   | 0         | 1 (20)   | 3 (140)    | 14 (680)   |
| 60       | 1 (40)    | 3 (80)    | 0         | 0        | 4 (120)    | 18 (800)   |
| 61       | 1 (50)    | 5 (170)   | 0         | 0        | 6 (220)    | 24(1,020)  |
| 62       | 0         | 2 (90)    | 0         | 0        | 2 (90)     | 26(1,110)  |
| 63       | 4 (330)   | 4 (160)   | 0         | 0        | 8 (420)    | 34(1,530)  |
| H元       | 2 (190)   | 0         | 1 (30)    | 0        | 3 (220)    | 37(1,750)  |
| 2        | 3 (150)   | 1 (40)    | 1 (30)    | 0        | 5 (220)    | 42(1,970)  |
| 3        | 0         | 1 (40)    | 3 (60)    | 0        | 4 (100)    | 46(2,070)  |
| 4        | 0         | 1 (30)    | 0         | 0        | 1 (30)     | 47(2,100)  |
| 計        | 19(1,160) | 22 (800)  | 5 (120)   | 1(20)    | 47(2,100)  | 47(2,100)  |
| 年平均      | 1.6(96.7) | 1.8(66.7) | 0.4(10.0) | 0.1(1.7) | 3.9(175.0) | 3.9(175.0) |

(注) ( )は容量(石)である。

### 3 長野県における乾燥材の生産の実態と乾燥材の供給にかかわる問題点

乾燥材生産マニュアル抜粋 1992, 3

長野県における乾燥材の生産の実態

長野県木材協同組合連合会

#### (1) 長野県の木材業界の現況

長野県の木材業界は建築用材を中心としています。平成2年の素材需要量は、111万8千 $m^3$ で、そのうち国産材が約45%を占めています。また、県内には595の製材工場があり、65万7千 $m^3$ の製材品が出荷されていますが、このうち、最も多く使われているのは建築用材で66%を占め、次に土木建設用材、こん包用材、家具建具用材の順となっています。

県内の建築用を中心とする乾燥材の普及については、昭和50年代のはじめに、蒸気式の乾燥装置を用いたカラマツの脱脂、乾燥技術が開発されてから、木材乾燥に対する関心が高まりました。その後、木材乾燥の研修会が開催されて技術の普及が図られ、カラマツの集成材や内装材が造られたり、カラマツを用いた公共施設が増加するなど、カラマツ乾燥材の数量は増加してきました。また、木曾地域を中心にヒノキの乾燥も行われるようになり、県内各地に木材の乾燥施設が設けられるようになってきました。

最近の木造住宅では、建築工期が短くなったり、冷暖房用の設備等が普及したため、収縮が少ないなどの利点をもつ乾燥材を用いることがますます必要になっています。

#### (2) 全国の乾燥材生産の現況

全国には製材工場が16,790工場あり、約3千万 $m^3$ の製材品が出荷されています。最近の出荷量は横這い傾向ですが、国産材が低迷しているなかで、外材の丸太輸入が減少傾向にあるのと反対に製材品の輸入は増加傾向にあり、乾燥した製材品も輸入されています。

全国の乾燥施設の設置状況について昭和63年の林野庁調査結果によれば、乾燥室の数は1,470で、容量は3万8千 $m^3$ となっています。乾燥室の種類別の内訳では、蒸気式のもので873室、容量2万4千 $m^3$ 、除湿式のもので423室、容量1万1千 $m^3$ 、その他のもので174室、容量4千 $m^3$ であり、蒸気式のもので約6割を占めています。

(図4.1)

また、人工乾燥材生産量は94万5千 $m^3$ で、そのうち、国産材が44%で41万7千 $m^3$ 、外材が56%で52万8千 $m^3$ となっています。用途別では、構造用のものが約3割で、残りは構造用以外の用途に使われています。

樹種別では、米ツガが最も多く18%を占め、次にヒノキが15%、米マツとスギがそれぞれ9%で、残りの半数はその他の針葉樹や広葉樹となっています。(図4.2)

なお、製材品の出荷量に対する乾燥材の占める割合は、約3%と少ない状況にあります。

### (3) 長野県の木材乾燥施設の整備状況

県内において木材乾燥施設を設置している工場数は、昭和62年は62工場、平成元年は57工場、平成2年は69工場です。平成2年の製材工場数が595工場ですので、その約12%に相当する工場に乾燥施設があることになります。

木材乾燥装置の種類を蒸気式、除湿式、その他の3つに大別すると、平成2年の乾燥室の数は全部で165室あり、その内訳は、蒸気式が102、除湿式が35、その他が28となっています。蒸気式が約6割を占めていますが、これは全国の状況と似た傾向にあります。最近の数量の変化をみると、蒸気式は増加傾向にありますが、除湿式はあまり変化がなく、その他のなかには、工場がそれぞれに工夫して自作した乾燥室があるので、増減の傾向は明らかではありません。(図4.3)

また、平成2年の乾燥室の総容量は約2,600m<sup>3</sup>となっています。

### (4) 長野県の乾燥材の生産量

平成2年、県内における人工乾燥材の総生産量は5万2千m<sup>3</sup>で、前年に比べて2万8千m<sup>3</sup>減少しています。これは、東信地域と中信地域のある工場の外材の乾燥材が極端に減少したためであり、この分を平成元年の数量から差し引いて勘案すると、生産量は微増傾向にあると考えられます。国産材の乾燥材の量は2万7千m<sup>3</sup>で約52%と過半を占めており、全国の比率に比べて高くなっています。(図4.4)

図4.1  
全国の木材乾燥施設室数  
(昭和63年林野庁)

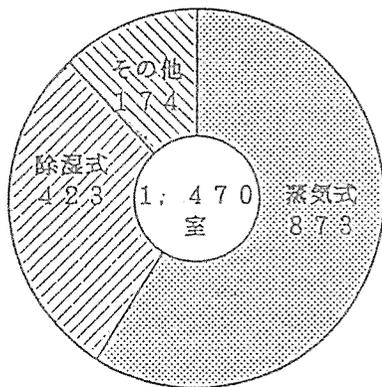
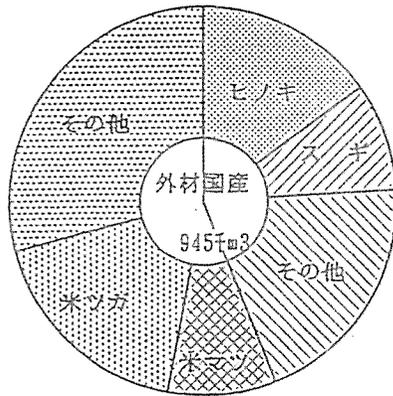


図4.2  
全国の乾燥材生産量  
(昭和63年林野庁)



乾燥材の用途は、構造用が23%であり、全国比率の29%に比べてかなり低くなっています。その他の用途としては、造作材、壁板や床板などの内装材、集成材等幅広く利用されています。

樹種別では、カラマツと米ツガがそれぞれ21%を占め、ヒノキと米マツがそれぞれ8%で、スギが2%、広葉樹が23%、その他の針葉樹が17%です。全国の傾向と比較して、カラマツがたいへん多いこと、ヒノキも比較的多く、スギが非常に少ないことが特徴といえます。(図4.5)

県内製材工場の製材品出荷量に占める乾燥材の割合は、約8%であり、全国の3%に比べて高くなっていますが、カラマツとヒノキの乾燥材が多いことが一因と考えられます。

平成2年の乾燥材生産工場の概要については、国産材のみを乾燥している工場が21工場、国産材を50%以上乾燥している工場が20工場、合わせて41工場となり、外材のみを乾燥している工場が5工場であることから、県内では国産材を主体に乾燥している工場が多いといえます。

#### (5) 長野県の乾燥材の販売先

工場で生産された乾燥材の販売先についてみると、賃乾燥の数量を除いた4万2千 $m^3$ のうち、79%に相当する3万3千 $m^3$ が乾燥材生産工場のなかで消費されています。

図4.3 長野県の木材乾燥施設の室数 (県 林業課)

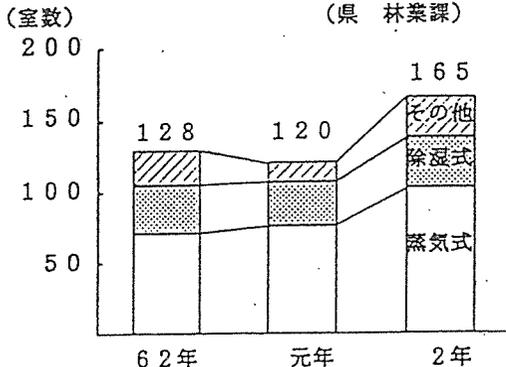
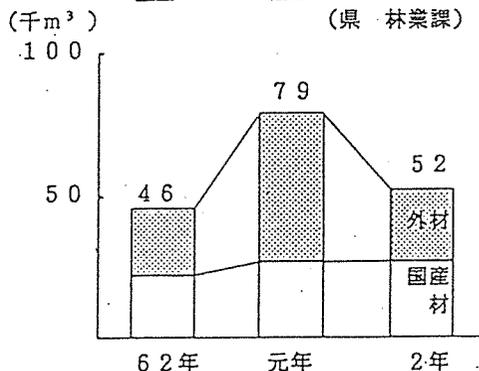


図4.4 長野県の乾燥材生産量 (県 林業課)



次に多いのが県内の大工、工務店への販売で7%を占め、残りは、県内集成材工場、県外大手建築会社、問屋、市場、小売りなどに販売されています。(図4.6)

乾燥施設が、建築、集成材、プレカットなどの部門を合せ持っている事業体にあるため、工場内消費が多いものと考えられます。

(6) 今後の課題

最近の住宅着工数が減少傾向にあるなかで、住宅建築に未乾燥材を用いて種々のトラブルが発生することは、ユーザーの信用を失うこととなります。そのため、寸法や品質が安定するなどの乾燥材の利点は重要な役割を果たしています。しかし、現在の人工乾燥材の生産量は、建築用材などの総出荷量のごく僅かであることから、十分な量が建築現場に供給されているとはいえないようです。また、木材乾燥施設の整備状況から、すみやかに供給量の大幅な増加を図ることも簡単ではないようです。

新しい針葉樹の構造用製材の日本農林規格が施行され、乾燥材の規格の整備も進んでいるところであり、今後、木材乾燥施設の導入を促進し、乾燥材生産の普及に努めていくことがますます必要になっています。

図4.5  
長野県の乾燥材の  
樹種別内訳  
(平成2年 県林業課)

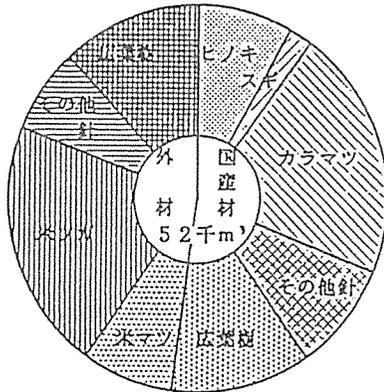
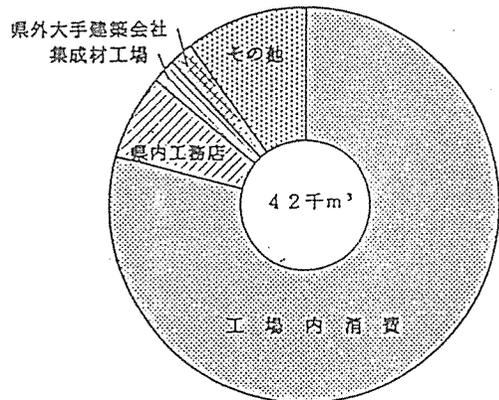


図4.6  
長野県の乾燥材の  
販売先別内訳  
(貨乾燥除く。平成2年 県林業課)



## 5. 乾燥材の供給にかかわる問題

この部分は、建築用木材に関する『製材業と建築工務店に対するアンケート調査』結果をまとめたものです。供給側としての製材業に対するアンケートの配付数341, 回答数114(回答率33.4%)でした。一方、建築工務店側に対するアンケートの配付数493, 回答数166(回答率33.7%)でした。

### 5-1 製材業側に対する調査結果

#### (1) 出荷材の乾燥について

図 5.1 のように製材業の50%強が乾燥を行っています。そのうち天然乾燥を行っている比率が80%, 人工乾燥を行っている比率が32%でした。ただし、両者を併用するところが12%ありました(図 5.2)。しかし、回答した製材業109社の中では人工乾燥している比率は17%にすぎません。

人工乾燥を行っている19社の回答から、人工乾燥装置の種類は蒸気式 10, 除湿式 9, その他 5 でした。柱材の乾燥日数はおよそ1~2週間とみなせます。また平割では回答した17社のうち11が1週間以内としています。

#### (2) 乾燥を行っていない製材業の状況

図 5.3 は乾燥を行っていない製材工場における、製材から出荷までの日数を示しています。1週間以内が64%, 2週間以内が19%でした。したがって、83%が2週間以内に出荷していることになります。天然乾燥でも少なくとも30日は必要ですので、あまり乾燥が進んだとは期待できず、大部分が未乾燥材として出荷されているものと思われます。

図 5.4 は乾燥を行っていない製材業に対して、将来の計画を聞いた結果です。是非やりたいとするも

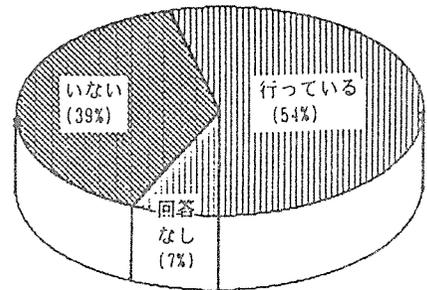


図 5.1 出荷材は意識した乾燥を行っていますか(回答数109)。

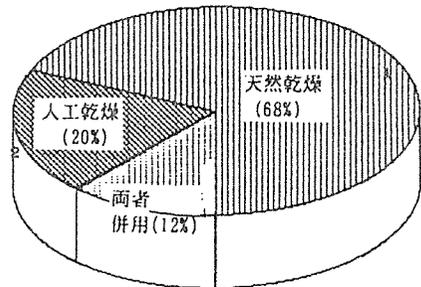


図 5.2 乾燥を行っている場合の乾燥方法(回答数59)

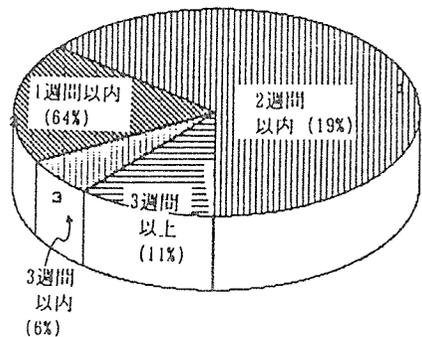


図 5.3 乾燥を行っていない場合の製材から出荷までの日数(回答数79)

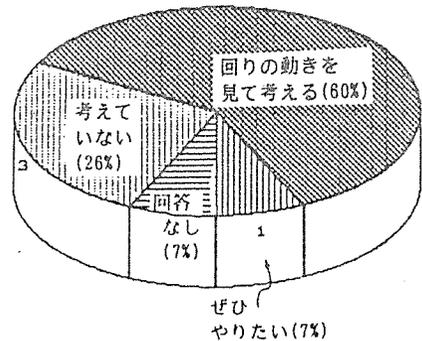


図 5.4 乾燥を行っていない場合の将来の計画(対象47企業)

の7%ときわめて少なく、大半は回りの動きを見て考えるとしています。この結果は製材業側の乾燥に対する消極的な姿勢を明らかに示しています。

### (3) 人工乾燥の問題点

乾燥経費については、柱材および 平割・板材ともに 8000～10000円以上/立米 と答えた所が多く、一般的に試算されている乾燥経費とほぼ見合ったものと考えられます。

図 5.5 は人工乾燥材は未乾燥材より高く売れるかとの設問に対する回答結果です。実に約60%が人工乾燥しても高く売れないと考えており、残りの40%は高く売れるとしています。この結果は製材業側の見解が2つに割れていることを示唆するものと考えられます。ここにも、製材業側の明らかな迷いが感じられます。

次いで、図 5.6 は人工乾燥する上での問題点をまとめたものです。回答者の63%が乾燥コストが高すぎるとしています。次に41%が設備が不十分としています。このことは、乾燥コストが高すぎて、やむをえず不十分な設備に甘んじているよううかがえます。

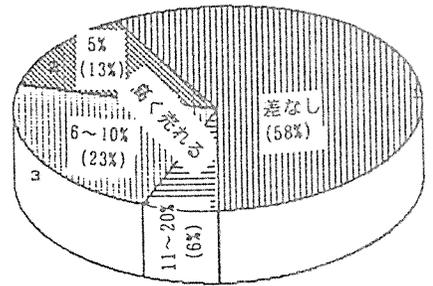


図 5.5 人工乾燥材は未乾燥材より高く売れるか(回答数16)

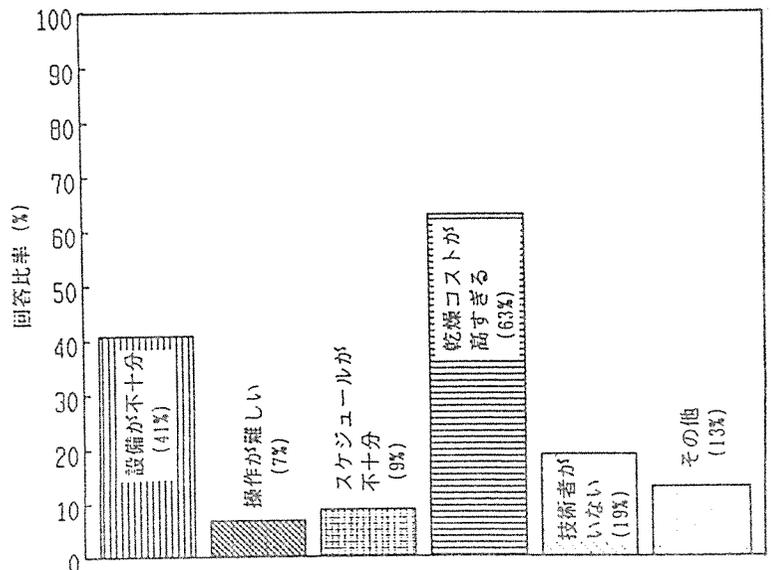


図 5.6 人工乾燥するうえでの問題点 (回答数54,無回答56)

5-2 建築工務店・設計事務所に対する調査結果

(1) 乾燥材の使用について

図 5.7 に明らかなように、住宅用の木材の乾燥の必要性は、回答した150社のうち90%が認めています。しかし、図 5.8 からわかるように、乾燥材をいつも指定しているわけではありません。40%がいつも乾燥材を指定し、46%がときどき乾燥材を指定しています。原則的には乾燥材を使うべきだが、場合に応じて使い分けられているものと思われます。

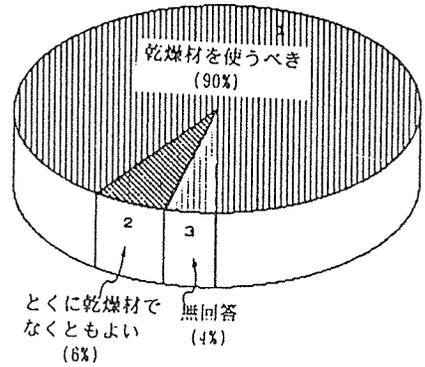


図 5.7 住宅用に使用する木材の乾燥について (回答数150)

(2) 部材別の乾燥の必要性

図 5.9 は部材別の乾燥の必要性をまとめた結果です。回答者の50%以上が乾燥すべきと考えている部材として、見えがかりの通し柱および管柱、敷居・鴨居があげられます。

構造材としての梁・桁・胴差し、根太では、乾燥すべきと答えたものが30%に留まり、必要がないとするものが20%に増えています。

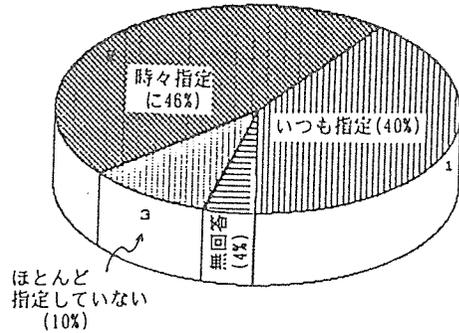
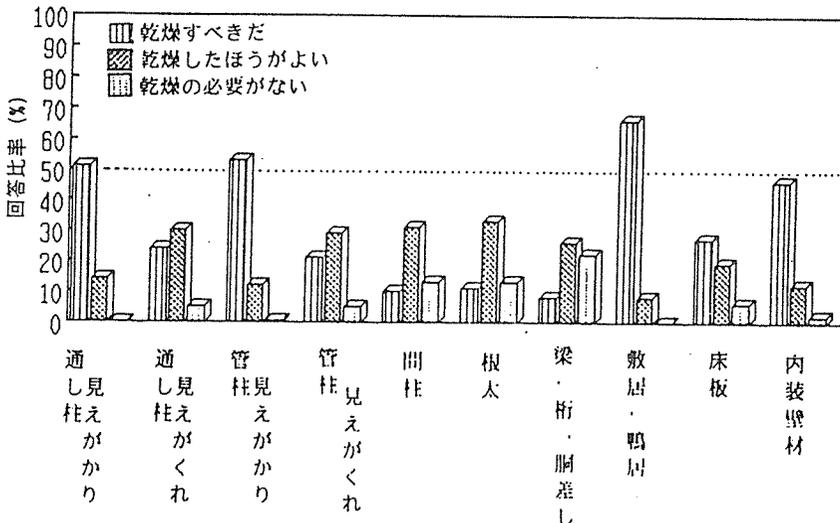


図 5.8 木材を入手するとき乾燥材を指定するか (回答数67)

要するに、造作材と見えがかりの通し柱と管柱は乾燥する必要があると考えています。

図 5.9 部材別の乾燥必要性



### (3) 部材の面に現れる割れについて

部材別に面の割れが意識されている様子を図 5.10 に示します。前項の乾燥の必要性和同様の結果でした。見えがくれの部材では、多少の割れが許容されているようです。

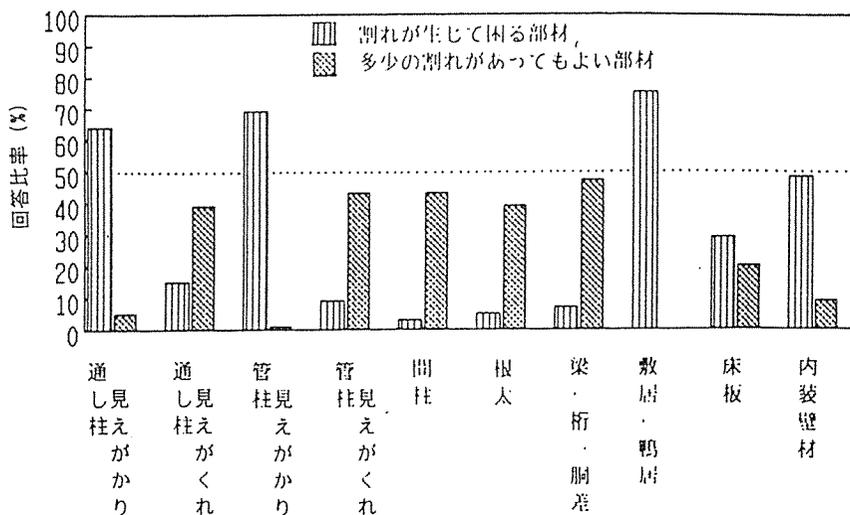


図 5.10 割れがあって困る部材・多少の割れがあってもよい部材

### (4) 乾燥に伴う材価の上昇について

図 5.11 のように材価の上昇もやむを得ないとするものが65%, 残りの35%は困るとしています。製材業側の回答者の58%が乾燥しても高く売れないとしていたことに関係がありそうです。次に、材価の上昇もやむを得ないとするものに、許容できる上昇率を聞いてみました。図 5.12 のように、5%まで許容できるとする者が53%, 10%までが38%でした。

この結果も製材側の回答として、人工乾燥すると10%まで高く売れると考えるものが一番多かったことに対応しています。これらのことは、乾燥経費の上乗せは10%を限度と考えるべきことを示しています。

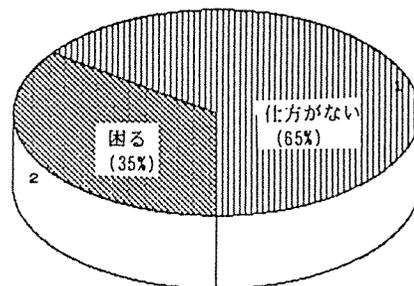


図 5.11 乾燥に伴う材価の上昇について (回答数103)

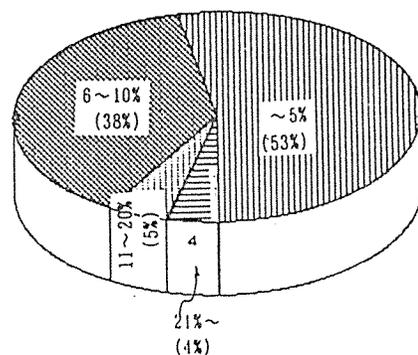


図 5.12 許容できる材価格の上昇率 (対象103のうち55が回答)

(5) 乾燥材の含水率の調査方法

図 5.13 のように、回答数162のうち67%が手で触って、42%が目で見えて判断しています。含水率計によるとの回答は28%に過ぎませんでした。長年の勘で大方のところは判断できるでしょうが、やはり含水率計の導入が望まれます。

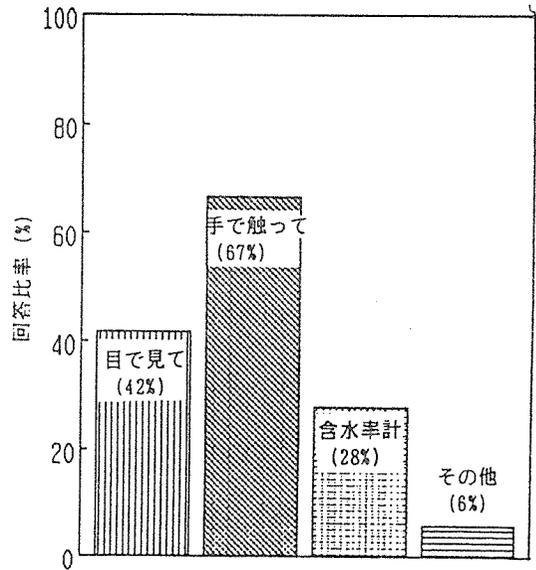


図 5.13 乾燥材の含水率の調査方法 (回答数162, 重複あり)

(6) 部材別のクレーム調査

部材別にクレームの度合いを調査した結果を図

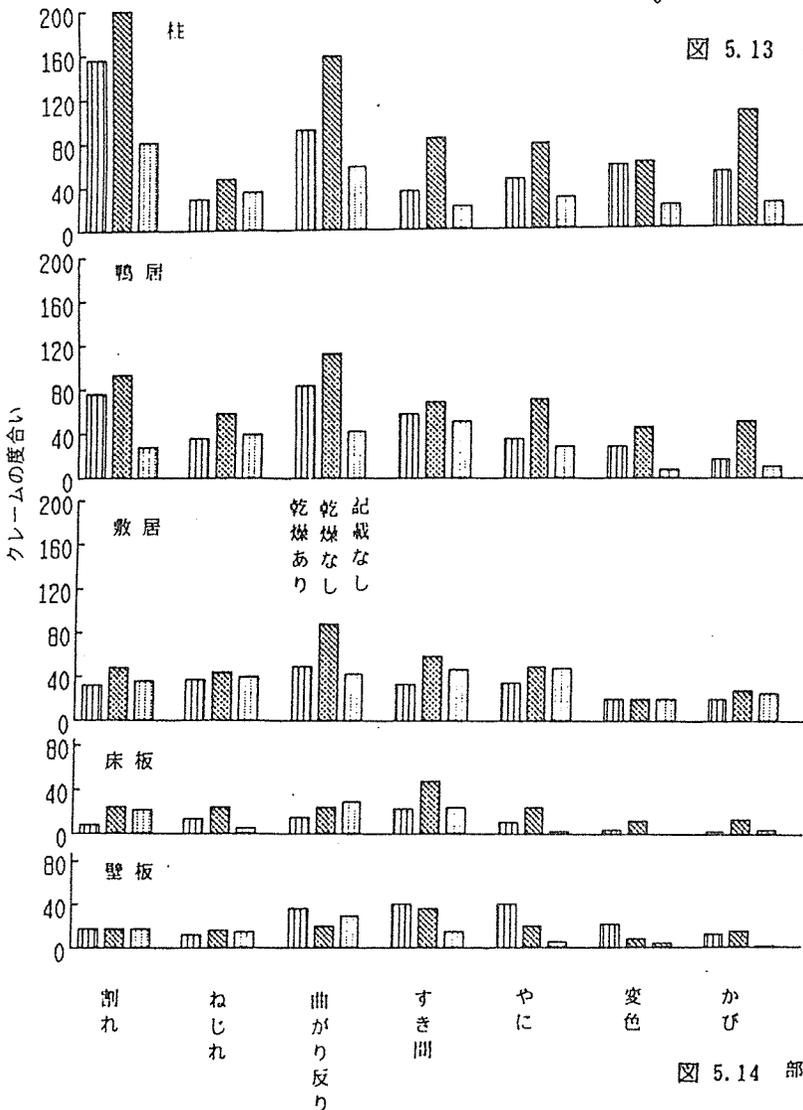


図 5.14 部材別のクレームのパターン

5.14 に示します。5つの部材について、クレームが非常に多いもの、多いもの、少ないものをそれぞれを5, 3, 1として数値化して、クレームの度合いとして表示しています。回答の中には乾燥の有無の記載が無いものがありましたので、やむをえず記載なしとしています。それぞれの部材の要求に応じてクレームの現れ方が異なっています。乾燥ありに比較しますと、乾燥なしの場合にクレームが強く現れています。しかし、乾燥ありの場合でもかなりのクレームが現れています。このような結果は、「建築用針葉樹材」が置かれている過渡的状况を反映するものと推定されます。すなわち「乾燥材」が十分に乾燥されていない現状、「乾燥材」に対する思い入れが強すぎるなどが考えられます。

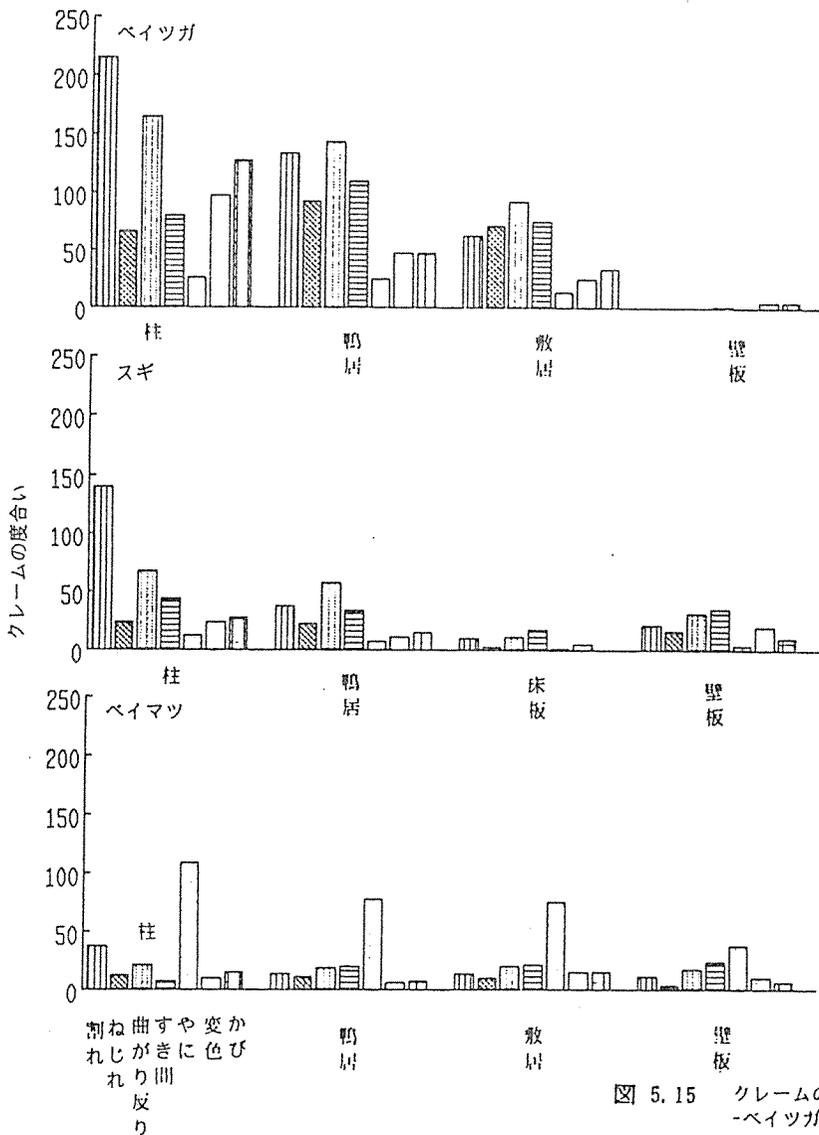


図 5.15 クレームの多い樹種  
-ベイツガ,スギ,ベイマツ-

(7) クレームが強く指摘される樹種—ベイツガ、スギ、ベイマツ

図 5.15 に明らかなように、柱、鴨居など5つの部材について、クレームの指摘が常に高い樹種がベイツガ、スギ、ベイマツです、多く利用されているためでもあるでしょう。

図 5.15から見て取れる、それぞれの樹種の特徴は次のとおりです。

ベイツガ：どの部材として使われてもクレームが多様である。

スギ：それぞれの部材に応じたクレームが現れる標準型である。

ベイマツ：やにが常にクレームとなる。

# 新製材 J A S 規格の考え方

農林水産省食品流通局消費経済課 課長補佐

## 三村龍圓

針葉樹の構造用製材の J A S 規格（以下「新製材 J A S 規格」という）の制定の背景及び新製材 J A S 規格のポイントは、本紙平成 3 年 4 月号で紹介しているので、今回は新製材 J A S 規格の考え方を中心に述べることにしたい。

### 適用の範囲

新製材 J A S 規格では、建築物の構造耐力上主要な部分に使用する針葉樹の製材を対象としている。

したがって、広葉樹の製材や、針葉樹であっても家具用材など建築用以外の用途に使用されるもの、また、建築用材でも敷居、鴨居、長押、廻縁といったような造作用材は対象から外されている。

つまり、これまでの製材規格があらゆる用途の製材を対象にしていたのに対し、新製材 J A S 規格は建築物の構造用材として一定の応力を負う部材について、木造建築物の使用用途に応じて要求される品質性能をよりの確に保証した性能重視の規格となっている。

### 定義

構造用製材とは建築物の構造耐力を支える主要な部分に使用される製材であり、例えば、土台、火打土台、大引、根太、床束、通し柱、管柱、間柱、筋交い、胴差、梁、桁、束、棟

木、たるきなどをいう。

この新製材 J A S 規格においては、目視等級区分製材と機械等級区分製材の 2 規格からなっている。

目視等級区分製材は、従来のように節や丸身、割れなどの欠点を目視により測定し 1 級から 3 級に等級区分するものである。

目視等級区分製材には、使用部位ごとに甲種構造材と乙種構造材に分けられており、甲種構造材は、主として高い曲げ性能を必要とする部分（梁、桁、土台、胴差、母屋など）に使用するものをいい、木口の断面寸法により構造用 I（木口の短辺が三六 mm 未満のもの）、木口の短辺が三六 mm 以上かつ木口の長辺が九〇 mm 未満のもの）、構造用 II（木口の短辺が三六 mm 以上かつ木口の長辺が九〇 mm 以上のもの）に分けられている。また、乙種構造材は、主として圧縮性能を必要とする部分（柱、間柱、束など）に使用するものをいう。

一方、機械等級区分製材は、木材の材料強度と高い相関関係にある曲げヤング係数（曲がりにくさを示す指標）を測定し、その数値により等級区分をするもので、製材の強度をよりきめ細かく区分し、製材に対してよりの確な強度を保証することができるといえる。



## 寸法

新製材JAS規格では、寸法の区分を「木口の短辺、木口の長辺及び材長により区分する」と規定しており、これまでの厚さ、幅、長さとしていたものからより明確な表現にしている。また、寸法の種類を現在広く流通している寸法と、中・大型建築物に対応する大断面の寸法を加えて一二九種（表1）に簡素化しており、寸法の性格も標準寸法（目安の寸法）から規定寸法（規格で定めた寸法以外は規格外）としている。しかし、規定寸法以外であっても設計上必要とする寸法については、個々の事例ごとに、設計書等を登録格付機関が確認した上で、「認定寸法」として、JAS製品と認めることとしている。

寸法精度は、工業材料としての精度を保証し、需要者の木材に対する信頼感を回復することを目指して表12のように規定している。

断面寸法について、未乾燥材では歩切れを認めず、寸法ごとに十一・〇〜三・〇mm、乾燥材では十一・〇〜一・五mm以内となっている。

## 目視等級区分製材の規格

これまでの製材の規格でも目視による強度等級区分が設けられており、一等は建築基準法令に定める木材の許容応力度を満たすものとして、また、特等は一等の4/3倍程度の強度をもつ日本建築学会が推奨する上級構造材にほぼ見合うものとして規定されているが、建築基準法令上は、製材のJAS規格の等級と強度性能との関係が明確でなく、許容応力度は製材のJAS規格の等級とは関係なく、樹種群ごとに値がひとつしか与えられていない。

新製材JAS規格では、主として実大材の強度試験データ

をもとに、等級ごとの強度性能を保証しており、JAS規格の等級に基づいて許容応力度が設定できるような条件を整えた規格となっている。

また、目視等級区分製材は横使いされる甲種構造材と、縦使いされる乙種構造材に区分され、それぞれに基準が定められており、基準の判定材面は、節径比については甲種、乙種ごとに表13のとおりとなっている。節径比以外のものは、四材面判定となっている。

強度に影響する基準は、材面及び木口に表れる欠点によることとし、その大きさ、存在箇所により設けられている。それぞれの基準は表14のとおりであり、次の考え方による。

① 節は、実大材を用いた実験の結果から、その大きさ、存

表-1 規定寸法

(単位：mm)

| 木口の短辺 | 木口の長辺 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|       | 90    | 105 | 120 | 135 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |     |     |     |
| 15    |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 18    |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 21    |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 24    |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 27    | 45    | 60  | 75  | 90  | 105 | 120 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 30    | 45    | 60  | 75  | 90  | 105 | 120 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 36    | 36    | 39  | 45  | 60  | 75  | 90  | 105 | 120 |     |     |     |     |     |     |     |
| 39    | 39    | 45  | 60  | 75  | 90  | 105 | 120 |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 45    |       | 45  | 60  | 75  | 90  | 105 | 120 |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 60    |       |     | 60  | 75  | 90  | 105 | 120 |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 75    |       |     |     | 75  | 90  | 105 | 120 |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 90    |       |     |     | 90  | 105 | 120 | 135 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |
| 105   |       |     |     | 105 | 120 | 135 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |     |
| 120   |       |     |     |     | 120 | 135 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |     |
| 135   |       |     |     |     |     | 135 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |     |
| 150   |       |     |     |     |     |     | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |     |
| 180   |       |     |     |     |     |     |     | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |     |
| 210   |       |     |     |     |     |     |     |     | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |     |
| 240   |       |     |     |     |     |     |     |     |     | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |     |
| 270   |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 270 | 300 | 330 | 360 |     |
| 300   |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 300 | 330 | 360 |     |

表-2 寸法の精度

(単位：mm)

| 区 分            |       |          | 表示された寸法と測定した寸法との差 |
|----------------|-------|----------|-------------------|
| 短辺<br>及び<br>長辺 | 乾 燥 材 | 90未満     | ±1.0              |
|                |       | 90以上     | ±1.5              |
| 材 長            | 未乾燥材  | 36未満     | +1.0 - 0          |
|                |       | 36以上90未満 | +2.0 - 0          |
|                |       | 90以上     | +3.0 - 0          |
| 材 長            |       |          | +制限なし - 0         |

在する位置及びその製材の使われ方によって制限されている。

② 集中節（集中して存在する節で一五cmの長さの間の節径比の合計）は、とくに強度に影響が大きいため集中節径比としての基準を設けている。

③ 丸身は、りょう線上に存在する欠け及びきずを含むこととし、見付けに対する断面欠損で、それぞれの等級ごとに制限を設けている。

④ 貫通割れは、木口の割れと材面の割れに区分され、特に木口割れについては、端部を加工したときの耐力に影響するため厳しく制限されている。

⑤ 目まわりについても、木口の貫通割れと同様端部の加工がされたときの耐力に影響するため厳しい制限がされている。

⑥ 繊維走向の傾斜は、ねじれた丸太、うらこけの木材等を製材した場合に生じるもので、材長に対して平行でない斜走木理をいい、木材の強度と極めて高い関係が広く知られており、木目の傾斜による基準となっている。

⑦ 平均年輪幅、腐朽、曲がり及び狂いについても強度及び利用上の面からそれぞれ等級別に制限が設けられている。

### 機械等級区分製材の規格

機械等級区分製材の等級区分は、曲げヤング係数と曲げ強さの関係を直線回帰式で求め、材料強度を定めるもので、曲げヤング係数が四〇（ $t f / \text{cm}^2$ ）以上の六区分（表一五）からなっており、各本ごとに測定した曲げヤング係数を二〇（ $t f / \text{kg} / \text{cm}^2$ ）ことの間値で表示することとしている。また、利用上支障となるものを排除するためや、ヤング係数が測定できない材端部など、この方法では評価できない丸身や割れ等の欠点は目視を補助的手段とし、表一六の基準を設け

ている。

### 乾燥区分

近年、建築工期の短縮化や住宅の高品質化、プレカットシステムの普及などを背景に、乾燥材に対するニーズが高まっている。

新製材JAS規格では、乾燥コストが材価に反映されにくといった現状と、樹種によっては乾燥し難いものがあることを考慮して、段階的に四つの乾燥区分（表一七）を設けている。

木材は、含水率が三〇％程度になると収縮を始め、平衡含水率（温湿度条件により最終的に落ち着く含水率。我が国では一三％程度）まで続く。このことを新製材JAS規格の含水率基準についてみると、未乾燥材、D25、D20、D15の順に出荷後の収縮、狂いが大きいのが、実用的にはD25以下であればほとんど問題がないと言える。

つまり、今後現実問題として、木材の収縮、狂いに伴うクレーム処理の問題と、乾燥材を使用することに伴うコストアップの問題とを天秤にかける中で、使用する製材を選択することになると思われる。

### 表示の方法

表示の方法は、これまでの製材規格の方法と大きく変わっていないが、等級の表示方法や構造材の種類など今までの表示と違ったものや表示しなかったものも表示するようになっており、次のとおりである。

表示事項としては、樹種名、寸法、製造業社名の他に、構造用Iにあつては「甲I」と、構造用IIにあつては「甲II」と、また、乙種構造材にあつては「乙」と記載することとし、等級は一級を「☆☆☆」、二級を「☆☆」、三級を「☆」のよ

うに星印で表すこととしている。

機械等級区分製材では、等級を「E○○」というように曲げヤング係数の数値による区分により表示することとしている。また、乾燥材の表示をする場合には「D15」、「D20」、「D25」というように表示することとしている。

樹種名については、規格では「最も一般的な名称」によることとなっており、具体的にJAS表示として統一する名称は表1-8のとおりである。また、表に定める樹種以外については登録格付機関の指導によることとしている。

寸法については、木口の短辺、木口の長辺及び材長の順に規定寸法を表示することとしており、単位は必要としているが、認定寸法についてのみ単位を明記することとしている。

### 測定方法

目視等級区分における材面品質の基準は表1-5のとおりであり、その測定方法の主なものとは次のとおりである。

①節径比の測定は、構造用Iで木口の短辺が三六mm未満の材では、広い材面の個々の節について両面の径比を平均し、その最大値を径比とし、それ以外の材は各材面の径比の最大値を径比とする。

また、構造用IIについては、狭い材面と広い材面の基準が別々に定められており、狭い材面はその材面の径比の最大値を節径比とし、広い材面については幅の両側四分の一の「材縁部」と中央二分の一の「中央部」に区分して、それぞれの径比の最大値による。

ここで重要なのは節が材縁部なのか中央部なのかの判定で、節の芯がどの箇所に位置しているかで判定することとしている。

集中節の節径比についても、構造用I、構造用IIとも同じことであるが、広い材面について材縁部の節と中央部の節と

が共存する集中節の場合については、材縁部の基準が適用となる。

②丸身については、各材面ごとに木口の一边の長さに対する辺の欠けの長さの比となる。

③割れについては、二材面に貫通した割れを木口面にあるものと木口面以外の材面にあるものとに区分し、その材長方向の長さの両面における平均値となる。

なお、貫通しない割れは、強度性能への影響が少ないことから、その他の欠点として取り扱うこととなる。

④目まわりについては、木口の短辺の長さに対する深さ(木口の短辺に平行方向の割れの距離)の比となる。

表-3 節の判定材面

| 節径比 | 甲種    | 構造用I            |                       | 広い材面の両面の径比の平均を求め最大値を径比とする。 |
|-----|-------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
|     |       | 木口の短辺が36mm未満のもの | 木口の短辺が36mm以上のもの       |                            |
| 種   | 構造用II | 木口の断面が長方形のもの    | 各材面に存在する径比の最大値を径比とする。 |                            |
|     |       | 木口の断面が正方形のもの    | 各材面とも広い材面の制限値を適用する。   |                            |
| 乙種  | 種     | 木口の短辺が36mm未満のもの | 狭い材面の節は対象としない。        |                            |
|     |       | 木口の短辺が36mm以上のもの | 各材面に存在する径比の最大値を径比とする。 |                            |

表-4 目視等級区分製材の材面の品質の基準

| 目視等級区分       | 甲種(構造用I)        |                     |                     | 甲種(構造用II)   |       |       | 乙種           |    |    |
|--------------|-----------------|---------------------|---------------------|-------------|-------|-------|--------------|----|----|
|              | ***             | **                  | *                   | ***         | **    | *     | ***          | ** | *  |
| 四子1等級表示一節(%) |                 |                     |                     |             |       |       |              |    |    |
| 節径比 全面       | 20              | 40                  | 60                  |             |       |       | 30           | 40 | 70 |
| 狭い材面         |                 |                     |                     | 20          | 40    | 60    |              |    |    |
| 広い材面(材縁部)    |                 |                     |                     | 15          | 25    | 35    |              |    |    |
| ”(中央部)       |                 |                     |                     | 30          | 40    | 70    |              |    |    |
| 集中節径比 全面     | 30              | 60                  | 90                  |             |       |       | 45           | 60 | 90 |
| 狭い材面         |                 |                     |                     | 30          | 60    | 90    |              |    |    |
| 広い材面(材縁部)    |                 |                     |                     | 20          | 40    | 50    |              |    |    |
| ”(中央部)       |                 |                     |                     | 45          | 60    | 90    |              |    |    |
| 丸身(%)        | 10              | 20                  | 30                  | 甲種(構造用I)と同じ |       |       | 甲種(構造用I)と同じ  |    |    |
| 曲り(%)        | 極めて軽微           | 軽微である               | 顕著でない               | 0.2         | 0.5   | 0.5   | 甲種(構造用II)と同じ |    |    |
| 腐朽           | ない              | 軽微である               | 顕著でない               | ない          | 軽微である | 顕著でない | 甲種(構造用I)と同じ  |    |    |
| 但し、土台用は      |                 |                     |                     | ない          | ない    | ない    |              |    |    |
| 割れ           |                 |                     |                     | 甲種(構造用I)と同じ |       |       | 甲種(構造用I)と同じ  |    |    |
| 貫通割れ 木口材面    | 長辺の寸法×1.5<br>ない | 長辺の寸法×1.5<br>材長×1.6 | 長辺の寸法×1.5<br>材長×1.3 |             |       |       |              |    |    |
| 目まわり         | 短辺の寸法×1.5<br>ない | 同                   | 左                   |             |       |       |              |    |    |
| 平均年輪幅(mm)    | 6               | 8                   | 10                  |             |       |       |              |    |    |
| 樹心歪角傾斜(mm)   | 1:12            | 1:8                 | 1:6                 |             |       |       |              |    |    |
| 歪み(そり、おじれ)   | 軽微である           | 顕著でない               | 顕著と認めない             |             |       |       |              |    |    |
| その他の欠点       | 軽微である           | 顕著でない               | 顕著と認めない             |             |       |       |              |    |    |

## 試験方法と適合基準

新製材JAS規格には、試験方法として①防腐・防蟻処理試験又は防霉処理試験、②含水率試験、③曲げ性能試験が定められている。

①については、これまでの製材規格と同じであることから省略する。

②については、乾燥の基準を変えるときともに、含水率計による測定を可能にしており、適合基準については表1-7に示すとおりとなっている。

③については、新たな方法であることから、以下に試験の方法及び試験結果の適合基準について述べる。

### (1) 曲げ性能試験

#### (ア) 試験試料の採取

試験試料は、一荷口から五枚又は五本を任意に抜き取るものとする。ただし、再試験を行う場合には、一荷口から一〇枚又は一〇本を抜き取るものとする。

#### (イ) 試験結果の判定

一荷口から採取された試験試料のうち、基準に適合するものの数がその総数の九〇%以上であるときは、当該試験試料に係る荷口は合格したものとし、七〇%未満であるときは、不合格とする。適合するものの数が七〇%以上九〇%未満であるときは、その荷口について改めて試験に要する試験試料を採取して再試験を行い、その結果適合するものの数が九〇%以上であるときは、合格したものとし、九〇%未満であるときは、不合格とする。

#### (ウ) 試験の方法

図1-1に示す方法によって、適当な初期荷重を加えたときと最終荷重を加えたときとのたわみの差を測定し、曲げヤング係数を求める。ただし、図1-1に示す方法以外の方法によ

って、試験の適合基準を満足するかどうか明らかに判定できる場合は、その方法によることができる。

(注) 曲げヤング係数は、次の式によって算出する。

$$E = \frac{\Delta P \ell^3}{4bh^3 \Delta y}$$

E : 曲げヤング係数 (kgf/cm<sup>2</sup>)

ℓ : スパン (cm)

b : 木口の長辺 (cm)

h : 木口の短辺 (cm)

ΔP : 初期荷重と最終荷重との差 (kgf)

Δy : ΔPに対応するたわみ (cm)

#### (エ) 試験試料の適合基準

試験試料の曲げヤング係数が表1-5に掲げる数値を満足すること。

おわりに

新製材JAS規格の制定は、木造住宅の品質向上、中・大規模木造建築物の新たな可能性を引き出すことができ、また、エンドユーザーの木造住宅及び木造建築物への指向をより高め、ゆとりある豊かな生活の実現が図られるものである。

木材業界にとっても、寸法の簡素化、規定化による生産品目の明確化、乾燥規定による寸法精度及び安定性の向上の実現、強度規定による他材料との競争ができる状況整備の実現に資するものであり、今後、木材業界が発展していくための礎である。

このように、新製材JAS規格は、二一世紀の製材業の将来展望を切り開き、木材及び木造建築物への信頼を確立し、消費者ニーズに的確に応え、広く国民の利益に資するものと考えており、関係者のご理解と一層のご協力をお願いする次第である。

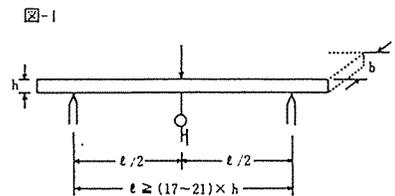


表-8 針葉樹の構造用製材の樹種名一覧表

| 一般的に呼称されている名称         | 学名                                     | JAS表示として統一する名称 |
|-----------------------|----------------------------------------|----------------|
| ヒノキ                   | <i>Chamaecyparis obtusa</i>            | ヒノキ            |
| サワラ                   | <i>Chamaecyparis pisifera</i>          | サワラ            |
| ネズコ                   | <i>Thuja standishii</i>                | ネズコ            |
| アスナロ                  | <i>Thujopsis dolabrata</i>             | ヒバ             |
| ヒバ、ヒノキアスナロ            | <i>Thujopsis dolabrata var hondae</i>  | "              |
| モミ                    | <i>Abies firma</i>                     | モミ             |
| ウラジロモミ                | <i>Abies homolepis</i>                 | "              |
| トドマツ                  | <i>Abies sachalinensis</i>             | トドマツ           |
| カラマツ                  | <i>Larix leptolepis</i>                | カラマツ           |
| アカエゾマツ、アカエゾ           | <i>Picea glehnii</i>                   | アカエゾマツ又はアカエゾ   |
| クロエゾマツ、エゾマツ           | <i>Picea jezoensis</i>                 | エゾマツ           |
| アカマツ                  | <i>Pinus densiflora</i>                | アカマツ           |
| クロマツ                  | <i>Pinus thunbergii</i>                | クロマツ           |
| ヒメコマツ、ヒメコ             | <i>Pinus pentaphylla</i>               | ヒメコマツ          |
| ツガ                    | <i>Tsuga sieboldii</i>                 | ツガ             |
| スギ                    | <i>Cryptomeria japonica</i>            | スギ             |
| ベニヒ                   | <i>Chamaecyparis formosensis</i>       | ベニヒ            |
| タイヒ、タイワンヒノキ           | <i>Chamaecyparis taiwanensis</i>       | タイワンヒノキ又はタイヒ   |
| アフリカカラマツ、グイマツ、ソ連カラマツ  | <i>Larix gmelinii (Larix dahurica)</i> | ソ連カラマツ         |
| ベニマツ、チョウセンゴヨウ         | <i>Pinus koraiensis</i>                | ベニマツ           |
| オウシュウアカマツ             | <i>Pinus sylvestris</i>                | オウシュウアカマツ      |
| ベイヒ、ビーオーシーダー          | <i>Chamaecyparis lawsoniana</i>        | ベイヒ            |
| ベイヒバ、アラスカシーダー         | <i>Chamaecyparis nootkatensis</i>      | ベイヒバ           |
| ベイスギ、ウェスタンレッドシーダー     | <i>Thuja plicata</i>                   | ベイスギ           |
| ベイモミ、ノーブルファー          | <i>Abies procera</i>                   | ベイモミ又はファー      |
| ベイモミ、バルサムファー          | <i>Abies balsamea</i>                  | "              |
| ベイモミ、ホワイトファー          | <i>Abies concolor</i>                  | "              |
| ベイモミ、グランドファー          | <i>Abies grandis</i>                   | "              |
| ストローブパイン、ホワイトパイン      | <i>Pinus strobus</i>                   | ストローブマツ        |
| ロジボールパイン              | <i>Pinus contorta</i>                  | ロジボールパイン       |
| ペイトウヒ、スプルース、シトカスプルース  | <i>Picea sitchensis</i>                | スプルース          |
| ペイトウヒ、スプルース、ホワイトスプルース | <i>Picea glauca</i>                    | "              |
| ペイトウヒ、スプルース、ブラックスプルース | <i>Picea mariana</i>                   | "              |
| ベイマツ、ダグラスファー          | <i>Pseudotsuga menziesii</i>           | ベイマツ又はダグラスファー  |
| ベイツガ、ヘムロック、イースタンヘムロック | <i>Tsuga canadensis</i>                | ベイツガ又はヘムロック    |
| ベイツガ、ヘムロック、ウェスタンヘムロック | <i>Tsuga heterophylla</i>              | "              |
| レッドウッド、アカスギ、センベルセコイア  | <i>Sequoia sempervirens</i>            | レッドウッド         |
| ショートリーフパイン、エキタナーパイン   | <i>Pinus echinata</i>                  | サザンパイン         |
| スラッシュパイン              | <i>Pinus eliottii</i>                  | "              |
| デーダマツ                 | <i>Pinus taeda</i>                     | "              |
| ロブローパイン               | <i>Pinus palustris</i>                 | "              |
| ロングリーフパイン、ダイオウショウ     | <i>Pinus rigida</i>                    | "              |
| リギダマツ                 | <i>Pinus virginiana</i>                | "              |
| バージニアマツ               | <i>Pinus radiata</i>                   | ラジアタマツ         |
| ラジアタパイン、ニュージーランドパイン   |                                        | 又はラジアタパイン      |

注1 一般的に呼称されている名称にはこの表に記されていないものもある。

注2 この表にない樹種の名称は、登録格付機関において指導する。

表-5 機械等級区分製材の等級区分

| 等級    | 曲げヤング係数(10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-------|-----------------------------------------------|
| E 50  | 40以上 60未満                                     |
| E 70  | 60以上 80未満                                     |
| E 90  | 80以上 100未満                                    |
| E 110 | 100以上 120未満                                   |
| E 130 | 120以上 140未満                                   |
| E 150 | 140以上                                         |

表-6 機械等級区分製材の目視部分の基準

| 区分               | 基準                                   |
|------------------|--------------------------------------|
| 丸身               | 30%以下であること。                          |
| 貫通割れ<br>木口<br>材面 | 長辺の寸法の2.0倍以下であること。<br>材長の1/3以下であること。 |
| 目まわり             | 利用上支障のないこと。                          |
| 腐朽               | 局部的な腐朽は、顕著でないこと。                     |
| 曲り               | 顕著でないこと。                             |
| 狂い及びその他<br>の欠点   | 利用上の支障のないこと。                         |

表-7 乾燥区分

| 乾燥区分 | 含水率      |
|------|----------|
| D 15 | 15%以下のもの |
| D 20 | 20%以下のもの |
| D 25 | 25%以下のもの |
| 未乾燥材 | 上記以外のもの  |

5 含水率の測定方法・判定基準 (株)全国木材組合連合会

針葉樹の構造用製材の日本農林規格解説抜粋

木材の乾燥は、製品の品質、寸法の安定及び強度の増加等利点が多く、近年、需要サイドからも乾燥材の供給が強く望まれている。

一方、建築材料として、木材が鉄骨及びコンクリート等と同様の位置づけを確保するためにも、個々の品質（強度）のバラツキの減少に加え、乾燥材による収縮、狂いを減少させることが、これからの必要条件である。

このため乾燥材の供給が急務であり、今回の規格判定に当たって、使用の面から、また、生産の面から含水率基準を「表-13」のとおり3区分とし、選択表示できることとしている。

表-13 含水率基準

| 乾燥区分 | 基 準   |
|------|-------|
| D 15 | 15%以下 |
| D 20 | 20%以下 |
| D 25 | 25%以下 |

(1) 全乾重量法による場合

①試験片の作成

表-14 試験片の作成

| 試 験 | 抜取り本数 | 試験片数 | 試験片採取位置            | 試験片の大きさ |
|-----|-------|------|--------------------|---------|
| 本試験 | 5     | 10   | 材端から30cm以上離れた無欠点部分 | 適 当     |
| 再試験 | 10    | 20   |                    | 適 当     |

(注) 試験片の大きさの「適当」とは、木口断面寸法をそのままとして適当な長さで重量100g程度のものをいう。

②試験の方法

各試験片の乾燥前重量（単位g）を測定し、恒温乾燥器（100～105℃）で恒量に達するまで乾燥し、全乾重量を測定する。

(注) 重量（g単位）は、小数点以下2位まで秤量する。

含水率は、次式により算出する。

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

$W_1$  : 乾燥前の重量 (g)

$W_2$  : 全乾重量 (g)

### ③試験結果の判定

測定した含水率の基準値に適合するものの数が90%以上であるときは、その荷口は合格とし、70%未満であるときは不合格とする。ただし、70%以上90%未満であるときは再試験を行い、その結果が90%未満であるときは不合格とする。

表-15 試験結果の判定

| 試験  | 合格    | 不合格   | 再試験         |
|-----|-------|-------|-------------|
| 本試験 | 90%以上 | 70%未満 | 70%以上~90%未満 |
| 再試験 | 90%以上 | 90%未満 | —           |

### (2) 電気式木材水分計による場合

使用する水分計は、高周波型式で樹種及び温度補正が可能なことのほか、測定誤差が明らかなものでなければならない。

なお、機種は登録格付機関の指定した(財)日本住宅・木材技術センターの認定品)ものに限る。

#### ①試験方法

1 荷口から5本(枚)(再試験の場合は10本(枚))を任意に抜取り、抜き取った材の異なる2材面(背割面を除く)の、両木口から30cm以上離れた箇所および中央部の計6箇所(節、割れ、その他含水率に影響を及ぼす欠点のない部分)を測定し、各試験試料ごとの含水率を求める。

上記で求めた試験試料の含水率の平均値を求め、平均値は小数点以下1位を四捨五入する。

なお、含水率測定時には機種ごとに定められた調整を正確に実施し測定を行う。

#### ②試験結果の測定 (前頁(1)~③に同じ)

## 6 木材乾燥装置の導入と税制（特例措置）

日本木材乾燥施設協会

平成4年度の税制改正におけるエネルギー需給構造改革投資促進税制の創立に伴って、「断熱強化型自動木材乾燥装置」及び「太陽熱利用木材乾燥装置」が税制特例措置の適用対象になりました。これによって、多額の設備投資を必要とする木材乾燥装置の導入の際に著しい減税効果が期待でき、多額の設備資金を早期に回収できるメリットがあります。

制度の概要は次のとおりです。

### 1. 制度の内容

林産業者が地球温暖化防止対策を含む特定のエネルギー需給構造革命推進設備を取得した場合には、普通償却額に加えて所得価額の30%の特別償却または取得価額の7%の特別控除のいずれかを選択適用できます。

### 2. 適用対象設備

#### (1) 断熱強化型自動木材乾燥装置

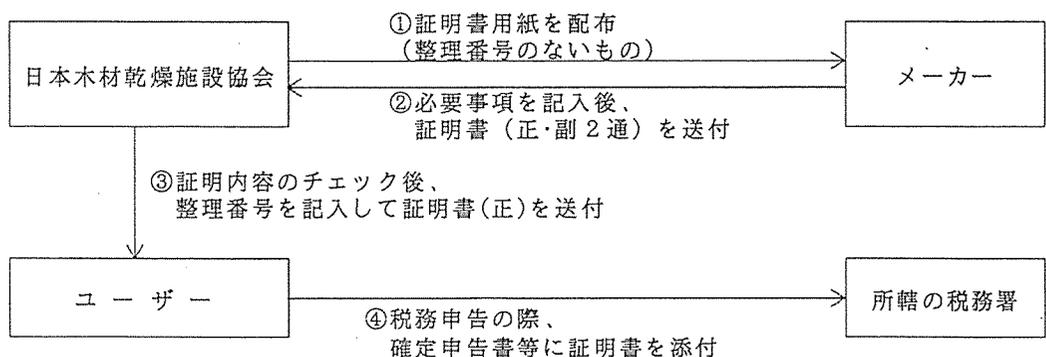
「木材の乾燥を行うもので壁体の内面がステンレス製断熱パネルで構成されたものまたは壁体が二重断熱構造を有するものうち、当該壁体の熱貫流率が1.0キロカロリー毎平方メートル毎時毎度以下のもの並びに熱源装置、送風機、調湿装置及び自動調整装置を同時に設置する場合のこれらのものに限り、これらと同時に設置する専用のポンプまたは配管を含む。」

#### (2) 太陽熱利用木材乾燥装置

これらのうち、「断熱強化型自動木材乾燥装置」についてはエネルギー需給構造改革設備仕様等証明制度が適用され、日本木材乾燥施設協会よりエネルギー需給構造改革設備仕様等証明書を発行します。税務申告の際、確定申告書にこの証明書を添付して提出すれば税務当局において参考に供されることになるので、ユーザーにとって便利な制度です。

証明書の発行手順は次のとおりです。

### 〈エネルギー需給構造改革推進設備仕様等証明書の発行手順〉



「集熱面積が60平方メートルの太陽熱集熱器を有するもののうち、当該太陽熱集熱器、木材乾燥室、送風機、調湿装置及び自動調整装置を同時に設置する場合のこれらに限るものとし、これらと同時に設置する専用の蓄熱設備、補助熱源装置、ポンプまたは配管を含む。」

### 3. 適用例

太陽熱利用木材乾燥装置を30,000千円で取得した場合の特例

#### (1) 30%の特別償却を選択した場合

(耐用年数12年、定額償却、残存価額1割、法人税率28%)

① 原則： $30,000 \text{千円} \times 0.9 \times 1/12 = 2,250 \text{千円}$

② 特例適用： $(30,000 \text{千円} \times 0.9 \times 1/12) + 30,000 \text{千円} \times 30\% = 11,250 \text{千円}$

③ 減税額： $(② - ①) \times 28\% = 2,520 \text{千円}$

(2) 取得価額の7%の特別控除を選択した場合  
税額控除額： $30,000 \text{千円} \times 7.0\% = 2,100 \text{千円}$

## 7 木材乾燥施設導入に係わる助成制度

ウッドプロ 1992, No. 18

### 利子助成制度

#### 乾燥材供給総合対策事業

趣旨＝建築用材を主体として、乾燥材のトータルコストの縮減、品質の安定、乾燥材の供給体制整備を推進することを目的にしている。

助成内容・条件＝木材関連業者等の組織する団体が利子助成を行うために必要な整備資金を造成し、乾燥材生産施設導入計画に基づき借り入れた資金に係る金利の一部、2.65%の利子を助成。償還期間は7年以内（うち据置き期間2年以内）。借り入れ額は5,000万円が限度。

対象＝申請者の事業場において、出荷量に占める国産材を使用した建築用材の割合が $\frac{1}{2}$ 以上で、かつ乾燥材生産施設導入計画の建成本が確定であると見込まれる、木材関連業者または木材関連業者等の組織する団体。 /林産課

#### 木材産業高度化総合対策事業

趣旨＝木材産業の体質強化を図るため、低コスト化、高付加価値化、原料転換等のための高性能・省力化設備の導入を促進する。

助成内容・条件 融資額が8,000万円以内に対して年3%の利子を助成。償還期間は7年以内（うち据置き期間2年以内）。

対象及び申請等 木材産業高次加工化等促進事業実施計画を作成し、都道府県知事に認定を受け、実施団体を經由して財日本木材総合情報センターに申請。利子助成は、借入資金の利息支払いを確認後交付される。 /林産課

### 融資制度

#### 国産材産業振興資金

趣旨＝国産材関連事業者の事業の合理化を図るために必要な資金に対して融資が受けられる制度資金。

●運転資金 乾燥材を一定割合（人工乾燥材の生産割合が5年後にはおおむね50%）以上計画的に生産することを条件に、国産素材・製品の購入資金を対象に融資が行なわれる。金利は償還期間が1年以内の場合は年3.9%、5年以内の長期は年4.4%。

●設備資金 製材業者が国産材の利用加工の高度化を図るために機械施設を導入するために必要な資金。機械施設導入に対しては年5.1%、一連の製造工程に必要な施設を一括の場合は5.0%。貸付限度額は8,000万円以内、償還期間は7年以内（据置き期間1年6カ月以内）

対象＝この制度を実施する都道府県の区域内に住所があり、国産材取扱量が事業実績の $\frac{1}{2}$ 以上又は林野庁長官が定める規模以上で、国産材の生産、または流通の合理化を図るための計画を作成し、都道府県知事に申請して認定を受けた団体。 /企画課

8 乾燥施設の導入状況（平成3年度調査） 日本木材乾燥施設協会

|          |     | 昭和51年～55年 |                     | 昭和56年～60年 |                     | 昭和61年～平成2年 |                     |
|----------|-----|-----------|---------------------|-----------|---------------------|------------|---------------------|
|          |     | 施設室数      | 容 量                 | 施設室数      | 容 量                 | 施設室数       | 容 量                 |
| 製材<br>針  | 蒸気式 | 118       | 1,783 <sup>m³</sup> | 181       | 3,495 <sup>m³</sup> | 412        | 8,445 <sup>m³</sup> |
|          | 真空式 | 2         | 10                  | 4         | 26                  | 7          | 50                  |
|          | 除湿式 | 78        | 1,545               | 193       | 3,054               | 123        | 2,042               |
|          | 太陽熱 | 0         | 0                   | 0         | 0                   | 7          | 138                 |
|          | その他 | 8         | 71                  | 2         | 11                  | 4          | 57                  |
|          | 小 計 | 206       | 3,409               | 380       | 6,586               | 553        | 10,732              |
| 製材<br>広  | 蒸気式 | 453       | 8,306               | 230       | 4,008               | 356        | 6,879               |
|          | 真空式 | 8         | 181                 | 13        | 251                 | 11         | 71                  |
|          | 除湿式 | 34        | 616                 | 63        | 828                 | 41         | 608                 |
|          | 太陽熱 | 0         | 0                   | 0         | 0                   | 2          | 28                  |
|          | その他 | 15        | 96                  | 2         | 12                  | 0          | 0                   |
|          | 小 計 | 510       | 9,199               | 308       | 5,099               | 410        | 7,586               |
| 集成材      | 蒸気式 | 166       | 3,042               | 124       | 2,517               | 185        | 2,820               |
|          | 真空式 | 7         | 30                  | 13        | 85                  | 21         | 112                 |
|          | 除湿式 | 44        | 1,056               | 64        | 1,216               | 55         | 1,470               |
|          | 太陽熱 | 0         | 0                   | 0         | 0                   | 0          | 0                   |
|          | その他 | 11        | 109                 | 2         | 27                  | 0          | 0                   |
|          | 小 計 | 228       | 4,237               | 203       | 3,845               | 261        | 4,402               |
| 住宅<br>関連 | 蒸気式 | 95        | 1,546               | 134       | 2,063               | 168        | 3,120               |
|          | 真空式 | 0         | 0                   | 6         | 51                  | 0          | 0                   |
|          | 除湿式 | 18        | 68                  | 45        | 587                 | 67         | 1,001               |
|          | 太陽熱 | 0         | 0                   | 0         | 0                   | 20         | 423                 |
|          | その他 | 10        | 41                  | 7         | 26                  | 10         | 70                  |
|          | 小 計 | 123       | 1,655               | 192       | 2,727               | 265        | 4,614               |
| その他      | 蒸気式 | 279       | 3,458               | 212       | 2,569               | 239        | 2,785               |
|          | 真空式 | 27        | 97                  | 13        | 69                  | 12         | 57                  |
|          | 除湿式 | 18        | 351                 | 55        | 796                 | 24         | 355                 |
|          | 太陽熱 | 0         | 0                   | 1         | 84                  | 13         | 319                 |
|          | その他 | 222       | 1,013               | 137       | 785                 | 62         | 369                 |
|          | 小 計 | 546       | 4,919               | 418       | 4,303               | 350        | 3,885               |
| 計        | 蒸気式 | 1,111     | 18,135              | 881       | 14,652              | 1,360      | 24,049              |
|          | 真空式 | 44        | 318                 | 49        | 482                 | 51         | 290                 |
|          | 除湿式 | 192       | 3,636               | 420       | 6,481               | 310        | 5,476               |
|          | 太陽熱 | 0         | 0                   | 1         | 84                  | 42         | 908                 |
|          | その他 | 266       | 1,330               | 150       | 861                 | 76         | 496                 |
|          | 合 計 | 1,613     | 23,419              | 1,501     | 22,560              | 1,839      | 31,219              |

資料：日本木材乾燥施設協会

注) 本表は既発表のものであるが、真空式で集計の重複があり、修正されている。

日本木材乾燥施設協会が平成3年度に会員32社に対してアンケート調査を行い、20社から回答を得たものが前表である。この20社は我が国の木材乾燥施設のおおよそ8割強のシェアをもっていると見込まれる。この表によれば、昭和51年～55年の導入が1,613室、容量が23,419<sup>m</sup>、昭和56年～60年が1,501室、容量が22,560<sup>m</sup>、そして昭和61年～平成2年は1,839室、容量が31,219<sup>m</sup>と集計されており、近年、着実に施設数、延べ容量ともに伸びてきたことが明らかである。

## 9 製材用水分グレーダーの開発

株式会社ケット科学研究所 主任研究員 結城英恭

### 要旨

近年、乾燥材に対する需要が急激に高まり、建築構造用製材のJAS規格の制定と相まって、柱材の乾燥の必要性も日々に増加している。

現在では、広葉樹ばかりではなく、建築用材として扱われる針葉樹材にも人工乾燥がなされるようになったが、柱材等では内部までなかなか乾燥し難く、かつそのような状態の柱の水分を適確に測定する手段がなく問題となっている。

そこで、従来より測定深度の深い複数のセンサーを用い、オンラインで水分測定ができ、加えてその水分による合否を自動的に判定できる実験機を開発した。

### 1 緒言

本開発は、建築構造用製材として大半を占めるスギ、ヒノキ、ベイマツの10.5~12.0cm柱角を対象に、乾燥仕上げ時の柱角製品中の水分分布を非破壊的に、連続的に、正確に、迅速に測定し、乾燥木材として必要な条件を満たしているか否かを判定する装置（木材用水分グレーダー）の開発を目的とするものである。

従来の高周波式木材水分計は、有効深度約1cmまでの水分しか検知せず、柱角のように厚材で、かつ水分傾斜が存在する材料に対しては、内部の水分傾斜の状態を把握することはおろか平均水分でさえ困難であった。

本研究開発では、木材の深度方向への測定深度が異なる3種のセンサーを用意し、それぞれの信号から平均水分や水分分布をマイクロコンピュータで予測することを試みた。

### 2 水分計

#### 2-1 水分センサー

センサーは、図1に示すように底面に2本の細長い棒状の電極を持ち、これを木材表面に押し当てて測定を行う。また図2のように水分の測定深度を変えるために底面の構造、及び測定方式の異なる3種類を用意した。中層部測定用センサー2と、深部測定用センサー3は共に高周波抵抗式を採用したが、センサー3では電極間隔を広くして電界を深部にまで及ぶようにしているのに対して、センサー2は電極間隔を狭くした上にセンサー底面にアルミ板をはり、電界を比較的浅い部分に集中させるように考慮した。表層部測定用センサー1は直流抵抗式を用い、その測定深度は表面近くのみと考えられる。

また、柱、梁の最長3m材を測定対象としていることから、長さ方向の水分分布を考慮に入れ3セットのセンサーを使用した。各センサーからの水分信号をチャンネル切換器によって順次切り換えて演算装置に送り、計算された平均の水分値が表示器に表示されるようにした。

日本木材加工技術協会第9回年次大会要旨集 (1991)

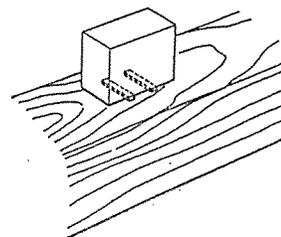
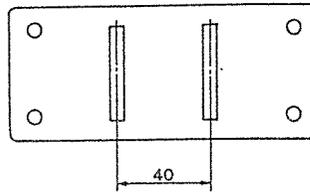
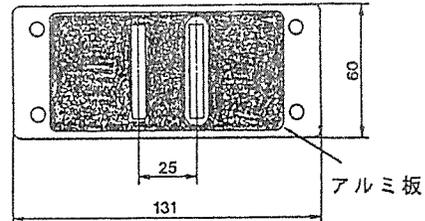


図1 測定状態

A 表層部（表面から5mmほどまで）測定用センサー 1  
直流抵抗式



B 中層部（表面から2cmほどの深部）測定用センサー 2  
高周波抵抗式  
周波数：1 MHz



C 深層部（表面から2cm以上の深部）測定用センサー 3  
高周波抵抗式  
周波数：1 MHz

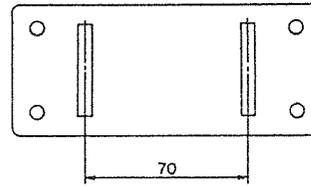


図 2 電極底面図

## 2-2 検量線の作成

ここでは主に柱材が実験の対象であるので、それによる検量線を作成しなければならないが、柱材では水分を平衡にさせることが難しいので、簡易的にほぼ同じ水分のヒノキの板材を重ねて代用した。

## 2-3 測定深度の確認実験

3種類のセンサーを用い平均値や水分分布を求めるには、水分を測定する深度がおのの異なる、その差が水分値に反映されなければならない。これを評価する簡易方法として上層に低水分、下層に高水分が存在する二相水分系を考え、上層、下層の水分の組み合わせを種々変化させ、各センサーからの水分値が規則性を持って出力されているか否かの確認実験を行った。供試料は厚さ10mmのヒノキを用いた。

### 2-3-1 実験方法

- ①上層水分を1枚にして、下層水分の板約8枚を固定する。
- ②クランプで全体固定する。
- ③センサー1、センサー2、センサー3と上から順次測定する。
- ④クランプ解除する。
- ⑤上層水分を2枚にし、それを下層水分約8枚の上に積み重ねる。
- ⑥クランプで固定する。
- ⑦上記①～⑤の操作を上層が約7～8枚になるまで繰り返す。

## 2-3-2 実験結果

図3に測定結果の例を示す。

各センサーとも電極形状から表面の影響を受けてはいるものの、センサー1は表面の水分を、センサー2は中層に対応する水分を、センサー3は深層に対応する水分をとらえていることが分かった。

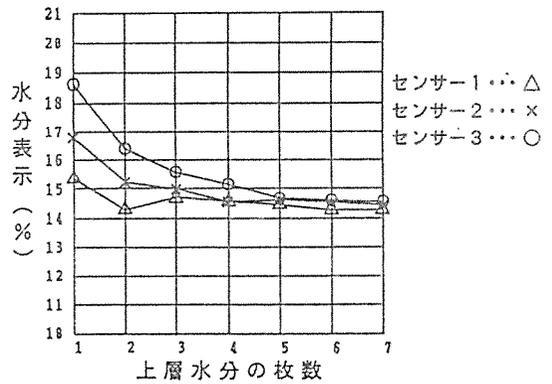


図3 15-40%組み合わせ

## 3 水分グレーダーのシステム

### 3-1 水分グレーダーのシステム概略

図4に水分グレーダーのシステム構成の1例を示す。

乾燥室から出された製材品をフォークリフト等でテーブルリフター上に積み、手動または自動供給装置でホイールローラーコンベア上に供給する。ホイールローラーコンベアからは一本ずつ自動的に水分グレーダー本機に取り込みチェーンコンベアで送材する。計測位置で送材を停止し、水分計測センサーで水分値を計測する。この時点であらかじめ入力した設定水分値と比較し、乾燥度合の合否を判定し、コンピューターに記憶する。この動作を順次繰り返し、乾燥材と判定された材料は乾燥材の次加工工程へ流し、不合格と断定された材料は再乾燥の工程へと流れる。本システムによる材料の水分測定タクトタイムは一本当たり6秒である。合否判定の結果はスタンプマーキングにより新JASに基づく表示も可能である。

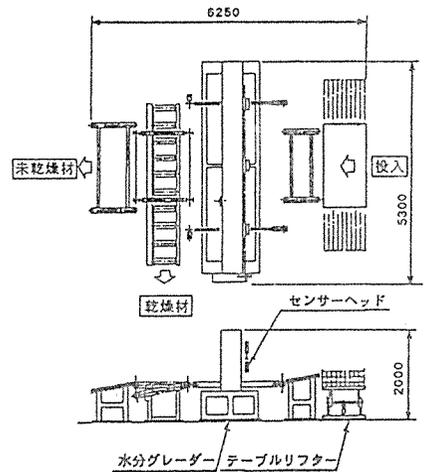


図4 水分グレーダーシステム概略図

### 3-2 水分グレーダーの本機

図5に、水分グレーダー本機の外形図を示す。

#### 3-2-1 本機仕様

##### 3-2-1-1 機械寸法等

- ・幅 5300mm
- ・長 2300mm
- ・高 2000mm
- ・重量 2500kg

##### 3-2-1-2 附属部分

- ・テーブルリフター900W×1800L×1200H (最大高)
- ・入口ホイールローラーコンベアー
- ・出口ホイールローラーコンベアー

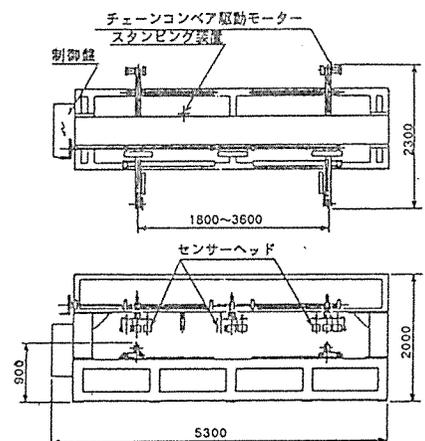


図5 水分グレーダー本機

### 3-2-1-3 機械能力

#### A. 測定できる材料の寸法

- ・柱材 105～120mm角×2～4m
- ・梁材 105～120H×210～450W×2～4m

#### B. 測定タクト時間

- ・6秒/1本

### 3-2-1-4 所要電気容量

- ・本機 0.4kw×2
- ・テーブルリフター 0.4kw
- ・コンプレッサー (1.5kw相当)

## 4 水分センサーを実装した水分グレーダー実験機による柱材への適用実験

### 4-1 供試料

ヒノキ（静岡産） 110D×110W×3000Lmm 10本

人工乾燥した材料を用いた。

## 5 事業により確認した効果

水分センサーについては、種々実験の結果、検出電界深度の異なる3種のセンサー、すなわち表層部用として直流抵抗式、中層部用として高周波25mmセンサー、深層部用として高周波70mmセンサーの開発に一応のメドがたった。

グレーダー本機については、ホイールローラーコンベア、スタンプマーキング等については十分な機能を得ることができた。

実験機による柱の実験については、無節の部分については、重回帰モデル式で柱の平均水分を出力した結果、標準誤差1.4、すなわち95%信頼区間において全乾法水分に対して、±2.8%となり、平均値の上では限定される条件内で良好な成績を得た。（図6）

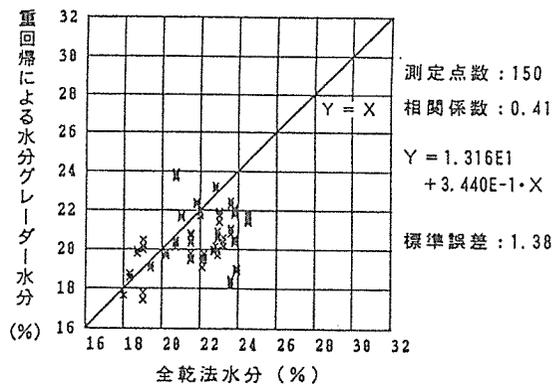


図6 全乾法水分と重回帰による水分グレーダー水分

## 10 連続型自動水分測定装置の開発

北林産試だより1991, 7月

中 篤 厚

### はじめに

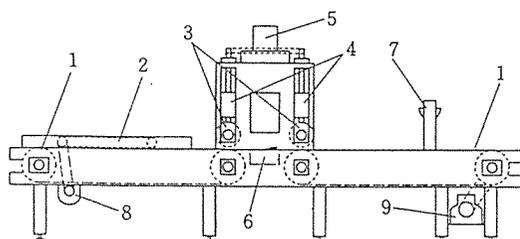
建築材を含め、木材は乾燥してから種々の製品に加工し使用することがもはや常識となってきました。しかしながら、それを使う側では乾燥はされていてもその程度が分からないまま、購入している場合が多いと思われまます。木製品の使用環境に応じた適正な含水率（例えば建築用構造材は約17%）に乾燥されていれば問題はありますが、それからかけ離れた含水率の木材を使った場合、様々な問題（割れ・狂い・隙間など）が生じることは皆さんご承知のとおりです。つまり乾燥材とはただ単に水分が取り除かれた材というだけでは不完全で、その水分が適正量にコントロールされていなければ本来の乾燥材としての価値が発揮されないこととなります。

現在、水分量（含水率）を測定する最も簡単な方法として、ハンディ型の電気式含水率計を使用

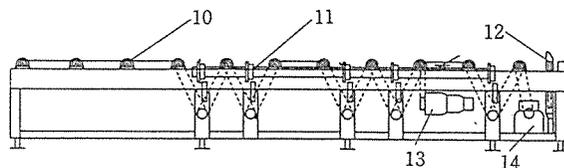
することがあげられます。この方法は測定精度の問題がよく議論されますが、比較的簡便に測定することができ、機器の価格も手ごろで一般に多く普及しています。しかし、この方法ではセンサは木材面または材中の一局部のみの含水率を感知しますので、材中に水分のバラツキ（表面と内部・長さ方向）がある場合には大きな誤差を生じる可能性があります。また、センサの種類によって測定値に温度・樹種・機種補正を加えなければならないという取り扱い上の不便さがあります。また、このような計器で大量の製材を一度に処理することは、作業性からみて困難です。

そこで今回、大量の乾燥材の処理を対象として、連続的にしかも精度良く水分チェックが行える汎用性の高い連続型自動水分測定装置の開発研究を行いましたので紹介します。日常、良質乾燥材の供給に努められている企業の皆様方の参考になれ

搬送・水分測定装置



振り分け装置



各部の名称

- 1：ベルトコンベア， 2：幅寄せ用移動定規， 3：製材押え用昇降ローラ， 4：エアシリンダ， 5：昇降ローラ用モータ， 6：水分センサ， 7：マーキングスプレ， 8：幅寄せ用モータ， 9：コンベア用モータ， 10：ライブローラ， 11：チェントリップ， 12：後方ストップ， 13：チェントリップ用モータ， 14：ライブローラ用モータ

図1 連続型自動水分測定装置の側面図

ば幸いです。

### 連続型自動水分測定装置とは

この装置は連続的に製材を搬送しながら製材の水分を測定し、良材（適正含水率材）と不良材を選別するコンピュータ制御による水分管理システムです。このシステムを構築するための、製材の搬送、水分測定、振り分けなどの工程をコンベアによってライン化させ、全システムは制御部において一括管理させる構成になっています。開発した連続型自動水分測定装置の側面図を図1に示します。

装置の大きさは、搬送・水分測定装置が長さ4,250×幅550×高さ1,680mmで、振り分け装置が長さ4,500×幅900×高さ600mmです。この他に、写真1に示すようなシステム制御部（コンピュータ他）、装置操作デスク、エアコンプレッサなどが設備されています。以下、各部ごとに詳細を説明します。

#### (1) 搬送部

製材の含水率を精度良く連続的に測定するため、水分測定部前後にはフラットコンベアを設置しました。このコンベアの送材速度は、あらゆる材料の含水率測定に対応でき、あるいは製品の生産調整に対応できるように変速可能（約10～70m/分）となっています。また、水分センサの電極位置に確実に製材を搬送するため、コンベア上の側面には幅寄せ用移動定規（ガイド）を取り付けました。この移動定規の位置設定は、制御部にあら



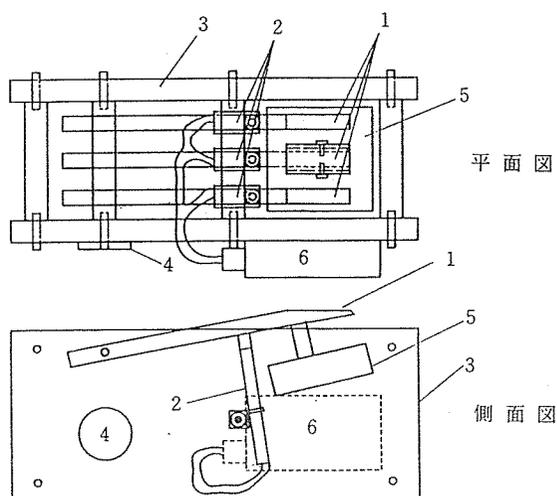
写真1 システム制御部

かじめ製材幅をインプットすることにより自動的にセットされ、若干の微調整が操作デスクのスイッチで可能となっています。測定が可能な製材幅は80～300mmです。

#### (2) 水分測定部

本装置の心臓部ともいえる含水率センサは、種々のセンサを調査・検討した結果、連続工程に対して最適であること、比較的短期間での開発が可能であることなどの理由から、高周波抵抗式を選び、これを改良することを開発の中心課題としました。またセンサは、測定信号を含水率に変換する水分計測機器（商品規格：HG-100(株)ケット科学研究所製）と結び、これを水分データ処理用の端末機とします。なお、測定環境は常温（約20℃）を前提としますが、高温（人工乾燥直後）や低温（冬季）環境でも測定が可能な温度補正機能をこれに付与しました。

試作した含水率センサを、図2に示します。このセンサの主な仕様は、高周波周波数0.7MHz、陽極幅20mm、陰極幅9mm（陽極の左右に配置）で、各電極には製材面との接触を安定させるため小型エアシリンダを下部に付設しています。センサと移動する木材表面との接触性の良否は、



- 各部の名称
- |                 |           |
|-----------------|-----------|
| 1. 電極（陽極1, 陰極2） | 4. 接続コネクタ |
| 2. エアシリンダ（×3）   | 5. アンプ    |
| 3. センサ躯体        | 6. エア調整弁  |

図2 改良型水分センサ

測定精度に影響を及ぼすものと考えられますが、本装置では各電極が常に一定圧力で木材表面に密着できるという特徴を持っています。つまり各電極は独立してそれぞれに備えられたエアシリンダによって、製材が電極上を通過する間中押し上げられ、材面に一定圧力で接触させるという方式です。これにより、狂いの大きい材や材面が多少粗い時でも、常に安定した状態を維持させることができます。写真2はセンサを測定部に設置した状態です。

さらにセンサの上部には電動式の製材押え昇降ローラを約50cm間隔で配置していますので、電極と材面は均一な接触状態が保たれ、スムーズな連続測定が可能です。これは幅寄せ用移動定規同様、適切な高さに自動設定が可能となっています。昇降ローラの上下移動範囲は10~150mmで、測定の対象となる製材厚さ範囲もこれと同じです。

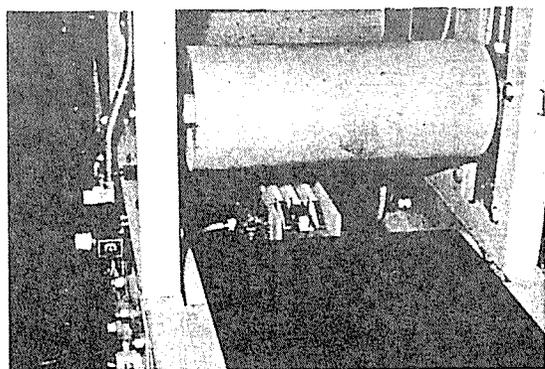


写真2 センサを設置した状態

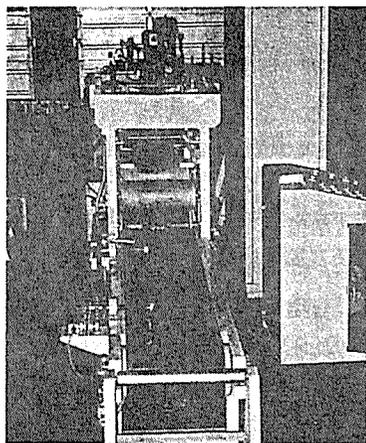


写真3 搬送・水分測定装置

写真3に搬送・水分測定装置を示します。

### (3) 振り分け部

製材の含水率測定値を基準含水率範囲と対照させ、その結果から3区分に仕分け、適材（基準含水率範囲内）と判断された製材には材面にマーキングを行う機能があります。3区分とは測定者があらかじめコンピュータにインプットした基準含水率範囲（適正と判断される仕上がり含水率範囲）に対し、過乾燥材（下限設定含水率以下）、適材、未乾燥材（上限設定含水率以上）の3つです。振り分けは直進と左右方向とし、それぞれ任意の方向が選べ、過乾燥・適材をまとめ良材とみなし、良材と不良材（未乾燥）の2方向として仕分けることも可能です。振り分け装置は搬送架台としてライブローラ、左右転送にはチェーントリップを採用しました。直進材はエア式後方ストップを下げることにより得られます。処理速度は搬送可能スピード（10~70m/分）に応じ任意に設定できます。写真4に振り分け装置を示します。

### (4) システム制御部

システム制御部は、ホストコンピュータ、ディスプレイ、プリンタ、シーケンサなどから構成されています。水分計測機器からの情報は、搬送装置、振り分け装置を適切に機能させるために、コンピュータに取り込まれます。製材の通過状況はコンベアの各部に配置された光電・近接スイッチで一括管理され、各機能別に指示が与えられます。測定中は表1に示すように材1本ごとの含水率測定値が、ディスプレイ画面に瞬時に表示されます。

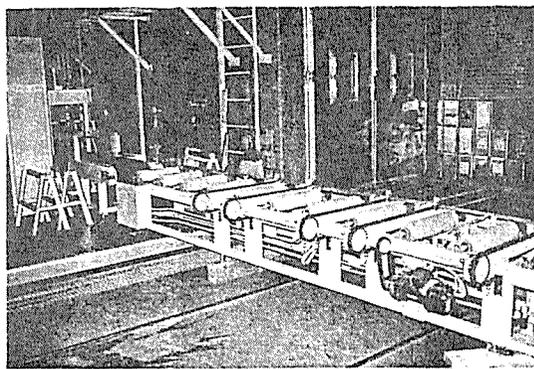


写真4 振り分け装置

表1 全データの水分測定結果表示例

<<連続水分測定装置結果>>

材種 : EZO. TODO  
 材厚 : 25 (mm)  
 材幅 : 150 (mm)  
 材長 : 3700 (mm)  
 天乾期 : 0/0 - 0/0  
 人乾期 : 1/10 - 1/17  
 設定含水率 : 12.0% - 18.0%

PAGE : 1  
 DATE : 1990-10-04  
 FILE : 2

2号室

| 材料No. | 含水率  | 過適未 | 材料No. | 含水率  | 過適未 | 材料No. | 含水率  | 過適未 |
|-------|------|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|
| 1     | 14.1 | 1   | 21    | 13.4 | 1   | 41    | 11.8 | 1   |
| 2     | 8.6  | 1   | 22    | 5.1  | 1   | 42    | 11.9 | 1   |
| 3     | 10.8 | 1   | 23    | 17.5 | 1   | 43    | 11.5 | 1   |
| 4     | 14.6 | 1   | 24    | 12.6 | 1   | 44    | 10.0 | 1   |
| 5     | 17.3 | 1   | 25    | 17.9 | 1   | 45    | 15.6 | 1   |
| 6     | 9.7  | 1   | 26    | 13.4 | 1   | 46    | 4.6  | 1   |
| 7     | 15.4 | 1   | 27    | 18.1 | 1   | 47    | 12.4 | 1   |
| 8     | 13.8 | 1   | 28    | 13.4 | 1   | 48    | 15.8 | 1   |
| 9     | 14.9 | 1   | 29    | 14.8 | 1   | 49    | 15.4 | 1   |
| 10    | 12.9 | 1   | 30    | 16.1 | 1   | 50    | 17.8 | 1   |
| 11    | 10.6 | 1   | 31    | 18.6 | 1   | 51    | 15.8 | 1   |
| 12    | 11.3 | 1   | 32    | 19.1 | 1   | 52    | 14.8 | 1   |
| 13    | 14.0 | 1   | 33    | 30.6 | 1   | 53    | 25.0 | 1   |
| 14    | 15.3 | 1   | 34    | 16.9 | 1   | 54    | 16.1 | 1   |
| 15    | 11.3 | 1   | 35    | 33.6 | 1   | 55    | 19.3 | 1   |
| 16    | 13.3 | 1   | 36    | 18.2 | 1   | 56    | 28.3 | 1   |
| 17    | 10.5 | 1   | 37    | 23.2 | 1   | 57    | 14.9 | 1   |
| 18    | 12.9 | 1   | 38    | 21.7 | 1   | 58    | 17.1 | 1   |
| 19    | 11.4 | 1   | 39    | 20.2 | 1   | 59    | 15.4 | 1   |
| 20    | 12.3 | 1   | 40    | 13.1 | 1   | 60    | 15.4 | 1   |
| 61    | 15.4 | 1   | 81    | 29.1 | 1   | 101   | 16.6 | 1   |
| 62    | 21.6 | 1   | 82    | 22.8 | 1   | 102   | 12.6 | 1   |
| 63    | 18.8 | 1   | 83    | 19.1 | 1   | 103   | 10.9 | 1   |
| 64    | 30.9 | 1   | 84    | 40.1 | 1   | 104   | 10.2 | 1   |
| 65    | 15.8 | 1   | 85    | 19.3 | 1   | 105   | 10.0 | 1   |
| 66    | 8.9  | 1   | 86    | 22.6 | 1   | 106   | 8.6  | 1   |
| 67    | 13.4 | 1   | 87    | 32.0 | 1   | 107   | 10.8 | 1   |
| 68    | 19.9 | 1   | 88    | 15.4 | 1   | 108   | 13.9 | 1   |
| 69    | 12.9 | 1   | 89    | 17.9 | 1   | 109   | 14.5 | 1   |
| 70    | 18.1 | 1   | 90    | 13.9 | 1   | 110   | 13.1 | 1   |
| 71    | 17.6 | 1   | 91    | 15.9 | 1   | 111   | 24.3 | 1   |
| 72    | 12.4 | 1   | 92    | 20.8 | 1   | 112   | 12.7 | 1   |
| 73    | 12.4 | 1   | 93    | 13.9 | 1   | 113   | 12.2 | 1   |
| 74    | 28.5 | 1   | 94    | 13.8 | 1   |       |      |     |
| 75    | 23.6 | 1   | 95    | 23.4 | 1   |       |      |     |
| 76    | 28.0 | 1   | 96    | 20.4 | 1   |       |      |     |
| 77    | 25.1 | 1   | 97    | 34.3 | 1   |       |      |     |
| 78    | 22.4 | 1   | 98    | 15.4 | 1   |       |      |     |
| 79    | 25.3 | 1   | 99    | 16.9 | 1   |       |      |     |
| 80    | 19.9 | 1   | 100   | 20.4 | 1   |       |      |     |

この値は材1本ごとの平均含水率で、センサと製材が接触している間の含水率測定信号（常時約8回/秒出力）が平均化され出力します。この時、過乾燥材・適材・未乾乾燥材の区分が基準値から判断され、同時に表示されます。1回の測定で処理できる製材本数は最大、5,000本です。その他、測定後は「総合」と「3区分」別に累積本数、平均

含水率、標準偏差などの集計結果、ならびに含水率分布を示す棒グラフが得られます。これらは、水分管理上有用な情報としてメモリされ、品質管理に生かされます。

本装置の測定精度

測定試験の対象樹種は北海道における建築用材、

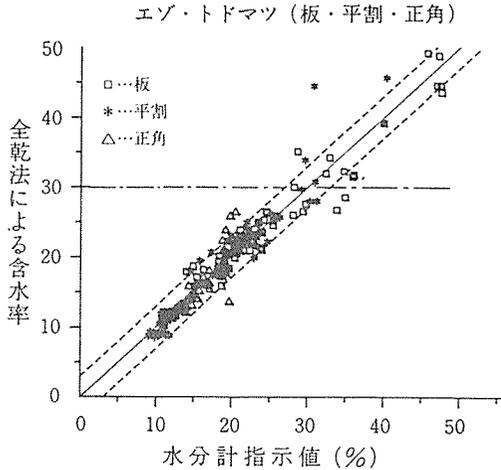


図3 連続水分測定試験結果

すなわちエゾ・トドマツの針葉樹材としました。材種は板、平割、正角材で、それぞれ厚さ25, 50, 120mmの3種類です。材幅は120および150mm, 材長は、3,700mmです。

測定精度試験として、まず実用化ラインを想定して連続水分測定を行い、測定終了後ただちに長さ方向に等間隔で長さ2 cmの試片を10片ずつ採取します。採取した試片は全乾法によって含水率を求め、材1本の平均含水率を算出し、連続水分測定によって得られた平均含水率と比較し、精度を検討しました。なお、測定環境は常温で、搬送速度は25~30m/分の間で実施しました。

試験結果は図3に示すとおりです。これは樹種・材種の区別なくまとめた測定精度を示す相関図で、横軸は水分計指示値、つまり本装置を用い連続測定で得られた平均含水率値を、縦軸は全乾法による含水率、すなわち「真の含水率」を示します。また斜めの実線はこの両者が等しい場合を、斜め破線はそれぞれ全乾法含水率に対し水分計指示値が±3%の範囲を示しています。

これより計算処理の対象を乾燥材（全乾法含水率30%以下：本数220本）とすると、平均誤差は（水分計指示値－全乾法含水率）－0.03%、標準偏差1.90%、相関係数0.94となり、相関性の高い良

好な結果が得られました。また、測定誤差の出現頻度を正規分布と仮定し、その平均値の信頼区間を推定した結果、信頼度95%において測定精度は±1%以内となり、十分高い精度が得られたものと認められます。ただし、高含水率材や材厚が大きくなる場合、内部水分のバラツキも大きくなるため精度は低下することが確認されました。しかし、一般建築用の乾燥材を対象とすれば、本装置は実用上十分な測定精度を有するものと判断できます。

### おわりに

乾燥材の水分管理技術は木製品の品質管理上、今後ますます重要な工程に位置付けられてくるものと考えられます。これは乾燥材使用が必須条件となった今日、木材が他の工業製品と競合し生き抜くために、これから当然備わるべき付帯技術と認識できるからです。事実、ここ数年前から全国各地で、水分グレーダの研究開発が積極的に進められており、市販水分計の見直し、また、含水率計の性能基準による認定事業（日本住宅・木材技術センター）が推進されるなど、まさに全国規模で水分管理技術に対し関心が集まっています。

しかし水分管理技術を、単に含水率を正確に求めるための技術開発だけに収束させたのでは、目的とする品質向上は十分には達成できないものと思われます。木材の吸放湿特性を理解した上で、製材直後から製品運搬までを一貫した水分管理工程としてとらえ、各企業の特徴を生かしながらより良い乾燥材を生産していただきたいと思います。本装置はこれで一応の完成となったわけですが、これらのことに十分配慮しながら、改良すべき点や、新たな乾燥工程として自動化技術の開発（例えば自動棧積み機）など、高品質化・作業性の改善に向け今後さらに検討を続けて行きたいと思えます。

（林産試験場 乾燥科）

## 11 乾燥装置関係用語 日本木材乾燥施設協会:

### I 乾燥機の形式の用語

#### 1. 熱風乾燥機

- (1) 蒸気式 蒸気を熱源としている乾燥機
- (2) 温水式 温水を熱源としている乾燥機
- (3) 電気式 電気ヒーターを熱源としている乾燥機
- (4) 除湿式 ヒートポンプを熱源としている乾燥機
- (5) 太陽熱式 太陽熱を熱源としている乾燥機
- (6) 燃焼ガス式 燃焼ガスを熱源としている乾燥機

#### 2. その他

- (1) 高周波式 高周波を熱源としている乾燥機
- (2) 熱板式 熱板を熱源としている乾燥機
- (3) 真空式 圧力を100トール以下に下げて乾燥する乾燥機
- (4) 減圧式 強制排気ファン等により圧力を下げて乾燥する乾燥機

### II 加熱、排湿、送風、温湿度制御方式に関する用語

#### (1) 加熱方式

- 1) 間接加熱 熱交換器を用いて加熱する方式  
(蒸気、温水、電気、除湿機、その他)
- 2) 直接加熱 熱を直接乾燥機に供給する方式  
(燃焼ガス、太陽熱、その他)

#### (2) 排湿方式

- 1) 排気式 吸・排気孔を用いる方式
- 2) 除湿式 除湿機を用いる方式
- 3) 真空式 真空ポンプを用いる方式
- 4) 減圧式 強制排気ファン等を用いる方式

#### (3) 送風方式

- 1) 内部送風式 (インターナルファン)  
乾燥機内部にファンを設置し空気を循環する方式

2) 外部送風式

乾燥機外部にファンを設置してダクトで乾燥機内に風を供給し  
空気を循環する方式

3) 自然循環式 自然対流により空気を循環する方式

(4) 温湿度制御方式

1) 手動式 温湿度調節計を使用しない方式

2) 自動式

①定値制御式 温湿度調節計を用いて一定値に制御する方式

②プログラム制御式③

プログラム調節計を用いて時間の経過に従い、自動的に温湿  
度を制御する方式

③コンピュータ制御式

コンピュータを用いて含水率又は時間の経過に従い、自動  
的に温湿度を制御する方式

12 日本木材乾燥施設協会（会員名簿）

| 会社名              | 所在地     | 電話番号         | 蒸気式 | 除湿式   | 真空式 | 太陽熱式    | その他                   |
|------------------|---------|--------------|-----|-------|-----|---------|-----------------------|
| (株)新柴設備          | 北海道旭川市  | 0166-61-6000 | ○   |       |     |         |                       |
| エノ産業(株)          | 北海道東川町  | 0166-82-4000 | ○   |       |     |         | 電熱式                   |
| アサヒ動熱(株)         | 北海道旭川市  | 0166-48-5527 | ○   |       |     |         | 温水式                   |
| 高岳金属(株)          | 栃木県小山市  | 0285-24-2117 |     | ○     |     |         |                       |
| 氏家木材乾燥(有)        | 群馬県赤城村  | 0279-56-8145 |     |       |     |         | 燃焼ガス式                 |
| 富士電波工機(株)        | 埼玉県鶴ヶ島市 | 0492-86-3211 |     |       | ○   | ○(除湿併用) |                       |
| 協和科学(株)          | 東京都中央区  | 03-3669-5150 | ○   |       |     |         | 電熱式                   |
| ユアサ商事(株)         | 東京都中央区  | 03-3665-6518 |     |       |     |         | 燃焼ガス式                 |
| 日本電化工機(株)        | 東京都目黒区  | 03-3724-7018 | ○   | ○     |     |         | 温水式、電熱式               |
| (有)小林工業所         | 東京都板橋区  | 03-3972-7011 | ○   |       |     |         |                       |
| 立山工業(株)          | 東京都板橋区  | 03-3550-1011 | ○   | ○     |     |         |                       |
| 住金ビルテグランド(株)     | 東京都足立区  | 03-3870-3361 | ○   | ○     | ○   | ○       | 電熱式、温水式               |
| (有)エーテス機械産業      | 東京都小平市  | 0424-67-0401 |     |       |     |         | 乾燥機用モニター、<br>制御器機、水分計 |
| (有)エアビック工業       | 新潟県三条市  | 0256-38-6670 |     |       |     |         | 弱減圧式                  |
| (株)ヤスジマ          | 石川県金沢市  | 0762-40-3911 |     |       | ○   |         |                       |
| 伊豆巴産業(株)         | 静岡県伊東市  | 0557-53-0511 |     | ○(高温) |     |         |                       |
| 横山鉄工(株)          | 静岡県島田市  | 0547-35-3411 |     | ○     |     |         |                       |
| (株)イシタ           | 静岡県藤枝市  | 054-641-2111 |     | ○(高温) |     |         |                       |
| (株)足田商店          | 愛知県豊橋市  | 0532-31-0307 |     | ○(高温) |     |         |                       |
| (株)タカハシキカン       | 愛知県名古屋市 | 052-871-6731 |     |       | ○   |         |                       |
| ファーストエンジニアリング(株) | 三重県四日市市 | 0593-47-1688 |     |       |     |         | 弱減圧式                  |
| 越井木材工業(株)        | 大阪市住之江区 | 06-685-2061  |     |       |     | ○(除湿併用) |                       |
| 富洋木材販売(株)        | 大阪市住之江区 | 06-681-0435  |     |       |     | ○(除湿併用) |                       |
| (株)ヒカノ機械製作所      | 大阪府八尾市  | 0729-91-5756 | ○   | ○     |     | ○(除湿併用) | 電熱式                   |
| (株)芦田製作所         | 大阪府門真市  | 0720-84-8181 |     |       | ○   |         |                       |
| カンプー工業(株)        | 大阪府門真市  | 0720-82-3045 | ○   |       |     |         | 電熱式                   |
| フソー(株)           | 奈良県桜井市  | 07444-3-2020 |     |       |     |         | 水分計                   |
| (株)トーチク          | 広島県広島市  | 082-885-1323 | ○   | ○     |     |         |                       |
| 九州村ビル工業(株)       | 宮崎県国富町  | 0985-75-8281 | ○   |       |     |         |                       |