

針葉樹正角材の乾燥

—タイムスケジュールによる乾燥—

ランバーシステムコンサル 奈良直哉

(北海道乾燥材普及協議会技術顧問)

はじめに

近年、針葉樹建築用材の乾燥についての認識は製材、建築業界それぞれの分野において、広く定着してきました。しかしながら、製材生産者側で木材乾燥の重要性が十分理解され、高品質な乾燥材の生産が図られているか、という点では残念ながら十分とはいえない現状と考えます。また建築業界においても、ユーザーサイド（施工主）に対する種々の説明の中で、木材に関するもの（木材の長短所、乾燥の必要、重要性など）が欠けているように考えます。

その結果、住宅完成後、時を経ずして不適性な乾燥が原因と考えられる住宅性能、精度の低下が発生し、施工主は建築工務店に対して大きな不満を持つとともに、木材そのものの評価まで大きく後退させてしまうような結果となります。また、建築工務店サイドではこれらの問題処理に対するメンテナンス、アフターサービスに多大な経費を必要とし、全ての面で大きな損失を招くことになります。

木材を適正に乾燥する場合、木材の性質、乾燥技術、生産性、乾燥コストなど多くの検討課題があり、高品質の乾燥材を生産するのは容易でない一面を持っています。特に、針葉樹建築用材の乾燥においてはこれらの問題とともに、先に述べたような現状から実態に適した乾燥材の生産が少ないようです。その大きな原因の一つに、乾燥材の生産管理工程で適正な乾燥管理が行われていない問題があります。すなわち、通常、乾燥管理で実施しているのは含水率スケジュールによるもので

なく、多くの企業はタイムスケジュールで乾燥を行っているのです。このタイムスケジュールによる乾燥管理は乾燥方法の一つですが、十分な乾燥データの蓄積、技術、さらにかなりの経験を持った技術者がいなくては容易に管理（乾燥）できません。しかしながら、多くの企業ではこれらのことあまり考慮せず、単に未乾燥材を2泊3日とか3泊4日程度乾燥装置に入れて、不適当な乾燥条件を与えただけで乾燥を終了させているところに大きな問題があります。

そこで、今回は比較的多くの企業で行っているタイムスケジュールを調査、参考にして実用的な乾燥試験を実施しましたので参考にして下さい。

なお、今回はトドマツ正角材により試験を行いました。また本試験は北海道立林産試験場技術部乾燥科のご指導、ご協力を得て実施したものです。

実験方法

実験には、長さ3.65m、10.5cm角のトドマツ正角材2本を用意し、1本の正角材を含水率および収縮率の測定のために使用しました。そして、もう1本の正角材を、乾燥中の時間経過に伴う、材の表面から内部にかけての水分傾斜（材の表面から内部への含水率のバラツキ）を測定するために使用しました。

各正角材は、図1のように各材の中心近くから長さ90cmの材を2本採材して、各試験に使用する供試材としました。供試材は、両木口からの急激な乾燥を防ぐために、シール剤で両木口のコーティングを行い乾燥しました。

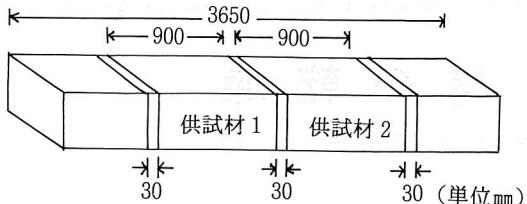


図1 供試材の作製方法

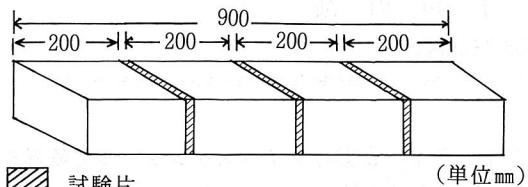


図2 水分傾斜測定用試験片の木取り方法

表1 タイムスケジュール

経過日数 (日)	乾球温度 (°C)	乾湿球温 度差(°C)	平衡含水 率(%)
1	65	2	17.1
2	65	2	17.1
3	65	3	15.5
4	65	4	13.7
5	65	1	19.8

含水率および収縮率の測定は原則的に1回／日で行いました。収縮率は、供試材の長さ方向の中央付近を、年輪の半径方向および接線方向について測定しました。

材の表面から内部にかけての水分傾斜の測定も1回／日で行いました。この測定は、図2のように、供試体の木口から約200mmのところで厚さ約15mmの試験片を取り、その105mm四方の試験片の1辺を15等分して薄い木片（厚さ約7mm）を順次作製し、その木片の含水率を全乾法により求め、材の表面から内部にかけての水分傾斜をみました。1日目の水分傾斜は、一方の供試材から試験片を作製して求め、2日目は、もう一方の供試材から試験片を作製して求めました。3日目は、1日目に試験片を取って短くなった供試材から試験片を取るようにして、以下7日目まで2本の供試材から交互に試験片を作製し、水分傾斜を求めました。試験片を取って短くなった供試材の木口には、その都度シール剤でコーティングしました。

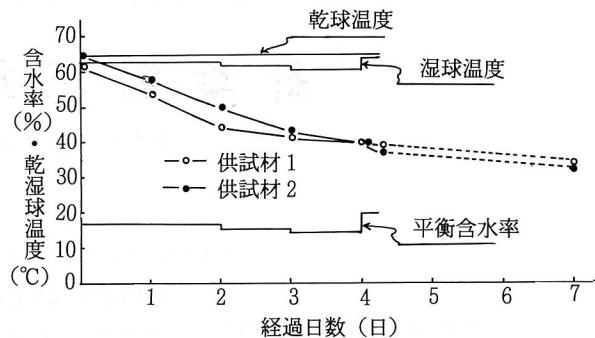


図3 含水率経過と乾燥条件

乾燥装置は、小型の電気・蒸気併用式内部送風型乾燥装置を使用し、乾燥条件を、比較的多くの企業で実施しているタイムスケジュールと同じにして供試材を乾燥しました（表1）。

結果と考察

①乾燥経過と乾燥条件（タイムスケジュール）

図3に含水率経過と乾燥条件の関係を示しました。乾燥初期含水率は両者大きな相違がなく、供試材1は61.1%，供試材2は65.5%であり、乾燥終了時（102時間経過）の含水率は前者が39.8%，後者は37.6%となりました。また、それぞれの単位時間当たりの平均乾燥速度は0.21, 0.27%/hでした。

乾燥開始からほぼ2日目までの平均乾燥速度は、両者とも約0.33%/hです。2日目以降は乾湿球温度差を若干大きくし、やや厳しい条件に変更したにもかかわらず、平均乾燥速度は供試材1は0.16%/h、供試材2が0.23%/hと両者とも乾燥速度はかなり低下しています。したがって、このような乾燥条件での4日間程度の乾燥では、両者とも建築構造材としての適正含水率（仕上がり含水率：17%）には到底なり得ないことになります。仮に、本試験で乾燥を終えた供試材を住宅建築に用いたとすると、単純に考えても時間の経過とともに材の含水率は約24%程度乾燥することになります。また乾燥と同時に収縮も増大し、この影響から材には狂いや場合によっては割れが発生し、住宅性能、精度の大きな低下を招くことに

なります。

木材乾燥における最重要の目標は、被乾燥材(生材)を使用目的に応じた含水率(仕上がり含水率)まで、「できるだけ損傷を防止、抑制しながら、いかに速く、安く乾燥するか」ということです。したがって、このようなタイムスケジュールで仕上がり含水率17%程度まで乾燥をしようとするならば、乾燥時間は今回の2~2.5倍程度の乾燥日数が必要になります。

ちなみに、北海道立林産試験場におけるトドマツ正角材の乾燥試験結果によると、初期含水率約50%から約16%までの平均乾燥速度は、比較的高温乾燥(乾球温度90~100°C、乾湿球温度差3~15°C)で0.52%/h、ほぼ標準的乾燥(乾球温度60~80°C、乾湿球温度差2~11°C)では0.28%/h程度との結果が報告されています。

このように乾燥速度は、通常、単位時間当たりに低下する含水率(%/h)で表わされますが、乾燥速度に及ぼす外周条件の影響の中で、乾球温度の影響が最も重要な因子となります。すなわち、他の条件が同一であれば乾球温度は高くなるほど乾燥速度は大きくなります。今回のタイムスケジュールのように乾燥開始から終了まで一定の乾球温度で乾燥した場合、乾燥速度は材厚が大きいときや低含水率域(減率乾燥期間)になるに従い大きく低下することになります。本試験は4日間の乾燥であるため乾燥速度は先に述べたように既往の試験データと比較して一見大差ないように考えられますが、建築用材としての適正仕上がり含水率(約17%)程度まで、同一乾球温度で乾燥を継続するならば、その乾燥速度は徐々に、しかも大きく低下することになるわけです。

次に、乾燥条件の問題について考察しますと、本来、木材乾燥の条件作成および設定(操作、管理)は含水率スケジュールが基本であり中心です。広葉樹材とは異なり針葉樹建築用材は初期含水率に大きなバラツキがあり(広葉樹材の場合、多くは天然乾燥あるいは予備乾燥が行われる)、しかも仕上がり含水率が比較的高い(通常、広葉樹材は8~10%、針葉樹建築用材15~20%)などのこ

表2 トドマツ正角材の標準的スケジュール

含水率段階(%)	乾球温度(°C)	乾湿球温度差(°C)	平衡含水率(%)
生~40	60	3	15.5
40~35	60	4	15.0
35~30	60	6	11.6
30~25	65	8.5	9.6
25~20	70	11	8.0
20~15	70	14	6.8
15~	75	25	3.8

正角材 : 10.5cm角

初期含水率 : 約65%

とから適正な乾燥を行うのは容易でない一面があります。ところが、一般には広葉樹材の乾燥に比較して針葉樹材の乾燥は容易であるとの認識があり、これが比較的雑な乾燥操作、管理を行っている一因ではないでしょうか。

このようなことから、針葉樹建築用材の乾燥においても木材乾燥の基本である含水率スケジュールによる操作、管理が非常に重要になります。今回実施したようなタイムスケジュールを否定するわけではありませんが、何を基準に温度、湿度を設定変更し、どこで乾燥を終了させるのか、また全ての材の含水率が均一に仕上がったのか、全く目安になるものはありません。このような乾燥方法で高品質な乾燥材の生産が可能か否かは容易に理解できます。表2に針葉樹正角材の標準的な含水率スケジュールを示したので参考にして下さい。

本項での問題点および課題について要約するところとおりです。

- (1) タイムスケジュールによる乾燥方法は、十分な基礎知識並びに多くの樹種・材種の乾燥データを蓄積、活用し、スケジュールを作成しなければ高品質の乾燥材の生産は困難である。
- (2) 特に、乾燥操作、管理の目安となるセンサー(試験材またはコントロール材)がないため、その操作、管理は容易でない。
- (3) さらに、初期含水率のバラツキが比較的大きく、しかも断面寸法の比較的大きな角材の乾燥においては、仕上がり含水率の均一化、損傷発生の防止は容易でない。

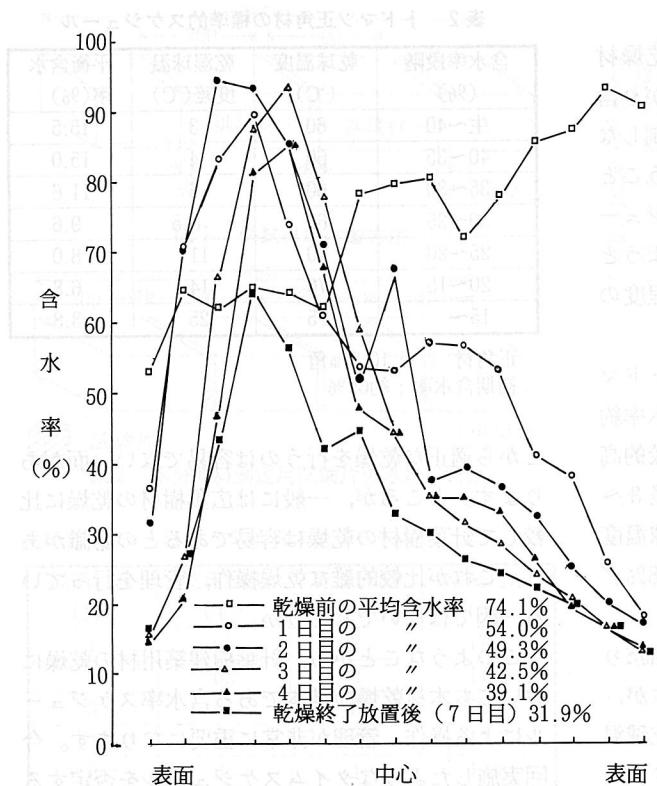


図4 乾燥経過中の水分傾斜

(4) したがって、これらの問題を考慮し乾燥を行うとすれば、当然ながら乾燥条件を極端に緩やかにする必要があり、その結果、乾燥時間の大大幅な延長となり、乾燥コストは増大することになる。

②乾燥経過中の水分傾斜

乾燥前、乾燥経過中（1回／日）および乾燥終了放置後の水分傾斜を図4に示しました。乾燥開始前における材内の含水率は約52～92%，平均で74.1%であり、そのバラツキは若干大きい値を示しています。この原因としては、材の片面の乾燥が進行していたことと、トドマツ材特有の水食い部の影響からこのように含水率がばらついたものと考えられます。乾燥開始から1日の水分傾斜は、表面部の低い方で約18%，高い方は約36%であり、内部の最も高い部分は約90%，平均含水率では約54%となり、乾燥開始前より約20%乾燥し

ています。このように平均含水率のみで乾燥の進捗状態をみると、2日目は49.3%，3日目42.5%，4日目39.1%，乾燥終了放置後（7日目）31.9%と乾燥速度にバラツキはあるものの含水率は徐々に低下（乾燥）しています。しかし、ここで大きな問題は材の内部の含水率であり、4日目においても中心部は約85%と全く乾燥していないことです。また乾燥終了放置後も、材内の含水率は高い部分から低い部分に徐々に乾燥は進行していますが、7日経過後においても高い部分は約65%もあります。さらに本試験は季節的に良好な時期（本年5月）に実施したため、放置中においても材内部の乾燥は進行していますが、秋季から冬季にかけてはこのように含水率は低下しません。

以上のように、木材乾燥においては、平均含水率のみで乾燥状態を決定することはできず、特に、針葉樹建築用材の乾燥において、この水分傾斜の問題は顕著に現れる傾向にあるので注意しなければなりません。ただし、一定時間をかけた天然乾燥材や比較的材厚の小さい材についてはあまりこのような問題は発生しません。

本項での問題点および課題について要約すると次のとおりです。

- (1) 乾燥経過中および乾燥終了時などの材の平均含水率と水分傾斜の関係を十分理解することが重要である。
- (2) 基本的な条件（標準的含水率スケジュール）による乾燥においても乾燥初期から中期にかけての水分傾斜は大きいものであり、特に、材の厚さが大きいほどこの傾向は大となる。
- (3) タイムスケジュールでの乾燥は、含水率管理が全く行われていないので、これらの問題把握ができる。したがって、適正な乾燥を実施するのは非常に難しい。

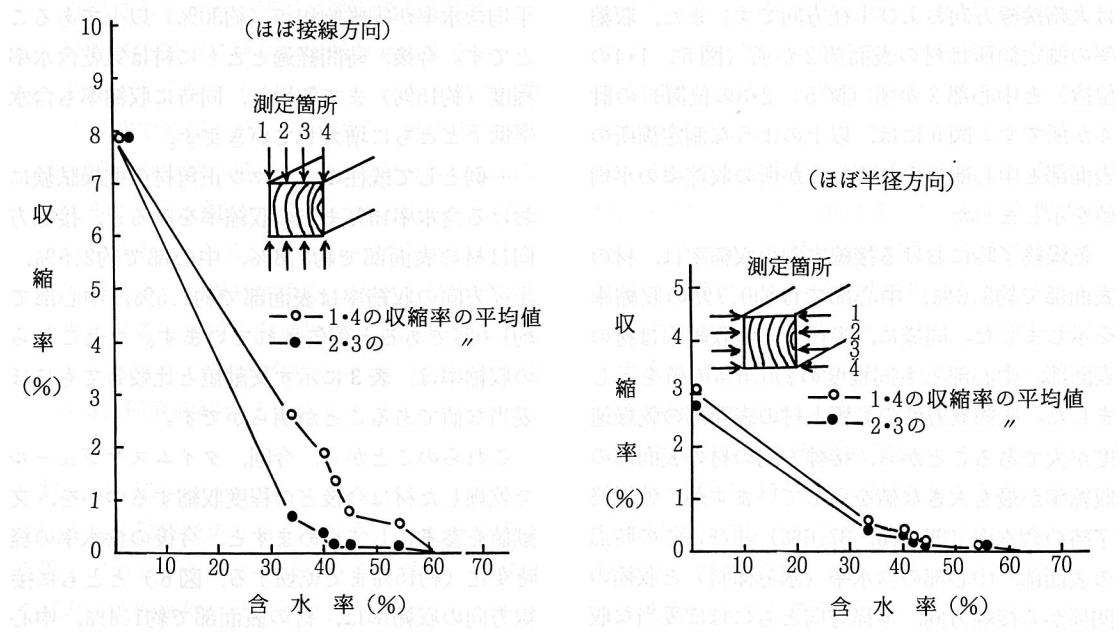


図5 収縮率経過

表3 各樹種の収縮率と比重

(森林総合研究所)

樹種	収縮率(%)							比重	
	含水率15%まで		全乾まで		含水率1%当たり				
	T	R	T	R	T	R	L	r_0	r_{15}
クロマツ	4.2	1.7	8.0	3.6	0.27	0.13	0.01	0.55	0.58
アカマツ	4.4	1.9	8.9	4.1	0.31	0.15	0.01	0.52	0.55
スギ	3.5	1.1	7.2	2.4	0.26	0.09	0.01	0.34	0.36
ヒノキ	3.5	1.5	6.4	3.1	0.21	0.11	0.01	0.37	0.41
モミ	2.6	1.3	6.1	3.0	0.24	0.12	0.01	0.40	0.44
エゾマツ	4.2	1.6	9.5	4.1	0.29	0.15	0.01	0.40	0.43
トドマツ	4.1	1.0	9.5	2.8	0.38	0.12	0.01	0.39	0.41
カラマツ	4.1	1.7	8.6	3.9	0.31	0.14	0.01	0.50	0.53
ヒバ	-	-	-	-	0.27	0.19	-	0.42	0.45
ベイスギ	-	-	5.0	2.4	0.16	0.08	-	0.31	0.38
ベイツガ	-	-	7.9	4.3	0.23	0.13	-	0.38	0.47
ベイトウヒ	-	-	7.5	4.3	0.19	0.12	-	-	0.45
ベイマツ	-	-	7.8	5.0	0.27	0.16	-	0.45	0.55
アガチス	4.2	1.8	8.6	4.1	0.30	0.16	0.01	0.43	0.46

T : 接線方向, R : 半径方向, L : 長さ方向, r_0 : 全乾時, r_{15} : 含水率15%時

- (4) 一般に多くの企業では乾燥終了後、材の含水率測定を高周波式水分計に依存しているが、それぞれの水分計の性能、精度はもとより、測定深度の大小が性能に大きく影響する。すなわち、水分傾斜の大小と測定深度の関係により水分計の測定値は大きく変化する。した

がって、これらの点を十分理解して機器の使用を図らなければならない。

◎乾燥による収縮

含水率測定と同様に1回／日収縮率の測定を行い、その結果を図5に示しました。材の測定方向

は大略接線方向および半径方向です。また、収縮率の測定箇所は材の表面部2か所(図5, 1・4の位置)と中心部2か所(図5, 2・3の位置)の計4か所です。図5には、以上のような測定箇所の表面部と中心部のそれぞれ2か所の収縮率の平均値を示しました。

乾燥終了時における接線方向の収縮率は、材の表面部で約2.6%、中心部では約0.7%の収縮率を示しました。同様に、半径方向の収縮率は材の表面部、中心部とも同程度の約0.5%の値を示しました。収縮異方性の影響と材の表面部の乾燥速度が大であることから、接線方向の材の表面部の収縮率が最も大きな値を示していますが、乾燥終了時の含水率(39.8%, 37.6%)並びにこの時点の表面部、中心部の含水率(水分傾斜)と収縮の関係から接線方向、半径方向ともにほぼ妥当な収縮率と考えられます。

しかし、ここで重要なことは乾燥終了放置後の

平均含水率が繊維飽和点(約30%)以上であることです。今後、時間経過とともに材は気乾含水率程度(約15%)まで乾燥し、同時に収縮率も含水率低下とともに増大していきます。

一例として既往のトドマツ正角材の乾燥試験における含水率15%までの収縮率をみると、接線方向は材の表面部で約3.8%，中心部で約2.5%，半径方向の収縮率は表面部で約1.5%，中心部で約1.0%であると報告されています。またこれらの収縮率は、表3に示す文献値と比較してもほぼ妥当な値であることが明らかです。

これらのことから、今回、タイムスケジュールで乾燥した材は今後どの程度収縮するのかを、文献値を参考にして求めますと、今後の含水率の経時変化(約15%まで乾燥する、図6)とともに接線方向の収縮率は、材の表面部で約1.4%，中心部では約3.3%，半径方向の収縮率は表面部、中心部ともに約0.5%程度になります。したがって、このように十分乾燥されていない材を住宅建築に使用すると、住宅性能、精度は大きく低下し、一例を上げれば建具関係の立て付けが悪くなる、各所に隙間ができる、床鳴りの発生、極端な場合は大きな音とともに材に多数の割れが発生するなど容易でない事態が多発することになります。

本項での問題点および課題について要約するところとおりです。

- (1) 含水率が繊維飽和点と全乾との間で変化(水分の減少、増加)すると木材は収縮、膨張する。
- (2) 含水率が生材から繊維飽和点までの間では、本質的には収縮、膨張は生じないとされています。しかし、実際の乾燥においては材の表面から乾燥するため材内に水分傾斜ができ、表面の含水率は比較的早く繊維飽和点以下になるため、材全体の含水率が繊維飽和点以上であっても収縮は始まる。
- (3) この収縮、膨張の大きさは、木材の方向によって大きく異なり、接線、半径、繊維方向の比は、ほぼ10:5:1~0.5である。
- (4) 木材はこのように収縮、膨張の異方性の強い

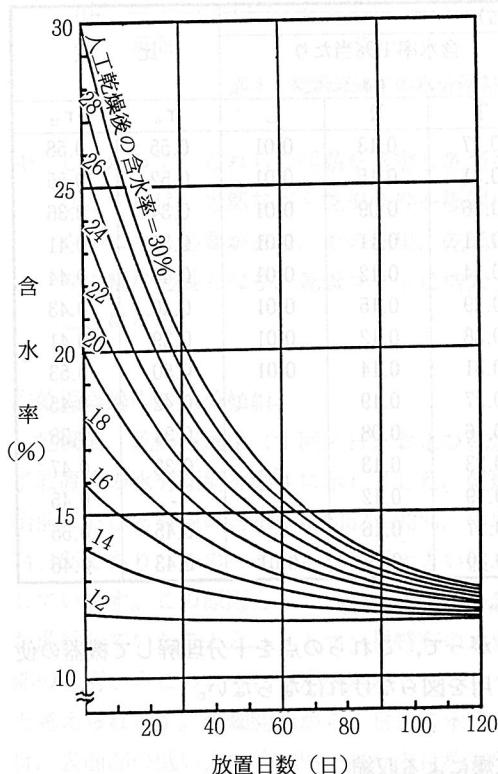


図6 人工乾燥後の含水率別トドマツ正角材の室内放置中の含水率減少経過

- 材料であるため、適正な乾燥管理を実施しなければ乾燥中に種々の損傷が発生する。
- (5) 今回のようなタイムスケジュールにより、約4日間で乾燥を終了した場合、正角材(105mm角)の歩減り量は、接線方向の材の表面部で約2.7mm、材の中心部は約0.7mm、半径方向は約0.5mmある。しかし、材の使用中の含水率低下(乾燥)により、含水率が約15%程度になると接線方向の材の表面部はさらに約1.5mm、中心部は約3.5mm、半径方向は約0.5mm程度収縮することになる。

おわりに

以上、比較的簡単な方法ですが、多くの企業で実施しているタイムスケジュール乾燥による実験を試み、乾燥条件、仕上がり含水率とバラツキ、水分傾斜および収縮率の問題、課題について述べました。これからも明らかなように、タイムスケジュール乾燥方法では適正な乾燥を実施するのが容易でないことが理解できると思います。

木材の乾燥は、まずそれぞれの使用目的に応じた適正な含水率に均一に仕上げることが重要です。また、乾燥工程における損傷の防止を図るとともにできるだけ低成本で乾燥を行わなければなりません。

ません。近年、乾燥材の普及が飛躍的に増大しており、その結果、住宅の性能、精度、耐久性は大きく向上してきたと考えますが、木材乾燥には大きな設備投資とランニングコストが必要です。従来、ともすると乾燥は木材を販売するための一手段、あるいはサービス的な考えも一部の企業にあつたようですが、木材乾燥の必要、重要性に関する認識の定着により乾燥経費負担の問題も大きく前面にでてきたものと考えます。我々木材乾燥に携わるものとしては、高品質な乾燥材の生産を図ることが最重要課題であると考えます。また、企業としては乾燥コスト低減化に向け、省エネ、省力、省資源化の努力を一層図ることが重要であり、間違っても十分な乾燥が行われていない材を乾燥材として流通させるようなことは避けなければならないものと考えます。

参考資料

- 奈良直哉ほか2名：木材の研究と普及、10(1977)
- 信田 聰：ウッディエイジ、12(1985)
- 建築用針葉樹乾燥技術研修会テキスト、(財)日本住宅・木材技術センター編(1992)

特別講演会のお知らせ！

11月2日（火曜日）、当協会の通常総会に引き続き、下記のとおり「特別講演会」を開催いたします。ご多用中恐縮ですが、是非ご出席・ご聴講頂きますようご案内申し上げます。

会員・非会員を問わず、どなたでも聴講できます。

記

1 テーマ：『カラマツ材の新たな需要創出に向けた高付加価値製品の開発』

演題 1 「カラマツ材の流通、加工から製品開発まで」

講 師 十勝カラマツ製材協同組合 理事長 秋元 紀幸 氏

要 旨 現在、まだ出材量が極めて少ないといえ、30cm上のカラマツ大径材の9割近くが依然として梱包材、パレット材など輸送関連資材として使用されています。しかし、やがて大径材が大量に出材される時代がやって来ます。そうなっても今のような利用形態が続くとすれば、それは悲惨です。秋元さんは長年カラマツ材の流通および加工に取り組んだ経験から、カラマツ中大径材の今後の効果的利活用を進めるためには、従来の輸送用資材中心の利用形態から、新規需要への転換が必要だと考えています。

そのためには市場ニーズに基づいた高付加価値製品の開発が必要不可欠です。秋元さんが体験を通して提言します。

演題 2 「応用範囲の広い木材の蒸煮処理技術」

講 師 北海道立林産試験場利用部 主任研究員 嶋田 實 氏

要 旨 木材を蒸煮処理すると、材色が変わったり、液体の浸透性が向上します。これらの現象を応用して、木材の調色、難燃化処理、WPCなどさまざまな展開が可能です。木材の中でも液体の浸透性が極めて悪いカラマツ材をモデルにして、蒸煮処理の原理、処理方法、最適処理条件など、映像を交えて優しく紹介します。

2 とき：11月2日（火曜日）午後3時から5時まで

3 ところ：ニュー北海ホテル 2階 凌雲東の間

[註] 当日は、会場で蒸煮処理技術を応用した試作品の展示も行います。

11月2日は年1回の通常総会です。お忘れなく。