



# 乾燥材問題を考える

2002.4

日本木材学会

組織と材質研究会・木材と水研究会・レオロジー研究会・

木材強度・木質構造研究会・生物劣化研究会

事業委員会

第52回日本木材学会大会（岐阜）  
講演会およびシンポジウム「乾燥材問題を考える」

2002年4月4日（木）13：00～16：30

会場：第1会場（101教室）

総合司会：飯島泰男氏（秋田県立大学木材高度加工研究所）

－乾燥材問題を考える－

- I. 乾燥材生産現場における検討状況：久万広域森林組合 刁 秀明氏
- II. 国産材の乾燥：愛媛大学農学部 林 和男氏
- III. 材質研究の立場から乾燥材問題を考える：名古屋大学大学院 奥山 剛氏
- IV. 建築構造研究の立場から：大分大学工学部 井上正文氏

－乾燥材研究の今－

- I. 乾燥技術・関連因子：森林総合研究所 黒田尚宏氏
- II. 内部水分・材質変動：林木育種センター 中田了五氏
- III. 水分・温度依存性—過熱水蒸気下での乾燥過程で生じる収縮応力—：  
京都大学木質科学研究所 師岡淳郎氏
- IV. 強度性能評価—乾燥割れと強度の関係—：  
秋田県立大学木材高度加工研究所 岡崎泰男氏
- V. 化学的変化・耐久性と乾燥の関係：富山県林業技術センター 栗崎 宏氏
- VI. 乾燥材流通・ユーザー意識：岡山県木材加工技術センター 河崎弥生氏

－総合討論－

司会：信田 聡氏（東京大学大学院農学生命科学研究科）



日本木材学会「組織と材質研究会」「木材と水研究会」「レオロジー研究会」「木材  
強度・木質構造研究会」「生物劣化研究会」（5研究会共催）

日本木材学会事業委員会

## 目 次

<乾燥材問題>に関する合同研究会の開催にあたって —乾燥材問題を考える—	1
I.乾燥材生産現場における検討状況 久万広域森林組合 冨 秀明	5
II.国産材の乾燥 愛媛大学農学部 林 和男	10
III.材質研究の立場から乾燥材問題を考える 名古屋大学大学院生命農学研究科 奥山 剛	17
IV.建築構造研究の立場から 大分大学工学部 井上正文 —乾燥材研究の今—	25
I.乾燥技術・関連因子 森林総合研究所 黒田尚宏	35
II.内部水分・材質変動 林木育種センター 中田了五	41
III.水分・温度依存性—過熱水蒸気下での乾燥過程で生 じる収縮応力— 京都大学木質科学研究所 師岡淳郎、程 万里	48
IV.強度性能評価 —乾燥割れと強度の関係— 秋田県立大学木材高度加工研究所 岡崎泰男	52
V.化学的変化・耐久性と乾燥の関係 富山県林業技術センター・木材試験場 栗崎 宏	55
VI.乾燥材流通・ユーザー意識 岡山県木材加工技術センター 河崎弥生	61
乾燥・感想・提案	72
「乾燥材」に対する意見収集 日本木材学会・木材と水研究会	103
「乾燥材」に関する文献リスト	108

## ＜乾燥材問題＞に関する合同研究会の開催にあたって

日本木材学会・事業委員会

いわゆる＜乾燥材問題＞は、木材を研究対象にした学術活動を行っている私ども木材学会にとって、現在、産業界から緊急の課題として提起されたものの一つであろうと考える。

この背景については、資料集の本文中に、各界の方々から様々な角度での言及がされているので、これを繰り返すことは避け、このような合同研究会を企画するに至った経過を、冒頭に記しておきたいと思う。



まず、この研究会を企画した「事業委員会」であるが、この委員会は、とくに民間企業の方が委員として多く参加されている。その方々のご意見を基礎に「R&D セミナー・ツアー」を企画・推進し、産学官の交流を図っていこう、というのが、この委員会の主旨であろう。

その委員会の席上、委員である住木センターの岡理事長から「乾燥材問題が取り上げられないか」というお話が出たのであるが、この内容については、「R&D セミナー・ツアー」として既に数回行われていたため、再度取り上げるには、躊躇せざるを得なかった。

しかし、産業界にとって、ことは緊急を要し、しかも、最近、乾燥材に関する学会発表が、学会内の研究会でいえば、これまでの「木材と水」のみならず、「組織・材質」「保存」「木材強度・木質構造」「レオ

ロジー」の分野でも、興味深い関連研究が多く出るようになった。しかも、最近の研究発表の増加によって、他の分野の人間にとって、それらが実質的に聞けなくなっているのがあった。

そこでヒントになったのが、昨年の学会時、レオロジー研究会の主導で行われた、「木材乾燥－レオロジー研究の宝庫」と題したシンポジウムである。筆者もその場に居合わせたわけであるが、率直に言って「同じ木材研究者といっても、見方が随分違うものだな」と感じた次第である。



そこで、今回のような合同セッションを企画したわけであるが、このとき岡委員から以下のようなメモをいただいているので、ここでその要点をご披露しておこう。

### ＜課題背景＞

○国内産スギ丸太から構造用集成材生産の動きはあるものの、依然としてその主力は芯持ちの正角・平角であり、今後土台・柱は4寸(12cm)角以上が一般化していくと見られること。

○建築基準法改正により、継ぎ手・仕口の仕様規定が告示され背割り材の使用が困難になっていること。また、品確法10年瑕疵保証が行われることになり、プレカット・短期施工の木造住宅では生材使用による柱の収縮とそれによる不具合の発生が瑕疵保証の対象となる危険性が高いと認識

されていること。

○このような生産側・需要側の事情によって国産材の未乾燥芯持ち柱類は大手ハウスメーカーから敬遠され集成柱の使用に拍車をかけていること。

#### <課題認識>

これに対し芯持ち柱・特にスギの乾燥については

○業界にそもそも乾燥についての木材組織・材質、強度についての総合的理解度が低いこと

○地方的樹種差(赤芯・黒芯、表日本・裏日本等)、製品寸法差、乾燥前含水率差等を前提とした乾燥スケジュール管理、乾燥方式(高温・高周波・燻煙・遠赤外線・パラフィン等)が適当でない事例が多く見られること

○あたかも名人芸・秘伝の類の乾燥技術になっていること

である。このような課題認識に対し、今、「学」として「産官」へどのような寄与ができるか、そのことが問われている時期でもあると考える。したがって、このような切り口の違った人たちによる合同セッションが行うことによって、「乾燥材」について「学」なりの「様々な見解」と、課題に対する一定の回答例を、ここで改めて整理できるもと考えている。



ここではまず、「乾燥材問題を考える」と名付けたセッションとして、現場の実態を久万広域森林組合の刀 秀明氏から願います。ついで、林 和男(愛媛大農)、奥山 剛(名大大学院)の両先生からは、

これまで行ってこられた関連研究を通して、今後の研究の展望をお願いしたいと思っている。また、大分大学工学部の井上正文先生からは、建築構造からみた「乾燥材の実態」を語っていただく。

第2のセッションは「乾燥材研究の今」と題し、研究最前線におられる6人の方にそれぞれのテーマで講演をお願いする。

いずれも、「乾燥材問題」を考える上で、きわめて興味深い内容である。また、これまでの「常識」が覆される場面に遭遇するかもしれない。

また、上記の各分野および木材学会支部会等で発表された文献リストを資料として付け加え、さらに各界からの寄稿をいただいた。ご協力に感謝したい。

ただ、本研究会の内容は、非常に盛りだくさんすぎ、余りに短時間であることは明白である。しかし、ここで得られた様々な知見は、次への糧となると確信する。ぜひ、それぞれの専門領域で参考にしていただきたいと思う。



なお、この研究会には、先にあげた5つの研究会に参集していただいた。そして、各研究会幹事の方には、いろいろな情報をお願いした。とくに「木材と水」研究会の両幹事の方には、独自にアンケート調査までしていただいた。また、文献調査については、各支部ブロックの方々のご尽力があったことを記して、感謝の意に変えたい。

文責：担当理事 飯島泰男

-乾燥材問題を考える-

# I.乾燥材生産現場における検討状況

久万広域森林組合 弓 秀明

## 1.はじめに

平成12年4月1日に住宅の品質確保の促進等に関する法律が施行され、基本構造部分については10年間の品質保証期間が義務化された。そのため、乾燥材供給者のより一層の品質管理能力と乾燥技術が問われることとなった。とくに、スギ材は品質の保証、輸入材との価格競争がより厳しくなり、乾燥コストの低減や歩留まりの向上をより一層高める必要がある。スギ材は難乾燥材であるが、乾燥速度が遅いというより、スギ材の組織等、基本的な材質のばらつきが他の樹種より大きいことから、乾燥工程におけるより厳しい管理技術が求められる。

今回は、久万広域森林組合でとりくんでいる乾燥材生産における検討内容について紹介する。

## 2.心持ち正角材の乾燥

近年、高温低湿乾燥技術の研究が盛んであり、木材の乾燥応力、水分移動、強度性能への影響等材質劣化についても究明されている。多くの企業では、高温低湿乾燥スケジュールが応用され、乾燥期間が短期間で仕上がることから、単純に考えれば、乾燥コストが大幅に削減されていると考えられるが、幾つかの問題点がある。そのため、久万広域森林組合では次のような検討を行っている。

### (1)初期蒸煮の検討

乾燥初期では乾燥機内の温度を上昇させるため、乾湿球温度差をつけない蒸煮が必要である。久万広域森林組合には50m<sup>3</sup>の乾燥機を15基設置しているが(4t木屑ボイラー)、愛媛県とはいえ、標高500mの位置にあり、50m<sup>3</sup>の乾燥機内の温度を95℃まで到達させるのに、夏季では5時間、冬季では9時間を要する。蒸気の消費量はこの段階が一番多く、乾湿球温度95℃まで700kg/hr、95℃に達した後は、100kg/hr程度必要となる。この初期蒸煮は何時間維持する必要があるだろうか。

初期蒸煮により材の生長応力が緩和されるとともに、材表層に圧縮応力が形成される。

筆者らは118mmと135mmのスギ正角材を用いて、初期蒸煮時間と木口から20cm以上生じた材面割れ本数の関係を検討した(表1)。

以上の割れ測定結果から、118mm スギ

表1. 初期蒸煮時間と材面割れの関係

正角材寸法	蒸煮時間 (hr)**	元口から割れが生じた試験体数	末口から割れが生じた試験体数
118mm*	5	102	175
	10	52	121
	15	32	82
135mm*	5	85	192
	10	47	92
	15	52	77

\*試験材本数：118mm角(末口16cm原木)：1260本、135mm角(末口18cm上原木)：988本

\*\*蒸煮後の乾燥条件は同じ

角材では 15 時間程度、135mm スギ正角材では 10 時間程度の初期蒸煮時間が必要ではないかと思われる。末口側と元口側での割れ本数が大きく異なることについては、以下のように考えられる。

A：末口側及び 118mm スギ正角材では未成熟材を多く含むことにより、収縮率や生長応力が大きい。

B：心材の正角材では、末口側は元口側より心材率が低く、材表層部の含水率が元口側より高い傾向にあると考えられることから、蒸煮時に生じる表層部の圧縮応力や乾燥初期の表面セットの形成が異なる。

このほか、初期蒸煮時間は、材色変暗と燃料消費への影響が考えられるが、135mm 角スギ背割り材の乾燥結果によれば、初期蒸煮温度 95℃で 15 時間行ってから 95℃にて低湿乾燥した材は、初期蒸煮温度 95℃で 4 時間行ってから 120℃にて低湿で乾燥した材より材色変化が軽微であった。即ち、材色変暗に影響する因子としては、蒸煮時間ではなく、高温乾燥段階の乾球温度とその持続時間が大きく影響すると考えられる。また、燃料の消費に関しては、初期に乾燥機内の温度を上げるため、多くの蒸気を必要とする。しかし、蒸煮温度に達した後は、前述のとおり、7 分の 1 程度になる。逆に、高温低湿の乾燥工程には、頻繁な高温排気を行うことから、燃料の消費量は大幅に増加する。したがって、材色変暗や燃料消費、材表面に発生する割れを総合的に検討結果、初期蒸煮と材表面セットをできるだけ短時間で行った後、中温乾燥に移るスケジュールを検討中である。

## (2)心材率の影響

スギ心材部での水分移動性は辺材部より悪いことから、スギ正角材の心材率が大きくなるほど、乾燥速度が遅くなると考えられる。また、24cm 上原木から製材した心材率約 100%の 135mm 正角材は、18cm 丸太から製材した心材率の低い正角材より乾燥割れの本数が大幅に減るということが見られる。当然、これには、黒心材および年輪幅が狭い目込み材は例外である。

心材率が低い材の表層部は、水分移動性の良い辺材部により乾燥速度は速いが、高い含水率のため、表層部含水率が繊維飽和点以下になってセット形成するのに時間を要すると考えられる。しかし、心材率の高い材では、水分移動性が悪いものの、白線帯付近および心材含水率の低い部分が多く、結果的にセット形成が生じやすいのではないと思われる。ヒノキ材(背割り無し)の検討結果では、セット時間は 12 時間、表面割れほとんど発生しなかった。スギでは表層セット時間が 24 時間以上、黒心材および心材率の低い材(初期含水率高い材)では 48 時間が必要であった。

## (3)表面割れと内部割れ

中温乾燥では、材面割れの発生は多いが、高温低湿乾燥では、仕上がり含水率のばらつきも大きく、内部割れの発生も多くなる。内部割れの原因としては、表層部が乾燥するのに対し、内部の含水率が高く、表層部の動き(収縮率の異方性)に内部が追従できないことによると思われる。しかし、生産現場では、中心部含水率が 10%前後の段階でも、内部割れが発生していない材がしば

しば見られる。この割れの発生と柱断面の初期の含水率分布との関係について、乾燥現場では以下のようなことが観察されている。

A.心材部の含水率が高く、年輪幅が狭い材では、セット形成が十分かかったと思われる場合、表面割れは少ないが、内部割れが発生する。

B.心材部の含水率が低く、心材率が高い材では表面割れと内部割れとも発生が少ない。

C.心材率が低い材では、表面割れと内部割れが多い。

#### (4)材表面のセットと品質

高温低湿乾燥における材表層のセットの形成は、材表層が急速に乾燥され、収縮することによって、表面割れを抑制する方法である。しかし、大きな水分傾斜が生じることとなり、水分移動性が悪い材では内部まで乾燥することが難しくなると思われる。ご存知のように、温度が高くなるほど、水分拡散係数が増加し、含水率が低くなるほど、水分拡散係数が小さくなる。表面硬化

のため、内部の水分の移動は難しくなる一方、高温低湿乾燥で内部まで乾燥しようとする、結果として、内部割れと過乾燥の材が生じる。乾燥材生産現場において、高温低湿乾燥で乾燥時間 3 日～5 日、内部割れを生じさせず、内部まで乾燥することは困難と思われる。

前述したとおり、現在、久万広域森林組合では、高温による表層セット時間をできるだけ短縮し、表層セット形成後、はやめに乾燥温度を下げ、中温乾燥に移行するという「内部割れの発生を少なくし、材色もあまり変わらないスケジュール」を検討している。しかし、生材含水率および個体内の含水率分布、水分移動性などの差異が存在するため、中温乾燥に移行する時点を把握するのが困難である。即ち、表層引張応力と内部圧縮応力の転換点は個体間のばらつきによって異なるためである。

#### (5)重量選別について

スギ材における乾燥の難しさは材質のばらつきであることから選別する必要が考えられる。生材含水率、年輪幅、節の有無、

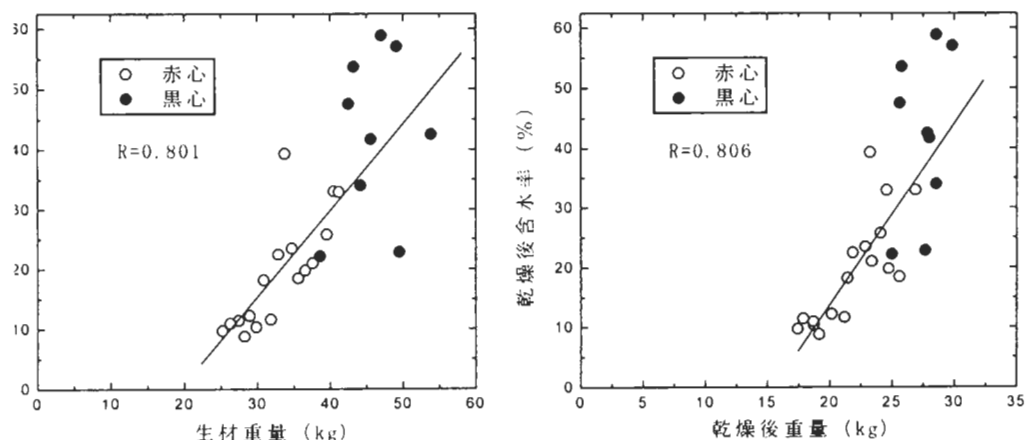


図1. 乾燥前後重量と乾燥後含水率の関係

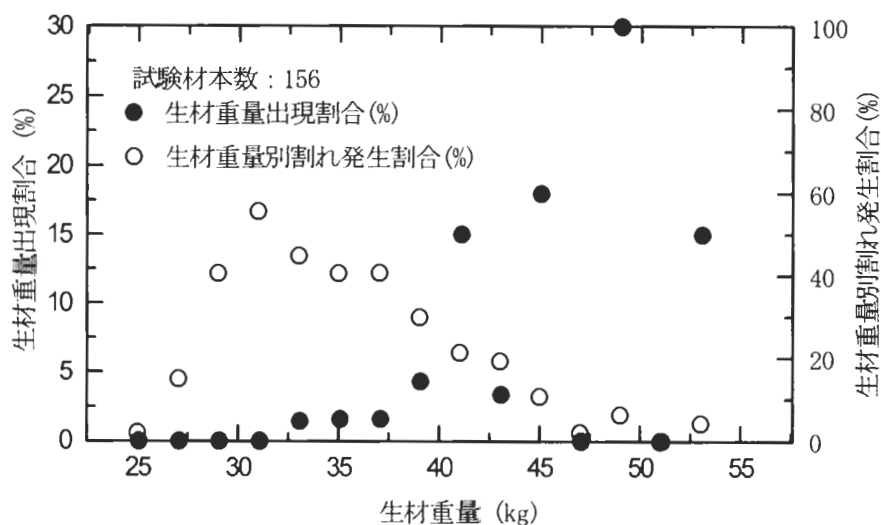


図2. 生材重量出現割合と生材重量別割れ発生率  
注：木口から20cm以上の割れ発生率

材色、組織など、乾燥材の個体間に差異が大きく存在する。重量選別は生材含水率をそろえ、仕上がり材のばらつきを減らすためには効果的な方法と言われている。図1に示すように、生材重量および乾燥後重量と乾燥後含水率との間には相関関係が認められる。

しかし、厳密な仕上がり含水率のばらつきや内部割れの抑制はできないと思われ、心材率、年輪幅などを選別する際に因子として加味する必要がある。ただし、乾燥材生産現場では選別を行うとしても、総合的に製材生産量と乾燥材生産量を考えなければならぬ。製材量が少ない時など、重量選別した後、小ロットのものは結果的に長期間放置され、表面割れが発生してしまうことや、乾燥機に入れても充填率が低いいため、材間風速が低下し、乾燥温度のコントロールが難しくなるとともに、乾燥コストがかかることとなる。したがって、乾燥材の品質管理を行うためには、仕上がり段階

でも重量選別を行い、未乾燥材は倉庫で養生し天然乾燥を行うか、再乾燥することが必要となる。生材重量と乾燥割れ(表面割れと木口割れ)の関係を見ると、生材重量が高いほうが、割れが多くなる傾向がある(図2)。

### 3.スギ材ラミナ乾燥

#### (1)ラミナの選別

ラミナの選別は重量選別、心持ち選別を行うことがあるが、実際には重量だけの選別効果は期待できない。これは、辺材部でのラミナ重量は大きい乾燥速度は速い、黒心ラミナの乾燥速度は遅いが、原木によっては、黒心ラミナが軽いことがあったりするため、選別効果が薄れる(図3)。木口や材面の材色による選別は、生産現場ではなかなか難しく、ラミナの元口と末口断面の心材率の違いや1番玉から製材されたラミナでは材面で心材と辺材部が混在するなど、どれを選別因子として、考えるかという問題がある。

#### (2)ラミナの水分管理

今、乾燥ラミナ材の水分管理は生産現場で全乾法と JAS 認定の高周波水分計を使うことが多い。しかし、心材部ラミナ、とくに幅広い心材部ラミナの水分管理は、幅方向のばらつきを考えなければならない。厚み 38mm、幅 138mm 心材部ラミナの含水率の測定結果を図 4 に示す。高周波水分計と電気抵抗式水分計の測定値はどちらも全乾法より高くなっている。

これは、全乾法の測定値が幅方向の平均値を測定したため、誤差が生じたことが一要因として考えられる。この誤差は、ラミナ幅が大きくなるほど、増えると考えられ、スギラミナの水分管理に対して、JAS 認定の高周波水分計だけでなく、全乾法で幅方向に分割した試験片により水分管理を

行う必要がある。

#### 4.おわりに

最後に、スギ乾燥材を信頼性の高い材料として供給するためには、品質管理は非常に難しいが、生産現場と研究機関との緊密な連携が重要だと考える。研究者の研究成果が早急に乾燥材生産現場に応用できることをお願いしたい。

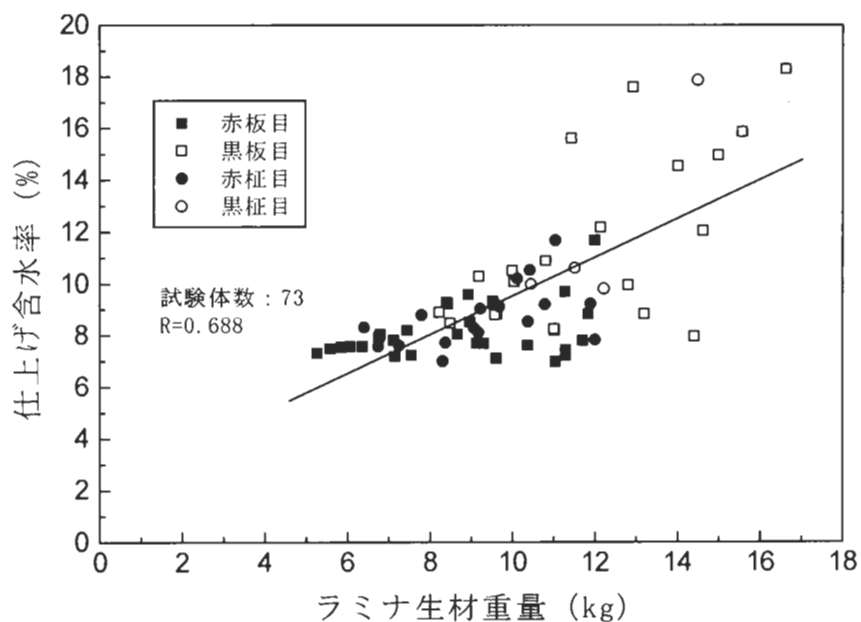


図3. ラミナ生材重量と仕上げ含水率の関係

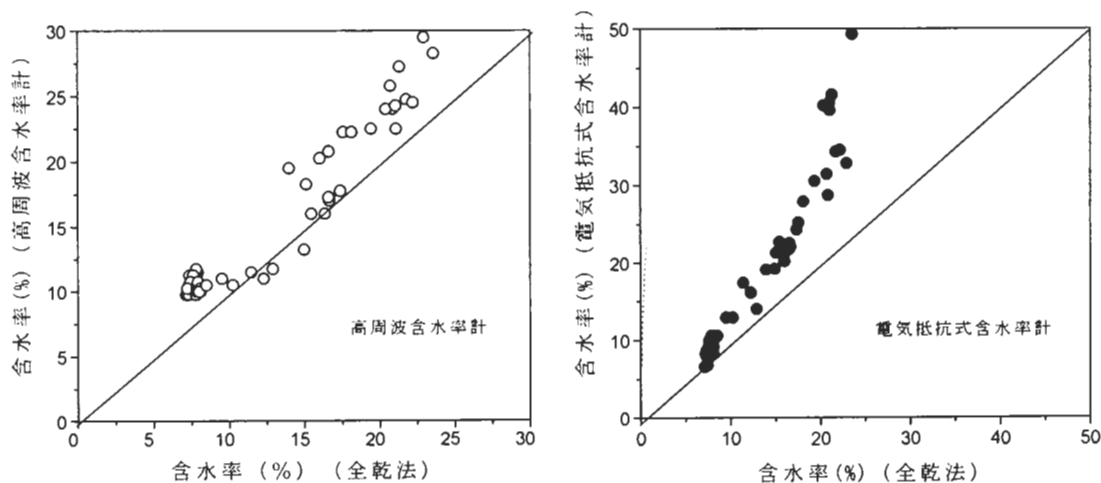


図4. 全乾法含水率と高周波含水率及び電気抵抗含水率の関係

## Ⅱ.国産材の乾燥

愛媛大学農学部 林 和男

### はじめに

スギ造林木の利用が叫ばれてから久しい。それと同時に構造用製材の乾燥の必要性も叫ばれて久しい。そして今では構造用製材を使う側も、供給する側も誰でも乾燥の重要性を知っている。その間、産官学それぞれの立場で、あるいは共同して国産材、とくにスギ柱材の乾燥に立ち向かってきたし、今も続けている。その結果スギの乾燥柱材の供給は伸びている。それなのに国産材の乾燥がいまだ話題になっている。その理由は高品質の乾燥材の安定供給が十分でなく需要に応えていないためである。安定供給ができない原因はいろいろあると思われるが、とくにスギ材の場合初期含水率が高く、しかもばらつきが大きいいため、高品質の乾燥材を得るためには長い乾燥時間が必要であり、したがって乾燥費が高くつくにもかかわらず、価格に十分反映されないことがもっとも大きな原因であろう。それ以外にも乾燥に伴って芯もち柱材は割れたり狂ったりそったりして、歩留まりが低下したり、商品価値が低下する割合が高いことなどもあるかもしれない。そのような状況のなか、消費者を保護する動きがだんだん強くなり、品確法などが導入され、住宅メーカー・工務店では柱に対しても寸法が安定しているといわれている集成材を採用する動きがでている。しかも低価格で安定供給される北欧材を中心とした集成材が台頭してきているため、構造材においても国産材の需要が

減少してきている。

一方わが国の人工林の蓄積は増加しており、伐期を迎えたところも少なくない。しかし国産材の利用を促進するためにも乾燥が避けてとおることができない状況になっている。その場合、低価格で高品質な乾燥をのぞまれるが、技術的にまだ満足できる状態に達していない。

構造用並材の乾燥については、すでにまとまった報告<sup>1,4)</sup>、品確法との関連で木材乾燥を見つめた論文<sup>5,6)</sup>があるので、大きな流れはそれを参考にしてもらいたい。ここでは最近の乾燥について筆者が気になっている点を述べてみたい。

### 人工乾燥材の生産はどの程度供給されているか

まず、乾燥材供給の現状について述べる。林野庁の調べでは平成10年度では製材品全体の約10%程度が乾燥材であるとなっており、乾燥の重要が叫ばれている割には少ない感じがする。しかし柱だけで見れば、もう少し高い数値になると思われる。この割合は年々増加しており、今後も増加すると思われる。なぜなら、いったん乾燥材を使用したらその良さを認識すること、品確法が導入されたことなどによる。

### どこまで乾燥するか

どこまで乾燥すれば乾燥のよさを認識してもらい、消費者に受け入れられるかと言

う問題がでてくる。JAS 規格を満足していれば何も問題が無ければ規格を守っていればよいが、どこまで乾燥すべきかは自分で納得するのが一番良い。そこで建築後長い時間がたった住宅の構造材の含水率を測定してみた。従来得られているデータ<sup>7)</sup>と同様で、地表に近いほど含水率が高くなっている。それでもすべて 20%以下になっているので、乾燥の目安は 20%以下となるが、従来からわかっているように含水率が高いほど腐朽しやすい。今回の調査でも土台の一部は腐っていた。それを考えると、20%に仕上げることは乾燥不十分と言うことになる。木材は乾燥過程にあるときと吸湿(水分を吸う)過程では同じ温度湿度条件でも吸湿過程のほうが含水率は低いという特徴をもっているので、いったん低い含水率まで持っていくと含水率が低く抑えられる。そのようにすれば耐久性が増加すると思われるので、できれば 15%まで乾燥することが望ましい。しかし床より上では 11~12%になっており、15%でも不十分のように思われる。平均収縮率を見るとスギ材の場合接線方向で 0.26%、半径方向で 0.09%であるため、含水率 3~4%の変化では、単純に考えれば寸法が 0.5~0.7%程度変化することになり、120mm 角の柱材では約 0.6~0.8mm 程度の縮みが生じることになる。この値が消費者に受け入れられる値なのかどうかは含水率をどこまで下げるかの判断になる。

なお空調施設のある家屋の解体結果では含水率が数%低くなっていたという報告<sup>8)</sup>もあるので、さらに注意が必要になる。

## 背割りをどう考えるか

従来芯もち柱材は背割りをして使用することが常識であった。現在、スギ芯もち柱材を背割り無しで乾燥することを要求されることが多いと聞き、工場を見学させていただくと背割り無しの芯もち柱材を見かける。しかし割れていることが多い。なぜスギ材に関してこのようなことが要求されているのか？ 未乾燥材や乾燥不十分な材を使用すると背割りが入った表面の寸法変化が大きい事はよく知られている。乾燥不十分な材を乾燥材として利用した業者がスギは乾燥材であっても背割が入っていると寸法が大きく変動すると思い、それがスギ材の特徴だと思われてしまったのだろうか。もしそうだとしたら、乾燥に対する認識の甘さが自分たちの首をしめているのではなかろうか。原因がここにあるとしたら、今からでも適正に乾燥してあれば背割はほとんど動かないと主張し、適正な乾燥を行うことが賢明のような気がする。一方では、現在はプレカットが多くなってきており、プレカットをするとき背割りが問題になると聞いたことがあるが、ほとんど背割をしてあるヒノキ材はプレカットの時問題は発生しないのだろうか。また金物接合の強度がでないとも聞いたことがある。後でも少し触れるが、現在の背割りなし柱材は内部割れがあること多い、内部割れなら強度の問題はないのだろうか？ 結局は見栄えだろうか？

もちろん現在の実験室レベルの技術では無背割り材を表面割れなしで乾燥することは可能であるが、いつでも 100%可能である

わけではない。とくに工場では常に 100%材面割れ無しで乾燥することは困難だと思われる。

無背割り芯もち柱材を割れないように乾燥せよということは非常に難しいことである。木材は接線方向と半径方向の収縮率が異なり、これが背割を必要とする原因である。とくにスギ材はこの収縮異方性が大きく、芯持ち柱材は割れやすい。ちなみにスギ材で 3.2、ヒノキで 2.3 そしてベイマツでは 1.6 である。現状でそれを要求する場合は使用者側もそれに見合った負担はする必要があるのではないだろうか。

### 材面割れと内部割れ

乾燥すると材が狂ったり、振れたり、カップが生じたりするのは、材が持つ本来の姿であり乾燥の失敗とはいえない。今のところ、技術である程度は抑えられる可能性はあるが、完全に抑えることはできていない。逆にいうと、だからこそ乾燥しなければ、木材が商品として信頼を失うことになる心配がある。もっというと、乾燥してある材はそれだけでエリート材ということになる。しかし材面が割れたり、内部が割れたりするのは、乾燥の失敗である。しかし前項の無背割り芯もち柱材を乾燥した場合の割れは、乾燥の失敗と言えるかどうか判断に苦しむ。

ここで、無背割り材において材面割れが抑制されるメカニズムを考えてみたい。現在かなりの割合で材面割れを抑制することのできる乾燥法は、高温乾燥法と高周波乾燥法である。

高温乾燥では、初期蒸煮を 6-10 時間程度行うことが多い。その後、乾球温度を 120℃、湿球温度を 90℃程度で乾燥する方法を吉田らが開発している<sup>4)</sup>。このようにすると、表面は急に含水率が減少して、収縮しようとするが内部が乾燥していないので収縮できない。温度が低いとこのような大きな温度差で乾燥すると割れてしまうが、高温下だと破壊ひずみが大きくなって割れないといわれている。実際大きな要因であると思われる。しかし、木材の横方向の破壊ひずみは温度とともに多くなるが、ピークがあるという報告もある。しかもそのピークは 100℃以下である。樹種特性もあるので、スギ材のピークは 100℃以上かもしれないが、データが無いのではっきりしない。もしピークがあるとする、高温ほど割れにくいと言う仮説は崩れることになり、中温でも割れが発生しないはずである。

もうひとつ考えられる現象を考えてみよう。高温乾燥の場合、先ほど述べたように初期蒸煮を行う。木材は成長応力による残留応力(以下、成長応力と言う。)をもっている。この成長応力は、髓を通して製材すると外側にそることから実感できるし、小径木をツインソーで製材するのも成長応力のバランスを崩さない方法である。また背割り材を蒸煮すると背割り幅が狭くなったり閉じたりすることからでも成長応力の存在がわかる。これが無背割り材だったとすれば、蒸煮によって接線方向は伸ばされることになって表面には圧縮応力が働くことになる。この状態で収縮がはじまれば、蒸煮無しの材より割れが発生しにくくなるこ

とが予測される。すなわち初期蒸煮処理によって接線方向の成長応力が一部開放されることによって表面われが少なくなることになる。

したがって高温乾燥で割れが抑制されるのは、高温で破壊ひずみが大きくなることと成長応力の開放が関係しているものと思われる。

一方、高周波乾燥で材面が抑制されるのは、メカニズムが異なる。この乾燥法では、減圧下でも常圧下でも表面より内部のほうが高温になり、しかも内部を沸点以上にすることができる。このような状態になれば、内部の含水率が表面より低くなり、表面に水分傾斜による引っ張りの乾燥応力が作用しない状態で乾燥が進行する。したがって、乾燥中に生ずる応力は、収縮異方性による応力だけになるため材面割れが抑えられる可能性が高くなる。高周波乾燥の前に先ほどの蒸煮を施せばさらに効果はあると思われる。

材面割れは以上の原因だと思われるが、高温乾燥を行うと内部割れが発生することは良く知られている。内部割れは許されるのか、許されないのかは使う人が判断すべき問題だが、考えられる問題点は強度低下、仕口・継ぎ手の強度低下、くぎの保持力などで、今後データを積み重ねていく必要がある。ここでは内部割れが発生する原因を考えてみる。高温乾燥を行うと表面は急速に乾燥するので、大きなセットが形成され、通常の収縮より小さくなる。一方内部は表面のセットによる拘束をあまり受けずに通常の収縮をするため、表層と内層で寸法の

差ができ内部が割れる、と説明されている。これは大きな原因だと思うが、乾燥の温度を下げると内部割れが減少することが知られていることから、他の原因も考えられる。たとえばスギ材を高温湿熱処理すると収縮率が大きくなるし、高温下で乾燥しても収縮率は大きくなる。私どもの実験では随に近いほどこの傾向があり、まさに芯持ち柱材の内部はこの状態で乾燥されるので、内部は通常の収縮率より大きな収縮をすることになり、

収縮率の増加も内部割れの原因の一つと考えられる。したがってどんな乾燥法を選択しても、被乾燥材が高温状態で乾燥させられれば内部割れは生ずる。それでは、内部割れを引き起こす高温とは何度なのかと言うと、まだ高温乾燥法は発展途中で定説はないので、乾燥技術をより進歩させていく必要がある。一方では、使う側がどの程度なら認めるのか認めないのかをはっきりさせることも必要である。

### 材質変化

高温乾燥を行うと、材質が劣化することは間違いないが、それが利用上問題なのか問題ないのか定まった評価はない。材質変化としては、強度低下とくに衝撃吸収エネルギーの減少がよく知られている。この強度低下は節や目切れなどの影響より小さいので問題ないとする考え方もあるが、信頼性を増すためには低下が無いに越したことはない。さらにヘミセルロースの分解およびそれに伴う平衡含水率の低下および材色変化などが良く知られている。また耐蟻性

がなくなるともいわれている。材質変化にはヘミセルロースの減少が関係していることが多いと考えられるので、材質変化を嫌うならヘミセルロースの熱的性質を調べ、湿熱状態で 80℃以上の温度を長時間かけないことが肝要である。

材質変化ではないが、高温乾燥すると乾燥後の含水率分布が大きいと言われている。現在のところ自由水の移動に関するデータが少なく明確なことはいえないが、結合水の拡散の温度影響と自由水の移動の温度影響が異なること、濡れ性の変化など考えられる。

### 含水率測定

乾燥の経験を積んできた事業所が、水分傾斜や含水率のばらつきを問題にし始めている。乾燥技術への要求は乾かすことの次には品質管理、乾燥の信頼性が問われることになるからであり、すでにその動きがあるときく。このような段階になると、乾燥操作的にはさらに進んだスケジュールが不可欠になるが、乾燥末期の調湿、終了後の養生も重要になってくる。現在乾燥終了後の冷却期間として、乾燥終了後乾燥機から取り出すまでに高温乾燥の場合で 2 日以上かけているし、80℃の事業所では 1 日かけていることが多い。この冷却期間は湿度が高く多少の調湿効果はあるであろうが、含水率のばらつきを減少、含水率分布の減少の観点から、もう少し積極的な調湿が必要と思われる。

含水率の測定は乾燥中と乾燥後に分けて考える必要がある。まず乾燥中であるが、

乾燥状態を把握したくても、建築用の木材の乾燥は一般的にいて温度が高いこともあり、広葉樹材のように乾燥室に入って試験材を取り出すことはできないことが多い。したがって現在は含水率のモニタリングはほとんどの場合、釘を打ち込んで電気抵抗を測定する含水率計を用いてのチェックである。これについては高い温度下では精度がでないといわれている。今後精度の高いモニタリングシステムの開発が行われなければならない。現在、モニタリングをしている場合は、釘の打ち込み深さを平均 20mm で、数箇所で行っている事が多いが、電気抵抗だけでなく総合的な判断が必要であろう。

乾燥後の含水率の測定に関してもいまだ十分確立されているとはいえず、試行錯誤の段階である。高周波式含水率計で、最低 2 面で 1 面 3 箇所合計 6 箇所以上の測定する例や、マイクロ波を用いた連続測定器も使用されている。いずれも全乾密度の影響を受けるので注意が必要である。モルダーをかけると、もっとも含水率の低い部分が除去されるので、抵抗式含水率計で 15%まで乾燥したものは、この段階で 18-20%程度と測定されるようである。乾燥後の含水率測定の精度を上げないとトラブルの原因になることも考えられ、材料としての信頼性の維持にも支障をきたす恐れがあるので、大断面材の含水率測定の確立が必要になってくる。当面は重量測定によるチェックを含めるなど 2 段階構えが有効かもしれない。本来、乾燥は供給側の責任であり、その中には含水率の計測も含まれるべきであり、

使用者がいちいちチェックする筋合いのものではないと思われる。正しい表示を使用者が信頼できるような体制づくりが必要であろう。

### その他

スギ材の場合、初期含水率が高く、ばらつきも多いので、高速乾燥すればするほど仕上がり含水率のばらつきが大きいこと、水分傾斜大きいことが知られており、乾燥の効率化、仕上りの均一化のために乾燥前に選別する事が有効であることが知られている。選別因子としては、重量、色(黒心、赤心)、心材率など考えられるが、現場で現在一部でも試みられているのは重量選別だけである。選別のほかに、初期含水率をそろえる前処理なども多く検討されている。

比較的低い温度での乾燥では、色が良い、水分傾斜が少ない、割れが少ないなどの評価はあるが、供給者側は時間がかかりコストが回収できない、供給量が減少するので乾燥機を増設しなければならないなどの問題を抱えている。増設と言ってもそれほど容易ではなく、乾燥業務は当面、共同事業方式で乾燥機だけでなく優れた乾燥技術者のそろっているところに集中させていくことが賢明ではなかろうか。端材や樹皮のエネルギー利用という問題を考えても有効だと思われる。乾燥するためには乾燥装置が必要だが、装置があればできるのではなく、人が乾燥するものであって、乾燥技術者を育てる必要がある。この技術者がいないと今後立ち行かなくなる企業もでてくる可能性もある。その意味でも乾燥を独自に行う事業体になれば、技術者をおき自分に適し

た乾燥方法の開発に努力すべきである。

また現在はいまだあまり普及していないが、品確法の関連や構造計算を必要とする木造建築物の増加からヤング率の表示も普及すると考えられる。これも乾燥が前提になる。

木材の本性を出させ、一見外見を悪くする乾燥が、木材の信頼性を向上される取り組みの第一歩であるだけに、乾燥工程をひとつ取り上げてそこだけにしわ寄せが行かないように、その他の工程での努力や評価を含めてトータルで乾燥コストを回収する模索もしなければならない。供給側の強い団結力(石油の OPEC のような)も一つの可能性であろう。

### 終りに

現在は、木材関係者だけで乾燥を考えるべきではなく、相手が何をのぞんでいるのかを知らなければならない。相手は川上の森林所有者かも知れない、川下の住宅メーカーであったり、建材屋かもしれない、DIY ショップかもしれない。さらにはその後ろにいる本当の消費者かもしれない。いや、人類が生存するための環境かもしれない。この環境の問題は意外と身近であり、たとえば住宅用の柱材を集成材にするか、無垢材にするかなどもその例である。大断面材のように集成材に変わるものが無ければ仕方がないが、柱に歩留まりの悪い集成材を使っていいのか、カスケード利用できるのか、住宅内の VOC は大丈夫なのか、エネルギーを使って遠くから運んでいいのか、きちんと処理されればよいが不当に廃棄さ

れたとき本当に大丈夫か、国産材を使わなかったときに山村は崩壊しないのか、そして水は確保できるのかなど、風が吹けば桶屋が儲かる的な関連がでてくる。この様に考えると内部では理論武装し技術を高め、建築家などと共同して新しい動きを作る必要があるのではないだろうか。

木材乾燥について現在気になっていることの一部を述べさせてもらった。皆様と異なり、何しろ経済観念が無いので、視点の異なったことばかりだったかも知れませんがご容赦くださるようお願い申し上げます。

国産材を使うことが日本の山村、森林を救うことを信じて。

#### 参考文献

- 1) (社)全国木材組合連合会：『わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル』平成12年
- 2) 岡山県木材加工技術センター：『建築用針葉樹製材のための人工乾燥材生産技術入門』(第2版)平成11年
- 3) 黒田尚宏：スギ材の乾燥、木材工業、55、525～528(2000)
- 4) 日本木材学会レオロジー研究会：木材乾燥—レオロジー研究の宝庫—(1)最近の木材乾燥を学ぼう(2001)
- 5) 相原庸夫：品確法と乾燥材、住宅と木材、23、12～ (2000)
- 6) 佐々木幸久：国産材の勝ち残り策—品確法と木材産業、ウッドミック、No217(2001)
- 7) 寺沢真、筒本卓造：「木材の人工乾燥」(改訂版)、日本木材加工技術協会、p.28(1988)

8) 河崎弥生：解体された木造住宅部材の含水率、第51回日本木材学会大会研究発表要旨集、p.128(2001)

9) 林和男、岡内諭：高温湿熱処理による木材の材質変化、第47回日本木材学会大会研究発表要旨集、p.164(1997)

## Ⅲ.材質研究の立場から乾燥材問題を考える

名古屋大学大学院生命農学研究科 奥山 剛

### 1.はじめに

現在、世界の人工林面積は1億2千万ha、総森林面積の約3.5%。そこから生産されている工業用丸太は年間約4億 $m^3$ 、工業丸太総需要16億 $m^3$ の約25%である。FAOは、西暦2050年には工業用丸太需要量が24億 $m^3$ に達し、人工林の造成がもっとも順調に拡大された場合には年間15億 $m^3$ の人工林木材の供給が可能と試算している。人工林拡大は炭酸ガス固定量を増大させると同時に森林破壊と消失の圧力を軽減する。それによって地球環境が維持され、同時に材料資源の持続的供給が可能となる。環境維持と森林資源の持続的供給の両立が達成できるかどうかは、人工林からの工業丸太供給の割合を上げられるかどうかにかかっている。これは、将来の木材工業が環境産業として位置づけられ発展するか、環境破壊産業のレッテルを貼られ淘汰される産業となるかどうかを決定する。人工林からの丸太供給を増大させるには人工林拡大が必要であり、そのためには人工林木材の利用の拡大が必須である。人工林木材の利用が拡大し、需要供給間の経済サイクルが確立すれば、自動的に人工林は拡大する。このことに我々木材研究者が寄与できるか否かは、同時に我々の存在価値が認められるか否かということにつながっている。

チーク、マホガニー、メランティなどの30年以上の生産サイクルの人工林木材を除いてほとんどの人工林木材はいわゆる早

生樹の部類で、スギもそのうちのひとつである。我々にとって、早生樹の用材利用化および高付加価値化に関する研究は重要な意味をもつ。

早生樹の用材利用化にもっとも必要な研究の一つは、乾燥技術の研究である。とくに、材質を考慮した乾燥技術の確立が急務であることは言うまでもない。「目的とする木材の必要とする材質データが瞬時に測定され、それに適合する乾燥スケジュールが自動的に選択される」ことになれば、我々の研究が終了することになるが、そのためには木材の水分移動、乾燥応力の発生メカニズム、木材の破壊メカニズムが材質との関連で解明されなければならない。お互いの分野の研究を深く理解しあい叡智を繋げあうことによってこの目標に近づくことができる。

### 2.材質研究の目標

樹木は生き物であるから当然ながらその成長に都合の良い性質を持っている。または成長をした結果さまざまな材質を有している。したがって、材質がばらつくのは当然である。これを改良するには根本的には生物的育種学的改良か、育林上の改良を行うことが必要である。これには樹木の成長期間以上に時間がかかる。材質研究の重要な目標はここにある。我々は、早生樹を用材としての有利な材質をもつ樹木に改良するための育種および育林技術の改良の基礎とするべく成長応力の問題にとりくんでい

る。これは、人工林木材を用材として使う場合、まず問題となる丸太の材質が成長応力であることによる。

一方、平行して、工業材料として加工する場合の技術的問題点を解決する基礎となる材質を明らかにしていくのも重要な課題である。

早生樹のほとんどは、未成熟材か未成熟材を含む。未成熟材は針葉樹でとくに顕著であるが、家具や内装材として使える早生広葉樹でもやはり未成熟材と考えられる特徴をもつ。現在の早生広葉樹は主としてパルプ・薪炭用材として用いられるので伐期は6-7年が多い。これらは当然ながら密度は増加過程に、マイクロフィブリル傾角(MFA)は減少過程にあり安定していない。用材化を目的にして生産されている早生広葉樹についても伐期は10-12年程度が多く、密度やMFAはやっとおちつき、成熟材を形成しはじめたばかりのものである。

未成熟材の特徴は、良く知られているように、密度は小さく、繊維長は短い、MFAが大きい、あて材を含むことが多い。いずれにせよ、収縮率が大きく、ばらつくため、乾燥時のくるいが大きいと考えられる。これらの材質因子の測定手法はすでに確立していると言えるが、木材加工上でまず問題となる乾燥技術の開発に資する情報についてすべてそろっているとは言えない。なぜなら、上記の未成熟材の性質は既知であるが、目的とする樹種、個体の未成熟材の程度はそれぞれ異なり、同一個体の中でもばらつきがあるのが未成熟材だからである。

### 3.丸太の熱処理

残留応力にせよ乾燥応力にせよ内部応力

を低減・除去するという事は材料が持っているエネルギーを解放することである。その解放の仕方によって加工歩留まりに大きく影響する欠点ともなるし、逆にその欠点を避ける方法もある。エネルギーの解放は、材の変形、割れなどの破壊、応力分散(マイクロ、マクロ構造の変化による)のいずれかによってなされる。変形や割れによる解放を避けて応力分散によってエネルギーを解放する方が得策である。当然ながら、最終製品に近づくほどエネルギー解放による変形や割れは大きな障害になるし、応力分散による解放が難しくなる。我々は、丸太の残留応力の除去を行う場合、丸太の直接熱処理を考えているのはそのためである。

丸太の内部応力は、湿熱状態で高温にすることによって低減する。それは後にも述べるとおり、ヘミセルロースの熱劣化に起因している。時には繊維方向に30MPaもある内部応力は湿熱下において応力緩和をおこなすが、これは、ほとんどは細胞同士の拘束条件のなかで行われていると考えられる。しかし、一部には、とくに木口面などの変形や、丸太の形の変形となって応力が解放されていると考えられるが、それによる欠点はその後の加工過程で端材となる部分に限られる。また、応力のばらつきがあったとしてもそれは丸太の変形として分散されてしまうため問題となることは少ない。

乾燥の立場から丸太の直接熱処理を考える場合、丸太表面がFSP以下の含水率になるとき、接線方向の収縮によって引張応力が発生するために表面割れが発生する。これは原理的に避けられない。実験室的には短い丸太の表面からの水分蒸発を完全に

押さえることによって、FSP 以下の含水率にまで表面割れなしで乾燥することも出来てはいるが、実用的ではない。

丸太の直接熱処理においては、丸太表面からの水分蒸発をいかに押さえながら長時間丸太を高温(80℃以上)に保つかがポイントである。しかし、いかに押さえても含水率は下がることから丸太の直接熱処理は乾燥処理と誤解される。

未成熟材を乾燥するとき初期含水率のばらつきが大きな問題となる。コストの話を無視するならば、丸太の熱処理は材の含水率分布を平坦にする効果があることから、前乾燥処理と考えることができる。

図1はこれまで試した針葉樹材の丸太直接熱処理における含水率分布の変化例であるが、軽微な表面割れは生じているがおおむね前乾燥の意義が見られた。トドマツの水喰い材はきれいに処理できる。ただ、やはりスギ黒芯だけは今のところどうしようもない。

残留応力除去の要望が熱帯早生広葉樹材で強くなっていることから、丸太の前乾燥条件の最適値を決定することも視野に入れて、今年からまた、実験炉を用いて丸太直接熱処理の試験を再開する予定である。

#### 4.乾燥割れと材質(横引張試験結果から)

乾燥割れは、接線方向に発生する収縮応力が材の強さを越えた時に発生する。乾燥応力の発生機構と木材の粘弾性的性質について理論的な解析もなされているが、現実の現象を説明していない。これは、材質と応力発生 of 両者とも温度と時間の因子が複雑にからみあった現象であるからである。乾燥割れの発生が少ない乾燥技術の開発の

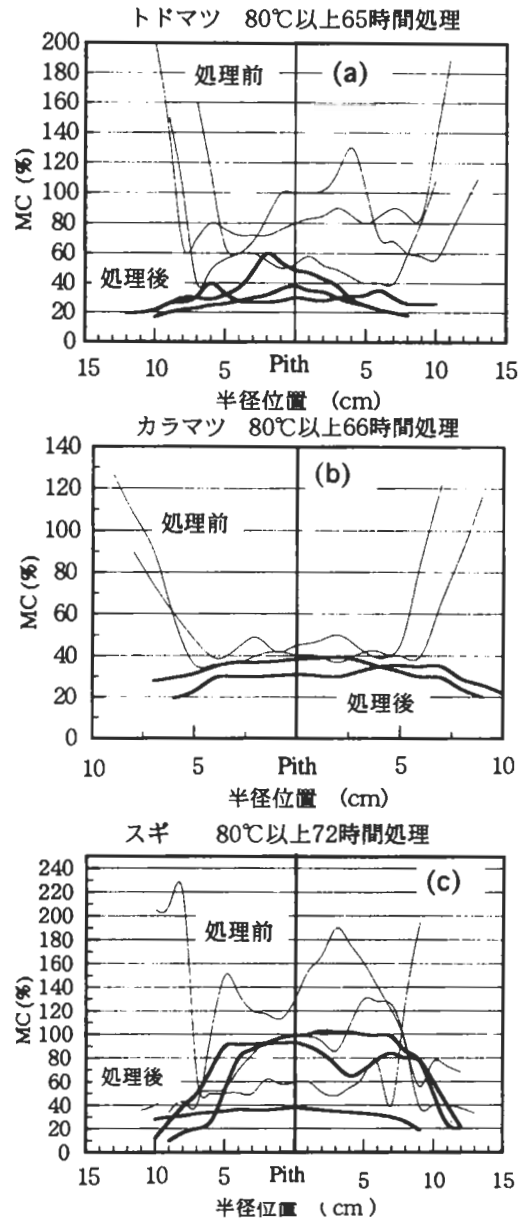


図1 丸太直接熱処理による丸太の含水率低減例

ために、さらに解析的な実験的知見を積み重ねていくことが必要であろう。

1981年に寺沢真氏が代表者となった科学研究費によって木材の表面割れに関する研究が集中的に行われたが、その時に温度と含水率を組み合わせた接線方向の引張試験を行った。そのデータから乾燥割れの温度依存性を考察してみた。

試験樹種は5樹種で、いずれも乾燥割れ

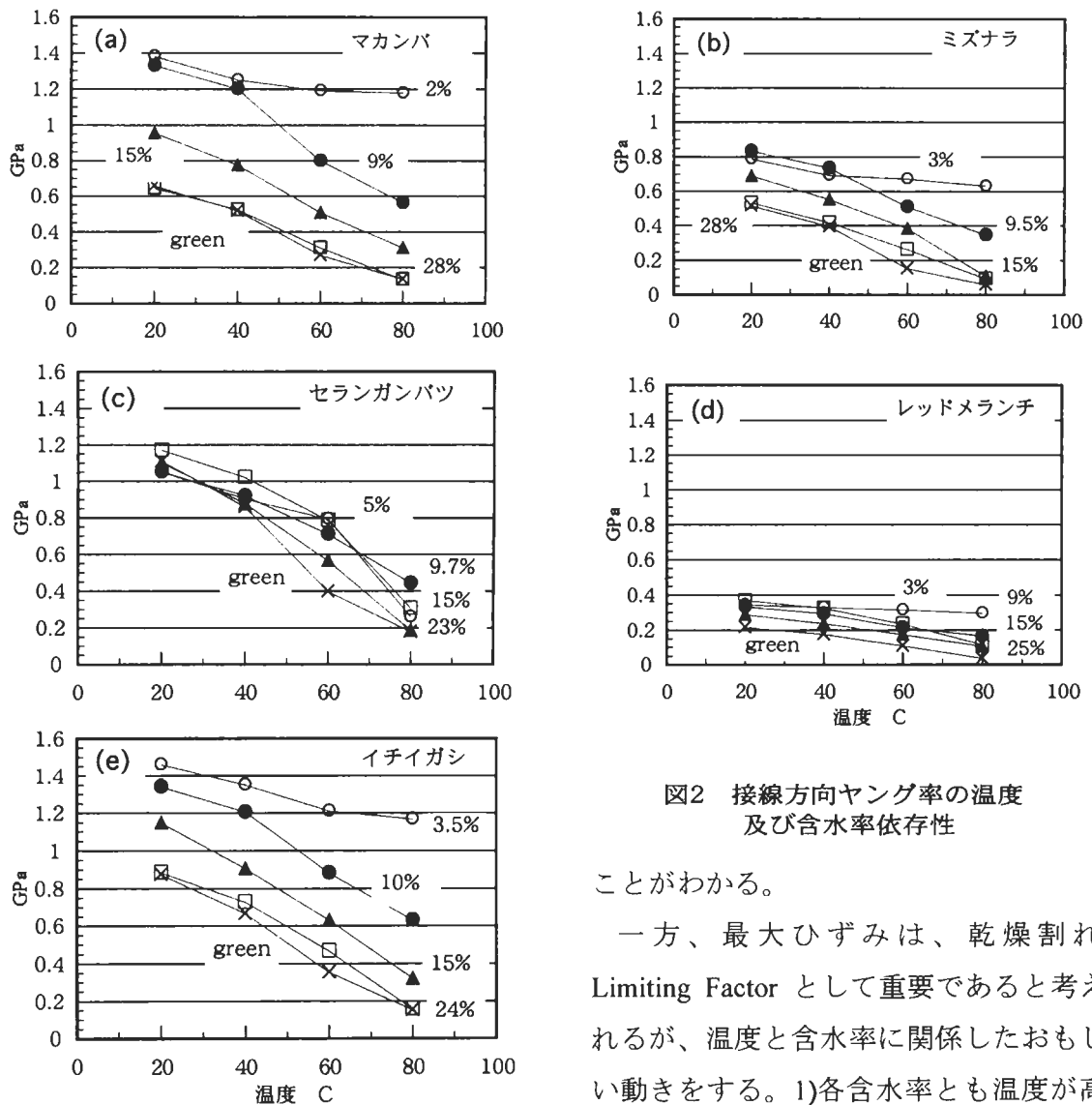


図2 接線方向ヤング率の温度及び含水率依存性

ことがわかる。

一方、最大ひずみは、乾燥割れの Limiting Factor として重要であると考えられるが、温度と含水率に関係したおもしろい動きをする。1)各含水率とも温度が高いほど最大ひずみは大きくなる。2)含水率3%内外では各樹種とも温度の影響は少なく樹種による差も少ない。3)生材においても温度の影響は少ない。4)イチイガシを除いて、各温度とも含水率15~25%に極大値を示す。5)温度が高くなるほどその極大値が低含水率側にシフトする。

この試験結果から、乾燥割れが生じやすい温度および含水率条件を整理してみた。

金川靖氏が求めた各温度条件での収縮経過曲線と各温度条件における最大ひずみの比率を図4に示した。収縮率を乾燥ひずみの大きさとみたとすれば、この比率が大きい

に関しては特徴的な性質を示すものが選ばれた。長さ15cm、厚さ0.5cm、等断面部の長さが4.5cmで幅1~1.5cmのTRが面となる平型引張試験片を用い、各条件10試験片の繰り返しで接線方向引張試験を行った。ひずみは標点間ひずみ計を用い、2mm/minの試験速度で行った。

そのヤング率と最大ひずみの平均値を図2および3に示す。

ヤング率については、とくに含水率10%以上では温度の影響を大きく受ける。いずれも60°C以上から材の軟化が大きくなる

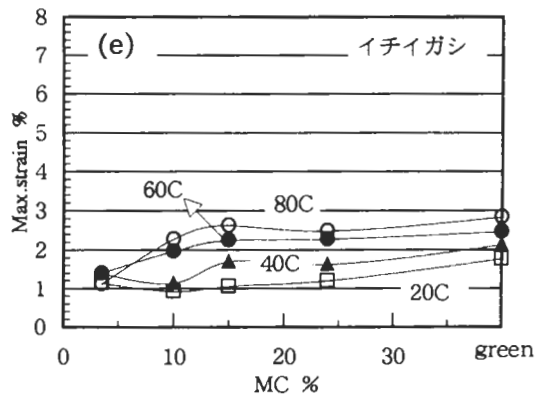
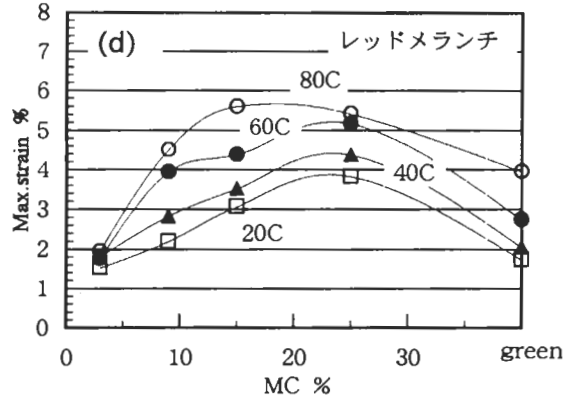
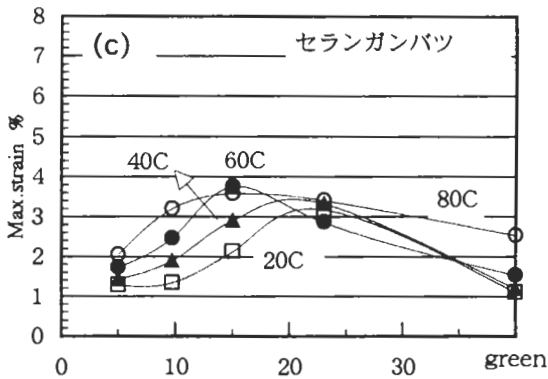
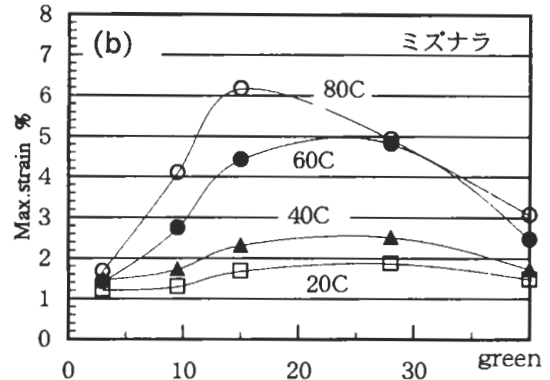
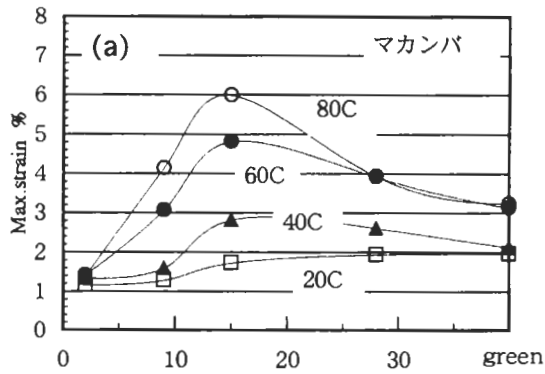


図3 接線方向引張最大ひずみの温度及び含水率依存性

レッドメランチの値は小さく温度依存性は小さい。しかし、マカンバは多少高い温度のほうが安全。レッドメランチは低温のほうが安全。2)ミズナラは前記の樹種よりも割れ易いが、低温での割れの危険性が高い。3)セランガンバツでは、高温で割れやすい。4)イチイガシは、全温度とも割れ易いが、とくに高温では割れの危険性が高い。などの結果となり、乾燥試験の結果ともある程度符合する。

これとは別に、含水率 7.5%までの収縮率と常温・生材の横引張最大ひずみの比率で比較した例では、比率が高い順にラミン、アカマツ、ヘムロック、ベイスギ、アルモン、ダケカンバ、ミズナラとなり、ヘムロックとアルモンとを入れ替えるだけで乾燥試験による初期割れ程度の順序と一致した。

ほど割れる可能性が大きいことを意味する。もちろん、これには時間の因子が含まれていないので絶対値そのものの意義は少ない。

図 4 によれば含水率が低くなるほど比率は大きくなり、割れ易くなることを示す。そして、樹種によって低温、高温での比率が異なっている。実際の乾燥過程では表面割れの出発点となるごく表層が図 4 に従うと考えられる。水分拡散のおそい材は表層の含水率は低いため、比率は高くなる。その場合、樹種によって割れ易さの温度依存性が異なる。図 4 の例でみると 1)マカンバ、

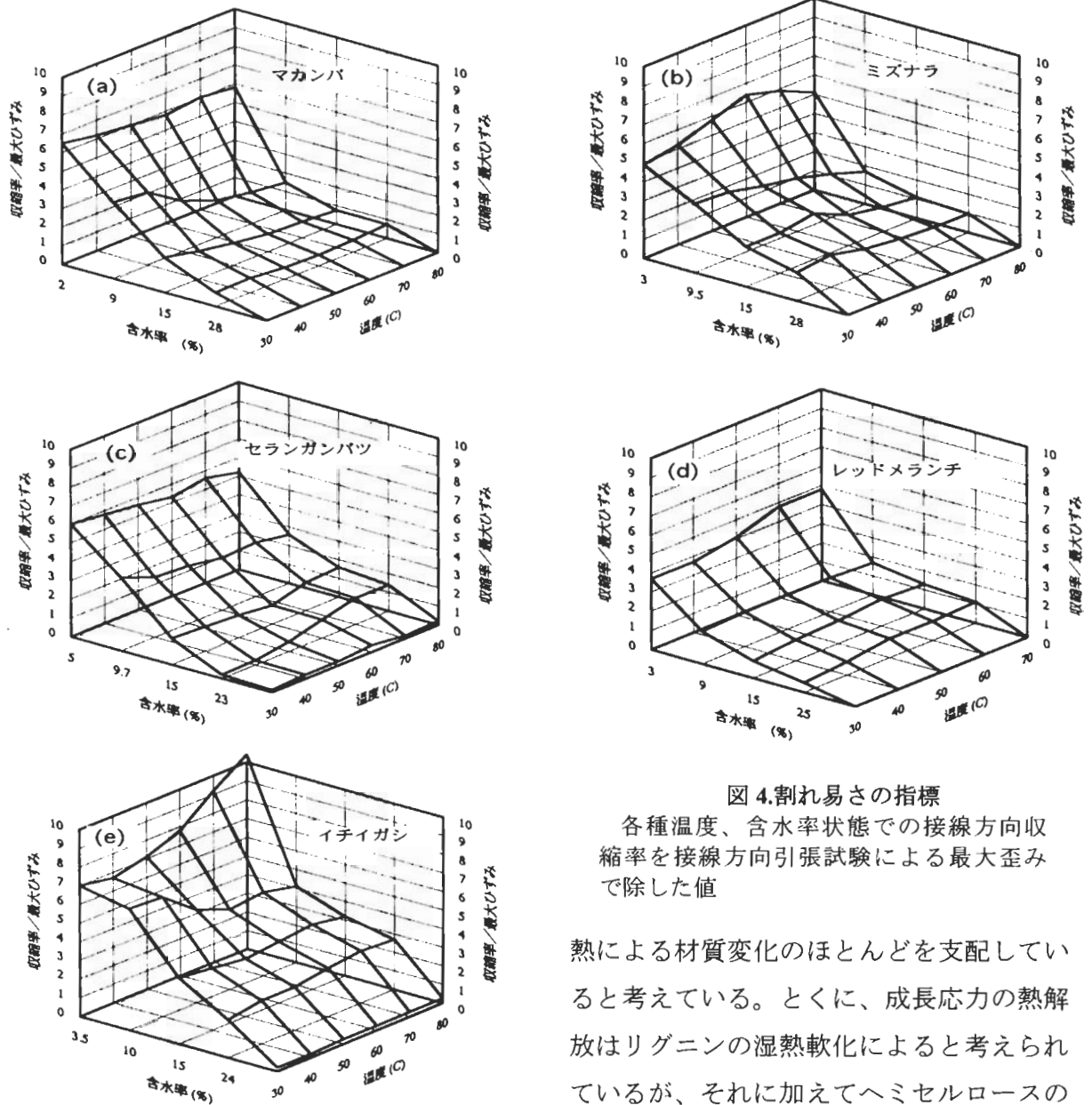


図 4. 割れ易さの指標

各種温度、含水率状態での接線方向収縮率を接線方向引張試験による最大歪みで除した値

熱による材質変化のほとんどを支配していると考えている。とくに、成長応力の熱解放はリグニンの湿熱軟化によると考えられているが、それに加えてヘミセルロースの熱劣化も関与していると考えている。樹幹内残留応力は生材丸太を 80°C 以上で 30 時間以上処理しないと低減しない。もし、リグニンの湿熱軟化のみで生じるならこれだけの処理時間を必要としない。

ヘミセルロースの熱劣化は 150~200°C と言われているが水分を含む場合は加水分解がより低い温度からはじまる。図 5 に主な材質値の熱処理温度・時間依存性の測定結果を示す。

時間を加味しない解析でもこの程度は現象を説明しうる。時間の因子を加味した実験的検討は大変な仕事であるが、乾燥割れを説明するには一度は試みるべき研究であろう。表層の含水率経過を水分拡散係数および温度から推定することも乾燥割れの制御には欠かせないであろう。

### 5. 熱処理に伴う材質変化

丸太の直接熱処理の過程で常に考えなければならないことは熱による材質変化のことである。我々は、ヘミセルロース成分が

材質値の測定精度および短時間域での熱処理精度の問題があり、熱処理時間 20 時

間以内のデータはばらつくが、ヘミセルロースが針葉樹材より多い広葉樹材(タモ)で

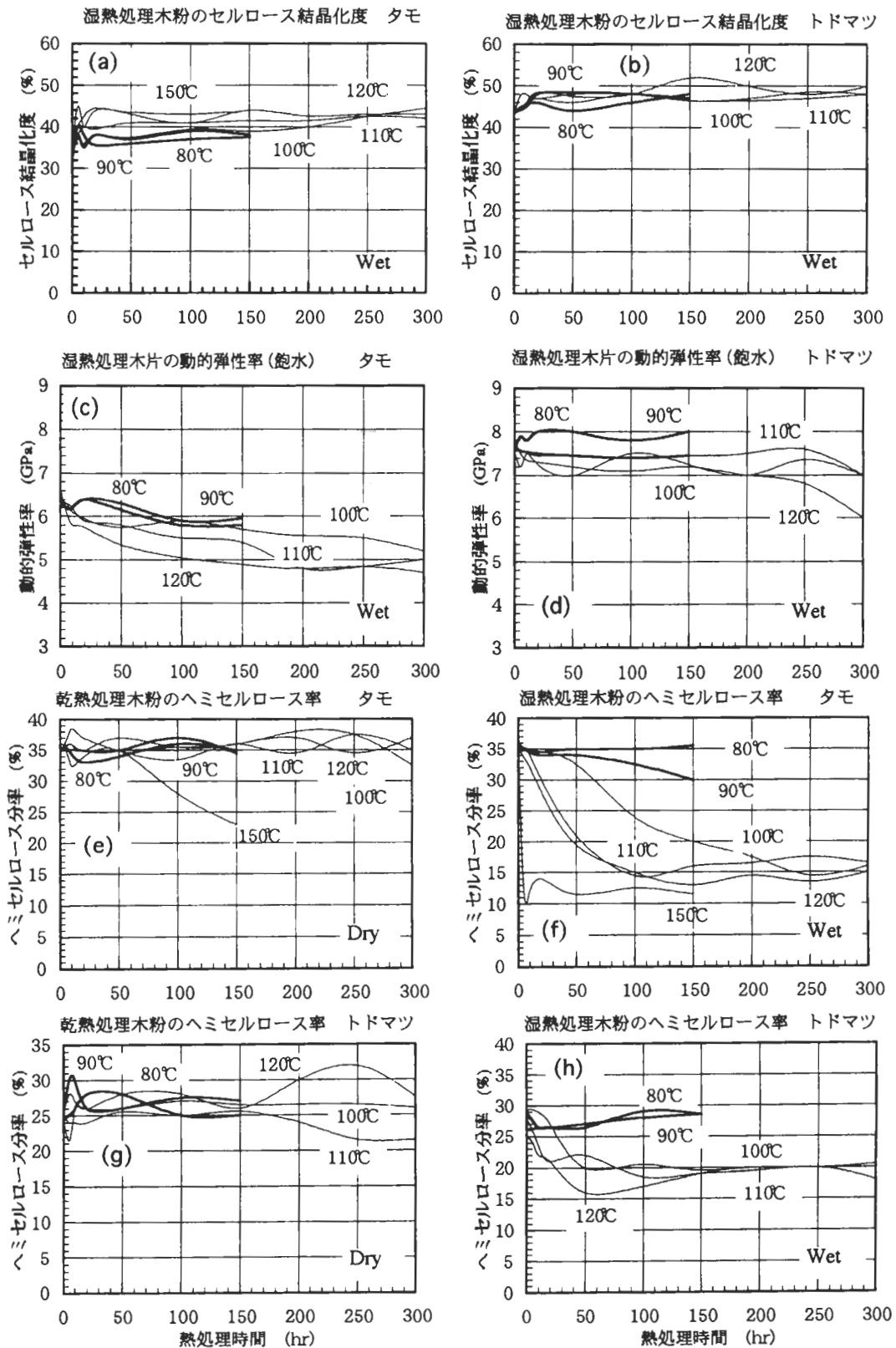


図 5.熱処理による木粉、木片の材質変化

は 80~90℃から熱劣化を生じているし、針葉樹材(トドマツ)でも 90~100℃からはじまっていることがわかる。熱処理によって 1)セルロース結晶化度は上がるが、2)飽水状態で測られた弾性定数は低下する。これも、ヘミセルロースの熱劣化と符合する。ヘミセルロース成分が多いほうが弾性定数の低下が大きい。

これらのことから、細胞壁内の力の伝達にセルロースのみではなくヘミセルロースが大きく関与している。さらには、セルロースマイクロフィブリル内においてセルロース結晶は一部ヘミセルロースによって強化されている機構がある。すなわち、ミセルの横方向のみでなく軸方向にも一部ヘミセルロースの架橋があると考え、残留応力の低減、熱処理材の脆弱化の説明が容易となる。

以前に報告したが、残留応力は、材内温度 80℃以上 30 時間以上の湿熱処理によって低減するが、この程度の熱処理では強度低下はわずかである。ヘミセルロースが針葉樹材より多いケヤキでは縦引張においてヤング率、強さ、最大ひずみは約 10%低下するが、縦圧縮および曲げ強度値には変化が見られなかった。ヘミセルロースが少ない針葉樹材の強度はさらに熱処理に対して鈍感であると考えられる。

高温乾燥における材強度の低下は、ヘミセルロースの熱劣化によるところが多いと考えているが、材温度が 80℃以上に何時間さらされているかを見ることによって一応の安全範囲をみつめることもできる。熱処理による材質変化の程度を検証するにはヘミセルロースを化学的に定量するのが一

番の方法ではあるが面倒であるし測定精度の問題がある。しかし、それは材の変色によって見当がつく。たとえば、材内温度 80~100℃の範囲の湿熱処理によって、スギの辺材の  $\Delta E^*$  は 30 時間あたりから上昇し始める。この変化とヘミセルロースの熱劣化、平衡含水率の低下、温水抽出物、アルベン抽出物の増加などがよく一致する。高温乾燥において強度低下をさけるには、材の色変化をモニタリングしながら行うことで強度低減を制御できる。

## 6, おわりに

人工林木材の付加価値向上のため、どんな材質の人工林木材も乾燥できる技術が早く確立することを願いたい。

総説にするには時間が無く、引用文献を網羅した内容にはなっていないが、未発表、発表を含め上述した内容に関連する研究結果は以下を参照いただきたい。

## 文献

寺沢 真：木材の表面割れに関する研究、昭和 56 年度科学研究費補助金(一般研究 A)研究成果報告書、昭和 57 年 3 月。

伊藤 智美：熱処理による木材の物性変化に関する研究、名古屋大学修士論文、1997.3。

Okuyama, T., Kanagawa, Y., and Hattori, Y.: Reduction of Residual Stresses in Logs by Direct Heating Methods, *Mokuzai Gakkaishi* 33(11), 837-843 (1987).

奥山 剛、山本浩之、村瀬 豊：直接熱処理によるスギ間伐材の材質変化、*木材工業*、43 (8), 14-18 (1986) .

奥山 剛、山本浩之、小林 功：直接熱処理によるスギ間伐材の材質変化 (2)、*木材工業*、45 (2), 12-16 (1988) .

## IV. 建築構造研究の立場から

大分大学工学部 井上正文

木材を実際に現場で使う立場の建築サイドからみた乾燥材の現状と今後のあり方を、平成 12 年度に行った乾燥材に関する供給側業者及び使用側業者に対するアンケート調査結果とともに述べる。

### ＜雪印はシール張り替え、木材はシールなし＞

雪印食品による、シール張り替え事件は、まだ記憶に新しい。この精肉シールには、肉の生産地や重さ、部位等が表示されているらしい。これを偽って国産肉と見せかけ、補助金を詐取しようとした事件だ。

木材の場合はどうだろうか。役物は別としても、住宅用構造材として使用される国産製材の場合、性能表示木材は増えつつあるもののまだまだの状態だ。強度はもちろんのこと含水率の表示さえないのが一般的のようである。＜シール表示なし＞と＜偽シール＞の責任の軽重を論じるつもりは毛頭ないが、少なくとも＜表示なし＞では、商品の体をなしているとは言い難い。これらの木材の性能に関する表示を促進するため制定された＜針葉樹の構造用製材の日本農林規格（新 JAS）＞が制定以来早 10 年、私の不勉強もあろうが、1 度たりともこの＜新 JAS 表示＞にお目にかかったことがない。木材といえども立派な商品である。せめて、含水率表示だけでもあれば、安心して使用できるのではなかろうか。－商品の体をなしていない－は、いささか言い過ぎ

かもしれないが、このことと現在の国産木材の不振とはあながち無関係ではなかろう。

### ＜乾燥材とは？ 乾燥材ではない乾燥材も＞

最近乾燥材の定義が、よく議論の対象となる。個人的にも、各業界（木材供給側・木材使用側）で、どう捉えられているのかが気になるところであった。後述する平成 13 年に実施した乾燥材に関するアンケート調査結果によると、使用者側が考えている乾燥材含水率と供給側が考えている乾燥材含水率とには、開きがあるし、供給側の乾燥材に対する認識に甘さがあるようにも思える。

### ＜乾燥材が買えない＞

建築基準法の性能規定化、平成 12 年の「住宅の品質確保の促進等に関する法律」（以下、「品確法」とする）の完全施行等によって、高品質・高性能の材料の供給に対する要望は益々高まっている。そんな中で乾燥材の需要も急速に高まっているものと思われる。しかし、一方でその生産量、流通量の伸びは少なく、平成 11 年度の調査によると全生産材に対する乾燥材の割合は、全国平均で 10.9%と決してその需要に応えるものとは、なっていないのが現状である。

こんな中でよく聞く話で、＜乾燥材使いたいんだけど、どこで手に入るの？＞＜大量に乾燥材を発注しようとしたら、断られた＞というのがある。乾燥材の供給体制に、

どうも問題がありそうである。

### ＜生材も生材と表示＞

木材の含水率表示は、生材にも行ってほしいものだ。木造住宅に使われる木材すべてが乾燥材である必要もないと思う。構造材で言えば、柱・梁桁は乾燥材でなければトラブルの原因となるが、小屋組に使用される部材の中には、乾燥材が強く求められないものもあるようだ。生材なら生材と表示してもらえれば、それなりの使いようがあるし、納得の上で使用できる分、その対応も考えやすい。

生材を生材と表示する姿勢こそ、消費者からの信頼を勝ち得る道ではなかろうか。

### ＜木材は one of them＞

これからの話は、いささか乾燥材供給からはずれることになるかもしれないが、建築サイドの話としてお聞き頂きたい。最近では、建築設計者の中にも、＜木＞にこだわり、深い造詣を持った方も徐々に増えつつあるようにも思えるが、一般的には、＜木＞は建築材料（鉄・コンクリート・木材 etc.）のうちの一つ（one of them）と建築設計者は考えているようだ。すなわち、「乾燥もされていない、使いづらい木材」しかないのなら、＜木造＞はやめておこうということにも成りかねないのである。そういう意味でも、乾燥材の供給体制を是非とも早急に整えてほしいものである。

### ＜林業・木材産業の連携を＞

乾燥材供給にしろ木材供給にしろ、林業と木材業は、建築側からみれば同じ供給サイドなのである。食肉の話を引き合いに出して恐縮だが、酪農家と食肉業者との関係

にも似ているかもしれない。いずれにしても、両者（林業・木材業）が一致協力して、その供給体制を構築してもらいたいものである。どうも両者の不協和音だけが聞こえてくる昨今である。

### ＜地球環境保全・改善のため、木材に頑張ってもらいたい＞

もう言い古されたことかもしれないが、地球環境保全・改善は待ったなしの状態である。レスターブラウン（ワールドウォッチ研究所）が言ってるように、＜この地球は未来の子供達からの借り物＞という意識を強く持つてことに当たらないと大変なことになる。そういう意味でも地球にやさしい木材をたくさん建築に使えるよう、努力しなければならない。林業と木材業と建築業がしっかりと手を携えて。

### ＜乾燥材に関するアンケート調査＞

#### （1）調査のねらいと方法

建築基準法の性能規定化、平成 12 年の「住宅の品質確保の促進等に関する法律」（以下、「品確法」とする）の完全施行等によって、高品質・高性能の材料の供給に対する要望は高まっている。そんな中で乾燥材の需要も急速に高まっているものと思われる。しかし、一方でその生産量、流通量の伸びは少なく、平成 11 年度の調査によると全生産材に対する乾燥材の割合は、全国平均で 10.9%と決してその需要にこたえるものとなっていないのが現状である。乾燥材の生産・流通の推進をはかるには、その生産者、需要者（ユーザー）の双方から、好転しない現状の調査及びその分析が不可

欠である。

以上のような理由から、著者らは大分県内に範囲を絞り、生産者サイドとして木材生産業者（製材業を含む）、ユーザーサイドとして建築設計業及び建築施工業を対象に乾燥材の流通の現状や乾燥材に対する認識を調査するためアンケート調査を実施した。以下、その調査概要および結果について述べる。

### 1-1 調査対象

本アンケート調査は、前述のように木材生産業者側として、木材業者（問屋、森林組合、林業組合、プレカット業等を含む）と製材業者を対象とした。一方、ユーザー側からは、乾燥材の流通の現状把握に主眼を置くため、エンドユーザー（施主）ではなく、建築設計業者（設計事務所）及び建築施工業者（工務店等）を対象とした。

木材業、製材業に対しては、大分県への登録業者のうち、①会社組織であること、②従業員数5名以上であること③建築用製材品を主に取り扱っていることの3つを条件に計164社を選定した。建築設計業者に対しては、（社）大分県建築士会会員のうちの1級建築士事務所から、木造建築・住宅の設計・監理を行っている事務所から79社を選定した。建築施工業者に対しては、（社）大分県建設業協会の会員である業者の中から、木造住宅の施工を主に行っている建設会社及び工務店から59社を選定した。これにより本アンケート調査の対象業者は合計302社となった。

### 1-2 調査方法

調査は、依頼文とアンケート用紙を郵送

し、回答後同封の返信用封筒にて返送してもらう形式を取った。なお、木材生産業と建築業の両方で対象となった業者や建築設計と施工の両方で対象となった業者の方には、両方の立場でそれぞれ解答してもらう事とした。このため、後に述べる調査結果では、同一の業者が2つの業種で別々に集計されているケースがある。なお、質問の対象は仕上材や2次部材を除く、建築構造物の材に限定している。また、調査の項目、内容については、次節「調査結果」にあわせて示す。

### (2) 調査結果

表1に各業種別のアンケート発送総数と回答数及び回答率を示す。これによると建築系2業種が50%以上の回答率であったのに対し、木材業では、28.7%と低い回答率であった。この結果がそのまま乾燥材への関心の差とは言い切れないまでも、木材業と建築系2業種で回答率に2倍に近い差が生じたことは、両者に何らかの認識の隔たりのあると評価しなくてはならないであろう。

表1 発送数と回答数

	郵送数	回答数	回答率
木材業	164	47	28.7%
建築設計業	79	47	59.5%
建築施工業	59	44	74.6%
合計	302	138	45.7%

### 2-1 乾燥材の需要と供給に対する「品確法」の影響

乾燥材の取扱量に関する質問への回答について業界別に「品確法」施行以前と以後とを比較した。図1に木材業の回答を整理

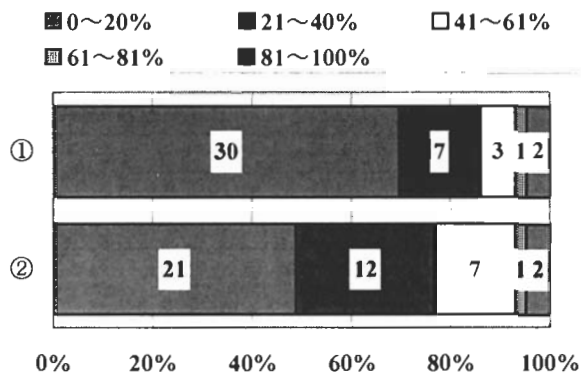


図1.乾燥材取扱量の変化(木材業)

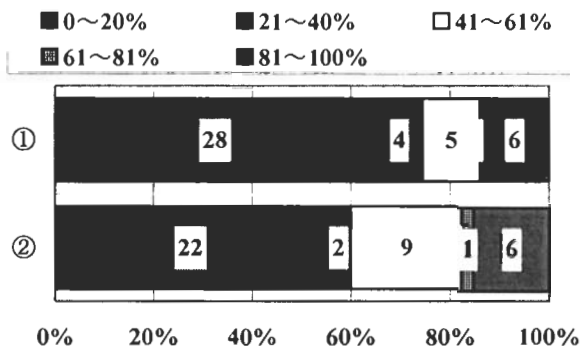


図4.施主から乾燥材を求められる割合(建築設計)

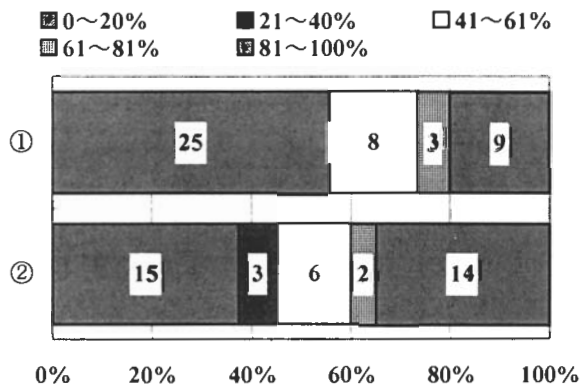


図2.乾燥材取扱量の変化(建築設計)

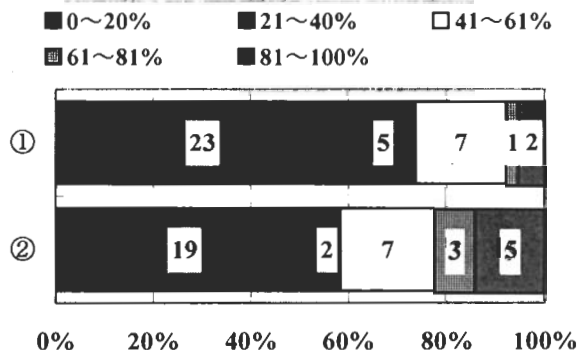


図5.施主から乾燥材を求められる割合(建築施工)

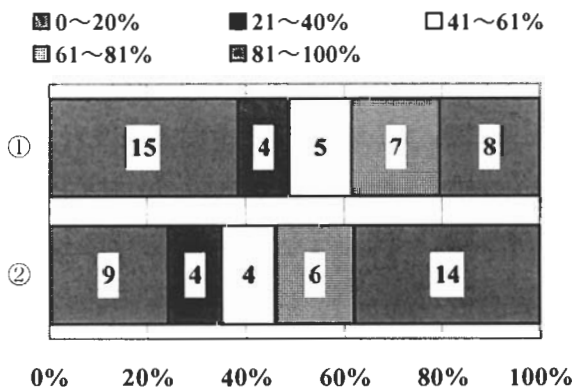


図3.乾燥材取扱量の変化(建築施工)

した結果を示す。①は「品確法」施行前、②は「品確法」施行後の全取扱量に対する材積割合を示している。同様に図2に建築設計業者の回答についての結果を示す。ここで建築設計業者への質問は「木造住宅の構造材について〈乾燥材〉を設計図書に盛り込む割合」という表現を使用した。図3に建築施工業者の回答について示している。これらの結果より、乾燥材を使用または取

り扱う割合が「品確法」施行を境に、急激に増加していることが明らかである。とくに建築系2業種では、取扱量の81~100%が乾燥材、つまり「乾燥材しか使用しない」という企業が急増している。この要因として現行の「品確法」には「木材の乾燥」による項目の直接の記述はないものの、「瑕疵担保保証制度」や「性能表示制度」などにより、より高い居住性、耐久性が求められること、ユーザー（施主）とのトラブルの増加が予想できることなどが考えられる。建築サイドの業界は、木材の未乾燥に起因するトラブルを排除したいという意思がこの結果に表れている。このような建築サイドの乾燥材の使用状況つまり需要に対して、木材業の分布は変化はしているものの、需要の変化に対応できているとは言い難い状

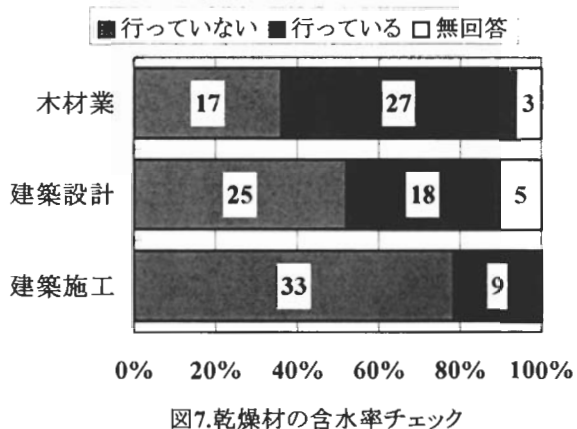
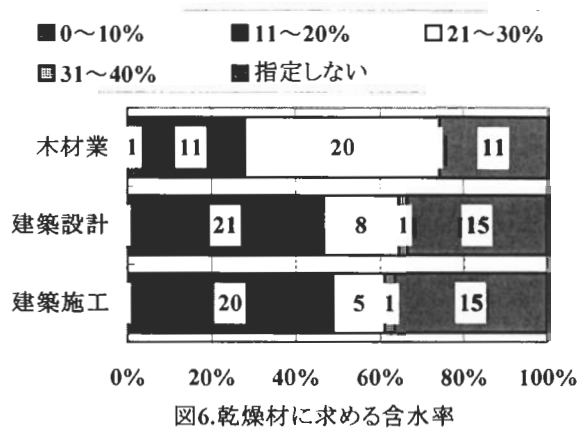
況である。

また、建築系 2 業種に関しては、エンドユーザー（施主）から乾燥材使用を求められる割合についても質問した。図 4 は建築設計業の回答、図 5 に建築施工業の回答を示す。前述した実際の乾燥材取扱量の変化にくらべると、ユーザーからの乾燥材使用の要望の変化は小さいと言える。これは建築業に対する「品確法」施行の衝撃の大きさにくらべ、エンドユーザーへの「品確法」の周知が遅れていることに起因していると思われる。また、素人であるユーザーにとって直接「品確法」で触れられていない「乾燥材」と「住宅性能」が意識の上で結びつきにくいのも事実であろう。しかし、乾燥材の使用を求めるエンドユーザーが確実に増加してきていることは確かであり、今後「品確法」やそれに付随する「瑕疵担保保証」「性能表示制度」の周知が進むにつれ、さらにユーザーからの乾燥材使用の要望が高まることが予想される。

## 2-2 乾燥材の品質と管理

図 6 に各業種に対して行った「乾燥材として供給、または要求する木材の含水率は？」という質問に対する回答を集計した結果を示す。

木材業でもっとも多数を占めたのは、含水率 21~30%であった。これに対し、建築系 2 業種では 11~20%が最も多かった。一般に木材のそりやねじれなど水分の変動による変形が落ち着くとされる平衡含水率は、周囲の環境によって多少左右されるものの 15~20%の間にあるとされており、建築系 2 業種の要求はこの値と一致する。これに



対して、木材業の約半数が「乾燥材」として 21~30%では、納品後さらにねじれや曲がりなどの狂いが生じる可能性が残る。

図 7 に出荷時または納入時の含水率のチェックの有無に関する質問の答えの分析結果を示す。建築系 2 業種では、過半数で納入された木材の含水率のチェックは行われていない。同時に含水率チェックの方法も尋ねたところ、木材業では、高周波含水率計や重量測定、プレカットラインでの自動計測などがほとんどであるが、建築系 2 業種では、「納入業者による測定結果をチェックする」、「目視による」、「触感による」などが目立つ。これは建築サイドの木材に関する知識・認識が乏しいことも否めないが、比較的簡単に計測可能な高周波含水率計が十分に普及していないことや、建設現場で

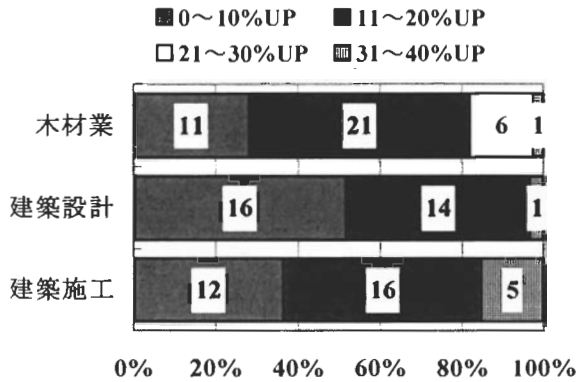


図8.乾燥材のグリーン材に対する価格

の全数検査は、事実上困難であることなどがその要因であろう。

また、建築系2業種では、「乾燥材」と指定してもその含水率までは指定しないという回答が30%を超えていること（図6参照）からもわかるように、「乾燥材と指定したら、十分に乾燥した木材が納入されるものと、木材業者を信用している」という答えも数多く見られた。

### 2-3 乾燥材の価格

図8に各業種に対する「乾燥材の価格（単価）はグリーン材の何%アップか？」という質問に対する回答を集計した結果を示す。

これによると、木材業では過半数が11~20%の価格上昇を回答しているのに対し、建築設計業では過半数が0~10%アップと回答しており、設計、見積の段階では乾燥材使用によるコストアップをほとんど考慮していないことがわかる。

一方、実際に木材業者から「乾燥材」を買い付け、施工する建築施工業では、建築設計業にくらべ、木材業者に近い結果を示したが、それでも1割以下の価格差を挙げる業者は3割を超えている。これらのことから木材業と建築業の間で乾燥材の価格に

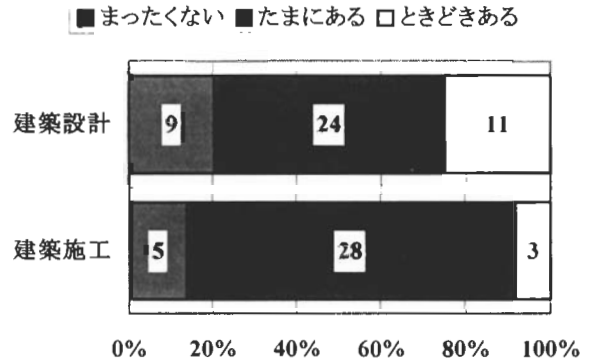


図9.グリーン材を使用したときのクレーム

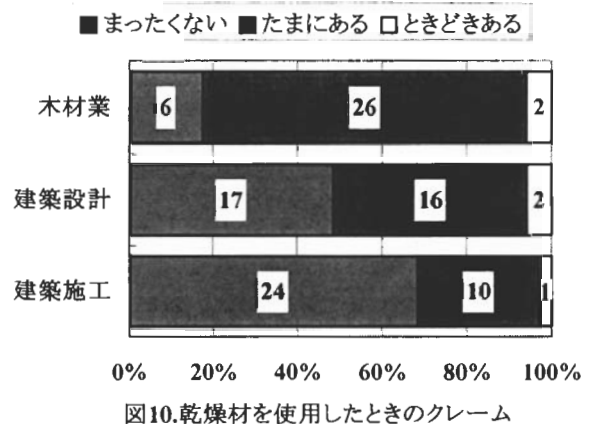


図10.乾燥材を使用したときのクレーム

に対する認識に大きな隔たりがあることがわかる。

### 2-4 クレーム

図9にグリーン材を使用した場合のクレームについて、建築系2業種に対して質問した結果について示す。どちらの業種でも「ときどきある」「たまにある」を合わせると8割を超えている。このクレームの内容は、「竣工後に木材の割れる音がある」「接合部に隙間が生じた」「柱の変形により壁紙に隙間が生じた」などの木材の変形に伴うもののほか、「カビが発生した」「表面に割れが発生した」などもあった。

これに対し、乾燥材を使用した場合のクレームについて各業種に聞いた答えを図10に示す。建築系2業種ではグリーン材を使用した場合にくらべ、クレームが激減して

いることがわかる。特に建築設計業では、その割合が半減している。建築業へのクレームの内容としては、「材色が悪い」「柱に割れの発生」「材質の低下」などが挙げられている。

一方、乾燥材を使用した場合の木材業に対するクレームは大変多いことがわかる。これは、建築業に対するクレームの相手がエンドユーザーなのに対し、木材業に対するクレームの相手は建築業関係者であり、とりわけ建築施工業者であることが大きく影響していると思われる。その内容は「乾燥材を使用したにもかかわらず、そり、曲がりが生じた」、「材色が悪い」「生乾きである」「含水率がばらつく」など前述の乾燥材の含水率に対する認識の差が原因と思われる内容が多いことがわかる。

## 2-5 その他

最後に各企業に乾燥材供給、使用にあたっての今後の課題や問題点などを自由に書いてもらった。

各業種に共通した意見としては、「人工乾燥によって強度や耐久性に変化は無いのか」「割れの発生や材色の劣化などが問題だ」などが見られた。

木材業者が挙げた項目は、「どうしても価格が高くなる」「乾燥コストを建築サイドが負担してくれない」「設備投資が経営の負担となる」などのコスト面の課題のほか「人工乾燥による歩留りをどうしたらいいか」「材種や寸法による乾燥具合のばらつき」「燻煙乾燥技術の確立は？」など人工乾燥技術に関するもの、「乾燥設備建設への補助を個人業者にもするべき」「原木段階で乾燥

を実施するべきだ」「ユーザーにコストの負担を求められるように乾燥材の利点のアピールを」などの行政への要望や流通システムに対する意見も見られた。

建築業者が挙げた項目は、「高気密高断熱住宅には乾燥材は不可欠」「性能保証をつける場合はすべて乾燥材を使用すべき」など今後の乾燥材使用の見通しに関するものや、「乾燥材を使用したいが、構造用材の乾燥材は市場には、ほとんどでてこない」「乾燥材を発注すると納期が遅れてこまる」「コストが合わないため利用できない」など現状の乾燥材流通に対する不満が挙げられた。また、「乾燥材の含水率チェックは難しいので、含水率の表示基準を確立すべき」「鋼材にはミルシート、コンクリートには調合証明書がついているのに、木材には性能表示が全くないのはおかしい」「乾燥材としての性能を保証する制度が確立すれば、それなりの価格の上昇は許容できる」など乾燥材（木材全体）にマテリアルカードなどの性能表示制度の確立を求める意見が多くみられた。中には、「コストや流通、納期などを考えると現状では集成材を使用せざるをえない」「輸入材なら乾燥材が手に入りやすいので、そちらを使用している」などの厳しい意見も見られた。

## (4)まとめ

乾燥材の普及をはかることを目的に、乾燥材生産、流通における問題点を把握するため木材業者、建築設計及び施工業者に対して、乾燥材供給・使用の現状や問題点を尋ねるアンケート調査を実施した。その結

果、以下のようなことが明らかとなった。

「品確法」の施行により乾燥材の需要は明らかに増加している。木材供給サイドが考える乾燥材の含水率と建築サイドとで求めている含水率には違いがある。また、この意識のずれが乾燥材供給が進まない大きな要因の 1 つとも考えられる。乾燥材価格に対する認識にも両者で隔たりがある。今後の課題及び改善点として、木材供給側からは、乾燥設備投資の負担軽減やユーザーへのコスト負担のアピールが、建築サイドからは乾燥材の品質保証と品質表示制度の確立と、流通システムの改善が強く求められていた。

本アンケート調査は、大分県乾燥材生産協議会の活動の一環として実施されたものである。本調査に御協力頂いた関係業界の方々に感謝の意を表します。

## -乾燥材研究の今-

# I .乾燥技術・関連因子

森林総合研究所 黒田 尚宏

## 1.最近の乾燥技術開発の背景

木造住宅建築における施工性や性能に対する要求が高まるにつれ、構造用材への乾燥材需要が増加し、国産針葉樹製材の乾燥の必要性和重要性が叫ばれるようになった。一方で、乾燥材の生産量はこの10年間に増加は認められるものの必ずしも多くない状況が続き、価格・量・品質における供給能力不足から国産製材が集成材等に代替されるに至っている。

この原因の一つに、主要造林木のスギが他の樹種にくらべて含有水分量が多く乾燥に時間がかかるため乾燥コストが高くつくが、一方で乾燥材の販売価格には乾燥経費が反映されないことが多く、乾燥材の生産意欲が増長されないことがあった。現在、「住宅の品質確保の促進に関する法律」の施行（平成12年）によって、住宅メーカー・工務店の「高品質の乾燥処理材」への要求はさらに高まりをみせ、これに対応するための乾燥の効率化と乾燥材品質の向上を確保するための技術が求められている。

一般的に柱材や梁桁材等の断面が大きいスギ構造用材は、乾燥に時間がかかり仕上がりの含水率を整えることが難しい。しかし、国産針葉樹製材への需要は軸組木造住宅に支えられている以上、適正な含水率管理を行うことによって、木造住宅建築における様々な要求に即した乾燥材生産が求められているのである。

## 2.スギの主要な乾燥方法とその課題

要求される乾燥材の品質は、施主、建築メーカー、地域、材種、使用目的などによって異なるため、すべての製材が同様の品質である必要はない。生産する側から見ても、生産規模や材種、立地、コストなどの生産条件によって、生産すべき製品の品質は異なってくる。とくにスギ心持ち材は乾燥が難しいため、様々な方式による乾燥材の生産が試みられ、同時に乾燥温度等の乾燥条件による割れ、材色、強度などの乾燥材の品質についても研究が進められてきた。スギ材の含水率は高く、その分乾燥コストがかかるため、スギの人工乾燥の適用に際してはコストが大きな決定要因とならざるを得ない。そのため、①乾燥時間の短縮、②省エネルギー消費、③装置の熱効率向上、④乾燥の省力化、さらには⑤乾燥歩止りの向上をはかることを目的にして、コスト低減のための技術開発への取り組みが行われている。将来的にスギ製材の乾燥材供給を維持するためには、低コスト化と同時に品質を確保することが一層大切であり、仕上がり（材内・間の水分状態、割れの発生、乾燥の歩止り、使用目的別の品質）が乾燥方法の良し悪しを判断する重要な指標となる。

ちなみに、表1にはスギ心持ち柱材のための各種乾燥方法ごとに試算したコストの現状を示している。主な方法の内容と課題

は以下のとおりである。

### (1) 蒸気式乾燥（高温乾燥）

蒸気式乾燥は、目的によって規模や乾燥温度を選択でき、汎用性に優れている。スギ一般材の乾燥では乾燥時間の短縮を目的に温度を高めた乾燥機が主流となり、最近針葉樹材の製材工場に導入される新規乾燥施設のうち 8 割程を占めるに至っている。したがって、この蒸気式乾燥機の改良やスケジュール等の乾燥条件についての技術開発が広く進められているところである。とくにスギは、材種や含水率等の初期条件が様々であるので、これに対応したスケジュールの開発が行われてきた。

一般的な高温乾燥は、乾燥初期から乾燥後期まで乾湿球温度差を徐々に広げ、乾燥温度はせいぜい 100℃前後であった。最近、初期蒸煮した後、乾燥の初期から乾球温度を 120℃にまで高め、乾湿球温度差も大き

くして低湿状態を維持する方法も開発されている。この場合、乾燥後期まで高温を維持すると、材内部に割れが生じるため、スケジュール等の処理条件の検討が必要である。また、高温での処理であるため、寸法安定性の付与には効果的であるが、一方で強度、耐久性等の劣化が生じやすく、品質の的確な評価を必要とする。

消費エネルギーの低減のため乾燥機の機密性・断熱性、ファン、換気装置が必要で、自動運転のための乾燥状態の適切なモニタリング装置についても検討が進められている。

### (2) 燻煙乾燥

廃材等を燃料にした燻煙炉で乾燥する方法である。燃料代が安く、規模が大きくできるため、他の方法にくらべて乾燥コストが低い。しかし、温度・湿度のコントロールが困難であるため、割れの発生防止や均

表 1 スギ心持ち柱材用の各種乾燥法の比較

（全木連・乾燥材技術マニュアル作成委員会）

乾燥方式	乾燥仕上げ含水率	乾燥日数(日)	月産(m <sup>3</sup> )	乾燥コスト(円/m <sup>3</sup> )				備考
				設備費	人件費	燃料費	計	
蒸気式 (70-80℃)	20%以下	14	120	3,700	2,000	3,580	9,280	30・×2 40,000千円
	15%以下	17	100	4,400	2,000	4,300	10,700	
高温蒸気式 (100-120℃)	20%以下	5	120	1,990	2,000	3,250	7,240	25・ 25,000千円
	15%以下	7	90	2,780	2,000	4,330	9,110	
燻煙式 (60-90℃)	20%以下	14	400	2,780	2,000	350	5,130	200・ 100,000千円
	15%以下	16	350	3,170	2,000	400	5,570	
蒸煮減圧前処理と天然乾燥および仕上げ組み合わせ (蒸煮120℃) (仕上げ70-80℃)	20%以下	前処理 0.5 天乾 30 仕上げ 4	340	2,610	2,800	1,890	7,300	15・ 40,000千円 30・×2 40,000千円
	15%以下	前処理 0.5 天乾 30 仕上げ 6	240	3,700	2,800	2,410	8,910	
蒸気・高周波加熱複合 (80-90℃)	20%以下	3	140	2,780	2,000	3,790	8,570	20・ 35,000千円
	15%以下	4	110	3,540	2,000	4,820	10,360	
高周波加熱・真空式 (50-60℃)	20%以下	3	100	4,440	1,500	10,700	16,640	14・ 40,000千円
	15%以下	3.5	85	5,220	1,500	12,310	19,030	

(注) 乾燥材：仕上げ10.5cm角、3m柱材、初期含水率100%  
 設備費：償却期間9年、維持費償却費の20%  
 人件費：棧積み降ろし、フォークリフト、操作管理  
 燃料費：灯油45円/ℓ、電氣20円/kwh、木屑3000円/ton

一な含水率への仕上げ、品質評価が課題である。

### (3) 高周波・熱風複合乾燥法

蒸気加熱に加えて高周波の印加による内部加熱を組み合わせ、木材内部の乾燥を促進し、蒸気式乾燥と比較して短時間で乾燥できる技術が実用化されている。柱材を 80～90℃で、5 日程度をかけ、材内の含水率を均一に上げることができる。平角材等の断面の大きな材の乾燥に適すると考えられるが、初期条件によるスケジュールの検討がさらに必要である。また、極板を必要とするため、棧積み方法に新たな技術が要る。

### (4) 高周波加熱式減圧乾燥法

高周波加熱式減圧乾燥法は他の乾燥方法にくらべ乾燥時間を大幅に短縮し、損傷の発生も少なくすることができるが、装置が高額で電気消費量が多く、乾燥経費が高くなる。透過性を高めるための前処理や高周波発振機の改良が進んでいるが、さらに天然乾燥と組み合わせることなどにより、一般材の乾燥に利用するためのシステム化が課題である。

### (5) 前処理との組み合わせ乾燥法

高温の飽和蒸気による加熱処理と減圧操作を組み合わせた蒸煮・減圧処理装置によって前処理を施し、屋外に放置したあと、蒸気式乾燥で仕上げる方法がある。放置時間が長いことが難点であるが、スギの平角材など、一般の方法ではコストがかかる材種に適している。蒸煮減圧-天乾-蒸気式乾燥に限らず、様々な組み合わせが考えられ、効率的なシステム化のための検討が行われ

ている。

### (6) その他

高温のパラフィン中で加熱する液相乾燥装置や加圧容器を用いた過熱蒸気式乾燥など、特殊な木材乾燥方法も開発されている。いずれの方式も、高温処理のため、早く乾燥できるという利点はあるものの、材内部に割れが生じやすいことと、処理時間によっては強度低下の恐れがあるという問題点もある。また、マイクロ波加熱による木材乾燥機も開発されており、丸太および製材乾燥のシステム化が行われている。

## 3. スギ乾燥材生産をさらに効率化するために

スギは次のような課題や問題点を抱えている。

①将来とも原木の径級・形質がばらつき、しかも葉枯らし材を含めて伐出期間の相違によって、一定形質・水分状態の丸太供給が難しい。

②スギ材は生材含水率のばらつきが大きく、コスト低減のため時間短縮すれば、仕上がり含水率を整えることが難しくなる。

③断面が大きい製材では調湿処理に時間がかかるため、乾燥スケジュールのみで仕上げ含水率を整えることが困難である。

④初期含水率が高いため、単一の方法によるコストの低減に限界がある。

⑤住宅市場での品質要求が多様化し、材種の多様化と品質要求に対応しなければならない。

すなわち、乾燥の効率を上げながら、品質管理をも同時に実現するためには、個々

の乾燥処理技術の向上もさることながら、丸太選別、製材選別、組み合わせ乾燥処理、供給システムに対応した品質管理が不可欠であることを示している。このため、原木丸太の評価選別から製材、乾燥、出荷までのトータルプロセスとしての木材乾燥システムをつくる必要があるとあり、本乾燥技術に加えて乾燥前後に付随する工程を含めて、それらの連携と効率化のための技術開発を同時に進めることが重要である。そのための技術的課題を図 1 に示し、主要なプロセスでの課題を以下に示している。

### (1) 乾燥効率化のための原木および製材の選別技術

スギ材の生材含水率はばらつきが大きいいため、乾燥前に重量や心材色等によって選別し、グループごとに乾燥条件を変えるなどすることが、不良材の発生や個体間の仕上りのばらつきを減らすことができる。重量選別を導入する工場も増えてきたが、さらに容易で的確な選別技術の開発がスギ乾燥の効率化には不可欠である。また将来は、含水率や比重、さらには最終的な製材用途を勘案し、乾燥の効率性をふまえた原木品質の選別技術も役立つものとおもわれる。選別工程導入の可否とその効果は、工場生産の規模と乾燥施設の容量や方法・スケジュール、さらには乾燥日数によって異なるため、適切な規模と施設のプランニングが課題になる。

### (2) 乾燥過程のモニタリング技術

高温乾燥や圧力容器を活用した乾燥方法においては、乾燥過程での水分状態や応力状態を把握することが、乾燥機を適正に制

御し乾燥仕上がり向上させるために必要である。また、乾燥終了の含水率決定は、仕上がり含水率の適正化と消費エネルギーに直接関わっている。ロードセルや電気抵抗式の水分センサーを使った制御方法が開発されているが、あらゆる乾燥条件下に対応できるには至っていない。

### (3) 欠点低減と時間短縮のための前処理技術

#### ①人工乾燥の前処理

乾燥による割れや曲がり等を低減し、乾燥歩留まりの向上をはかるためには、適正な本乾燥操作に加え、材質や含水率の状態にあった適切な前処理技術や棧積み方法が必要である。蒸煮処理、過熱蒸気処理、水蒸気爆砕処理に見られるように、乾燥前的高温高湿の蒸気処理が割れの低減やヤニ処理には有効である。背割りやインサイジング、孔あけ等の加工技術も、乾燥の効率性と製品の付加価値向上に役立つ場合もある。また、コスト低減のためには天然乾燥等による予備的な乾燥も本乾燥前の含水率調整方法として活用できる。いずれの技術も、本乾燥における効率性の向上とその仕上がり向上につながらなければ意味がなく、連携を保つための適切なシステムの構築が必要である。

#### ②天然乾燥の前処理

コスト低減のための乾燥時間の短縮を目的とせず、省エネ型の天然乾燥を活用するためには、乾燥によって生じる割れの低減が大きな課題となる。割れ低減のためには熱処理が有効であり、過熱蒸気処理、蒸煮減圧処理、高温低湿処理等の前処理として

活用方法が検討されている。

#### (4) 乾燥の高速化技術

スギの心材含水率は高い場合があり、一般に心持ち柱材などの内部含水率は他樹種よりも高い。また、含水率の個体間のばらつきも大きい。外部加熱方式によれば、材間および材内に大きな乾燥時間の違いが生じやすく、心持ち柱材であるため割れなく乾燥することが困難である。とくに梁桁材等の断面の大きな材を乾燥するには、生産目的によって乾燥時間や割れ等の欠点の制御、ひいてはコスト低減に技術的な限界をきたす場合もある。したがって、最近では、乾燥時間の短縮と仕上がり向上を目的として高周波加熱・減圧法や蒸気高周波複合乾

燥法など水分の誘電加熱に基づいた内部加熱を用いたものや、蒸煮減圧などの加熱による内部蒸気圧の変化と減圧による外部圧力の制御とに基づいた乾燥方法についても検討が進められている。

#### (5) 乾燥材の品質管理のための水分測定

乾燥材の強度や含水率を測定することによって、品質を明らかにした乾燥材の供給が不可欠となりつつある。使用時の寸法精度や強度性能を確実に保証するためには、含水率と強度とが的確に測定できることが前提条件になる。木材の含水率を正確に測定するには全乾法によるのが基本であるが、乾燥材生産の現場では、全乾法の適用は困難である。したがって、全乾法に換わる簡

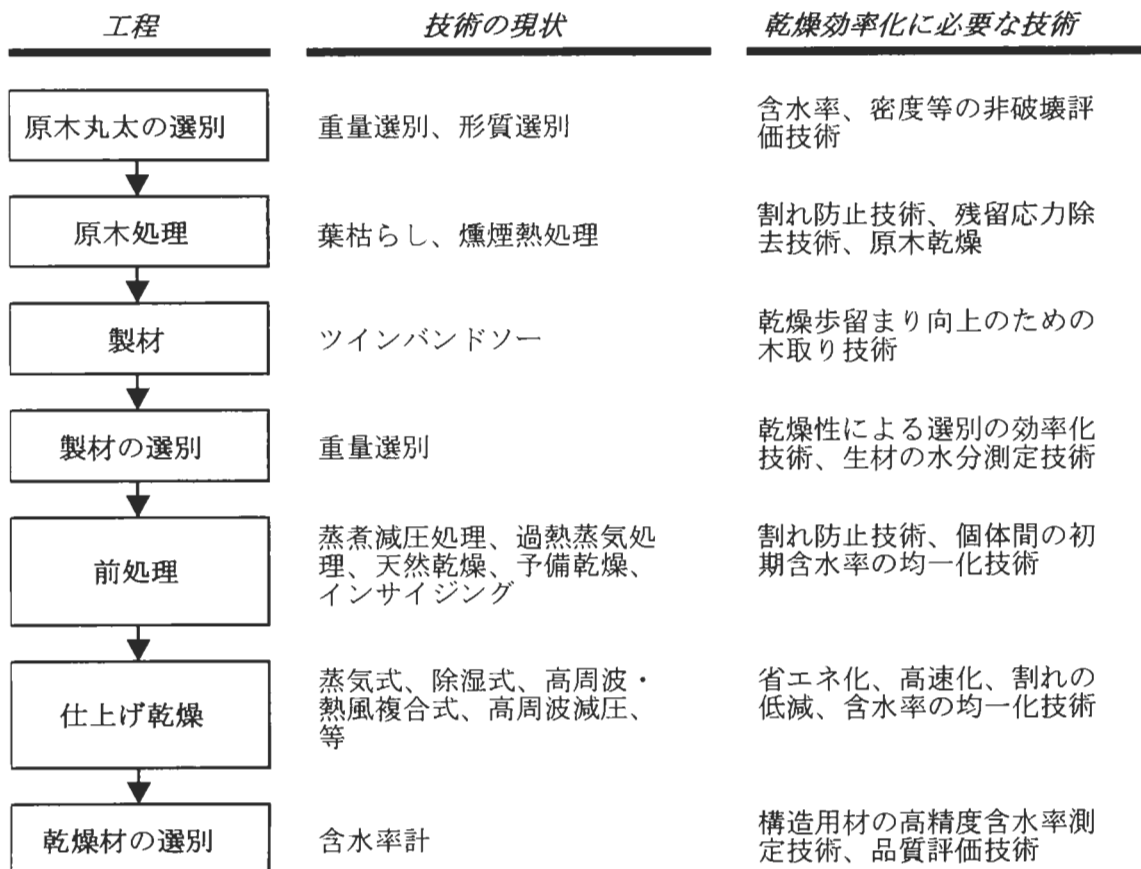


図1 スギ乾燥材生産のための工程と効率化への課題

易な測定手段として精度の高い含水率計が必要となる。既に製材用の含水率計には、汎用性と簡便性を追求した携帯型のものと大型の据え付け型の含水率計が開発されており、いずれも一定条件の下では精度を保証できるものである。しかしながら、現場では固体間の密度のばらつきや測定条件の相違が誤差につながる場合が多いため、含水率計の測定精度の向上がなお課題として残されている。

### まとめ

住宅に性能保証が求められる時代にあつて、乾燥材への品質要求は高い。これに対応するためには乾燥の効率化と適正な含水率管理を行うことによって、木造住宅建築における需要に即した製品を提供することが必要である。そのためには、伐採から工場出荷にいたる乾燥材生産の効率的な流れを構築する必要がある。求められる品質に応じた乾燥方法の適正化とこれを可能にする技術的・科学的な裏付けが、低コスト化とともに重要である。

## Ⅱ.内部水分・材質変動

林木育種センター 中田 了五

### 1.前提

「水分分布・材質変動」というテーマはとても重い。範囲を「樹幹内の水分分布」と限ってもよくわかっていないことも多く、限られたスペースで全てを論じることは不可能である。本稿ではいくつかの前提をおいて、限定した範囲について考察することとしたい。

水分分布については、伐採前の生きて立っている樹木の樹幹に存在する水を考察の対象とする。実際には、生きている樹木中の水を生きたまま測るのは難しいので、伐採直後の樹幹から急いで採取した試料の水分状態、すなわち生材含水率とか生材における水分分布を考察の対象とする。なお、「生材」状態といった場合、伐採から幾分時間が経過し幾分乾いた状態を指すこともあるが、本稿では伐採直後の状態を指し、この生材状態は樹体内の水に関しては生立木時と同じとみなすこととする。

針葉樹のみを扱うことにする。針葉樹では、仮道管によって樹幹の二次木部の主たる二つの機能（樹体の支持と水分の通導）の両方が同時に担われている。同じ機能を果たすために道管と木部繊維の二種類の細胞を分化させている広葉樹（例外あり）とは異なっている。針葉樹の二次木部を構成する細胞のうち 90-95%が仮道管である。乾燥を行う過程においては放射組織内に存在する水や水の移動経路としての放射組織は

重要であろうが、生きている針葉樹の樹幹にある水としては仮道管内腔の自由水だけを考えても差しつかえないとおもわれる。よって以降は主として仮道管内腔の自由水の量および分布を考察することとする。

本稿では以下の二種類の含水率を用いて考察をすすめる。

$$MC = (Wu - Wd) / Wd * 100$$

(MC は乾重ベースの生材含水率 (%), Wu は水を含んだ木材重量 (生重)、Wd は木材の絶乾重)

$$MS = MC / Mmax$$

(MS は飽水時含水率にたいする生材含水率の比 (%), Mmax は飽水時の乾重ベースの含水率)

ただし、MC は木材の材質分野において広く一般に用いられている含水率であるので、以下とくに断りのない限り、含水率といえば MC を指すこととする。

### 2.どれくらいの水を含んでいるのか？

表 1 は様々な樹種についてその含水率を示したものである (矢沢 1964)。針葉樹では辺材と心材で含水率は大きく違い、端的に言えば辺材では飽水状態からやや少ない水分量、心材では繊維飽和点をやや上回る水分を含んでいる。飽水状態は木材に含まれる空隙がすべて水で占められている状態であり、木材の真密度が樹種を問わずほぼ約  $1.5\text{g/cm}^3$  と一定であるため、木材中の空

表 1. 針葉樹の生材含水率

(矢沢 1964 を改変)

和名	学名	生材含水率 (%)	
		辺材	心材
ヒバ	<i>Thujopsis dolabrata</i> var. <i>hondae</i>	154.9	30.5
ヒノキ	<i>Chamaecyparis</i> <i>obtusa</i>	153.3	33.5
アカマツ	<i>Pinus densiflora</i>	173.3	33.7
サワラ	<i>Chamaecyparis</i> <i>pisifera</i>	154.5	38.3
エゾマツ	<i>Picea jezoensis</i>	169.1	40.6
カラマツ	<i>Larix kaempferi</i>	127.5	40.8
ネズコ	<i>Thuja japonica</i>	208.6	56.9
モミ	<i>Abies firma</i>	170.3	60.1
スギ (赤心)	<i>Cryptomeria</i> <i>japonica</i>	165.1	72.4
トドマツ	<i>Abies sachaliensis</i>	211.9	76.1
スギ (黒心)	<i>Cryptomeria</i> <i>japonica</i>	148.0	113.1

隙率は密度に反比例することとなり、飽水含水率と密度は反比例関係にある。一方、繊維飽和点は樹種を問わず約 28%であり、結合水の絶対量は木材実質の絶対量と平行になる。言い換えると単位体積あたりの結合水の量は材の密度に比例する。

多くの樹種において心材と辺材の間に移行材が認められる。移行材は心材色を呈さない低含水率部分である。針葉樹では心材化にともなって（あるいは先だって）仮道管内腔より自由水が消失し低含水率となつて、他の心材化現象とともに心材の特徴を呈する。ところが樹種によっては、低いはずの心材含水率が低くない場合もある。例えばスギやトドマツを表 1 から挙げるができる。この場合も移行材は観察されるので、心材化にともなって一度仮道管内腔から水が消失した後に、再び内腔に侵入したものが心材に存在する水であると考えられる。心材で含水率が高くなる状態や現象

を水食い材とか高含水率心材などと呼ぶ。英語ではこれらは wetwood と呼ばれる。本稿では、心材に水が再浸入して、「心材は乾いている」という状態から明らかに逸脱した（すなわち含水率が高い）状態およびその現象を wetwood という語で統一して用いる。

wetwood はあまり見られない樹種とよく発達する樹種がある。ヒノキやカラマツではあまり聞かないが、スギでは頻発している。他の樹種ではモミ属、ヘムロック、五葉松類などではよく wetwood が観察される

(Hartley et al. 1961, Ward and Pong 1980, Ward and Zeikus 1980)。種の特徴と言ってもよいだろう。そこで、針葉樹の樹幹内水分分布を考察する場合は、wetwood を持たない樹種と持つ樹種に大別して考えることとする。しかし、筆者自身もヒノキやカラマツで wetwood を観察しており、wetwood を持たない樹種といっても、絶対にならないというわけではない。

wetwood を持たない樹種では、辺材では水がたくさん、心材では少しと考えれば良いだろう。辺材については、MS で 90-95% の水分をもち、MC は密度に依存して変化する（三輪 1991、中田 et al. 1998）。容積密度  $0.3\text{g/cm}^3$  で  $\text{MC}=\text{約 } 250\%$ 、 $0.5\text{g/cm}^3$  で  $\text{MC}=\text{約 } 125\%$ になる。ただし、樹木個体の生育環境によって、あるいは様々な傷害によって辺材の含水率が顕著に低くなることがある（中田 et al. 1998）。心材については、MC が 30-50%であり繊維飽和点を少しこえるくらいの水をもち、心材化にともなって仮道管内腔より自由水は消失するが、この

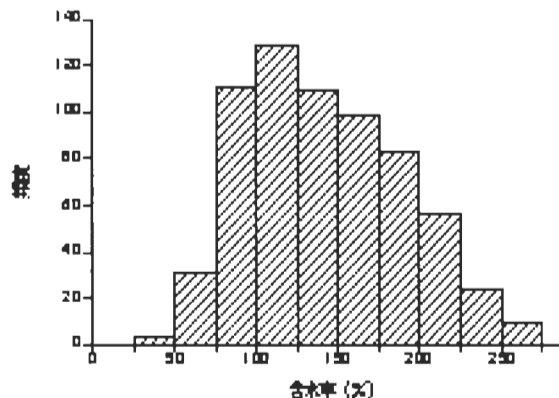


図1.スギの心材含水率の個体間変異

際結合水は細胞壁から消失することはないと解釈するのが妥当であろう。

wetwood を持つ樹種でも、辺材については wetwood を持たない樹種と同様である。一方、心材では物事が複雑になってしまう。図1は657個体のスギの地上高2m付近の心材含水率の頻度分布である。このように、心材の含水率は見事にバラバラである。図1のデータが示しているスギの心材含水率のレンジは、想像しうる全て、すなわち繊維飽和点をやや超える程度から飽水状態のちょっと手前までである。図1の通り、含水率のばらつきは一山型で連続的である。よく「スギには心材含水率が高いもの（≡黒心）と低いもの（≡赤心）の二種類ある」ということをいうが、この意見は成り立たないようだ。一言でいうならば、スギの心材含水率はバラバラである。他の樹種については、例えばトドマツの心材含水率のレンジは密度を考慮してもスギほど大きくなく（飯塚 et al. 2000）、スギは非常に極端な樹種であるとも考えることもできるかもしれない。しかし、筆者の観察ではモミで心材のMSが95%程度のものもあり、他の樹種でもスギのような極端な例が認められ

る可能性も大きい。

### 3.水はどんな分布をしているのか？

このセクションと次のセクションでは主に筆者らが詳しく研究したスギでの結果（中田 et al. 1998、Nakada et al. 1999a,b, submitted）を述べるが、筆者は他の樹種でも程度の多少はあれ同じようなことが起きていると考えている。

生材状態の試料を軟 X 線撮影すると水の分布がよくわかる（図2）。辺材では水はほとんど均一に分布しており、たまに小面積の脱水部が散見される。この小規模の脱水部の存在が、MSが100%にならない主たる原因であると考えられる。環境条件で辺材において脱水が大規模になった場合は含水率が低くなり、軟 X 線観察でも水のない部分の面積が増大する。例えばつるによる被害があるとその部分では極端な脱水が観察され、含水率は下がる。心材では一般に水は偏在しており、水がある部分とない部分が見分けられる。心材の水分分布のパターンは水がある部分が心材中でどのように広がっているかを観察すると把握しやすい。しかし、その分布は個体間で様々であり、

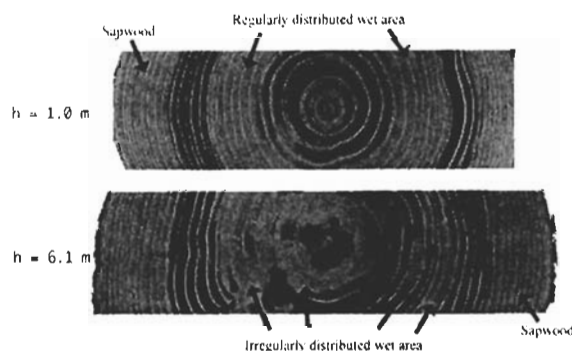


図2.スギ生材の軟 X 線写真

スギ一般に適応できるような一定の傾向は認められない。分布を記述するために筆者らは軟 X 線法を用いて多数の個体からの多数の試料について樹幹横断面での水分分布とその樹高方向での変動を詳しく調べ、以下の結論に達した。

a) 水がある部分は髄を中心として対称的に規則的に分布する場合 (regularly distributed wet area) と、不規則に分布する場合 (irregularly distributed wet area) があり、その2種類が同時に出現することも多い。

b) 同一樹幹内であっても試料採取高が異なると横断面の水分分布はまったく違う。例えば、胸高部では心材全体がほぼ飽水状態に近い程度になっているのに地上高 4m ではほとんど乾いている場合もある。

c) 遺伝的に近縁な個体同士を比較すると個体内での水分分布パターンは似かよっている。とくに regularly distributed wet area のみを観察して比較するとこの傾向は顕著である。

d) irregularly distributed wet area は樹幹内のどこにでも出現するが、樹幹上部の方が出現頻度が高い。

このようにスギでは個体内の水分分布の変動も非常に大きい。他の樹種でも例えばトドマツなどで水食い材部と正常材を見分けることができるとされている。wetwood を持つ樹種では水がある部分とない部分があって、それらの分布が心材の平均含水率を左右する。水がある部分になぜ水が存在しているのかを調べれば wetwood をもつ樹種の心材の水分分布を理解できそうである。しかし、現時点で断言できることは、

wetwood をもつ樹種の心材の水分分布は個体内でも変動が非常に大きい、ということだけである。

#### 4.水分分布を決める要因はなにか？

wetwood をもたない樹種については、心材と辺材の違いが水分分布を決める要因である。心材化にともなって仮道管内腔の自由水は消失するので、乾燥するべき水分量を考える場合には心材と辺材の割合と辺材の密度 (含水率を規定する) だけを考慮すれば良いことになる。ここで注意すべきなのは、人工造林木は天然林生にくらべ成長がはるかに優れるため、年輪幅が顕著に増加して全体としては密度が低下している場合が多い点である。密度が低下した場合、例えば表 1 などの古いデータにくらべて MC は高くなる。

wetwood をもつ樹種については、wetwood ができる原因はまだよくわからない。いくつかの説があり、それぞれ魅力的である。本稿ではスペースの関係上これらの説を詳しく論じることはしないが、これまでの研究によっておおむね正しいと考えられることを以下に記す。

1) 遺伝的に近縁なものは心材の水分分布が似かよっている。

2) 水分条件がよいところ (例えば沢筋) に生育した木は心材に水分を集積しやすく、逆に水分条件が悪いところ (例えば尾根筋) に生育した木は心材が乾いているときが多い。しかし、沢筋に生育していても wetwood をもたない個体や、尾根筋にあっても wetwood が発達した個体が存在する。

3) 自然落枝または枝打跡、あるいは根の傷害部などから侵入したバクテリアあるいは菌の存在によって、心材に水分を集積する可能性がある。この事実については別の解釈も可能である。すなわち、傷害や腐朽菌の侵入に対する樹木のリアクションとして心材に水を集積する、とも考えられる。これを二次的な要因によって形成された wetwood と呼ぶ。

これらの結果から3つの仮説を立てた。

仮説 1：遺伝的に心材に水分を集積させる個体（○型）、遺伝的に心材に水分を集積できない個体（×型）、遺伝的には心材に水分を集積することもしないことも可能な個体（△型）の3種類があり、○型はどこにうえても心材含水率は高く、×型はどこにうえても含水率は低く、△型はその個体の水分条件で含水率が高くなったり低くなったりする。

仮説 2：個体内で水分分布が変動する原因は、水分分布を制御する原因形質が存在し、その原因形質が個体内で変動しているからである。この原因形質はまだ特定されていない。

仮説 3：regularly distributed wet area は遺伝的にできるだけしてできた wetwood であり、irregularly distributed wet area は二次的な要因によって形成された wetwood である。二次的な要因による wetwood の形成にも個体間での遺伝的な差が関与している（この場合はバクテリア等に対する抵抗性あるいは傷害等に対する反応性の遺伝的な差が存在すると考えられる）。

以上の仮説が正しいとすれば、これまで

数多くの研究が行なわれているのにも関わらず、wetwood の成因がよくわからないことを説明できる。バラツキを生じさせる要因が複雑にからみ合っているため整理不能になってしまっていたのである。上記の仮説に基づいて現象を整理して、その上で研究を進めていけば、wetwood の成因を明らかにできると考えている。

## 5. その他乾燥に関わる（関わりそうな） 「材質」形質

乾燥に関わりそうな解剖学的形質、あるいは「材質」形質をリストしてみる。

壁孔の閉鎖/開放、壁孔壁上の堆積物、壁厚、分野壁孔壁や放射組織細胞壁の構造等は自由水の移動に関与するであろう。最近流行の兆しをみせているもう少しマクロな視点からの水の移動経路の研究、例えば液体の移動速度の早晚材間での違いや、生きている樹木内での水の移動の研究も注目した方がよいかもしれない。結合水の移動には、密度（乾燥すべき水の絶対量を規定する）、細胞サイズや壁厚や壁層構成（細胞壁は結合水の移動経路であり移動効率を規定するだろう）が関与する。さらに乾燥による副産物である収縮と材の変形について、収縮率とその個体内変動、あて材、繊維傾斜などが重要な因子である。また収縮率に関与する密度とマイクロフィブリル傾角とその相互関係も挙げることができる。

以上、様々ないわゆる材質形質が乾燥に影響する因子として考えられる。本稿ではおのおのについてはリストするだけにとどめるが、リストした全ての形質は個体内で

も個体間でも種間でもバラツイている。林木の材質の研究というものは一面バラツキの研究でもある。バラツキをもつのが当然の材料を「乾燥」しようという場合、バラツキを把握することは不可欠なのかもしれない。

おそらく乾燥にも関係する材質に関する最近の（ただし筆者が個人的に考える）トピックを紹介する。

図3はスギのマイクロフィブリル傾角が大きい部分が個体内でどのように分布しているかを示したものである（Hirakawa et al. 1998）。従来主に仮道管長で定義されることの多かった「未成熟材」の個体内分布とは大きく違い、マイクロフィブリル傾角が大きい部分は樹幹下方では三角錐になっている。すなわち、マイクロフィブリル傾角は樹幹の下方で樹高方向に激変するのである。この傾向は他の形質でも認められており、ヤング係数や密度なども樹幹下方では個体内の変動が大きい。この材質変動の大きい「樹幹下方」とは4m採材時の一番玉とだいた

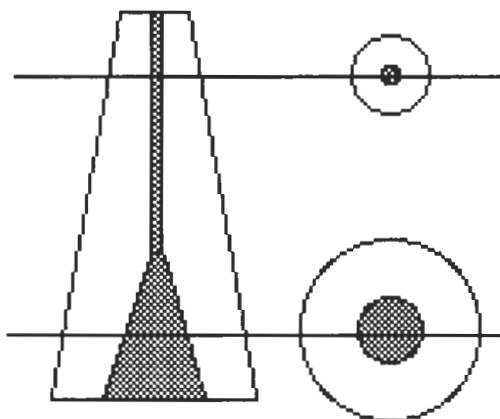


図3.スギのマイクロフィブリル傾角が大きい部分（網線部）の樹幹内分布（Hirakawa et al. 1998 を改変）

い一致する。心材水分の分布でもこの一番玉の範囲は激変地帯で、多くの個体で地上

高1m付近と4m付近では水分分布が大きく違うことが確認された。この一番玉の範囲はスギ以外の樹種でも材質の変動が大きいことが最近明らかになってきている。ある人はこの事実から一番玉は構造材用には使わない方がいいのではないかとっているほどである。

## 6.おわりに

針葉樹の樹幹内の水分分布について、現時点で明らかになっていることを簡単にまとめると、

1.wetwood をもたない樹種は、辺材には水がたくさんあり、心材には少しだけある。

2.wetwood をもつ樹種では、心材では個体間でも個体内でも水分分布はバラバラである。

3.wetwood をもつ樹種では、心材の水分量を遺伝的にコントロールできそうである。

ということになり、要は昔からいわれていることとたいして変わりがない。せいぜい以前よりも話の内容が少し整理されつつあるのがましなくらいである。wetwood をもつ樹種については遺伝的な心材水分のコントロールは有望であるが、これからしばらく供給される原木（すなわち現在森林を構成している木）については遺伝的改良は不可能であるので、現時点での乾燥を考える上ではまったく役にたたない。しかし、樹木個体間の遺伝的な差が水分分布のバラツキに大きく関与していることは理解する必要がある。

筆者は育種に携わっている（あるいは育種をやっている機関に所属している）のだ

が、この立場から「乾燥」に携わる方々への質問がある。この質問を本稿の締めくくりとしたい。

Q: 将来をめざして、wetwood をもつ樹種の心材水分の遺伝的改良を行いたい。改良目標を設定したいが次の案のうちどれがいいか? なお、スギなどについてはMC=50%などの wetwood をもたない樹種なみの心材含水率への改良は実現不可能であるとおもっていただきたい。

案 1: なるべく水分量が少ないのがいい。この場合 MC で 50-120% くらいの変動は許容する。

案 2: 量は多くても少なくてもいいからとにかく全体の変動を小さくしてほしい。MC の最小値と最大値の差は 40% 以下でないと困る。

案 3: 多いのも少ないのもあっていいけど、ロット毎にどれくらいの含水率なのかわかればいい。造林、素材生産、流通段階で手間が増える分の素材価格の上昇は許容する。

## 引用文献

Hartley C, Davidson RW, Crandall BS (1961) Wetwood, bacteria, and increased pH in trees. USDA Forest Service FPL Report 2215. 36pp.

Hirakawa Y, Yamashita K, Fujisawa Y, Nakada R, Kijitani Y (1998) The effects of S2 microfibril angles and density on MOE in sugi tree logs. In Butterfield BG ed. Microfibril Angle in Wood. Univ of Canterbury, Christchurch: 312-322.

飯塚和也、織部雄一郎、生方正俊 (2000) トドマツ精英樹クローンの生材含水率の変異。

木材学会誌 46 (5) : 397-405.

三輪雄四郎 (1991) 生材含水率. In 日本木材学会研究分科会報告書「木材の科学と利用技術 II 5. スギ」: 10-13.

中田了五、藤澤義武、平川泰彦、山下香菜 (1998) スギの生材含水率の個体内樹高方向での変化. 木材学会誌 44 (6) : 395-402.

Nakada R, Fujisawa Y, Hirakawa Y. (1999a) Soft X-ray observation of water distribution in the stem of *Cryptomeria japonica* D. Don I. General description of water distribution. J Wood Sci 45(3): 188-193.

Nakada R, Fujisawa Y, Hirakawa Y. (1999b) Soft X-ray observation of water distribution in the stem of *Cryptomeria japonica* D. Don II. Types found in wet-area distribution patterns in transverse sections of the stem. J Wood Sci 45(3): 194-199.

Nakada R, Fujisawa Y, Yamashita K, Hirakawa Y. (submitted) Soft X-ray observation of water distribution in the stem of *Cryptomeria japonica* D. Don III. Changes in the distribution of wet areas in heartwood along stem axes..

Ward JC, Pong WY (1980) Wetwood in trees: a timber resource problem. USDA Forest Service General Technical Report PNW 112. 56pp.

Ward JC, Pong WY (1980) Bacteriological, chemical and physical properties of wetwood in living trees. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft 131: 133-165.

矢沢亀吉 (1964) 樹幹内での含水率の分布. 北方林業 187: 309-314.

### Ⅲ.水分・温度依存性—過熱水蒸気下での乾燥過程で生じる収縮応力—

京都大学木質科学研究所 師岡淳郎、程 万里

#### [はじめに]

一般に木材の乾燥過程では、横方向、とりわけ接線方向に大きな収縮を生じる。この変形を拘束すると、大きな引張応力が発生し、それにより、割れ、狂い、ねじれ等を生じる。最近、100℃を越える温度域での、湿潤木材のレオロジー特性が明らかに成りつつあり、飽和水蒸気下における木材の横方向応力緩和の測定で、温度が120℃以上になると、応力緩和は初期段階だけに留まらず、時間とともに急激に進行し、残存応力が0に至ることがわかってきた<sup>1)</sup>。このことから、100℃を越える領域で、過熱水蒸気雰囲気中で木材を乾燥すると、収縮にともなう内部応力を有効に除去できる可能性がある<sup>2,3)</sup>。本節では、100℃以上での過熱水蒸気雰囲気での乾燥を試み、乾燥過程で収縮変形を拘束することにより発生する引張応力について、温度および過熱水蒸気の効果をも100℃以下あるいは低湿度での乾燥と比較して述べる。

#### [過熱水蒸気下での測定]

過熱蒸気下での測定には、従来用いていた、飽和水蒸気下での試験装置<sup>4)</sup>を改良して、温度120~180℃、水蒸気圧0~10kg/cm<sup>2</sup>(ゲージ圧)の雰囲気での測定が可能な装

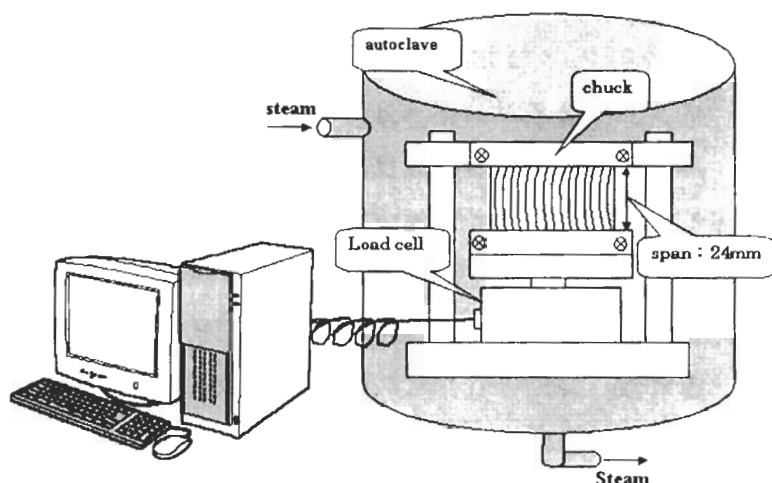


Fig.1 収縮応力測定装置模式図

置を得た。この装置の釜内部に高温・高圧水蒸気下で測定可能なロードセルを配し、試料の収縮変形を拘束して、過熱水蒸気下での乾燥過程で横方向収縮応力を測定した。Fig.1 に、圧力釜内での収縮応力測定装置の模式図を示す。

Fig.1 に示すロードセルが、高温・高圧雰囲気中で正しく作動することを確認するため

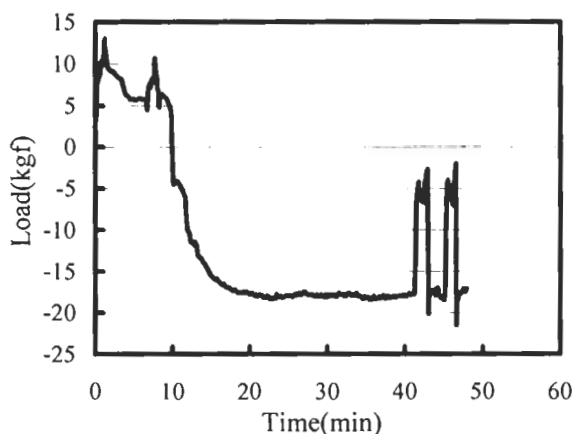


Fig.2 ロードセル検出値の変化

に、ロードセルの環境を常温、常圧から 170°C、水蒸気圧、7.8kg/cm<sup>2</sup>（ゲージ圧）の雰囲気中に短時間で変化させたときのみかけの荷重変動を Fig.2 に示す。

荷重は最初の 20 分間、大きく変動するが、その後、安定し、ほぼ一定値に留まることがわかる。さらに、40 分後に水蒸気圧を 2 回、0↔7.8 kg/cm<sup>2</sup> と変化させたとき、ほぼ所定の荷重値が得られたことから、このロードセルは高温・高圧雰囲気中使用可能であると判断した。

また、常圧下での測定は Fig.1 に示すジグ+ロードセルを環境試験装置内に設置して行った。

なお、乾燥実験には、スギ心材部から得た、寸法 65mm（R）x 50mm（T）x 10mm（L）（接線方向用）、50mm（R）x 65mm（T）x 10mm（L）（放射方向用）の飽水状態試料を用いた。

**[100°C以下、あるいは相対湿度 0%での乾燥にともなう収縮応力]**

Fig.3 に、温度 80°C、相対湿度 0~80%の

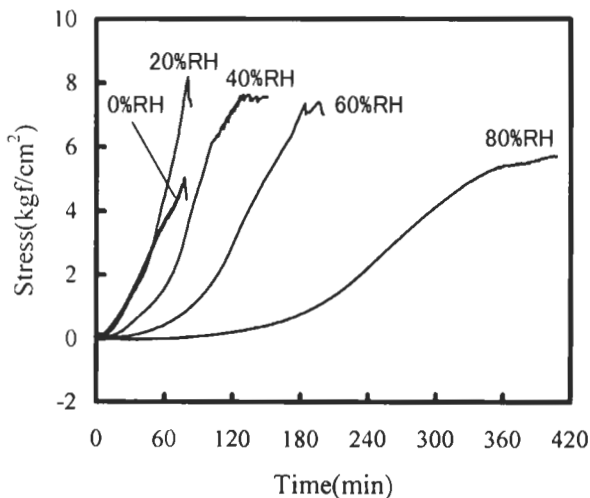


Fig.3 収縮応力-時間曲線 (80C)

各雰囲気中で乾燥したときの R 方向収縮応力の時間変化を示す。相対湿度が低いほど、乾燥速度は速く、早い時期から大きな収縮応力が現れ、収縮応力-時間曲線は、相対湿度によって大きく異なる。しかし、乾燥にともなう試料に大きな割れが観察され、応力上昇が停止する応力（以下で最大収縮応力と呼ぶ）は、相対湿度によらず比較的近い値をとるようにみえる。Fig.4 に、Fig.3と同じ条件で乾燥した試料についての R 方向収縮応力の含水率による変化を示す。相対湿度が低いグループ（0, 20, 40%RH）での乾燥では、乾燥初期から収縮応力を生じ、含水率 60%以下で、含水率の低下につれて、収縮応力は急増した。一方、高い相対湿度のグループ（60, 80%RH）については、含水率 40%付近まで、収縮応力は生じない。しかし、それ以下の含水率域において、収縮応力は、含水率の低下とともに、低相対湿度グループの場合と同様に急増した。また、同じ含水率で比較すると、相対湿度の高いグループの収縮応力は低いグループのそれより低い値となるが、含水率が十分に

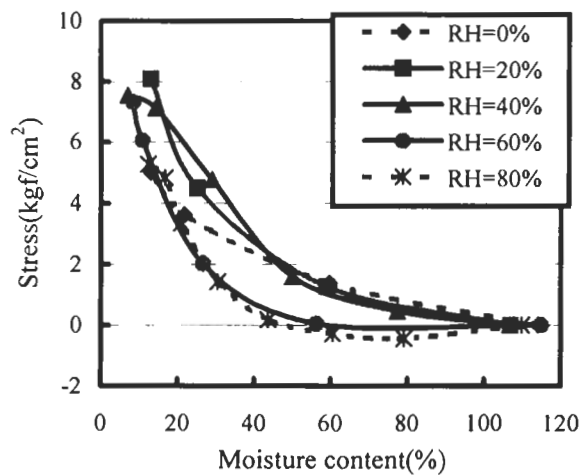


Fig.4 収縮応力-含水率曲線 (80C)

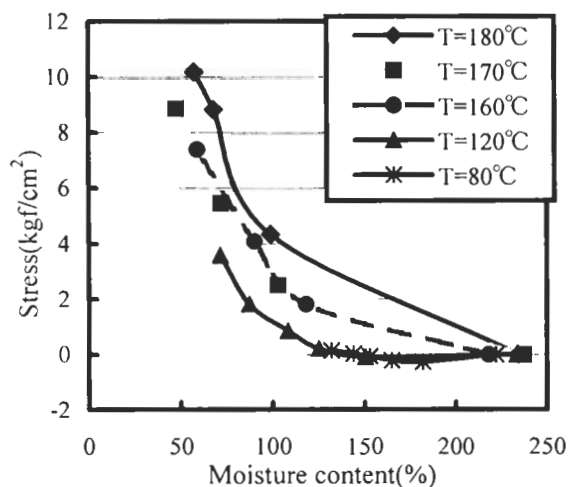


Fig.5 収縮応力-含水率曲線(0%RH)

低くなる、乾燥の最終段階での応力、即ち、最大収縮応力は、相対湿度に関わらず、同程度の大きな値 (8kg/cm<sup>2</sup>) となった。これと類似の結果が T 方向についても観察された。

100°C以上であっても、相対湿度 0%での乾燥では、乾燥速度に応じて、上と類似した収縮応力-含水率曲線が観察された。Fig.5 に、相対湿度を 0%とし、80°C~180°Cの各温度で乾燥した場合の R 方向収縮応力の含水率変化を示す。乾燥温度が高いほど、同じ含水率でくらべると、高い収縮応力を生じる。また、含水率 100%付近から、含水率の減少とともに、収縮応力は急増し、乾燥の最終段階では、どの温度の場合も大きな値に向かうことがわかる。

このように、100°C以下、あるいは相対湿度が低い条件での乾燥では 100°C以上であっても、乾燥雰囲気によらず、低含水率域で大きな収縮応力が観測された。しかし、温度 100°C以上で高い相対湿度雰囲気乾燥すると、これと事情が異なる可能性がある。

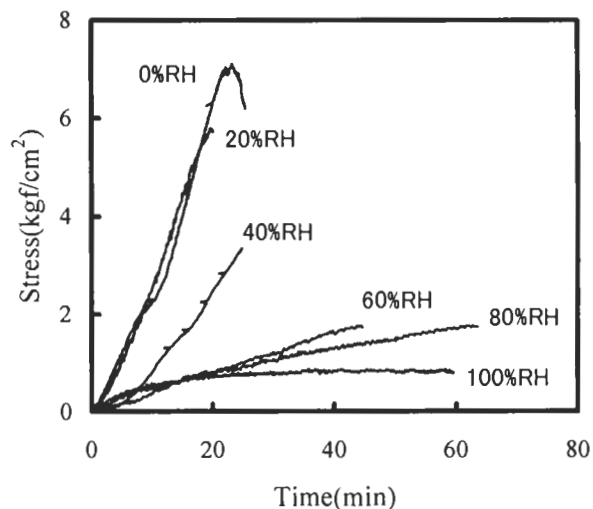


Fig.6 収縮応力-時間曲線(180C)

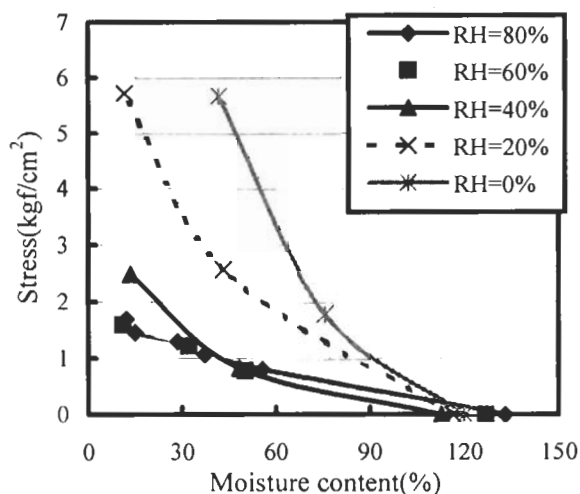


Fig.7 収縮応力-含水率曲線(180C)

#### [100°C以上での乾燥にともなう収縮応力]

Fig.6 に、温度 180°C、相対湿度 0~80%の各雰囲気乾燥した場合に試料に生じる R 方向収縮応力の時間変化を示す。同じ図に相対湿度 100%に放置した場合の結果も示してある。0%RH および 20%RH の場合には乾燥速度が大きく、収縮応力は時間とともに急増し、最大収縮応力は 7kg/cm<sup>2</sup>程度に達する。しかし、相対湿度の増加とともに収縮応力は低下し、60RH、80%RH の場合には、長時間経た後も、応力上昇は認め

られなかった。これと類似の結果が T 方向についても観察された。

乾燥の進行にも関わらず、収縮応力の上昇が抑制される状況は、収縮応力の含水率変化に端的に現れる。Fig.7 に、Fig.5 と同じ条件で乾燥した場合の R 方向についての結果を示す。0, 20%RH の場合、含水率の低下とともに、収縮応力は大きく増加し、どちらについても最大収縮応力は大きい値 (6kg/cm<sup>2</sup>) を示した。この、二つの場合の曲線のパターンは 80°C (Fig.4) でのそれに類似していて、一定の含水率 (この場合 60%mc 付近) 以下では、含水率の低下につれて収縮応力は急増している。80°C の場合には、さらに高い相対湿度雰囲気乾燥した場合にも同じ傾向が認められた。しかし、180°C では、40%RH 以上について、図のように、含水率が 30%以下に低下しても、収縮応力の増加はわずかであった。とくに、60%RH 以上の雰囲気での乾燥では、乾燥の最終段階まで、応力上昇は抑制された。ここで観察された最大収縮応力と、それが得られた温度・湿度雰囲気と平衡する状態の試料について得た横圧縮応力緩和による所定の時間での応力とは良く対応し、両者に密接な関係があることが推定された。

## 引用文献

- 1) Dwianto, W.; Morooka, T.; Norimoto, M. and Kitajima, T.: *Holzforschung* 53(5), 541-546 (1999).
- 2) Morooka, T, W. Cheng, K. Ohshima and M. Norimoto: 2001 Proceedings of the Korean Society of Wood Science and Technology Annual

Meeting, 32-35, April, Seoul, Korea (2001)

3) Cheng, W., T. Morooka and M. Norimoto: Proceedings of the 7th international IUFRO wood drying conference, 256-261, July, Tsukuba, Japan (2001)

4) Dwianto, W., T. Morooka and M. Norimoto: *J. Wood Sci.* 45, 373-377(1999)

## IV.強度性能評価 —乾燥割れと強度の関係—

秋田県立大学木材高度加工研究所 岡崎 泰男

### 1.はじめに

乾燥と強度に関する研究の歴史は非常に古い。繊維飽和点以下では乾燥するに従い強度が増すこと、未乾燥材のクリープが乾燥材よりもはるかに大きくなること、100℃以上の高温下に長時間晒されると強度が低下することがあることなどはよく知られた現象であり、過去数多くの研究が行われてきた。

しかし最近針葉樹構造材の乾燥材を取り巻く状況は大きく変化しつつある。「気乾状態レベルの表面割れの無い心持ち乾燥材」が当たり前のように求められるようになってきたのである。こういった状況を受けて、各県の公設試験場を中心に高温乾燥材を含む乾燥材、未乾燥材の強度性能に関する研究が盛んに行われている。

ここでは筆者が最近取り組んでいる乾燥割れと強度の関係について述べる。また参考資料として、乾燥と強度に関する研究分野の過去20年間の論文、報告書等を5つの分野に分けてリストアップし掲載したので、そちらも参考にして頂ければ幸いである。

### 2.乾燥割れと強度（実大曲げ、圧縮）

上述したように、昨今、含水率10～15%くらいで表面割れの無い心持ち乾燥材が求められる、というよりもそうで無い乾燥材は売れないという状況が常態化しつつある。

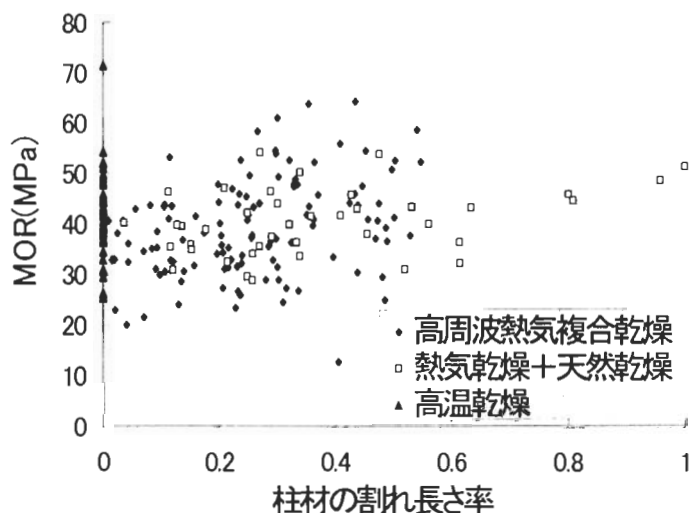


図1 表面割れ長さ率とMORの関係

ところがその理由を聞くと「割れがあると強度が低下するので…」という答えが返ってくる。どうもその様に思い込まれているらしいが、乾燥割れと曲げ強度の関係を調べた既往の研究結果<sup>92,96,99)</sup>によれば、干割れ、人工乾燥によって生じた表面割れのいずれも強度には影響無く、むしろ強い材が割れやすいという報告もある。図1は3種類の乾燥法で乾燥した195本の秋田県産スギ材について同様の検討を行った結果であり、ここでも同じような結果が得られている。また、この実験で扱った高温乾燥材の曲げ強度平均値は40.6MPa、その他の乾燥材は39.7MPaで両者の間に統計的有意差は認められなかった。ただしこの実験で使用した高温乾燥材は詳細スケジュール不明の市販材であり、試験体数も40体と少ないことから2者間の比較にはあまり意味は無い

が、いずれにしてもスギ材の場合 120℃程度の高温乾燥では構造設計上問題になるほど極端な強度低下が見られたという報告は無く<sup>74,75,77,78,79,82,87, 88)</sup> 短期強度の観点から見れば、特に使用上の問題は無いと考えられる。

### 3.乾燥割れと接合部強度

長軸方向に反って発生する表面割れが軸方向強度の低下に直接結びつかない（貫通割れを除く）ことは破壊力学に基づいて考えれば自明のことである。しかし住宅の柱—土台、柱—梁等の接合部分にはせん断、割裂、横引張等の力が作用するため、乾燥割れの存在の影響を受けて強度が低下することは十分考えられる。池田はプレカット腰掛け鎌継ぎ接合部のせん断試験を行い、乾燥割れの発生による強度低下が見られた<sup>97)</sup>と報告している。ここでは代表的な接合金物を使用した接合部強度への割れの影響について筆者らが検討した結果<sup>100)</sup>（図2～図4、表1）を示す。いずれの結果においても乾燥割れの影響は特に見られないが、その中で高温乾燥材のホールダウン金物引抜

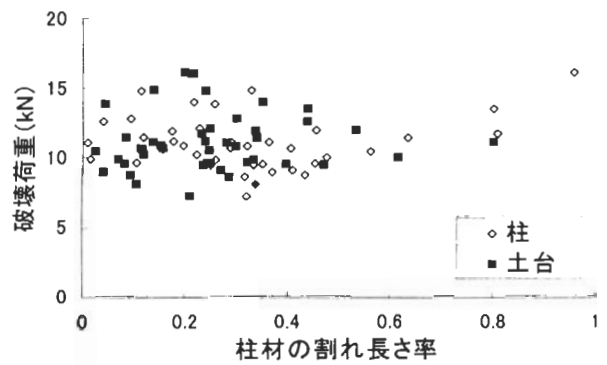


図2 山型プレート引抜き強度と表面割れの関係

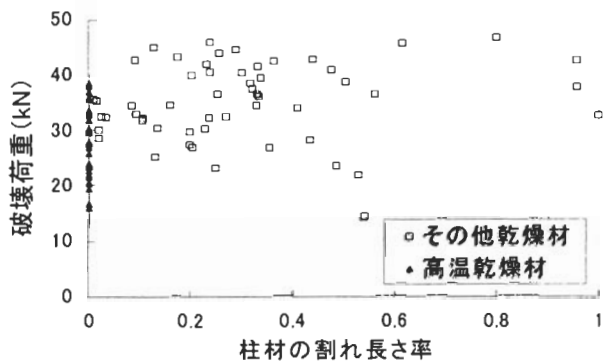


図3 HD金物引抜き強度と表面割れの関係

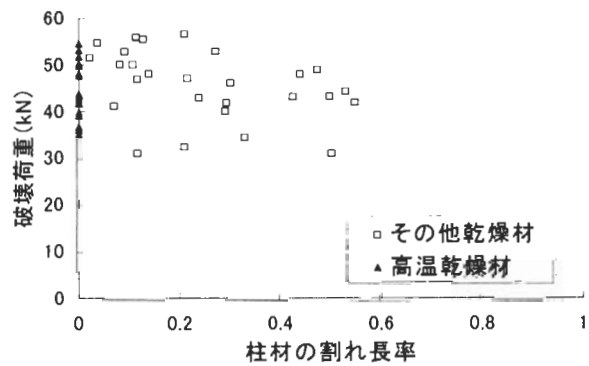


図4 表面割れ長さとはボルトせん断強度の関係

表1 ホールダウン、ボルト接合部試験結果

		高周波熱気複合乾、 熱気乾燥			高温 乾燥
		全体	割れ 有り*	割れ 無し *	
ホール ダウン 引抜き	N	54	34	20	37
	Avg.	35.0	34.7	35.6	27.7
	S.D.	7.02	7.22	6.80	6.52
	C.V.(%)	20.0	20.8	19.1	23.6
ボルト せん 断	N	27	16	11	18
	Avg.	45.5	45.8	45.2	43.9
	S.D.	7.46	8.16	6.68	6.28
	C.V.(%)	16.4	17.8	14.8	14.3

\* 試験体のラグスクリュー打込み面および反対面、ボルト挿入面の割れの有無

き強度は明らかに低下している。これは内部割れの影響と考えられなくもないが、同様の力が作用するボルトせん断試験ではそのような傾向は見られず、これについては更に検討する必要がある。ただし、曲げ強度の場合と同様に設計強度という観点から見れば、使用したホールダウン金物の許容耐力(1tf)を下回った試験体は1体も無く、使用上の問題は特に無いと言うことができる。

#### 4.その他の問題

今回は特に乾燥割れと強度の関係の関係を中心に触れたが、このほかに乾燥材と強度の関連では、以下の2点が重要である。

まず、「乾燥すると強度性能は増加するか？」という、素朴な問題である。

図5~6は飯島らが行ったシベリア産カラマツ105mm角材の実験例で、ほぼ同一ロットについて生材(G:MC>25%)と室内に約1年間放置した天然乾燥材(D:MC=15%)ものの曲げヤング係数Eと曲げ強さfのそれぞれの実測値の正規化順位曲線である。ここで、平均値におけるD材と

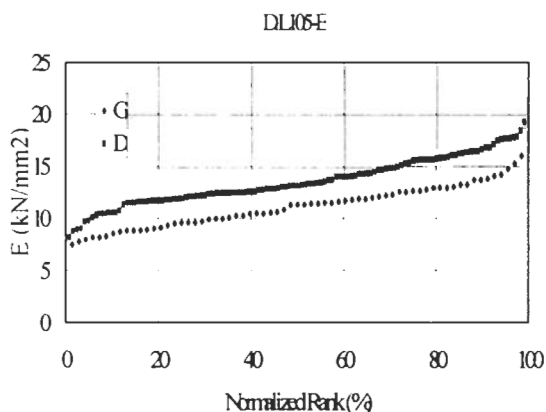


図5.Eの正規化順位曲線

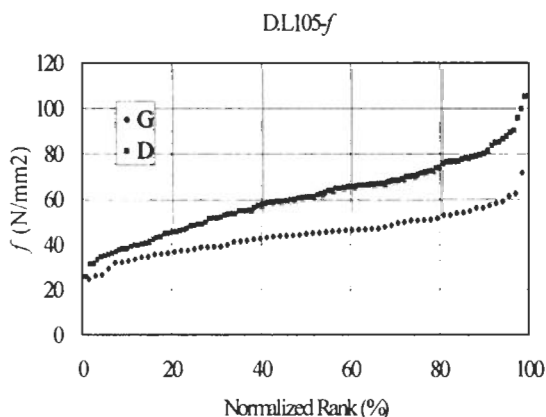


図6.fの正規化順位曲線

G材の比を求めると、Eでは1.2、f:1.3、またfの下限値でも1.3程度となる。

しかし、供試樹種の横方向の平均収縮率はMC1%について約0.3%であるから、FSP(MC30%)以上の状態の材がEMC(MC15%)条件に乾燥したときには、 $(30-15) \times 0.3 = 4.5$ 、つまり、もとの寸法の4.5%くらい収縮することになる。

したがって、断面係数( $Z = bh^2/6$ )、断面2次モーメント( $I = bh^3/12$ )はそれぞれ生材時の87%、83%となるから、D/Gの比はfZ:1.13、EI:1.00となって、構造耐力として考えると、乾燥材での強度上昇はかなり少なくなる。また、人工乾燥材、とくに高温処理した材に関する強度劣化については諸説があり、今後の学術的な解明が待たれるところである。

つぎに、ある意味最も重要と思われるのはクリープ性能と長期耐力性能である。構造設計上特に問題無い短期強度の低下も、長期的に見ればダメージが蓄積されて大きな性能低下につながるという考え方<sup>68)</sup>もあり、メカノソープティブ変形の問題もある。これらに関しては未解明の部分も多く、今後更なるデータの蓄積と理論的な検証が必要となる。このクリープについては、秋田木高研のHP(<http://www.iwt.akita-pu.ac.jp/>)に実験データが掲載されているのでご覧いただきたい。

なお、本文中の引用文献についてはp.117~121の文献リストを参照されたい。

## V. 化学的变化・耐久性と乾燥の関係

富山県林業技術センター・木材試験場 栗崎 宏

### 1.はじめに

木材の劣化、とりわけ腐朽・蟻害などの生物劣化は、含水率の影響を受ける現象である。また、生物劣化の予防には防腐・防蟻薬剤の注入処理が有効であるが、その効果は注入時の含水率に大きく左右される。したがって、木材乾燥と耐久性の関係を論じる上で、木材の含水率は最も重要なキーワードである。しかし、乾燥技術の進歩や乾燥材ニーズの多様化にともない、人工乾燥時の加熱が耐久性に及ぼす影響や、注入処理後の再乾燥と薬剤成分の関係についても検討が加えられるようになってきた。

ここでは、注入前の乾燥と注入性の関係、乾燥による木材の化学的变化、耐久性への影響、注入処理後の人工乾燥、の4点について、既往の文献や筆者の実験結果を紹介する。

### 2.注入前の乾燥と注入性の関係

注入処理は、木材細胞の内腔に防腐防蟻薬液を充填し、細胞壁に有効成分を付着させる処理である。したがって、細胞内腔がすでに自由水で充たされた状態、すなわち未乾燥の木材に対しては、いかに圧力を加えても薬液を注入することができない。

具体例として、スギ丸棒<sup>1)</sup>やカラマツ角材を用いた注入実験の結果を紹介する。図1には、様々な乾燥レベルのスギ10cm丸棒材(長さ2m)に、JIS K-1570のCuAz-1水

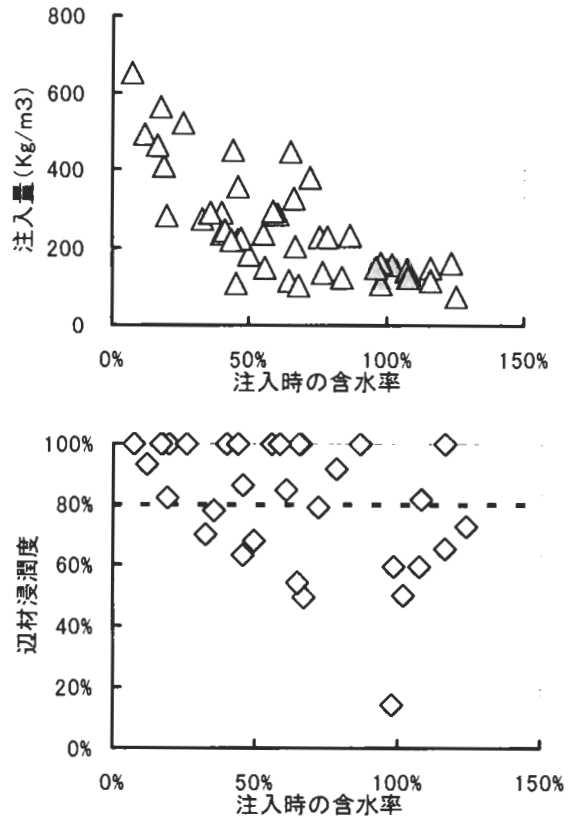


図1.注入時の木材含水率と注入量, 浸潤度の関係

含水率は、抜き取りサンプルの全乾比重をもとに重量法で推定。浸潤度グラフの点線は、JAS 辺材浸潤度基準値(80%)を示す。

溶液を加圧注入して得られた注入量(上)と辺材部の浸潤度(下)である。注入量は注入による試験材重量の増加分を材積で割った値、浸潤度は試験材中央部断面における薬剤浸透部分の面積パーセントである。注入時の含水率が高くなると、注入量は低下し、浸潤不良材(下グラフ JAS 基準値を示す点線より下のプロット)の割合が増加した。

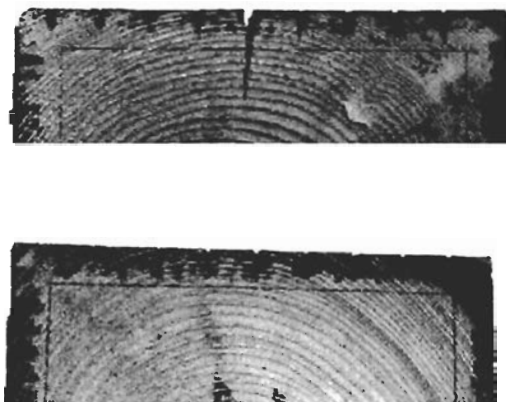


写真1 ACQ注入したカラマツの断面  
上：未乾燥で注入、下：人工乾燥後に注入、  
暗色部に薬剤成分が浸透している

写真1は、刺傷密度約4000個/m<sup>2</sup>でインサイジングして中温乾燥後、JIS ACQ-11を注入したシベリア産カラマツ12cm角材の断面である。未乾燥で注入したエンドマッチング材と比較すると、乾燥後に注入した材のほうがインサイジング傷からの薬剤浸透が広いことがわかる。図2は、エンドマッチング材6組を用いて、表層浸潤度（表面から10mmまで<sup>2)</sup>）を比較したグラフである。いずれのマッチング組でも、乾燥後に注入した材のほうが高い浸潤度を示した。以上のように、注入前の乾燥は注入処理を行う上で重要な工程であるが、注入前乾燥の工程管理や効率化についての詳細な研究は十分とは言えない。注入前乾燥に関して、保存分野からの検討だけでなく乾燥分野からの積極的なアプローチも望まれる。

### 3.乾燥による木材の化学的变化

木材を100℃以上の高圧蒸気で蒸煮すると、ヘミセルロースが加水分解して低分子

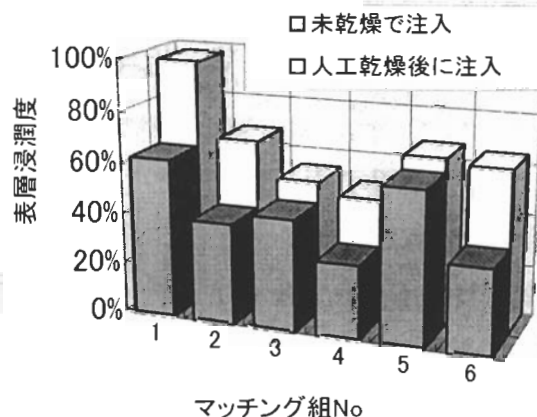


図2 乾燥度と表層浸潤度の関係

シベリア産カラマツ120mm角材の表面から深さ10mmまでの浸潤度

化し、リグニンも変質することが知られている<sup>3)</sup>。木材の人工乾燥は、木材を高含水率状態で加熱する処理であるため、これに類する反応が起こる可能性がある。ここでは、人工乾燥による木材の化学的变化に関する報告を紹介する。

100℃以下、すなわち中温乾燥に関し、Terzievら<sup>4)</sup>の検討例がある。彼らは、オウシュウアカマツを乾球温度（以下DBTと略）/Max 80℃：湿球温度（以下WBT）/50℃と、DBT/Max 62℃：WBT/50℃の2条件で人工乾燥し、材中に含まれる低分子糖類量を比較した。その結果、Max 80℃での乾燥材はMax 62℃の材と較べ、表層付近の低分子糖類濃度が高く、糖類の構成比、具体的にはグルコース/フラクトースの比率が異なった。乾燥熱により、低分子糖類の移動や熱変成が起こったものと考えられる。

100℃以上での高温乾燥は、近年我が国でも実用化が進められている技術である。これに関しても、Sehlstedt-Persson<sup>5)</sup>がヘミ

セルロースや抽出成分への影響を調べている。彼は、オウシュウアカマツ材を DBT/Max 115°Cの高温乾燥と、DBT/65°Cの中温乾燥の 2 条件で人工乾燥した。高温乾燥材のヘミセルロース量は、中温乾燥材の値より低く、高温乾燥によるヘミセルロースの分解が示唆された。また、抽出成分に関して、心・辺材間の含有率の差を比較すると、高温乾燥材のほうが中温乾燥材よりも差が大きく、高温乾燥では辺材中から抽出成分が揮発しやすいと考えられる。

高温乾燥による化学的变化については、この他に土居らも DBT/Max 120°Cならびに Max 130°Cで人工乾燥したカラマツ材を熱分析し、ヘミセルロース変化を示唆する結果を得たとしている<sup>6)</sup>。また、奥山らはスギ生材を燃焼炉内で加熱し、化学的变化を経時的に調べた<sup>7)</sup>。その結果、80°C以上の加熱が一定時間続くと、ヘミセルロースの減少と温水抽出物の増加が起こることを確認した。

以上の知見から、人工乾燥、とくに高温乾燥ではヘミセルロースの分解が起こりやすいと考えるべきであるが、乾燥熱の影響はリグニン、セルロースにまで及ぶ、との指摘もある<sup>8)</sup>。このような化学的变化を詳細に解明し、それが材質に及ぼす影響を把握することは、今後の乾燥技術の研究にと

って重要な意味をもつと考える。

#### 4.高温乾燥が耐久性に及ぼす影響

##### 4.1 素材の耐久性への影響

高温乾燥は、前述のようにヘミセルロースの低分子化などの化学的变化をともなうため、木材の様々な性質に影響を及ぼすおそれがある。ここでは、高温乾燥や蒸煮処理が木材の耐蟻性・耐朽性に及ぼす影響に関する検討例を紹介する。

耐蟻性について、土居らはアカマツ、カラマツ、スギなど 5 樹種木材を 170°Cで蒸煮処理してシロアリ野外食害試験を行った<sup>9)</sup>。その結果、いずれの樹種で蒸煮処理が食害を促進することを確認した。さらに、カラマツ高温乾燥材 (DBT/Max 130°C) についても食害試験を行い、高温乾燥材により食害量が大きくなることを明らかにした<sup>6)</sup>。耐朽性について、筆者らが行った高温乾燥スギ材の強制腐朽試験結果を図 3 に示す<sup>10)</sup>。表 1 の 3 スケジュールで 120mm 角スギ材各 5 本を高温乾燥し、心材試験片を採取してオオウズラタケにより強制腐朽した。その結果、高温乾燥材の質量減少率は、比較対照の中温乾燥材 (DBT Max 75°C) や天然乾燥材より明らかに高い値を示した。

図 4 は、蒸煮後に中温 (DBT80°C) した

表 1.高温乾燥スケジュール

略号	乾球温度/湿球温度 (°C) と保持時間						合計時間
高 A	99/99 12h	120/99 10h	110/99 30h	105/99 30h	95/95 12h	放冷 24h	118h
高 B	99/99 12h	130/99 10h	110/99 30h	105/99 30h	95/95 12h	放冷 24h	118h
高 C	99/99 12h	140/99 10h	110/99 30h	105/99 30h	95/95 12h	放冷 24h	118h

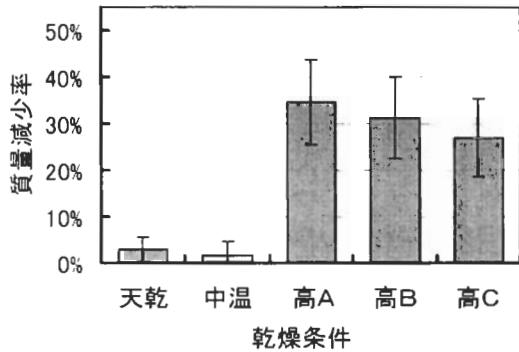


図 3.高温乾燥スギ材の耐朽性（心材）

乾燥条件の高 A～高 C は表 1 参照

スギ材のオオウズラタケ腐朽試験結果である（未発表）。100℃以上で蒸煮処理したスギ材はいずれも、未蒸煮の中温乾燥材より高い質量減少率を示した。

高温乾燥と耐朽性の関係については、スギ以外の樹種での検討例もあり、土居らは高温乾燥したカラマツ材でも耐朽性が低下することを報告している<sup>6)</sup>。

以上のように、高温乾燥や蒸煮処理は木材の耐久性を低下させるおそれがある。高温乾燥材の利用にあたっては、この点を十分に考慮した適切な用途設定をすべきであろう。耐久性の低下は、乾燥熱による木材の化学的変化に起因すると考えられ、これを解決するには、乾燥条件と化学的変化の関係を詳細に解明する必要がある。

なお、高温乾燥は耐久性の低下を招くおそれがあるが、さらに高温度域（200℃前後での例が多い）で加熱処理すると、耐朽性<sup>11)</sup> や寸法安定性<sup>12)</sup> が改善することも知られている。最近、フィンランドやオランダではこのような熱処理木材の実用化が進められている<sup>13)</sup>。今後、高温乾燥技術を熱処理木材に応用することも可能かもしれない。

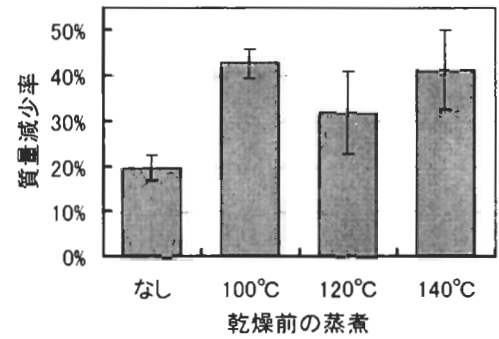


図 4.蒸煮－中温乾燥材の耐朽性（心材）

7 時間蒸煮後、DBT80℃で乾燥（n=5 本）

#### 4.2 注入性への影響

注入前の木材乾燥は薬剤の浸透を左右する重要な工程である。しかし、日数やコストがかかるため、乾燥不十分な状態で注入されるケースも皆無ではない。このような問題を解消するには、迅速、かつ低コストの乾燥法が求められる。

高温乾燥は、乾燥時間が著しく短いため、時間の点では注入前乾燥に適した方法である。しかし、Kumar らの CCA 注入実験では、人工乾燥した Pacific Silver Fir 材は天然乾燥材より低い注入量しか得られず、乾燥方法が注入性に影響することが示唆されている<sup>14)</sup>。ここでは、高温乾燥と注入性の関係について、スギ材を用いた注入実験結果<sup>15)</sup>を紹介する。

3 種高温乾燥材（表 1）と中温乾燥スギ角材材各 10 本から約 1m の試験材を採取し、片方の木口面をシールした後、加圧時間を 120 分に設定して AAC を加圧注入した。注入結果は、図 5 に示した。高温乾燥材の注入量は中温乾燥材の 1/2 以下に低下し、辺材浸潤度も JAS 基準値の 80%を大きく下回った。

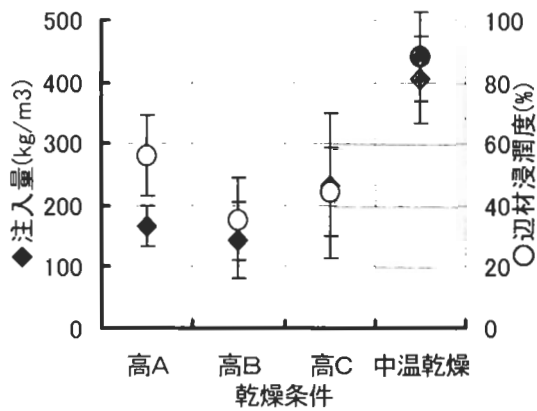


図5. 高温乾燥スギ材の注入性  
高A～高Cは表1参照。

高温乾燥スギ材に十分に薬剤を浸透させるため、加圧時間を延長して注入処理を試みた。その結果、辺材浸潤度は図6に示したように基準値レベル（80%）まで増加し、注入性の低下は注入条件の調整によって補うことが可能であった。

なお、サザンパインやスギ丸棒の場合、高温乾燥による注入性低下は認められなかったとの報告もある<sup>16) 17)</sup>。注入性への影響については、樹種や形状などの材料因子との関連も含めて、さらに検討していく必要がある。

### 5. 注入処理材の人工乾燥

現在、ほとんどの加圧注入工場では水溶性の防腐薬液を用いているため、加圧注入後の木材は高含水率状態になっている。近年、住宅分野では乾燥材に対するニーズが高まり、これに対応するため加圧注入木材を再度人工乾燥して出荷するケースもみられる。再乾燥では、乾燥時間や仕上がり材質だけでなく、防腐成分、とくに有機系防腐成分の熱安定性や定着性を考慮する必要

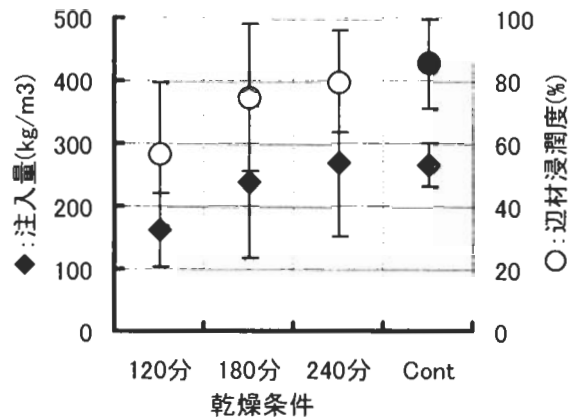


図6. 高温乾燥スギ材への長時間加圧注入  
Cont：中温乾燥材に加圧時間を120分に設定して注入

がある。ここでは、木材防腐剤中の有機系防腐成分の熱安定性試験結果<sup>18)</sup>を紹介する。

スギ辺材（20×20×10mm）にJIS K1570-1998規定のAAC（アルキルアンモニウム化合物）、ACQ-1（銅・アルキルアンモニウム化合物）、NCU（ナフテン酸銅乳剤）、NZN（ナフテン酸亜鉛乳剤）の4種薬剤を注入し、風乾後、常圧乾熱と常圧湿熱の2条件で0.5～14日間加熱した。木材が薬剤成分の安定性に及ぼす影響を検討するため、防腐薬剤を塗布したガラスシャーレも同条件で加熱した。加熱後のサンプル中の薬剤量を分析し、未加熱サンプルの分析値に対する残存率を求めた。分析項目は、AAC、ACQ-1処理材については常法どおり四級アンモニウム塩（DDAC、BKC）としたが、NCU、NZN処理材についてはナフテン酸金属塩と無機金属を区別するため、試験片へキサン抽出液中の銅、亜鉛、すなわち油性の銅、亜鉛とした。

図7に、分析値から求めた残存率グラフの例を示した。JAS保存処理規格では、性能区分が1区分下だと吸収量基準値は1

表 2.条件別 60%Life(日)

加熱条件	ガラス面上						木材中					
	60℃		80℃		100℃		60℃		80℃		100℃	
	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet
DDAC in AAC	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14
BKC in ACQ	>14	>14	>14	>14	4	>14	>14	>14	>14	>14	>14	7
油溶性 Cu in NCU	>14	>14	>14	>14	14	3	>14	12	>14	0.5	14	<0.5
油溶性 Zn in NZN	>14	>14	>14	>14	>14	5	>14	>14	9	2	3	<0.5

／2 に下がるシステムになっている。そこで、残存率が 60%に低下する日数（以下、60%Life）を加熱限界日数と考え、各薬剤の残存率グラフから推定した 60%Life 値を、表 2 にまとめた。各加熱条件の 60%Life を比較すると、ほとんどの成分において、ガラス上 60%Life > 木材中 60%Life、乾熱 60%Life > 湿熱 60%Life の傾向が認められ、木材と水分の共存下では防腐成分の熱安定性が低下すると判断された。

なお、湿熱時の残存率低下が激しい NCU 処理材は、湿熱によって材色が急変した（緑色→暗褐色）。これは湿熱によって木材中に生成した酸性物質により、ナフテン酸銅（緑色）が酸化銅（暗色）へ変化すると解釈される<sup>19)</sup>。湿熱による木材の化学的变化は、NCU 以外の成分の熱安定性にも関係すると予想される。

注入処理材の人工乾燥に関しては、強度への影響<sup>20)</sup>や薬剤定着性<sup>21)</sup>を検討した例があるが、CCA 以外の薬剤処理材についての例は非常に少ない<sup>22)</sup>。注入処理材の品質を損なわず、かつ迅速な再乾燥条件を確立するには、これらの点についてのデータの拡充も必要である。

## 6.おわりに

乾燥と化学的变化、ならびに耐久性の関

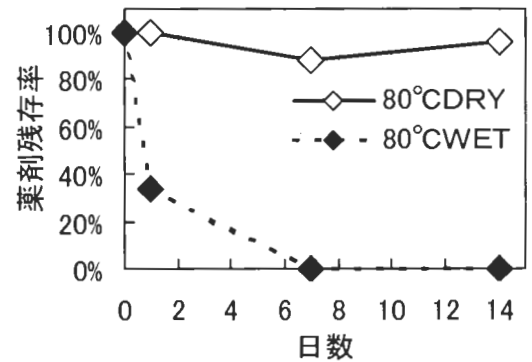


図 7.NCU 処理木片の薬剤残存率変化

木片中の油溶性 Cu を分析。  
80℃乾熱(DRY)の 60%Life は 14 日以上  
80℃湿熱(WET)の 60%Life は 0.5 日

係について、比較的新しい話題を集めてみたが、説明が不十分な点が多いとおもわれる。詳細については引用文献、および参考文献リストの原報でご確認いただきたい。

## 引用文献

- 1) 栗崎 宏ほか；富山県林業技術センター研究報告，11，35-40（1998）
- 2) 針葉樹の構造用製材の日本農林規格農林水産省告示第 143 号（1381 号改正）
- 3) 例えば 須藤 賢一，棚橋光彦，清水一充；木材の科学と利用技術－バイオマス転換 利用－（日本木材学会編），370-，377-，395-（1989）
- 4) N. Terziev et al.；Holzforschung，47（1），3-8（1993）
- 5) S. M. B. Schlstedt-Persson；Holz als

Roh-und Werkstoff , 53, 95-99(1995)

6) 土居修一ほか；第 51 回日本木材学会  
大会研究発表要旨集, 554 (2001)

7) 奥山 剛ほか；木材工業, 45 (2) ,  
63-67 (1991)

8) W. E. Hillis ; J. Inst. Wood Sci., 7 (2) ,  
60-67(1975)

9) 土居修一ほか；第 50 回日本木材学会  
大会研究発表要旨集, 691 (2000)

10) 栗崎 宏ほか；木材保存, 27 (2) ,  
61-66 (2001)

11) 例えば 中村 嘉明；奈良林試木材  
加工資料, 17, 9-13 (1988)

12) 例えば 則元 京；木材の科学と利  
用技術Ⅲ－スーパーウッド－（日本木材学  
会編）, 94, (1993)

13) 例えば B. F. Tjeerdsma, et al. ; IRG  
／WP 00-40160 (2000)

14) S. Kumar, et al. ; F. P. J., 39(10), 19-  
24(1989)

15) 栗崎 宏ほか；第 51 回日本木材学会  
大会研究発表要旨集, 555 (2001)

16) H. M. Barnes ; F. P. J., 36(11/12), 63-  
68(1986)

17) 渡井 純ほか；第 51 回日本木材学会  
大会研究発表要旨集, 416 (2001)

18) 栗崎 宏ほか；第 51 回日本木材学会  
大会研究発表要旨集, 556 (2001)

19) D. P. Kamdem, et al. ; IRG/WP97-  
40086,(1997)

20) 例えば J. E. Winandy, et al. ; Wood  
and Fiber Science, 20(3), 350-364(1988)

21) 例えば A. W. C. Lee, et al. ; F. P. J.,  
43(2), 37-40(1993)

22) 三枝道生；日本木材学会中国・四国  
支部第 13 回研究発表会要旨集, 88-89  
(2001)

## VI.乾燥材流通・ユーザー意識

岡山県木材加工技術センター 河崎 弥生

### 1.はじめに

木造住宅に乾燥材を使うことが望ましいと言われて久しいが、まだ十分な量の乾燥された製材品が供給されている状態にはない。また、ユーザーがどのような品質の乾燥材を必要としているのかという点についても、供給側は確かな情報を得ていないようにおもわれる。

このような状況下で、一方では管柱を中心として集成材を採用する住宅メーカーや工務店が急増している。とくに近年は、梁・桁材を始めとして多様な部材にも集成材化が着実に進行している。

「乾燥材って、どんなものを指すのでしょうかねえ…？」先般講師として呼ばれた研修会のおりに、聴衆に対して、今更なんだと言われそうな素朴な質問を試みた。

「乾いた木材のことですよ。」とおおむね正しい回答が帰ってきた。そこで、さらに「それでは、どこまで乾かした材料が望ましいのかを、具体的に、例えば含水率という指標などを使って答えてみて下さい。」と続けた。これに対しては、まさに多種多様な回答が帰ってきた。その中には、完全乾燥材やパーフェクトドライ等の、何となく気持ちはわかるが意味不明の単語を使って力説するものまであった。この状況は、一体どういうことなのであろうか。

人工乾燥材の生産に対して、製材業界はここ20年間あまり多くの努力を払ってきた。

また、それをサポートするために、機械メーカーはそれこそ多種多様な乾燥機を提案し、あの手この手の営業を展開してきた。さらに行政も、国、地方ともども多くの施策を講じて今日に至っている。筆者は、地方の試験場の一員として、県内製材業界に対する乾燥技術の普及に側面から関わるとともに、乾燥材生産の今日までの歩みを見つめてきた。確かに、20年前と比較すると乾燥材の生産量は増加したが、品確法が施行になった今日においても乾燥材比率は僅か10%程度に低迷しており、その品質も乾燥材として扱うのがはばかられるレベルの材料も多く見受けられる。

ここでは、筆者が関係してきた岡山県の事例という限定されたものではあるが、乾燥材の流通の現状、乾燥材に対するユーザーの意識など、乾燥材生産に関連する周辺状況について述べてみたい。

### 2.乾燥材の流通の現状

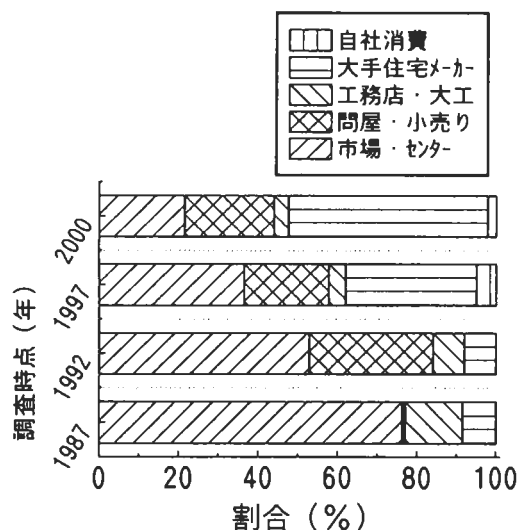
#### 2.1 製材工場からの流通

一般に、国産材製材品の流通経路は、製品市場、卸売業者、小売業者などの流通業者を介して需要者へ販売される割合が高い。一方、外材製材品では需要者に直接販売する割合が高い流通経路が形成されている。岡山県内における国産材製材品の流通経路も、製材産地に開設された製品市場へ地元及び周辺地域の製材工場が生産した製品の

大半を出荷することで形作られてきた。

岡山県内の製材工場が生産した人工乾燥材の出荷先を第1図に示した。1987年には製品市場・木材センターへの出荷割合が76.3%を占め、本県の特徴である製品市場を主体とした販売経路に乗って、人工乾燥材も流通していた。1992年の時点では、問屋・小売業への販売が31.1%を占めるようになり、製品市場は52.9%に後退している。これは、人工乾燥材を品揃えすることで自社の特化をはかり販売力の強化をはかろうとする問屋が、人工乾燥材の集荷体制を強化したためであろう。1997年になると、大手住宅メーカーへの出荷割合が33.2%を占めるようになり、製品市場は僅か36.5%まで減少している。さらに2000年になると、大手住宅メーカーへの出荷割合がついに過半数の50.3%に達し、製品市場は21.4%にまで落ち込んでいる。また、22.6%を占める大手問屋も住宅メーカーへの量販形態をとるケースが増加していることから、人工乾燥材の全生産量の3/4は、従来の製品市場を起点とする販売ルート以外の新しく形成されたルートを経由して、主に大手住宅メーカーに納入されていると考えられる。

岡山県は、人工乾燥材率が25%で生産量も約10万 $m^3$ に達し、乾燥材先進県と言われているが、人工乾燥材の大半は県外の手住宅メーカーに出荷されてしまい、地場の工務店が入手しようとしても難しいという矛盾した状態が生じている。県内のある森林組合が経営する製材工場が、新たに人工乾燥装置を導入して乾燥材生産を始めたところ、あまり日を待たずして、ある大手



第1図 製材工場の人工乾燥材の出荷先

の流通業者がかなり好条件の価格で納材を依頼してきた事例もあるくらい大手企業の集荷能力は充実しているようである。

## 2.2 プレカット工場の現状

人工乾燥材の流通経路で大きな位置を占めるものに、近年急増したプレカット工場の存在がある。岡山県内のプレカット工場の人工乾燥材の入手先は、製材工場から直接納入されている割合が50.0%を占め、その他製品市場14.3%、問屋7.1%、小売店14.3%であり、自社生産も14.3%ある。同様にプレカット材の出荷先は、全体の62.0%が住宅メーカーや大手工務店等へ納入されており、人工乾燥材の多くがプレカット工場を経由して大手企業へ納入されている実態が知られる。

## 3. 乾燥材の品質の現状

### 3.1 流通段階の現状 (D20 表示材の品質)

針葉樹の構造用製材の日本農林規格(JAS)では、乾燥材を「D表示」又は

「SD表示」することにより、保証する仕上がり含水率を明示することができるようになってきている。このことは、JAS 製品の使用後の寸法安定性を担保しようとする意図に基づくものであり、JAS 製品の工業製品化をはかる際に最も重要視される点である。現在、木材製品市場で乾燥表示をして販売されている針葉樹の構造用 JAS 製品では、「D20」と表示されているものが最も多い。また、JAS 製品以外でも、仕上げ含水率を D20 相当としている製品が最も多く生産されている。

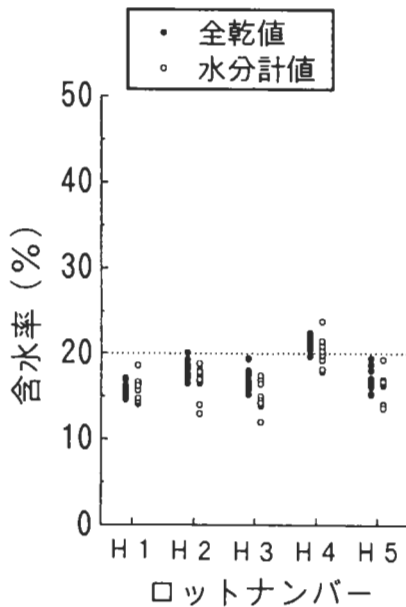
そこで、市中に出回っている人工乾燥材の含水率を検証するために、岡山県内の木材製品市場において、JAS 製品で D20 と乾燥表示して販売されているヒノキ柱材とスギ柱材を購入し、全乾法と高周波式木材水分計によって含水率を測定した。柱材の寸法は 12 cm×12 cm×300 cm で、いずれも背割り材である。測定した本数は、1 ロット（銘

柄）当たり 10 本ずつで、ヒノキ材を 5 ロット、スギ材を 3 ロットを対象とした。

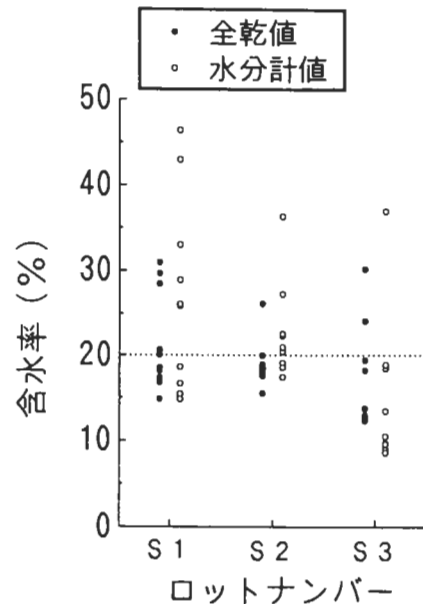
ヒノキ柱材とスギ柱材の含水率の測定結果を、第 2 図及び第 3 図に示した。全乾法による測定では、D20 ヒノキ材は、H-4 ロット（低温除湿乾燥、4～5 日）を除いて、ロット内のすべての材で含水率が 20% 以下であった。とくに、目標含水率を 18% 以下としている H-1 ロット（中温蒸気乾燥、9～10 日間）では、ばらつきも極めて小さかった。

一方、D20 スギ材では、3 ロットすべてにおいて含水率が 20% 以上の材が存在し、ばらつきも大きかった。このことは、いずれのロットにおいても、用いた乾燥条件での乾燥時間及び調湿時間が短かったことを示唆するものであろう。

水分計による測定値は、全乾法による測定値よりも D20 ヒノキ材においては 2～3% 低かったが、D20 スギ材では逆に 10% 以上



第 2 図 市販されている D20 ヒノキ柱材の含水率



第 3 図 市販されている D20 スギ柱材の含水率

高いものも存在した。これは、スギ材では部分的に残存する高含水率域で水分計が高い値を示し、これが平均値を押し上げたのであろう。

いずれにしても、現状では、品質表示を満足しない人工乾燥材がかなり出回っていることが知られる。

### 3.2 プレカット工場の現状

岡山県内の調査では、プレカット工場の各部材における人工乾燥材使用率は、柱材では使用材積の80%以上に人工乾燥材を用いている工場が全体の58.4%を占め、人工乾燥材がかなり普及していた。土台材では人工乾燥材使用率80%以上の工場が全体の7.1%あったが、その他の工場では人工乾燥材はまったく使用されていなかった。梁・桁材では、人工乾燥材使用率が40%以下の工場が大半を占めており、人工乾燥材の普及は途上にあることがわかった。また、これらの人工乾燥材を日常的に使用していると回答したのは僅かに28.6%の工場で、その他の工場はプレカット材の納材先から人工乾燥材を使用する指定があった場合のみ、人工乾燥材を用いていた。

プレカット工場に人工乾燥材であることを指定をしたうえで納材された製材品の含水率は、ヒノキ柱材では20%前後であり人工乾燥材であると評価できた。しかし、スギ柱材などその他の部材は、全体的に高含水率で、人工乾燥材とみなすには問題があった。

## 4.乾燥材に対する意識

### 4.1 木材関連業界の意識

人工乾燥材の普及をはかるためには、関係者が人工乾燥材に対する正しい共通認識を持つことが必要である。人工乾燥された構造用製材のユーザーは、製材工場にとっては流通業者や建築業者であり、流通業者にとっては末端の流通業者や建築業者である。そして、人工乾燥材の最終的なユーザー（エンドユーザー）は住宅の施主である。したがって、基本的には、人工乾燥材は施主を満足させる品質でなければならないし、施主が正しい認識を持てる体制が整備されていなければならない。このためには、まず生産者、流通業者、建築業者間で人工乾燥材に対して正しい共通認識を構築し、エンドユーザーである施主を視点に入れた取り扱いをする必要がある。

岡山県内の製材業、流通業、工務店、建築士を対象に、人工乾燥材に対する意識を調査した。調査は企業の役員以上の経営責任者を対象とし、各業種それぞれ約30企業を対象とした。各業種の経営者に対して行った人工乾燥材に関する調査の主な内容とその結果を、第1表及び第2表に示した。

各業種の経営者が人工乾燥材が必要であると考えている割合は、柱材については、どの業種でも100%であった。土台材では、建築士の87.5%は人工乾燥材であるべきだと考えているのに対して、製材業、流通業では約60%程度と低く、工務店では僅かに25%に過ぎなかった。工務店が最も土台材の人工乾燥に無頓着であるのは意外な感じを受けるが、プレカット工場でも土台材に

## 第1表 人工乾燥材に関する調査の主な内容

- ①主要構造材の人工乾燥が必要だと思いますか。部材ごとに回答して下さい。
- ②羽柄材の人工乾燥が必要だと思いますか。部材ごとに回答して下さい。
- ③主要構造材の人工乾燥材の含水率は、何%であるべきだと思いますか。部材ごとに回答して下さい。
- ④羽柄材の人工乾燥材の含水率は、何%であるべきだと思いますか。部材ごとに回答して下さい。
- ⑤主要構造材において希望、容認する人工乾燥経費の上乗せ率は、未乾燥材価格を基準にする何%に相当しますか。部材ごとに回答して下さい。
- ⑥羽柄材において希望、容認する人工乾燥経費の上乗せ率は、未乾燥材価格を基準にする何%に相当しますか。部材ごとに回答して下さい。
- ⑦あなたの立場で人工乾燥材の供給、使用について要求がありますか。
- ⑧人工乾燥材を生産・使用する際の問題点は何ですか。(複数回答可)

## 第2表 人工乾燥材に関する調査に対する主な回答

質問の内容	回答の内容	部材	回答した割合(%)			
			製材業	流通業	工務店	建築士
①	はい	柱材	100.0	100.0	100.0	100.0
		土台材	58.0	60.0	25.0	87.5
		梁材	58.0	100.0	100.0	100.0
②	はい	根太材	42.0	40.0	75.0	62.5
		間柱材	40.0	50.0	80.0	75.0
		垂木材	25.0	60.0	75.0	62.5
③	含水率(%)	柱材	20.0	20.0	20.0	15.0
		土台材	20.0	20.0	20.0	15.0
		梁材	25.0	20.0	20.0	20.0
④	含水率(%)	根太材	25.0	25.0	20.0	15.0
		間柱材	20.0	15.0	15.0	15.0
		垂木材	25.0	25.0	20.0	15.0
⑤	上乗せ率(%)	柱材	15.0	15.0	10.0	10.0
		土台材	15.0	15.0	5.0	10.0
		梁材	15.0	15.0	5.0	10.0
⑥	上乗せ率(%)	根太材	10.0	10.0	5.0	10.0
		梁材	10.0	10.0	5.0	10.0
		根太材	10.0	10.0	5.0	10.0
		垂木材	10.0	10.0	5.0	10.0
⑦	かなりの割合である 半数程度ある 時々ある		20.0	20.0	0	0
			20.0	20.0	33.3	0
			50.0	60.0	33.3	50.0
			10.0	0	33.3	50.0
⑧	量的に不足している 入手法が分からない 値段が高い 品質が悪い		37.5	80.0	66.7	37.5
			0	0	16.7	25.0
			37.5	20.0	33.3	75.0
			23.1	20.0	50.0	0

(注) ③, ④は含水率を表し, ⑤, ⑥は上乗せ率を表している。その他は、各業種ごとの回答者全体に占める割合を表す。

はほとんど人工乾燥材が用いられていなかったことを勘案すると、人工乾燥材に対する認識がそのまま現状に反映されているといえる。梁材では、人工乾燥が必要であるとする割合が製材業のみで58%と低かったが、他の業種では全員が必要であると回答した。このことは、製材業者がユーザーの要望を十分に把握しておらず、さらに乾燥が容易ではない大断面の梁・桁材の人工乾燥に対して消極的な姿勢をとっていることを反映したものであろう。羽柄材と称して流通している根太材、間柱材、垂木材では、

工務店、建築士は60%~80%が人工乾燥材を求めているが、生産者である製材業は人工乾燥が必要であると考えている割合が20%~40%程度に留まり、人工乾燥材の提供に消極的であることがわかった。

各業種の経営者が人工乾燥材に求める最も一般的な含水率は、柱材と土台材では、建築士は15%以下を希望していたが、他の3業種ではこれより5%高い20%以下で十分であると考えていた。梁材では、流通業、工務店、建築士の3者は20%以下を求めているが、製材業は25%で十分であると考え

ていた。根太材及び垂木材においては、製材業、流通業が 25%を主張していたのに対して、工務店では 20%，建築士はさらに低い 15%を求めていた。間柱材でも、流通業、工務店、建築士が 15%を求めていたのに対して、製材業は 20%で十分であると考えていた。

これらのことから、自分が設計した住宅の品質を確保するために優良な人工乾燥材を求める建築士、施工する住宅の品質は確保しなければならないが住宅の価格を下げることや自社の収益を確保するために人工乾燥材の品質という面では妥協している工務店、人工乾燥材の生産体制が不備であるため品質という面では自らハードルを下げている製材業、この 3 者間に人工乾燥材に対するこの様な認識の相違があると推察される。

#### 4.2 施主の意識

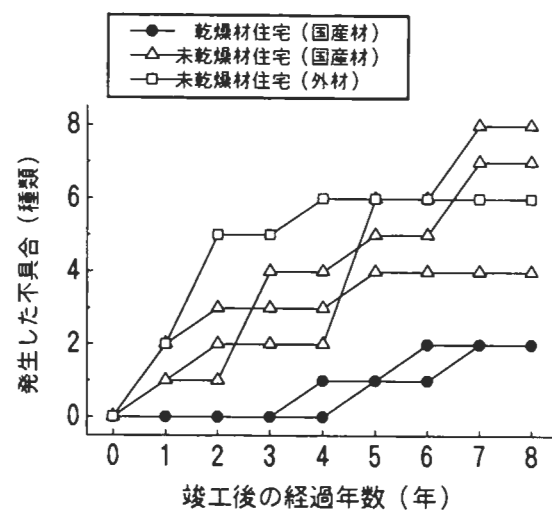
(1) 乾燥材使用と不具合の発生との関係  
木造在来軸組工法住宅であって施主が工務店に対して乾燥材の使用を指定したもの（乾燥材住宅）2 棟、指定しなかったもの（未乾燥材住宅）4 棟において、竣工後に発生した不具合の種類を第 4 図に示した。

未乾燥材使用住宅 1 棟は主として外材を用いていたが、その他の住宅では国産材が主要部材として使用されていた。これらの住宅の工期は、最短で 5.0 カ月、最長は 7.5 カ月である。発生した割合が高かったのは、塗

り壁の亀裂、壁クロスの亀裂、一階部分の床鳴り及びドア・引き戸の開閉困難等であった。乾燥材住宅でも竣工後 4～5 年目に不具合が発生したが、最大でも 2 種類の不具合の発生に留まっていた。未乾燥材住宅では竣工後 1 年以内に不具合が発生し始め、その後も各種の新たな不具合が発生し続け、最大で 8 種類に達した住宅もあった。この結果から、乾燥材の使用が竣工後に発生する不具合を抑制し、高品質な住宅を提供することにつながる事が明らかである。

#### (2) 乾燥材使用に対する施主の意識

乾燥材使用の有無によって前述のような相違が生じている事実に対して、施主はど



第 4 図 竣工後の不具合の発生経過

第 3 表 施主の住宅発注時点における乾燥材に対する意識

住宅	主な使用樹種	乾燥材の指定	工務店の説明	乾燥材指定有無の理由
A-1	国産材	○	○	狂い・割れの防止
A-2	国産材	○	○	狂いの防止
B-1	国産材	×	×	考えてもみなかった
B-2	国産材	×	×	特に理由はない
B-3	国産材	×	×	考えてもみなかった
C-1	外材	×	×	知識がなかった

注) ○はある，×は無いことを示す。

のようなおもいを抱いているのであろうか。

施主の住宅発注時点における乾燥材に対する意識を第3表に示した。住宅を発注した時点で乾燥材を指定した施主は、全員が工務店から乾燥材のメリットについて説明を受け、乾燥材の必要性を既に十分認識していた。乾燥材を指定しなかった施主は、工務店から乾燥材についての説明をまったく受けておらず、「考えても見なかった」という回答が示すように乾燥材に関する知識が皆無であり、それらの必要性をまったく認識していなかった。

竣工8年後における施主の乾燥材に対する意識を第4表に示した。全員の施主が、竣工8年後にはトラブルの発生と未乾燥材使用の因果関係を認識していた。しかし、施主は乾燥材の含水率基準に関する知識はほとんど持っていない。

今後、改築もしくは新築を行う機会があれば、今回乾燥材を指定した施主もしなかった施主も全員が乾燥材を使用するとの意志表示をした。乾燥材使用に当たっては、一人を除いて必要な乾燥経費を負担する意志のあること（消費者負担）

を示した。寸法安定性の高いEWの使用に対しても肯定的な意見を示した施主が多かった。

乾燥材の普及活動は、今回乾燥材を指定した施主は今後とも工務店などを通して施主に対して行うべきであると回答し、乾燥材を指定しなかった施主は今後は乾燥材の啓蒙

を工務店に対して行うべきであるとの意見が多かった。つまり、今回乾燥材を指定しなかった

施主には、「しなかった」のではなく「できなかったのだ（あるいは知らなかった）」という後悔の気持ちが感じ取れる。また、住宅の基本的性能を左右する乾燥材について施工者は当然十分に認識しておくべきであり、施主が改めて指定しなくてもこれからは乾燥材を使用するのが当然であるとおもいも感じ取れる。

木造住宅の施主は、寸法安定性の高い人工乾燥材を使用することによって高品質な住宅を入手することを望んでいる。また、さらに適正な範囲であれば応分の乾燥コスト負担も容認している。施主は、あくまで必要とされる性能を持った住宅を欲しているのであって、例え安価であってもトラブルが発生するような住宅を望んではない。今後、建築業界は人工乾燥材の性能について十分に情報開示することにつとめ、乾燥コストの負担方法についても施主側と真摯に協議する必要がある。

第4表 施主の竣工8年後における乾燥材に対する意識

住宅	質問内容							
	①	②	③	④	⑤	⑥		
						相手	手段	
A-1	○	×	○	○	○	施主	パンフレット	
A-2	○	×	○	○	○	施主	テレビ	
B-1	○	×	○	○	○	施主	テレビ	
B-2	○	×	○	○	×	工務店	パンフレット	
B-3	○	×	○	△	△	工務店	パンフレット	
C-1	○	×	○	○	○	工務店	テレビ	

注1) ○は肯定、△はどちらとも言えない、×は否定を表す。

注2) 【質問内容】

- ①住宅のトラブル発生の原因は未乾燥材使用にあると思うか。
- ②乾燥材の含水率基準を知っているか。
- ③今後、改築もしくは新築する時には乾燥材を使用するか。
- ④坪当たり1～1.5万円の乾燥経費を負担するか。
- ⑤寸法安定性が良好なEWを使用したいか。
- ⑥乾燥材の普及には誰に対するどんな方法が適切か。

## 5. 建築業界の乾燥材の品質に対する要求

### 5.1 全体的な傾向

乾燥材の品質に対する要求度合は、品確法や消費者契約法に対する対応のしかたによって、各企業で異なるようにおもわれる。大手の住宅メーカーは、概して、乾燥材に対して厳しい品質基準を設けている。さらに、自社が住宅部材に対して求める精度が乾燥製材によっては達成できないと判断した企業では、すでに全面的な集成材の採用に踏みきっている。

一方、地場の工務店での対応は3通りに大別される。すなわち、①瑕疵保証を見据えて完全に集成化をはかった企業、②あくまで乾燥製材品にこだわり、なるべく良質な乾燥材を用いようとしている企業、③瑕疵保証等にはほとんど無関心で、従来からの匠の技のみで対応しようとしている企業の3種類であり、それぞれ全体の1/3ずつを占めているようにおもわれる。

### 5.2 大手住宅メーカーが求める品質基準の一例

聞くところによれば、ある住宅メーカーが納材する製材所に示している管柱購買基準では、人工乾燥材には以下のような品質を要求しているとのことであった。

①含水率：23%未満（高周波式水分計による測定）

②寸法精度：+0.5 mm，-0 mm（モルダージ上げの場合）

③割れ（背割り材）：貫通割れは不可，割れ幅3 mm以上が1 m以上ある場合は不可，割れ幅が2 mm上3 mm未満であっても長さ2 m以上であれば不可，割れ幅2 mm未満で

あっても1.5 m以上の割れが2材面にある場合は不可

（無背割り材）：6 mm以上の割れが1 m以上ある場合は不可，割れ幅が5 mm以上6 mm未満であっても長さが2 m以上あれば不可，割れ幅が5 mm未満であっても，1.5 m以上の割れが3材面以上にある場合は不可，小さい割れであっても全面に及ぶ場合は不可

④曲がり（背割り材）：背割り面に対して垂直な面は長さの0.1%以下，背背割り面に水平な面は長さの0.2%以下

（無背割り材）：任意の面を基準に垂直方向0.1%以下，水平方向0.2%以下

⑤元口の随の位置：10.5 cm角の場合は，材の側面から20 mm以上内側にあること。

⑥その他：丸み，入り皮，虫食い，腐れ，あて等に関する基準がある。

他社についても似かよった基準が示されているようであったが，最近では徐々に品質基準が高まり，割れについては幅2 mm以下で長さ50 cm未満までしか許容されなくなっているという意見も聞かれた。この制限を越えた材は半値以下でしか取り引きされず，近い将来には割れがまったく許容されなくなるのではないかとの懸念が，生産現場からは示されている。

### 5.3 地場工務店が求める品質基準の一例

地場の工務店が人工乾燥材に求める品質基準の一例を第5表に示した。含水率は，柱，間柱類は15%以下，梁・桁やその他の部材は20%以下である。材面割れに対しては，最近の大手住宅メーカー並の厳しい品質を求めている。内部割れについては，柱，

第5表 地場工務店が乾燥材に要求する品質の一例

部材名	含水率 (%)	材面割れ (mm)		内部割れ (mm)		曲がり (mm)	ねじれ (mm)	変色	背割り
		幅	長さ	幅	長さ				
見え掛かり柱	15	0	0	0	0	2	0	×	○
見え隠れ柱	15	2	500	0	0	2	0	△	○
間柱	15	1	300	1	50	4	1	△	×
梁・桁・胴差し	20	3	1000	0	0	3	2	×	×
母屋	20	1	500	1	50	3	0	△	×
筋交い	20	1	300	1	50	4	1	△	×
根太	20	1	500	1	50	2	0	△	×
大引き	20	1	500	1	50	2	0	△	×
土台	20	2	1000	1	50	4	0	△	×

(注1) 割れは、幅、長さともに、許容される最大値を表す。  
 (注2) 変色：認めない×，多少の変色は許容△，許容○で表す。  
 (注3) 背割り：ない方がよい×，どちらでもよい△，あった方がよい○で表す。

梁・桁以外の部材では、微細なものであれば許容している。狂いについては、曲がりはある程度許容しているが、ねじれに対しては厳しい基準を示している。変色は、見え掛かりとなる可能性がある柱、梁以外では、軽度な程度のものは許容している。背割りについては、柱材以外は無の方が良いとしている。また、この企業では、見え隠れ柱材であっても、内部割れが生じるよりは背割りをした方が良いとの判断をしていた。

#### 5.4 プレカット工場

プレカット工場では、持ち込み材についてはその品質について意見をはさむ余地が無く、仮に劣悪な材であっても関知するところではないとのことであった。また、材料調達を全てまかされた場合でも、指定された材料単価を判断材料として、乾燥材の使用部位や品質を決定せざるを得ないとの意見が多く聞かれた。つまり、プレカット工場は、本来の意味において人工乾燥材に関する選択権や決定権を持ってはおらず、多くの場合、結果として工務店の判断に左

右されているという実態にあるようである。

#### 6.今後の方向

人工乾燥材の普及に際しては、ユーザーがどのような品質の材を求めているのかということのを的確に把握し、生産者はその要求を確実に満たすことができる製品を提供することが何よりも重要であろう。しかし、現状では、住宅用部材に求められる人工乾燥材の品質について、一般論として語り得るまでには木材関連業界間での意見の一致を見ていない。確かに、大手の住宅メーカー等は自社基準を納材先に示すことで、ある程度必要とする材を入手できているであろう。しかし、それらはあくまで個別企業の個別の基準であって、経営方針なども複雑に絡み合い、スタンダードといえるものであるかどうかはわからない。今後、人工乾燥材を普及していくためには、建築業界と製材業界等が密接に連絡を取り合って、可能であればスタンダードといえる規格を構築することが望ましい。

筆者がつきあっている地元の建築士グル

ープの一人が、最近こんなことを言ってきた。「折角だけど、これからは人工乾燥材は使わない。」彼らのグループは、品確法に合わせて数年前から乾燥材について十分に勉強したうえで、これからは地元の製材所からスギ・ヒノキ等の人工乾燥材を調達しようと考え、実際に新たな顧客となってくれていた。驚きとともにその理由を聞いたとすると、「あんな色が変わって、油が抜けたような材は、スギでもヒノキでもない。」という返事が帰ってきた。あわてて、「変色が少なく、比較的精油成分も逃げない人工乾燥材だって十分つくることができる。人工乾燥自体が悪いのではなく、これからは適切な乾燥方法を選択すればよい。」となだめた。つまりこの例は、ユーザーと生産者との間に十分な連携体制ができていないことが引き起こした残念な事例である。本来、彼らは国産材や人工乾燥材の最大の理解者であるのに、生産者が十分なケアを怠ることがあれば、永遠に遠くへ去ってしまいかねないのである。

筆者自身は、今後も一地方において、生産者とユーザーの両方と付き合いながら、乾燥材普及のために地味な活動を続けていきたいと考えている。

## <乾燥・感想・提案>

各界の方々から、木材乾燥・乾燥木材に関する感想と提案をいただきました。掲載は50音順です。

=====  
**「ふるい」をすり抜けようとするもの**

中国木材株式会社 相原 庸夫  
=====

木材の乾燥問題が公の場で最初に取り上げられたのは、1987年4月に行われた木造建築研究フォーラムの第4回公開フォーラム（福井）であった。「木材の品質管理」をテーマとしたこのシンポジウムは、木青連の全国大会と並行して行われ、400名余りの参加者で熱気に満ち溢れていた。

そのパネルディスカッションの席上「乾燥によってコストが上がるのなら乾燥材は使わない。私はグリーン材で建築しても、木の狂いを抑える術を知っている」といっきった著名建築家がいた。

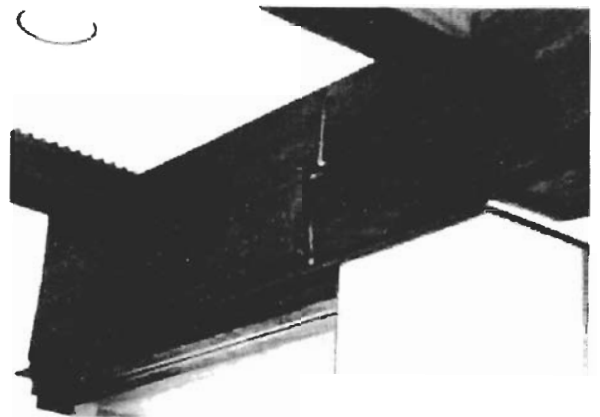
当時は、日本木造住宅産業協会の設立（略称：木住協、1984年）、国際森林年（1985年）、木造建築研究フォーラムの発足（1986年）等、木造復権に対する機運が高まりだした時代である。中でも木住協では、それまで会員各社が個々にかかえていた未乾燥材に対する不満が、乾燥材への要望という形となり、業界全体の声として各方面に発信されていった。当時の木住協会会員会社への「木造住宅の資材流通調査」によると、4分の3の会社が多少コストアップでも乾燥材を

使うと既に回答していた。

そのような背景にあって、冒頭のパネルディスカッションでの言葉である。当時の状況を考えれば、乾燥ニーズはあっても乾燥材は無いし、集成材は？といえは高すぎて使えない。勝手に解釈すれば「ないものねだりをして高い物を掴まされるよりも、現実的な対応をしよう」という意味合いなのだと思うが、乾燥に取り付かれ始めていた私にとってはかなりショックな言葉であった。

### 未乾燥材のリスクーハインリッヒの法則

ちょうど2年後の4月、新入社員研修の引率で、ある総合展示場に見学に来た。偶然にも、その「いいきった」建築家のデザインした展示場があったので、入ってみて驚いた。当時では珍しく、木の良さを見せようと1階の天井をあげ、2階床梁を化粧として見せている。しかし、その梁の継手部分では中央部に割裂が入り、梁の下端が振れていた。半年後にまた行ってみたが、あまりにもみっともないということか、天



腰掛け継手部分の振れと割れ（ベイマツ未乾燥材）

井を下げ、2階床梁の継手の不具合を隠していた。

すべてがこのようになるわけではない。が、ハインリッヒは1件の重大事故の背景には29件の同種の軽微な事故、その後ろには300件の異常が有ると指摘。やはり未乾燥材が瑕疵につながる可能性は高い。

これだけ乾燥材が普及してきた今でも「葉枯し材や天然乾燥の中の生材が良い。後は大工技術がカバーする」と主張する人もいるが、やはり、誰がつくっても一定の品質が確保できるちゃんとした乾燥材を使った方が無難なことはいまでもない。

### 品確法と乾燥材—これからの乾燥材普及の鍵は？

その後、阪神・淡路大震災、機械プレカットや合理化工法、高気密・高断熱住宅の普及に伴い、未乾燥材は、ある程度ふるいにかけてきた。そして品確法である。スタートしてから2年を経過したが、品確法をきっかけとして構造材の乾燥化はかなり進展してきた。

木住協で行った「プレカット現況調査」(H13.11)の原データを元に、建築規模別の乾燥シェア(総棟数比)を図に表してみた。柱の乾燥シェアをみると、集成材化が進み、年間50棟以下の会社でも48%が集成材、201棟以上で

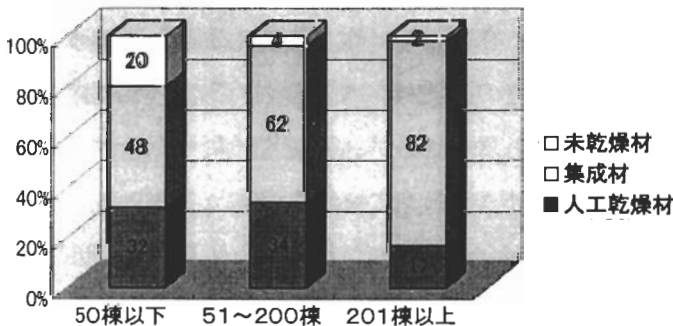
は実に82%もの高率となっている。横架材では200棟までは人工乾燥材の比率が4割強と高いが、201棟以上になると集成材が逆転し62%となっている。しかし、柱ほどには乾燥化が進んでいない。未乾燥材は50棟で36%、201棟以上でも17%と残っている。

今回調査の回答会社は競争の激しい3大都市圏で7割を占めている。さらに木住協の木造住宅に占める棟数シェアは10%強。あと残りの9割は15万社といわれる小規模・零細工務店が担っている。しかし、残念ながらその方達の乾燥意識は木住協ほど高くない。全国レベルで見た乾燥化はまだ道半ば、これからの乾燥材普及は地方の小規模・零細工務店が鍵を握っているといえる。

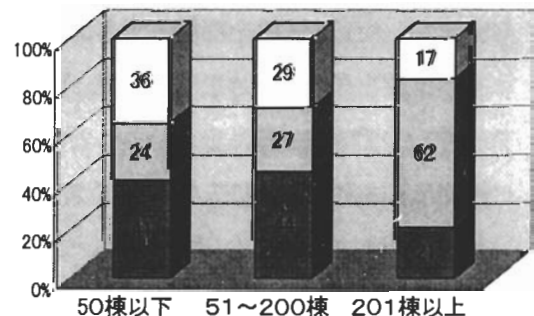
### 消費者契約法—オーバーサイズ問題

品確法に次ぐ新たなふるいとして去年の4月より消費者契約法がスタートした。木材に関していえば、竣工入居後でも実寸法を確保、乾燥収縮による寸法マイナスもまずいという。それを受け、国土交通省では寸法トラブル防止の手引書をつくった。その中では引渡時に120mmの寸法を確保するためには含水率20%で1mm、30%なら3~6mmの歩増し寸法の発注を推奨している。柱ならまだしも、横架材の加工は梁の天端揃えが基本であり、収縮を想定しての歩増

建築規模別の乾燥シェア(柱)



建築規模別の乾燥シェア(横架材)



しという考えはない。梁せい1~2mmなら何とかなるだろうが、3mm以上だと構造躯体がガタガタになってしまうだろう。

昔、ある大学教授から乾燥の目的は二つあると聞いた。一つは木材を平衡含水率近くまで下げることにより、寸法を安定させること。もう一つは素性の悪い材に乾燥という試練を与えて、狂いを出させ事前にはねてしまうということ。最近寸法さえ確保すればよいという思惑からか、3mmくらいのオーバーサイズなら大丈夫といって未乾燥材が密かに流通している。その場しのぎの対応が危険なことは先の写真が示している。この手引書は未乾燥材に免罪符を与えてしまったようだ。

#### 構造用集成材の浸透一踊り場にきた人工乾燥材

製材品に占める人工乾燥材（含水率25%以下）のシェアは10%強。年々増えてはいるが、そのあゆみは鈍い。一方、構造用集成材は平成12年後半のユーロ安を契機に欧州から大量に輸入され、ユーロ安が改善された今でもその波は続いている。そのため、本来なら未乾燥材→人工乾燥材→集成材の順に高くなる筈の価格が、人工乾燥材より集成材の方が安い現状にある。そうなると寸法安定、割れ・狂い等の品質に勝る集成材に需要がシフトするのも致し方ないといえる。

人工乾燥材の普及はいま踊り場にきている。せっかく人工乾燥材を採用しても直ぐ集成材にステップアップしてしまう。また、品確法も喉元過ぎれば熱さを忘れるということなのか、建築の低価格化に伴い目先のコストダウンを追って、未乾燥材に戻ってしまう例も一部に見られる。

しかし、無垢材にこだわる人は中堅、小規模工務店に依然として多い。コストダウンもさることながら、その方達の需要を喚起するのが、人工乾燥材の普及への道であろう。

#### 構造用製材 JAS の普及一最後のふるい？

工業製品ではJISがあたりまえだが、製材JASの普及は遅々として進まない。JAS認定工場は5595工場と全体の45%（平成10年12810工場）もありながら、製材JASの格付け率は20%強しかない。しかもJAS材は公共工事主体で民間にはあまり出回らない。その使用は木造住宅の公的仕様書にも規定されているが、軽視されている実情にある。JASは品質確保の目安であり、中途半端な含水率の追放、乾燥に対する見方のばらつきの排除にもつながる。是非とも普及につなげたい。

どんなにふるいに掛けてもすり抜けようとするものはいる。度重なるふるいで根気強くすくっていくしかない。JASでないと駄目という風潮になった時が乾燥化への最後のふるいになるのだろう。

=====

#### 木材流通の立場から見た乾燥材問題

ナイス株式会社事業推進本部

木材利用推進室 青木 良篤

=====

乾燥材に対する問題は、流通と製造両面にわたって存在している。乾燥材が普及しない、またはその品質がレベルアップしない理由は多々あると思われるが、製造メーカーまかせではなく、仕入や販売に携わる流通からのフィードバックが今後重要になると思われる。流通商品の現状や木材営業現場から見てどのような取り組

みが必要なのか、良質乾燥材普及促進に向けてこの問題をどのように捉えたらよいか、考えを述べる。

#### 【必要と思われる取り組み】

##### ◆乾燥材の性能やメリットの明確化

まず第一に、乾燥材使用のメリットが明確になっていないことである。ここでいうメリットとは、部材のみのものではなく、施工上、躯体性能上などの住宅建築としてトータルな意味での性能であり、最終的にはエンドユーザーに対するメリットである。簡単に言えば、様々な樹種・大きさの無垢乾燥材商品（実大材）が、経年変化においてどのくらいの寸法安定性・クリープ性能があるのかなど、性能ランクアップの具体性・信頼性のあるデータが不足していたり、それらのデータが広くオープン化されていないことである。ある乾燥材を使用した時のメリットが、グリーン材商品と比べて具体的に、かつしっかりと明示されていない以上、グリーン材使用の歴史が長い工務店や材木店が納得して仕様変更や在庫決定はできない。現実には、信頼できる実証的根拠に欠けた含水率至上主義とでもいうべき乾燥性能が一人歩きしている。これらのデータは、寸法安定性能とまではいいきれないものが多い。経年変化等のデータ整備や、今後の乾燥材性能研究の方向性をはっきり示し、寸法安定性能の試験基準を含めた基準をつくっていくことが必要なのではないかと思う。

##### ◆乾燥材品質を明確に識別すること

第二に、乾燥材の識別問題である。その前提として含水率測定問題がある。ハンディータイプの高周波含水率計の正確な運用方法や、その測定限界が理解・浸透しておらず、かなりいいかげんな運用状況である。そのため、誤って乾

燥材と判断されてしまうケースも多く、工務店や材木店が第一印象でKD材と判断し、その後当然にして起こる寸法変化によりKD材に対して悪い固定観念を持ってしまうケースも多い。

工務店の新商品導入の習性（なかなか飛びつかないが一度信用して使うと愛用する）を考えると、逆効果である。また、正しく測られていたとしても、水分傾斜の多寡により、乾燥材の品質がメーカーによってかなり差があるのが現状である。これらの商品は、寸法安定性能を表明するために、その指標である「含水率」、とくに局所表面含水率に乾燥材としての性能を代表させている。しかし、それだけでは最終的な寸法安定性能が確認できない。経年変化における寸法安定性能をメーカーごとに検証し、その性能を評価していく試みが必要であると思う。

##### ◆乾燥材の優良品性は製造工程全般で品質表示とともに証明すること

第三に、上記のように、乾燥材品質の良否は含水率だけに頼れない現実がある。D15の曲がり材、表面割れ材、内部割れ材、変色材などが多く存在する。構造材としてみた場合、表面的な乾燥性能だけアップしていてももちろん使いづらい。

乾燥材品質は、成長応力を考慮した製材木取りから乾燥応力を考慮した乾燥過程・養生過程に至る、製造過程全般にわたる複数の情報指標によって推定出来るようにした方が理想的である。含水率だけで判断しないことで、良質乾燥材は差別化の要因になる。現状のままでは、すべてではないにしても、寸法安定性には若干落ちるが良質なグリーン材の方がよっぽど良いのではないかという疑問が多く残る。構造材としてみた場合、乾燥材の良質性は耐久性（防腐防

蟻性能) や内部割れが少ないなど強度性能にも深く関与すると思うが、それらが乾燥性能としてまだまだ追求されていないと思われる。今後、乾燥材の優良性を判断する指標として、製造工程全般にわたる複合的な品質表示が推進され、優良乾燥材識別情報になることを期待したい。

#### ◆乾燥コストの適切な説明を含むエンドユーザー向け啓蒙活動の推進

第四に、乾燥材の流通における問屋・材木店の性能説明能力の欠如である。節のある一等材においても、従来の目視中心の構造材選択基準が根強い。数値で表される性能説明と目視の品質説明とのバランスをとり、構造材の性能や品質を説明することが求められると思う。

価格については、メーカーが乾燥コストの具体的な説明をしているところが少なく、その乾燥性能と乾燥コストとの関連が明確になっていない。具体的にグリーン材と比べて住宅建設費用全体の中でどのくらいアップするのか、使用するメリットを明確に前提にした上でエンドユーザーにその意義が十分にPRされていない。高品質な住宅に、乾燥材がどのように寄与するのかを明快に伝達する技術が求められる。ただし、品質満足を前提としても、木材加工費のような位置付けで乾燥コストを算出していくことは必要であり、それが乾燥コストを明確に表示説明できる基準づくりにしていくことが必要である。

#### 【乾燥材問題の捉え方】

乾燥材の普及促進のためには、産・官・学をあげて構造材における乾燥材の問題点について共通認識を持つことが重要であると思う。共通認識とは、①エンドユーザーの啓蒙、②乾燥材の良質化推進、③それらの品質や性能の表示の推進である。優良についての価値判断は、含水

率のみに傾斜しないことが大切である。

エンドユーザーの啓蒙は、まず構造材に対する適切な説明を住宅の販売プロセスに組み込むんでもらうよう、強くビルダーに働きかけていくことである。家づくりにおいて、構造材に対するエンドユーザーの興味や関心は、他の住宅設備機器と比較して必ずしも大きくない。ましてやその実際の性能知識はプロが把握していないのであるから尚更である。エンドユーザー(消費者・施主)に対して、構造材に関心を持ってもらうことが乾燥材の普及促進につながると考えられるが、そのためには従来のプロを中心とした目視重視の選択基準だけでなく、性能を中心とした構造材選択基準を推進する必要がある。これは従来の見方とは馴染まないものではあるが、徐々に浸透させていきたい。含水率やヤング係数など数値で表すものと目視による従来の方式を融合させた「構造材の見方・選び方」を何らかの形で啓蒙していきたいと考えている。

昨今、食品品質表示のモラル低下が問題となっているが、木材については表示すらないものが大部分である。責任ある顔の見える商品づくりを流通の連携で推進し、製造工程全般と製品検査結果をできるだけ表示して、最重要情報である乾燥度に関心が高まるきっかけづくりをしたい。ただし、それらのチェックをどこが行うかが重要な問題である。乾燥技術に関しては、含水率を中心とした寸法安定性能のみを上昇させる技術ではなく、強度性能や耐久性能を損なわない方法を期待したい。遠赤外線除湿乾燥のように、構造材の人工乾燥にも、乾燥期間の速さの追求やエネルギーを大量に消費する方法から、総合的な乾燥品質を追求した乾燥方法を採用した商品が注目されてきた。経年変化におけ

る寸法安定性、表面割れの少なさ、変色の少なさ、ランニングコストの安さなど、総合的な乾燥品質を追求して、今後とも良質乾燥材の流通強化に尽力していきたいと思う。

## 国産材の乾燥と性能の明確化

宮崎県木材利用技術センター 荒武 志朗

さて、どんな風にまとめたものか.....、締め切りも近いしなあ。I 島さんの頼みだし、“しかと”すると後が怖いし(T\_T)。乾燥の問題って、色々と論議されているけど、どの程度の含水率に乾かせばよいのか？ D25？ D20？ D15？ また、その時の含水率が性能上、あるいは現実的にどのような意味を持っているのか？どんな方法で乾燥すれば良いのか？乾燥すると誰にメリットがあるのか？そもそも、何でD25、D20、D15なのか？ あー、頭が混乱してきた。とにかく、乾燥材を取り巻く背景はわからないことが多すぎる。えっ、それはあんたの勉強不足？ そりゃ、すいません。

でも、たとえば、日本農林規格（以下 JAS と記す）の D25、D20、D15 などの表示が言葉として聞かれるようになって久しいにも拘わらず、これらの数値が建設現場などでどのような意味を持っているのか、どのような受け取られ方をしているのか、どのようなクレームの実体を生んでいるのか、未だに良くわかっていないようである。つまり、どの段階まで乾燥すると、かび、変色、腐朽、割れ、変形、収縮などの欠点が生じないのか、また、乾燥によって機械的性質やクリープ（とくにメカノソープティブ変形）はどのように変化するのかなど、D25、D20、

D15 との関係から明確に説明されたケースはほとんど見られない。それに、除湿、燻煙、高温乾燥のように乾燥方法が異なる場合に D25、D20、D15 との関係はどうなるのかもわかっていないようである。どうも、このあたり混乱しているような気がする。一方、周知のように、含水率測定は、JAS では全乾法によるのが原則とされているが、実際の現場では高周波式（誘電率式）の含水率計を用いることが多い。...とすると D25、D20、D15 の多くは表面から深さ 2 センチ程度までの含水率を意味することになり、内部はグリーンてことになるかもしれない。この違いがどういう意味を持ってくるのか、ほとんど明らかにされていない。つまり、表面から 2 センチ程度までが所定の含水率になっていれば、断面全体が所定の含水率に仕上がっているのと性能上、あるいは実用上色々な面で大差ないのか、ということが不明である。力学的には何となく

わかる部分もあるが、後述するように、やはり不明な部分も多い。現実的な場面では、たとえば集成材と D15 の製材（とくに中・大断面材）の材質を同意に論じて良いものか（どちらも気乾材として）、などという疑問も生じてくる。それに、「D25 って、見かけの比重は別として材質的に生材とどう違うの？」と業者から聞かれたら、なんて答えれば…？

あー、また頭が混乱してきた（年のせい？）。いずれにしても、住宅などいろいろな使われる場面で、含水率がどのような意味を持っているのかが理解されていないと、数字のみの一人歩きになってしまうのではないだろうか？このことは、供給者や需要者に不利益となるばかりでなく、最終消費者（施主）にとっては決定的な

意味を持ってくるはずである。今一度、各方面が力を結集して、これまでのいろいろなデータを整理し、不明かつ必要な部分を浮き彫りにしたうえで必要な実験等を行い、含水率条件と現場で使われる環境との関係から生じるリスクのミニマム化をはかっていくことが必要な時期にきているのではないだろうか？

\*

さて、せっかくの機会だから、私の専門の立場（たぶん強度とかクリープ）から、上を踏まえて一言、二言雑感を述べてみたい。

木材は、「乾燥すると強くなる」とよく言われるが、これは本当だろうか？私としては、今のところ「一概には言えない」と行った方がベターだと思う。これまで、大学や公設研究機関など色々なところで乾燥材（気乾材とは限らない）の強度試験が実施されてきた。その結果、圧縮強度やめりこみ強度などは、ASTM D2915 が示すとおり、乾燥によりかなり上昇することがわかっている（圧縮強度については50%以上増加すると言う報告もある）。ところが、曲げ強度の場合、確かに乾燥によって上昇するが、5th パーセンタイル値（材料強度）はむしろ下がる場合が多い。この原因は、乾燥によって生じる節周辺の微少なクラックなど、欠点因子の影響が乾燥によって変化する、と言う説が主流のようである。それに加えて、乾燥すると断面係数や断面2次モーメントが減少するので、木材の最大曲げモーメントや曲げ剛性はさほど増加しないし、むしろ低下することもある。こうなると力学的性質と D25、D20、D15 の関係を説明するのはかなり複雑かなあ、という気がする。ただし、長期性能と言った側面から見れば、乾燥の必要性はより明確になってくる。当然と

いえば当然であるが、長期性能保証に立ったとき、十分な乾燥は大変重要だということが、近年の実大材を対象としたクリープやメカノソープティブ変形（水が出入りするときのクリープ変形）に関する研究からわかってきた。ここらで、筆者の最近の研究事例を挙げて話を進めてみよう。

今回の学会でも報告しているが、筆者は、現在各種中断面部材（スギの未乾燥材と人工乾燥材、ベイマツの未乾燥材と人工乾燥材、及び4種類のスギ集成材—接着剤と応力比により分類—）に対し、自然環境下で曲げクリープ試験を行っている（応力比10~20%）。これまでの結果として、未乾燥材では負荷直後からの変位が非常に大きく、相対クリープ（初期たわみに対するその後のたわみの比）は、2年経過時点でベイマツ3.3、スギ2.2となった。一方、人工乾燥材（と言っても気乾材より含水率は高い）の相対クリープは、ベイマツ1.8、スギ1.9、スギ集成材では4種類とも同じ1.3となった。ここで、注目すべきは、もっとも相対クリープの大きいベイマツ生材のたわみは初期の3倍以上であったのに対し、スギ集成材のそれは1.3倍、と言う結果である。この違いの原因は、他の要素もあると思われるが、含水率の違いによるところが大きい。詳細は、近々木材学会誌に載ると思うので（却下になってたりして）、それを見ていただきたいが、長期性能に対する水の影響がいかにか著しいかを端的に示した例であろう。ここで、大雑把に50年後のたわみを予測してみたところ、スギ未乾燥材では「初期たわみ $\times$ クリープたわみ $\div$ 乾燥によるメカノソープティブ変形」、スギ集成材では「初期たわみ $\div$ クリープたわみ」となった。周知のとおり、通常、部

材単位の変形計算においては、木材のクリープ変形を考慮し、初期変形の2倍（湿潤状態では3倍）をとるという計算が実務では用いられている（木質構造設計規準・同解説167頁参照）。この2倍を気乾状態、3倍を生材状態の値と考えると、スギにおける今回の結果は実務とぴたり一致している。この結果をベースに、スギのD25、D20、D15の負荷初期に対する50年後のたわみを考えると、集成材では2倍、D25では3倍あたりだろうが、D20とD15については良くわからない。これは、脱湿時のメカノソープティブたわみは材料の表面付近が繊維飽和点に達した時点から生じるが、材内のどの部分までが気乾状態になっていけば生じなくなるのかが不明だからである。前述したようにJASによる含水率表示は、必ずしも材全体の含水率を表していないので、それを考慮した検証が必要になってくる、ということである。

この資料集が出る頃には、そのための曲げクリープ実験（目的は他にもあるが）にかかわっていると思う。実は、それ以外にも接合部の引張クリープや軸組構造接合部（梁-柱-土台）のクリープ実験をスタートするが（一部は既に始まっている）、何分にも場所と時間の関係で試験条件に限りがある。誰か一緒にやろうよー!!.....とお誘いしたところで、ペンを置くことにする。

=====  
**地方公務員「中年H」らの悩み**

**ー針葉樹乾燥材に関する雑感ー**

静岡県林業技術センター 池田 潔彦

=====  
中年H（以下、H）は、行政事務系の地方公務員であり、現在住んでいる官舎が古く、子供

の成長に伴い手狭になっていることもあり、後厄の明ける2年後以降に「いえ」を建てることを計画している。Hは、山や自然環境への関心が高く、雑誌（チルチルびと等）で「地域の木材でいえを建てる運動」、「地域材を活用したいづくりネットワーク」が各地で発足している情報を得ていることもあり、「いえ」を建てる際には、地域の裏山に生育しているスギやヒノキを、柱や梁が表しにした架構軸組と木材や天然素材を内装デザインに活かした居住空間を家族共々夢として描いている。このため、Hは、林業や木材関係の業務についているテニス仲間がおり、「地域産の木材を活用した木造住宅」について、彼らから何か有益な情報を得られるのではないかと期待していた。

週末のある日、テニスで一汗流した休憩時での雑談の際、Hは、ほぼ同世代で地域産の木材利用の研究をしているKに何気なしに「いえ」の話題を持ちかけた。聞くところによれば、KもHと同様、「いえ」について検討しているが、「地域材」とりわけ「スギの住宅部材利用と乾燥」について常々気になっている点があるという。Hはこの雑談がHの「いえ」への想いに悩みや戸惑いを抱かせるとは当初夢にも思っていなかった。

まず、KはHに地域産の製材品について、木造住宅を取り巻く社会的、経済的状況が変動し、建築用部材として多く利用されている針葉樹材、とくに構造用に用いるスギ材の乾燥が不十分な状況にあること、最悪の場合、伐倒後直ちに製材された木材が利用されている場合もある、といった現況を話した。Hは、これまで、木は乾かして使うべき事は漠然と知っていたが、この時点では、まだ「へー、そんな状況なのか。少

し心配だな」程度の意識であった。その時、「乾燥、木造住宅の話し？」と、同じく県職で林業振興課に籍を置くテニス命の中年 A（以下、A）が、H の隣に腰を下ろし話しに加わってきた。

K は H と A に対して、木造住宅の構造部材の乾燥が行われない場合や、その程度が不十分であった場合、建物の施工後に生じる部材の水分放湿の過程で部材に生じる変形や狂いとそれらが接合部や建物全体にどのような影響を及ぼすのか必ずしも十分に説明されていないこと、それらについて近年行われた実験で明らかになってきた事を手短かに話した。K は話しに夢中になると時々専門用語が飛び出すため、H は、K の話しを十分に理解することは出来なかったが、「施工後に梁が大きく変形する」、「柱が土台にめり込む」などは、障子の開閉が悪くなった話しや、何かのテレビ番組でみた床をコロコロ転がるパチンコ玉の映像が脳裏をかすめ、少し不安が増幅した。

「最近、業界新聞を読むと、＜…新方式による乾燥装置＞＜割れが発生しない乾燥技術が確立＞といった記事を良く目にするけど、実際のところどう？」

A の発した問いから、K と A とが再び木材の乾燥について話しはじめた。H は、専門用語が多く技術的な A と K の話しに付いていけなかったが、ここでも、ひどく気に掛かる会話が耳に残った。「伝え聞いた情報では、製品の乾燥程度を判断するレベルが平均で評価されたり（つまり半数が不合格？木は天然素材であるためばらつきが大きいと雑誌に書いてあったな？）、最悪の場合には、ロット当たり僅か数本が良質な製品であっても「新技術の製品」として唱われる場合もあるようで（つまり大半が不合格？）、

品質管理における意識に何か問題点があるように思える。（大変な世界だな。よく商売が成り立っているな。）」。

※（）内は H の内心

しかし、H は、先ほどよりもさらに不安が増幅したが、設計者が中心となり、林家、製材業、施工業が互いにネットワークを組んだ「いえづくり」については、これまでに読んだ本や雑誌中に、「乾燥した信頼性の高い木材を使う」、「材料性能に見合った適材適所な活用」といった事が見出しで唱われていた事を思い出し、この時点でも、「地域材を活用したいえづくりネットワーク」と違う世界のことであろうと思っていた。その後、彼らは白熱した 1 ゲームを行えた後、再び雑談に戻った。

「ところで、最近、木造住宅ネットワーク化の動向はどんな様子？」K が A に尋ねた。

S 県でも、循環型社会、林業持続的経営に向けた行政施策の一環として「地域材を活用したいえづくりのネットワーク」が県内の各地域での発足し行政でもそれを支援しており、A はその業務担当である。H は、「本当に仕事の話しが好きな奴らだな、テニスをやりにきたのと違うんか？」と内心ふと思ったが、話しが自分の未来に大きく係わることであり、K と A の会話の展開に期待を持って耳を傾けた。ところが、業務の話しに夢中になって早口でまくし立てる 2 人の会話から聞こえてくるのは、H が期待している事やこれまでにイメージしてきた内容とは大きく異なっていた。

H が聞きかじった主な内容は以下のとおりである。ネットワークを構成するメンバー相互の情報交流（相互の認識と理解、問題点の把握と対応）が依然十分で無いこと。乾燥程度の違い

によって住宅部材として発生する各部位での不具合やその発生度合いとその対処法を施行側と材料供給側とが密接に情報交換すれば適切な答えが見えてくるのでは？ 乾燥材に係わる人、木材生産側、施工側、最終消費者がすべてメリットを共有できる仕組みを構築することが早急に必要。「乾燥材問題」では、木材側は乾燥材としての性能のレベルを明確にしてその対価を得る、施行側は乾燥材を使用することで工法等施工上のメリットを得るとともに最終消費者（施主）との信頼関係（クレーム解消）を地域内で構築、施主も快適な居住空間を得るといった仕組みや相互理解をはかるための努力が必要では？ そのためには、ネットワークを構成する各員がそれぞれ今日の商売とは異なる相互の取り組みも必要ではないか？ 「乾燥材問題」はとくにこの点を考慮に入れて取り組む必要があるのでは？ . . . . . 等々。Hは、発足したネットワークに多くの課題が山積みになっている現状を知るとともに、自分のいえづくりの夢がしばむ気がした。

さらに、Hにとって酷な会話が続いた。S県では、昨年末に「S優良木材認証制度」を立ち上げ、認証製品に必要な性能として、乾燥（含水率）、寸法精度、強度（ヤング係数）を規定し、品質の確かな県産材の普及促進に向けて第一歩を踏み出した。しかし、行政側の描いていた思惑が大はずれし、スギ材を認証製品として積極的に出荷する意志を示した工場は皆無で、スギ乾燥材の安定供給に至る道のりの遠いことがあらためて思い知らされた。また、製材工場側の意識は、数年前と比べて乾燥等に対する必要性の意識は向上している反面、乾燥規準を充たすことが困難、そのコストが云々といった理

由が聞かれ、ヒノキ乾燥材の対応で精一杯である状況ある。これらが、会話の概要であった。

「厄年がおわる数年後に、これらの問題が何とか改善や解決されていれば、地域材を活用したいえを建てたいんだけどな。」「県産材の利用促進を主業務としている俺らが、もし、SハウスやRハウスを建てたら（買ったら）、何とも洒落にならないよな。」

AやKらの言葉が、再開したゲーム中にHの脳裏を駆けめぐっていた。

=====

## 乾燥への感想

### L I C C代表世話人

(株)榎戸材木店代表取締役 榎戸 正人

=====

品確法の制定やプレカットの普及、住宅の高気密・高断熱化に伴い、乾燥材を求める声が強まっている。昔のように山での伐採後に葉枯らしをされるものは少なく、林業機械の発達により伐採、搬出の期間が短くなり、さらに製材工場も資金の回転を重視し在庫を減らして数日前に仕入れた丸太を製材するところが大半である。しかも流通も短絡化し、製材された製品がプレカット工場に運ばれると数日後には建築現場で建前という有様だから、材が乾燥している暇が無い。結局、人工乾燥というのは以前の木材の乾燥に必要な時間を、金とエネルギーを掛けて代替しているのだと言えよう。

今や乾燥と言うと人工乾燥を指し、天然乾燥は見向きもされない。しかし、天然乾燥の方が人工乾燥よりも優れている点も多々ある。第一に、時間は掛かりその間資金が寝てしまうと言っても、乾燥に必要なエネルギーコストはゼロ

に等しい。また土地さえあれば設備投資の資金もいらぬから、それらを考えれば資金が寝てしまうと言うデメリットをカバーして余りある。最初に天乾するのに必要な資金を国で融資する方が人乾の設備に補助金を出すよりも国の負担も少なく、出しっぱなしではなく回収できる融資であるから議会や国民の理解も得やすい。

また、人乾の際に出る水分は木の持つ成分を含んでいる。言い換えれば水と一緒に木の成分を抽出してしまっているわけで、腐りにくさや耐蟻性などその樹種の持つ特性が弱まるのではないかと思われる。それを考えた場合、時間を掛けてゆっくりと乾燥させる天然乾燥の方が木の持つ成分を残しながら乾燥できるので出来上がった製品の特性は優れていると考えられる。

かつては葉枯らしだけでなく伐採前に根本の樹皮を剥いて木を枯らせる立ち枯らしや、伐採後の丸太をしばらく組んで放置し乾燥させるなど、エネルギーを使わずに木を乾燥させる様々な知恵があった。それらが人工乾燥の普及により廃れてしまうのはエコロジーが叫ばれる時代に逆行するものである。

食品でも「天然」と名が付くと高くても売れるわけで、乾燥材も天然乾燥と人工乾燥は分けて表示すべきではないかと思う。外材は人工乾燥が殆どであり、天然乾燥が一つの付加価値として認知されれば、それは同時に国産材の有利さにもつながる。国や県のこれからの取り組みとして、天然乾燥の推進もぜひ行って頂きたい。

## 木材販売の現場から

高知県森林局林業振興課 大野 孝元

県産材の販売促進業務に従事し、早くも2年が経過しようとしている。この間も木造住宅の減少や、安価な北欧集成材の台頭により県産材の需給は年々低下を続けており、その要因の一つとして、現在の木造住宅には不可欠である乾燥材の供給不足や品質の安定、需要者側の乾燥材に対する認識不足があるのではないだろうか。

本県ではこれら問題に対し、乾燥材を利用した住宅への助成や、乾燥機設置への支援のほか、大きな木材需要先である県外市場への販売支援を進めている。県外市場への販売については、従来のグリーン材の供給ではなく乾燥材の供給を拡大させるべく、本県の乾燥材供給メーカーの集まりである、協同組合ドライウッド土佐会の活動を中心に支援し、県産乾燥材の販売を進めているところである。

一般に県の支援と言え、補助金や融資といった支援が通常であるが、本県では、県外工務店や設計士とのコーディネート、業界と一体となつての工務店への訪問、県内木材産地への案内など、一歩踏み込んだ取り組みを進めている。この取り組みは、本県の製材工場がこれまで製品市場での販売が多くを占め、営業力が乏しく新しい販路を見出す事が困難であったことから、平成8年度当時に県と業界が一体となり、大消費地である関東方面の工務店等を中心にマーケティングを行い、県産乾燥材の売込み（営業活動）を開始したことから始まっている。

この活動の中で、柱などの単一部材の供給ではなく、邸別での供給を求める声が多くあり、

需要動向に応じた産直住宅（邸別部材供給）の取り組みを開始したのである。

邸別の供給に際しては、材料供給者の責任の明確化や住宅施工業者とのトラブル防止を目的に、一棟分の構造材を一製材所が担い、建築には踏み込まず、プレカット加工した部材を現場に搬送するシステムとしている。邸別の部材供給は、横架材などに特殊サイズがあることや、部材数が多く大量のストックが必要なことから受注生産を基本にした。産直方式による材料供給によって、外材との値段の格差を縮小し、一棟一製材所の納材による産地の明確化により、家の故郷がわかる（顔の見える）家づくりを目指した産直システムである。

先にも述べたように、これまでの製材工場では、製品市場への出荷が主体であり、多少の欠点材を含め取引されていたが、この邸別出荷では、欠点材（傷、節抜け等）の混入が即クレームであるのに加え、確実に納期を厳守することが絶対の条件である。また、工務店別にそれぞれ独自の品質基準を設けており、それぞれの需要にあった製品の供給が必要となっている。とくに、割れに対しては過度で、髪の毛程度の割れしか認めない工務店等も現れている。

このような中、スギの乾燥において一般的に使用されている中温蒸気式乾燥機では、表面割れを抑制することは難しく、含水率の高い材を供給することでこの問題を克服している事例も見られる。これは、各製材工場の技術に格差があることも事実であるが、見た目重視の注文が多く、含水率より割れが少なく色合いの良い製品を求める声が多いのである。

\*

市場においても、高い含水率の材が乾燥材と

して一部流通しており、乾燥材に対する信用の低下を招いている。このため、大手住宅メーカーやプレカット工場では、品質が均一でトラブルの少ない集成材にシフトしていると考えられる。乾燥材の信用回復には、表示に偽りのない商品の供給や、新 JAS 規格に適合した含水率 15% 以下の高品質材の供給など、品質を重視した製品の供給が必要となっている。

本県においても、品質の高い製品作りや、乾燥材の安定供給、乾燥コスト削減のため、高温蒸気式乾燥機を中心に導入が進んでいるが、自社製品に適した乾燥スケジュールの確立など乾燥材の製造にかかわる課題の他に、導入する乾燥機の選定や製品の測定方法など課題も多い。

まず、乾燥機を購入する際に検討するのは、耐久性、扱い易さ、メンテナンス、熱効率などのハード面と、メーカーの乾燥に対する知識と経験に基づくソフトである。この二つの要素が合致した乾燥機を導入することになるのだが、機種ごとの評価基準が乏しく、製材工場別の製品に適した乾燥機の選定が難しい。用途や樹種によって機種は違うし、乾燥機の材質やソフトの質により値段が違うこともわかるが、同じ高温蒸気式乾燥機で 2 倍以上もの値段の開きのある機種が存在するなど、客観的な評価基準が必要なのではないだろうか。また、国際競争力を発揮するには、今以上の乾燥経費の削減や、乾燥歩留りの向上（割れ、曲がりの発生の抑制）が必要であり、これらの研究開発が重要である。板の場合問題は少ないが、構造材、とくに今後需要が拡大すると思われる横架材についての研究開発が急がれている。

また、信頼の高い乾燥材を供給するためには、含水率の測定方法を確立させる必要を感じてい

る。含水率の測定は、一般に高周波木材水分計（携帯型）の測定機が多く使用されているが、乾燥材の量産工場ではマイクロ波透過型木材水分計（設置型）の活用が多くを占めている。携帯型の測定機は表面含水率しか測定できないことから、水分傾斜の高い材では、後々のトラブル発生など危険が潜んでいる。また、乾燥機から材料を出した直後に測定するなど使用方法にも問題がある。設置型の場合でも、とくに横架材の測定に際しては、木材中心部分の測定ではなく端部に近い部分を測定している事例が見られ信頼性に問題があることに加え、携帯型も同じであるが、含水率測定後にモルダージや修正挽きを行うことにより、乾燥した辺材部分を切削することで、出荷時の製品の含水率が高くなっている事例も見られる。

高周波を併用した新しい乾燥技術の導入により、芯から乾燥した製品の供給も可能であるが、現在主流の蒸気式乾燥機では、水分傾斜を無くす事は難しいことから、測定器の認定だけでは不足で、測定方法を明確化しなければ信頼の高い製品供給は難しいと思われる。

最後に、現在はあまり問題視されていないが、人工乾燥による木材の劣化や、耐久性についてである。現状では、緊急に乾燥材の供給量を増大させると同時に、割れの少ない製品供給を進めている段階にあるため、この劣化等の問題の前に行わなければならない課題も多く仕方ない面もあるが、一定水準を達した時、この問題は大きく取り上げられるのではないだろうか。現在、徐々に研究も進められており、高温乾燥と天然乾燥との耐久性などの実験データも揃いつつあるが、建築基準法に定められている耐久性区分にも影響を与える可能性があり、早い時期にデ

ータを蓄積し検証を行う必要がある。とくに、スケルトン・インフィル住宅を含め、長期耐用住宅の土台などへの使用については注意が必要と思われる。健康志向の高まりや廃材リサイクルの関係で、薬剤処理を行わない住宅も多く見られ、良質な住宅ストックを確保する観点からも重要な研究テーマである。

一般に、木材は伐採されてから強くなると言われているが、人工乾燥材は如何なのか、天乾材と人乾材の耐久性の違い、基本性能（許容応力度）など、多くの検証が必要ではないだろうか。

これらの問題を克服し、高い品質の乾燥材を供給することにより、集成材に奪われた需要の回復や、新建材から木材への需要の回帰により、国産材の明るい未来が開ければと願っている。

=====

## 産の課題と官・学への期待

日本木材乾燥施設協会専務理事 榎原 正規

=====

### 1.はじめに

最近木材乾燥を取り巻く情勢はやや混乱の兆しがあるのを拭いきれない。主として技術的な評価の問題と思われるが、多くの問題でここへきてつけを払わされている。

乾燥機について言えば、同じ蒸気乾燥機にしても当協会傘下のメーカー数だけ乾燥機の種類があると言っても過言でなく、まして方式の異なる乾燥機も入れれば全体的には相当の機種となる。それぞれの特長を活かして活用してもらえばよいが、その客観的な判断はかなり難しい。とくに乾燥機ハードに関しては官・学から発信する情報が極めて乏しく、正直なところユーザ

一は客観的な判断の拠所を欠いているのが現状と思われる。

一方、乾燥技術においても、ここ数年高温乾燥が主流を占めてきたが、ユーザーは必ずしもそれに満足しているわけではなく、色々と模索しながらも決め手がないままに導入し、結果としてもてあましていくありさまも散見される。

これらの問題は、一般に乾燥はファジーでわかり難いとする風潮に多く起因しており、いま多くの問題現象を理論的に解明されつつある学の成果を必ずしも反映しきれていない。自身も一端の責任を感じる最近である。この機会に問題提起の形で産の課題を整理し、一顧のきっかけにでもなれば誠に有意義である。

## 2. 木材乾燥機の普及状況と今後の注目技術

平成 10 年頃に調査されたあるアンケート結果によると、乾燥機所有企業の実に約 70% が何らかの不满を持っていることが示されている。不满の 1 位は「心まで乾燥しない」であり。2 位が「割れ狂いが多い」であった。

乾燥機メーカーの言い分も多少あるが、乾燥機の製造技術はここ数年で飛躍的に向上してき

たのに比して乾燥のソフト開発が大幅に遅れている恨みである。メーカーでは乾燥技術のソフト開発までなかなか手が廻りかねるのが実情であり、早く・安くの客先ニーズに応えるのが先行して、いささか安易な取り組みがなされてきたことは否めない。同様に問うた今後の注目技術は、図 1 に見るように高周波に高い関心が寄せられ、今後の品質重視傾向を肌で感じていることが伝わって来る。

いずれにしても、ここ 2,3 年が乾燥技術の集大成期にあることは間違いなく、高温乾燥にしても材面割れ防止技術がほぼ確立され、引続き内部割れ防止技術へ研究の焦点が移っており、高周波・蒸気複合乾燥もはや実機での実績が出つつある。近年は新しいものへの転換はことのほか素早く、気付かない内に流れも変化することから、乾燥機は企業の戦略設備になりつつあり、今後は所有する乾燥機で企業格差が付く時代が確実にやって来ることが予測される。

## 3. 学への期待

以上述べてきたような産の状況を踏まえて、大学・研究機関の研究状況を昨年の木材学会発表テーマで眺めると、従来の流れに明確な変化が起こっているのに気付かされる。従来であれば我々は乾燥分野のみ注目していれば事足りたが、今回は多くの分野で乾燥と関連する研究発表がなされていることに驚かされる。ちなみに、乾燥と関連すると思われる発表テーマを全分野から拾ってみると表 1 のようであった。

裏返せば、乾燥（又は含水率）が材質・物性・

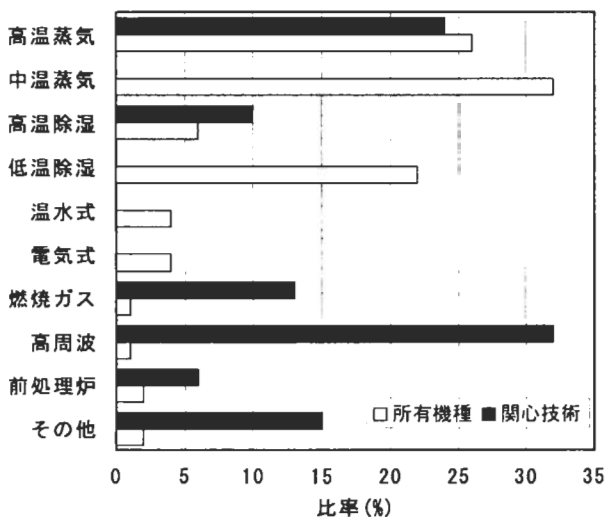


図 1. 所有機種と関心技術

表 1. 乾燥関連発表テーマの分野別件数

分野	材質	物性	強度	木質構造	計	乾燥	(内注目テーマ)
件数	3	9	5	3	20	19	7

強度を支配する一大因子であることが再確認された現象と見ることが出来ないであろうか。これは非常に望ましい現象であるが、ここまで来るとやがてはこれらの分野が有機的に結集して、テーマに一貫性をもったプロジェクト研究へと発展していく様が見えてくる。乾燥研究は長年広葉樹が対象であり、ややマイナーな研究分野としていささかまとまりを欠き、それが針葉樹にかわっても研究手法に色濃くその影を落してきた。対象の中心が針葉樹構造材に移行してからそろそろ 10 年が経とうとしているのを契機にこの辺で産官学揚げての研究体制再編に取り掛かる必要があるかも知れない。

木材の研究では避けられない問題として供試材の質や履歴を揃えることの難しさがあるが、プロジェクト的研究が進めばこの点を解決できる期待もある。ベースになる乾燥を一括処理して各分野へ提供すれば横断的研究の精度が確保され、成果は十分信頼するに足る。

研究分野で横断的研究が進んでくると、いま一つ期待できるのが研究成果のデータベース化である。少なくともスギ構造材については各分野を横断的に関連付けた乾燥品質と強度・物性の実用的なデータベースを早急に整えることを提案したい。産地による優劣とか、乾燥機の是非を排除して、純粋に材料工学的に権威をもった実用データベースが今ほど要望される時代はないと思われ、集成材を競合品とすればその成果は重要な役割を果たすものとする。

#### 4.産がかかえる開発課題

最近学会では乾燥分野と物性分野が共同でレオロジー研究会を開催している。何度か出席してその意義を痛感しているが、まだ回が浅いせいもあってか両分野で必ずしも焦点が定まっ

ていないのか、今のところ互いの志向に若干の同床異夢のところがかいまのぞかれる。あるいは現実的な問題でマクロとミクロの接点がなかなか見つからないのが実情かもしれないが、焦らず続けていかれることを願ってやまない。

これが成功の早道は可及的速やかに現実的な共通テーマを新たに構築することではないかと考えるのはあながち筆者だけではないと思うが、その一助たり得るかと考え、現在産がかかえていると思われる研究開発課題を整理し表 2 にあげてみた。

学会との関連は少々薄れるが、我々にとって今最も急を要する課題は乾燥指標の標準化であろう。乾燥品質の拠所となる標準指標が、ユーザーとの合意の下で表示されるようにでもなれ

表2.産がかかえる木材乾燥に関する研究開発課題

研究開発分野	研究開発案件
1. 乾燥機の開発	①新しい原理に基づく乾燥機の開発 ②プロセス開発（重量選別含む） ③設備仕様基準（基準の根拠）
2. 乾燥材品質の研究	①乾燥後の長期養生試験（含水率が長期間に及ぼす影響の調査） ②乾燥温度と強度、耐朽性 ③乾燥の定義・規定のコンセンサス（現状は立場によって異なる） ④内部割れの許容度と物性 ⑤建築構造材としての物性データブックの整備 ⑥物性試験の試験法の共通化 ⑦構造材の乾燥データブック（乾燥温度、時間、仕上り等）
3. 乾燥スケジュールの研究	①乾燥過程における乾燥応力変化のシミュレーション実用ソフト ②スギ構造材乾燥の標準乾燥スケジュール（建築サイドと共同研究の成果として） ③割れ対策（原因のミクロ的研究）
4. 乾燥指標の標準化	①柱乾燥の標準状態の定義 ②乾燥コストの根拠となる乾燥の定義 ③乾燥製品のJAS認定制度 ④ユーザー（建築サイド）の乾燥品質スタンダード
5. スギに関する産地特性	①産地による乾燥特性の差 ②黒心系の材の取扱、乾燥方法

ば、乾燥の信頼性が格段に向上してくることは間違いない。木材も例外でなくグローバルスタンダードに取り込まれたいま、護送船団方式では外材に太刀打ちできなくなる。既にその傾向が見え隠れしているだけに、急ぐ必要がある。

生産者においてはそれぞれ固有の利害もからみ、目指す方向が微妙に異なるのはもとより承知の上で、国産材が中長期的に見て勝ち残っていくには、もはやきっちりした乾燥抜きでは考えられず、それにつけても現状を思えば強い危惧を感じざるを得ない。

いずれにしても、産がもっと学と技術交流を活発にし、学は産もしくは現場へ一歩も二歩も踏み込んでいく関係を強固に築くことが先決と思われ、驚くような実態が現場に転がっている可能性も少なくないはずである。

## 5.おわりに

先述したように乾燥の実証的研究グループと物性に重きを置いたレオロジー研究グループが親しく交流する研究会に非常に共感を覚えているが、彼らの深遠な議論の中で時折我に返って乾燥の実態に思いを馳せる時、衝撃的でさえあるのは蒸気乾燥における制御の自由因子は100年この方基本的に乾球・湿球の2元でしかない事実である。今後有効な研究成果を活用していくためにはあまりに手詰まりであり、いささか問題があるとしか言い様が無いが、そろそろ次世代乾燥機の出現が望まれる所以である。それにつけても木材乾燥の研究成果が乾燥機の仕組みを大きく変えるほどの革新的研究テーマの出現が待ち望まれている。

## スギの乾燥柱材について

越井木材工業 越井 健

今後の住宅建設では、乾燥材の使用が進んでいくと思われるが、国産のスギは乾燥材の生産が進んでなくスギ製材品約400万 $m^3$ のうち乾燥材の比率はわずか10%前後と見られてる。

これらの原因として考えられるのは、杉芯持ち柱材は含水率25%まで乾燥するのに、一般の蒸気式乾燥で約2週間かかり、乾燥コストは1 $m^3$ 当たり1万円から1万5千円を必要とする。さらに収縮分を見越した歩増し、不良率、仕上げのコスト、等の費用が必要となる。しかしながら実際の乾燥材の販売価格にはこの経費が反映されないことが多いためと考えられる。

一方、住宅建設の面からは長寿命化、本物志向から12cmの無垢材の人気は強いものがあると思われるが価格が高いと実際に使用されない事になってしまう。このためのスギ材乾燥の低コスト化が要求されている。

これまでも、天然乾燥、除湿式、蒸気式(一般、高温)、蒸気・減圧、燻煙式、高周波・減圧が利用されてるが、スギ材は乾燥が難しい、と言われ、その第一の理由に、他の材に比べて含有水分が多いことや(生材含水率が50%~150%)、品種や生育条件によって材質の違いが大きいなど言われている。

そこで、葉枯らしによる乾燥材の提供を積極的に行うことで乾燥費用のコストダウンをはかることを提案する。

現状の葉枯らしの実績はスギで10万 $m^3$ 程度と言われている。効果は含水率が辺材、心材共40%以下に減少すると言う。処理期間は主伐材

で40～50日、冬場では70日～90日が必要という。また、現状の葉枯らし材の評価はスギ素材で1立方当たり3,060円の評価を受けて取引されると言うこの葉枯らしと、各種の乾燥機を組合せて乾燥仕上げすることで全体のコストダウンをはかる。そして、この葉枯らし乾燥に対して行政が補助をする、たとえば葉枯らし期間の資金の融資など。また葉枯らし材の技術の普及をはかり、規格の作成を行い検査方法、品質管理を整備していく。原木の段階から一気通貫での乾燥処理システムを確立する必要がある、高含水生材の材を乾燥機械ばかりに拠るのでなく山から製品まで通して乾燥システムを確立する必要があると思う。

=====

## 木材乾燥について思うこと

奈良教育大学 谷口 義昭

=====

### 1.木材乾燥研究に横のつながりを!

最近5年間に木材学会大会の木材乾燥部門で発表された内容はつぎの通りであった。まず発表件数は、1997年23件(口頭19,ポスター4)、1998年27件(口頭18,ポスター9)、1999年25件(口頭21,ポスター4)、2000年28件(口頭21,ポスター7)、2001年27件(口頭19,ポスター8)と推移し、10数年前に比べて研究者数の増加も影響して高い数値を維持していることがわかる。

研究内容を研究対象材(とくにスギ材)および乾燥方法について整理すると、表1の通りであった。全発表件数に対する研究対象がスギ材の割合は70～80%と高く、しかもそのうち正角材・柱材が主な研究の対象となり、木材業界が

直面する今日的な問題への対応がうかがえる。乾燥方法では、高温熱風乾燥にここ数年顕著な増加がみられ、また高周波加熱乾燥は4～7件とコンスタントに発表されている。

研究体制で興味をひいたものに、1999年に発表された「スギ品種の乾燥特性」の事例があげられ、これは九州地方の公設試験研究機関が共同で研究した成果であった。

以上の研究発表を要約すると、研究対象材の大部分がスギ材で、しかも今日的な要求の高い正角材・柱材であり、加えて乾燥方法では高温熱風乾燥が多いと言える。したがって、各研究発表では内容のオーバーラップも考えられ、今後より効率的に研究を推進するためには、九州地方公設試験研究機関の例のように大学や研究機関で横のつながりが必要ではないかと思われる。

この横のつながりを確立するために、まず大型研究プロジェクトを組んで、科学研究費補助金等の申請をしては如何であろうか。この5研究会合同のシンポジウムの開催を機会に何かの行動をとっていただければ幸いである。

表1 発表件数と乾燥方法の推移

年 度	97	98	99	00	01
全発表件数	23	27	25	28	27
研究対象:スギ材 (内、正角材・柱材)	19 (12)	19 (12)	18 (12)	20 (16)	20 (20)
スギ正角材・柱材の乾燥方法による分類					
高温熱風乾燥	3	0	2	8	10
中温熱風乾燥	3	0	2	0	5
高周波加熱乾燥	5	7	4	6	5
燻煙乾燥	0	3	2	1	1
その他	1	2	2	1	1

### 2.木材乾燥従事者と乾燥機メーカーの人材育成を!

従来の木材乾燥機では乾燥温度や湿度の設定を手動でやっていたが、今日ではコンピュータ技術の発達によって自動で運転する機種が多く普及するようになった。このように機械の性能

等ハードウェアの充実には目を見張るものがあるが、反面全自動であるため乾燥過程で木材と接する機会が少なくなり、木材乾燥の基礎と機械操作がわかる乾燥技術者は少なくなっている。すなわち、以前は、木材乾燥従事者は何回も失敗を重ねてはじめて適正な乾燥スケジュールを作成できるようになったが、現在はそのような職務体制はとりにくいために乾燥専門の人材の育成は難しい。しかしこのことは重要であるため、何らかの対応策が必要であろう。

乾燥機を製造・販売しているメーカーにおいても、ハードウェアは自信を持って指導できるが、乾燥条件の設定など乾燥スケジュールに関するソフトウェアは機械を納入した企業まかせのところが多く、適正なソフトウェアの開発が遅々として進んでいない。悪く言えば、売りっぱなしである。もっとも、乾燥する木材は千差万別であり、個に応じた対応は難しいために、ソフトウェアをどうしても企業まかせにせざるを得ないが、まかせっぱなしというのは気になるところだ。

木材、とくにスギ材等針葉樹製材品の乾燥の重要性が叫ばれた一つの引き金に木材の品質保障の問題がある。その対策として、高品位の乾燥材、低乾燥コストの人工乾燥法と乾燥機の開発が求められている。製材機やかんな盤など多くの木材加工機械では製造技術の蓄積があり、一定の性能基準が確立しているように見えるが、木材乾燥機はまだ発展段階であるため、乾燥機によって性能にばらつきがみられる。それを選択する木材・製材業界は不安を隠しきれないのが現状ではなかろうか。乾燥機1機を購入するにしても価格は高く、ましてその性能が不十分で予定していた乾燥ができなかったら大いに問

題である。

誰もが安心して購入できるように、温度・湿度の設定の精度、風速の確保、機材の耐久年数等々、木材乾燥機として基本的な必要最低限の性能基準ぐらいはどこかで決めてもらいたいものだ。

### 3. 頑張れ製材業界!

外材の圧力に打ち勝ち、国産材の消費拡大をはかるには、乾燥した木材を安定供給することが解決策の一つであることは自明である。そのために、国は森林組合や木材協同組合に構造改善事業などを通して援助し、大きな乾燥施設を建設してきた。これを母体にして木材乾燥技術が普及し、乾燥材の供給量が増加したことは大きな功績である。そこで、これらの施設を利用している組合員が、乾燥材を安定的に供給するには共同乾燥施設だけでは間に合わないと自覚し、企業個人でも乾燥機を持ちたいと希望することを期待する。もう既にそのような企業は多く存在しているかも知れないが。

業界がこのような意識改革をするためにも、補助事業により大きな単位の乾燥機が導入される際、乾燥施設に性能の良い機種を設置することは非常に大切である。

企業個人で新たに導入するからには、本気で乾燥機の選定や乾燥技術の習得を目指さなくてはならないと思う。そのくらいの覚悟は企業で持ってもらいたい。このとき公設試験研究機関が果たす役割は大きい。木材学会や木材加工技術協会などの横のつながりを最大限に利用して、企業から相談を受けたとき十分な情報を提供する体制づくりが必要である。

=====  
**木材乾燥の周辺について思うこと**

鹿児島県商工観光労働部 遠矢良太郎

=====  
木材乾燥技術は、大学や公設研究機関の研究  
成果及び技術普及によって大きく進展し、除湿  
乾燥や中温乾燥及び高温乾燥等について樹種、  
材厚、用途にあった乾燥スケジュールが提示さ  
れています。木材の品質を向上させ、安定化さ  
せるために、また住宅の品確法に適切に対応す  
るためにも、木材乾燥は益々重要となっていま  
す。

林業と林産業は本来一体となった完全水平循  
環型リサイクル産業と考えるべきであり、エコ  
マテリアルである木材の加工においても、省資  
源型加工、水平リサイクルし易い易解体製品と  
すること、消費者へ製品情報を提示することも  
必要になるでしょう。木材乾燥をかかるとの観  
点から見た私見です。

**1.熱源に自然エネルギーの活用を**

人工乾燥は、熱気乾燥であり、低含水率まで  
下げられること、乾燥時間が短縮できること、  
損傷の発生を少なく出来ることから、人工乾燥  
機が広く導入され、家具部材はもとより、建築  
用構造材の人工乾燥率が高まりました。これは、  
品質の信頼性、納期短縮、在庫管理がし易いこ  
とにつながり、経営上も利点として上げられま  
す。

天然乾燥は人工乾燥の予備乾燥として行われ  
ていますが、予備乾燥としての天然乾燥をもっ  
と上手に利用することが必要ではないかと思いま  
す。

木材を 1m<sup>3</sup> 乾燥するに要する天然乾燥の投入  
エネルギーは炭素換算で約 15kg、人工乾燥で約

28kg であり、天然乾燥は人工乾燥の 1/2 のエネ  
ルギーで済むことが示されています。（有馬孝  
禮：エコマテリアルとしての木材）

○天然乾燥

かかることから、乾燥日数を要するものの、  
太陽熱や風力を利用する自然エネルギーを用い  
た運転経費の少ない、天然乾燥は、土地代が安  
く、広い土地が確保できる地方の工場では、も  
っと取り入れられても良いよいのではないかと  
思います。

○太陽熱利用

当県の旧木材工業試験場では 1983 年頃、山之  
内研究員が倉庫材料を兼ねた太陽熱予備乾燥方  
法を研究していました。試作した装置の骨組み  
は木製、透明な波板を屋根と壁材に使用し、内  
部送風ファンと換気扇を取り付けた簡単なもの  
で、乾燥時間は結構短縮し、装置も安価でした  
ので、ヤクスギ業界等地元企業からの反応も  
上々でした。

○バイオマス利用

工場から排出する残材廃材を用いて、蒸気や  
温水を作りそれを乾燥熱源としたものは多く見  
られますが、バイオマスのマイクロ発電も含め  
た、バイオマスエネルギーの利用は今後益々重  
要になってくるものと思われます。

**2.歩留まりを考えた製材と乾燥**

製材や乾燥は、木材加工の入り口の工程であ  
り、その後の材料歩留まりやコストに大きく影  
響を及ぼす重要な過程であります。材料歩留ま  
りについて見みますと、

○心持ち製材品

南九州の製材は、スギの心持ち柱材生産が殆  
どであります。製品寸法 10.5cm の柱角材に仕上  
げるには、11.5～12cm に製材します。製材寸法

から製品寸法には 9%小さくなり、体積にして  $(1.00-0.09) \times (1.00-0.09) = 0.82$  となり、即ち製材から製品になるまでの歩留まりは 82%となります。

11.5~12cm の角材の乾燥期間は、天然乾燥で 3 ヶ月、人工乾燥（高温）で 7~8 日を要しています。

○集成材生産において

B 材丸太からのラミナ

B 材丸太からラミナを製材し、5 プライで 10.5cm 角集成材を製造するためには、ラミナの寸法：幅 120mm、厚さは 30mm、接着前のラミナの厚さ：22mm、5 プライ積層し、10.5cm に仕上げる。30mm×5 プライ=150mm、これに鋸身幅 3mm×4 回=12mm、両方合わせて製材前の必要寸法 162mm が 105mm に仕上がるとなると厚さ方向は 35%小さくなり、幅 120mm は 105mm に変化することから、12.5%小さくなる。

体積にして  $(1.00-0.35) \times (1.00-0.125) = 0.57$  となり、即ち B 材から 5 プライ集成材を得るのに、製材から集成材製品になるまでの歩留まりは 57%となります。B 材丸太の場合 5 プライにするのは、寸法安定性を確保するためです。

一般材丸太からのラミナ

B 材以外の一般材の場合は、4 プライ集成材でも寸法安定性があるので、ラミナの製材幅 120mm、厚さ 33mm、鋸身幅 3mm×3 回=9mm、ラミナの接着前の厚さ 27mm、製材前の必要寸法 141mm が 105mm に変化することから、25%小さくなります。

体積にして  $(1.00-0.25) \times (1.00-0.125) = 0.66$  となり、即ち 4 プライ集成材の歩留まりは 66%と歩留まりは 5 プライの場合より 10%増加します。ラミナの幅が大きく、また厚さが小さ

くなると乾燥中のカップ量が大きくなるので、カップ量を小さくすることが出来れば歩留まりは著しく向上するはずで

ここでは歩留まりのみについて述べましたが、製材は木材加工の入り口工程であり、製品の要求性能、材質、乾燥性を考慮して寸法等を決定するべきで、このことは、材料歩留まりや加工能率及びコストに大きく影響しますので重要で

### 3.安心・安全な製品情報の表示

BSE 問題、JAS 法違反等に端を発して食料品に対する安心・安全性が揺らいでいます。食料品で虚偽の操作を行った企業は社会的に成り立たなくなる等厳しい制裁がありました。

木材についてみますと、木材の性能表示は、消費者に適切に情報を提供することであり、消費者への信頼を高めることになりユーザー確保にもつながります。含水率、ヤング係数、寸法精度、木材の産地、製造企業、そして出荷した製品のデータをある期間保管して置く等、企業の地道な取り組み努力が望まれます。

まとめ

ものづくり製造業では、海外からの安い製品の流入、産業の空洞化、製品の高品質化と低コスト化等、大変厳しい状況下にあります。木材産業も同様に大変厳しい環境にありますが、木材はエコマテリアル材料であり、その優位性を生かす工夫と努力がビジネスチャンスを生むこととなります。

=====  
**乾燥材（国産材？）の価格について一私見**  
森林総合研究所 長尾 博文  
=====

秋田県立大学の飯島先生から、専門分野の立場から乾燥材について、という原稿依頼をいただいた。本来、筆者の専門分野は木材（主として製材品）の強度であり、構造用製材に対する乾燥の必要性について述べるべきであろう。しかし、現在の建築分野を取り巻く環境を考えれば、強度的な要求より、むしろ寸法安定性の点から乾燥材の利用は避けて通れないことが周知の事実である。また、本シンポジウムでは強度研究分野からの講演発表も予定されており、乾燥材の強度に関わる最近の研究動向について述べたとしても多くの点で重複（矛盾？）することも予想されるので、ここでは、筆者が乾燥材について常々考えていることを述べたいと思う。ただし、あくまで筆者の個人的な考え（戯言？）であり、多くの方々からのご批判もあるかと思うがご容赦願いたい。

木材自給率の永きの低迷に加えて、建築基準法が仕様規定から性能規定への移行、「住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）」の施行などを背景に、国産材の需要拡大を目指して、低コストで乾燥した製材品を市場に送り出すための技術・開発や政策が進められている。現在の国産材の価格は海外からの製材や集成材によって決定されている傾向にあり、これらの材料と価格面で競争できるためにも、乾燥コストを抑える必要がある。また、最終製品の価格を抑える点で言えば、海外と比較してわが国の素材価格に割高感があり、より安い国産素材の価格を求める意見もある。しかし、このよう

な低コスト、低価格化が押し進められる一方で、伐採後の再生林のための費用不足から森林が荒廃したり、様々な処理によって木材そのものもつ性能を低下させるようなことがあれば本末転倒であろう。

住宅を建築する世代を対象にしたアンケートでは、しばしば多くの消費者が木造住宅を望んでいる結果が報告されている。また、最近オゾン層の破壊に伴う温暖化への危機感から、地球上のCO<sub>2</sub>削減に対する森林の役割や自国の森林を持続的に管理していくことの必要性に大きな関心が寄せられ、国産材を使って家を建てたい人は潜在的に少なくないと考えられる。しかしながら、木造率は減少の一途をたどり、昭和60年に50%を割ってからこの10年45%前後で推移しており、木材需要に対する自給率に至ってはわずか20%程度まで低下している。これらの原因はどこにあるのであろうか？

前述したように、建築を取り巻く環境は変化し、住宅の様々な性能は施主（消費者）が選択することが可能となり、その影響から構造材料である木材についてもその品質の明確化が必要とされている。そこで、木材の品質に関する情報が必要となり、このような変化に対応すべく、国産材に関する様々なデータが提供され、活用されている。しかし、消費者が国産材を選択するための情報はこれで十分であるだろうか？住宅の性能と同様に、それに使用される構造材を選択可能にする情報も一般の人々に対して与えていく必要なのではないだろうか？

たとえば、住宅を建築する施主に対して、木造住宅一軒あたりの構造材料（木材）の占める費用（割合）と、国産材、外材、集成材等、それぞれを選択したときの価格差を明確にした上

で、これらの価格がどのような行程の積み上げによって設定され、その行程の必然性について理解しうる情報を与えるべきである。すなわち、国産材で言えば、割高な価格にはわが国の森林を維持するためのコスト（たとえば、伐採、植林、育林費）がこれだけ含まれていて、そのことによって身近な森林を荒廃から守り、持続的な森林管理が可能になること。また、木造住宅の性能を発揮するため、木材の加工技術（たとえば、乾燥）のコストもこれだけ含まれていること。など・・・これらの情報は我々も含めて木材に関わる人間にとっては決して目新しいものではないが、今から家を建てようとする施主には必要な情報であるにもかかわらず、欠落しているような気がする。最近、一般の人々の環境への関心は高まりつつある。また、政策主導ではあるが、電化製品についても、環境への配慮から、購入時に廃棄処理のための費用を製品価格に盛り込む制度が施行され、消費者の意識（現時点では、不法投棄も少なくなき、意識が高いとは思われないが・・・）も今後変化せざるを得ない時代がくるであろう。

かといって、木材を研究する立場から、情に訴えるだけで現状に甘んじることはできない。木材の供給（流通）システムを効率化し、木材乾燥技術を高めることによって、「吉野屋」の牛井ではないが、より早く、より安く、性能を維持した木材を供給可能にすることが現在の最重要課題であることはいままでもない。ただ、それと併行して、一般の人々と様々な知識や情報を共有化することにより、自然が生み出す再生産可能な木材を利用することの意味とそれに必要な価格について多くの人々に理解を深めていくことも必要であることを強調したい。

一方的に個人的な私見を述べてきたが、住宅の価格破壊が起こっている状況の中、「資本主義のわが国において何を馬鹿なことを」と多くの方がおっしゃることは承知している。しかし、国際的な情勢やわが国の状況をみると、これまでの資本主義の限界と、外材との価格競争をあまりにあおることで森林が荒廃していくことになるのではないかと危惧する今日このごろです。

=====

### 乾燥材についてこのごろ思うこと

北海道立林産試験場 中島 厚

=====

木造住宅の性能が俄に問われだした今日、品質の保証された乾燥材の必要性が住宅業界内で強く意識されるようになった。業界の立場からすると、建築現場に運ばれる製材品に対して、「適正含水率」、「水分むらがない」、「規定寸法が確保」、「通直」、加えて視覚的に嫌われる割れ等の「欠損がない」、「強度保証」、「施工性に問題ない」、さらに「価格」などの要求になるだろうが、こうした様々な要求に対し木材供給側は十分な用意を持って提供できる段階にない気がする。木材供給側の立場からすると、木材の材質的な個体差、良質大径材の減少、外材の進出、また現実的には乾燥装置数が少ない（乾燥時間がかかわる：コスト増）、乾燥装置性能が不十分、乾燥技術の習熟者不足など様々な負の要因が挙げられ、これらは住宅業界との円滑な関係を阻害しているように思われる。よって、多少高いが性能保証に優れる集成材、その他 EW 材へのシフトは住宅業界の大きな流れとなっている。またこれらの要求項目の内、いくつかは既に解決済みの企業もあるのだ

ろうが、実際、中小径の原木から採った柱や梁の無垢材を積極的に市場に流通させている製材業者は北海道内でまだまだ僅かな現状である。

北海道の主要な人工林材はカラマツ・トドマツであり、当然これらを建築用構造材として付加価値をつけ林業・林産業の経営強化へと結びつける取り組みが続いている。しかし、前述する住宅業界が要求する「品質」「性能」および「コスト」の条件がクリアできずに足踏む状況が見え隠れする。この問題は本州がかかえるスギ材と同様と思われるが、前進のためまずは「品質」の確保が前提になることは間違いない。

近年では、国内主要針葉樹心持ち柱・梁材に対し、たとえば高温乾燥・高周波熱気複合乾燥・液相乾燥などコストを意識しながら試行錯誤の開発努力が払われており、最終成果が待ち望まれている。個人的には「適正含水率」で「水分むらが小さい」、また「割れなどの欠損が少ない」の3項目は、乾燥技術が建築用材に対して保証すべき目標と考える。ここには、初期含水率や乾燥速度、木取り位置などの材質的個体差が足かせとなってなかなか思うようにならない現実もあろうが、楽観的には人工乾燥後に十分な養生（放置）期間を設ければ、含水率の問題は極めて小さくなるはずであるし、割れについても心持ち柱材において、たとえば高温域における乾燥スケジュールの工夫でかなりの抑制が達成されている。その他、木材を買う側は色々な注文（たとえば材色や狂い、施工性）を課すことも想定されるが、各々の要求に対応する技術は必ず見いだせるものと個人的には理解しているし、少なくとも前述する3つの目標がクリアできればまずは市場性のある工業製品と考えるのだが・・・、不十分であろうか。

木材産業・住宅業界ともに健全な森林育成・林業経営について前向きな志向を持ち、双方に一つでも一致点・メリットが得られるのであれば、最終ユーザーへの説明やメンテナンスを怠らないことを条件に多少の歩み寄りも必要ではないだろうか。その裏には木材乾燥の困難が底流にあり、それをどうしても乗り越えなければならぬのであれば木材産業界の苦労は目に見えている。

\*

このごろ思うことの最後に、品質が確保された乾燥材を住宅業界側に安定的に提供する上で重要と思われるポイントを以下3点挙げてみた。良質乾燥材のさらなる普及が木材・住宅産業の発展ひいては林業振興へと展開することをあらためて願うこのごろである。

1: 乾燥による不良率を減らす一層精度の高い手法の確立。たとえば、乾燥装置内の温湿度、風速むらの改善、・・・等々。

2: 精度の高い水分測定装置を導入し、全数検査によって「適正含水率」「水分むら」基準を徹底的に遵守する。

3: 人工乾燥材の養生保管庫の整備拡充。すなわち、受注生産から計画生産への転換。

=====  
**スギ材の乾燥問題—材質研究の立場から**  
**森林総合研究所組織材質研究室 平川 泰彦**  
=====

ご存知の方も多いかと思いますが、当所では一昨年度から5年計画で、スギ材の乾燥プロジェクトが走っており、組織材質研究室も3課題を分担しています。ここでは、皆様の参考になるかどうかわかりませんが、私が中心になって

行っている課題を紹介します。

私の課題は、スギの品種等の遺伝や環境などで異なる原材料の材質（性質）の違いが、乾燥効率等にどのような影響を及ぼすのか、さらに乾燥された製品の品質にどのように関わってくるのかを解明するというのが主な任務になっています。

私は、正直乾燥に関しては素人ですので、手っとり早く評価できる欠点発生について調べてみようと思いい仕事を始めました。まず、手始めとして、一般的に使われる乾燥条件で、材質の異なるスギのいくつかの個体群間で、どの程度の欠点が発生しそれらが個体群間でどのように違うのかをこの2年間で調べてみました。結果は今回の学会でも報告しましたが、密度とマイクロフィブリル傾角が異なるために収縮率やヤング率が異なる個体群間では、ある乾燥条件では横方向の収縮率の大きいものは表面割れが発生しやすいし、軸方向の収縮率の大きいものは曲がり（反り）やすいという、あまりに予想どおりといえば予想どおりの結果を得ました。しかし、スギでは、どこにでもある一覧表どおりの収縮率の値では品種に依っては値がはずれるものがあり、実用的には問題が出てくる可能性があることもわかってきました。また、密度とマイクロフィブリル傾角は、ヤング率にも影響しますので、見かけ上はヤング率の違いが欠点発生の違いに関係しているようにみえることもわかりました。

こんな研究を行うことに意味があるのかどうかを問われたときに、確固たる答を返せるのかどうかはかなり怪しいものなのですが、色々文献を捜しても乾燥前の段階で原材料の材質の違いを評価・選別して、乾燥効率等を評価する

という研究はスギではほとんど行われていないようです。

皆様ご承知の通り、スギの材質の品種間差は、ある場合には樹種間差より大きいとさえいわれることがあります。結合水の乾燥段階になると、乾燥効率には細胞壁実質である密度の影響が極めて大きいそうですが、スギの密度は  $0.27 \sim 0.48 \text{ (g/cm}^3\text{)}$  程度の間であり、かなりの幅があるので密度変動を考慮して乾燥効率などを考えていかなければいけないことは確かなようです。また、乾燥問題を考えるときには、単純な材の収縮率も案外重要で、半生材をプレカットした後の材収縮でも品質面でのトラブルがおきることなどがあり、欠点の発生も含めてこれまであまり注目されてこなかった収縮率の研究なども見直されることが多くなりつつあるようです。

かくして、これからの材質研究においては、スギの材質実態の解明を急ぎその報告を早急に行うという大命題と共に、ある部分では乾燥研究の一翼を担い、材質と乾燥研究の融合ということもできるのかなとおぼろげながら思っている次第です。

=====

## 脱水 VS 乾燥

(株) 一条工務店 平野 茂

=====

我が家では、休日天気によければ、よく布団を干す。とくに寒い季節は、その回数も多い。やっぱり日中、陽をいっぱい浴びた布団は床につく際、実に気持ちが良い。暖かさはもちろんであるが、陽の香り(?)まで漂い、実に気が安まるのである。そして、翌朝の目覚めの良さは、また格別である。この心地良さは、きっと

私だけではないと思う。

私の実家は静岡県掛川市。今でも農業を営んでいる田舎である。私の記憶が正しければ、幼少の頃、まだ洗濯機は無かった。洗濯は井戸の横で盥と洗濯板に毎日向かう母と今亡き祖母の姿がいま、懐かしく思う。そんな我が家に洗濯機が来たのはいつの頃だろう。洗濯機の登場は、日々忙しい農家の母親達にとって大喜であったことには違いない。しかし、まだその当時の洗濯機には現在のような脱水機能は付いておらず、洗濯機の横についた絞り機に洗濯物を通し水を絞り出していた。その絞り出された洗濯物が、まるでノシカの様で、その作り出される姿が楽しく兄とよく手伝いをしたものである。兄は力自慢で洗濯物を手で絞り、私はハンドルをクルクルと回して絞り機から取り出す。そして衣類の水の抜け具合を比較しては、勝った負けたと言いつつあったことも、今では実に懐かしい思い出である。その後、どの位経ってからだろうか、2槽式の脱水機付き洗濯機が我が家に登場した。その威力の凄さには、実に驚ろかされた。絞り機は、とてもライバルにならない。忙しい母親達にとってますます、喜ばれる存在の登場であったに違いない。初代洗濯機が、その脱水性能に劣り（それだけでは無いが）、戦いにならない戦いに敗北宣言した時には、私にとって兄に勝てる唯一の用心棒を失ったかのように、とても悲しい思いをしたものです。

現在、私も家庭を持ち、小さいながらも庭付き一戸建てに住んでいる。妻がせつせと洗濯し、庭の物干し竿に洗濯物を通してくれる。こんな時代なので、大抵の電化製品は揃っているが、我が家には今だに乾燥機は無い。家計的な理由も有るが、やはり機械的に乾燥したものは、天

日で干した物とやはり違うというこだわりがあるのが本音の処である。ただ乾いただけでなく、着る人の身も心もリフレッシュされた感覚で気持ち良さが全く違う。それに、なぜか袖を通した時に母や祖母達の事を思い浮かべることができるともある。東京生まれの妻にとっては、便利な乾燥機がなぜ我が家がないのかと今でも喧嘩の種となる。この時代にしてみれば実に変なこだわりかもしれない。便利であることはよく判るのだが、今だに購入することに賛成出来ないでいる。まだ当分の間、平野家には縁遠い神器の一つであろう。何れにしても布団や衣類には何の罪も無い話して、例え衣類の含水率や他の何か科学的に同じであることが判ったとしても、ただ、その人にとって、しかも気分的なもので、その善し悪しが決められていることでは出来ないのかも知れません。

さて近年、あたりまえのように、どこでも耳にすることですが、木材の価値が判断される目安の一つとして、乾燥材の有るか否かが問われます。結果は言うまでもなく、未乾燥材は嫌われ乾燥材が好まれます。また、乾燥材を使用しない住宅は欠陥住宅だ。と、全く恐ろしい表現を用いられることも極最近ではあたりまえになっているようです。木材には何の罪も無いのに、勝手に人間が判決を下した実に悲劇な結果とも言えるでしょう。そこで、今回は乾燥材問題に関する意見等々という原稿依頼でしたので、これに対し、二つほど投げかけてみたいと思います。まず、乾燥材と表しながら実は脱水しか出来ていない「脱水材」があまりにも多く世の中に出回っているのではないかと言うことです。また、もう一つの問題として「乾燥材は、割れない・狂わない」と称していることに問題はな

いのか?と言うことです。

それではまず、脱水材の話からですが、そもそも「脱水材」という言葉は耳慣れないかもしれません。業界の一部で用いられ、ささやかれている造語です。木材の人工乾燥は装置に頼る訳ですが、その機械が真の乾燥機であるか否かを正すべきだと思うのです。真の乾燥機であれば真の乾燥材を入手することが可能といえます。しかし、その機械が脱水機でしかなければ脱水材しかできてきません。むしろ、脱水機に乾燥材を期待する方が間違っています。そして乾燥機であっても脱水機程度で運転しては最終商品のグレードは不確かになってしまいます。脱水の後で天日に晒す調整があっても良いと思われます。題名に「脱水 vs 乾燥」と称しましたが「脱水機 vs 乾燥機」又は「脱水材 vs 乾燥材」の何れにするか悩み、投稿直前に「機」も「材」も外すことにしました。その理由には、機や材には、やはり罪が無いからです。つまり、脱水機だから、脱水材だからとか駄目と言っているわけではありません。脱水機とみれば、立派に機能・役目を果たしているのですから。当然、コストもリスクも両方のバランスを見て、判断し、扱い、お客様に理解してもらえば良いのです。両者を比較しても戦いにならないことは明白でありますし、戦うことの無意味さを理解する必要があります。ほんの少し前の時代までは、伐採された木は山で葉枯らしさせ、その後も時間を掛け、時には建築してから完成まで、その為に費やしていたとも言えるでしょう。しかし、それでもなお完全な状態とまでには至っていなかったと思うのですが、現代の様な問題には、なっていなかったと思います。その理由には、その時代、一連の流れの中で材料から

施工、そして完成、さらに入居後に至るまで各々の間は、前後を思いやり、皆「and」でつながっていたからだと思うのです。しかし今の時代は、なぜか川上から川下まで関係する各々が「vs」であるように思ってしまうのは、私だけでしょうか。木の善し悪しは、乾燥してあるか否かでは無いと思うのです。他の素材や材料と比較して、初めて「vs」を使うことが出来るのだと思うのです。戦う相手が違うように思えてならないのです。

さて、もう一つの問題点として、乾燥材であれば、すべてが解決されているかのように表現されていることへ一石を投じたいのです。現実的にみれば、乾燥材であっても割れもすれば反りもします。確かに、未乾燥材と比べれば割れにくくも、反りにくくもなっていると言えるのは確かです。しかし、一般人からしてみれば、割れは割れだし、反りは反りなのです。お客様はクレームにします。メーカーにこの原因を問えば、返って来る答えが「乾燥不良でした」では、いったい何のための乾燥でしょうか。他にも乾燥問題の打開策の一つとして現在、一般的な木造住宅にもごく当たり前に見られるようになった集成材であっても、乾燥に関するクレームが同じように発生していると聞いています。また、集成材を使用したことによる新たな問題にも苦慮している処ではないのでしょうか。その都度問題の本質がどこにあるのか。また、その解決策が正しかったのかの答えを曖昧なままにやり過ごしてはいませんか。臭いからといって、いつまでも蓋をしたままでは問題の先送りではなく、一向に解決しません。いつも、問題がおきたとき振り上げた手を降ろす先が、自分でなく他人に向けられていませんか。乾燥の

問題は、木材や機械に原因があるのでなく、各々個人に問題があることに、早く気が付かなくてはいけないと思います。最先端でその商品を扱う方々が、それらの問題点を付け焼き刃的に片づけようとするから無理が生じ、苦しくなり偽りが生まれ、その躰寄せがおきてしまうのです。いつまでも、材料や機械の所為にしては、同じことの繰り返しだと思います。

最近の出来事で、某乳製品メーカーの事件が報道され、大きな社会問題となっています。扱う物と世の中に与える影響の違いから、木材乾燥は大きな問題にはならないと思っている人が少なくないと思います。しかし、常識的にみれば対岸の火事では済まされないとします。脱水機と乾燥機の区分けや、乾燥材とは何かを正確に表現してあげるべき時代になったのではないのでしょうか。やはり商品として機械や材料を扱うのですから、供給する側の都合より、買っていただく人の気持ちを忘れてはいけないと思います。洗濯機や衣類の乾き具合は、気分的なものに左右されることが大きいと思いますが、木材乾燥はもっと科学的に説明することがとても重要なことだと考えます。相手の気持ちになれば、そこに答えがあると思います。簡単なことではないですが、難しいことでもないと思います。

=====  
**地域林業とスギ乾燥材問題**

鳥取大学・農学部 古川 郁夫  
=====

鳥取にはオキノヤマ天然スギの挿し木による伝統的なスギ林業地(智頭・若桜)があります。そのせいか林業にはシロウトの私までもが引つ

張り出されて専門家の前でお話しをしたり、地域林業の相談に乗ったりしています。地域の大学に身を置く者であれば、それはあたりまえのことと思われるかもしれませんが、意外と地元林業と地元大学とのかかわりは淡白です(鳥取だけかもしれませんが)。淡白な関係でも地域林業はこれまでとくに問題なくやってきました。

その地域林業が活力を失い始めたのは、成熟期を目前に控えた自前のスギが売れなくなりだした頃からです。外材との競合からスギ(とくに一般材)の材価は低迷し、加えて後継者不足と高齢化とは、地域のスギ林業を窮地に追い込みました。さらに、流域林業政策が打ち出されてからは、国有林の林木生産も減り始めました(が、鳥取では国有林の影響はほとんどありません)。今や、流域管理は流域の林木管理から流域の森林管理へと、次第にその軸足を移しつつあります。地域のスギ林業は周りから背中を押されるようにしながら、自力更生(といっても、自力では非常に困難なのですが)を迫られつつあります。私が流域林業とかかわりを持ち始めたのもこのような状況の中でした。裏山には拡大造林によって植えられたスギが確実にその蓄積を増やしつつあるなかで、多くの木はまだ若木で、しかもスギ丸太1本がダイコン1本の値段にもならないような状態でした。

そこで、私達の流域でも「育てる林業から使う林業へ」を合言葉に、川上側、川下側、林業経験者や未経験者、それに私までもが一緒になって、地域の林業活性化に関する話し合いが始まりました。そのとき以来、私は常に「川下側(消費者側)から見た川上側の林業」という視点で発言してきました。現在もそのスタンスは同じです。私が学生の頃、「木は海からくる」と

習いました。事実、日本の市場に流通している大半の木は海から来ています。今もそのとおりです。しかし、木は日本の山にあるのです。

\*

日本の山にはそれこそ使い切れない位の木があります。そこでは毎年5000万立方メートル以上の木材が生産され、蓄積し続けています。今やスギ人工林の平均は7齢級くらいになり、もっとも成長が旺盛な時期を迎えていますから、もっとも多い筈です。これに比べて、日本で1年間に消費する木材量は大雑把に言って約1億立方メートルですから、消費量の約半分に相当する木材を日本の山から伐り出して消費に廻しても、木材資源がなくなることは永久にありません。自前で生産する木を使うのですから、他所の国の森を荒らすこともなく、世界の森林資源の保全にも貢献できるのです。ですから、これ位の量の木材はむしろ自分達で積極的に使わなければならないのです。ところが、現実には年間木材消費量の80%以上を外材に依存しているのです。これは、どう考えてもおかしいことです。自分の山には有り余る木を持ち、それを育てる技術もあり、風土にも恵まれているというのに、外材を使い続ける、あるいは外材の流通を看過し続けるというのは???

その主な理由は「スギ材の市場性」にあります。すなわち、市場が求める「安くて」、「品揃えが豊富」という条件がスギ材に期待できないからです。このような訳で川下側では外材がハバを効かし、他方、川上側も「待っていればそのうちスギの材価も上がるだろう」と考え、ここは辛抱とばかりに伐り控えているのです。

ところがそうしている間にも、木材の消費構造と流通形態は大きく変わりました。まず、木

材消費の大半を占める木造住宅用製材品には、ますます工業製品の品質や性能が求められるようになりました。住宅の建築基準も改正されました。建設の現場では技能労働者（大工さんや左官屋さん）の慢性的な不足が生じています。そのうえ、自動化され、工程管理された工場では可能な限りコストを抑えた住宅用部材が一棟毎に梱包されて、それを建築現場にまで直接搬入しています。現場では特別な技能が無くても施工できるように、新しい施工法が次々と開発されています。こうして大衆価格で、高機能性のプレファブ住宅が確実にそのシェアを拡大しています。ところが、今でも個人用木造住宅の大半は、地元工務店による在来工法によって建設されていることと、地域の根強い在来住宅への需要があるため、地域の林業は不思議なくらい「我関せず」という態度をとり続けているように見受けられます。地元の工務店が、地元材を使わずに外材や集成材を使って新しい工法でいくら地元の家を建てていても、自分達の山林が無くならない限りジタバタすることはない、というふうにも見えます。ところが在来工法の住宅にもこのような新しい変化は確実に現れてきています。在来工法であっても構造材には品質や性能保証が求められ、それに合致する複合材や集成材が多く使用され始めているため、地元材の使用は非常に限られてきています。こうした川下側の住宅事情の変化に対して、川上側の地域材生産者はどのように対応すればいいのでしょうか。

\*

そのキーポイントの一つが、これまで何度となく言われ続けている「乾燥スギ材の生産」です。そう言われながらもなお、乾燥付き製材品とし

て市場に流通しているスギ材はまだ十分な量とは言えません。これには、地元工務店や地域の消費者が乾燥材に対してどの程度その重要性和必要性を認識しているかに、かかわっています。岡山木材加工技術センター研究員の川崎弥生氏は、この点について、地域内での乾燥材の実態について詳細な検証を行っています。その詳細な内容はご本人から聞いていただくのが一番いいのですが、驚くことに、「D20 乾燥材」と一口に言っても、実際には芯持ちスギ柱材であればその中心部は未乾燥のことが多く、しかも施工後の戸建て住宅に関する消費者の苦情の大半は「隙間があいた」とか「部材が反った」とかいうもので、その原因は乾燥不良によるものがほとんどである、と氏は報告しています。乾燥材使用現場の実情を伝えた貴重な報告であり、乾燥材問題を考えるうえで大変参考になります。さらに同氏はこれらのスギ芯持ち乾燥材の問題点を軽減するために、実践的な乾燥技術として「高周波蒸気式併用加熱乾燥法」とか「プレドライ蒸気式併用乾燥法」などの低コスト乾燥法を提案しています。

地域材に乾燥をつけるとなるとコストが最大の問題です。立方メートルあたり1万円近くもかかわるようではとてもスギ一般材の市場性はありません。できることなら立方メートル3000円位で乾燥したいものです。低コストという点からは、私は昔から平田英史氏(木材工業55巻3号を参照されたし)の実践されてきたプレドライヤーによる予備乾燥がもっとも適していると信じています。とくにスギのような難乾燥材で、乾燥にあまりコストのかけられない材には最適だと考えます。スギ一般材の場合は、丸太の段階でまず等級区分をやり、構造材に適した材のみを選び

出したうえで、次に予備乾燥によってしかるべき含水率レベルに揃え、それから蒸気式乾燥にかければ、エネルギーのムダも省け、低コスト化が可能になるだろうと考えます(平田氏の協力を得て、河崎氏との予備的な試験では証明済みです)。しかもスケールメリットもあって、スギ材乾燥の前段階処理に予備乾燥はうってつけではないでしょうか。

地域のスギ材が地域の家に使われるようになることを切に願っています。「地元材で地元の家を」というスローガンが、近頃、新聞等で見られるようになりましたが、低コスト乾燥材の一層の普及と合わせて、このような運動が名実ともに実現するように、微力ながら応援させていただきたいと思っております。

=====

**スギ心持ち正角材の高温低湿乾燥に関するシンポジウムに関わって  
日本木材学会レオロジー研究会幹事  
京都大学木質科学研究所 矢野浩之**

=====

木材乾燥の研究者と木材物性の研究者との乖離がいわれて久しい。かって「木材乾燥」は、木材物性の研究において、応用を強く意識した基礎研究テーマであった。しかし、「水と熱の関わる粘弾性」について多くの現象が明らかになるにつれ、軸足はその現象の一般化に移り、研究はより深化した。例えば、「水分非平衡下での木材変形挙動のモデル化」といった様に。現在では、木材物性の研究が目的とすることの多くは、木材物性の根本に関わる特性の解明であり、そこには、スギ心持ち正角材の乾燥をイメージするテーマはない。一般化された事象を再構築

してスギの乾燥を考えようとしても、スギ生材における複雑な含水率分布、弾性率や収縮率の異方性に起因するメカノソープティブクリープやドライグセットの空間的、時間的変化を思うと、頭の中はパニックに陥ってしまう。自然と、研究テーマは、木材物性のさらなる深化へと向かう。

一方、木材乾燥の研究者はどうであろうか。「メカノソープティブクリープ」という言葉を聞くだけで、「木材物性」に距離を感じてしまう。そのような難しい話を理解するよりは、目の前に迫っている、より現実的なテーマ、例えば、「スギ心持ち正角材を割らずに乾かすための乾燥スケジュール」の開発や「高周波加熱と減圧を併用した新規乾燥法」の開発に意識が行く。初めに乾燥方法の開発ありきといった風である。

このような木材乾燥の研究者と木材物性の研究者との距離を少しでも縮めようと、レオロジー研究会と木材と水研究会が共同で、「木材乾燥－レオロジー研究の宝庫」と題したシンポジウムを昨年の4月と12月の二回に分けて開催した。4月のシンポジウムでは、木材乾燥の研究者に最近の木材乾燥について紹介してもらった。その上で、木材乾燥と木材物性の研究者が、共同で取り組むテーマを「スギ心持ち正角材の高温低湿乾燥」に絞り、長野、京都、岡山と、場所を移して何回もお互いの考えのすり合わせを行い、9人の講師と6人のコメンテーターによるシンポジウムを12月に開催した。

私は、レオロジー研究会の幹事として、この作業に加わった。こんな事を聞いたら恥ずかしいかなと思うようなことも、実は、当の研究者も理解できないでいることがわかったり、「木材乾燥」での言葉を「木材物性」での言葉に翻訳

してみたら、乾燥がより身近なものになったりと、実に楽しい、エキサイティングな8ヶ月であった。

結果として、「スギ心持ち正角材の高温低湿乾燥」については、九州大学、藤本氏や長野県林業総合センター吉田氏のパイオニアワークを基に、次の様に整理できた。

1)高温・低湿乾燥の特徴は、乾燥初期に、熱軟化した木材表面において、急激な水分脱着を生じさせることで(不安定構造を形成し)、大きなドライグセットを発生させるところにある。すなわち、「表面にシェルを形成する。」同じ高温乾燥でも、乾球、湿球温度の差が小さい高温・高湿乾燥では、表層に発生する乾燥収縮応力が小さいため、この様な大きなドライグセットは生じない。

2)表層と内層で収縮率が2倍異なる心持ち材では、表層に大きなドライグセットを形成することが、材面割れを防ぐために特に重要である。すなわち、自由収縮で心持ち材が乾燥するとすれば、表層と内層の収縮率の違い等で、必ず、乾燥後、表層には大きな引張応力が作用し(心去り材より大きい)、これが材面割れの原因となる。それを防ぐには、表層部に大きなドライグセットを形成して、乾燥過程で内部応力が逆転するようにし、乾燥後期で、表層に圧縮応力が作用するようにすると良い。ここに、心持ち材において、高温・低湿乾燥が特に有用であるとする根拠がある。この点が、乾燥の現場ではあまり理解されていない。

さらに、このようなメカノソープティブ挙動によるドライグセットをキーワードにした内部応力変化について、島根大学、中尾氏が開発した拡散方程式を現実的な境界条件の基で解い

たプログラム（Excel を用いた簡便なソフトウェア）との対応を検討することができた。中尾氏ならではの「木材物性」と「木材乾燥」の橋渡しとなる研究であった。

また、高温・低湿乾燥で大きなテンションセットが表層に形成されればされるほど、内部割れの原因となる応力は発生しやすくなる。これは、高温・低湿乾燥の宿命である。これを防ぐために、木材の可塑性をうまく利用できないか？あるいは、乾燥途中での蒸煮等で表層のテンションセットを制御し内部の引張応力を除去出来ないか？などのアイデアがある。これについて、京都大学、師岡氏が示した「100℃以上でのスギ乾燥過程における収縮応力変化」は、160℃、180℃といったより高温での乾燥では、木材構成成分の一部切断というケモレオロジー的挙動によって内部応力が急激に低下することを示すものであり、「木材物性」側が「木材乾燥」側へ投げかけた新しい提案である。

これ以外にも、シンポジウムでは、「木材物性」と「木材乾燥」との間で多くの「共鳴」があった。その中、今回のシンポジウムで最も大きな収穫は、京都府立大学、古田氏の「木材乾燥過程で蓄積されたひずみとその力学特性への影響」である。二時間におよぶ講演で古田氏が説明したことは、乾燥過程で木材に蓄積される不安定な構造（ひずみ）が、粘弾性特性、すなわち力学挙動の時間依存性に大きく影響しているということである。時間依存性は、言い換えれば、乾燥木材の品質保証である。木材が割れず、狂わずに乾燥室から出て来たら、それで良いのだろうか。木材内部に蓄積したひずみにより、何年後かに突然割れる、あるいは、何年かけて柱材が徐々に変形していく、ということはない

のだろうか。古田氏が進めている「木材中に形成される不安定構造」に関する解析は、このような疑問を「木材乾燥」に投げかけた。今後、乾燥木材を、金属やプラスチックと同等の工業製品として取り扱える様にするには、この「木材乾燥過程で蓄積されたひずみとその力学特性への影響」が、実際の乾燥材において示されることが重要であろう。

以上、昨年、レオロジー研究会が、木材と水研究会と共同で開催したシンポジウムについて簡単に紹介した。シンポジウムの詳しい内容については、105 ページにおよぶ要旨集をご覧ください。今回のシンポジウムに関わって、私は、「スギ心持ち正角材の乾燥」は、木材乾燥の F1 であると感じた。F1 はフォーミュラーワン。自動車の極限を競うレースである。様々な最先端技術を取り入れ、融合させ、そして、そこで培われた技術を一般車に還元し、全体として自動車を進化させる。「スギ心持ち正角材の乾燥」は、その難しさにおいて木材乾燥の頂点であると思う。「木材物性」と「木材乾燥」の研究者が、双方の最先端の知識、技術を持ち寄ってこの課題に取り組み、両者の共鳴によって生み出された成果が「木材物性」、「木材乾燥」に還元される。そうすることで、木材研究が全体として進化していくと考えている。

## 「乾燥材」に対する意見収集（アンケート方式）

### 日本木材学会・木材と水研究会

建築基準法の改正や品確法の施行により、建築用材の品質、特に木材乾燥に対する関心が非常に高まっている。しかし、我が国の人工林の大半を占める針葉樹材、特にスギ材からの製材品において、乾燥材の流通量はそれほど増加していない現状にあり、集成材の流通量が増加している。

そこで、「木材と水研究会」では、乾燥材の流通量が増加しない原因は何なのかを少しでも明白にしてその対策を考え、森林資源の有効利用を図るための一助となることを目的としてアンケート方式による意見収集を行った。

本調査は、乾燥機メーカー6社に対して、主に社の代表者と乾燥機の技術的責任者に直接面談によって行ったものである。調査員（研究会幹事：山田範彦、伊藤洋一）の主観が入らないようにいただいた意見をできるだけそのまま掲載するようにはしているが、中にはメーカーを特定できる意見やはっきりと回答をいただけなかった部分もあり、一部修正を加えた。しかし、基本的なところは変わっていない。なお、各社を特定できないように、各質問項目の回答の順番は同じではない。

#### 1. 質問事項と回答

##### <質問 A>

◆工務店等のユーザーの乾燥材に対する要求を高い順に並べると、

①乾燥材の価格を安価にしてほしい。

②品質を向上させてほしい。

③安定的に供給してほしい。

④生産量を増加させてほしい。

となっている。そこで、

**（質問 1）乾燥コスト低減のためには何が重要であると思われるか。たとえば、葉枯らしや、被乾燥材の含水率グレーディング等の前処理**

##### （回答）

- ・ 自社社員のコスト意識を高める。作業項目を細分化した上で、各班間の意志疎通を密にして作業効率を向上させる。
- ・ 試験研究機関からの自社製品の開発に生かせる最新の乾燥スケジュール等の情報。
- ・ 自社社員の木材乾燥に関する知識を向上させる。
- ・ 短期間で経費が安く操作性の簡単な乾燥機の開発。乾燥技術者が不足している。
- ・ ランニングコストの試算を丁寧に行うこと。
- ・ 乾燥の品質を向上させ、歩留を良くすること。
- ・ 含水率グレーディングが不可欠。

**（質問 2）品質の向上（割れ等の損傷を少なくする）のための工夫は。たとえば、乾燥初期のスケジュールは独自のものにして等。**

##### （回答）

- ・ 乾燥スケジュールの自社開発。
- ・ 約 8 割のケースで、納品前に試験材を送

ってもらい、乾燥がうまくいくことを確認する。

・研究機関や納品した企業からの乾燥スケジュールに関する情報を得て、自社でアレンジしている。

・乾燥前の重量選別（含水率グレーディング）とスケジュールの調整。

・乾燥の基本に沿ったスケジュールを厳守する。

・新技術を開発し、独自の乾燥スケジュールを確立している。

**（質問 3）**安定供給と生産量の増加のためには何が効果的か。たとえば、乾燥機を大型化するよりも小型のものの台数を増やすこと等。

**（回答）**

- ・性能のよい乾燥装置を提供すること。
- ・質の高い乾燥装置を提供すること。
- ・適正規模の乾燥機の導入。過剰設備が多い。
- ・工務店等の乾燥に対する意識の改革。
- ・地域ごとに複数の乾燥機を設備した“乾燥センター”の設置を提案したい。多様なニーズに対応する複数のタイプの乾燥機を数台設備し、かつ専門技術者を配備することで、乾燥技術・ノウハウを集積する。月産 1000m<sup>3</sup>以上の生産を行い、含水率グレーディングや棧積み・棧バラシなどをできる限り自動化することで、乾燥コストの削減、安定供給を図ることができる。

**<質問 B>**

◆同じく工務店等のユーザーにおいては、人工乾燥に対する不信感—品質がばらばら

／材に粘りが無い／心持ち材ではロスが大きく無理がある—と。天然乾燥に対する根強い信仰—木材に優しく、材質もよい—と、伐採時期を選び、葉枯らしと天然乾燥を組み合わせるのがベター、見え掛かり以外は葉枯らしの中生材で十分、といった意見がある。

**（質問 4）**これらの意見に対して、どのような感想を持つか。

**（回答）**

・行政サイドから「乾燥材を使うことによるメリット」をもっと周知させてほしい。具体的には、（一般の人に対しては）マスコミ等を通じて広く PR する。（乾燥材を生産するメーカー側に対しては）講習会や研修会（できれば無料の）により乾燥の知識をより向上させる。天然乾燥材については、ここ 2 年ほどで人工乾燥材とは差別化が計られているように感じられる。

・天然乾燥材は材質がよい。ただし、長期間倉庫等に寝かせることとなり、低質材についてはそのコストを吸収しきれないのでは。

・天然乾燥材の仕上がり含水率では、空調設備等の整った環境において、その後の寸法変化などのクレームとなる危険性が高い。

・需要者側ユーザーの勉強不足、研究不足もあるが、供給者側の責任も大きいのではないか。コストのことばかりに気を取られすぎず、まず良い品質の乾燥材を供給することが先決と思う。良い乾燥材が安定して供給されれば、コストは自然とその品質にあったところで決定されるはず。天然乾燥は、季節変動や地域特性が大きいため一般的な汎用技術となりえない。いつまでも天

然乾燥に対する信仰のようなものを持っていては、進歩はない。また、乾燥機メーカーももっと供給者側と協力し良い品質の乾燥ができる乾燥技術の開発に努力すべきである。単に、箱売りをしているような姿勢を反省すべきである。

(質問 5)これに反論しうるデータを持っておられるか、あるいは聞いた(調べた)ことがあるか。

(回答)

- ・自社で試験している。乾燥材の品質に関するデータは試験研究機関が持っているので、必要であればその都度問い合わせる。
- ・自社の試験で足りない部分は、試験研究機関に問い合わせる。
- ・乾燥材の品質に関するデータは試験研究機関が持っているので、必要であればその都度問い合わせる。
- ・スギの心持ち柱材においては、高温乾燥である程度の実績ができていないか。
- ・金物での接合、公共工事や工期短縮化には天然乾燥では不十分ではないか。
- ・これらに十分反論でき、データも豊富に提示できる新しい乾燥方法を確立させつつある。

<質問 C>

◆スギ材(特に心持ち材)の乾燥について。

ニーズとしては集成材等よりも高いと考えられるが、含水率(乾燥)等の品質管理が難しいとされているため、スギ(心持ち)材は需要が伸び悩んでいると考えられ

る。そこで、

(質問 6)スギ材の乾燥に問題があるとすれば何か。たとえば、初期含水率が高いため乾燥に時間がかかる、割れが発生しやすい等。

(回答)

- ・産地間の相違が大きいこと。
- ・産地別地区別の違いが大きく、乾燥スケジュールが確立できないこと。
- ・初期含水率が高いため、乾燥に時間がかかる。また、材料間にばらつきが大きく、初期含水率の低い材にスケジュールを合わせるため、未乾燥材や割れの発生が多くなる。
- ・赤心、黒心にみられるように、初期含水率のばらつきが大きい。
- ・例示のとおりであるが、特に現在は市場が材面割れを厳しく問いつづる。材面割れを抑制するため、高温低湿処理が開発され、高温乾燥との組み合わせにより乾燥スピードの速さ(4~5日)と材面割れの抑制効果で急速に普及した。しかし、今度は内部割れの問題がクローズアップされた。現在、内部割れを抑制するため、高温低湿処理後の乾燥温度を中温に落とし、7日~10日かけて乾燥しているのが現状である。

(質問 7)その解決方法として、何が有効と考えておられるか。

(回答)

- ・試験研究機関からのデータ提供
- ・産地別に加え、地区別の乾燥スケジュール確立
- ・試験研究機関からのデータ提供
- ・重量選別を行い、同程度の含水率のものをそれぞれの乾燥室に入れて乾燥する。

・乾燥機に入れる前に何らかの選別が必要。  
・材面割れおよび内部割れのどちらも大幅に抑制でき、また乾燥日数も4日～5日と速い乾燥機ならびに乾燥スケジュールを確立させつつある。

(質問 8) また実際に検討あるいは実施していることは(差し支えない範囲で)。

(回答)

・蒸気式に加え、高周波併用蒸気式など複数の乾燥方法による装置の開発と普及。  
・試験研究機関との共同研究  
・重量選別装置の検討  
・スケジュールを細かく検討する。

(質問 9) 乾燥技術向上には何が重要か。

(回答)

・(乾燥装置に必要な)性能の高い部品を国内海外を問わず採用する。  
・納品前のテスト乾燥を重ねることによるデータ蓄積。  
・乾燥スケジュールや乾燥設備に関しては、他のメーカーや研究機関との間で情報交換が必要。  
・乾燥材生産者、その他ユーザー(工務店)、機械メーカー等乾燥材に関わるすべての人の意識改革。建築基準法 JAS 等が忠実に守られるような制度化。  
・木材の特質を学ぶこと。施工後、木材がどの様になっているかを知ること。  
・①乾燥担当者の技術向上  
②乾燥担当者と研究機関との情報交換  
③職人芸域から技術としてのデータ化

④研究機関でのデータ集積と指導体制の確立

⑤良い乾燥機の設備

(質問 10) 乾燥技術習得のためには何が最も有効か

(回答)

・社員の意識向上。  
・試験研究機関からの技術指導。  
・自社社員の木材乾燥に関する意識を向上させる。  
・機械メーカーにおいても講習会を通じた技術の修得。  
・クレームを無くし、またそれに対応できるような技術者の養成  
・①乾燥士の資格試験の強化  
②乾燥士の地位向上  
③乾燥データブック等の発行、参考資料の充実

(質問 11) (公的) 試験研究機関にどのような課題(テーマ)に研究を望んでいるか。

(回答)

・自社開発が困難な(多額の費用を要する)試験をしてほしい。  
・スギの乾燥に関しては、産地別に加えて地区別のスケジュールも提示してほしい。  
・必要なおきにお願いする試験をしてほしい。  
・精度が高く、操作の簡便な含水率計の開発。  
・葉枯らし乾燥の地方毎のやり方をまとめ、人工乾燥との複合乾燥の体系化。  
・①乾燥データの集積(データブック)

- ②乾燥品質基準の体系化
- ③建築サイドとの共同研究

### (質問 12)その他

- ・(一般の人に安心して木材を使ってもらうために) 乾燥材の良さをグリーン材と比較することにより、わかりやすく幅広く周知させてほしい。最新の乾燥スケジュールや乾燥設備に対する情報を提供してほしい。
- ・乾燥材を使うことによるメリット、ムク材の良さをもっと PR してもらおうよう、行政サイドにお願いしたい。

### 2.まとめ

調査要約すると以下のとおりである。

(1)：質問(1)～(3)において、より高性能な乾燥機の開発と乾燥技術者の育成が数多く回答され、特に針葉樹構造用材の乾燥の歴史がまだまだ浅いことがうかがえる。

(2)：質問(4),(5)において、天然乾燥では乾燥不足(仕上含水率が高い)を指摘する声があり、天然乾燥材と人工乾燥材の材質の差異のデータは、試験研究機関にほぼ整えられていると考えられる。

(3)：質問(6)～(8)において、スギ材の難乾燥性の原因は材質(初期含水率)のばらつきであり、重量等で乾燥前に選別を行って乾燥する方法が有効ではないかという回答が多かった。ただしこの乾燥前の重量選別が有効であるというデータがあまりみられないことと、選別の手間を考えると推奨すべき方法かどうかは検討の余地があると考えられる。

(4)：質問(9),(10)において、(1)と重複するが乾燥技術者の不足が指摘されている。乾

燥の一般的情報が不足している中で、乾燥材のニーズが先行して乾燥機の導入が増加し、乾燥の不足や割れの発生等のトラブルが乾燥機的能力不足や不良のためとされている例が少なくないのではないかとと思われる。

(5)：質問(11),(12)から、公的研究機関に対する要望として、幅広い範囲の対応を、行政サイドには一般的な乾燥知識の普及の要望が多い。

以上の結果から、乾燥、特に針葉樹構造用材の乾燥ニーズが増大し始めてからの日が浅いため、技術者の不足や情報が少なく、乾燥がうまくいかないとされてしまう例が少なくないのではないかと考えられる。乾燥前におけるスギ材の重量選別が有効であるかの検討も含めて、詳細な事例調査が必要である。

文責：研究会幹事・伊藤洋一(北海道林産試)、山田範彦(兵庫森林技セ)

## 「乾燥材」に関する文献リスト

乾燥材に関連する研究論文、報告書等の文献のうち、地方レベルで発表されたもの、および「組織・材質」「強度・木質構造」「保存」の各分野に関するものを以下に示す。所内報は原則として割愛した。多少の重複および欠落、また様式の不統一がある点をご容赦願いたい。

### ◆支部会等での発表◆

No.	タイトル	著者名	掲載誌・巻号・掲載年
＜北海道＞			
1	カラマツ間伐材の乾燥に関する研究（第4報） 圧縮圧力と積木間隔について	米田昌世	日本木材学会北海道支部講演集第5号 1973
2	減圧乾燥器による広葉樹の乾燥について	新谷文美夫、斉藤繁雄	日本木材学会北海道支部講演集第7号 1975
3	カラマツ小径木の乾燥による損傷防止に関する研究	大山幸夫、奈良直哉、米田昌世ほか	林産試験場研究報告64号 1976
4	カラマツ枠組壁工法用材の乾燥による狂いと曲げ性能	宮島 寛	日本木材学会北海道支部講演集第9号 1977
5	枠組壁工法の部材性能・接合性能及び部分構造性能に関する考察（第1報）	小倉高規、倉田久敬、山本宏ほか	林産試験場研究報告67号 1978
6	小径広葉樹材の乾燥—心持ち材のPEG処理	奈良直哉、米田昌世、千葉宗昭ほか	林産試験場研究報告67号 1978
7	釘の引き抜き抵抗に関する研究—木材の含水率変化と経過時間による影響	金森勝義、千野 昭、河原田洋三	林産試験場研究報告67号 1978
8	カラマツ材のプレス乾燥（予報）	宮島 寛、飯田信夫	日本木材学会北海道支部講演集第10号 1978
9	造林木及び輸入木材等の材質評価と用途適性—ストローマツの利用適性試験	小野寺重雄、奈良直哉、米田昌世ほか	林産試験場研究報告69号 1980
10	カラマツ材のプレス乾燥	松本 聡、宮島 寛	日本木材学会北海道支部講演集第12号 1980
11	針葉樹製材品の天然乾燥試験（第1報）	野呂田隆史、千葉宗昭	日本木材学会北海道支部講演集第13号 1981
12	適正人工乾燥スケジュールに関する研究—道産広葉樹材について	米田昌世、千葉宗昭、奈良直哉ほか	林産試験場研究報告71号 1982
13	太陽熱利用木材乾燥に関する研究	野呂田隆史、千葉宗昭、大山幸夫	林産試験場研究報告72号 1983
14	カラマツラチス梁の長期載荷性能	小松幸平、前田典昭、北村維朗	日本木材学会北海道支部講演集第15号 1983
15	ソーラー・ドライヤーの実用化試験	中 篤 厚、野呂田隆史、千葉宗昭ほか	日本木材学会北海道支部講演集第15号 1983
16	M型無落雪屋根用トラスに関する研究（第1報）	堀江秀夫、長谷川雅浩	林産試験場研究報告75号 1985
17	新林産試験場集成材フレームの実大部分実験—その1 柱-梁-方杖接合部に関する実験	小松幸平、長原芳男、前田典昭ほか	日本木材学会北海道支部講演集第17号 1985
18	新林産試験場集成材フレームの実大部分実験—その2 湾曲集成材に関する実験	小松幸平、長原芳男、前田典昭ほか	日本木材学会北海道支部講演集第17号 1985
19	林産試型ソーラードライヤーによる木材の乾燥	中 篤 厚、千葉洋市、奈良直哉	日本木材学会北海道支部講演集第17号 1985
20	カラマツLVLの強度性能に関する研究	森泉 周	林産試験場研究報告77号 1987
21	木材の人工乾燥経過に関する検討	伊藤 廣	日本木材学会北海道支部講演集第20号 1988
22	蒸気式木材乾燥装置の風速変換による省エネ化	中 篤 厚、川口信隆、千葉洋市ほか	日本木材学会北海道支部講演集第21号 1989
23	連続型自動水分測定装置の開発	菅谷恵美子、中 篤 厚、奈良直哉	日本木材学会北海道支部講演集第23号 1991
24	パネルボードの含水率上昇による釘の引き抜きメカニズムに関する考察	和田 孝一	林産試験場研究報告82号 1992

25	カラマツ丸太及びたいこ挽材の実大曲げ性能(第2報) 乾燥丸太の実大曲げ試験	工藤 修、千葉宗昭、藤原拓哉ほか	日本木材学会北海道支部講演集第24号 1992
26	トドマツ高温乾燥正角の圧縮強度試験	成澤直人、東 智則、山崎亨史ほか	日本木材学会北海道支部講演集第28号 1996
27	トドマツ中大径材からの枠組壁工法用材生産試験	山崎亨史、成澤直人、中村昇	日本木材学会北海道支部講演集第28号 1996
28	トドマツ心持ち正角材の高温乾燥試験	中 篤 厚、伊藤洋一、近藤佳秀ほか	日本木材学会北海道支部講演集第29号 1997
29	マレーシア産造林木の材質評価及び加工適性評価	瀧澤南海雄	林産試験場研究報告86号 1998
30	居住快適性に及ぼす内装材の影響の検討	林 昌宏、石井 誠	日本建築学会北海道支部研究報告論文集 1998
31	広葉樹乾燥材の品質管理と木製品の仕上がり含水率	伊藤洋一、中 篤 厚、菅谷恵美子	日本木材学会北海道支部講演集第30号 1998
32	熱帯造林木の木材評価および加工適性評価	瀧澤 忠昭	林産試験場研究報告87号 1999
33	トドマツ心持ち正角材の重量選別による高温乾燥試験および乾燥後の形状変化の検討	中 篤 厚、幡多輝昭、上野英治	日本木材学会北海道支部講演集第31号 1999
34	木取り別カラマツ正角材の乾燥特性	中 篤 厚、土橋 英亮	日本木材学会北海道支部講演集第32号 2000
35	カラマツ材の住宅構造材への応用	高橋 利男	日本林学会北海道支部論文集第48号 2000
36	北海道型木造3階建住宅の構造-第2報 横架材の仕口および外断熱パネルの強度性能評価	小林 裕昇、石川 佳生	日本建築学会北海道支部研究報告論文集 2001
37	防腐薬液注入製材の再乾燥時の狂い抑制の検討	土橋 英亮、中 篤 厚	日本木材学会北海道支部講演集第33号 2001

＜東北＞

1	軸組みによる小径カラマツ材の形質変化	中野正志、東野 正	日本林学会東北支部会誌29 1978
2	スギ小径材の乾燥による形質変化	中野正志、東野 正	日本林学会東北支部会誌34 1982
3	スギ正角の品等区分と曲げ剛性	東野 正、中野正志	日本林学会東北支部会誌34 1982
4	カラマツ小径木からの板材の乾燥	中野正志、東野 正	日本林学会東北支部会誌35 1983
5	スギ正角の品等区分と曲げ剛性(第Ⅱ報)	東野 正、中野 正志	日本林学会東北支部会誌36 1984
6	カラマツ小径木からの板材の乾燥(第Ⅱ報) 狂いの抑制	中野正志、東野 正	日本林学会東北支部会誌36 1984
7	アカマツ板材の乾燥による形質変化	中野正志、東野 正	日本林学会東北支部会誌37 1985
8	アカマツ板材の乾燥による形質変化(第Ⅱ報) 材厚36mmの乾燥	中野正志、東野 正	日本林学会東北支部会誌38 1986
9	PS綴り床板の形質変化について	石垣和夫	日本林学会東北支部会誌39 1987
10	太陽熱を利用した建築用針葉樹材の乾燥	中野正志、東野 正、佐々木 通光	日本林学会東北支部会誌40 1988
11	太陽熱を利用した建築用針葉樹材の乾燥(第2報) 装置の改造とその効果等	中野正志、東野 正、佐々木 通光	日本林学会東北支部会誌41 1989
12	製材工場、市売市場、建築現場における木材の含水率と品質について	高橋幹夫、石澤 實	日本林学会東北支部会誌41 1989
13	木材用含水率計の測定精度-スギ乾燥正角材の含水率	中野正志、東野 正	日本林学会東北支部会誌42 1990
14	スギの乾燥経過に伴う曲げ剛性の変化	高橋幹夫、降幡和男	日本林学会東北支部会誌43 1991
15	フィンガージョイントの省力的方式による秋田杉割柱端材の有効利用(Ⅰ) 割柱端材の含水率	武田英文、佐藤福司	日本林学会東北支部会誌43 1991
16	フィンガージョイントの省力的方式による秋田杉割柱端材の有効利用(Ⅱ)	武田英文	日本林学会東北支部会誌43 1991
17	スギ心持ち柱材の人工乾燥(Ⅰ) 乾燥時間と乾燥による形質変化	中島 剛	日本林学会東北支部会誌43 1991
18	スギ葉枯らし材の材内含水率	鈴木 登、斉藤和彦	日本林学会東北支部会誌43 1991
19	太陽熱を利用した建築用針葉樹材の乾燥(第3報) アカマツ平割り材の乾燥とその形質	中野正志、佐々木 豊、高芝俊雄	日本林学会東北支部会誌44 1992
20	スギ中径材を用いた構造用集成材の製造(Ⅰ) 小 幅板に現れる狂いと利用歩止まり	多田野 修、中野正志	日本林学会東北支部会誌45 1993
21	スギ実大材の乾燥過程における動的ヤング係数の変化	守田託満	日本林学会東北支部会誌46 1994
22	スギ構造材の乾燥法(Ⅰ) スギ背割材の乾燥特性と強度性能	高橋幹夫	日本林学会東北支部会誌46 1994
23	スギの立木乾燥(Ⅰ) 切削処理パターンへの検討	高橋宏成、中島 剛	日本林学会東北支部会誌47 1995
24	スギ構造材の乾燥法(Ⅱ) 高温乾燥したスギ心持ち材の強度性能と乾燥特性	高橋幹夫	日本林学会東北支部会誌47 1995
25	スギ心持ち柱材の背割加工における強度性能 曲げ強度と圧縮強度	守田託満	日本林学会東北支部会誌47 1995

26	スギ背割り乾燥材の形状の経時変化	高橋幹夫	東北森林科学会大会講演要旨集1 1996
27	打撃法による丸太の重量変化の測定	小泉章夫、佐々木貴信、福井敬二ほか	東北森林科学会大会講演要旨集2 1997
28	燻煙処理材の強度性能	高橋幹夫	東北森林科学会大会講演要旨集3 1998
29	スギの立木乾燥試験	高橋宏成、遠藤啓二郎	東北森林科学会会誌第3 巻2号 1998
30	ヒバ正角材の人工乾燥に伴う収縮について	宇野良樹	東北森林科学会会誌第3 巻3号 1998
31	背割り乾燥材の経時変化から判断する修正挽きの時期決定	高橋幹夫	東北森林科学会会誌第3 巻4号 1998
32	背割り丸太の乾燥特性と強度性能	高橋幹夫、後藤 徹	東北森林科学会大会講演要旨集4 1999
33	燻煙式による丸太熱処理について (I) ラミナ製材歩止まりの向上効果	江刺拓司	東北森林科学会大会講演要旨集5 2000
34	燻煙式による丸太熱処理について (II) 正角材における乾燥前処理効果	江刺拓司	東北森林科学会大会講演要旨集5 2000
35	芯抜き丸太の乾燥特性と強度性能	高橋幹夫、本間 努	東北森林科学会大会講演要旨集5 2000

<中部>

1	タンクモデルによるスギ葉枯らしの乾燥過程の推定	野々田稔郎、山吉栄作	日本木材学会中部支部大会講演要旨集3 1993
2	ヒノキ葉枯らしの材色に及ぼす影響	菱田重寿、大林育志、榊原弘修	日本木材学会中部支部大会講演要旨集3 1993
3	スギ材の温度別乾燥速度について	吉田孝久	日本木材学会中部支部大会講演要旨集4 1994
4	スギ心持ち柱材の含水率と寸法変化	野々田稔郎、山吉栄作	日本木材学会中部支部大会講演要旨集4 1994
5	蒸煮圧縮成形木材の性質	藤澤泰士、鷺岡雅、中谷浩ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集4 1994
6	スギ乾燥柱材の製造過程における乾燥難易指数の検討	富田守泰、長谷川良一、野々田稔郎ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集5 1995
7	曲げセット材の吸脱湿過程のクリープと吸湿時の復元(I)水分履歴と吸湿時の復元	長江英樹、徳本守彦	日本木材学会中部支部大会講演要旨集5 1995
8	スギ材の簡易表層圧密処理材の性能	長谷川良一、富田守泰	日本木材学会中部支部大会講演要旨集5 1995
9	木材表層部の優先的圧縮処理条件の検討	柴田直明	日本木材学会中部支部大会講演要旨集5 1995
10	スギ・ヒノキ心持ち柱材の乾燥にともなう断面寸法変化	野々田稔郎、山吉栄作	日本木材学会中部支部大会講演要旨集6 1996
11	乾燥履歴が異なるスギ平角の材色について	近藤和幸、池田潔彦、齋藤周逸	日本木材学会中部支部大会講演要旨集6 1996
12	高圧水蒸気処理による木材の圧縮成形加工(XIII)間伐材及び小径材からの集成材の製造	馬淵隆平、棚橋光彦、重松幹二ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集6 1996
13	圧縮成型加工を目的としたスギ材の軟化処理	齋藤猛、巾山伸吾、岸久夫ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集6 1996
14	スギ柱材の温度別乾燥速度の推定	野々田稔郎、山吉栄作	日本木材学会中部支部大会講演要旨集7 1997
15	富山県産スギ心持ち柱材の高温乾燥	橋本彰	日本木材学会中部支部大会講演要旨集7 1997
16	スギ人工乾燥における前処理の効果—横圧縮処理について	小野和博、溝口忠、池田潔彦	日本木材学会中部支部大会講演要旨集7 1997
17	高圧水蒸気処理による木材の濃色化	桜木邦和、野村佳世、重松幹二ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集7 1997
18	木材の吸脱湿過程の曲げクリープに及ぼす繊維走向の影響	徳本守彦、高山明雄	日本木材学会中部支部大会講演要旨集7 1997
19	木材の圧密成形時の加工反力に及ぼす材料特性の影響	小原光博、金山公三、平井幸男ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集7 1997
20	圧密化したスギ板材の機械的性質	加藤孝、櫻井正子、村木俊夫ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集7 1997
21	圧縮スギ材への水の浸透について	星野亜紀子、村木俊夫、荒川民雄	日本木材学会中部支部大会講演要旨集7 1997
22	静水圧下での木材の圧縮挙動	船戸正宏、村木俊夫、荒川民雄	日本木材学会中部支部大会講演要旨集7 1997
23	カラマツ高温人工乾燥材の圧縮強度	中嶋 康、武田孝志、吉田孝久ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集8 1998
24	材内含水率分布の連続測定法	坂井正孝、橋本彰	日本木材学会中部支部大会講演要旨集8 1998
25	圧密加工木材の力学特性	小原光博、金山公三、長山麻紀ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集8 1998

26	飽水木材の熱軟化特性 構成成分の寄与	古田裕三、則元 京、矢野 浩ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集8 1998
27	多摩ニュータウン募集案内所へのカラマツ材利用 (II)カラマツ心持ち材の高温乾燥と強度性能	吉田孝久、橋爪丈夫、伊東 嘉文ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集9 1999
28	カラマツ高温乾燥材の圧縮強度に及ぼす乾燥時間 の影響	中嶋 康、武田孝志、吉田 孝久ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集9 1999
29	吸脱湿サイクル下における曲げクリープの寸法効 果	川添正伸、祖父江信夫、平 井信之	日本木材学会中部支部大会講演要旨集9 1999
30	木材の変形加工に関する基礎的研究(I)木材の熱軟 化挙動について	古田裕三、横山 操、小畑 良洋ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集9 1999
31	圧密加工木材の表面物性の評価	辻直幸、金山公三、古田裕 三	日本木材学会中部支部大会講演要旨集9 1999
32	圧密化木材の残留応力に関する研究	長山麻紀、奥山 剛、金山 公三ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集9 1999
33	ロールプレスによる薄板の圧密加工	杉野秀明、林 勝英、古田 裕三ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集9 1999
34	マイクロ波水分計の適用をめぐる1、2の可能性 スギ角材の材内水分および応力状態と水分計の出 力電圧	林田和彦、竹村富男	日本木材学会中部支部大会講演要旨集10 2000
35	カラマツ心持ち21cm正角材の高温乾燥と曲げ強度	吉田孝久、橋爪丈夫、伊東 嘉文	日本木材学会中部支部大会講演要旨集10 2000
36	圧密化木材の収縮・膨潤	竹内和敏、今西祐志、古田 裕三ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集10 2000
37	湿潤状態にある木材の粘弾性—構成成分及び様々 な履歴の影響	古田裕三、今西祐志、小畑 良洋ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集10 2000
38	圧縮木材の三次元的解析—CTを用いた内部構造解 析	京盛健一、棚橋光彦、重松 幹二ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集10 2000
39	高圧水蒸気処理による木材の圧縮成形加工(IX)高 圧密化が物性に与える影響	夏目有深、重松幹二、棚橋 光彦	日本木材学会中部支部大会講演要旨集10 2000
40	静水圧圧縮技術を応用した製品群	原自郎	日本木材学会中部支部大会講演要旨集10 2000
41	含水率分布計測によるスギ柱材の水分挙動	坂井正孝、橋本彰	日本木材学会中部支部大会講演要旨集11 2001
42	スギ平角の乾燥方法の違いによる乾燥性能	小野和博、内山忠彦	日本木材学会中部支部大会講演要旨集11 2001
43	スギ・ヒノキ円柱加工材の天然乾燥試験	渡井純	日本木材学会中部支部大会講演要旨集11 2001
44	メカノソープティブクリープに及ぼす前処理の影 響	川添正伸、古田裕三、金山 公三	日本木材学会中部支部大会講演要旨集11 2001
45	高圧水蒸気処理による木材の圧縮成形加工(X)高 圧密化による諸性質の変化	夏目有深、重松幹二、棚橋 光彦	日本木材学会中部支部大会講演要旨集11 2001
46	圧密化木材の収縮・膨潤(III)膨潤速度に関する検討	竹内和敏、今西祐志、古田 裕三ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集11 2001
47	不安定状態にある木材の物性—動的粘弾性の経時 変化	古田裕三、小畑良洋、山本 哲夫ほか	日本木材学会中部支部大会講演要旨集11 2001

<中国・四国>

1	岡山県における製材品の乾燥状況(1)流通段階にお ける実態	河崎弥生、見尾貞治、金田 利之	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨 集3 1991
2	岡山県における製材品の乾燥状況(2)建築現場にお ける実態	河崎弥生、見尾貞治、金田 利之	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨 集3 1991
3	天然木材の構造・組織と吸放湿特性に関する研究1 天然木材の吸放湿に与える表面層の厚さについて	宮野則彦、浜本和敏、小林 定教、宮野秋彦	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨 集3 1991
4	天然木材の構造・組織と吸放湿特性に関する研究2 天然木材の吸放湿と形状・寸法の関係	宮野則彦、浜本和敏、小林 定教、宮野秋彦	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨 集3 1991
5	スギ正角の乾燥過程における曲げヤング係数の測 定	武智正典、村口良範	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨 集4 1992
6	スギ正角の温度別乾燥条件	三好誠治、藤田誠	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨 集4 1992
7	低圧爆砕法による乾燥性改善におよぼす繰り返し の影響	村上拓也、林和男、金川靖、 安島稔	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨 集4 1992
8	天然木材の構造・組織と吸放湿特性に関する研究4 天然木材の吸放湿に与える表面層の厚さについて 2	見尾貞治、河崎弥生	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨 集5 1993
9	天然木材の構造・組織と吸放湿特性に関する研究5 天然木材の透湿特性1	見尾貞治、河崎弥生	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨 集5 1993

10	ヒノキ立木の樹幹含水率の季節変動について	見尾貞治、河崎弥生	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集5 1993
11	局所燻砕法による透過性改善の材内分布	林和男、村上拓也、金川靖、安島稔、青木弘栄	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集5 1993
12	局所燻砕処理材の材質	林和男、安村由紀子、金川靖、安島稔、青木弘栄	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集5 1993
13	漆器の新しい原材料の開発 漆器木地燻煙乾燥の特性	大北一也、寒川広詩、宇高英二、中山義雄	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集5 1993
14	スギ正角の条件別天然乾燥について(第1報)	三好誠治、村田良範	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集5 1993
15	岡山県における針葉樹構造用製材の日本農林規格への対応状況(Ⅱ)主に人工乾燥構造用製材について	河崎弥生、見尾貞治	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集5 1993
16	スギ・ヒノキ正角の含水率の推定について	三好誠治、村口良範	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集6 1994
17	天然木材の構造・組織と吸放湿特性に関する研究9 天然木材の吸放湿に与える表面層の厚さについて4	宮野則彦、浜本和敏、小林定教、宮野秋彦	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集6 1994
18	天然木材の構造・組織と吸放湿特性に関する研究10 木材の透湿特性3	宮野則彦、浜本和敏、小林定教、宮野秋彦	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集6 1994
19	水熱処理によるスギ材の透過性向上	河野敏夫、篠原速都、高橋秀明、山崎仲道	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集6 1994
20	局所的水蒸気燻砕による透過性の改善とその分布	中村清誠、林和男、金川靖、安島稔	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集6 1994
21	加圧吸引法による乾燥性向上	篠原速都、河野敏夫、高橋秀明、山崎仲道	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集6 1994
22	高知県産スギ材の除湿乾燥における心材色と乾燥特性	本間隆太、中山義雄、大北一也	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集6 1994
23	人工乾燥された構造用JAS製品の寸法安定性	河崎弥生、原肇宏、石井哲、大倉隆之	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集6 1994
24	吸湿過程における木材両端自由梁の共振周波数の変化	藤本隆、西野吉彦、中尾哲也、田中千秋、高橋徹	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集6 1994
25	局所的水蒸気燻砕処理による閉鎖壁孔の破壊率	渋谷昌資、林和男、守田今日子、金川靖	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集7 1995
26	スギ正角の生材重量選別による乾燥について	三好誠治、村田良範	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集7 1995
27	心持ち円盤の高周波下夏乾燥	李南浩、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集7 1995
28	高周波減圧乾燥における乾燥特性に及ぼす制御因子の影響	長瀬陽二、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集7 1995
29	最終消費者の住宅と乾燥材に関する意識	宮内千波、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集8 1996
30	乾性摩擦を考慮した線形拡散方程式による、水分拡散係数の含水率・形状依存性、及び履歴の導出	中尾哲也	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集8 1996
31	2,3の樹種の透過性分布	明神光幸、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集8 1996
32	高温湿熱処理による木材の材質変化	岡内諭、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集8 1996
33	高周波減圧乾燥における針葉樹材の収縮特性	長瀬陽二、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集8 1996
34	熱気乾燥と高周波減圧乾燥による通気性の差	明神光幸、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集9 1997
35	高周波減圧乾燥における材内の温度分布	蔡芙蓉、長瀬陽二、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集9 1997
36	乾性摩擦を考慮した線形拡散方程式による水分拡散の検討ー比重依存性及び異方性について	中尾哲也	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集9 1997
37	高知県産スギ材の乾燥特性ー移行材が水分移動に与える影響	大北一也、中山義雄	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集9 1997
38	プレカット工場における乾燥材の動向	宮内千波、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集9 1997
39	横打撃共振法によるスギ及びヒノキ立木の心材含水率推定ー縦波音速とたわみ振動による補正	釜口明子、中尾哲也	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集10 1998
40	乾性摩擦を考慮した線形拡散方程式による水分拡散の検討ー含水率勾配に比例する摩擦の導入及び3次元における形状依存性の検討	中尾哲也、松田直子	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集10 1998

41	表面蒸発をコントロールした木材の高周波減圧乾燥特性	蔡英春、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集10 1998
42	スギ芯持ち柱材の高周波減圧乾燥	金川靖、安島稔	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集10 1998
43	次世代型低コスト木材乾燥システムの開発(1報)スギ集成材ラミナの効率的乾燥	三井篤、園田弘志	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集10 1998
44	市販されているD20人工乾燥材の品質	河崎弥生	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集10 1998
45	樹幹の膨潤・収縮量計測におけるひずみゲージ法の測定限界	中井毅尚、安部久	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集11 1999
46	歩留まりに及ぼす乾燥及び木材条件の影響	西山英智、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集11 1999
47	高周波減圧乾燥における乾燥速度に及ぼす温度分布の寄与	蔡英春、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集11 1999
48	予備乾燥と高周波加熱減圧乾燥との組み合わせ乾燥法によるスギ材の乾燥	河崎弥生、古川郁夫、作野友康、中尾哲也	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集11 1999
49	スギ丸太の高周波減圧乾燥	西内豊、金川靖、須崎健太、田村紘、勝野俊也	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集11 1999
50	乾燥過程における内部含水率変化と内部温度変化との関係	大畑敬	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集11 1999
51	県産スギ精英樹の含水率特性	大平智恵子、川上敬介、大原明伸	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集11 1999
52	乾性摩擦を考慮した線形拡散方程式による水分拡散の検討—拡散係数及び摩擦係数の温度依存性	松田直子、中尾哲也	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集12 2000
53	高周波減圧乾燥における木材内の圧力及び温度の同時同位置測定	蔡英春、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集12 2000
54	スギ柱材の高周波・熱風併用加熱減圧乾燥法について	越智仁夫	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集12 2000
55	スギ柱材の爆砕高温高周波減圧乾燥	野地清美、政岡尚志、金川靖、明神光幸、安島稔	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集12 2000
56	パラフィンによる液相乾燥	松岡良昭、政岡尚志、野地清美、水谷卓至、金川靖	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集12 2000
57	成長期において非破壊法である横打撃共振法を用いたスギ材含水率の連続測定—含水率変動に及ぼす周囲長変化・樹液流量と土壌水分量・天候の影響	釜口明子、中尾哲也、中井毅尚	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集12 2000
58	蒸煮処理が収縮異方性に及ぼす影響	田村紘、金川靖	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集13 2001
59	各種乾燥法によるスギ実大材の力学的性質の相違について	中尾哲也、中井毅尚、森角圭一	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集13 2001
60	高周波減圧乾燥における材内の圧力と温度について	蔡英春、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集13 2001
61	スギ柱材の爆砕高温高周波減圧乾燥過程中的材温変化	野地清美、政岡尚志、藤原新二、金川靖	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集13 2001
62	乾燥温度がスギ材の切削特性に与える影響	大北一也、田中千秋	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集13 2001
63	横打撃共振法を用いたスギ生立木の心材含水率の連続測定	釜口明子、中尾哲也、中井毅尚	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集13 2001
64	スギ板材乾燥のための選別処理の効果	寺岡佳史、杉森正敏、林和男	日本木材学会中国・四国支部研究発表会要旨集13 2001

＜九州＞

1	木材の強制換気式蒸気乾燥について	速水弘昭	日本林学会九州支部大会講演集第10号 19579
2	アピトン材の乾燥性における前処理効果	河辺純一、大神常男、森稔、太田基	日本林学会九州支部大会講演集第20号 1966
3	スギ材の葉枯らし乾燥	杉田一成、小田久人	日本林学会九州支部研究論文集第42号 1989
4	高温乾燥に伴うベイツガ材の材質等に関する研究	東正彦	日本林学会九州支部研究論文集第42号 1989
5	県産中小径製材品の最適乾燥スケジュールの設定に関する研究(Ⅰ)	前田健彦、東正彦	日本林学会九州支部研究論文集第42号 1989
6	製材品の含水率、寸法変化について—仕上げ含水率状態との関連分析	東正彦、前田健彦	日本林学会九州支部研究論文集第43号 1990
7	集熱採光材を利用した太陽熱木材乾燥庫の試作について	東正彦、前田健彦	日本林学会九州支部研究論文集第43号 1990

8	県産中小径製材品の最適乾燥スケジュールの設定に関する研究(Ⅱ) 温度条件の違いによる乾燥特性の違い	前田 健彦、東 正彦	日本林学会九州支部研究論文集第43号 1990
9	スギ品種の水分の出入りに関する処理性	河澄恭輔、小田一幸、堤 壽一	日本林学会九州支部研究論文集第43号 1990
10	ヒノキ材の葉枯らし乾燥の一事例	庄野章直	日本林学会九州支部研究論文集第44号 1991
11	寒切り葉枯らし材の生産について	大浪 繁、野田政勝、金子義幸	日本林学会九州支部研究論文集第44号 1991
12	太陽熱利用による木材乾燥	大場秀幸	日本林学会九州支部研究論文集第44号 1991
13	太陽熱利用乾燥施設によるスギ心持ち材の乾燥	増田隆哉、亀井淳介	日本林学会九州支部研究論文集第44号 1991
14	県産中小径製材品の最適乾燥スケジュールの設定に関する研究(Ⅲ) 湿度条件の違いによる乾燥特性の違い	前田健彦、東 正彦	日本林学会九州支部研究論文集第44号 1991
15	製材品の乾燥について—とくにスギ製材品の乾燥状況について	大迫靖雄、上村一夫、柳井純雄	日本林学会九州支部研究論文集第45号 1992
16	スギ葉枯らしの効果に関する研究(Ⅰ) とくに加工利用に向けての効果について	宮田 中、吉次昌則、村上英人ほか	日本林学会九州支部研究論文集第45号 1992
17	県産中小径製材品の最適乾燥スケジュールの設定に関する研究(Ⅳ) 乾燥時間の短縮を目的とした乾燥条件	前田健彦、東 正彦	日本林学会九州支部研究論文集第45号 1992
18	スギ品種の乾燥特性について	増田隆哉	日本林学会九州支部研究論文集第45号 1992
19	地熱利用乾燥施設によるスギ柱材の乾燥	増田隆哉、神田哲夫、亀井淳介	日本林学会九州支部研究論文集第45号 1992
20	丸太の人工乾燥及び人工乾燥丸太からの心持正角材の乾燥経過	増田隆哉	日本林学会九州支部研究論文集第46号 1993
21	スギ心材の明度および生材含水率の樹幹内推移について	松村順司、小田一幸、森川岳、堤 壽一	日本林学会九州支部研究論文集第47号 1994
22	県産中小径製材品の最適乾燥スケジュールの設定に関する研究(Ⅴ) 初期蒸煮時間と高温化の影響	前田健彦	日本林学会九州支部研究論文集第47号 1994
23	人工乾燥の前処理としての製材の天然乾燥について	池田元吉、前田健彦	日本林学会九州支部研究論文集第48号 1995
24	スギ材の乾燥温度別強度性能	山之内清竜、図師朋弘、福留重人	日本木材学会九州支部大会講演集4 1997
25	スギ心持ち角材の乾燥—破壊靱性とAEによる乾燥温度別表面割れ特性	後藤健輔、藤本登留、又木義博	日本木材学会九州支部大会講演集4 1997
26	異なる方法で乾燥または乾燥前処理した材の強度性能比較	池田元吉	日本木材学会九州支部大会講演集4 1997
27	減圧注入されたカラマツ材の透過経路—自然乾燥材とアルコール抽出処理材について	松永浩史、松村順司	日本林学会九州支部研究論文集第51号 1998
28	スギラミナの乾燥について	片桐幸彦、占部達也、村上英人	日本林学会九州支部研究論文集第51号 1998
29	スギ心持ち柱材の乾燥—高周波加熱乾燥における極板形状およびすきま量の設定の影響について	藤本登留、島村康郎、河辺純一、又木義博、谷口義昭	日本林学会九州支部研究論文集第51号 1998
30	県産スギ平角材の曲げクリーブ試験	荒木博章、坂下一則、池田元吉、倉岡由紀子ほか	日本木材学会九州支部大会講演集5 1998
31	宮崎県産スギ柱材の乾燥方法別強度性能	小田久人	日本木材学会九州支部大会講演集5 1998
32	蒸煮減圧処理したスギ心持ち角材の乾燥方法の検討	池田元吉	日本木材学会九州支部大会講演集5 1998
33	スギ正角材の採材位置による乾燥特性の違い	片桐幸彦、占部達也、村上英人	日本木材学会九州支部大会講演集5 1998
34	県産スギ平角材の曲げクリーブ試験(Ⅱ) 試験開始時期の含水率およびその後の温度変化の影響	荒木博章、池田元吉、倉岡由紀子、園田太志	日本木材学会九州支部大会講演集6 1999
35	スギ心持ち柱材のくん煙乾燥について	三ヶ田雅敏	日本木材学会九州支部大会講演集6 1999
36	スギ柱材の高温乾燥について	豆田俊治、藤本登留	日本木材学会九州支部大会講演集6 1999
37	飽和蒸気前処理によるスギ材の乾燥性	山之内清竜	日本木材学会九州支部大会講演集6 1999
38	スギ柱材の高温乾燥について(第2報)	豆田俊治	日本木材学会九州支部大会講演集7 2000
39	スギ柱材の高温乾燥について	山之内清竜	日本木材学会九州支部大会講演集7 2000
40	天然乾燥中の製材品の形状変化	片桐幸彦	日本木材学会九州支部大会講演集7 2000
41	高温乾燥による内部割れが継手の引張強度に及ぼす影響	井上正文、藤本登留、豆田俊治、田中圭	日本木材学会九州支部大会講演集8 2001

42	スギ柱材の高温乾燥について(第3報) 蒸煮セット後の乾燥温度の違いによる比較	豆田俊浩	日本木材学会九州支部大会講演集8 2001
43	スギ平角材の強度性能について—内部割れが発生した高温乾燥材の曲げ強度性能	城井秀幸、豆田俊浩	日本木材学会九州支部大会講演集8 2001
44	実用機による高温低湿処理とその後の人工乾燥について	片桐幸彦、山口祐士郎、藤本登留、近藤宏章ほか	日本木材学会九州支部大会講演集8 2001
45	スギ心持ち柱材のくん煙乾燥について天然乾燥における高温低湿前処理の影響について	井上彰、藤本登留、村瀬安英	日本木材学会九州支部大会講演集8 2001

◆組織・材質関係◆

—中田了五氏作成による—

分野	タイトル	著者名	掲載誌・掲載年
材質	樹幹における繊維回旋の現れ方	大倉精二	信大農紀要 1958
材質	樹幹内での含水率の分布	矢沢亀吉	北方林業 1964
材質	トドマツ樹幹の凍裂の発生機構、とくにその水喰材との関係について	石田茂雄	北大農演報 1967
材質	スギ樹幹内の材質変動に関する研究—産地を異にする林木樹幹の未成樹材などの区分とその材質特徴	深沢和三	岐阜大農研報 1967
材質	Moisture content of living trees	Stewart CM	Nature 1968
材質	林木の心材の測樹学的研究	井原直幸	九大演報 1972
材質	スギ・ヒノキ樹幹内における未成樹材の力学特性に関する基礎的研究	太田貞明	九大演報 1972
材質	カラマツ樹幹内における旋回木理の分布とその出現型	中川伸策	林試研報 1972
材質	林木の材質	加納 孟	林業技術協会 1973
材質	トドマツ樹幹の生材含水量、特にその水喰い材との関係について	蕪木自輔	東京農工大演報 1973
材質	Wetwood in trees—A timber resource problem	Ward JC, Pong WY	USDA Forest Service General Technical Report PNW 112 1980
材質	材質指標と材料としての性質との関連 最終用途のための品質評価に向かって	日本木材学会 組織と材質研究会	日本木材学会 組織と材質研究会 1980
材質	スギの品種別材質試験 (I) 生材含水率について	三輪雄四郎	木材学会大会研究発表要旨集 1983
材質	Discolouration in the wood of living and cut trees	Bauch J	IAWA Bull NS 1984
材質	Characteristics of discoloured and wetwood in fir	Passialis C, Tsoumis G	IAWA Bull NS 1984
材質	Sapwood and Heartwood—A Review	Bamber RK, Fukazawa K	Forestry Abstracts 1985
材質	スギの生材含水率分布について	三輪雄四郎	日本木材学会大会研究発表要旨集 1985
材質	トドマツの凍裂	石田茂雄	石田茂雄先生退官記念事業会 1986
材質	アカマツの繊維傾斜度	中川伸策	林試研報 1986
材質	Spiral grain and wave phenomena in wood formation	Harris JM	Springer-Verlag, Berlin, etc 1988
材質	材質育種にむけてのスギ品種の年輪構造	小田一幸、古賀信也、堤 壽一	九大演報 1988
材質	スギおよびヒノキ材の生材含水率	藤原新二、岩神正朗	高知大学術研報 1988
材質	同一林分で生育したスギ品種内の木材材質のバラツキ	小田一幸、久保義則、堤 壽一	九大演報 1989
材質	スギ立木の水分分布について	亀井淳介、津島俊治	日林九支研論集 1989
材質	水喰い材形成のメカニズムとその対策	深沢和三	In 昭和63年度北大農特定研究報告書 森林資源の効果的育成と有効利用に関する総合的研究 1989
材質	構造部材を意識したスギ12品種の木材性質 スギ材質評価法確立を目指して	小田一幸、渡部演一、堤 壽一	九大演報 1990
材質	スギ品種内の木材性質のバラツキ	古賀信也、小田一幸、堤 壽一	九大演報 1990
材質	生材含水率	三輪雄四郎	In 日本木材学会研究分科会報告書 木材の科学と利用技術II 5.スギ 1991
材質	Corewood (Juvenile wood) in <i>Pinus radiata</i> Should we be concerned?	Cown DJ	NZ J For Sci 1992
材質	Clonal variation of wood density variables in <i>Pinus radiata</i>	Donaldson LA, Evans R, Cown DJ, Lausberg MJF	NZ J For Sci 1995
材質	スギ黒心 その発生と対策	森林総合研究所、農林水産技術会議事務局編	森林総合研究所、農林水産技術会議事務局 1995

材質	Basic density in Norway spruce. Part I A literature review	Lindstorum H	Wood and Fiber Sci 1996
材質	Basic density in Norway spruce. Part II Predicted by stem taper, mean growth ring width, and factors related to crown development	Lindstorum H	Wood and Fiber Sci 1996
材質	Basic density in Norway spruce. Part III Development from pith outward.	Lindstorum H	Wood and Fiber Sci 1996
材質	スギ品種の材質特性の評価	林野庁編	In 林野庁 平成5年度～ 6年度林業試験 研究報告書 1996
材質	スギ樹幹における黒心材形成と灰分(第2報) スギ3品種心材の性質	森川 岳、小田一幸、松村 順司、堤 壽一	九大演報 1996
材質	材木の材質検定(2) 含水率、材色	平川泰彦	林木の育種 1996
材質	スギ黒心の発生と黒心材利用上の問題—心材色 と心材水分について	平川泰彦	山林 1996
材質	樹木の凍裂 発生状況とその原因	今川一志	林業科学技術振興所 1997
材質	品質管理型林業のためのスギ黒心対策技術の開 発	農林水産技術会議事務局	研究成果316 1997
材質	スギの生材含水率の個体内樹高方向での変化	中田了五、藤澤義武、平川 泰彦、山下香菜	木材学会誌 1998
材質	Soft X-ray observation of water distribution in the stem of <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don I General description of water distribution	Nakada R, Fujisawa Y, Hirakawa Y	J Wood Sci 1999
材質	Soft X-ray observation of water distribution in the stem of <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don II Types found in wet-area distribution patterns in transverse sections of the stem	Nakada R, Fujisawa Y, Hirakawa Y	J Wood Sci 1999
材質	横打撃共振法によるスギ立木の心材含水率非破 壊的推定	釜口明子、中尾哲也、小玉 泰義	木材学会誌 2000
材質	応力波伝播速度による立木材質の評価と適用(第 1報) スギ立木含水率の季節変動と応力波伝播速 度による評価	池田潔彦、有馬孝禮	木材学会誌 2000
材質	スギ18品種の丸太ヤング率の品種間差に及ぼす マイクロフィブリル傾角と密度の影響	山下香菜、平川泰彦、藤澤 義武、中田了五	木材学会誌 2000
材質	横打撃共振周波数法によるスギ立木の心材含水 率の測定— 方向の分布—	釜口明子、中尾哲也、中井 毅尚、田村 明	木材学会誌 2001
材質	Soft X-ray observation of water distribution in the stem of <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don III Changes in the distribution of wet areas in heartwood along stem axes	Nakada R, Fujisawa Y, Yamashita K, Hirakawa Y	J Wood Sci
材質・ 育種	カラマツの母樹とクローンの繊維傾斜度の関係	中川伸策	林試研報 1980
材質・ 育種	スギにおける心材含水率のクローン間変異	川村忠二、三上 進	日林東北支誌 1987
材質・ 育種	スギ心材含水率のクローンと林分による変異	藤澤義武、太田貞明、西村 慶二、戸田忠雄、田島正啓	木材学会誌 1995
材質・ 育種	トドマツ精英樹クローンの生材含水率の変異	飯塚和也、織部雄一郎、生 方正俊	木材学会誌 2000
材質・ 化学	スギ心材の性質 生材含水率、温水抽出物および明度を中心に	河澄恭輔、小田一幸、堤 壽 一	九大演報 1991
材質・ 化学	スギ心材の黒変現象(第2報) 原因物質のひとつとして、炭酸水素カリウムの同 定	阿部善作、小田一幸	木材学会誌 1994
材質・ 化学	Blackening of sugi ( <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don) heartwood in relation to metal content and moisture content	Kubo T, Ataka S	J Wood Sci 1998
組織	Ultrastructure of ray parenchyma cell wall of softwood	Fujikawa S, Ishida S	Mokuzai Gakkaishi 1975
組織	針葉樹の正常材における軸方向の細胞間げきの 形態と構造について	見尾貞治、松本 島	九大演報 1979
組織	Time course of the secondary deposition of incrusting materials on bordered pit membranes in <i>Cryptomeria japonica</i>	Sano Y, Nakada R	IAWA J 1998
組織・ 材質	Formation and properties of wetwood in white fir	Worrall JJ, Parmeter, Jr JR	Phytopathology 1982

組織・材質	Heartwood and tree exudates	Hillis WE	Springer Verlag, Berlin etc. 1987
組織・材質	Within- and between-tree variation in microfibril angle in <i>Pinus radiata</i>	Donaldson LA	NZ J For Sci 1992
組織・材質	Clonal variation and repeatability of microfibril angle in <i>Pinus radiata</i>	Donaldson LA, Burdon RD	NZ J For Sci 1995
組織・材質	精英樹スギクロンにおける晩材仮道管S2層のマイクロフィブリル傾角と仮道管長との関係	平川泰彦、藤澤義武	木材学会誌 1995
組織・材質	樹木の凍裂発生要因の研究	佐野雄三	北大農紀要 1996
組織・材質・化学	トドマツ水食い材の水分移動に関する研究－樹液成分と壁孔閉鎖	石井哲男、深沢和三	北大農演報 1987
組織・生理	針葉樹における水分通導の季節的变化	内海泰弘、佐野雄三、船田良、藤川清三	日本木材学会大会研究発表要旨集 2001
病理	Wetwood, bacteria, and increased pH in trees	Hartley C, Davidson RW, Crandall BS	USDA Forest Service FPL Report 2215 1961
病理	Bacteriological, chemical and physical properties of wetwood in living trees	Ward JC, Zeikus JG	Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft 1980
病理	Microaerobic and anaerobic bacterial activities involved in formation of wetwood and discoloured wood	Schink B, Ward JC	IAWA Bull NS 1984
病理	Biochemical mechanisms of discolouration, decay, and compartmentalisation of decay in trees	Shortle WC	IAWA Bull NS 1984
病理	A New Tree Biology	Shigo AL	Shigo and Trees Associates, Durham 1986
病理	黒心材の発生に關与する菌類	伊藤進一郎	森林総研所報 1996
病理・材質	無機質からみたトドマツ水食材発生の一考察	氏家雅男	北大農演試験年報 1984
物性・組織	乾燥に伴う有縁壁孔閉鎖と気体透過性自然乾燥と凍結乾燥されたカラマツ材について	松村順司、堤 壽一、小田一幸	木材学会誌 1995
物性・組織	針葉樹材の気体透過性におけるエタノール置換乾燥と自然乾燥後のエタノール処理の影響	松村順司、堤 壽一、小田一幸	木材学会誌 1995
物性・組織	Bordered pit aspiration in the wood of <i>Cryptomeria japonica</i> in relation to air permeability	Fujii T, Suzuki Y, Kuroda N	IAWA J 1997
物性・組織	Relationship between wood anatomical properties and specific permeability of sugii ( <i>Cryptomeria japonica</i> ) sapwood and intermediate wood	Matsumura J, Kashihara K, Tsutsumi J, Oda K	Bull Kyushu Univ For 1997
物性・組織	Impregnation of radiata pine wood by vacuum treatment Identification of flow paths using fluorescent dye and confocal microscopy	Matsumura J, Booker RE, Donaldson LA, Ridoutt BG	IAWA J 1998

◆強度・構造関係◆

－岡崎泰男氏作成による－

強度・構造関係の検索は、以下の大分大学井上研究室 HP の「もくもくデータベース」でもできます。  
<http://www.arch.oita-u.ac.jp/a-kou/moku/main.htm>

1.含水率と強度（短期強度）

	タイトル	著者	誌名 巻号 Page 年
総説	The bending strength of lumber in structural sizes.	Jessome, A.P.	Dep. Of the Environment, Canadian Forest Service, Ottawa No.1305 1971
"	Adjusting the static strength of lumber for changes in moisture content.	Green, D.W.	How Environ Affects Lumber Des Assess Recomm 86-105 1983
"	Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: an analysis of immediate effects	Gerhards, C.C.	Wood and Fiber 1980
1	Ingrade testing, investigation of test parameters in parallel-to-grain tension	Madsen, B., Nielsen, P.C.	Univ. of B.C., Dep. of Civil Eng. Struct. Res. Series, Rep. No.24 (1980)
2	Moisture effects in lumber	Madsen, B., Jansen, W., Zwaagsra, J.	Report 27, Structural Research Series, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, B.C. 1980

3	木材の静的曲げにおけるひずみエネルギーに及ぼす含水率の影響	浦上弘幸, 福山萬治郎	材料 30 712-718 1981
4	乾燥にともなうスギ製材品の曲げ剛性の変化	今村祐嗣, 海本一	奈良県林試木材加工資料 106-9 (1981)
5	The effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood	Gerhards, C.C.	Wood and Fiber 14(1) 4-36 1982
6	Recommended moisture adjustment factors for lumber stresses	Madsen, B.	Can J Civ Eng 9(4) 602-610 1982
7	The influence of moisture content on the flexural properties of southern pine dimension lumber	McLain, T.E.	Research Paper, Forest Products Laboratory, Forest Service FPL-RP 44 1984
8	間伐材等小径木の強度性質 - 曲げ剛性と曲げ破壊係数	中井孝, 田中俊成	木材工業 39(5) 235-241 1984
9	構造用製材の強度等級区分に関する研究	中井孝ほか	林業試験場研究報告書 25 196-218 1985
10	構造用木材の強度等級区分に関する試験 県産スギの曲げヤング係数と曲げ強さ	石垣和夫	山形県立林業試験場研究報告 15 114 1985
11	Moisture content and the mechanical properties of dimension lumber: decisions for the future	Green, D.W., Evans, J.W.	Proc. In-grade Testing of Structural Lumber. Proc. 47363. Forest. Prod. Res. Soc. Madison, Wis., 44-55 1988
12	Bending strength of lumber	Buchanan, A.H.	Journal of Structural Engineering 116,5 1213-1229 1990
13	Compression strength adjustments for moisture content in Douglas - fir structural lumber.	Barrett, J.D., Lau, W.	Wood Fiber Sci 23 543 - 557 1991
14	Bending strength adjustment for moisture content for structural lumber	Barrett, J.D., Lau, W.	Wood Science and technology 25(6) 443-447 1991
15	非破壊方式による木材強度等級区分	野地清美, 西内豊	高知県工業技術センター研究報告 22 102-107 1991
16	スギ材の乾燥経過に伴う曲げヤング係数の変化	高橋幹夫, 降幡和男	山形県林業試験場報告 22 23-29 1993
17	Exploring the effects of further drying on the tensile capacity of kiln - dried lumber.	Eskelsen, V., Peterson, J., et al.	Forest Products Journal 43(1) 25-32 1993
18	樹種が異なる針葉樹材の力学的性質への含水率の影響 気乾材と吸水材の圧縮に対する性質の比	堤寿一, 小田一幸	材料 42 431-435 1993
19	Moisture Content and the Properties of Clear Southern Pine.	Green, D.W., Kretschmann, D.E.	Res Pap For Prod Lab For Serv 531 31p 1994
20	樹種が異なる針葉樹材の力学的性質への含水率の影響 (第2報) 縦圧縮強さへの影響と年輪構造との関係	小田一幸, 堤寿一, 松村順司	木材学会誌 40 113-118 1994
21	スギ足場板の曲げ強度性能	坂田和則, 吉永亨ほか	徳島県林業総合技術センター研究報告 34 23-29 1996
22	Modeling moisture content - mechanical property relationships for clear southern pine.	Kretschmann, D.E., Green, D.W.	Wood Fiber Sci 28 320-337 1996
23	構造材の含水率と強度性能	長尾博文	木材工業 51 505-507 1996
24	曲げ強度試験データの調整方法について	長尾博文, 飯島泰男, 河合直人	日本建築学会学術講演梗概集 C-1 構造 3 7 - 8 (1999)

## 2. 含水率と強度 (長期強度、クリープ)

総説	Recent Progress in the study of the rheology of Wood	Schneiwind, A.P.	Wood Science and Technology 2 188-206 (1968)
"	Requirements for a model that exhibits mechano-sorptive behaviour	Grossman, P.U.A.	Wood Science and Technology 10 163-168 (1976)
"	A review Transient moisture effects in materials	Wang, J.Z., Dillard, D.A., Kamke, F.A.	Journal of Materials Science 26 5113-5126 (1991)
"	A review of creep in wood: concept relevant to develop long - term behavior predictions for wood structures.	Holzer, S.M., Loferski, J.R., Dillard, D.A.	Wood Fiber Sci 21 376 - 392 (1989)
"	Advances in the knowledge of the influence of moisture changes on the long - term mechanical performance of timber structures	Hanhijaervi, A.	Materials and Structures 33 43 - 49 (2000)
図書	Creep in Timber Structures	P.Morlier	E&FN SPON
25	木材の乾燥, 塑性加工, はりの異常たわみ 水分変化過程の木材の力学的挙動をめぐって	佐道健	木材工業 35 455-460 1980
26	本邦産材の乾燥中の曲げクリープ	飯田生穂	木材工業 36 335-338 1981
27	Creep trajectories for beech during moisture changes under load.	Hunt, D.G.	J Mater Sci 19 1456-1467 1984

28	Constitutive equation of wood at variable humidity and temperature.	Bazant,Z.P.	Wood Science and Technology 19 159-177 1985
29	Measurements of compression creep of wood at humidity changes.	Bazant,Z.P., Meiri,S.	Wood Science and Technology 19 179-182 1985
30		Hunt,D.G. , Shelton,C.F.	J Mater Sci Letter 6 353 1987
31	Progress in the analysis of creep in wood during concurrent moisture changes.	Hunt,D.G. , Shelton,C.F.	J Mater Sci 22 313-320 1987
32	湿度変動下での木材と木質材料のクリープ特性	有馬孝禮、丸山則義	日本建築学会大会学術講演梗概集 材料施工・防火・海洋・情報システム技術 123 1988
33	Creep Behavior of Structural Timber under Varying Humidity Conditions.	Martensson,A.	J Struct Eng 120 2565-2582 1994
34	荷重増減下でのスギ大断面材のクリープと変形モデルへの適用	荒武志朗、森田秀樹ほか	宮崎県工業試験場・宮崎県食品加工開発センター研究報告 39(1994) 87-92 1995
35	湿度変動過程におけるスギ大断面材のクリープ	荒武志朗、有馬孝禮	木材学会誌 41 359-366 1995
36	軸組構造体のクリープ変形挙動(I):人工乾燥材と未乾燥材との比較	武田孝志、有馬孝禮ほか	日本建築学会大会学術講演梗概集構造(3) C-1 93-94 1995
37	軸組構造体のクリープ変形挙動(Ⅱ) 季節間のクリープたわみの変動	武田孝志、有馬孝禮、五十田博	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ 27 (1996)
38	スギ大断面材のクリープ(第2報) 荷重増減下及び除荷後の挙動と変形モデルによる予測	荒武志朗、有馬孝礼	木材学会誌 42 755-761 1996
39	軸組構造体のクリープ変形挙動における未乾燥材と乾燥材の違い	武田孝志	木材工業 51 511-513 1996
40	Application of physical-ageing theory and a hygro-locks model to mechano-sorptive creep	Hunt, D.G.	International COST 508 Wood Mechanics Conference, Stuttgart 21 36-45 1996
41	梁用の製材及び集成材の曲げクリープ特性	荒武志朗、五十田博、徳田迪夫ほか	複合ばり開発事業報告書 平成8年度 技術開発研究推進事業 技術開発推進事業 1997
42	ヒノキ材の曲げクリープ性状に関する実験的研究	楠寿博、木林長仁、鷲海四郎	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ 87 1999
43	Duration of load behaviour of different sized straight timber beams subjected to bending in variable climate	Hanhijarvi, A. Galimard,P., Hoffmeyer,P.	Holz als Roh-und Werkstoff 56(5) 285-293 1998
44	軸組構造体のクリープ変形挙動(Ⅳ) クリープたわみの推定	武田孝志、有馬孝礼、五十田博	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ 159 1998
45	自然環境下におけるスギ大断面材のクリープ	荒武志朗	木材工業 54 208-213 1999
46	Computational method for predicting the long - term performance of timber beams in variable climates.	Hanhijaervi,A.	Materials and Structures 33 127 - 134 2000
47	流通しているスギ平角材の曲げクリープ挙動(I) -スギ、ベイマツ平角材のクリープたわみと初期含水率、試験開始時期および機械的強度区分との関係-	荒木博章、池田元吉ほか	木科学情報 7 16 - 17 2000
48	住宅用木質構造部材の開発 第2報 自然環境下における各種中断面部材のクリープ	荒武志朗、平山国浩	宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告 44 101 - 104 2001
49	周期的な湿度変動下における木材の曲げクリープに及ぼす湿度変動周期と試験体断面寸法の影響	川添正伸、祖父江信夫	木材学会誌 47 81-91 2001
50	フーリエ変換による自然環境下における木材の曲げクリープの解析	川添正伸、祖父江信夫、平井信之	木材学会誌 47 73-80 2001
51	温湿度変動下における実大スギ梁材のクリープ変形挙動	有馬孝礼、谷川信江ほか	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ (2001)

### 3. 含水率と構造(接合)性能

52	乾燥に伴う時間経過が接合部のせん断性能に与える影響	神谷文夫、平嶋義彦、畑山よし男	木材学会誌 29 925 - 929 (1983)
53	火打ち梁接合部の乾燥弛緩に関する実験的研究	高橋雅充	日本建築学会関東支部研究報告 113 (1986)
54	羽子板ボルト接合部の乾燥弛緩に関する実験的研究	高橋雅充、	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅱ 1245 (1986)
55	木構造火打ち梁部分の乾燥弛緩に関する実験的研究	高橋雅充、	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅱ 1427 (1987)
56	火打ち梁接合部の乾燥弛緩に関する実験的研究	高橋雅充、	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅱ 55 (1988)

57	Effects of multi - phase moisture conditioning on stiffness of nailed OSB - to - lumber connections	Mohammad, M.A.H, Smith, I.	Forest Products Journal 46(4) 76 - 83 (1996)
58	乾燥度の違いによる2階建て在来軸組の水平加力実験	山田文夫、大橋好光ほか	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ 129 (1998)
59	乾燥度の違いによる2階建て在来軸組の水平加力実験 その2. 筋交い、木摺、石膏ボード併用耐力壁タイプ	凌克臣、松岡秀尚ほか	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ 131 (1998)
60	軸組部材の乾燥度の違いが接合部せん断耐力に及ぼす影響	池田潔彦、渡井純、佐々木隆行	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ 21 1999
61	初期乾燥程度の異なるスギ製材で構成した耐力壁の強度性能	三井信宏、杉本健一、神谷文夫	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ (2001)
62	枠組壁工法耐力壁の水平せん断性能に及ぼす影響因子の評価 (2) 含水率の影響について	中島史郎	日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ (2001)

#### 4. 高温乾燥、高温熱処理と強度

総説	High-temperature drying and its effect on wood properties	Salamon,M.	Forest Products Journal 19(3) 27-34 1969
"	Effect of high-temperature drying softwoods on the mechanical properties of wood	Chales J. Kozlik	Res Conf High Temp Drying Eff Mech Prop Softwood Lumber 24-37 1976
63	Kiln time and temperature affect shrinkage, warp, and mechanical properties of southern pine lumber.	Price,E.W., Koch,P.	Forest Products Journal 30(8) 41 - 47 1980
64	Report on the work of technical committee 44 - PHT "Properties of materials at high temperatures".	Malhotra,H.L.	Materials and Structures 15 161 - 170 1982
65	木材の高温乾燥(第3報)加熱処理条件が曲げ破壊型態に及ぼす影響	鷲見博史	木材学会誌 28(8) 489-494 1982
66	Effect of high-temperature drying on bending strength of yellow-poplar 2 by 4's	Gerhards,C.C.,	Forest Products Journal 33(2) 61-67 1984
67	High temperature convective drying of softwood and hardwood. Drying kinetics and product quality interactions.	Moyno,C., Basilico,C.	Proc 4th Int Dry Symp 1984 Vol 2 662 - 667 1984
68	High-temperature drying of southern pine 2 by 4'2: Effects on strength and load duration in bending	Gerhards, C.C.	Wood Science and Technology 20 349-360 1986
69	Effect of high-temperature drying on bending strength and load duration of Douglas-fir 2 by 4's	Gerhards, C.C.	Forest Products Journal 38(4) 66-72 1988
70	水分・熱による木材繊維直角方向の弾性・強度的性質の変化	飯田生穂	木材学会誌 35 875 - 881 1989
71	国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化 I × カラマツ材の乾燥温度別による強度特性	吉田孝久、橋爪丈夫	長野県林業総合センター研究報告 7 131-136(1993)
72	Drying 40 - mm - thick slash pine in 2. 5hours at 200°C.	Mcnaught,A.M., Gough,D.K.	FPJ 45(1) 51 - 54 1995
73	スギ構造材の乾燥法 II 高温乾燥したスギ心持材の強度性能と乾燥特性	高橋幹夫	山形県立林業試験場研究報告 25(1995)
74	赤外線燻煙熱処理スギ材の材質特性	石黒太、安藤實ほか	材料 47 p.361- (1998)
75	高温乾燥によるスギ材の機械的および色彩的性質の変化	久保島吉貴、信田聡ほか	木材工業 53 115-119(1998)
76	木質材料 遠赤外線くん煙熱処理スギ心持ち直角の材質 含水率・干割れ・動的ヤング率について	安藤実、吉沢伸夫ほか	材料 48 229-234(1999)
77	人工乾燥温度が曲げ強度に及ぼす影響 太田川流域産スギ、アカマツ平角材の乾燥及び強度特性について	山本学	広島県立林業技術センター研究報告 31 33 - 37(1999)
78	木材の高温乾燥特性	大北一也、中山義雄	香川県工業技術センター研究報告 6 44 - 47(1999)
79	スギ丸太材のくん煙熱処理試験	斎藤周逸ほか	木材工業 54 467-472(1999)
80	カラマツ心持ち直角材の強度特性に及ぼす高温乾燥の影響 I 曲げ強度特性	吉田孝久、橋爪丈夫ほか	木材工業 54 122-125(1999)
81	カラマツ心持ち直角材の強度特性に及ぼす高温乾燥の影響 II 縦圧縮強度特性	中嶋康、武田孝志ほか	木材工業 54 265-268(1999)
82	スギ材の効率的乾燥法に関する研究 スギ柱材の高温乾燥について 第2報	豆田俊治	大分県林業試験場年報 42 46-48(2000)
83	カラマツ柱材の高温乾燥と強度性能	吉田孝久	長野県林業総合センター技術情報 18-25 (2000)

84	カラマツ及びスギ心持ち柱材の高温乾燥特性 高温低湿乾燥条件が乾燥特性に及ぼす影響と曲 げ強度性能	吉田孝久, 橋爪丈夫	長野県林業総合センター研究報告 14 3-18 (2000)
85	長野県産針葉樹中径木を利用した住宅用高機能 性部材の開発 5 デッキボード部材の開発 (1) 製材及び乾燥特性と強度性能評価	吉田孝久, 橋爪丈夫, 馬渡 栄達	長野県林業総合センター研究報告 14 43-46 (2000)
86	Effects of high - temperature drying on bending strength of red pine poles.	Chui, Y.H., Taylor A., et.al..	F.P.J. 51(7/8) 47-50 (2001)
87	県産スギ構造用平角材の強度性能の評価 - スギ 平角材の曲げ強度性能 -	城井秀幸	大分県林業試験場年報 43 62-63 (2001)
88	スギ平角材の乾燥方法別強度性能	小田久人	日本林学会九州支部研究論文集 54 193-194 (2001)
89	高温乾燥によるスギ材 (Cryptomeria japonica D.Don) の衝撃特性ならびにせん断特性の変化	久保島吉貴, 信田聡	木材工業 56 64-68 (2001)

#### 5.乾燥割れ、背割りと強度

90	Strength of wood beams with end splits.	Murphy, J.F.	Res Pap Forest Prod Lab Forest Ser v U S Dep Agric 347 1 - 12 (1979)
91	スギ背割りの強度性能	東野正ほか	日林東北支部紙 41 275-276 (1989)
92	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, 迫田忠芳, 有馬 孝礼, 中村徳孫	木材工業 48 166 - 170 (1993)
93	スギ構造材の乾燥法 I 背割り材の乾燥特性と 強度性能	高橋幹夫	山形県立林業試験場研究報告 24 1-5 (1994)
94	青森県産スギ強度試験 (第Ⅲ報) 東津軽産スギ 心持ち材の背割加工における強度性能 曲げ強さ と圧縮強さ	守田託満	青森県林業試験場報告 1995 43 - 74 (1996)
95	構造材の干割れと力学的性質	荒武志朗	木材工業 51(11) 508-511 (1996)
96	人工乾燥による材面割れが曲げ強度に及ぼす影 響 太田川流域産スギ、ヒノキ正角材の乾燥及び 強度特性について	山本学	広島県立林業技術センター研究報告 31 39-44 (1999)
97	プレカット継手接合部のせん断耐力に及ぼす乾 燥の影響	渡井純, 池田潔彦	静岡県林業技術センター研究報告 27 35 - 39 (1999)
98	背割りしたスギ丸太の乾燥特性と強度性能	後藤徹, 高橋幹夫	山形県森林研究研修センター研究報告 29 21 - 25 (2001)
99	スギ平角材の曲げ強度性能評価法に関する 2、3 の考察	池田潔彦, 飯島泰男ほか	日本建築学会学術講演梗概集 構造 III (2001)
100	柱材の乾燥割れと接合部強度の関係	岡崎泰男, 飯島泰男	日本建築学会学術講演梗概集 構造 III (2001)

#### ◆保存関係◆

—栗崎 宏氏作成による—

分野	タイトル	著者名	掲載誌・掲載年
乾燥	スギ心持ち柱材のインサイジング処理乾燥	斉藤周逸	木材学会大会要旨 1989
乾燥	高温低湿されたスギ心持ち柱材の各種材質特性	藤本登留, 廣瀬花恵, 豆田俊 治, 三ヶ田雅敏, 吉田孝久	木材学会大会要旨 2000
乾燥	カラマツの耐蟻性・耐朽性に及ぼす人工乾燥の影響	土居修一, 栗本康司, 滝内 浩, 青山政和	木材学会大会要旨 2001
乾燥	高温乾燥したスギ心材の耐朽性評価	栗崎 宏, 水本克夫	木材学会大会要旨 2001
乾燥	高温乾燥したスギ材の薬剤注入性評価	栗崎 宏, 水本克夫	木材学会大会要旨 2001
乾燥	熱処理下におけるスギ材の透過性	石川敦子, 黒田尚宏, 香川 聡, 安部久	木材学会大会要旨 2001
材質	丸太直接熱処理による材質変化	奥山 剛, 山本浩之, 小林 功	木材学会大会要旨 1989
保存	熱処理材の耐朽性について	松岡昭四郎	木材学会大会要旨 1986
保存	各種熱処理材の野外耐朽性	井上 衛, 星 通, 鈴木憲太 郎, 山本幸一, 松岡昭四郎, 雲林寺源治	木材学会大会要旨 1990
保存	針葉樹材の浸透性に及ぼす蒸煮処理の効果	茂呂 誠, 澤辺 攻	木材学会大会要旨 1993
保存	蒸煮処理カラマツ材に対するイエシロアリの食害	土居修一, 窪田 実, 高橋旨 象, 足立昭男	木材学会大会要旨 1995

保存	蒸煮処理カラマツ心材中のシロアリ摂食促進物質	大村和香子, 大原誠資, 土居修一, 青山政和	木材学会大会要旨 1997
保存	木材の熱処理がシロアリの摂食活動へ与える影響	土居修一, 栗本康司, 高橋旨象, 吉村 剛, 足立昭男	木材学会大会要旨 1997
保存	ヤマトシロアリの蒸煮カラマツに対する摂食行動	土居修一, 栗本康司, 大村和香子, 大原誠資, 青山政和	木材学会大会要旨 1999
保存	遠赤外線燻煙熱処理スギ材の薬剤浸透性	安藤 寶, 石栗 太, 横田信三, 吉沢伸夫	木材学会大会要旨 2000
保存	蒸煮木材がシロアリの摂食促進に及ぼす影響とペイトへの応用の可能性	土居修一, 大村和香子, 大原誠資, 青山政和, 滝内 浩, 中村嘉明	木材学会大会要旨 2000
保存	前処理を行ったスギ円柱加工材の防腐薬剤注入試験	渡井 純, 西岡久寛	木材学会大会要旨 2001
物性	蒸煮処理による木材の浸透性および細孔構造の変化	佐藤真由美, 西川介二, 森満範, 土居修一	木材学会大会要旨 1993
物性	針葉樹材の浸透性に及ぼす蒸煮処理の効果(Ⅱ)蒸煮処理法の改善	茂呂 誠, 澤辺 攻	木材学会大会要旨 1994

【講演会およびシンポジウム】

「乾燥材問題を考える」資料集

2002年4月4日（木）13：00～16：30



日本木材学会「組織と材質研究会」「木材と水研究会」「レオロジー研究会」「木材強度・木質構造研究会」「生物劣化研究会」（5研究会共催）

日本木材学会事業委員会



<研究会幹事>

- ・組織と材質研究会：藤井智之（森林総研）、船田 良（北大農学研究科）
- ・水と木材研究会：伊藤洋一（北海道林産試）、山田範彦（兵庫森林技セ）
- ・レオロジー研究会：安藤幸世（名大生命農学研究科）、矢野浩之（京大木質科学研）
- ・木材強度・木質構造研究会：東野 正（岩手林技セ）、武田孝志（信大農）
- ・生物劣化研究会：桃原郁夫（森林総研）、松阪 裕（ケミプロ化成）

<文献調査班>

伊藤洋一（北海道林産試）、東野 正（岩手林技セ）、武田孝志（信大農）、野地清美（高知森技セ）、池田元吉（熊本林研試）



発行所：日本木材学会

\*\*\*\*\*

113-0023 東京都文京区向ヶ丘 1-1-17

Tel. 03-3816-0396 Fax. 03-3818-6568

E-mail: office@jwrs.org

Home page: <http://www.jwrs.org>

\*\*\*\*\*