

建築用針葉樹材の乾燥に関する資料集(Ⅲ)

平成 12 年 3 月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

はじめに

当センターでは、平成元年を「木材乾燥元年」と位置付け、爾来、乾燥材の普及に係わる各種の事業を実施してきたところです。

当センターではこれまで、「優良木質建材等認証事業」（通称A Q）による乾燥処理材の認証及び「含水率計の性能認定事業」による含水率計の認定を実施するとともに、乾燥に係わる方々の参考資料として「建築用針葉樹材の乾燥に関する資料集」（平成元年）同改訂版（平成2年）及び同Ⅱ（平成5年）を編集・発行いたしました。また、乾燥技術者の養成をはかるため、「針葉樹製材乾燥技術者研修」を実施し、これまで1,000名を越える乾燥技術者を養成してきておりますが、我が国の全製材生産量に占める乾燥材の生産割合は、増加傾向にあるものの、未だ10%程度と乾燥材の普及率は低位にとどまっております。

こうした中で、「建築基準法」の性能規定化及び「住宅の品質確保の促進等に関する法律」による瑕疵担保責任制度、住宅性能表示制度の実施を控え、乾燥材の供給への要請が一段と高まってきております。

このため、今回、「建築用針葉樹材の乾燥に関する資料集」（Ⅲ）として、平成5年の同（Ⅱ）以降の乾燥に関する新しい技術情報を中心に文献資料をとりまとめ、編集・発行することといたしました。内容は、第1章「総説」として木材乾燥の状況に関するもの、第2章「乾燥材ニーズの増大」として乾燥の必要性に関するもの、第3章「建築用材の乾燥に関する調査」として乾燥材に関する調査結果に関するもの、第4章「最近の乾燥技術」として各種乾燥技術の研究成果等に関するもの、第5章「水分管理及び品質管理」として含水率測定技術及び乾燥材の性能等に関するもの、第6章「乾燥材と行政、規格、その他」として行政の取り組み等に関するもの、第7章「参考資料」の7章からなっており、乾燥に係わる方々の今後の取り組みの参考になることを期待しております。

本資料集に掲載した文献等は、それぞれ林材関係技術・研究誌等から転載させていただいております。ここに、転載について快諾を賜った関係者の方々に厚くお礼申し上げます。また、本編のとりまとめにあたって、ご指導、ご支援を賜った森林総合研究所 久田卓興氏及び黒田尚宏氏に心からお礼申し上げます。

平成12年3月

第1章 総説

- 1 針葉樹構造用製材の乾燥をとりまく状況 久田卓興 1
木材工業 Vol. 51, No. 11, 1996
- 2 最近の木材乾燥の動向 黒田尚宏 5
最新木材工業事典 1999. 2

第2章 乾燥材ニーズの増大

- 1 高まる乾燥の必要性 低コスト化と高品質化に向けて 久田卓興 7
ワイド 1999. 1
- 2 建築現場から見た乾燥の必要性 相原庸夫 11
ワイド 1999. 1
- 3 国産製材品の品質保証へ向けて 簾藤 勉 15
(乾燥や強度についての品質表示を)
ワイド 1999. 6

第3章 建築用材の乾燥に関する調査

- 1 スギ乾燥材需要・供給の現状と将来 信田 聡 18
KDレポート Vol. 26, Vol. 27, 1999
- 2 建築用木材の乾燥に関する調査 久田卓興ら 22
日本住宅木材技術センター調査事業報告書 1999. 3

第4章 最近の乾燥技術

- 1 天然乾燥 37
 - 1.1 スギ心持ち柱材の天然乾燥について 三ヶ田雅敏 37
日本林学会九州支部研究論文集 No. 52, 1999. 3
 - 1.2 宮崎県産スギ柱材の天然乾燥 小田久人ら 39
日本林学会九州支部研究論文集 No. 53, 2000. 3
- 2 乾燥前の選別 41
 - 2.1 建築用スギ柱材の生材比重区分による乾燥効率の向上 富田守泰ら 41
日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 44, 1994
 - 2.2 電気伝導測定を使ったスギ生材選別の可能性 黒田尚宏ら 42
日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 48, 1998
 - 2.3 乾燥が遅れるスギ柱材の選別方法に関する検討 信田 聡ら 43
(主に木口面画像の明度による評価)
日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 50, 2000
- 3 前処理技術 44
 - 3.1 スギ材乾燥のための前処理技術 久田卓興 44
木工機械 No. 181, 1998. 10
 - 3.2 前処理技術の有効性 (蒸煮熱処理の効果) 齋藤周逸 48
木材工業 Vol. 51, No. 11, 1996

3.3	蒸煮減圧処理材の乾燥特性 (スギ製材における乾燥速度)	池田元吉	5 1
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 49, 1999		
3.4	スギ心持ち柱材乾燥の前処理としての高温加熱・減圧	小林 功ら	5 2
	日本木材学会40周年記念大会要旨集 NO. 45, 1995. 4		
3.5	木材の透過性改善とその応用	金川 靖	5 3
	木工機械 No. 180, 1998. 7		
3.6	横圧縮大変形を与えたスギ材の乾燥特性	飯田生穂ら	5 7
	木材工業 Vol. 50, No. 3, 1995		
3.7	スギ心持ち柱材の熱板処理による割れ抑制 (表層セット量の測定)	藤本登留ら	6 2
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 50, 2000		
4	一般の乾燥技術		6 3
4.1	スギ品種の乾燥特性	山之内清竜ら	6 3
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 49, 1999		
4.2	製材品の除湿乾燥について	小野広治	6 4
	木材工業 Vol. 51, No. 11, 1996		
4.3	スギ正角材の乾燥について	片桐幸彦ら	6 7
	日本林学会九州支部研究論文集 No. 52, 1999		
5	高温乾燥		6 9
5.1	スギ材の高温乾燥の現状と可能性	久田卓興	6 9
	木工機械 No. 173, 1996. 10		
5.2	スギ板材の高温乾燥	齋藤周逸	7 3
	日本林学会関東支部大会発表論文集 No. 47, 1995. 12		
5.3	スギ正角の高温乾燥について (第1~2報)	三好誠治ら	7 5
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 46, 1996、 No. 47, 1997		
5.4	カラマツ柱材の高温乾燥 (100℃以上)	吉田孝久ら	7 7
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 46, 1996		
5.5	スギ柱材の高温乾燥 (第1報) (120℃-30℃差の乾燥)	吉田孝久ら	7 8
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 49, 1999		
5.6	カラマツ及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特性)	吉田孝久ら	7 9
	長野県林業総合センター研究報告 No. 14, 2000. 3		
5.7	VRC高温木材乾燥システムによるスギ乾燥結果	樫原正規ら	9 5
	木材工業 Vol. 50, No. 10, 1995		
6	高温・過熱蒸気処理		1 0 0
6.1	スギ心持ち材乾燥における過熱蒸気の活用	小林 功ら	1 0 0
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 46, 1996		
6.2	スギ心持ち材乾燥における過熱蒸気の活用 (鑑) (前処理としての利用とその効果)	小林 功ら	1 0 1
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 47, 1997		

6.3	高圧蒸気によるスギ正角材の含水率変化	山之内清竜	102
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 46, 1996		
6.4	高温・高圧雰囲気中の木材含水率測定	黒田尚宏ら	103
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 47, 1997		
6.5	高温飽和蒸気中の木材含水率	石川敦子ら	104
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 49, 1999		
6.6	過熱蒸気中での木材含水率	石川敦子ら	105
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 50, 2000		
7	燻煙熱処理、燻煙乾燥		106
7.1	スギ丸太の遠赤外線燻煙熱処理 (壁孔壁の破壊と材質変化)	吉沢伸夫ら	106
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 46, 1996		
7.2	スギ丸太の遠赤外線燻煙熱処理 (2) (薬剤浸透性の改良)	安藤 實ら	107
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 46, 1996		
7.3	スギ丸太材の燻煙熱処理試験	齋藤周逸ら	108
	木材工業 Vol. 54, No. 10, 1999		
7.4	低コスト型木材乾燥システムの開発	中村哲男ら	114
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 47, 1997		
7.5	スギ心持ち柱材の燻煙乾燥とその効果 乾燥、強度、防腐について	久田卓興ら	115
	日本木材加工技術協会創立50周年記念年次大会 No. 16, 1998.10		
7.6	柱材の燻煙ミスト法による乾燥	飯田生穂ら	116
	木材工業 Vol. 54, No. 12, 1999		
8	高周波・熱気複合乾燥		120
8.1	高周波・熱気複合乾燥法と装置	小林好紀	120
	KDレポート Vol. 25, 1998.10		
8.2	高周波加熱処理を利用したスギ製材品の乾燥 (乾燥時間の短縮を目的として)	久保健ら	121
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 46, 1996		
8.3	スギ正角材の高周波による内部加熱乾燥	小林好紀ら	122
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 47, 1997		
8.4	高周波・蒸気複合乾燥法の開発 (高周波印加条件の模索とインピーダンス整合の有無による乾燥経費の違い)	小野広治ら	123
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 50, 2000		
8.5	高周波・熱気複合乾燥法の開発	山本ビニター株式会社	124
	日本住宅・木材技術センター、革新的技術開発促進事業報告書 2000.3		
9	高周波加熱・減圧乾燥		133
9.1	高周波加熱式減圧乾燥(1)(2)(3)	久田卓興	133
	KDレポート Vol. 20, Vol. 21, Vol. 22, 1996.9~1997.5		
9.2	スギ柱材の高周波減圧乾燥 (エアギャップの影響)	河崎弥生	136
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 47, 1997		

9.3	蒸煮と高周波加熱・減圧によるスギのタイコ挽き材の乾燥	小林 功ら	137
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 46, 1996		
9.4	スギ丸太の高周波加熱減圧乾燥	河辺純一ら	138
	(表面割れなしの短時間乾燥条件に関する検討)		
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 44, 1994		
9.5	高周波加熱・減圧によるカヤ碁盤用材の乾燥	久田卓興ら	139
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 44, 1994		
10	その他の乾燥技術		140
10.1	スギ黒心正角材の乾燥に与えるマイクロ波加熱の効果	久保 健ら	140
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 44, 1994		
10.2	心持ち角材の乾燥	藤本登留ら	141
	(マイクロ波加熱乾燥法の改良)		
	日本木材学会40周年記念大会要旨集 No. 45, 1995. 4		
10.3	スギ心持ち角材の乾燥	後藤健輔ら	142
	(マイクロ波・熱風複合乾燥法について)		
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 46, 1996		
10.4	液体中における柱材乾燥の試み	吉田孝久	143
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 43, 1993		
10.5	液相乾燥法の概略について	柳田英二	144
	ウッドヘッド 第9号, 1999. 2		
10.6	孔あき材の乾燥と利用	山田範彦	148
	木材工業 Vol. 53, No. 12, 1998		
10.7	木材乾燥副生精油の特徴とその利用法	東 昌弘ら	153
	(従来法精油との比較)		
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 48, 1998		
11	乾燥コスト		154
11.1	建築用木材の乾燥コスト	久田卓興	154
	森林総合研究所研究会報告 No. 11, 1993. 10		
第5章 水分管理及び品質管理			
1	含水率測定、水分管理		160
1.1	含水率計	黒田尚宏	160
	最新木材工業事典 1999. 2		
1.2	高周波式含水率計の測定精度について	齋藤周逸	162
	日本林学会関東支部大会発表論文集 No. 45, 1994. 3		
1.3	圧電分極による材内水分勾配評価	鈴木養樹ら	165
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 47, 1997		
1.4	近赤外分光法による木材の非破壊計測 (VI)	土川 覚ら	166
	(含水率ならびに密度の検量線)		
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 47, 1997		
1.5	オンライン用木材水分計水分グレーダーの開発	増馬浩志ら	167
	木工機械 No. 177, 1997. 10		

1.6	厚板の含水率測定技術とその実用性	祖父江信夫	171
	木工機械 No. 186, 2000. 1		
2	寸法変化		175
2.1	製材品の水分管理について	小野広治	175
	日本木材学会木材と水研究会 1997. 9		
2.2	木造住宅における製材品の上棟後の寸法変化と発生したトラブル	河崎弥生ら	181
	(乾燥材と未乾燥材の比較)		
	木材工業 Vol. 55, No. 2, 2000		
2.3	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	187
	木材工業 Vol. 51, No. 11, 1996		
3	強度性能		190
3.1	鹿児島県産スギ材の乾燥温度別強度性能	山之内清竜他	190
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 48, 1998		
3.2	群馬県産スギ正角材の強度性能	町田初男	191
	(110°C乾燥材の強度試験)		
	日本林学会関東支部大会発表論文集 No. 50, 1999. 4		
3.3	高知県産スギ材の加熱温度と強度性能との関係	大北一也ら	193
	日本木材学会大会研究発表要旨集 No. 49, 1999		

第6章 乾燥材と行政、規格、その他

1	乾燥施設整備の推進	中島孝雄	194
	KDレポート Vol. 26, 1998. 11		
2	リースによる大型木材乾燥設備の整備	林野庁木材流通課	195
	KDレポート Vol. 28, 1999. 6		
3	木材乾燥低コスト化技術研究組合が発足	谷田部 昭	197
	KDレポート Vol. 23, 1997. 9		
4	宮城県における乾燥材普及への取り組み	三島木 進	199
	KDレポート Vol. 27, 1999. 3		
5	岩手県における乾燥技術開発等乾燥材普及への取り組み	久慈 敏	200
	日本住宅・木材技術センター、建築用木材の乾燥に関する調査事業報告書 1998. 3		
6	長野県における乾燥技術開発等乾燥材普及への取り組み	吉田孝久	205
	日本住宅・木材技術センター、建築用木材の乾燥に関する調査事業報告書 1998. 3		
7	富山県における乾燥技術開発等乾燥材普及への取り組み	橋本 彰	210
	日本住宅・木材技術センター、建築用木材の乾燥に関する調査事業報告書 1998. 3		
8	愛媛県における乾燥技術開発等乾燥材普及への取り組み	越智仁夫	216
	日本住宅・木材技術センター、建築用木材の乾燥に関する調査事業報告書 1998. 3		
9	熊本県における乾燥技術開発等乾燥材普及への取り組み	池田元吉	225
	日本住宅・木材技術センター、建築用木材の乾燥に関する調査事業報告書 1998. 3		

第7章 参考資料

1	木材乾燥機の仕様と性能表示に関する基準		234
	KDレポート Vol. 16, 1994. 11		

第1章 総説

1 針葉樹構造用製材の乾燥をとりまく状況

森林総合研究所 久田卓興

1. 針葉樹製材乾燥の歩みと現状

建築用の針葉樹製材の乾燥が話題になりだしたのは、昭和50年代の後半である。役物の柱や高級造作材の乾燥が主で、除湿式乾燥機を導入した乾燥材生産が先進林業地を中心に始められた。60年代に入ると乾燥材の生産は一段と活発になり、多くの製材工場が乾燥機を導入し始め、様々なスタイルの乾燥材と表示された製品が世に出回るようになった。これにつれ乾燥機の製造にも多くのメーカーが参入するようになり、一時は50社を越えるほどの勢いであった。こうなると当然乾燥材の品質が問題になり、これを保証するための統一基準の策定が求められた。平成元年のAQ認証、平成3年の針葉樹構造用製材のJAS制定を経て、ようやく一定の規準が作られることとなった。

しかし、現在の木材市場を見るとこうした規準の整備とは裏腹に、規格に合った正しい乾燥材の流通はごく僅かで、特に関東圏の市場で正規のJASマークが付された製品を見かけることはきわめて希である。この理由は明白で、高い乾燥材よりは安い未乾燥材の方がよく売れるからである。しかし、大工や工務店等からは乾燥材を求める声が強く、資材供給側と利用側で乾燥材に関する認識や価値観に大きな隔りがある。今でも一般の流通ルートでは、高級材は乾燥するが、一般材は乾燥しないで出荷あるいは販売するケースがほとんどである。

こうした木材市場の動きとは別に、大手住宅メーカーとそこに資材を納入している製材業者との間では、

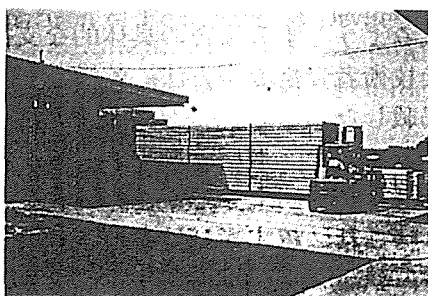


写真1 針葉樹構造用製材の乾燥

近年とみに乾燥問題が厳しく扱われるようになってきている。これはようやく両者が乾燥材の必要性を認識し、品質に対する要求度と生産コストのバランスを問題にし出したためで、乾燥の不十分な木材を使用していたのでは、結局建築工法の合理化やクレーム対策についていけないことが明白になってきたからである。

ところが、最近の住宅資材の動きとしては、使用部材に乾燥材を指定しても、実際には高品質の乾燥製材品が入手できないことから、これに代えて入荷量や品質が安定している集成材を使用しようとする住宅メーカーや工務店が急増している。すなわち、乾燥材への認識が高まるにつれて、住宅部材が製材品から集成材へと代替していく皮肉な現象が生じ始めている。しかも、その原料は大半が輸入の北欧材や北米材である。日本産の木材を原料とする木材工業ならびに日本の林業が極めて危機的的局面にあることを深く認識すべきである。非常に急な勢いで、乾燥材の要求が高まり、しかも高い品質が問われる時代がやってきている。

2. 乾燥材の規格

2.1 日本農林規格の制定

製材の日本農林規格は昭和47年に全面改正され、その後部分改正が加えられ、現在に至っている。しかし、製材の主たる用途である構造材については、近年の建築事情の変化に対応すべく改正が求められ、これに応じて平成3年に新たに針葉樹構造用製材のJASが制定された。この規格のポイントは、用途を建築構造用に定めたこと、広く普及している部材の寸法を規定寸法として定め寸法の種類を制限したこと、乾燥の規定をレベル別に明確にしたこと、強度等級区分を整理したことである。

旧来からのJASが天然乾燥材と人工乾燥材(含水率15%以下)の2種類だけであったのに比べ、新JASでは第1表に示す3種類を定め、建築設計の際に指定された要求どおりのレベルの乾燥材が供給出来るように規格の整備が行われた。

2.2 含水率及び寸法について

第1表 針葉樹の構造用製材の含水率規格(JAS)

乾燥区分	基準
D 15	15 % 以下
D 20	20 % 以下
D 25	25 % 以下

針葉樹構造用製材の JAS の乾燥材の規格としての基準では D25 はある程度乾燥されており、用途によっては乾燥材として十分利用できるもの、D20 は乾燥材として通常使用に合った標準レベルのもの、D15 は高いレベルの乾燥材で通常の使用中は寸歩変化がほとんど生じないものと区分出来よう。

寸法について、乾燥材の精度は木口の一边の長さが 90mm 未満のものは ±1.0mm 以下、90mm 以上のものは ±1.5mm 以下と定められている。規格制定の際には、乾燥材の寸法の決め方をめぐって多くの議論が交わされた。現規格の問題点は、乾燥レベルによって、その後の収縮量に違いが生じることである。もちろんこの収縮による寸法変化を避けたいとすれば、集成材と同レベルの含水率基準の D15 の製品を使用すれば良いわけであるが、この関係が十分理解されていないと、製材品は乾燥材であっても狂うという批判を受けかねないことになる。現規格は乾燥材品質と乾燥コストの微妙なバランスの上に築かれた規格と理解されるが、いずれは何らかの規格改正が必要になる時が訪れるかもしれない。

2.3 含水率の測定法について

含水率の測定は JAS では全乾法によるのが原則とされている。しかし、実際の現場ではこの方法は取り難いため、通常は電気式含水率計を用いる。従来から多く用いられているのは直流抵抗式であるが、建築用製材では計器の針によるキズをきらうため、高周波式(誘電率式)が好んで使われている。

規格に合った乾燥材の生産や利用を進めていく上で、含水率計は不可欠なもので、これがなければ事実上規格の運用は無意味になってしまう。このため一定性能を有する計器を認定機種として定め、これを用いることを推奨する方式をとっている。一般の柱材については一本あたり数箇所を測定し、これを平均する方法によりかなり良い精度が得られている。しかし、これらの含水率計では厚い材や乾燥直後の含水率傾斜の大きな材の含水率測定が精度良く行えない問題点がある。

より精度の高い含水率計の開発も行われているが、機構が複雑であったり、機械の価格が高価であったりして、広く一般に利用できるような計器はまだ出現していない。

3. 乾燥材生産の現状

3.1 乾燥材の生産量

木材需給統計によると、我が国で住宅等に使われる製材品の量は約 3,700 万 m³ で、そのうち 70% が国内で生産され、30% は製品として輸入される。

輸入製材品(平成 6 年で 1,076 万 m³)については、2 × 4 用材はほぼ全量人工乾燥され、再割厚材や板材の多くも乾燥して輸入されるため、全体の約 3 分の 1 (360 万 m³) が KD 材であると推定される。ベイツガ柱材については KD 化が遅れているが、最近では日本での乾燥材需要に応じるため、乾燥材生産の体制作りが急速に進みつつある。

国内で生産される製材品(平成 6 年で 2,591 万 m³)の内訳は、国産針葉樹材が約 40% (1,040 万 m³)、輸入針葉樹材が約 50% (1,300 万 m³) と推測されるが、このうち乾燥材は国産材と輸入材を合わせて 200 万 m³ くらいではないかと思われる。なお、乾燥材生産量については統計資料がないため、乾燥施設等の調査^{1),2)}から非常に大ざっぱではあるが推測を試みた。乾燥施設の使用実績を見ると、地域によって差はあるが全国平均で国産材と輸入材の比率はおよそ 8 : 2 くらいと考えられる。ベイツ、ベイツガなど内地挽き製材品の大半は未乾燥のまま流通しており、国産材製材よりも乾燥材の比率は低い。

これらのことから針葉樹構造用製材の乾燥材の普及率を推定してみると、国産材製材が生産量の約 15% (160 万 m³)、内地挽きの輸入材製材が約 3% (40 万 m³)、輸入製材が全輸入量の約 33% (360 万 m³) となり、これらを全部合わせた乾燥材の量は 560 万 m³ と推定され、これは我が国で使用される製材品 3,700 万 m³ の約 15% に相当する。

3.2 乾燥施設の導入状況

木材乾燥施設の数 は 1992 年に約 7,000 室³⁾ に達し、その後も急な勢いで増加を続けている。第 2 表は木材乾燥施設協会が会員企業の納入実績を調査したものであるが、10 年ほど前から針葉樹製材の乾燥を対象とした乾燥機の導入が急増している⁴⁾。最近 5 年間の乾燥室数と容量を見ると、全体の 7 割が針葉樹製材用と見られる。これらの資料を参考にして現在の乾燥施設の数を推定してみると、施設数は約 8,000 室、収容材積は約 12 万 m³ で、このうち約 4 割が建築用針葉樹材の乾燥に使用され、1 カ月 3 ~ 4 回転で使用されるとすると、乾燥材の生産量は年間約 200 万 m³ と推定される。

乾燥方式別では蒸気式が全体の約 75% で最も多く、除湿式が 15%、真空式が 3%、その他が 7% くらいある。

第2表 乾燥施設の導入状況

	1976～1980		1981～1985		1986～1990		1991～1995	
	室数	容量	室数	容量	室数	容量	室数	容量
全業種	1,111	18,135	881	14,652	1,360	24,049	1,339	29,632
蒸気式	192	3,636	420	6,481	310	5,476	151	1,285
除湿式	44	318	49	482	51	290	88	640
真空式	0	0	1	84	42	908	1	50
太陽熱	266	1,330	150	861	76	496	69	1,684
その他	1,613	23,419	1,501	22,560	1,839	31,219	1,648	33,291
計								
(内訳)								
針葉樹製材	118	1,783	181	3,495	412	8,445	637	15,512
蒸気式	78	1,545	193	3,054	123	2,042	44	337
除湿式	2	10	4	26	7	50	12	222
真空式	0	0	0	0	7	138	0	0
太陽熱	8	71	2	11	4	57	47	1,096
その他	206	3,409	380	6,586	553	10,732	740	17,167
計								
住宅関連	95	1,546	134	2,063	168	3,120	242	5,466
蒸気式	18	68	45	587	67	1,001	47	212
除湿式	0	0	6	51	0	0	21	162
真空式	0	0	0	0	20	423	0	0
太陽熱	10	41	7	26	10	70	9	38
その他	123	1,655	192	2,727	265	4,614	319	5,878
計								

(日本木材乾燥施設協会調べ)

容量単位㎡

最近の設備導入の傾向を見ると、第2表に見られるように蒸気式の比率が高くなり、設備が大型化する傾向がある。また、乾燥温度も高温化の方向にあり、針葉樹建築用材のしかも一般構造用材の乾燥に照準を合わせた設備の導入が進んでいる。

第2表で針葉樹製材のその他の項が増加しているのは、燻煙式、燃焼ガス式、温水式、電熱ヒーター式などの装置で、目的に応じて色々な装置が使われ、熱源も多様化する傾向が見られる。このほか、真空式も増加傾向にある。

3.3 乾燥材の生産方法と乾燥コスト

乾燥材の生産方法には大別すると天然乾燥と人工乾燥の二つがある。針葉樹構造用製材の乾燥は以前は天然乾燥によるのが普通であった。しかし、天然乾燥では時間がかかりすぎて建築需要に対処出来なくなってきたことから、次第に人工乾燥に移って行った。第3表はスギ心持ち柱材の乾燥を対象にして、既存の乾燥法と最近話題に上っている各種乾燥法の特徴を比較したものである。

天然乾燥は古くからなじみの深い方法であるが、昨今は多量の木材を長期間ストックしておく土地が確保出来ないことから実施が困難になってきている。そこで、狭い土地を立体的に活用する高層式の天乾施設などを作れば、意外にコストの安い乾燥システムが作れる可能性は十分ある。

除湿乾燥は天然乾燥に代わる簡易な乾燥法として登場し、一時は乾燥機メーカーが何社もひしめく活況を呈した。除湿式には冷凍機の冷媒の種類によって低温型と高温型があるが、一般の装置は低温型で、使いやすさと材がきれいに仕上がることから、主にヒノキの乾燥や高級材の乾燥に好んで使われている。しかし、

第3表 スギ心持ち柱材のための各種乾燥法の比較

乾燥方式	温度(℃)	特徴・問題点	処理時間(日)	処理後の含水率(%)	乾燥コスト(円/㎡)
天然乾燥	常温	割れやすい、広い土地が必要	60-150	20-40	不定(土地代による)
除湿式	35-50	扱いが簡便、長い時間がかかる	15-30	20-40	10,000
蒸気式(一般)	50-80	標準的、さらに時間短縮が必要	10-14	20-30	9,000
蒸気式(高温)	100-130	乾燥が速い、操作が難しい、設備の耐久性に不安がある	2-3	20-30	7,500
蒸気・減圧	110-35	耐熱処理に適する、仕上げ乾燥に時間がかかる	0.5*	50-80	3,500*
燻煙式	100-150	燃料費が安い、品質管理が難しい	3*	30-60	2,000*
高層式・減圧	95-35	急速乾燥できる、設備費が高い	1*	20-40	7,500*

*このほかに仕上げ乾燥のための時間及び経費が必要

最大の問題点は乾燥に時間がかかることである。このため多量の乾燥材が求められるようになった昨今では、このタイプの設備の導入数はめっきり減少している。

これに対し蒸気式は増加傾向にあり、特に最近では乾燥時間が短縮できる高温型の装置が注目を浴びている。蒸気式の最大の特徴は適用範囲の広いことであるが、それだけに設備の細部の仕様や使い方によって大きな差が生じてくる。熱源に蒸気を用いるためボイラが必要であるが、これには燃料に木屑を用いるものと、石油系燃料を用いるものがある。設備規模が小さい場合は使い勝手や経済性の上で石油系燃料が有利であるが、燃料価格は木屑の方が安く、木材工場ではこの処理に困っている所が多いため、出来れば木屑を使いたいところである。最近では設備の大型化と高温化が進んでいるが、この場合の難しさは、多量の材を如何に均一に仕上げるかと言うことである。両方を同時に実現しようとする送風装置の性能や温度制御精度を相当高める必要があり、設備設計に特別の配慮が必要になる。乾燥しようとする材の種類や、要求される品質、納期、使用エネルギーの種類、乾燥技術者の能力など、多くの要因によって適正な設備と処理条件の選択が必要である。

高周波加熱式減圧乾燥は非常に乾燥速度が速く、短時間で乾燥材が生産できることが大きな特徴である。しかし、この装置の問題点は設備費が高いことと、エネルギーに電気を用いることからランニングコストが高くなることである。このため従来は高級材や特殊用材の乾燥に用いられてきた。建築用材に対するこの装置の使い方としては、一つは蒸気式や除湿式では非常に時間がかかる厚材の乾燥に用いることと、もう一つは生材から最終含水率までの全期間の乾燥に用いるのではなく、他の乾燥方法の補助として用い、乾燥時間の短縮と乾燥経費の軽減とを両立させる使い方である。第3表に示されているのは人工乾燥処理を一日で終了

し、その前後に天然乾燥を組み合わす方法で、これにより乾燥材の大量生産と低コスト化が実現できる。

最近、乾燥の前処理として生材を蒸煮してから減圧する方法や、燻煙処理する方法などが注目されているが、いずれも高温による木材の性質の変化を利用しようとするものである。しかし、これらの方法には各処理方法の得失、強度や材質変化の度合い、経済性に対する評価などの点で、まだ不明な部分が多く、早急に科学的な調査研究が必要とされる。

4. 乾燥材に求められる品質

乾燥材が必要になってきた背景には、建築工法や住宅生産システムの変化があり、特に建築クレームの減少に大きなウェイトが置かれている。すなわち、工期の短縮や大工不足に対応するプレカット化、パネル化の発展、耐震性や気密性の向上など住宅性能の向上などがある。これらのことから住宅部材である乾燥材には、寸法精度が高くこれが長い間変化しないことが最も強く求められている。

乾燥材の品質を示すものとして部材の含水率レベルがある。どの程度まで乾燥するのが良いかは部材の使用場所によって異なるが、使用場所の平衡含水率の平均値が一つの目安になる。木材の含水率は使用環境に応じて変化し、やがて一定の平衡状態に達するため、あらかじめ人工的にこの平衡状態まで乾燥しておけば、その後の含水率変化とこれに伴う寸法の変化はごく少ない範囲に制限することが出来る。

JAS 製品の含水率規格は第1表に示したように3レベルが決められているが、これらの製品のその後の寸法変化については第1図の調査例⁴⁾がある。含水率20%まで乾燥されたD20とそれ以下のD15は寸法変化が少ないことがわかる。樹種によって多少数値が異なるが、基本的にはほぼ同様の傾向を示すと考えられる。建築上のトラブルを防ぐには、含水率を20%あるいはそれ

より少し低くなるまで乾燥しておくべきである。

乾燥割れについては、針葉樹構造用製材のJASでは木口割れと貫通割れ以外は特に問題にしないことになっている。これは強度性能に関係しない割れは問題にしないという考えに基づくものであるが、現実の商取引の上では乾燥割れは無制限というわけではなく、一定の制限が加えられることが多い。

心持ち材の場合、まったく割れを発生させずに乾燥することは難しい。このため昔から背割りをして材面割れを防ぐ方法がとられてきたが、最近では多少の割れがあっても背割り無しで使う例や、特殊な人工乾燥処理条件を用いて割れを防いで使う例も多くなってきている。これは化粧性よりも木材の寸法変化に関心が集まってきたため、背割りの無い材の方が全体的に形状の変化が少ないことによるものである。

これに対し、材面の化粧性を重んじるヒノキ柱材や役物では背割りによって割れを防ぎ、乾燥後モルダ加工などで寸法仕上げをする方法が一般的である。また、これらの材は品質的に材色のきれいなことが要求されるため、概して低い温度の乾燥条件が用いられる傾向にある。このように乾燥に対する要求は製品の種類によって異なる。

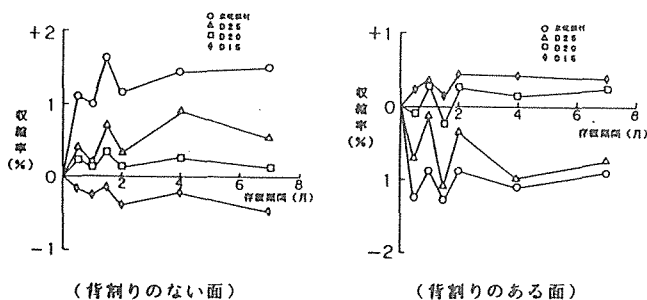
5. 今後の乾燥材生産のあり方

5.1 乾燥コストの低減策

針葉樹構造用製材は従来は人工乾燥しないで流通販売が行われていたものだけに、これに乾燥経費を上乗せする考え方に抵抗が大きいのは当然である。しかし、一般に物を加工するのは、加工によって付加価値が上がるからで、これがなければ加工すなわち乾燥する意味がない。乾燥によってユーザーと生産者の双方にメリットが生じる所がコストの接点であると言える。求められる品質、量、納期などに対して、これを如何に低コストで実現できるかを追求していく必要がある。単に乾燥経費を下げるだけが目標ならば、結局は機械やエネルギーを使わないで屋外に放っておく方法に行き着いてしまう。原木生産から製材、乾燥、加工、建築に至る大きなネットワークの中で、最も好都合な方法を考えていくべきものと思う。

そこで、スギ心持ち柱材について乾燥コストの低減に効果があると思われるものを列記すると次のとおりである。

- ①葉枯らしや原木乾燥の活用
- ②天然乾燥の活用
- ③初期含水率を下げるための前処理
- ④乾燥速度を速めるための前処理



第1図・乾燥度の異なるヒノキ柱材の寸法変化⁴⁾
(12cm角、背割り材)

2 最近の木材乾燥の動向

森林総合研究所 黒田尚宏

1. 木材乾燥を取り巻く状況

昭和50年代には、大工数の減少やその高齢化に伴う建築の担い手不足が工期短縮を目的とした施工の合理化を促進することになり、建築部材のプレカット化や部材化が進行した。一方で、高断熱性・高耐久化住宅への建築仕様の変化に伴って、部材の寸法安定性や耐久性、ひいては木造建築の耐久性向上には乾燥材が不可欠との認識が広まった。その結果、針葉樹構造用製材の乾燥が促進される状況となり、平成3年には「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」の中で、含水率基準が規定されることとなった。平成7年に起こった神戸・淡路島地震による住宅被害は、消費者の高耐久住宅への指向を一層促進することになり、平成8年には造作用等の新農林規格の中でも、新たな含水率基準が規定されるようになった。最近では、住宅建築における施工性向上や、床なりなどの非乾燥材使用を原因としたクレーム対策等のために、寸法精度が整った乾燥材への需要はますます高まってきている。

現在、我が国の製材需要量は全木材需要量の約44%を占め、その約80%が建築用に向けられている（平成9年、農林水産省）。しかし、乾燥した建築部材の供給は、国産材、輸入材、集成材を含めて、我が国の住宅建築における需要を十分に満たすには至っていない。国産針葉樹、特にスギ乾燥製材の供給比率は低く、スギ材乾燥にかかわるコスト問題が顕在化してきた。これには、国産針葉樹丸太価格と製材乾燥コストが高く、製材価格に乾燥コストを上乗せできないという事情もからんでいる。国産材需要拡大の見地から、良質な乾燥材の供給と、そのための乾燥の低コスト化が大きな課題になっている。

2. 木材乾燥法

近年の木材乾燥、すなわち乾燥材品質の均一化と短期間での供給および利回りを指向する場面では、十分な時間と土地を必要とする自然のエネルギー活用型の天然乾燥よりも、人工的に作り出した電気や熱を利用し短期間で余分な木材水分を除

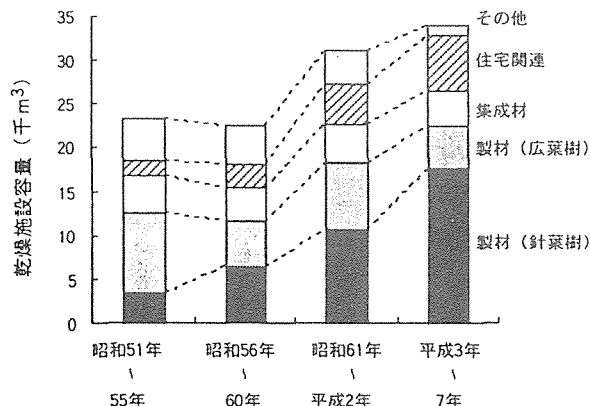
去するための乾燥法（人工乾燥）が活用される。人工乾燥装置には、蒸気式（中温型、高温型）、除湿式、真空式（熱板加熱型、誘電加熱型）、減圧式、太陽熱式、電熱式、燻煙式など様々ある。一方で、木材が乾燥する場面では、単一の原理・装置の利用だけではなく、蒸気式と天然乾燥、減圧と誘電加熱、蒸気式と誘電加熱、蒸煮処理と減圧、太陽熱と除湿、天然乾燥と誘電加熱・減圧、など木材へのエネルギー付与方法の様々な改良が適宜行われてきた。したがって、乾燥材の種類や使用目的によって適用できる乾燥法が限定される場合もあるものの、一般製材に関しては乾燥方法の選択肢は多く、多様化が進んでいる。

3. 乾燥施設の導入状況

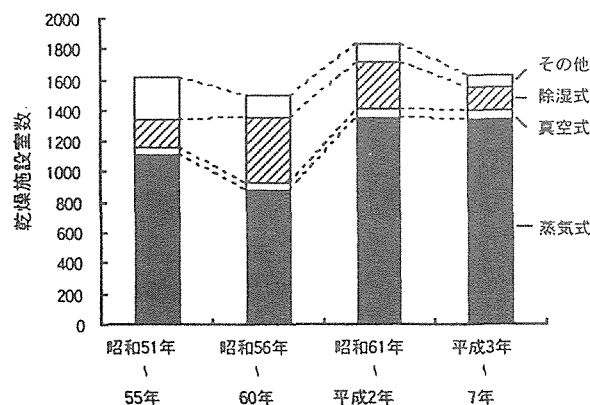
第1図に昭和51年から5年ごとに集計した乾燥施設の導入状況（導入量を乾燥室・装置の容量で表したものを）を業種別に示している。この約20年間における集成材工場や広葉樹材製材工場への導入は横ばい傾向であるが、住宅関連（プレカット工場他）や針葉樹製材工場への導入量は増加の一途を辿っている。平成3年から7年においては、針葉樹製材と住宅関連への導入量は全体の70%に及んでいる。針葉樹製材に限れば、昭和50年代当初において全体のわずか14.5%であったものが、平成3年以降では52%を占めるに至っている。この傾向は、住宅建築における針葉樹製材の乾燥材需要の動向を的確に表している。

第2図には、乾燥法別の導入状況を室数で示している。第1図の導入容量が増加しているにもかかわらず、全体の導入室数は1600前後で推移しており、これは蒸気式、除湿式で容量の大きな乾燥施設の針葉樹製材工場への導入が増加してきていることを示している。蒸気式乾燥機の導入数は高い比率で推移しているが、その内容は時期によって異なっている。特に最近では針葉樹製材工場への導入とともに、広葉樹材に比べて乾燥温度が高い乾燥室（高温乾燥機）が増えている。昭和60年代後半において、一時期除湿式乾燥機の導入が増えたが、平成3年～7年における導入数（比率）

は低下している。これは、スギ心持ち柱材など構造用材の乾燥指向は拡大しているものの、この方法では乾燥時間が長くなるために、大型化した蒸気式乾燥室など、他の乾燥方法への移行が進んだためと考えられる。他方、減圧（真空）式の乾燥機の導入は、絶対数は少ないものの確実に増加している。



第1図 乾燥施設導入（容量）の業種別の動向



第2図 乾燥施設導入（室数）の乾燥法別動向

4. 乾燥材の生産量

第1図の乾燥施設の導入状況の経年変移が示唆しているように、製材工場における乾燥材生産量は確実に増加している（第1表）。しかし、平成7年度における、全製材生産に占める人工乾燥材生産量の割合は、わずか7.5%にすぎない。第2表には、乾燥機を設置している製材工場数とその割合を示したが、平成7年までに乾燥機を設置した工場数は全体の10%である。一方、平成9年度に日本木材総合情報センターと全国木材組合連合会が行った調査では、スギ製材の生産を主とした製材工場全国181社のうち、36%が乾燥機を所有

し、今後導入計画があるとする製材工場の割合は34%であった。この結果から、今後とも製材工場への乾燥機導入が進み、乾燥材生産量は増加するものと予想されるが、そのためには乾燥施設の更なる低コスト化が重要なポイントとなっている。

第1表 乾燥材生産量の動向

	昭和59年	平成元年	平成7年
全製材品（千m³）	29,423	31,168	24,766
人工乾燥製材品（千m³）	454	1,180	1,869
乾燥材の占める割合（%）	1.5	3.8	7.5

第2表 乾燥材生産量の動向

規模（出力数）	製材工場数	乾燥機設置工場数
7.5kW以上～75kW未満	10,542	467（4%）
75kW以上～300kW未満	3,390	789（20%）
300kW以上	540	190（35%）
計	15,012	1,446（10%）

注：1.（ ）は全数に対する割合

2. 製材工場数は平成6年12月31日現在、乾燥機設置工場数は平成7年10月1日現在である。

今後の展望・動向

乾燥材の需要はますます増加するため、乾燥材供給体制の整備とともに、乾燥材の生産量は確実に増加していくものと考えられる。他方乾燥方法に関しては、低コスト型の人工乾燥施設の研究開発が進められると同時に、木材利用・需要の多様化に即した乾燥材生産システムの構築と乾燥材製品の類別化が進み、良質な乾燥材の需要が拡大するものと考えられる。

参考文献

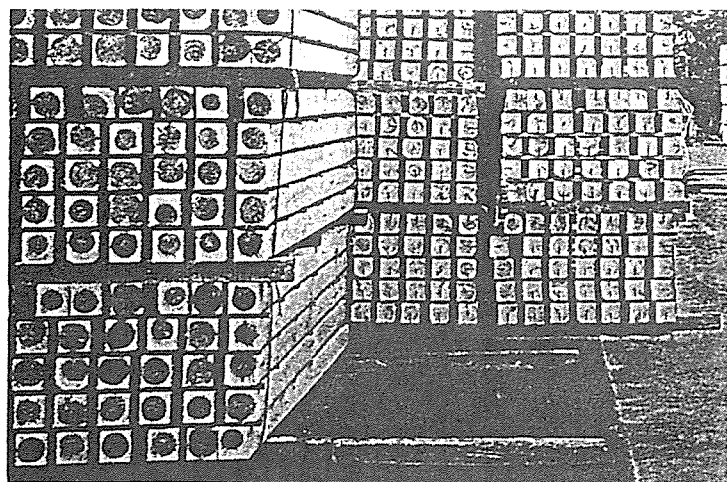
- 1) (社)日本木材総合情報センター・(社)全国木材組合連合会：スギ乾燥材供給の現状と将来の供給動向に関する調査報告書（1998）
- 2) 林野庁：木材需給と木材工業の現況（平成9年版）（1998）
- 3) 日本木材乾燥施設協会：KD REPORT、Vol 21（1997）
- 4) 日本木材乾燥施設協会：KD REPORT、Vol 22（1998）

（執筆者名：黒田尚宏）

第2章 乾燥材ニーズの増大

1 高まる乾燥の必要性

～低コスト化と高品質化に向けて～



乾燥材生産の現場

高まる乾燥の必要性
低コスト化と高品質化に向けて

早急に生産体制確立を

カットレ・住宅部材工場生産化進む

久田卓興 農林水産省森林総合研究所木材利用部加工技術科長

乾燥材ニーズの高まり

近年、住宅のニーズは耐震性、耐火性、耐久性の向上に加えて健康安全性、居住快適性に向けられている。このため建築工法や使用住宅部材の面で著しい変化が見られる。住宅生産の合理化、工期の短縮とも相まってプレカットや住宅部品の工場生産化が進んでいる。このような場合に未乾燥材を用いると、部材の寸法変化によって組み立てが能率的に行えないだけでなく、建築後さまざまなトラ

ブルが発生することが次第に認識されるようになった。こうしたことから建築用木材の乾燥は不可欠な要素と考えられるようになり、大手住宅メーカーを中心として乾燥材の使用を標準とするところが増えてきている。

しかし、現在のところ乾燥材の生産はそれほど多くなく、我が国で生産されている製材品のうち乾燥材の比率はせいぜい一〇割前後と考えられる。中でも、国産材の大宗を占めるスギ材は乾燥に時間がかかり、乾燥コストも高くつくことから、乾燥材の生産量が少なく、住宅メーカーが乾燥材を求めようとしても入手が困難な状況にあり、また、品質面でも問題のある製品が多い。こうしたことから乾燥材を必要とするユーザーはこれに代えて集成材を使用する傾向が強まっている。このような状況が続けば国産材の需要は大幅に減退することが予想され、すでにこれが進んでいると思われる。早急に乾燥材の生産体制を確立することが必要である。

乾燥材生産の現状

我が国で住宅等に使用される製材品の量は、輸入製材品と国内で生産される製材品とを合わせて三、六五〇万立方メートルである。このうち、国産材による製材品は約一、一〇〇万立方メートル、輸入原木による製材品は約一、三二〇万立方メートル、残りの約一、二三〇万立方メートルが製品として海外から輸入されている。すなわちこれら三者がほぼ同じ量を占め、お互いに競合関係にある。しかし、最近はこの中に輸入ラミナを用いた集成管柱が相当数加わってきたため、国産材の利用はきわめて厳しい状況におかれている。

これらの製材品に対する乾燥については、輸入材は2×4用材がほぼ全量人工乾燥され、再割厚材や板材の多くも乾燥して輸入されるため、全体の約二分の一が人工乾燥材である。一方、国内で生産される製材品のうち乾燥材の比率は約八割（平成七年統計）である

が、現在は一〇から一二割くらいに達しているのではないかと推定される。

技術的には乾燥の難しいのは、含有水分の多い材、すなわち、スギ、ベイツガ、トドマツで、これに心持ち材、大断面材といった条件が加わるとさらに難しさが増す。また、カラマツもヤニ処理や

狂いの面で別の難しさがあるが、高温乾燥技術の発達により次第に改善される方向にある。

針葉樹製材の乾燥は、かつては天然乾燥によるのが普通であったが、これでは建築サイドの要望に応えることが困難であるため、最近では人工乾燥施設を導入する企業が増加している。現在、乾燥施設

乾燥施設室数

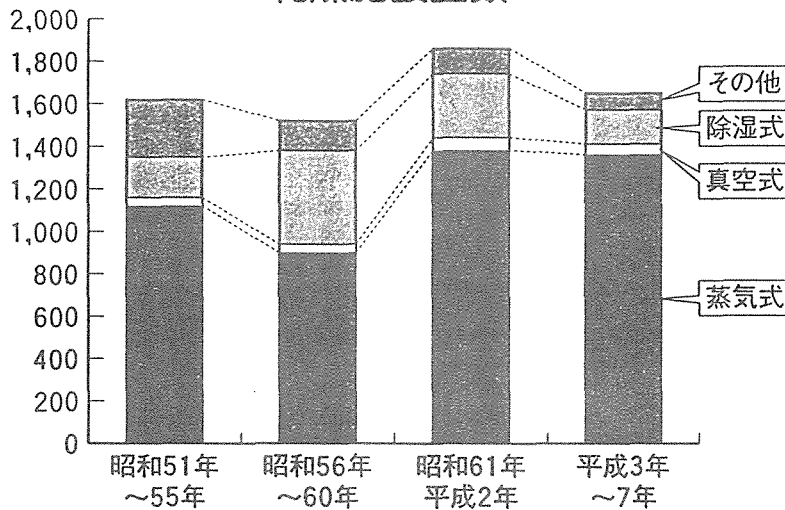


図1 乾燥施設の導入状況
(木材乾燥施設協会会員企業の納入実績)

の数は全国で約八、〇〇〇室、収容材積は約一二万立方メートルと推定され、このうち約四割が建築用針葉樹材の乾燥に使用されていると思われる。乾燥方式としては蒸気を熱源とする装置が最も多く、全体の約七五割がこの方式である。五〜六年前までは電気をエネルギー

源とした除湿式の装置もかなり普及したが、最近は導入例が少なくなっている。乾燥材の要求がスギ一般材や、断面の大きな梁、桁などにも及んできて、乾燥時間の短縮や大量処理が課題となり、乾燥温度の高温化、設備の大型化が進んでいる。また、乾燥コストの低減を目的として、燻煙式、燃焼ガス式、温水式、電熱ヒーター式などいろいろなタイプの装置の導入が始まっている。

スギ材乾燥の問題点

(乾燥材の品質と乾燥コスト)

スギ材の乾燥が難しいことは、最近では広く認識されるようになった。その難しさの最大の理由は、

スギが他の樹種に比べて含有水分量が多く乾燥に時間がかかることと、用途的にも心持ち材が多く、割れが発生しやすい特性があることから急速乾燥ができないことである。いずれにせよ乾燥に長い時間をかける必要があるため、乾燥コストが高く、これがスギ材利用

のネックになっている。

スギの乾燥コストは一二枚角の心持ち柱材で、含水率二五割以下まで乾燥するのに設備償却、人件費、エネルギー費などの直接経費が一立方尺あたり約一万一、〇〇〇〜一万三、〇〇〇円、含水率二〇割以下まで乾燥するのに約一万三、〇〇〇〜一万五、〇〇〇円が必要である。乾燥経費としてはこのほかに設備費や乾燥中の材の金利（乾燥期間の長い場合）、乾燥による収縮や狂いを見込んだ製材寸法の歩増し、乾燥後の寸法仕上げのための経費、土地や建物の経費などいろいろなものを加える必要があるが、これらをすべて合わせると木材の乾燥には意外に多くの経費が必要になることがわかる。しかし、こうして作られた乾燥材が、実際の市場で適正な価格で取引されているかという点、実態は相当かけ離れた状況にあり、未乾燥材とそれほど変わらない扱いを受けている場合も少なくない。

このため生産者は乾燥材の生産に消極的となり、ユーザにとつ

ては乾燥材の入手が困難な状況が続いている。その結果最近では乾燥材の必要なユーザが使用部材を製材品から集成材あるいは鉄骨などへと切り替える動きが進んでいる。

国産材の主たる用途は建築用構造材であるが、これが他の部材に代替しつつあることは日本の林業・木材産業にとってきわめて危機的状况にあると理解すべきで、早急に何らかの対策が必要と考えられる。こうした状況からスギの乾燥材生産の増大は緊急の課題と言えよう。

スギ材の乾燥コスト低減への取り組み

スギの乾燥における課題は、最終的には乾燥コストの低減に集約されるが、これを達成するためには従来の発想を超えた新しい技術の導入が不可欠である。

筆者の所属する森林総合研究所をはじめ全国の公立試験研究機関では、現在この問題にいろいろな角度から取り組んでおり、その中

には実用化の見通しが得られつつある技術もいくつか見られる。また、昨年からは林野庁の指導のもとに、木材乾燥低コスト化技術研究組合が結成され、ようやくスギ材の乾燥に真剣に取り組む兆しが見え始めてきたところである。ここでは、その取り組みについて概要を紹介する。

(一) 乾燥処理時間の短縮

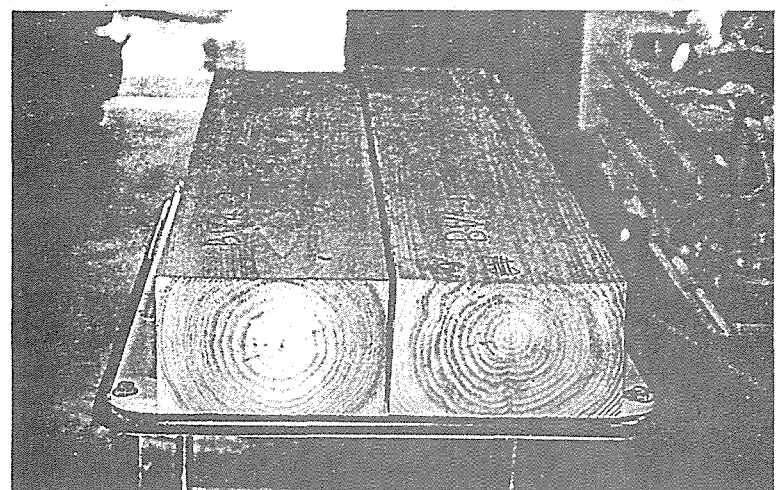
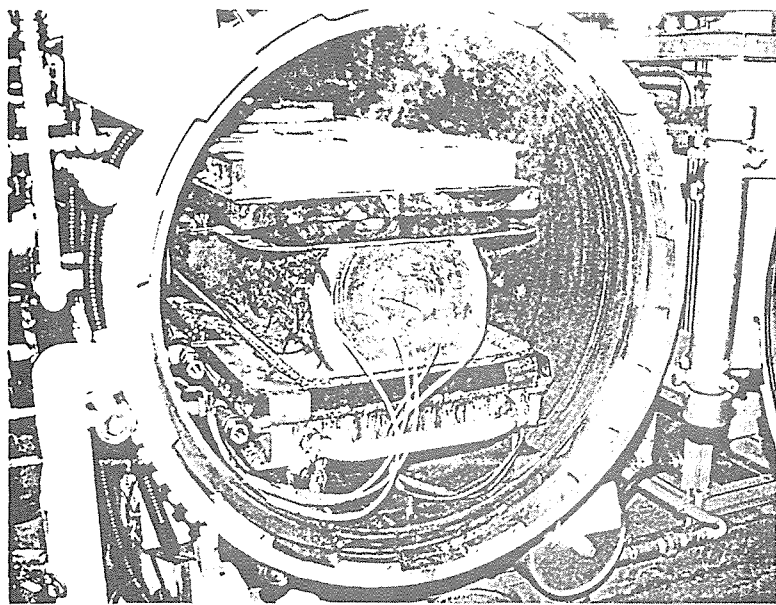
乾燥コストの低減と乾燥材の普及すなわち大量生産にとつては、乾燥処理時間を短くすることが大きな課題である。急速乾燥技術としては高温乾燥のほか、さらに温度及び圧力を高めた過熱蒸気乾燥、高周波やマイクロ波などの電磁波による加熱と減圧とを組み合わせた乾燥、爆砕や細菌利用による水分移動性の改善、強い力による横方向からの圧縮処理などいろいろな方法がある。

高温乾燥についてはすでにいくつかの企業が装置の導入を進めており、スギ乾燥の定番になろうとする勢いである。しかし、乾燥ス

ケジュールを含む高温乾燥の処理技術については、まだ固まった処理方法が得られているわけではなく、乾燥機械メーカーの指導によってさまざまな方法が取られている。このため、評価が一定していない。各研究機関も乾燥装置を所有しているところで個別に取り上げてはいるが、条件設定が多様で結論が出せない状況にある。

高温乾燥以外は現在のところいづれも研究段階にあるが、このうち最も実用化の可能性が高いのは、高周波加熱式減圧乾燥法である。天然乾燥と組み合わせることにより、一般の熱風乾燥よりも低コストで乾燥出来る可能性が示されている。

また、圧力容器を用いて一般の高温乾燥よりもさらに高い温度で処理する過熱蒸気乾燥法があるが、この方法は高い温度で熱処理と乾燥を同時に行わせようとする方法で、急速乾燥と心持ち材の割れ防止に効果がある。現在、適正処理条件の検討と装置の改良が進められている。



高周波加熱減圧による大断面材の乾燥。
上=タイコ挽き材、下=梁けた用材

度含水率を低下させ、

天然乾燥の有効な利
用法としては、これを
単独で用いるのではな
く、他の乾燥法とうま
く組み合わせる方法が
最も実用的と考えられ
る。天然乾燥の問題点
は、その間に材に割れ
が発生することで、こ
れを何らかの前処理に
よって防ぐことが可能
になれば、天然乾燥の
活用範囲は広がること
になる。大断面の乾燥
ではこの方法である程

おく必要があるろう。

最近、燻煙熱処理や燻煙乾燥な
どが各地で話題になってい
る。これらは比較的簡易な設備で廃材
の有効利用が可能な利点がある。
ただし、設備としては未熟な装置
が多く、品質管理や安全性の確保
に問題がある場合が少なくない。
装置としての改良の余地が多く残
されている。

このほか、最近の社会情勢の変
化からは、ゴミ処理施設からの排
熱や工場排熱の利用なども焦点に

前処理によって木材の乾燥性を
改善し、急速乾燥を図る方法が各
種検討されている。その一つは、
低圧の水蒸気を用いて木材細胞を
部分的に爆砕し、水分移動性を改
善しようとする方法である。また、
細菌を利用して細胞の壁孔を破壊
しようとする試みもある。

このほか、横方向から木材に強
い圧縮力を与え、強制的に水分を
絞り出すとともに、細胞壁孔の破

壊と乾燥割れの防止をねらう方法
も考えられている。

基本的には木材に熱あるいは機
械的な処理等を加えることによつ
て、水分の通導性を改善すること
と、以後の急速乾燥に耐えられる
ようにすること、熱や圧力の与え
方を工夫して急速に水分を除去す
ることで、これらを明らかにする
必要がある。

(二) エネルギー費の低減

エネルギー費の低減は、単に乾
燥コストの低減だけでなく環境問
題としても重要な意味がある。

天然乾燥や太陽熱などの自然エ
ネルギーを積極的に利用する方法
を追求する必要がある。原木段階
で水分を減少させる葉枯らし処理
なども積極的に取り入れていく必
要がある。

最終的に蒸気式乾燥などで低含水
率に仕上げる方法が取り入れやす
い。

木材工場では廃材の処理が大き
な問題であるが、この有効利用は
きわめて重要である。木屑燃料を
使ったボイラーや、この蒸気によ
る発電及び二次蒸気の利用などが
一部で行われているが、設備規模
が大きくないと採算に合にくい。
ため木材乾燥では利用しにくい。
小規模の設備でもこれが有効に利
用できる方法を開発する必要があ
る。

建築現場から見た乾燥の必要性

性能重視へ流れ変わる

工業部材へ移行するキーポイント

相原庸夫 (株)ボラス暮し科学研究所主席研究員

たのだろうが、それほど大きなクレームにはならなかった。大らかな時代だったといえればそれまでだが、その裏には昔より伝承されてきた大工さんの知恵、未乾燥材をうまく使いこなす工夫が潜んでいたのだと思う。

「だったら、別に乾燥材じゃなくてもいいじゃないか」ともいえるが、時代は変わった。住宅の品質確保、性能重視の流れにあって、従来通りの大工さん任せではなく、会社が主体性を持って管理する時代になってきた。さらには分業化、合理化の陰で大工さんの意識も棟梁から職人へ変わってきている。限られた浅薄な現場体験ではあるが、当時と今とを比較してなぜ乾燥材が必要なのか、技術的な観点から述べてみたい。

木材の狂いを吸収できない工法にシフト

木造住宅の性能重視、施工合理化、コストダウン等の流れは、一方で木材の狂いを吸収できない工法に切り替わってきた。

「乾燥、乾燥というが、昔は乾燥材がなくても立派に家は建っていたじゃないか」と思われる向きもあるかもしれない。私も昭和五十年の駆出しの頃から一〇年間、建築現場で

工事監督をしていたが、恥ずかしながら乾燥に対する意識はほとんどなかった。

冬場にずぶ生の残材を焚き火にくべて、燃えないと苦笑いして

も、その木材を住宅に使っていても、その木材を住宅に使っていても、問題だとは思わなかった。

ある時、大工さんの手助けをしようとして、ばらばらになっている木材を整理したことがある。一人の手では木材を運べないので、束になって運ぶ木材のバンドを外し、一本ずつ運び上げ、ようやくそろえ終えて一人充実感にひたっていたら、大工さんから「よけいな事をするな。バンドを外したら木材が反ってしまうじゃないか」と叱られてしまった。大工さんに喜んでもらおうとしたことが、かえって逆効果になり面食らったことが

当時の乾燥材など市場に出回っていなかった。唯一の乾燥材といえる集成材は高すぎて、和室にしか使えなかった。が、自分の記憶をたどってみると、未乾燥ゆえのクレームで苦しんだ覚えはない。かといって自分が周りの人より優秀だったというつもりもない。周りの人より何倍ものクレームで悩んでいたのだから。

その頃は工事監督とはいいいながら、実情は大工さんの御用聞き。大工さん次第で建築の良し悪しが決まった。乾燥収縮の問題はあっ

たのだろうが、それほど大きなクレームにはならなかった。大らかな時代だったといえればそれまでだが、その裏には昔より伝承されてきた大工さんの知恵、未乾燥材をうまく使いこなす工夫が潜んでいたのだと思う。

「だったら、別に乾燥材じゃなくてもいいじゃないか」ともいえるが、時代は変わった。住宅の品質確保、性能重視の流れにあって、従来通りの大工さん任せではなく、会社が主体性を持って管理する時代になってきた。さらには分業化、合理化の陰で大工さんの意識も棟梁から職人へ変わってきている。限られた浅薄な現場体験ではあるが、当時と今とを比較してなぜ乾燥材が必要なのか、技術的な観点から述べてみたい。

木造住宅の性能重視、施工合理化、コストダウン等の流れは、一方で木材の狂いを吸収できない工法に切り替わってきた。

たのだろうが、それほど大きなクレームにはならなかった。大らかな時代だったといえればそれまでだが、その裏には昔より伝承されてきた大工さんの知恵、未乾燥材をうまく使いこなす工夫が潜んでいたのだと思う。

たのだろうが、それほど大きなクレームにはならなかった。大らかな時代だったといえればそれまでだが、その裏には昔より伝承されてきた大工さんの知恵、未乾燥材をうまく使いこなす工夫が潜んでいたのだと思う。

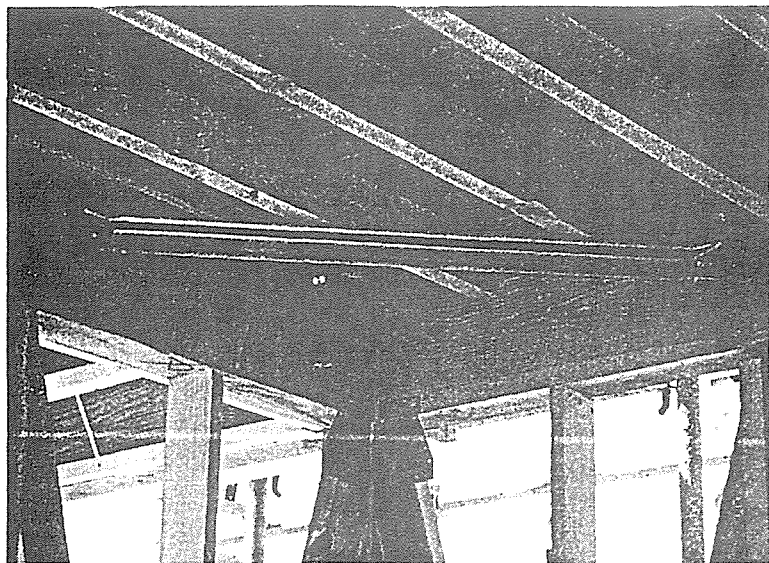
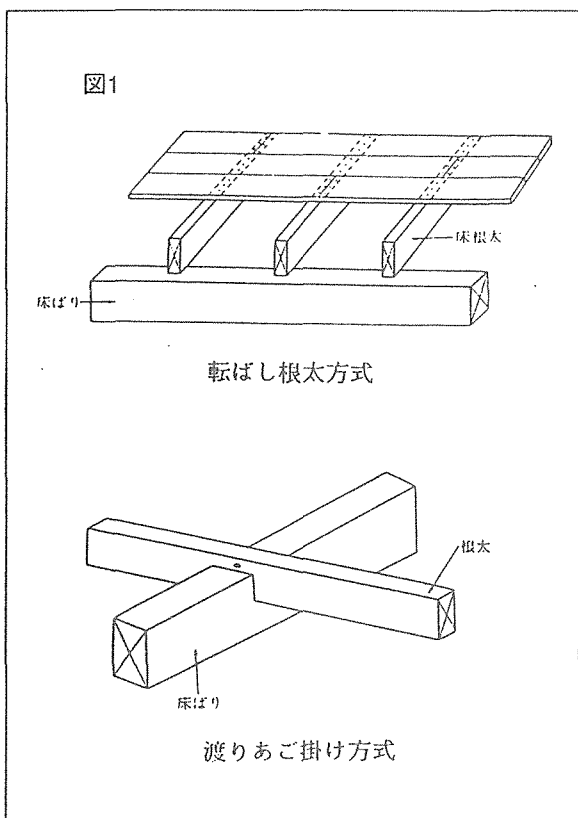


写真1 〈剛床〉 1階から2階の天井裏を見上げた所。
この剛床の場合、通常は火打梁を省略できる

たとえば昭和六十二年に都市地域での木造三階建が解禁になったが、耐震性を高めるための剛床(ごうしょう)という新たな考え方が提唱された。剛床とは写真1に見られるように床梁の間に根太を落とし込み、梁の上に直接床下地合板を張る工法である。それまでは梁の上に根太を置く「転ばし根太方式」や、梁の側面を少し彫り込み根太を架け渡す「渡りあご掛け

方式」が主流であった(図1)。この方式は梁が反ってしまったも、パッキンや根太掛けを使っても、床の高さを調整できる利点がある。しかし、耐震性は低いと指摘されてしまった。それなら、この剛床を二階建にも採用しようという動きが出てきた。ところが実際にやってみると、梁の狂いにそって床ができてしまうため、高さの調整が効かない欠点が出てきた。

現場で計ってみると三ッ位の高低差は当たり前という現状にある。最近パネル工法の浸



透もあり、パネルや厚物合板を使って床を作るケースも出てきたが、同様に床の高さ調整に苦労している。また、今までは一五ッ位の厚さの胴縁を使って壁の凹凸の調整をしていた。ところが現在は壁胴縁を省略する所が多い。その大きな理由はコストダウンであるが、もう一つの隠れた理由は大工さんが胴縁を柱、間柱の凹凸にそって、そのまま施工してしまう例が多くなってきたということ。不具合を指摘すると材料のせいにして逃げる。大工さんも賃金あまり上が

機械プレカットは乾燥材使用が大前提

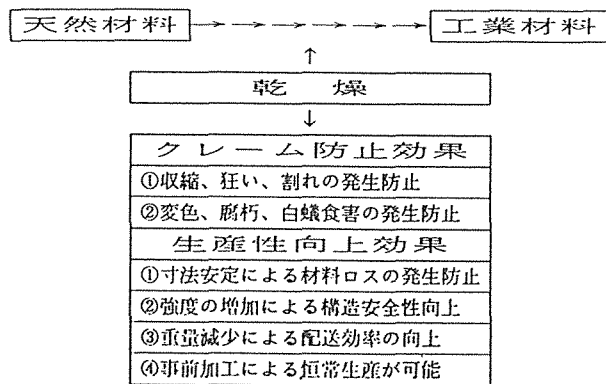
らない中、効率優先で余計なことに余り手間をかけない。若い監督だと胴縁の役割を知らず、細かいこともあまりいわない。それだったら胴縁をなくしてしまえということになる。ところが、未乾燥材では問題は解決せず、壁の凹凸は相変わらず、クロスの亀裂によるクレームも発生してしまう。このクレームは意外に多く、床鳴り、建具の不具合と共に三大クレームの一つとなっている。

今は全自動機械プレカットが花盛りであり、各社競って億単位の機械を投入している。ただし、コンピュータ制御など最新の設備が投入されても、現状のプレカットは機械が材を選べる状況までには至っていない。かえって加工精度のアップが未乾燥材による問題を顕在化させ、加工時間の短縮がそれに拍車をかけている状況にある。たとえば、機械プレカットでは

柱の長さは設計寸法通りにカットする。梁せいの乾燥収縮は考慮していない。未乾燥材の場合、呼称寸法二一〇ミリの梁でも乾燥が進めば三〜五ミリ前後収縮する。年輪の粗いものだと七〜八ミリも縮んでしまう。しかも材によって収縮度合いに違いがあるので、その結果床の高低差ができてしまう。大工さんはどうしていたかというと、墨付け段階で梁の寸法を板図に書き込んでおいて、柱の長さを一本ずつ調整して加工していた。機械プレカットにそのノウハウは望むべくもない。

また工期の面からみれば、機械プレカットがない時代は大工さんが下小屋で二、三週間かけて墨付け・加工を行っていた。材料搬入から考えても上棟までに一カ月はゆりがかかっていた。一カ月もあれば完全乾燥とまではいかないが、その間に木材の反り、狂いはある程度出てしまう。それに対し今の機械プレカットは必要な時に必要な量を仕入れるという在庫削減の方向にある。仕入れた材料を即加

図2 木材乾燥による効果



工、プレカットも半日あれば完了してしまふ。工期短縮で喜んでいても、上棟してからじつくりと乾燥していくことまでは考えが及ばない。

機械プレカットには大工さんの知恵が生かされていない。それを補うものが乾燥材ということになる。

乾燥は工業材料への最大のキーポイント

乾燥というと即クレーン防止と

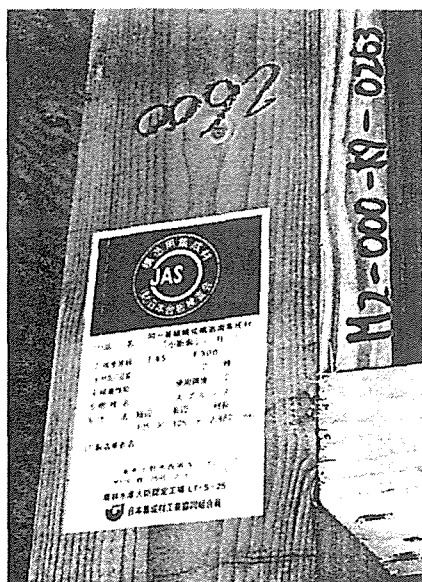


写真3 ホワイトウッド集成材

気に集成材、LVLに

乾燥材を乗り越え、一

つては、構造物は人工

いる。次世代工法に至

材、LVLに移行して

べて人工乾燥材、集成

法は土台を除いて、す

と、五年前はすべて未

乾燥材。現在の主力工

と、五年前はすべて未

乾燥材。現在の主力工

法は土台を除いて、す

べて人工乾燥材、集成

材、LVLに移行して

いる。次世代工法に至

つては、構造物は人工

乾燥材を乗り越え、一

気に集成材、LVLに

考え勝ちだが、実際には図2にあるようにそれにとどまらない効果がある。すなわち乾燥は今までの天然材料から工業材料に移行する最大のキーポイントである。木造

住宅にとつてみても大工技能低下や木材の材質低下を補い、かつ工業化にシフトする新たな展開を可能とするものである。

当社での使用木材の推移をみる

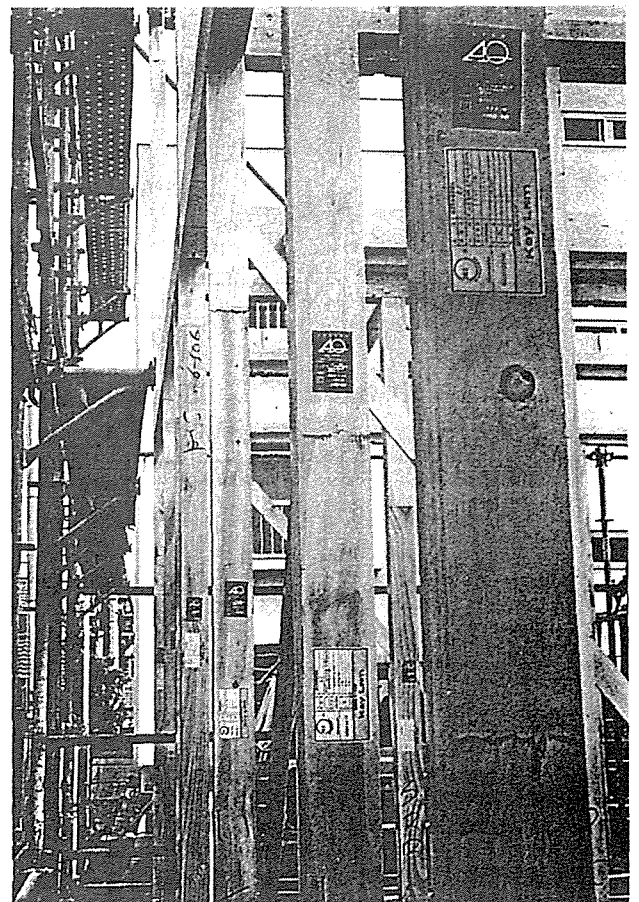


写真2 ラジャータバインLVL AQ認証材

表1 ポラスグループ中央住宅における使用木材の変遷

	部材	H5年10月(旧工法)	H10年10月(主力工法)	H10年10月(次世代工法)
構	土台	青森ヒバ	同左	青森ヒバ防腐・防蟻材
		ベイツガ防腐・防蟻材	同左	ラジアータパインLVL
造	通し柱	桧	ベイマツ集成材	ラジアータパインLVL
	管柱	杉	ホワイトウッド集成材	ラジアータパインLVL
材	床梁	ベイマツ	ホワイトウッド集成材	同左
			ベイマツLVL	同左
	小屋梁	ベイマツ	ベイマツKD材	ホワイトウッド集成材
	母屋	ベイツガ	ベイマツKD材	同左
は が ら	間柱	ベイツガ	ホワイトウッド集成材	同左
	筋違	ベイツガ	ベイツガKD材	同左
	根太	ベイツガ	ベイツガKD材	ラジアータパインLVL
	垂木	ベイツガ	ベイツガKD材	ベイツガ(ツーバイ材)

注) ①土台はお客様の選択による。青森ヒバ防腐・防蟻材とはプレカット加工後、薬剤を加圧注入処理したA Q認証の高耐久性機械プレカット部材である。

②次世代工法のラジアータパインLVLはA Q認証の構造用単板積層材である。

シフトしてしまっている(表1、写真2、3)。
日ごろは口うるさい大工さんに現場で聞くと「集成材は工事が楽

でいいね」という声が返ってくる。集成材やLVLは機械プレカット段階での生産性向上にも寄与している。プレカット工場では担当

員が張り付いて柱を選別している。素性の良い柱はコーナーに、素性の悪い

柱は大壁内に配置という具合だが、これは大工さんがしていた事を踏襲したやり方である。それが集成材やLVLに切り替えてから選別する必要がなくなった。反り、曲がりによるロスの発生も少ないし、省力化、生産性向上につながっている。集成材やLVLの一部について

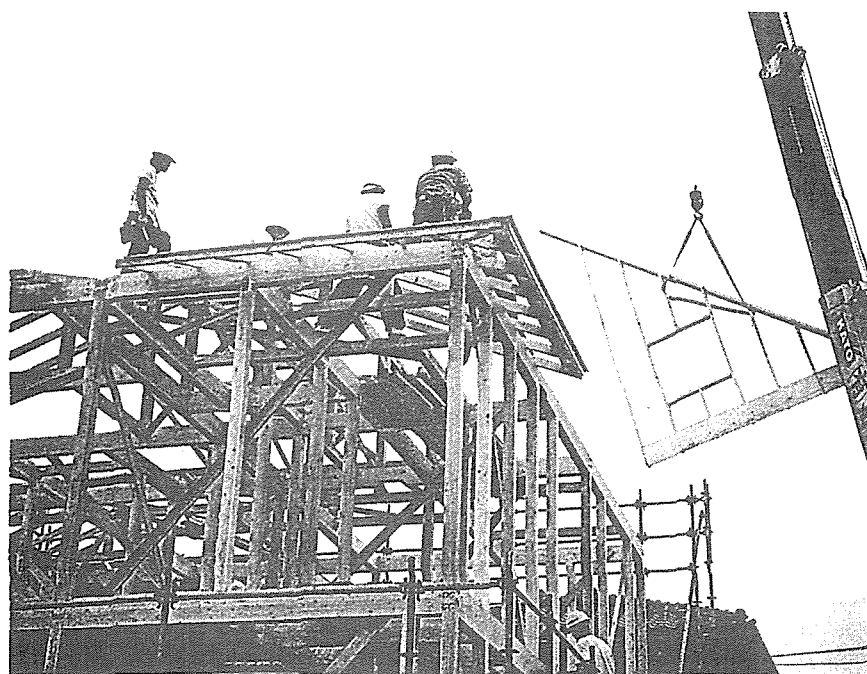


写真4 屋根垂木材のフレーム化

は、四桁、三桁などの定尺材から三・六桁、二・七桁などの実長長さにて仕入れている。これらの試みは実長仕入れ、ロスなし加工、常備在庫、受注即アッセンブル出荷という新たな展開に進む可能性がある。

国産材業界は乾燥の波に乗り遅れていないか

木材の乾燥化が進むにつれ、国産材の出番が減ってきたのは寂しい。どうもこの流れに国産材業界は乗り遅れているようだ。一方ではこのビジネスチャンスを生かしてヨーロッパのホワイトウッド集成材が、ベイマツ集成材を蹴散らして急速に浸透してきている。

杉のような高含水率材で柱、梁の乾燥はコスト的に難しいが、はがら材ならチャンスはある。フレーム化、パネル化にチャレンジされることを期待したい(写真4)。

素材で勝負という時代では既がない。ぜひとも乾燥に取り組まれ、目の前にある大きなビジネスチャンスをつかまえていただきたい。

国産製材品の品質保証へ向けて

新たな木材需要誘導へ

乾燥や強度についての品質表示を

簾藤 勉 NOVA建築企画設計代表 一級建築士（東京都）

―序に換えて―

国産材の需要拡大がいわれて久しい。林野庁、各都道府県の林務関係を中心に国産材、地域材の利用に向けての熱心な取り組みが行われ、産直住宅や地域材を使った住まいづくりが各地で繰り広げられ、これまでに多くの実績を挙げてきている。

しかし木材輸入の自由化の加速と廉価な外材（製材品や集成材）の流通によって国産材の利用は、減少化傾向が続いている。国産材の需要は、価格競争だけでなく、森林資源や環境の保護から実現されなければならない。つまり、資源保護のためには、木を計画的に伐採して、森林整備を継続的に行わ

なければならぬ。

ところで国産材の需要減少は、価格競争での劣勢だけでなく、その品質の低下に起因するといわれている。

製材品の狂いを吸収出来ない工法（構造躯体へ直接に構造用合板やPBを打ち付ける工法）への変化と工期の短縮によって、乾燥状態の悪い、品質にバラツキのある国産材は使用が回避される傾向にある。

（本来林業が基幹産業として成立し、森林整備がきちっと出来るように国の政策的支援が必要であるが、それを述べる事が本旨ではないので、これについては詳細は触れない。）

一方、国産製材品の品質を向上させ、

品質保証を製造側がしていかなければ、使用者側の信頼を勝ち取ることは出来ない。

特に建築基準法の改正によって、建築基準の性能規定化の方向が目指されている現在、品質保証された製材品を、大量に、安定的に供給出来るようにしていかなければ、ますます国産材需要はじり貧化して、その拡大は望むべくもない。

―品質表示の実現へ向けて―

そのためには、乾燥や強度についての品質表示を明確にしていかなければならない。

これについては、本誌の今年四月号で西谷嘉壽夫氏が必要な表示内容を検討して、表示の実施に向けてその必要性についてふれておられるので、参照していただきたい。

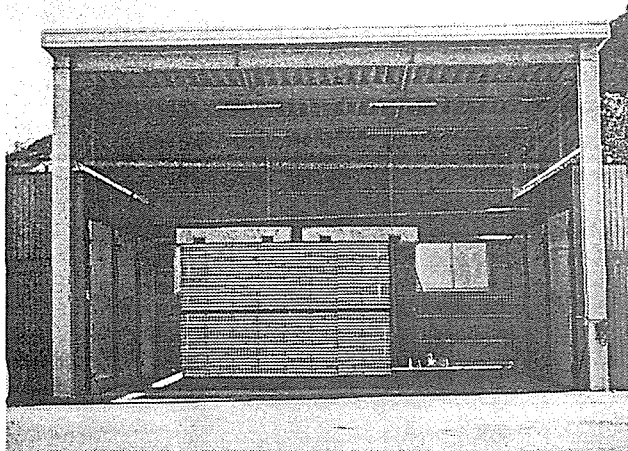
このたび、発表された平成十年林業白書でも、国産材の需要の低迷と、製材施設の経営不振に対する方策として、（新たな木材需要を誘導するため）

3 国産製材品の品質保証へ向けて （乾燥や強度についての品質表示を）

乾燥施設の整備によって乾燥材供給体制の確立が、集成材や単板積層材などの高次加工製品の供給とともに緊急課題として挙げられている。

これは、価格面でコストの上昇が考えられるが、木材需要拡大のためには、乾燥コストの低減によって、価格競争にも勝ち残るような方策が考えられなければならない。

現在、国産材において乾燥材の比率は、全流通量の約一〇〜一二割といわれているが、これでは問題外で造作材はもとより構造材（大壁造で使われる構造材）も、人工乾燥処理材の比率を



ある建材メーカーの乾燥施設
(注=写真は二葉とも本文とは直接関係ありません)

高めていかなければならない。

—杉の乾燥の難しさ—

国産材の代表は杉であるが、その杉の乾燥の難しさは、同じ針葉樹の檜に比較しても乾燥に時間が余計にかかること、特に心材部、辺材部の乾燥の進行が全く違うことが指摘出来る。また構造材でも、心持ちと心去りでは乾燥の進行が違うことが分かっている。

乾燥をどの程度までするのか、また材種に合った乾燥方法の選択も重要で、乾燥機械の中での置く位置によっても乾燥の程度が変わってくる。さらにややこしいのは、過度の乾燥や急激な乾燥の弊害にも注意を払わなければならないことである。

—ある事例から—

木材の乾燥について、その難しさを実感した最近の体験として、一つの事例をお伝えしたい。杉の板材厚さ十八ミリ（幅百五十ミリ、長さ三〜四尺）を外装に使用した際、含水率の測定を行った。

その結果、二週間で平均二十割、三週間で平均十五割という数値を得た。（この測定値は、使用量一〇割をサンプルとして抜き取り、同一サンプルに

ついて三箇所測定して、その平均値をそのサンプルの含水率として、その数値を合計して測定サンプル数で割った平均値である。）

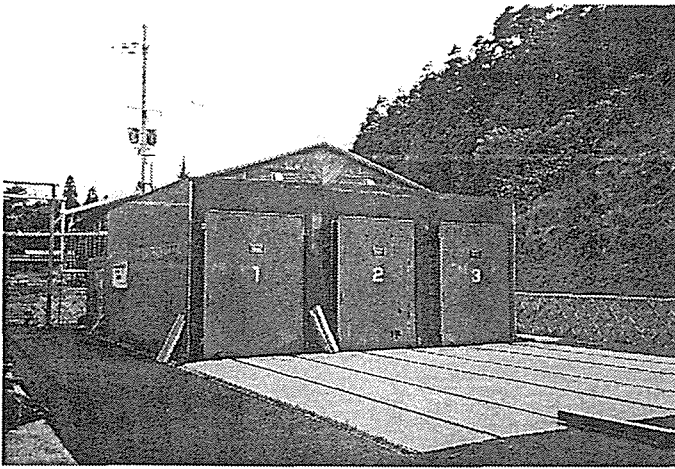
測定する板材について、一本の木材の中で、測定箇所によって含水率にかなり差が出ることが分かった。中には測定ポイントによって、二週間で六十割を超える数値や、三週間でも三十割近い数値を示す箇所もあった。

その乾燥の不均一性をできるだけ小さくするには、やはり時間を可能な限りかけて、工期の設定によって木材の発注時期の調整で十分に乾燥した木材を計画的に使用することを心掛けた。本来、杉材の人工乾燥では、一月は乾燥期間として必要と思われる。

民間では、以上のことは可能であるが、公共施設の工事では単年度内に設計、工事の入札、決定と工事の実施完了を義務付けていて、発注の時期に制約が多く、大規模木造建築で量を使用する場合、乾燥度合いの悪い木材を使うのを得ないこともあり得る。木材の発注については特別な取り扱いが考えられてもよいと思うが、どうだろうか。

―流通における情報公開について―

本誌の平成九年十一月号で小生がフ
ォーラム欄でふれたように、住宅一棟
(木造二階建、延床面積一〇・九二
平方メートル)において、構造材の材積と仕
上材(外装や内装に使った板材)の材
積がほぼ同じというデータがある。
従って、仕上にもっと木材を使用す
ることが出来れば、木材の需要が拡大
すると思われる。そのためには、内装
制限の緩和や、外壁の防火性能の規定
の見直しが課題となろう。



プレカット工場の乾燥施設

―国産製材品については、客観的評価

に基づく品質表示が必要な事は自明で
あるが、日本農林規格の活用を図り、
それに基づく表示の徹底が良いのか、
客観的な基準が新たに必要なのかも、
議論の俎上に乗せていく必要がある
う。そして、必要な木材がどこで入手
可能なのか、流通の合理化と流通や製
材情報の公開の徹底を図る事が望まれ
る。

―明日への序章―

新聞によると大手生保会社が小学生
以下の子どもを対象に行った「大人に
なったらなりたい職業」調査で、男子
のトップに大工さんがなつたと報じて
いる(平成十一年五月一日付の大手新
聞各紙)。しかも前年一位のスポーツ
選手を抜いて、前年の十位から一位に
上昇したという。

その要因はいろいろあるがその結
果には、子どもたちの持つ身近な家を
造ることへの関心の高さを示している
といえないだろうか。

こうした子どもたちが大人になるま
でに、住宅生産に夢をかけられるよう
にしたいものである。

―木材の仕様について―

(参考資料)

設計の際に特記仕様書で木工事およ
び使用する木材について記載する指示
は以下のように考えたい。

・ 構造用製材及び構造材に用いる集成
材の品質は、日本農林規格(JAS)
に制定のある場合は、この規格に適
合したものをを用いる事。

・ 木材は、充分乾燥したものを使用し、
監督職員の承諾を得る事。

・ 使用する木材の含水率は、A種乾燥
材程度とする。

・ その他必要に応じて、部位ごとに樹
種の指定と等級指定を行う。

以上を参考にして仕様を指示した
い。なお、含水率の指定は、数値指定
は難しく、その測定と結果の報告を義
務付けて、それによって監督職員の承
諾を得る事と指示するのがよいと思わ
れる。

この木工事および木材の仕様につい
ては、現在の客観的基準である日本農
林規格(JAS)や建設大臣官房官庁
営繕部監修建築工事共通仕様書(最新
版)によるものとする。

第3章 建築用材の乾燥に関する調査

1 スギ乾燥材需要・供給の現状と将来

東京大学 信田 聡

1. はじめに

この資料は、スギ乾燥材について、大工・工務店・住宅メーカーなど建築サイドのスギ乾燥材に対する需要動向と製材工場等における乾燥施設及びスギ乾燥材生産・供給の現状、今後の計画など、需給両面の動向をアンケート調査した結果をとりまとめたものである。

2. 調査方法

アンケート調査は平成9年度に実施したものである。乾燥材需要者（大工・工務店・住宅メーカー）と乾燥材生産者向けに2種類のアンケートを実施した。調査内容は、(a)乾燥材需要者向けとしては、①スギ乾燥材に対する評価、②スギ乾燥材の入手方法と問題点、③スギ乾燥材の価格、④供給側に望むことを、また(b)乾燥材生産（供給）者向けとしては、①人工乾燥施設の現況と今後（5年後）の導入計画、②スギ乾燥材の生産量及び生産比率の現況と今後（5年後）の生産計画、③スギ乾燥コストとスギ乾燥材の販売価格、④スギ乾燥材の流通実態などである。

アンケートはスギ乾燥材生産（供給）者 300社、乾燥材需要者 200社に対して各県木連のご協力を得て実施した。北海道を除く全国よりの回答数は乾燥材生産者 181社（内訳：東北34、関東22、北陸・東海45、近畿13、中国14、四国17、九州34）、乾燥材需要者 103社（内訳：東北15、関東11、北陸・東海28、近畿11、中国8、四国15、九州14）であった。

3. スギ乾燥材に対する大工・工務店等の意識

(1) 需要サイドは高品質・低コストなスギ乾燥材の供給を望んでいる

調査対象の大工・工務店・住宅メーカーは年間着工数が平均で30棟以下の工務店が多く、これら乾燥材需要者のうちスギ乾燥材を使用していたの

は全回答数の3/4であった。また需要者のスギ乾燥材に対する感想は、『今後も乾燥材を使用したい』という積極的な姿勢が認められる。同時に『もっと高品質・低コストな乾燥材』を供給してほしいという要望が伺われる（図1）。

高品質の乾燥材の条件は一定の乾燥度（含水率20%以下）に到達していることが基本である。一方、含水率20%～40%までを乾燥材と認識している傾向も伺われた（図2）。ただし含水率20%～40%を乾燥材として必ずしも“良し”としているのではなく、需要者からすれば『不十分な乾燥材が供給され不安だ』あるいは、『品質の安全性を考えると集成材を使用したい』という意見が出されているのが現状である。

(2) 需要者はスギ乾燥材の安定供給を望んでいる

需要者としては、安定供給を特に望んでいる。スギ乾燥材不足に対する対策として需要者自ら、自社の土場において天然乾燥を実施して乾燥材を得ている現状もある。

(3) 乾燥賃をあまり認めない傾向がある

大工・工務店等は乾燥材に対する乾燥賃を認めないか、5,000円/㎡程度までとする意見が多かった。乾燥材経費を生産者側に負担を求める状態が依然続いていることが調査で確認された（図3）。

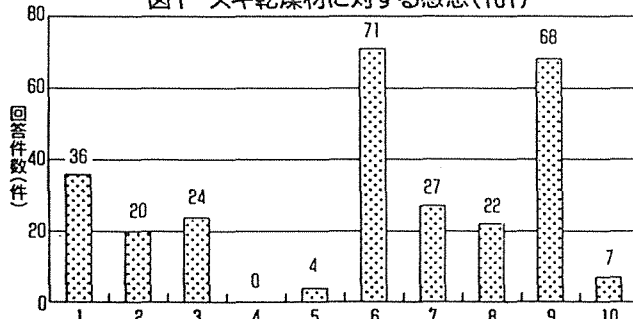
(4) 品質が安定したスギ乾燥材を供給すれば乾燥賃上昇問題は解決する

乾燥材使用による建築中の大工手間の削減割合は総大工手間の5%未満また建築後のクレーム処理の減少により削減される経費割合が総建築費の1%未満であるという乾燥材使用による具体的な経済的メリットに対する回答が得られた（図4、図5）。“乾燥材使用＝住宅性能向上”という図式が経済効果を生み出している。性能向上した材料に対して、そのコスト上昇分を評価しないのは

おかしな話である。もちろんスギ乾燥材と一口に言っても完全な乾燥材を供給していると言えない現状があるため需要者側の乾燥材に対する評価も定めにくい現状がある。ここが問題であり、品質の安定したスギ乾燥材を供給できれば、需要者も自然と乾燥材の性能に対する応分のコストを認め、乾燥コスト、乾燥賃の上乗せ問題の解決につながる。

(5) 需要者におけるスギ乾燥材への期待は大きい
 需要者は“安定供給されれば”という条件付きではあるが、スギ乾燥材を積極的に利用したいという回答も多く寄せている。スギ乾燥材に対する潜在需要は大きいものと思われる。

図1 スギ乾燥材に対する感想(101)



1.住宅のクレームが少なくなった、2.乾燥材価格が高くなるので使いにくい、3.不十分な乾燥材が供給され不安だ、4.乾燥材を使う必要性がわからない、5.乾燥材は品質低下が目立つので不評だ、6.これからも乾燥材を使用したい、7.工期短縮のため乾燥材は不可欠だ、8.品質の安全性を考えると集成材を使いたい、9.もっと高品質・低コストな乾燥材を供給してほしい、10.その他。

図2 スギ柱材の乾燥程度について(97)

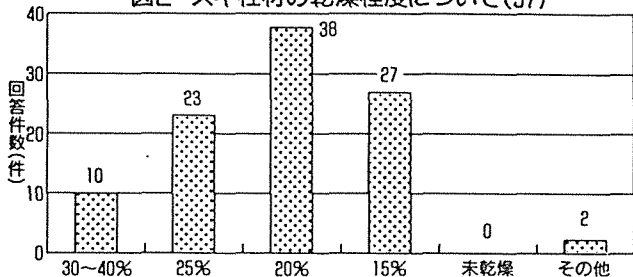


図3 スギ乾燥材1mにどのくらいの乾燥代金を認めますか(94)

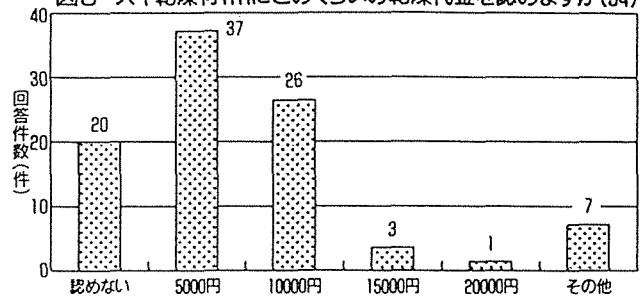


図4 乾燥材使用による大工手間の削減率(90)

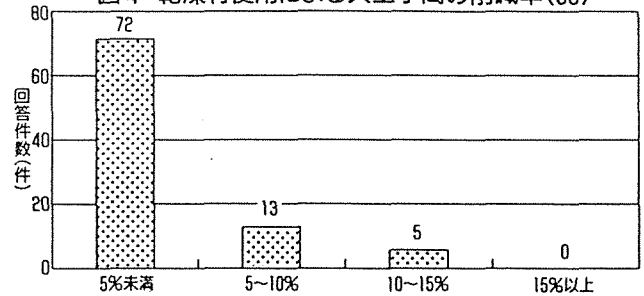
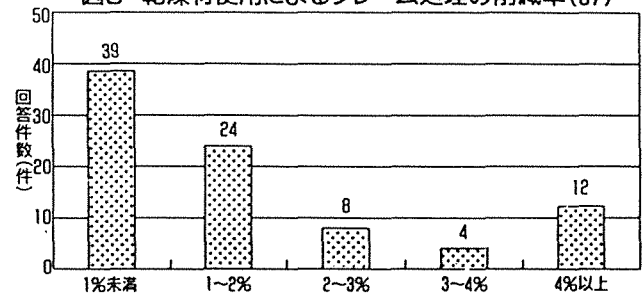


図5 乾燥材使用によるクレーム処理の削減率(87)



4. スギ乾燥材生産者の現状

(1) 人工乾燥施設の現状と今後(5年間)の導入見通し

乾燥材生産者側が、現在所有する乾燥装置の種類は、蒸気式が52%、除湿式が43%、高周波が1%、その他が4%となっている(図1)。

スギ製材の乾燥装置導入に関する考え方としては、安価で性能が良い人工乾燥装置開発を望んでいること、低コスト化のための天然乾燥の活用も重視していることなどが明らかになった(図2)。

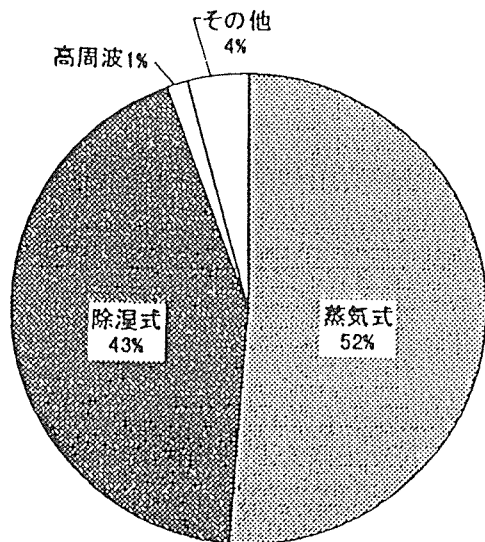


図1 現在所有する乾燥装置
(所有していると回答があった社の比率)

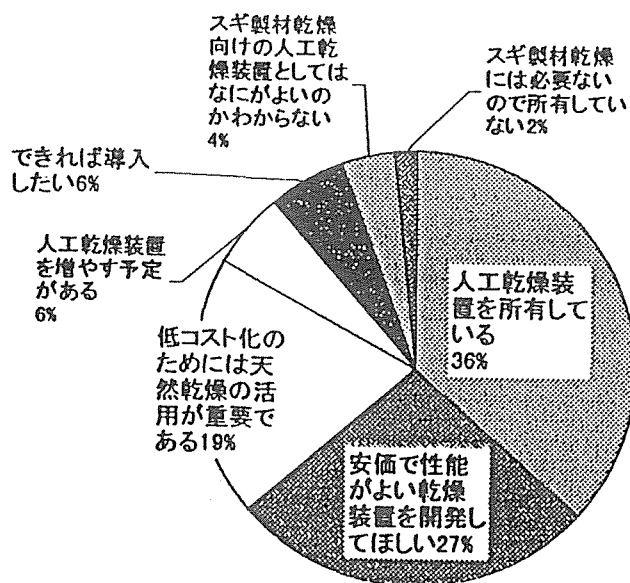


図2 乾燥装置導入についてどのように考えているか

(2) スギ乾燥材の生産・供給の現状と問題点、今後（5年間）の見通し

本調査対象企業では昭和54年以降にスギ乾燥

材生産を開始した企業がほとんどである（図3）。特に平成元年～現在（平成10年）までにスギ乾燥材生産に参入した企業が全体の70%以上を占めている。今後5年間に乾燥装置の導入計画があると回答した企業では、月間処理量で100m³を増産したいという回答が最も多かった。

5. スギ乾燥材の生産・供給促進のための対応策

スギ乾燥材の潜在需要が大きいことは実に明らかな材料である。需要サイドでは“安定供給”、“低コスト化”、さらに“高品質”という条件をスギ乾燥材に求めている。これらを満たす乾燥材生産技術、スギ乾燥材の生産・供給促進のための対応策はいくつか挙げられよう。

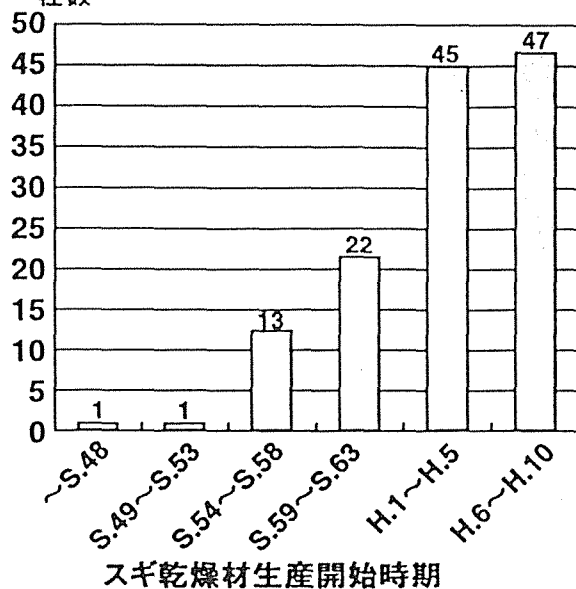
(1) 天然乾燥の活用・低コストエネルギーの使用

乾燥材需要者と生産者の間には乾燥質の上乗せ問題があり、生産者側は低コスト化を迫られている。スギの低コスト乾燥のためには天然乾燥を前処理として付加する、天然乾燥に本気で取り組むことは重要に思われる。また低コストエネルギーを使用する乾燥システムが望まれている。

(2) 適正な乾燥質を認めてもらう努力

適正な乾燥質を認めてもらう努力の中身だが、基本的に品質の良い乾燥材が生産され供給されることを前提におかなければこの議論は成り立たない。つまり、不十分な乾燥程度の材を乾燥材として供給しておいて、代金を払えというのは、生産者側にも弱みがある。しっかりした乾燥技術により品質の高い（性能が確保された）乾燥材を供給すれば、需要者側としても、性能に見合う代金は正当に支払うようになるであろう。良質な乾燥材を生産できるかどうか問題解決の鍵を握っている。

図3 いつごろからスギ乾燥材を生産しているか
社数



(3) 一貫した住宅生産システムの導入

乾燥材生産側、工務店等需要側と分けるところに経済的な軋轢が生じている。すべての企業が採用できるとは思わないが、木造住宅を地域に根ざしたクローズドな産業として捕らえ、各地域で木材生産、乾燥、加工、住宅生産の一環したシステムによる住宅供給が行えると、生産各段階で生じるリスクをシステム全体で吸収できる余裕が生まれる。

(4) その他

行政の乾燥材供給のための助成制度の充実、乾燥アドバイザー制度の創設、各種公的建築物（住宅金融公庫融資住宅含む）乾燥材使用の指定などが望まれており、乾燥材の需要開拓の伏線として重要である。

ここで、説明できなかった部分については以下の文献を参照されたい。

文献

（財）日本木材総合情報センター、（社）全国木材組合連合会：“スギ乾燥材供給の現状と将来の供給動向に関する調査報告書（平成10年3月）”
1-55（1998）。

2 建築用木材の乾燥に関する調査

久田卓興ら

1 調査の目的

木造住宅部材の乾燥に対する要求が高まっているが、人工乾燥材の生産量は必ずしも多くなく、需要を満たすには至っていない状況にある。この原因の一つに、乾燥コストがあり、その低減が乾燥材の供給を増やすための大きな課題となっている。したがって、この「建築用材の乾燥に関する調査」では、乾燥コスト、特に主体を占めるエネルギーコストの実態を調査・分析することによって、生産者に対し乾燥設備導入や乾燥材生産のための指針を提供するとともに、低コスト乾燥技術の開発のための資料とすることを目的としている。

なお、この事業目的を達成するために、調査区域としては、乾燥材の普及や技術開発への取り組みが積極的に行われている地域のなかから、岩手県、長野県、富山県、愛媛県、および熊本県の5県を抽出することによって全国に広がる調査を実施した。また、乾燥スケジュールおよび燃料消費をはじめ乾燥工程における諸経費を詳しく分析するために、調査対象をできるだけスギ柱材を生産している工場とし、乾燥方法も蒸気式で比較的高温のものを選択することにした。さらに調査期間を限定することによって、よりの確な実態調査を行うこととなった。

2 実地調査の方法と内容

調査時期・材種・調査場所・調査員による調査内容の相違をできるだけ少なくするために、統一したフォーマットに沿って調査を実施した。調査の内容は、以下の通りである。

(1) 工場の概況

乾燥材製品について、製品名、生産量、およびその主な出荷先を調査した。

(2) 乾燥機

乾燥機について、機種、乾燥機の寸法、制御方法、収容材積、送風機容量などを、ボイラー燃料の種類・使用量・単価と換算蒸発量（最大蒸発量）とともに調査した。

(3) 乾燥方法と経過

乾燥スケジュールの設定方法、伐採時期等の製材の履歴、棧積の方法、乾燥温度やその制御方法、乾燥時間などを調査した。また、乾燥の経過に沿って乾球温度と湿球温度を記録し、乾燥施設の消費電力量およびボイラーの燃料消費量を調べた。

(4) 含水率

棧積みから柱材30～35本を試験木として選択し、乾燥前後の重さを測定した。また乾燥前後に、含水率計（高周波木材水分計）を使用して材長中央部の4材面の含水率を測定した。

(5) 割れ・曲がり

乾燥前後に、試験木10本の曲がりを測定し、また試験材4材面毎に割れ幅と割れの長さ（複数ある場合はその合計長さ）を測定した。

(6) 乾燥後の材内水分分布

割れ・曲がりを調査した乾燥材について、断面内の含水率分布と平均含水率を全乾法によって求めた。

(7) 人件費

棧積み、棧ばらし、フォークリフト作業、ボイラーマン、および乾燥機運転操作の別に、所要人件費の調査を行った。

3 調査の概要

平成9年度から10年度にかけて行った調査は、総数14工場27件であった。14工場の乾燥材生産量は年間150～6000立米で、収容材積が30立米前後の乾燥機を1機もしくは2機を導入している工場がほとんどである。

調査総数27件の対象材種は、スギ柱材が23件と太宗を占め、ヒノキ柱材1件、カラマツ柱材1件、スギ平角材が1件であった。乾燥法別では、ほぼ全数(26件)が蒸気式乾燥機を用いたものである。また、その26件の全てが80℃以上の乾燥温度を使用しており、18件が100℃以上の乾燥温度を使った高温乾燥であった。乾燥機の種類は3社8機種、ボイラーは4社11種が使われている。燃料については、4工場が重油を、10工場が灯油を使用している。

なお、県別の詳しい調査結果が第2章から第6章にまとめられ、第7章には全体的な結果を集約している。また、第8章においては、乾燥コストの分析結果を示している。

調査結果のまとめ

1 はじめに

今回の調査結果では、全体で27件の調査ケースのうち、スギ柱材以外を対象としたものは4件のみであった。したがって、乾燥方法やエネルギー消費の実態や傾向を把握する上で、スギ柱材に関する結果のみをこの章では取り上げている。なお、ケース間の比較を行うために、第2章から第6章における各地域の結果報告に基づいて、スギ柱材の乾燥に係るエネルギー費および人件費を表1にまとめた。また、表2には、乾燥材の最終含水率や割れの発生など乾燥材の仕上がりに関する調査結果を示した。

2 乾燥処理

スギ柱材乾燥に関する23の調査件数のうち、蒸気式乾燥機以外の施設を利用したものは1件（温風式）のみで、その乾燥温度は40℃であった。蒸気式乾燥のスケジュールでは、80～130℃の最高温度が適用されており、100℃以上が18件、90℃以下が4件であった。なお、便宜上100℃を越える場合を高温、90℃以下を中温として区分することとする。

乾燥スケジュールは、第2章～6章の図1から明らかなように、調査工場によって様々なパターンが使用されている。高温乾燥の場合には、そのほとんどが乾燥初期に蒸煮処理を取り入れているが、処理時間は様々である。その後の温度経過は、110～130℃の最高温度に上昇させるタイミングと維持時間に特徴を持たせたものとなっている。乾燥終了前の調湿処理を取り入れたケースは2件にのみであった。

被乾燥材の初期含水率は60%～110%のケースがほとんどであったが、人工乾燥前に予備的な乾燥を行い、50%以下の場合も数件あった。乾燥後の平均含水率は、10%～55%であり、約半数のケースが25%以下にまで乾燥している。

3 エネルギー費

(1) 乾燥温度との関係

表1によれば、スギ柱材の乾燥に要するエネルギー費は全体（23件）平均で2,100円／立米である。乾燥温度別に見ると、データ数が異なるものの、高温（18件）で平均2,100円／立米、中温（4件）が平均2,600円／立米、温風式（1件）が1,100円／立米である。

図1に、乾燥温度（最高）とエネルギー費（立米あたり）との関係を示した。初期含水率別に見ても、乾燥温度とエネルギー費との相関は明らかではなく、乾燥温度による相違は特定できない。

図2は水分蒸発量（立米あたり）および含水率低下量とエネルギー費（立米あたり）との関係を示したもので、乾燥温度および背割り加工の有無別にプロットされている。全体的に見ると、エネルギー費は乾燥温度に関係なく、蒸発した水分量によって変化することを表している。他方、工場が同じで、しかも初期含水率と最終含水率が同じ場合において、高温（120℃）でのエネルギー費（2,400円）が中温（85℃）における経費

(3,000円) よりも小さいという結果も得られている。

背割り加工したケース（4件）のエネルギー費の平均は1,400円／立米であり、背割りなしの場合（14件、平均2,300円／立米）より低かった。図2から明らかのように、背割り加工したケースはすべて初期含水率が低く、含水率の低下量が40%以下と少ないことによってエネルギー費が小さくなっているものであり、背割り加工によってエネルギー費が低減できることを表す結果ではない。

(2) 最終含水率との関係

図3は、最終の平均含水率を25%以上と以下とに区分して、それぞれについて初期含水率とエネルギー費との関係を図示したものである。

最終含水率が25%以上のケース（13件）におけるエネルギー費の平均は2,200円で、25%以下（10件）の場合が平均2,000円である。ところで、最終含水率に関係なく含水率低下量のみでエネルギー費の違いを見ると、含水率低下量が50%以上の場合の平均は2,200円であり、含水率低下が50%未満のケースでは平均1,400円という結果であった。すなわち、最終含水率によってエネルギー費に大きな相違が認められないのは、25%以下まで乾燥したケースの中には、予備的な乾燥によって初期含水率が低いものがあり、全体的に含水率の低下量が小さかったためであろう。他方、含水率低下が70%以上と大きく、しかも平均含水率11%にまで乾燥した場合でも、エネルギー費を1,900円であげたケースがあった。

(3) 乾燥時間との関係

図4には、乾燥処理時間がエネルギー費に与える影響を示す。温風式の場合（図中括弧）は、乾燥温度が40℃と低いために乾燥時間はかかるが、エネルギー費は小さい。この温風式を除けば、全体的に乾燥時間が長いほどエネ費が大きくなる傾向を示す。温風式以外で、乾燥処理時間が200時間を越えるケースは中温乾燥によるものであるが、この場合含水率25%以下までしっかり乾燥した場合とそうでない場合とにおけるエネルギー費の相違が明らかになっている。

(4) 乾燥操作との関係

図5は1kgの水分を蒸発させるためにかかったエネルギー費が、乾燥室の充填率および初期含水率によって変化することを示している。なお、乾燥室内に占める製材の割合（乾燥室の充填率）を示す指標としては、乾燥量を乾燥機の収容材積で除した割合を用いた。すなわち、初期含水率が低い場合や、また充填率が極端に低かったり高かったりすると、単位量の水分を蒸発させるために余分なエネルギーが消費されることを示している

(5) 乾燥割れとの関係

蒸気式で背割り加工を施さずに最終の平均含水率を25%以下まで低下させたケースは5件であった。そのうち、割れのスコアが20以下と仕上がりの良好であったものが2件で、スコアが30以上で比較的仕上がりの悪かったケースが3件であった。前者のエネルギー費の平均は2,200円で、後者の平均は2,900円であった。すなわち、エネルギー費を多く消費したからといって、割れの低減等仕上がりの向上には繋がらないことが明らかである。

4 所要人件費

所要人件費では、棧積みや乾燥操作にかかる費用が主であり、立米あたり200円～2900円にばらつく結果であった。これには、人件費の工場・地域間の差、乾燥時間等の乾燥操作、また工場によっては自動棧積み機の導入によって棧積み経費を押さえていることが関わっている。

各調査で乾燥に要した時間は100～400時間に分布し、月あたりの総処理量に換算すると、月産20～220立米となる。図6には、最終含水率別に見た乾燥処理量（立米／月）と立米あたりの人件費との関係を示した。最終の含水率による違いは見られないが、乾燥処理量が多いほど人件費が少なくて済むことを表している。

5 乾燥材の仕上がり

乾燥をほどほどにしてエネルギー費を押さえても、最終的な含水率がJAS等の含水率基準をクリアし、狂いのない乾燥材としての価値を発揮できなければ意味がない。また、せっかく含水率を基準以下に落としても、割れ等の欠点が生じても、価値が失われる。したがって、乾燥方法の善し悪しを判断するためには、できるだけ省エネルギーであることと同時に、乾燥の仕上がりがどうかを評価する必要がある。

図7には、仕上がりエネルギー費との関係を示す。なお、仕上がりは最終含水率と割れの程度を勘案して数値化し、エネルギー費は蒸発単価に基づいて数値化している。図の原点により近いところにあるプロットほど、相対的に省エネかつ高仕上がりの乾燥ができたことを示している。エネルギー費、仕上がりともに5以下であるケースは約半数を占め、その最終の平均含水率は25%でエネルギー費の平均は1,900円／立米であった。これは全体の平均2,100円／立米よりも小さく、工場における乾燥の仕上がり向上とエネルギー消費とが無関係であることを示している。

図8には、含水率計によって求めた含水率と全乾含水率との関係を示した。多くのプロットが図中の直線よりも上方にプロットされており、乾燥直後には材内に含水率の傾斜が残っていることを表している。なお、図9には、全乾含水率と含水率計の読みの差を、含水率傾斜の大小の指標とし、最終含水率との関係を示す。最終含水率が低いほど、含水率傾斜が小さいことは当然の結果であるが、同時にほとんどのプロットが単一の直線に沿っており、調査対象となったスギ柱材の多くが同様の含水率減少の経過をたどって乾燥されたことを表している。

表1 乾燥調査ケース別の所要エネルギー費 (スギ柱材)

調査 地域	調査 番号 ^{注1)}	1回あたりの 乾燥量 (m ³)	乾燥温度 (最高) (°C)	乾燥時間 (hr)	蒸発量 ^{注2)} (kg)	含水率 (%) (初期～最終)	エネルギー費			所要人件費 (円/m ³)
							蒸発単価 (円/kg)	材積単価 (円/m ³)	含水率単価 (円/m ³ /%)	
岩手県	1-1	27.6	130	120	2211	33~9	18.9	1,517	63	1,522
	1-2	18.4	90	144	1407	47~24	18.6	1,423	62	2,283
	1-3	27.6	130	120	3628	60~21	10.0	1,308	33	1,522
	2	14.3	90	271	3317	90~21	20.7	4,804	69	2,638
	3	20.3	130	301	3966	88~29	16.7	3,269	56	2,882
長野県	1-1	25.0	115	120	5477	103~38	13.7	3,004	46	1,344
	1-2	22.0	120	179	5156	94~24	10.5	2,456	35	1,527
	1-3	32.5	120	112	6301	78~20	11.9	2,313	40	1,034
	2-1	24.0	115	147	5319	99~32	7.9	1,750	26	250
	2-2	28.7	120	116	6442	78~11	8.5	1,907	28	209
富山県	1-1	18.8	110	116	2880	101~55	13.5	2,073	45	1,915
	1-2	19.4	85	407	5090	108~29	11.5	3,013	38	2,227
	1-3	19.7	120	268	5166	110~31	9.1	2,382	30	1,827
愛媛県	1-1	38.0	130	102	3219	53~28	19.0	1,437	56	263
	1-2	38.0	130	104	4550	58~22	13.0	1,386	39	263
	2-1	33.0	130	118	6157	88~32	17.3	2,996	53	842
	2-2	33.0	130	114.5	6578	87~27	12.3	2,238	37	842
	3-1	37.0	110	110	6059	101~52	13.5	1,986	40	1,124
熊本県	3-2	35.0	110	105	5847	101~51	15.1	2,296	46	1,189
	1-1	31.0	130	141	5514	88~35	7.5	1,328	25	668
	1-2	38.9	108	136	2867	46~24	21.6	1,589	72	533
	2	20.1	40	384	2864	67~24	7.8	1,114	26	2,715
	3-1	24.3	80	169	2124	61~35	12.3	1,072	41	790

注1) 左または単一の数字が工場の番号、右側の数字は同一工場での処理番号を示す。

注2) 試験材35本の重量低下分を全乾燥量に換算したものの。

表2 乾燥調査ケース別の乾燥仕上がりの評価

調査地域	調査番号	初期含水率 (推定%注1)	乾燥後の含水率(%) (全乾法)		割れの スコア注3)	含水率の 評価値注4)	割れの 評価値注5)	仕上がり 評価値注6)	エネルギー費 の評価値注7)	備考
			(水分計)	(全乾法)						
岩手県	1-1	33	9	9	4	0	0	0	8	背割り
	1-2	47	13	24	5	2	0	2	8	背割り
	1-3	60	12	21	3	2	0	2	2	背割り
	2	90	15	21	75	2	5	7	9	
	3	88	27	29	3	3	0	3	7	
長野県	1-1	103	21	38	18	5	1	6	5	
	1-2	94	15	24	14	2	1	3	2	
	1-3	78	14	20	35	1	3	4	3	
	2-1	99	16	32	9	4	0	4	1	
	2-2	78	10	11	2	0	0	0	1	
富山県	1-1	101	27	55	17	5	1	6	5	
	1-2	108	31	29	22	3	2	5	3	
	1-3	110	19	31	35	4	3	7	1	
愛媛県	1-1	53	19	28	32	3	3	6	7	背割り
	1-2	58	14	22	13	2	1	3	3	背割り
	2-1	88	18	32	19	4	1	5	6	
	2-2	87	17	27	30	3	2	5	3	
	3-1	101	28	52	13	5	1	6	3	初期蒸煮なし
	3-2	101	25	51	10	5	0	5	5	初期蒸煮なし
熊本県	1-1	88	23	35	10	4	0	4	0	
	1-2	46	19	24	30	2	2	4	10	
	2	67	28	24	14	2	1	3	1	初期蒸煮なし
	3-1	61	28	35	5	4	0	4	4	

注1) 蒸発量と最終含水率から換算したもの。

注2) スコアの求め方は付録1に示す。

注3) 含水率の評価は、最終含水率が15%以下が0、16~20が1、21~25が2、26~30が3、31~35が4、36以上を5としている。

注4) 割れの評価は、スコアが10以下を0、11~20が1、21~30が2、31~40が3、41~50が4、51以上を5としている。

注5) 仕上がりの総合評価は含水率と割れの評価値を合計した数値で表している。

注6) エネルギー費の評価は含水率単価に基づき、25円以下を0、26~30が1、31~35が2という風に5円ごとに数字を上げ、71以上を10としている。

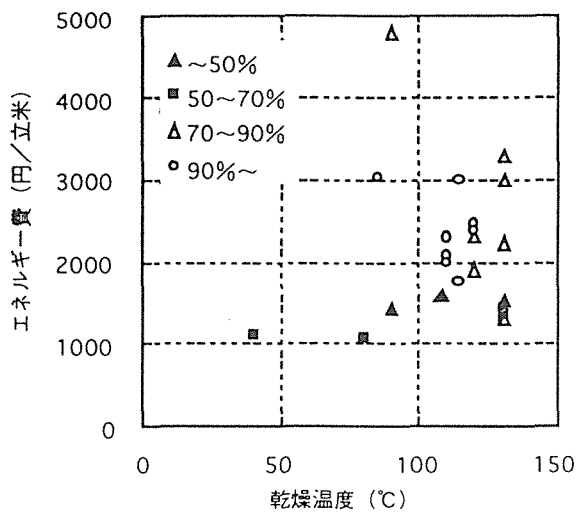


図1 初期含水率別に見た乾燥温度とエネルギー費との関係

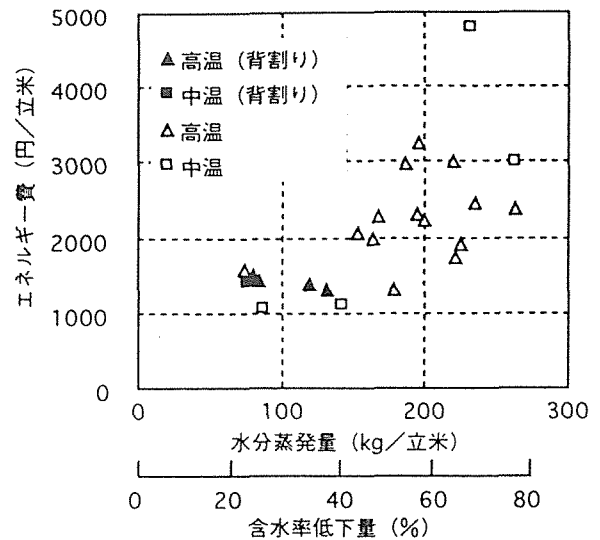


図2 乾燥温度と背割り処理の有無別に見た水分蒸発量および含水率低下量と立米当たりのエネルギー費との関係

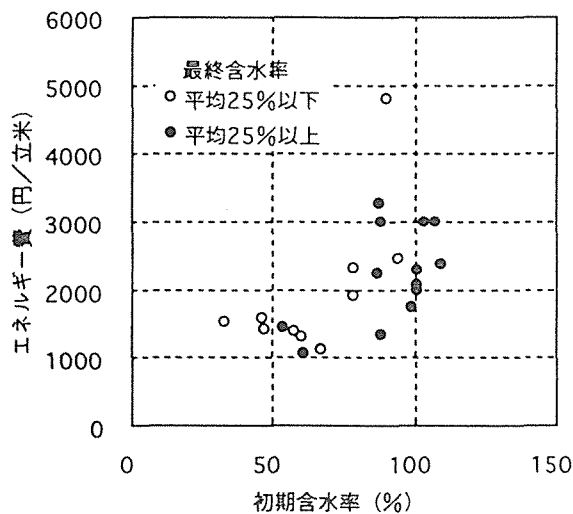


図3 最終含水率別に見た初期含水率とエネルギー費との関係

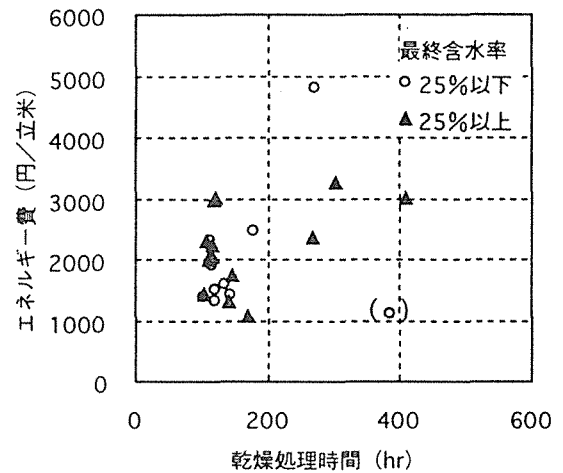


図4 最終含水率別に見た乾燥処理時間とエネルギー費との関係

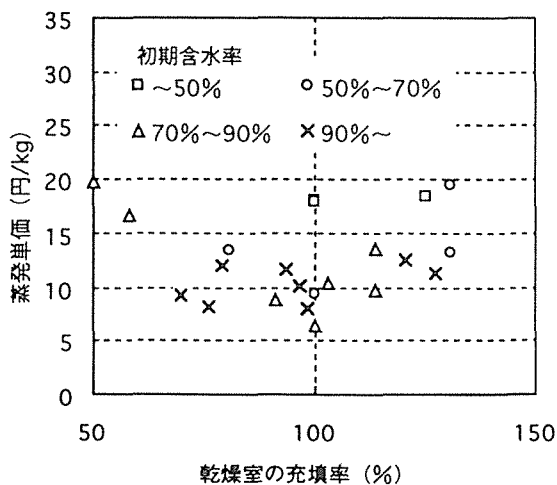


図5 初期含水率別に見た乾燥室の充填率とエネルギー費 (蒸発単価) との関係

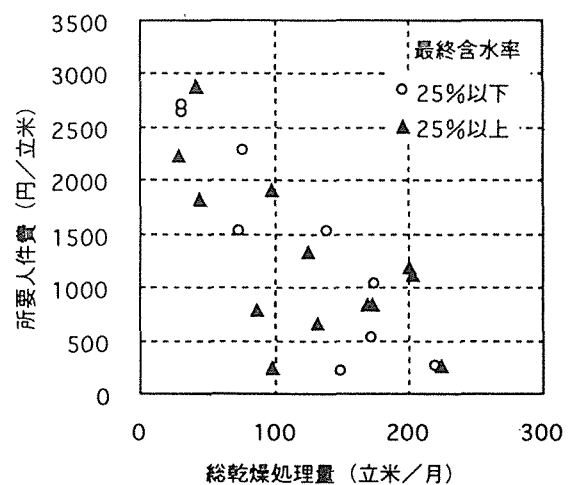


図6 最終含水率別に見た乾燥処理量と人件費との関係

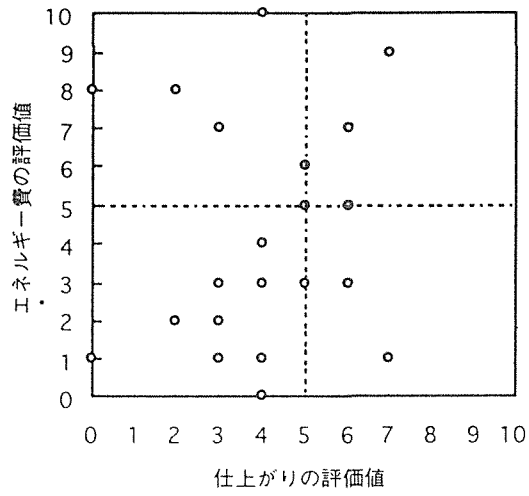


図7 仕上がり評価と消費エネルギー評価との関係

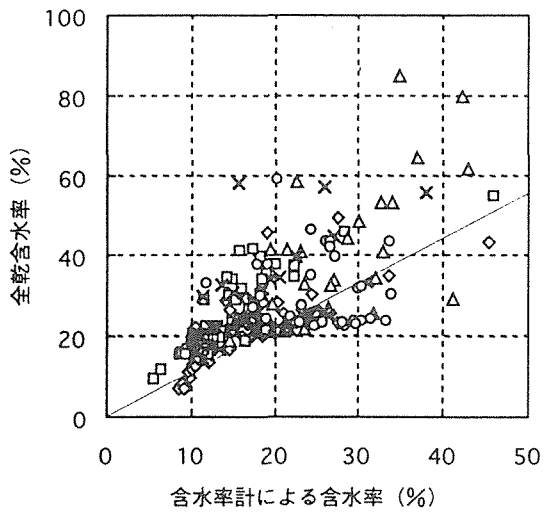


図8 含水率計による含水率と全乾含水率との関係

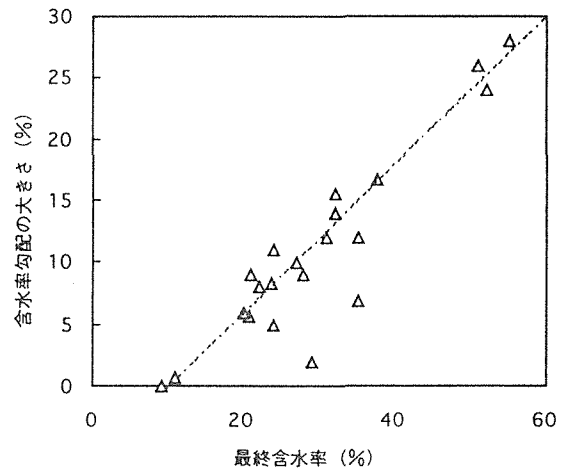


図9 最終含水率と含水率傾斜の大きさとの関係

注：含水率傾斜の大きさは全乾含水率と含水率計の読みとの差を用いている。

乾燥コストの分析

乾燥コストには、乾燥材生産に必要な直接経費である、設備償却、エネルギー費、人件費等と、間接的に必要な建物、土地、寸法仕上げや不良品発生による歩留まり損失、加工経費、金利などがある。直接経費のうち、設備償却は乾燥日数から計算することが可能であるが、エネルギー費や人件費については乾燥材生産の考え方や生産技術が異なることからこれまで実態が十分把握されていなかった。また、間接経費は生産企業の事情によって大きく異なるため、一般的な数値を明らかにすることは困難である。このため、今回は乾燥コストのうち直接経費であるエネルギー費と人件費についてのみ調査を行った。全国5地域における実情調査の結果を、表1と表2とにまとめている。

ちなみに、調査は心持ちスギ材の乾燥を主として行うこととし、比較的高温条件の蒸気式乾燥機で積極的にスギ材の乾燥に取り組んでいる工場で、電気代や燃料費などの数値が把握しやすい工場を選択した。このため、結果的に重油あるいは灯油を燃料とした中型乾燥機を1～2機所有している工場が多くなった。

(1) エネルギー費について

エネルギー費は、乾燥機やボイラーの動力として必要な電気代と燃料費に分けられる。図1と図2には、調査27ケースの電気代と燃料費の頻度分布をそれぞれ示している。

1) 電気代

電気代は立方メートルあたり115～1,899円(平均431円)であるが、多くは200～400円の範囲に含まれている。乾燥機内の空気循環に用いられる動力、排気ファンやボイラ送風機に用いられる動力が含まれている。電気代が異常に少ないのは、事前に天然乾燥した材を高温乾燥した例(岩手1-1、1-2、1-3、愛媛1-1、1-2)である。また、異常に多いのは、乾燥割れを少なくするため非常に高温条件で長い乾燥時間をとっている工場(岩手2、3)、温水を利用した比較的低温の乾燥で長い乾燥時間を要している例(熊本2)、平角の乾燥例(熊本3-2)である。また、このほかヒノキおよびカラマツの例(長野3、4、愛媛3-3)では、やや傾向が異なっている。これらを除くと、スギ材乾燥における電気代は立方メートルあたり182～697円(平均306円)であった。

一般的傾向として、高温乾燥機の場合は設備動力がやや多いが、乾燥日数が短くなることから電気代が低い傾向が見られる。ただし、乾燥時間は必要とされる乾燥材の品質によっても異なり、長い時間をかけて丁寧に乾燥しようとするれば当然電気代は多く必要になる。空気循環に用いられる送風機用の電気代と、ボイラ用の電気代とを分離して調査した例が一部にあるが、その比率は色々で、今回は正確な調査結果が得られなかった。

2) 燃料費

燃料費については、乾燥機の種類、乾燥温度の高低、乾燥材の仕上げ含水率、初期含水率等の材質の違い、背割りの有無、割れの程度、乾燥操作技術など多くの要因が関係するが、立方メートルあたり726～2,996円(平均1,713円)に分布している。この中から電

気代の場合と同様に、天乾やヒノキ、カラマツ等の例を除くと、スギ乾燥における立
方米あたりの燃料費は 726～2,996 円（平均 1,914 円）であった。一方、この値は乾燥方
法の違いだけでなく、初期含水率や乾燥材の仕上げ含水率の違いの影響を強く受けるた
め、これを単位水分蒸発量（1kg）あたりで見ると、全体では 6～18 円（平均 12 円）
に分布しており、スギ柱材乾燥に限ると 6～18 円（平均 11 円）であった。この結果を
見ると、燃料消費は乾燥温度や背割りの有無などに関係なく水分蒸発量とかなり関係が
深いことが分かる。高温乾燥では乾燥時間の短縮によって熱ロスが少なくなり、燃料効
率が上がるのが期待されているが、調査結果では逆の結果も得られており、あまり明
確ではない。また、背割りの有無も材料の違いによる影響が大きいと見られ、明らかな
影響は認められなかった。

今回の調査で明らかになった主な点は、乾燥機への材の充填率と、初期含水率の違い
であった。すなわち、充填率が低く、乾燥する含水率範囲が低い場合は、エネルギー効
率が低い結果が得られた。ただし、実際の生産現場では対象とすべき材料の種類、乾燥
仕上げ含水率、割れ等の品質が、実態に即して適宜選択されているため、単位材積あた
りの乾燥経費の違いにはあまり大きな影響が現れてこないように思われる。

また、一部で乾燥設備の構造的な性能の違いや乾燥スケジュールの違いによって燃料
消費がかなり影響を受けるのではないと思われる調査結果が示されており、この点は
今後確認の必要がある問題点である。

以上の調査結果を、電気代と燃料費を合わせたエネルギー費としてとりまとめると、
全体では立立方米あたり 1,072～4,804 円（平均 2,087 円）で、スギ柱材乾燥については
立立方米あたり 1,072～3,013 円（平均 2,160 円）であった。この場合の材のスギの推定
初期含水率は 46～110%（平均 90%）で、仕上げ含水率は全乾法で 11～55%（平均 33%）
であった。仕上げ含水率は全乾法による測定では、まだ一部に高いものが含まれている
が、これを含水率計で測定した値は 14～31%（平均 21%）であった。含水率計の測定
値で見ると、かなり含水率管理に注意が払われているようであるが、実際にはまだ内
部に水分が残っている例がかなりあった。今回の調査は乾燥経費の調査を目的として行
ったものであるが、この中にスギ材乾燥の難しさと問題点の一端が示されている。

なお、今回の調査で得られたスギ材 1 立立方米あたりの、人工乾燥による水分蒸発量は
150～250kg であったが、これはスギの全乾比重を 0.34 とすると、含水率を約 44～74%
減少させる量に相当する。

（2）人件費について

人件費は棧積み作業と乾燥操作に関わる経費が主であり、立立方米あたり 209～2,882
円（平均 1,282 円）と差が大きい。スギ材乾燥の平均的工場のみ絞ると、この値は 209
～2,227 円（平均 1,089 円）であった。

人件費のうち最も経費がかかるのは棧積み作業で、平均して立立方米あたり 605 円を
要している。また、棧降ろしについては 222 円を要している。しかし、これらの経費
は自動棧積み木を導入しているかどうか、あるいは製材作業の一貫として材の積み込み
時に同時に棧積み作業を行っているかどうか等によって評価が異なる。手積み作業を標

準としている工場での平均的な経費は、棧積みが約 670 円、棧降ろしが約 510 円と推定される。このほか乾燥操作に必要とされる経費はフォークリフトによる積み降ろし作業が立方米あたり約 150 円、乾燥室の操作管理が約 300 円であった。ボイラーマンの person 費については、ほとんどの工場が重油あるいは灯油炊きの小型の貫流ボイラを用いており、無人運転が可能なことから特に経費は必要とされていなかった。

(3) まとめ

スギ心持ち柱材の乾燥コストのうち、直接経費であるエネルギー費と person 費について調査した結果、エネルギー費は立方米あたり 1,072~3,013 円 (平均 2,160 円)、person 費は立方米あたり 209~2,227 円 (平均 1,089 円) であった。これらは主として蒸気式の高温乾燥機を用い、初期含水率約 90%の材を全乾法含水率で約 33% (含水率計では 21%) まで乾燥する場合の値である。

エネルギー費のうち電気代は立方米あたり 182~697 円 (平均 306 円)、燃料費は立方米あたり 726~2,996 円 (平均 1,914 円) であった。また、立方米あたりの person 費の内訳は、棧積み約 670 円、棧降ろし約 510 円、フォークリフト作業約 150 円、操作管理約 300 円で、合計は 1,630 円であった。内訳の合計は前に示した person 費の平均値より多少多いが、内訳の方は棧積みを手積みで行っている工場について示したためである。

表1 乾燥調査ケース別の所要エネルギー費

調査地域	調査番号 ^{注1)}	材種	森森量 ^{注2)} (kg)	消費電力量 (kWh/立米)		燃料消費量 (リットル/立米)	電気代/立米 (円/立米)	燃料費/立米 (円/立米)	燃料費/蒸発量 (円/kg)	エネルギー/立米 (円/立米)
				乾燥機	ボイラー					
岩手県	1-1	スギ柱材	2,211	6.4	-	6.4	115	1,402	17.5	1,517
	1-2	スギ柱材	1,407	-	-	18.8	338	1,084	14.2	1,423
	1-3	スギ柱材	3,628	7.3	-	7.3	132	1,176	8.9	1,308
	2	スギ柱材	3,317	-	-	105.5	1,899	2,905	12.5	4,804
	3	スギ柱材	3,966	35.5	14.8	50.2	904	2,365	12.1	3,269
長野県	1-1	スギ柱材	5,477	-	-	15.9	287	2,718	12.4	3,004
	1-2	スギ柱材	5,156	-	-	20.0	359	2,097	8.9	2,456
	1-3	スギ柱材	6,301	-	-	10.1	182	2,132	11.0	2,313
	2-1	スギ柱材	5,319	-	-	21.1	380	1,370	6.2	1,750
	2-2	スギ柱材	6,442	-	-	14.0	251	1,655	7.4	1,907
	3	ヒノキ柱材	3,078	22.8	5.0	27.8	500	815	6.6	1,315
	4	カラマツ柱材	2,784	33.9	9.6	43.5	783	2,220	17.2	3,003
	1	スギ柱材	2,880	-	-	12.8	230	1,838	12.0	2,073
富山県	1	スギ柱材	5,090	-	-	38.7	697	2,312	8.8	3,013
	1	スギ柱材	5,166	-	-	26.6	480	1,901	7.2	2,382
	1	スギ柱材	3,219	-	-	9.5	171	1,437	17.0	1,437
愛媛県	1-1	スギ柱材	4,550	-	-	9.4	170	1,386	11.6	1,386
	1-2	スギ柱材	6,157	-	-	12.7	229	2,996	16.1	2,996
	2-1	スギ柱材	6,578	-	-	12.3	221	2,238	11.2	2,238
	2-2	スギ柱材	6,059	11.2	1.3	12.5	225	1,986	12.1	1,986
	3-1	スギ柱材	5,847	11.3	1.5	12.8	230	2,296	13.7	2,296
	3-2	スギ柱材	2,006	15.9	0.6	16.5	297	596	11.0	596
	3-3	スギ柱材	5,514	-	-	13.5	244	1,084	6.1	1,328
熊本県	1-1	スギ柱材	2,867	-	-	12.9	231	1,357	18.4	1,589
	1-2	スギ柱材	2,864	-	-	61.9	1,114	-	-	1,114
	2	スギ柱材	2,124	-	-	19.2	346	726	8.3	1,072
	3-1	スギ柱材	2,028	-	-	34.8	626	2,156	14.7	2,782

注1) 左または単一の数字が工場の番号、右側の数字は同一工場での処理番号を示す。

注2) 試験材35本の重量低下分を全乾燥量に換算したものの。

表2 乾燥調査ケース別の所要人件費

調査地域	調査番号	材種	立米あたりの所要人件費				
			内訳 (円/立米)				合計 (円/立米)
			栈積み	栈降り	フォークリフト	操作管理	
岩手県	1-1	スギ柱材	1,014	-	380	127	1,522
	1-2	スギ柱材	1,522	-	571	190	2,283
	1-3	スギ柱材	1,014	-	380	127	1,522
	2	スギ柱材	573	573	115	1,376	2,638
	3	スギ柱材	1,281	640	320	640	2,882
長野県	1-1	スギ柱材	480	480	240	144	1,344
	1-2	スギ柱材	545	545	273	164	1,527
	1-3	スギ柱材	369	369	185	111	1,034
	2-1	スギ柱材	-	-	150	100	250
	2-2	スギ柱材	-	-	125	84	209
	3	ヒノキ柱材	480	480	96	160	1,216
	4	カラマツ柱材	347	-	278	185	810
富山県	1	スギ柱材	862	574	96	383	1,915
	1	スギ柱材	835	557	93	742	2,227
	1	スギ柱材	822	548	91	365	1,827
愛媛県	1-1	スギ柱材	-	-	53	211	263
	1-2	スギ柱材	-	-	53	211	263
	2-1	スギ柱材	515	-	55	273	842
	2-2	スギ柱材	515	-	55	273	842
	3-1	スギ柱材	865	-	43	216	1,124
	3-2	スギ柱材	914	-	46	229	1,189
	3-3	ヒノキ柱材	649	-	43	216	908
熊本県	1-1	スギ柱材	239	95	48	286	668
	1-2	スギ柱材	190	76	38	228	533
	2	スギ柱材	1,493	746	149	326	2,715
	3-1	スギ柱材	198	99	82	412	790
	3-2	スギ平角材	348	174	145	725	1,391

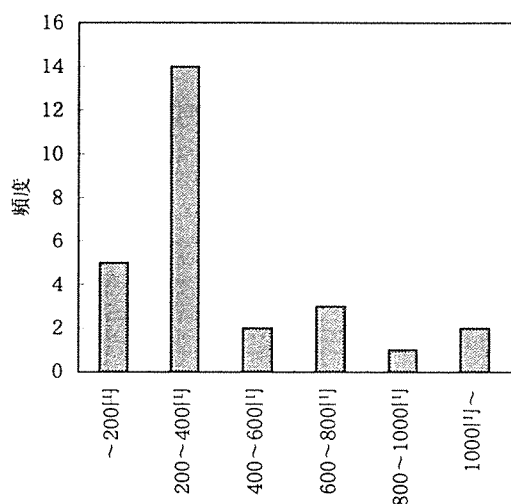


図1 立米あたりの電気代の頻度分布

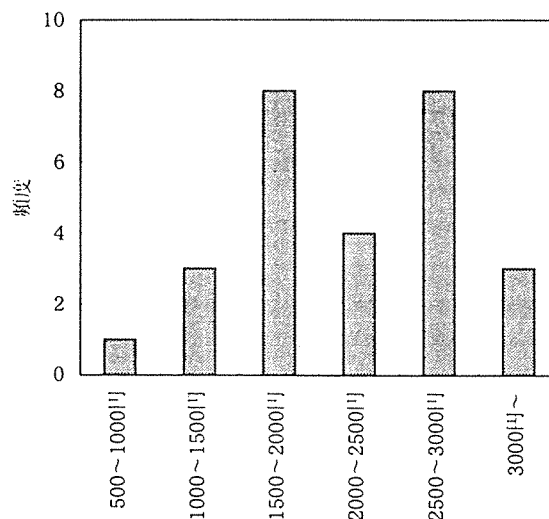


図2 立米あたりの燃料費の頻度分布

1. 乾燥割れの測定方法

- 1) 材面毎に割れ幅と割れの長さ（複数ある場合はその合計長さ）を測定する。。
- 2) 割れ幅と割れ長さの表示は、表1および表2の区分に基づき、記号で表示する。
たとえば、幅0.5～1.0mmで長さ23cmならば、C-30とする。
- 3) 割れ幅のランクの異なる割れが複数ある場合は、割れ幅別に複数カウントする。
たとえば、B-60、D-30などとする。

表1 割れ幅の区分と表示記号

	割れ幅 (mm)						
	0	0～0.2 未満	0.2～0.5 未満	0.5～1.0 未満	1.0～2.0 未満	2.0～5.0 未満	5.0以上
表示記号	0	A	B	C	D	E	F

表2 割れ長さの区分と表示記号 (3m材用)

	割れ長さ (cm)				
	0	0～30 未満	30～60 未満	60～150 未満	150以上
表示記号	0	30	60	150	L

割れ長さ：一材面における割れの長さの合計

2. 乾燥割れの評価方法

- 1) 割れの程度を評価するため、一定の指標による表示方法を定める。
- 2) 割れの程度は表3のスコアにより表示する。
- 3) 柱材の場合は材面毎にスコアを求め、1本毎の最終的な評価は4材面（ただし、背割り材は背割り面を除く3材面）の平均値、最大値、最小値で表示する。

表3 乾燥割れの評価のためのスコア (3m材用)

割れ長さ (cm)	割れ幅 (mm)						
	0	0～0.2 未満	0.2～0.5 未満	0.5～1.0 未満	1.0～2.0 未満	2.0～5.0 未満	5.0以上
0	0	0	0	0	0	0	0
0～30未満	0	0.5	1	2.5	5	10	20
30～60未満	0	1	2	5	10	20	40
60～150未満	0	2	4	10	20	40	80
150以上	0	4	8	20	40	80	160

割れ長さ：一材面における割れの長さの合計

(注：幅の大きい割れと小さい割れが混在する場合は、両スコアの合計)

第4章 最近の乾燥技術

1 天然乾燥

1.1 スギ心持ち柱材の天然乾燥について

大分県林業試験場 三ヶ田 雅敏

1. はじめに

全国的に木材乾燥の必要性が浸透しつつあるが、県内の乾燥材生産量は増加しているとは言い難い。その原因として、生材でまだ売れる、乾燥コストがかかる、乾燥技術が難しいといったことが考えられる。

そこで、県内の木材業界が乾燥材生産に取り組む足がかりとして、天然乾燥を活用して4ヶ月間でD-20の低コスト乾燥材を生産するシステムを構築するため、これまであまり行われていない実用規模でのスギ心持ち柱材の天然乾燥試験を行ったので、これまで得た知見を報告する。

2. 材料と方法

供試材として、日田市内の安心院製材所の製材直後のスギ心持ち柱材(横断面寸法11.5×11.5cm、長さ3m、無背割り材)を用いた。表-1に、供試材の本数、心材率、年輪幅、気乾比重を示した。同製材所では、屋外に常時3-4万本のスギ心持ち柱材を棧積みして天然乾燥を行っている。

天然乾燥試験は四季別に行い、それぞれ6月、9月、12月、3月を試験開始月とした。(以下6月材、9月材、12月材、3月材と呼ぶことにする。)試験材は屋外に7ヶ月間、屋内に2ヶ月間の合計9ヶ月間存置した。屋外試験は同製材所土場で、また、屋内試験は林業試験場で行った。

試験材は、同製材所の方法に準じて、基本的に6列6段に棧積みして4段に積み上げた後、下から3段目に存置(図-1)した。そして、製材所土場で天乾中の列の中に配置した。屋根は、同

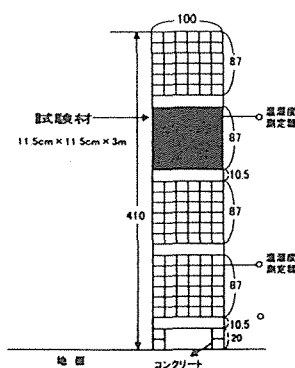


図-1 試験材の配置

製材所の方法に準じて設置しなかった。

棧積み内の平衡含水率を測定するため、1mと3mの位置にタバイエスペック社製のサーモレコーダRS-10を設置し、1時間毎に温湿度を測定した。

また、重量と高周波含水率計(MOCO-2)による含水率をおよそ20日毎に測定した。製材後と乾燥終了後に割れ、曲がり、収縮量を測定するとともに、乾燥終了時に、36等分割による横断面内含水率分布も測定した。

3. 結果と考察

(1) 含水率の変化

6月材、9月材、12月材の全乾法による推定含水率経時変化(測定した重量と、乾燥試験終了時の重量及び全乾法含水率の関係式から推定)を図-2に示した。

6月材、9月材、12月材の9ヶ月経過後の平均含水率はそれぞれ22.0%、17.4%、17.1%であった。各材とも含水率は最初の2-3ヶ月で大きく減少したが、6月材及び12月材は、試験開始時に多雨の影響をうけて含水率減少率がやや小さかった。その後、含水率は屋外では横這であったが、屋内に移動した後、再び減少し、6月材及び9月材は17%台まで減少した。

また、重量との関係を図-3に示した。製材直後にバラついていた重量、含水率とも9ヶ月後には一定の範囲に収束した。しかし、比重のバラツキから同含水率でも重量には幅があった。

(2) 平衡含水率

97年6月から98年5月まで、棧積み内の2ヶ所及び林業試験場の屋内の温湿度を測定し、それに大分气象台と日田測候所の気象データを加え、5ヶ所の平衡含水率を求めて比較した結果を図-4に示した。平衡含水率の年間平均が最も低かったのは林業試験場屋内の12.4%で、次が大分地方の12.9%、そして日田地方の15.8%であった。棧積み内の平衡含水率はさらに高く、一部データの欠落があるが、1mの高さでは年間を通して20%を越えることが多かった。また、3mの位置は常にそれを約2%

下回った。棧積み内の平衡含水率が高いのは、木材から蒸発した水分と降雨による水分が棧積みの中に比較的長く滞留するためと考えた。このことから、屋外における天然乾燥では含水率を20%以下にするのは難しいと考えられた。

(3) 含水率傾斜

試験終了時に、両木口面から50cm離れた部位から厚さ3cmの試験片を取り出し、36等分割した後、全乾法で含水率を測定した。6月材は平均含水率が高く、含水率傾斜もやや大きかったが、9月材及び12月材は図-5に示したように平均含水率が低く、含水率傾斜も小さく、内部まで良く乾燥していた。

(4) 天然乾燥による損傷(割れ、曲がり)と収縮

割れは、比較的多く発生した。例えば幅2mm以上の割れの累積長さである。割れ発生量は、6月材、9月材、12月材でそれぞれ1本平均310cm、390cm、516cmであった。

表-1 供試材の概要

		6月材	9月材	12月材
本数		36	35	35
心材率 (%)	平均値	42	52	58
	標準偏差	15	12	16
年輪幅 (mm)	平均値	6.09	6.14	5.81
	標準偏差	1.16	1.12	1.13
気乾比重	平均値	0.38	0.40	0.39
	標準偏差	0.02	0.04	0.03

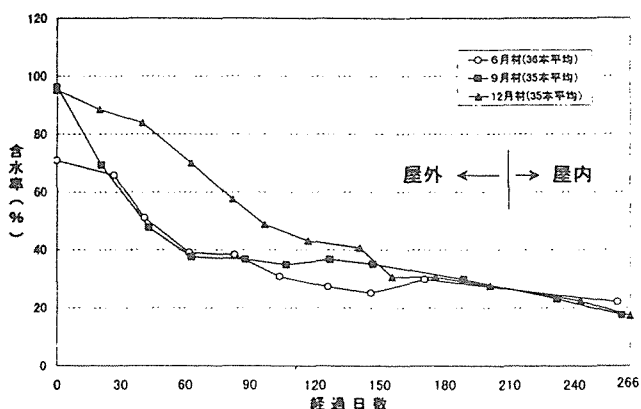


図-2 含水率経時変化(全乾法)

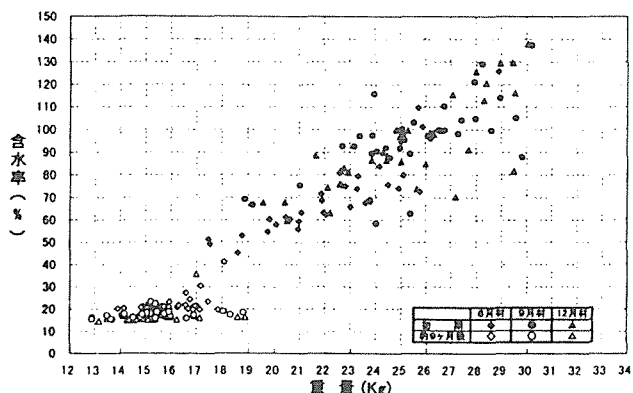


図-3 重量と含水率の変化

た。天然乾燥では、温湿度のコントロールができないことから、割れの発生を防ぐのは難しいと思われた。

曲がり量は、4材面の最大矢高量を測定した。その平均値は、6月材、9月材、12月材それぞれ2.6mm、2.9mm、2.5mmであった。曲がり量は比較的小さいと評価できるが、これは試験材が直材であったことの影響も大きいと考えられた。

収縮については、割れが多く発生したことから、割れ幅を含めた収縮量を測定した。6月材、9月材、12月それぞれ1本平均は0.83mm、1.33mm、1.50mmで小さかった。

4. おわりに

今回の試験により、実用規模の天然乾燥だけでD-20のスギ心持ち柱材を生産することが可能であること、そのためには屋内天然乾燥を組み合わせる必要があること、そして、この場合の効率的な屋外天然乾燥期間は3ヶ月が適当であること等がわかった。

人工乾燥材の生産量が増加しない原因を改めて考えると、天然乾燥の活用を見直しても良いのではないかと考える。今後は、天然乾燥を行った後の低コスト人工乾燥とのシステム化を引き続き検討したい。

引用文献

- (1) 大分地方気象台:大分県気象月報, 1997.6~1998.5

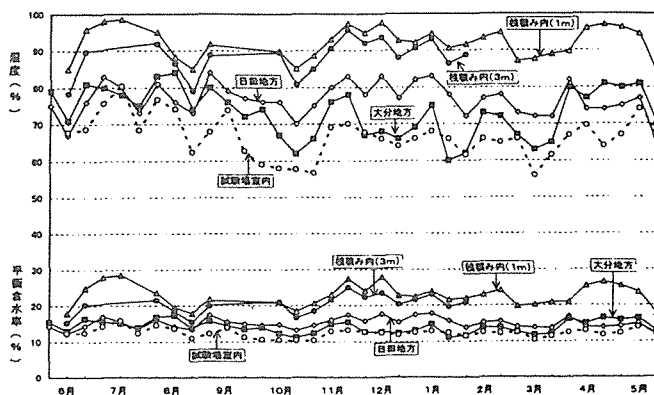


図-4 平均湿度と平衡含水率

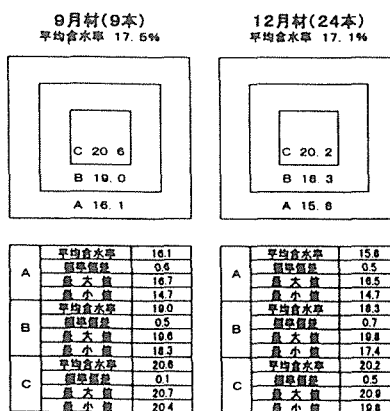


図-5 含水率傾斜

1.2 宮崎県産スギ柱材の天然乾燥

小田 久人^{*2} ・ 大迫 則明^{*3}

I. はじめに

建築用構造材の乾燥材化は、住宅性能表示の制度化やプレカット加工の増加に伴い、ますます進展すると予想される。乾燥材の大量かつ低コストでの供給には、人工乾燥ばかりでなく、天然乾燥を組み合わせたシステム作りが強く要請されている(2)。このため、葉枯らし乾燥丸太とそれから製材した製材品の天然乾燥試験を行い、「針葉樹の構造用製材品の日本農林規格」に定める乾燥材生産の可能性を検証した。

なお、本研究は宮崎県木材振興課の調査事業を宮崎県木材事業協同組合が中心となって行った結果の一部である。

II. 試験方法

供試丸太は、宮崎県東郷町の耳川林業事業協同組合に持ち込まれるスギ丸太のうち、伐採箇所が明らかなスギ葉枯らし丸太100本である。なお、比較のために県内の6製材工場・原木市場でも、スギ葉枯らし丸太を所定本数測定した(表-1)。測定項目は、末口直径、重量、長さ、末口の年輪数である。重量の重いもの、中庸のもの、軽いものから1本ずつ選び出し、丸太の中央部から厚さ3cmの円板を切り出した。髄を含む幅4cmのスリットを作製し、半径方向の含水率分布を2cm間隔に全乾法によって測定した。

次いで、97本の丸太は11cm角心持ち正角柱材に製材し、直後の寸法、重量、固有振動周波数を測定した。柱材は、同組合内の製品保管庫に棧積みして天然乾燥し、20日後、40日後および60日後に同様の測定を行った。60日後には含水率計(moco2)による含水率を相対する2面で6カ所測定し平均した。また、重量が重いもの、中庸のもの、軽いものから1本ずつ選び出し、長さ方向の中央部から厚さ3cmのブロックを切り出し、25分割して横断

面内の含水率分布を全乾法で測定した。残る柱材のうち55本は、243日後に重量を測定した後、両木口から50cm内側から厚さ3cmの試験片を切り出し、全乾法による含水率を算出した。全乾重量を含水率計算式から求め、製材直後、天然乾燥60日経過後の含水率(MC0, MC60)を算出した。

III. 結果と考察

(1) 葉枯らし丸太

表-1に葉枯らし丸太の測定結果を示す。末口直径が異なるため、重量を材積で除した見かけの密度を比較すると、葉枯らし期間が短い都城地区材が最も大きく、ほぼ生材と同じ値である。一方、葉枯らし期間が長い耳川地区材が最も小さい値である。丸太内の含水率分布は(図-1)、耳川地区材は葉枯らし処理によって辺材部の含水率が大きく減少しているが、心材含水率はほとんど変化していない。これに対して、葉枯らし期間の短かった都城地区材は、辺材部が高く、白線帯で減少し髄に向かって高くなる生材と同じ含水率分布(1)を示している。

(2) 柱材の重量変化および含水率

60日経過後までの柱材の重量変化を初期重量グループ別に図-2に示した。製材直後の平均重量が約20kgであったので、便宜的に20kg以上と未満に区分した。20kg以上のグループの重量は、60日経過後においても20kg未満グループの初期重量と同じ程度である。一方、20kg未満のグループは、60日経過後に14.85kgに減少している。

天然乾燥60日経過後の柱材の含水率分布を図-3に示す。中程度の重量のものは、表面は30%程度に乾燥しているが、中心部付近は100%近くあり、含水率傾斜が大きい。これに対し、重量の軽いものは、表面も中心部付近も20%前後と小さな含水率傾斜である。また、含水率計による含水率の出現頻度は97本中81本が25%以下とな

^{*1} Oda, H. and Oosako, N. : Air-dry of sugi timber in Miyazaki Pref.

^{*2} 宮崎県林業総合センター Miyazaki Pref. Forestry Res. and Ins. Cen., Saigo, Miyazaki 883-1101

^{*3} 宮崎県木材協同組合連合会 Miyazaki Pref. Federation of Lumber Cooperatives, Miyazaki 880-0805

り、日本農林規格の乾燥材規格 D25 に相当する。25% を超える 16 本の製材直後、60 日後の重量はそれぞれ 23.39kg, 18.51kg であった。製材直後の重量の重いものは天然乾燥のみでは規格に合致する乾燥材生産は困難であり、短期間での生産には人工乾燥が必要である。製材直後の重量で区分することで、バラツキの少ない乾燥材生産が可能と推察される。

(3) 振動周波数の変化と柱材の重量変化

MC60 は平均 31.7% と繊維飽和点以上であったので、ヤング係数の変化はないとみなされる。この場合、製材直後の固有振動周波数 (f_0) と 60 日経過後の固有振動周波数 (f_{60}) の比の二乗は、両時点の見かけの密度の比に等しい。また、見かけの密度の比は平均収縮率が 0.45% と小さいので、材積の変化を無視すると含水率の比 $(100 + MC60) / (100 + MC0)$ で表される。固有振動周波数の比の二乗と

含水率の比の関係を図-4 に示した。固有振動周波数の変化は含水率の変化と良く一致しており、初期含水率を何らかの方法で精度良く推定できれば、固有振動周波数から含水率を予測することは可能であると推察される。

IV. まとめ

スギ葉枯らし丸太から製材した柱材は 60 日間の天然乾燥で D25 に相当する乾燥材に仕上げることができたが、一部の重量の重い柱材は乾燥が不十分であり、人工乾燥が必要と思われる。今後、天然乾燥後の人工乾燥スケジュールなどを検討する必要がある。

引用文献

- (1) 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, 10-12, 日本木材学会, 東京, 1991
- (2) 信田聡・河崎弥生: 木材工業, 54, 174-177, 1999

表-1 葉枯らし丸太の概要

市場等	所在地	試験体数	末口直径 cm	平均年輪幅 mm	重量 kg	密度 g/cm ³	葉枯らし期間
西諸	小林市	100	18.4	4.1	57.6	0.586	45 日前後
都城	都城市	100	16.9	4.4	68.2	0.803	40 日前後
綾	東諸県郡	100	16.1	3.8	40.0	0.548	90~120 日
日南	日南市	80	18.2	3.7	58.5	0.601	50 日前後
日向	日向市	100	17.4	3.3	42.3	0.496	90~100 日
耳川	東臼杵郡	100	17.4	4.8	42.6	0.466	120~140 日
木城	児湯郡	100	17.7	4.0	50.2	0.554	100~120 日

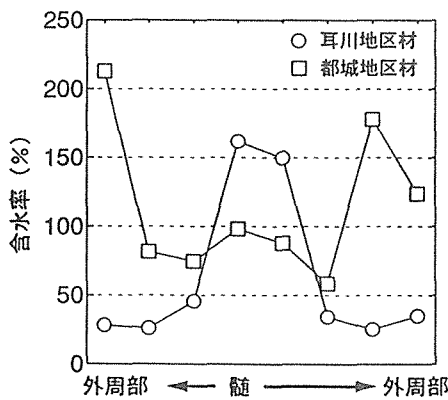


図-1 丸太横断面の半径方向含水率分布

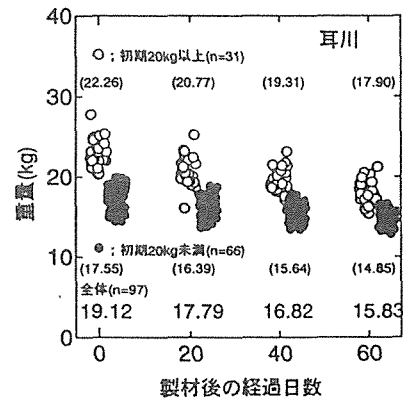


図-2 製材品の天然乾燥経過

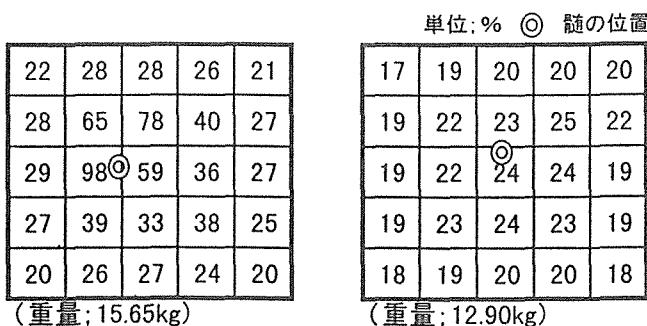


図-3 柱材横断面内の含水率分布

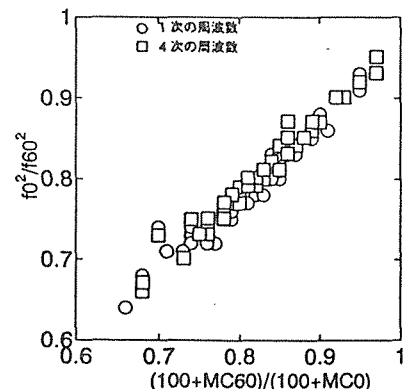


図-4 固有振動周波数の比と含水率の比の関係

2 乾燥前の選別

2.1 建築用スギ柱材の生材比重区分による乾燥効率の向上

岐阜林セ ○富田 守泰、杉山 正典

〔目的〕 スギ柱材乾燥が困難な理由の大半は、含有水分が高く、しかもその値は材によりばらつきが大きいことであるとされている。そこで、被乾燥材の生材比重測定により材を区分することで、乾燥材のばらつきを防止し、さらには効率的な乾燥方法の可能性を検討した。

〔試験方法〕 供試材は岐阜県林業センター下呂実験林、同一林分内の11品種合計74本（胸高直径16～25cm）の一番玉4m材を使用し、製材前に両木口から50cm鋸断し供試した。丸太比重算出のため、末元口径と重量測定をし、12cm正角に製材、背割りを入れた。柱生材比重および含水率測定のため重量計測した後、乾燥スケジュール（初期 DBT64℃-WBT62℃、終期 DBT78℃-WBT58℃）にて含水率15%を目標に乾燥した。

〔結果〕 (1) 含有水分のとらえ方：含水率値により含有水分をとらえる方法では、その値が大きくなるにしたがい個々の容積密度差による含有水分の差が大きくなる。一方、生材比重により含有水分をとらえる方法では、個々の容積密度差による含有水分値差は一定である。容積密度差による含有水分値の差は、含水率で100%までは含水率値による方法が、100%以上では生材比重による方法が少ない。実務上、スギ材のような高含水率材では生材比重による方法が適する。(図-1)

(2) 乾燥後含水率ばらつきの原因と防止：含有水分量の高い材ほど乾燥後の含水率にばらつきが出現する。したがって生材時に比重区分すれば乾燥後含水率のばらつきを防止することができる。さらには丸太比重でも大別が可能である。(図-2)

(3) 比重区分による乾燥効率向上：標準的な仕上げ含水率(25%程度)になるまでに高含水率材と低含水率材では約100時間の差がある。事前に区分することで、時間短縮の効果が得られ、乾燥効率の向上が期待できる。

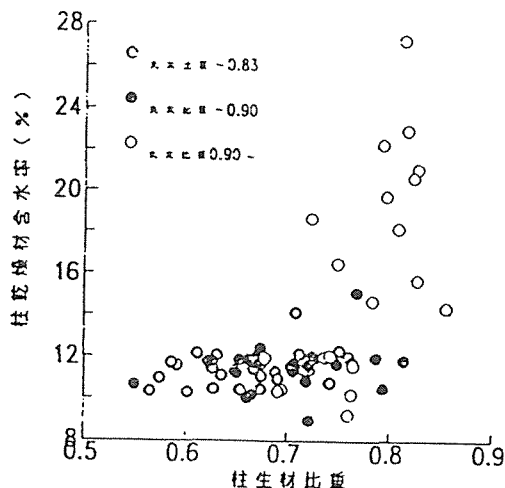


図-2 柱乾燥材含水率と柱生材比重

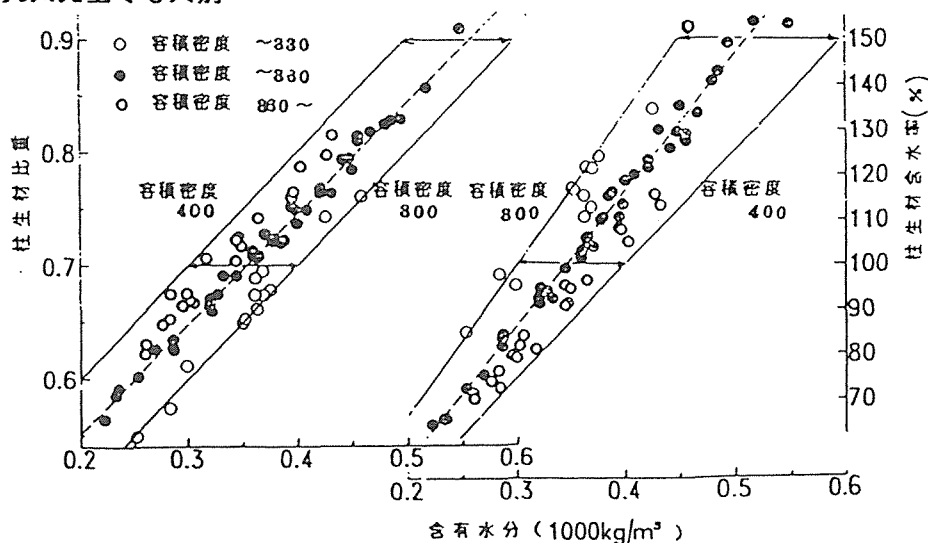


図-1 含有水分と比重、含水率の関係

2.2 電気伝導測定を使ったスギ生材選別の可能性

(森林総研) 黒田尚宏, ○鈴木養樹

〔はじめに〕 スギの生材含水率は、樹幹内の分布と値に大きなばらつきを持ち、このことが乾燥コストや乾燥材含水率のばらつきをはじめ、柱材乾燥における問題の主因となっている。したがって、人工乾燥工程を効率化するために、生材含水率による材選別が重要な前工程として認識され始めている。ところで、乾燥せずに含水率を選別するための簡易な指標としては、密度もしくは電気抵抗などの物理的指標が挙げられる。前者は材重量測定による、また後者は含水率計による選別法に繋がるものであるが、現在特に後者の可能性については十分に明らかにされているとは言い難い。そこで、この研究では、電気式含水率計（電気的特性の測定）を材選別に導入することの是非を、電気伝導性の生材含水率依存性の検討をベースに検証した。

〔実験方法〕 同一林分のスギ丸太33本（宮崎県高鍋町産）を使って、できる限り広い範囲の生材状態の含水率を得るために、辺材／移行材／心材のそれぞれから、小試験片（15×15×軸方向厚さ10mm）を切り出した。ついで、軸方向に電圧15V印加時の電流の経時変化を、生材状態と煮沸飽水した後に測定した。

〔結果のあらまし〕

(1) 図1に示すように、生材の電気伝導率と含水率との関係は部位によって異なる。辺材の電気伝導率は含水率約100%を越える範囲では含水率が大きくなっても増加しない傾向にあるが、一方心材では含水率300%に至る範囲において、電気伝導率の増加を認めた。また、黒心化が心材の電気伝導率を高める傾向にあった。

(2) 煮沸（熱水抽出）によって生材の電気伝導率は低下し、その低下率は黒心材で最大であった。また、電気伝導率と含水率との関係に、部位による相違を認めなくなった。他方、図2が示すように、イオンの濃度変化と関係する電流の経時変化率（電圧印加後1秒から100秒）は部位によって大きく異なった。これらのことは、生材の電気伝導には樹幹中のイオン分布が大きく関与することを裏付けるものと考えられる。

(3) 電気伝導率と含水率との相関は密度（生材重量／生材体積）と含水率との相関よりも低く、また熱水抽出することによって密度－電気伝導率間に、密度－含水率間と同様の相関関係が得られた。このことは、被測定指標が生材中の各種イオンに影響される限り、電気的測定による含水率選別よりも重量による選別がより有効であることを示唆している。

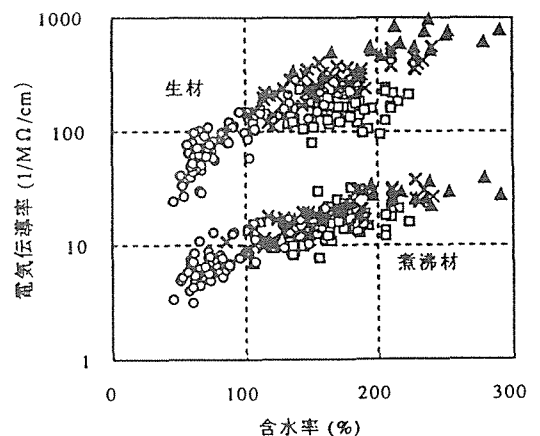


図1 含水率と電気伝導率との関係
(□辺材, ○移行材, ▲黒心材, ×赤心材)

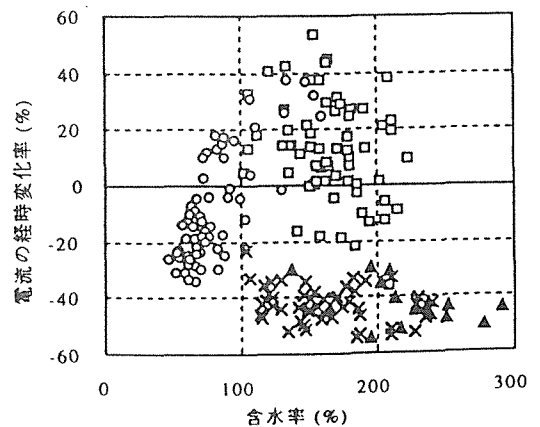


図2 含水率と電流の経時変化率との関係
(□辺材, ○移行材, ▲黒心材, ×赤心材)

2.3 乾燥が遅れるスギ柱材の選別方法に関する検討 (主に木口面画像の明度による評価)

(東大院農) ○信田 聡、(株式会社ヤスジマ) 安島 稔、明神光幸

【はじめに】建築構造材としてのスギ乾燥材の安定供給が望まれている。そのためには材質変動の大きなスギ製材に対処できる乾燥技術・周辺技術の導入が急務である。乾燥前の選別もその一つであり、あらかじめ乾燥が遅れる製材を選別できる技術が付加できれば乾燥材の品質安定、低コスト化に大いに寄与する。本報告では、乾燥が遅れる製材を予測・選別するための手法として光学的手法、木口面の画像情報(明度情報)を用いることの可能性を検討した。

【実験方法】(1)試験体：スギ柱材(高周波減圧乾燥を経て1ヶ月室内放置しておいた乾燥材、寸法：120mm角、長さ3.3m)の中から乾燥が遅れた4本を抽出した。この3.3m長さの乾燥材を長さ方向に5等分しさらに短い試験体(長さ200mm)を得た。これを本試験において木口面画像を得るための試験体とした。この時点で試験体端部から採取した小切片により試験体の全乾法含水率を推定した。

(2)木口面画像情報採取について：試験体は20℃、65%RHの恒温恒湿室内でさらに1ヶ月養生した後、木口面のカラー写真を一般の一眼レフカメラ(MINOLTA α5xi)にて撮影した。得られたカラー写真をスキャナー(EPSON GT-9500)を用いて解像度360dpiにて取り込み木口面画像を得た。

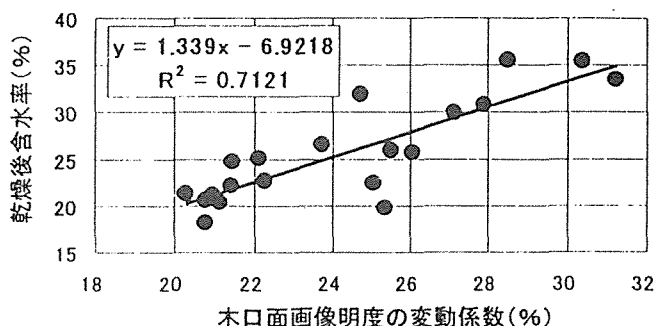
さらに画像のカラー情報を削除し、白黒画像とし、明度の自動レベル補正(最も明るい画素を255、最も暗い画素を0と置き、0(黒)~255(白)階調の中に均等配分)して白黒画像を得た。一連の画像処理は画像処理ソフト(adobe社のphoto shop5.5)を用いた。

【結果と考察】第1図に木口面画像内の明度のバラツキ、すなわち明度平均値および明度の標準偏差から得られる変動係数(=明度の標準偏差/明度平均値×100%)と、前項(1)で求めた乾燥後含水率との関係を示す。

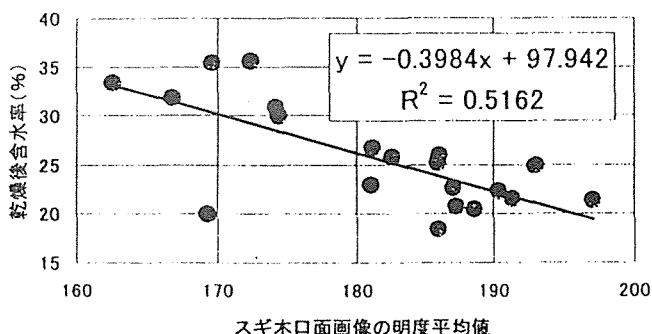
高い正の相関(相関係数(r)=0.844***、有意水準0.1%で相関有り)が認められた。木口面画像には、年輪情報、特に春/夏材の割合や色の違い、また辺/心材の割合やその色の違い、切断時の挽き肌の状態や面の荒さ、場合によっては割れ、節その他欠点等、乾燥性に関係がある材の情報が明度の濃淡(明度の変動)となって画像に総合的に反映される。すなわち木口面内の明度の変動=材質の総合的情報をザックリつかむこと、が乾燥性を評価するために有効である可能性が高い。もちろん心材率や、年輪幅といった個々の材質情報と乾燥性の関係も認められるが、いずれも決定的な指標にはなりにくい。

第2図、第3図に明度平均値、明度の標準偏差を個々に乾燥後含水率との関係を示した。第1図の明度の変動係数との関係に比較して相関は低かった。さらに心材率、平均年輪幅と乾燥後含水率との関係も、明度の変動係数との関係と比べて低い相関であった。

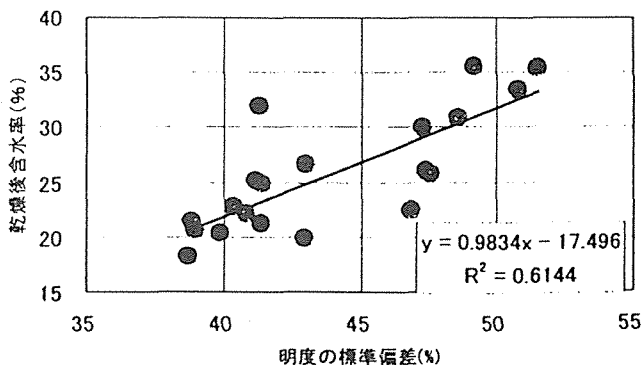
現在、乾燥前の生材時の木口面の明度情報と乾燥性の関係を検討している。もし画像解析による難乾燥材の推定が可能であれば、それを用いた難乾燥材選別システムは比較的容易・安価に導入可能であると思われる。



第1図 スギ木口面の明度の変動係数と乾燥後含水率の関係



第2図 スギ木口面画像の明度平均値と乾燥後含水率の関係



第3図 明度の標準偏差と乾燥後含水率の関係

3 前処理技術

3.1 スギ材乾燥のための前処理技術

森林総合研究所木材利用部

加工技術科長 久田 卓興

1. はじめに

大手住宅メーカーやプレカット工場を中心に、乾燥材のニーズが一段と高まっている。しかし、国産のスギ材については乾燥に時間がかかり、乾燥経費が高つくことから、なかなか人工乾燥材が普及しない状況にある。

スギの乾燥が難しいのは主として含有水分の多いことによるものであり、これを他の材と同様に短時間かつ低コストで乾燥しようとするのは困難である。そこで、木材の流通、使用部材別の必要とされる品質、需要者の嗜好などを総合的に勘案して、適する乾燥方法を見出していく必要がある。その一つが乾燥の前処理技術の導入で、これを天然乾燥や蒸気式乾燥など各種の乾燥方法と組み合わせる方法が考えられる。

人工乾燥の前処理技術には、あらかじめ含水率を低くしておく考え方のものや、水分の移動性を改善しようとするもの、乾燥中の損傷の発生を防いで急速乾燥に耐えられるようにしようとするものがある。平成9年に設立された林野庁所管の「木材乾燥低コスト化技術研究組合」においても、この前処理技術の開発と実用化が大きな目標の一つとされており、仕上げ乾燥を含めて総合的な取り組みが行われている¹⁾。

2. スギ材乾燥の経費と低コスト化

スギ柱材の乾燥コストは一般には一立方メートルあたり1万円前後とされている。しかし、この数値は厳密な原価計算によったものではなく、たまたまユーザーと生産者の希望価格が折り合ったところと見るべきであろう。乾燥コストとしては

設備償却、人件費、燃料費等の直接経費のほか、乾燥による歩減り、不良品のハネ、地代など様々な経費が必要である。このうち、直接経費は現状で約9千円であるが、乾燥方法によっては7千5百円ぐらいまでのコストダウンは十分可能と考えられる。これをさらに下げる目的で各種の前処理方法が検討されている。

3. 原木段階での前処理

人工乾燥は製材後に行うのが一般的であるが、少しでもこれを容易にするため、原木状態で乾燥を促進する方法が昔から色々工夫されている。

1) 葉枯らし

枝葉を付けたまま林内に放置する方法であり、2～3ヵ月の処理で原木重量の10～30%に相当する水分を除去することが出来る。ただし、含水率減少は辺材部に限られているため、主として心材部使う柱材ではその有効な活用が見いだされていない。たとえばスギ心持ち柱材の場合、葉枯らし材は表面付近の辺材部の含水率のみが低くなっているため、製材後人工乾燥する際に、割れの発生を防ぐことが難しいといった問題がある。これに対しては、葉枯らし効果を有効に生かせるような新しい乾燥方法の開発が必要である。

2) 原木乾燥

原木を皮付きのまま土場に放置しておく、それだけでもある程度含水率が低下する。3ヵ月放置すると含水率が1割くらい低下すると言われている。さらに積極的に乾燥を促進させるためには、丸太と丸太の間に空間を作って積み上げたり、皮を剥ぐ方法がある。

丸太のまま人工乾燥するのは、普通は割れ発生

を防ぐことが困難である。このため、割れが出ない程度に乾燥しておいて、製材後再び乾燥する方法が一般的である。皮付き丸太を燻煙炉などで処理する方法は、製材時の挽き曲がり防止と、含水率減少の二つの効果を目的にしている。スギ材の処理例として、炉内温度120～160℃、処理時間3～4日で、含水率50～70%まで乾燥させるのがある。こうした処理については、その後の人工乾燥を含めて経済効果を明らかにする必要があるが、現状では処理炉の種類や価格が様々なため評価が難しい。

4. 乾燥前の材の仕分け

木材乾燥では材質的に差のある木材と一緒に乾燥すると、全体を均一な含水率にそろえるのに時間が長くなる。このため乾燥室へはなるべくそろった材を入れるのが基本である。しかし、スギは材質的なばらつきが大きく、入荷ロットで区分けする程度では対応が不十分である。特に高温乾燥などで乾燥時間を短縮しようとする、この問題に直面する。図1は乾球温度100～110℃の高温乾燥で約4日間乾燥した材の、初期重量と乾燥後の含水率（含水率計による測定値）との関係である。初期重量22kg以下の材は含水率25%以下に仕上がっているが、それ以上の材にはまだ含水率が高いものが残っている。実験データによると含水率30%の材でさらに約1日、40%の材でさらに約2日余計に乾燥時間をかける必要がある。

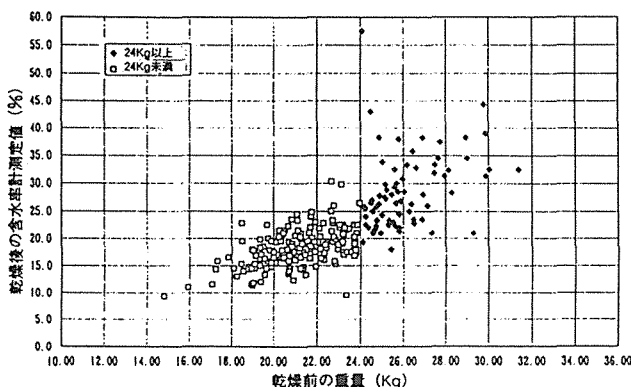


図1 高温乾燥したスギ柱材（114mm角、長さ3m）の乾燥前の重量と乾燥後の含水率（含水率計による）との関係²⁾。

乾燥前の材の仕分け方法としては、含水率で区分けする方法と、重量で区分けする方法が考えられる。既存の水分計（ケットMOCO-2）を用いて区分けを行った実験例では、重量による選別の方が良い結果が得られている²⁾が、計器の性能によっては異なる可能性もある。基本的にどちらの方法が優れているかは今後の研究を待たねばならないが、重量による選別方法はそれなりに効果があり現場へは適用しやすい。

5. 予備乾燥的な前処理

本乾燥の前に別の装置であらかじめ含水率を下げておく方法である。

1) 予備乾燥室の利用

倉庫のような低温の大型装置で含水率30～50%まで乾燥する方法で、本乾燥の設備の有効利用、人工乾燥のスタート時の含水率の均一化、乾燥作業の単純化、乾燥材の品質向上に有効である。我が国でもこの種の装置が作られたことがあるが、設備費を安くすることに主眼がおかれ、十分な効果が得られなかった例が多い。温湿度の管理、送風量の確保、壁体の断熱性などについて、適切な設備設計が必要とされる。

2) 蒸煮・減圧処理

蒸煮により木材を加熱した後に減圧すると、木材中の水分を急速に蒸発させることが出来る。この方法は短時間で木材含水率を下げる有効な方法であるが、一回の処理で下げうる水分量はそれほど多くなく、含水率を低くしようとする処理を繰り返さなければならない。また、減圧時には材温が低下し、2回目の加熱以降は材に水蒸気が凝縮して吸水するので、複数回繰り返しても含水率は30～40%まで下げるのが限界である。

3) 高温加熱処理

高温高湿の過熱蒸気で木材を加熱し、木材を軟化させて割れにくくするとともに、この間にある程度乾燥を促進させようとする方法である。压力容器を用いて、温度と圧力を適当に調整することにより一般の高温乾燥よりもさらに高い温度で乾燥処理を行うことが出来る。これを乾燥の前処理

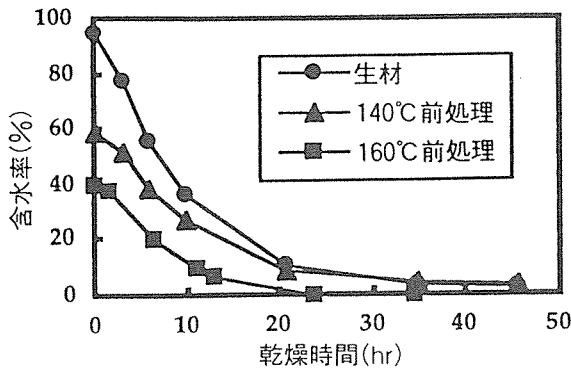


図2 過熱蒸気で前処理したスギ柱材(115mm角)の乾燥経過³⁾。(温度140℃の恒温器で乾燥)

に利用すると、予備乾燥効果のほか、処理後の人工乾燥における割れの防止に効果がある。しかし、適正処理条件やその効果はまだ十分明らかにされている訳ではなく、装置を含めた研究開発が必要である。

4) 横圧縮処理

木材は横方向にかなり強く圧縮しても破壊しない特性がある。一方、含水率の高い木材は、圧縮によって水が絞り出されるようにして材外に出て

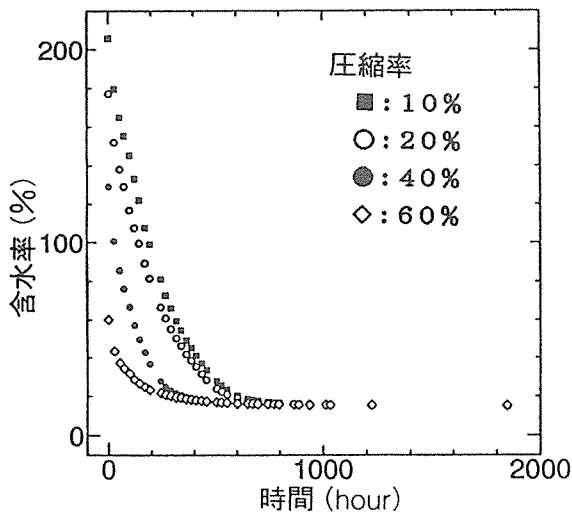


図3 横圧縮処理したスギ材の乾燥経過⁴⁾。(幅6cm、厚さ4cm、20℃、RH60%で乾燥)

くるため、これを利用して人工乾燥における初期含水率を下げ、乾燥時間を短縮しようとするものである。また、圧縮によって木材に縮み方向のひずみ残り、これがその後の乾燥過程で心持ち材の割れ防止に効果を発揮する可能性がある。

5) 燻煙処理

木工機械No181

廃材を燃料にした燻煙炉の中で原木を加熱し、含水率を下げる方法で、すでに原木乾燥のところで述べた。この処理の特徴は安い燃料が利用できること、成長応力が除去されて製材時の挽き曲がりが少なくなること、その後の乾燥で割れや狂いが減少することなどである。しかし、材料によって処理条件が大きく異なり、品質管理が難しい問題点がある。

6. 乾燥速度を速めるための前処理

処理によって木材中の水分の移動性を改善しようとする方法である。

1) 爆砕処理

木材繊維をバラバラに破壊する爆砕法を、これより緩い条件で行うことにより、細胞壁孔などの弱い部分を破壊し、水分通導性を改善しようとするもので、局所的低圧水蒸気爆砕処理と呼ばれている⁵⁾。処理が強いと、壁孔以外の部分も破壊してしまうため、適度な処理を何回か繰り返す必要がある。乾燥方法によって異なるが、乾燥速度を著しく増加できる例も報告されている。しかし、まだ実用レベルまでには至っていない。

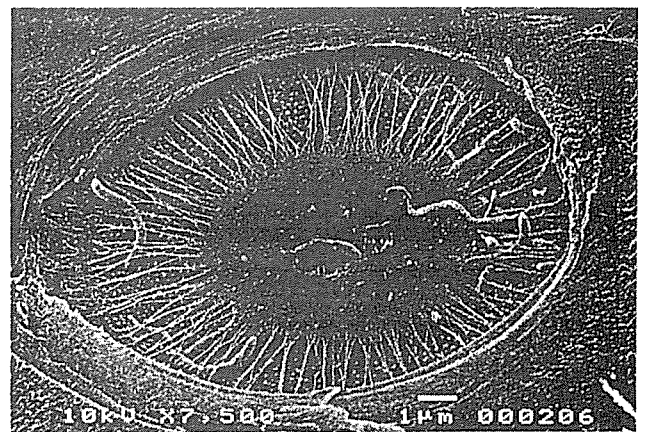


図4 6ヶ月水中貯木したスギ辺材のトールス中央に開いた穴と細菌⁶⁾。

2) 細菌処理

長期間水中貯木すると細菌によって壁孔が破壊され、水分通導性が改善されることが報告されている。しかし、この方法は長期間放置するためのスペースの確保が問題である。そこで、これを解決する方法として、水中細菌を立木に注入する方

法も検討されている。処理効果として、乾燥速度が二倍ぐらいに増加するとの報告もあるが、まだ研究段階にある。

7. 損傷の発生を抑えるための前処理

前処理によって割れや狂いを阻止することは、見方を変えれば急速乾燥に耐えられるようにすることでもある。なお、ここで挙げた処理の中にはすでにこれまでに示したものも含まれている。

1) 蒸煮及び高温加熱処理

心持ち材を高含水率の時期に高温で加熱すると、軟化して成長応力の緩和が起こり、材の表面付近では圧縮応力が増大し、内部には強い引っ張り応力が存在する状態が作られる。この処理を強くすると樹心部分に割れが発生するが、これによって以後の乾燥における表層の引っ張り応力の発生が弱められ、表面からの割れを生じ難くする効果がある。この操作は材の種類に応じて温度や処理時間を適宜コントロールすることが大切である。

2) 横圧縮処理

柱材の側面を4方向から強く圧縮して塑性ひずみを与えておくことにより、以後の乾燥過程で表層付近に生じる引っ張り応力を軽減させようとするものである。加熱状態でしかも乾燥過程で圧縮する方が効果が高いが、そのためには特殊な設備と熱が必要になる。

3) 薬剤処理

木材の収縮を少なくするため各種薬剤を塗布あるいは注入する方法があり、色々な方法が考えられている。しかし、コストが高くつくことや、薬剤の安全性の問題等があり、実用化は進んでいない。

4) インサイジング処理

インサイジングの幅が少しずつ広がることにより、大きな割れの発生を防ぐ効果をねらったものである。しかし、乾燥処理の方法によってはインサイジング処理がかえって弊害になる場合がある。インサイジングの形状や乾燥条件などの検討が必要である。

8. 前処理技術の有効な活用法

前処理技術の導入によるコストダウンの考え方は、一つは高価な装置であってもこれを短時間だけ使うことによって、その後の乾燥工程で良い効果を生み出すことである。また逆に、安い装置やエネルギーを使って、あらかじめ含水率を下げしておく考え方もある。いずれにしろ、一工程で処理する方法に比べ、トータルの処理時間はある程度長くなることを覚悟する必要がある。製材後、乾燥材として出荷され使用されるまでの流通時間を適正にコントロールすることによって、製品の品質と乾燥経費とのバランスをとる考え方が不可欠になってくる。

乾燥材生産をきわめて短時間で行おうとすると設備及び乾燥コストの面で無理が生じる。前処理、天然乾燥、仕上げ乾燥を適当に組み合わせ、実情に応じてたとえば2週間、あるいは3週間、4週間といった生産サイクルを確立するのが現実的な方法と思われる。そのための乾燥方法は、非常に多様にならざるを得ないが、すでにいくつかの先進工場ではこうした取り組みが進みつつある。木材乾燥低コスト化技術研究組合での取り組みも大いに期待される場所である。

文献

- 1) 香山彊：木材工業、52(12)、623-625(1997)
- 2) 大分県：大分県産スギ乾燥材生産技術マニュアル、29-54(1998)
- 3) 小林功ら：第47回木材学会大会要旨、163(1997)
- 4) 飯田生穂ら：第44回木材学会大会要旨、288(1994)
- 5) 金川靖：木工機械、No180、9-12(1998)
- 6) 太田章介ら：第48回木材学会大会要旨、145(1998)

3.2 前処理技術の有効性 (蒸煮熟処理の効果)

森林総合研究所
齋藤周逸

はじめに

建築用針葉樹の処理、すなわち構造用木材の工業材料化を図る動きが本格化してきた。そのなかでも素材としての蓄積量が増加傾向にある国産針葉樹であるスギ材の乾燥対策が問われている。スギ材を工業材料として認知させ一般的に普及するためには乾燥処理が不可欠であることは言うまでもない。

1. スギ材の乾燥前処理技術

近年の木材学会では各部門で広くスギに関する研究が目立っている。乾燥部門ではスギの人工乾燥で問題となっている乾燥日数の短縮、欠点発生軽減等をねらった試験研究が行われている。

スギ材の乾燥日数短縮および欠点発生軽減方法として人工乾燥前に何らかの処理を行うという取り組みが数多く行われている。たとえば、丸太の段階では葉枯らし等による含水率の低減、製材品の段階では材の選別、表面割れを抑制させる機械的な加工、そして常圧下、加圧下における蒸煮熟処理等が挙げられる。

2. 前処理をしたスギ柱材の人工乾燥

ここではスギ心持ち柱材に背割り加工を行い、含水率で選別し、乾燥前に蒸煮熟処理を行うという3段階の前処理工程後、標準的な蒸気式の乾燥温度範囲で人工乾燥を行った場合の試験例を紹介する。

2.1 試験材および試験方法

スギ心持ち柱材を用いて人工乾燥スケジュール試験を行った。この試験では乾燥機に入れた時点で乾燥前の初期蒸煮熟処理を行う材、同様の初期蒸煮熟および中間蒸煮熟を行う材、そして蒸煮熟処理を行わない材で乾燥性を比較した。

供試材は栃木県の製材工場で生産されている一丁取り製材の心持ち柱角(材長3m, 断面寸法114×114mm)である。この断面寸法は乾燥、修正挽き後の最終寸法を105×105mmを見込んでいる。これら柱材の平均含水

率は84.0% (標準偏差23.4%, n=304), 平均気乾密度は0.38 (標準偏差0.04, n=62) であった。

試験材長は試験用に80cmとした。これは処理別に試験材が長さ方向で連続するようにしたためである。両木口はシリコンコーキング剤でコーティングをした。

今回の試験には当所で背割り加工を行い、このうちから含水率が平均値±1σの標準偏差範囲内に含まれる32本を無作為に選別した。

人工乾燥スケジュール試験は第1表の含水率スケジュールに従って行った。このスケジュールは蒸気式の乾燥装置を想定している。

初期蒸煮熟は生蒸気を送り込むことで行い、処理温度は85±5℃とし24時間行った。中間蒸煮熟は同じ方法、温度条件で行い、処理時間は蒸煮熟温度が材の中心まで達する5時間とした。

含水率の減少経過および収縮経過は含水率コントロール材および他の含水率域の材5本を適宜測定することで行った。乾燥時間はいずれも1週間と限定した。

乾燥後の柱材表面の材色を処理毎に携帯用の色差計で測定した。比較のために天然乾燥で気乾状態にした材の値も測定した。

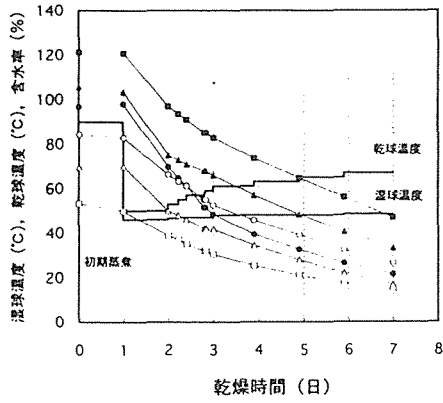
第1表 背割り材の乾燥スケジュール

含水率 %	乾球温度 ℃	湿球温度 ℃	乾湿球温度差 ℃	平衡含水率 %	関係湿度 %
生材時	50.0	46.0	4.0	14.1	80
70~65	51.0	46.3	4.7	12.7	77
65~60	53.0	46.6	6.4	11.5	70
60~55	55.0	47.0	8.0	9.8	64
55~50	57.0	47.0	10.0	8.6	58
50~45	59.0	47.3	11.7	7.7	53
45~40	61.0	48.0	13.0	7.2	49
40~35	63.0	48.0	15.0	6.4	44
35~30	65.0	48.0	18.5	5.4	37
30~25	67.0	48.5	18.5	5.4	37
25~20	69.0	49.0	20.0	4.9	35
20~	70.0	48.0	22.0	4.4	31

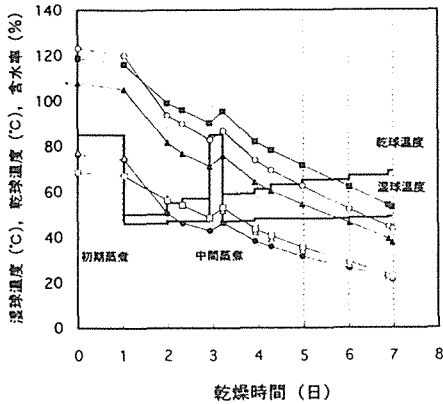
2.2 試験結果

2.2.1 乾燥速度

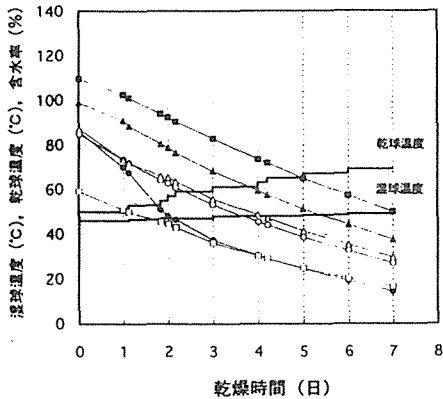
第1図は初期蒸煮熟を24時間行ったスギ柱材の乾燥経



第1図 初期蒸気処理材の乾燥経過



第2図 初期・中間蒸気材の乾燥経過



第3図 蒸気を行わない材の乾燥経過

過である。第2図は初蒸気24時間および中間蒸気処理を行った材の乾燥経過、第3図は蒸気処理を行わない材の乾燥経過である。

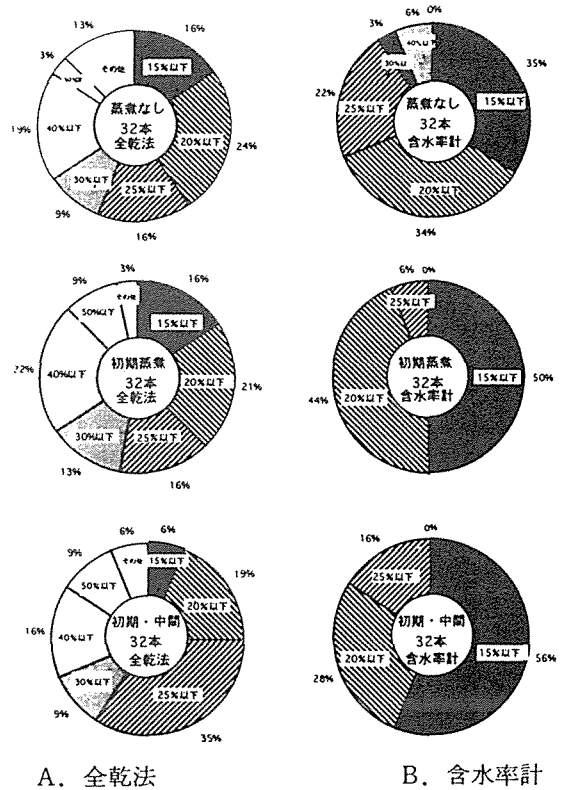
これらの図から、初期蒸気を行ったものは行わないものに比べ乾燥初期の乾燥速度が速くなったことが乾燥経過の傾きから判る。乾燥途中に中間蒸気を加えた場合は処理中に含水率の上昇がみられた。中間蒸気後の乾燥は含水率が上昇した分の水分が速やかに乾燥された後は初期蒸気のための乾燥曲線にしたがった。

2.2.2 仕上がり含水率

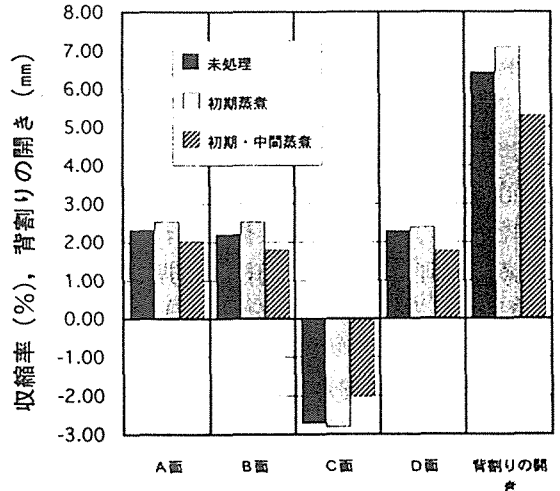
第4図は乾燥終了時の仕上がり時の含水率の値の割合を示す。処理も含めた7日間の乾燥で32本の全乾法による平均含水率の差はみられなかったが、初期・中間蒸気処理を行った試験材には含水率状態が低い傾向がみられる。このように、スギの柱材は蒸気処理を行うことで乾燥促進効果が見込まれる。

2.2.3 寸法変化

寸法の変化は次の通りである。初期蒸気の処理中は背割りがほとんど閉じてしまい、その他の面は約0.5%の膨潤をおこした。その後、乾燥が進むにしたがって、徐々に元の寸法に戻り、背割りは開き始め、その他の



第4図 処理別の仕上がり含水率の割合



第5図 各処理別の収縮率の差

面は収縮に転じていった。

中間蒸煮ではその処理中に初期蒸煮と同じような現象がみられた。中心処理後は数時間で含水率は元に戻るが、寸法は収縮が抑制される傾向がみられた。

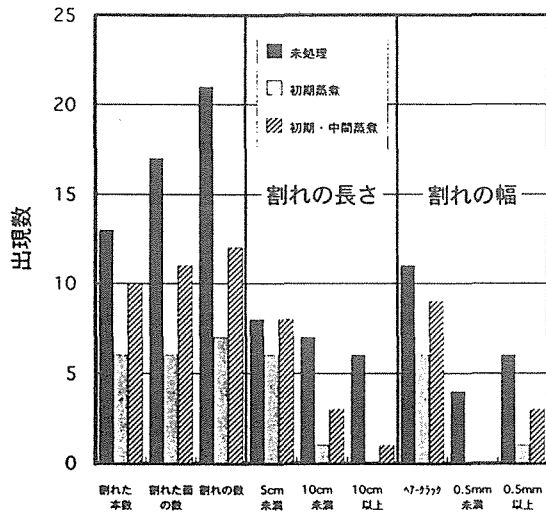
乾燥終了時の寸法は、第5図にみられるように初期蒸煮処理のみの試験材の変化率が大きく、中間蒸煮を行ったものの変化率が小さかった。これは中間蒸煮時の収縮抑制効果があったことによるものと思われる。

今回の中間蒸煮は1回のみであるが数回繰り返すことで、収縮抑制効果は大きくなる可能性がある。

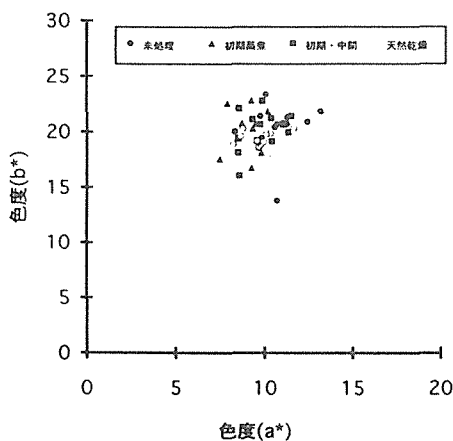
また、背割りの開きが少ない初期・中期蒸煮処理材はその後の再加工時の歩留まりが向上すると思われる。

2.2.4 欠点の発生

各処理別の割れの発生状況を第6図に示す。割れ等の欠点は蒸煮処理した材は、背割り面を除く96材面中の6面、初期・中間蒸煮をした材は11面に蒸煮を行わない材は17面に現れた。それらの割れの長さ、幅の程度は処理による差がみられ、蒸煮を行わない材は5cm



第6図 処理別の欠点発生状況



第7図 乾燥処理の違いによる柱材表面の色度

以上の割れが13カ所と比較的大きい割れが出現した。

このように蒸煮処理を行うことで割れ欠点が少なくなった。このことは乾燥材としての品質の安定および乾燥時間を短縮するための乾燥スケジュール改良の可能性を残している。

2.2.5 材色

ここでは、材色を初期蒸煮、初期・中間蒸煮、蒸煮を行わないそれぞれの人工乾燥材および天然乾燥材と比較した。試験に使用した柱材は実際には105×105mmに再加工される。したがって、材色の測定はプレーナー掛けを行い再加工時の寸法にしてから行った。その結果、生材よりは黒くくすんだ色に変化するが、第7図にみられるように人工乾燥の処理の差および天然乾燥と差は明確ではなかった。これは統計的にも差はないことが証明された。

このように、今回のような加熱処理時間では表面から数mmの浅い材内部でも大きな変色は起こらないと考えられる。

2.3 まとめ

これらのことから、スギ心持ち柱材を標準的な温度で人工乾燥する場合には、乾燥前に高温の蒸煮処理を加えることで乾燥速度の向上、割れ等欠点発生抑制および寸法変化の抑制ができるものと考えられる。そして、乾燥途中に中間蒸煮を行うことでこの効果が上がる可能性が見込まれる。また、この処理効果はすべての断面のスギ製材品に共通して現れると考えられる。

今後は乾燥時間の短縮、および収縮抑制効果を確認するために初期蒸煮、中間蒸煮の時間および中間蒸煮の回数等を検討する必要がある。また、このような乾燥工程をたどった材の気乾状態における寸法変化、強度性能等の試験研究データの蓄積が必要と思われる。

おわりに

ここでは背割りスギ柱材の人工乾燥前および乾燥中の蒸煮処理の試験例を挙げた。現在、スギ材の乾燥技術を向上させていく目的で多くの乾燥前処理技術の試験研究が行われている。そして、いずれの技術もその有効性が見いだしている。もちろん、これらの乾燥技術はスギ材に限らず他の建築用針葉樹材にも当てはまるものと考えられる。

今後はこれら前処理技術とその後の乾燥法との組み合わせを行っていくことで最善の乾燥工程が生み出されると考えられる。そして、部材として工業材料化された針葉樹木材の普及が進んでいくものと期待される。

3.3 蒸煮減圧処理材の乾燥特性 (スギ製材における乾燥速度)

熊本林研指 池田元吉

1. はじめに

スギ柱材の乾燥前処理として蒸煮減圧処理の効果の検討を進めている。同処理は、その方法から処理ムラの小さい熱処理であること、減圧により含水率が減少ならびに均一化することから、仕上乾燥に必要なエネルギーの低減および乾燥材の仕上がり品質向上が期待される。今回は、処理材と無処理材の乾燥経過観察から、乾燥速度について検討した。

2. 実験方法

供試材には熊本県産の 13cm×13cm×3m の心持ちスギ柱材 20 本を用いた。無作為に 10 本を選び蒸煮減圧処理し、残り半分を無処理とした。両者を 1998 年 7 月から天然乾燥し、材の重量測定から含水率の経時変化を算出した。

3. 結果と考察

図-1 に含水率の経時変化を示す。乾燥速度を比較するために、図の経過時間 20 日時点の含水率が 20% から 30% の材について、含水率が 30% から 20% に減少するのに要した所要時間 (DT) を求めた。比較に用いた本数は処理材 5 本、無処理材 4 本で、図では白抜き凡例で示した。DT は経時変化データから算出した回帰式により求めた。DT の平均値は処理材が 24.0 日 (標準偏差 2.5)、無処理材が 18.5 日 (標準偏差 2.5) で、平均値に差がみられた。次に、DT と材の心材率 (HWR)、平均年輪幅 (ARW)、天然乾燥の初期含水率 (MCa)、動的ヤング率 (Ed)、全乾重量 (Wo) との関係を検討した。DT と HWR、ARW との間には処理、無処理材ともに相関関係はなかった。処理材では DT と Ed (0.72*) ならびに Wo (-0.68*) との間に、無処理材では DT と MCa (0.80**) との間に相関関係があった。

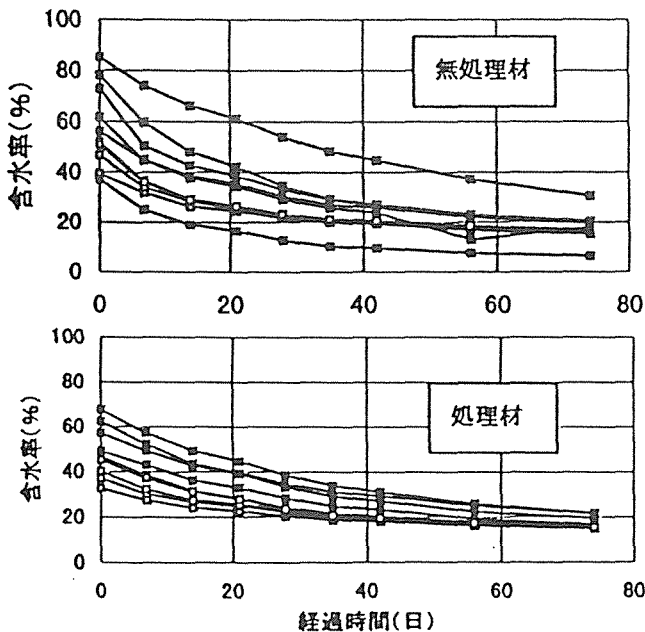


図-1 天然乾燥中の含水率の経時変化の一例

図-2 に MCa と DT との関係を示す。図中、塗りつぶした凡例は DT の比較に用いた材である。無処理より処理材の DT の方が全体的にばらつきが小さく、人工乾燥においては乾燥時間短縮につながると推察された。

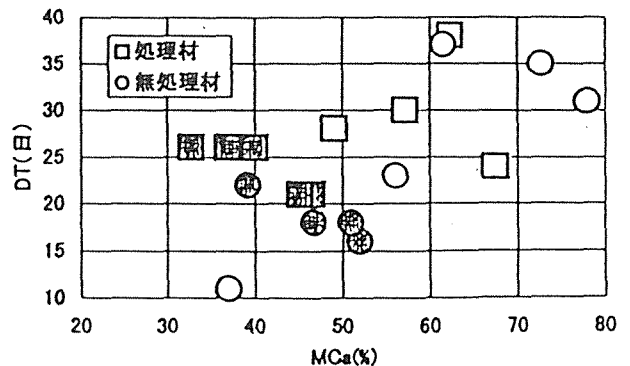


図-2 天然乾燥における初期含水率と含水率 30% から 20% への乾燥所要時間との関係

3.4 スギ心持ち柱材乾燥の前処理としての高温加熱・減圧

(森林総研) ○小林功、齋藤周逸、久田卓興
(熊本林指) 池田元吉 (香川工技センター) 大北一也

【目的】

スギ心持ち柱材の乾燥時間の短縮とコストの低減を目的に、人工乾燥の前処理としての高温加熱・減圧処理の効果を検討した。

【実験方法】

試験材には11.5cm角、長さ2mのスギ心持ち柱材を用い、金属製の容器の中で蒸気および高周波によって、90℃または120℃まで加熱したのち減圧した。この前処理の後、試験材を長さ80cmに鋸断し、木口をシリコンでシールしてスケジュール試験に供し、乾燥速度、割れの発生具合等への前処理の効果を調べた。

処理方法は、まず蒸気により缶内温度を目標より約5℃低い状態に保ち、高周波によって材温を90℃または120℃まで上昇させた。90℃処理では約6時間、120℃処理では約3時間加熱した後、圧力70torrまで1～2時間かけて減圧した。乾燥スケジュールは初期温度80℃、温度差3℃で始め、含水率60%から5%ごとに温度差を開き、最終条件を90℃、温度差15℃とする通常よりきつい条件を用いた。

【結果・考察】

120℃処理材(無背割り)のスケジュール試験経過を図1に示す。初期含水率80%の材を平均20%まで乾燥するのに11～12日を要した。前処理によって乾燥速度はやや大きくなる傾向があるようである。無背割り材の乾燥割れの結果を表1に示す。90℃処理と120℃処理であまり差が見られなかったものの、表面割れ木口割れともに加熱処理材は無処理材に比べて非常に少ないことがわかる。この乾燥日数で無背割り材がほとんど割れていないことから、さらに乾燥条件を厳しくし、乾燥速度を上げることができるとと思われる。

以上のことから、この前処理はスギ柱材乾燥における割れの低減と、この特性を利用した人工乾燥処理時間の短縮に効果があると考えられる。

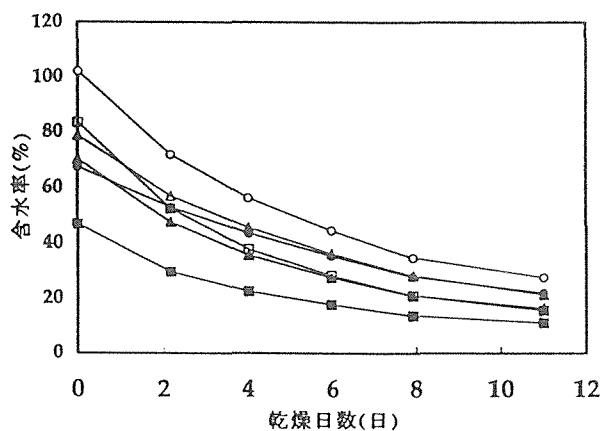


図1 前処理材(120℃)のスケジュール試験経過

表1 無背割り材の乾燥後の割れ

割れの種類		無処理材	90℃処理材	120℃処理材	
木口	べり割り	本数 (本)	5	0	0
		合計長さ (cm)	26	0	0
割れ	べり割り以外	本数 (本)	5	1	1
		合計長さ (cm)	123	16	20
表面	べり割り	本数 (本)	24	27	21
		合計長さ (cm)	165	116	121
割れ	べり割り以外	本数 (本)	15	2	3
		合計長さ (cm)	749	151	86

Effect of Pre-heating and Vacuum on Kiln Drying of Sugi Square Lumber
FFPRI Isao KOBAYASHI, Shuetsu SAITO, Takuoki HISADA
FRIS of Kumamoto Motoyoshi IKEDA, IRC of Kagawa Kazuya OKITA

日本木材学会40周年記念大会要旨集(1995年, 東京)

The 40th Anniversary Conference of the JWRS (April '95, Tokyo)

3.5 木材の透過性改善とその応用

高知大学農学部

教授 金川 靖

1. はじめに

木材を木材以上の材料にして使おうとする気運が高まっている。勿論、木材になにも手を加えずに使うのが、木材の良さを最大限に発揮させることは間違いない。しかし、優良材が少なくなり、また森林資源の枯渇が心配される現在では、木材の良さの一部が損なわれても、化学薬剤等により防腐性、防虫性、難燃性等の新たな機能を付与し、材質の改善や耐用年数を延ばすことが必要であろう。寸法安定性等のこれまでの化学処理は薄い材に限られていたが、先に述べた木材の高機能化は建築用の構造材を念頭に置いたもので、対象となる材料は比較的断面の大きな板材、柱材、梁材等となる。断面が大きくなると、単板を化学処理するのは全く異なった問題が出てくる。すなわち、化学処理するための薬剤を材の内部まで浸透させるのが非常に難しくなり、場合によっては表面層でさえ処理できなくなる。材中への液体あるいは気体の浸透のし易さを示すのが透過性であり、時には、通気性、浸透性などとも呼ばれる。

本邦産の植林スギ・カラマツの有効利用法の開発の一環として、5～7年前頃から、木材の透過性を向上させようとする研究が活発になってきた。これまでの透過性改善法と、最近の処理方法について説明し、透過性改善がどのような分野に応用されている、あるいは可能性があるかを考える。

2. 透過性改善法

透過性を改善しようとした試みは、木材保存の分野では非常に古くからある。今ではそのかなりの部分がコンクリート製に取って替られたが、材

面に規則的な傷のある真っ黒な鉄道の枕木や電柱を覚えておられる方も多いと思う。材面に傷を付けて透過性を改善する方法が、「従来型インサイジング法」と呼ばれるものであり、これまで唯一実用的に成果を上げた方法であろう。このインサイジング法の改良とともに、種々の透過性改善法の開発が試みられたが、従来型インサイジング法に替る実用的な透過性改善処理法は今だ確立されていない。

透過性改善の機構は、(a)材面に多数の細かい穴を開け良好な木口面からの透過性を利用する、(b)閉鎖壁孔や細胞壁を破壊し細胞間の連絡孔を新たに作り出す、あるいは(c)樹脂および沈着物を分解・除去し壁孔等の効果を増大させるの3つに大別されよう。

活発に研究開発されている透過性改善法を紹介し、特徴等を説明する。(a)の代表は、材面にかなり大きな傷を付ける従来型インサイジング法であるが、建築用材へのこの方法の適用は、材面の傷跡が外観性を大きく低下させるため不向きである。これの改良型として、レーザーで材面に細く深い穴をあける方法が東京農工大学の研究グループを中心にして開発されたが、実的にはレーザー発振器の耐久性や加工コストの点で問題がありそうである。(b)のグループに属するものに、湿潤状態で数十%の横圧縮変形を与え、壁孔や細胞壁に微細なき裂を発生させて透過性を改善する方法がある。京都府立大学の研究グループを中心とした研究であり、その後企業においても興味を持たれている。圧縮変形の回復過程でのスポイド効果で薬剤を吸引させるなど透過性改善効果は大きいが、実的に圧縮機械が大掛かりになるなど解決すべ

き問題は多い。(b)に属する研究として、蒸煮処理、局所的低压水蒸気爆砕処理等がある。後者は筆者らの研究グループが開発したもので、次節で詳しく説明する。いずれも蒸煮によって木材を熱軟化させ、湿熱処理過程で閉鎖壁孔を破壊し、透過性を改善しようとするものである。(c)の処理法は、壁孔自体あるいは壁孔に付着する樹脂分等の透過阻害物質を化学薬剤、微生物、酵素等により破壊あるいは除去しようとするものであるが、いずれも処理時間が長く、工業的な処理法とはいえない。

木材の透過性改善技術については、京都大学の今村氏の報告¹⁾ならびに拙著「木材の透過性改善技術とその研究動向」²⁾に詳しい。是非参考にされたい。

3. 局所的低压水蒸気爆砕処理³⁾

木材乾燥の前処理としてよく知られているスチーム処理を透過性改善の観点から見直したのが局所的低压水蒸気爆砕処理である。熱源として木材工業では常設のボイラーが利用できること、後に続く薬剤注入等と処理缶体が共用できる可能性があるなどの利点がある。

3. 1 処理機構

本処理法の基本原理は、昔懐かしい「ポン菓子(煎餅)」、土地によっては「バクダン」とも呼ばれているもの、すなわち湿った米を高温蒸気で蒸し、温度が十分上がったなら、一気に大気圧に戻し、熱軟化した米を上昇した内圧によって膨らませるのと同じである。「ポン菓子」が米を膨らませるだけなのに対して、本処理では大気圧への瞬間復圧時の材内外圧力差によって針葉樹の閉鎖壁孔を局所的に破壊し、透過経路を復活させ、透過性を改善しようとするものである。

処理装置の外観を図1に、また処理手順を図2に示す。図2に示すように、長時間加熱による材質劣化を抑制するために、加圧水蒸気による短時間の加熱の後、瞬間的に大気圧に復圧し、この処理手順を繰り返すことにより、材の損傷をできるだけ抑え、透過性を改善する。したがって、処

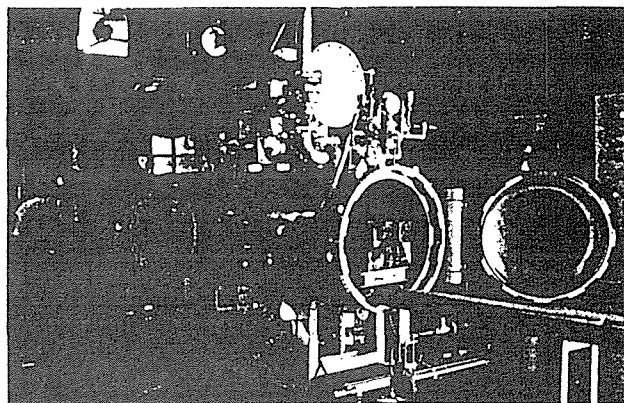


図1 局所的低压水蒸気爆砕処理装置の外観

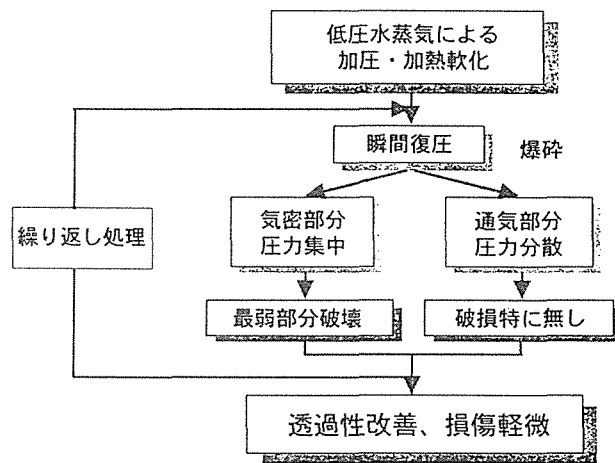


図2 局所的低压水蒸気爆砕処理の手順
 理条件は、蒸煮温度(圧力)、蒸煮時間、繰り返し数等によって設定し、比較的材質の低いスギ3 m 芯持ち柱材では次の条件がよいようである⁴⁾。

蒸煮温度 130℃

蒸煮時間 一回目 60分、二回目以降 15分
 繰り返し数 30回

最適処理条件は、樹種によって異なる。また、処理効果は木口面を通して現れるため、材種、特に材長によって処理の繰り返し回数を調整する必要がある。

3. 2 処理効果

本処理によりスギ材の閉鎖壁孔の局所的な破壊の様子を走査型電子顕微鏡で観察し、計測すると、無処理材より解放壁孔は10数%増加しているのが確認できている⁵⁾。また、スギ3 m 芯持ち柱材に防腐剤を注入した結果を図3に示す⁶⁾。スギ材の場合、材質のばらつきが大きく無処理材であっても十分な注入量のものもあるが、処理材では全体に注入

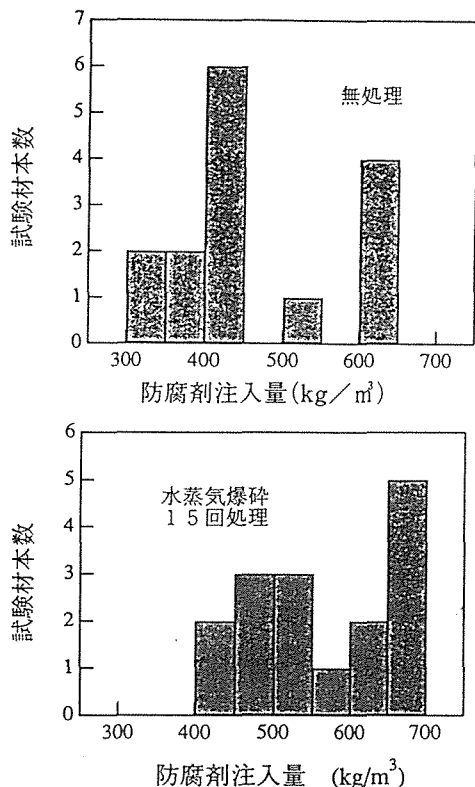


図3 局所的水蒸気爆砕処理による防腐剤注入量の増加 (スギ芯持ち12cm角材、材長3m)

量が増加し、ばらつきが少なくなっている。処理による強度低下は認められていない。

4. 透過性改善処理の応用

先に述べたように、透過性が改善されれば各種の化学処理が容易になるばかりでなく、薬剤の透過部位も均一となり、処理の均一性や染色における調色が容易になる。

透過性の改善を木材乾燥と関連づけてその応用の可能性を考える。透過性の改善は、木材中の水分等が移動しやすくなったことを示しているため、乾燥性の改善にもつながる。通常の高周波減圧乾燥において、含水率の高い範囲での自由水の乾燥性は材の透過性に依存することを報告したが⁷⁾、ここでは特に、絶対圧力の差によって主に材内の水分が移動し、乾燥性が透過性に強く依存する高周波減圧乾燥法⁸⁾での結果を示す。通常の高周波減圧乾燥の温度条件は40℃前後である。これは、乾燥による変色や損傷の発生を防ぐためと、この温度域でも十分な乾燥速度が得られるためである。局所的な低圧水蒸気爆砕処理を施した背割りなしスギ芯

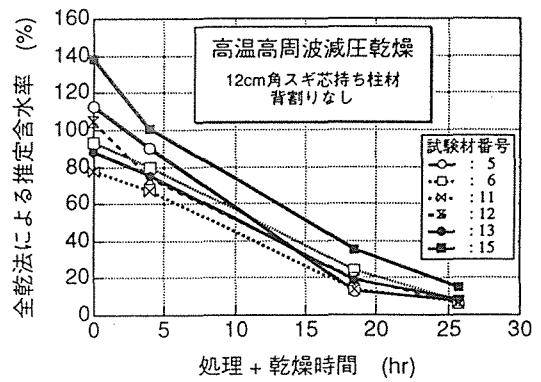


図4 無背割りスギ芯持ち12cm角材の高周波減圧乾燥経過

- ①: 低圧水蒸気爆砕処理 (乾燥前処理)
130℃、60分 + (5秒 + 5分) × 15回
- ②: 表層材温90℃、缶内圧力390~410torr
- ③: 表層材温90℃、缶内圧力250~270torr

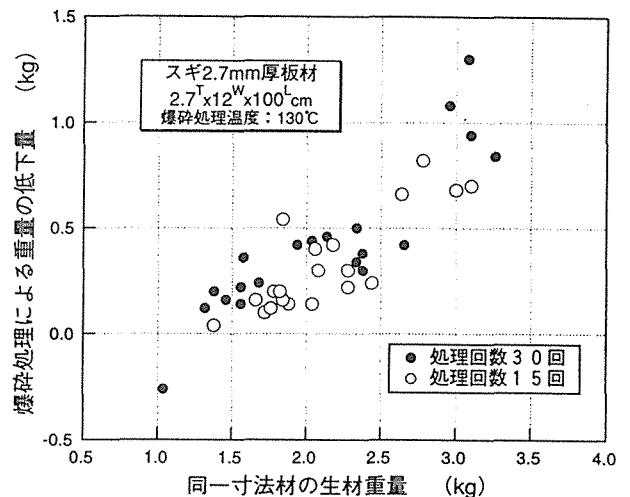


図5 処理による初期水分量の変化

持ち柱材の乾燥結果を図4に示す。乾燥条件は材表面温度を90℃一定としながら缶内圧力を390torrから270torrに低下させている。無処理材では材表面に大きな割れが発生してしまう乾燥温度でも、処理材ではほとんど割れが発生せずに急速乾燥ができる。図4に示す試験材では、試験材番号6で比較的大きな表面割れが1本発生したが、他の試験材では全く割れがないかあっても細かい割れが認められる程度であった。透過性改善によって、材内部での水分移動が活発になったことと、厳しい乾燥条件を与えても割れが発生しなくなった結果、図3に示すような超急速乾燥が実現できた。また、注目すべき他の点は、図4中の①で示す期間が透過性改善による乾燥前処理であるが、この期間の

含水率の低下速度は②③で示す期間の乾燥速度と同等またはそれ以上であり、本処理による脱水効果があることである。板材の用いてこの脱水効果を調べた結果を図5に示す。初期含水率約60%に相当する生材重量約1.3kg以上では脱水効果が認められ、生材重量(含水率)が高い程効果は顕著になることがわかる。

5. おわりに

化学処理や化学加工の分野での研究が進み、到達目標が明確であれば、種々の化学処理ができるようになってきた。ところが処理しようとする木材の透過性が低く実現していないものが多い。透過性改善が求められている理由である。透過性研究が進み、また大学や公的研究機関だけでなく、企業の方との共同研究を通して木材の高機能化が実現することを念願している。

透過性改善法を開発するに当たり、種々のご協

力をいただいた(株)ヤスジマ社長安島稔氏をはじめ同社のみなさまに感謝いたします。

参考文献

- 1) 今村祐嗣：日本木材学会研究分科会報告書、21(1991)
- 2) 金川 靖：木材工業、vol. 48、212 (1993)
- 3) 例えば 金川 靖 他3名：木材工業、vol. 47、363 (1992)
- 4) 金川 靖 他4名：木材工業、vol. 49、166 (1994)
- 5) 林 和男 他4名：木材工業、vol. 44、279 (1995)
- 6) 金川 靖：日本木材保存協会編「木材保存学入門」、169 (1998)
- 7) 古山安之、金川 靖：木材学会誌、vol. 40、252 (1995)
- 8) 寺澤 眞 他3名：「木材の高周波真空乾燥」、海青社、72 (1998)

3.6 横圧縮大変形を与えたスギ材の乾燥特性

飯田生穂* 福田彰*

Improvement of Drying Rate of Sugi (*Cryptomeria Japonica* D. Don) Wood by Precompression with Large Deformation⁺

Ikuho IIDA* and Akira HUKUDA*

*Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto

To evaluate the effect of precompression with large transverse deformation on the drying rate and the shrinking properties, the green wood of sugi (*Cryptomeria Japonica*) was precompressed with the different ratios and dried under slow and rapid processes. The initial moisture content of about 200 percent could be reduced up to about 60 percent by the transverse compressive treatment only, as a result which attained to 60 percent without any drying process. Increasing of the drying rate could be recognized in the range of high moisture content, while significant difference was hardly detected between untreated samples and treated ones in the range of low moisture content. The treatment caused the large values of shrinkage when compared with the untreated samples due to incomplete recovery of the compression strain. The precompression treatment enabled the drying time to be reduced to about 50%~60%, showing a distinct effect on improvement of the drying rate.

1. 緒言

これまで、我々は木材に横圧縮大変形を与えた材の浸透性について検討を加え、浸透性能が著しく向上すること、処理材の材質低下は極めて小さいことを報告してきた^{1,2)}。この圧縮法は、圧縮時に閉塞壁孔の破壊を促し、有効通路の形成、拡大をはかり、除荷による変形回復のさいに期待できる液体の吸引力を利用して外部から液体の浸透をはかることを特徴としたものである^{3,4)}。

いま、この圧縮法を木材乾燥の改善に適用するとき、横圧縮大変形を与えることで仮道管細胞内腔の体積減少を引き起こし、自由水が材外部に放出され、含水率の著しい減少を引き起こす、いわゆる脱水効果が期待できること、圧縮処理によって前述した有効通路の形成と拡大が期待でき、その後の乾燥に有効に寄与することなどのために乾燥時間を短縮できるものと考えられる。

そこで、本報告は圧縮処理により材の乾燥性がどの程度改善できるかについて処理過程の含水率減少をも含めて検討した。すなわち、圧縮による材の脱水率、処理材の乾燥速度、収縮率、ならびに乾燥時間の短縮の程度などを調べた。

2. 実験

2.1 供試材料および試験片

供試樹種は、スギの心材で、とくに黒心といわれる材を選択して用いた。この材は1993年8月に京都府京北町で伐採した生材で、胸高直径は約43cm、樹齢は47年生であった。約3m長さで搬入された丸太材から長さ約40cm材を玉切りし、その心材部より、あらかじめ厚さ3.5cm(半径方向)×幅5.0cm(接線方向)×30cm(繊維方向)試験体を約50本採取した。この試験体をさらに長さの1/2位置で切断して、長さ15cm試験体2個を作り、一方を常に無圧縮試験体、他方を圧縮試験体として木口マッチングの両試験体で、圧縮の有無による乾燥特性を比較検討した。

2.2 試験条件と方法

圧縮時の試験体含水率、温度は、30℃の飽水状態(飽

⁺ 本報告の一部は、第44回日本木材学会大会(1994.4,奈良)で発表した。

* 京都府立大学農学部

水30℃), 80℃の飽水状態(飽水80℃)の2条件であった。含水率・温度を調整した材は, 圧縮処理によって外部に放出される水分量を明らかにするために, ただちに水中より取り出して室温下で圧縮処理した。供試時の試験体の初期含水率は, 全試験体の平均で約203%であった。

圧縮率は, 処理後の乾燥条件で異なり0%, 10%, 20%, 40%, および60%の5段階, ならびに0%と60%の2段階であった。なお前者は, 緩慢な乾燥条件に, また後者は急速な乾燥条件に供試した。

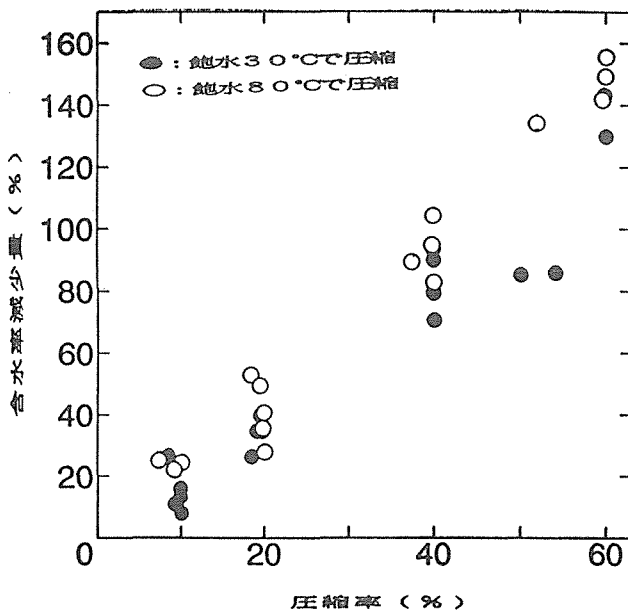
緩慢な乾燥条件は, 圧縮処理後ただちに20℃, RH65%の恒温恒湿室内で乾燥した。また, 急速な乾燥条件は, 圧縮処理後80℃, RH10%の熱風乾燥器中で乾燥した。乾燥過程中的試験体重量の変化, 3構造方向の寸法の変化を経時的に測定し, 乾燥経過や収縮率を求めた。また, 本実験では圧縮処理前, 後の試験体重量を測定して圧縮による含水率減少量も求めた。

3. 結果および考察

(1) 圧縮による材の含水率減少量

第1図に圧縮前, 後の含水率の差として求めた試験体の含水率減少量(脱水率)を示す。

初期含水率約203%の材を半径方向に圧縮すると圧縮による仮道管細飽内腔の減少によって自由水が材外部に放出される。その量は図示しているように圧縮率とともにほぼ直線的に増大する。いま最大の圧縮率60%における脱水率についてみると, 120%~150%の水分が圧縮のみで材外部に放出されることが認められる。結果として材の含水率は, 60~70%であった。



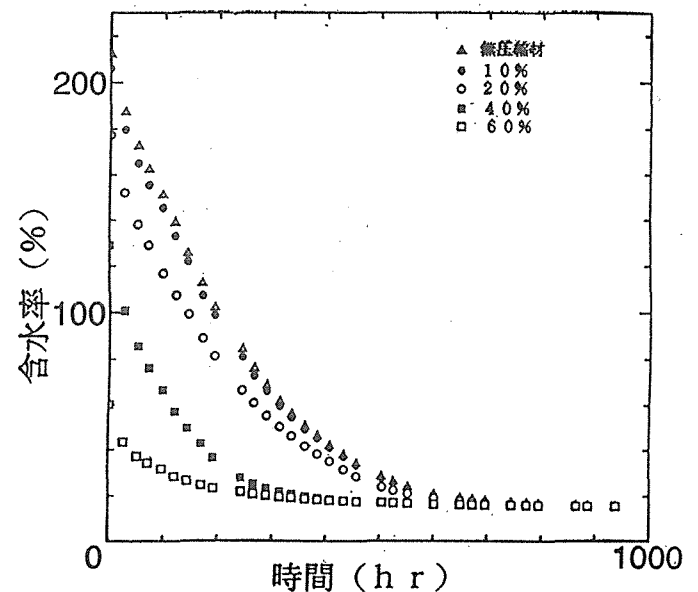
第1図 横圧縮処理による含水率減少量

木材の乾燥は, これまで外部, あるいは内部加熱によって木材含有水分を気化し, 放出することによってなされてきた。しかし, 本方法によるとき極めて短時間に液状水分を液状のまま, しかもかなりの量を放出できるので, 乾燥の前処理として有望な方法であると考えられる。

過去に遠心分離器を用いて, 本方法と同様, 液状水分のまま材外部に水分を取り出すことが検討されたことがある⁵⁾。その報告によると, 厚み3mmの単板に200~400Gの遠心力を作用させて脱水率を評価したものであるが, 単板含水率はせいぜい100%にしか減少できなかったとしている。これに比べると, 本方法による脱水量は極めて大きいことになる。また, 単板や挽き板をローラーで押して水分を絞り出す方法について検討されたことがある^{6,7)}が, 単板の場合を除いては, なお十分でないと考えられる。

(2) 圧縮処理材の乾燥経過, 乾燥速度, 乾燥時間の短縮効果について

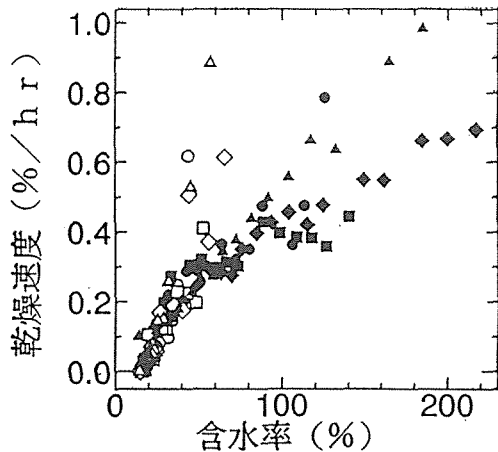
第2図は, 圧縮処理材の乾燥経過を示している。本結果は, 圧縮後, ただちに乾燥を開始したときの経過である。図における0時間の含水率は, 試験体の乾燥開始時の初期含水率を示しており, このように初期含水率が異なるのは, 圧縮処理により材中の水分が外部に放出され, 圧縮率とともにその量が增大するので, 圧縮率の大きいものほど含水率が小さいことを示している。乾燥によって試験体の含水率は減少するが, 乾燥条件にほぼ平衡する含水率に達するまでの時間は, 乾燥前にうけた圧縮率の程度で明らかに異なることが



第2図 緩慢な乾燥での乾燥経過

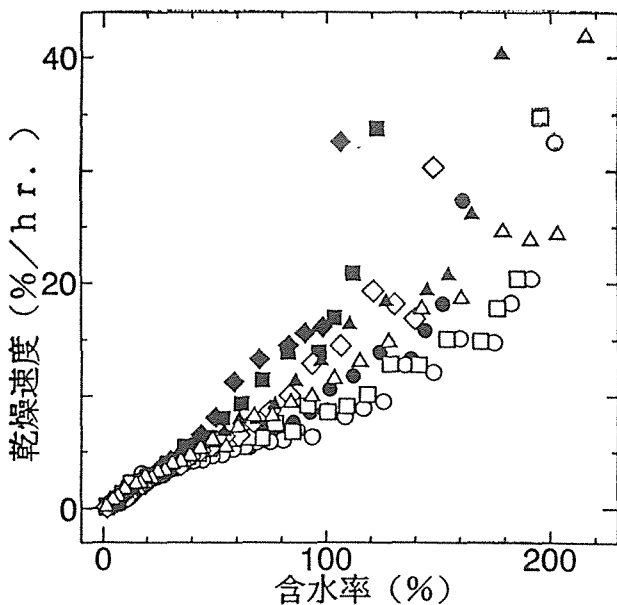
みられる。圧縮率の大きいものほど乾燥時間がより短時間に推移していることが認められる。したがって、圧縮処理して乾燥すると無圧縮材に比べて短時間に乾燥できる。

次に、圧縮により乾燥中の乾燥速度がどのように変化しているかを明らかにするために、第2図の経過曲線を図上微分して乾燥速度を求め、乾燥速度と含水率の関係を求めた。緩慢な乾燥条件の場合の結果を第3



○, △, □, ◇: 圧縮処理材 (圧縮率: 604)
●, ▲, ■, ◆: 無圧縮処理材
○と●印, △と▲印, □と■印, および◇と◆印: 木ロマッチング試験体

第3図 乾燥速度と含水率の関係 (緩慢乾燥)



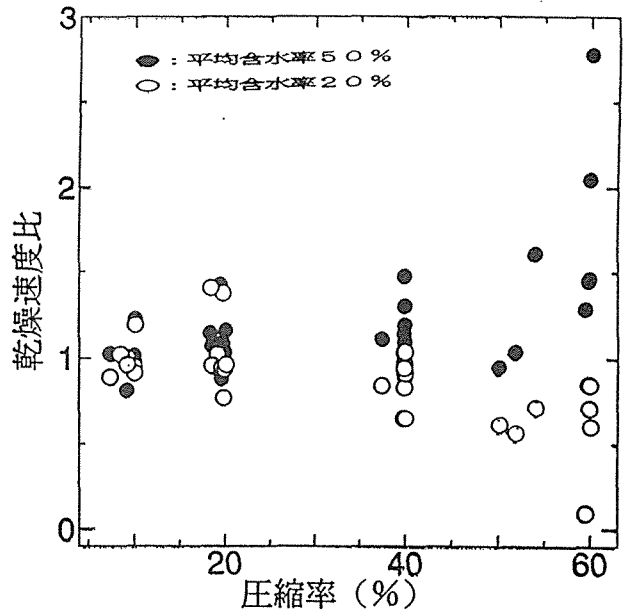
○, △, □, ◇: 圧縮処理材 (圧縮率: 604)
●, ▲, ■, ◆: 無圧縮処理材
○と●印, △と▲印, □と■印, および◇と◆印: 木ロマッチング試験体

第4図 乾燥速度と含水率の関係 (急速乾燥)

図, 急速な乾燥条件の場合のそれを第4図に示す。両図は、とくに圧縮率60%を与えた材と無圧縮材の乾燥速度と含水率の関係を示してある。

第3, 4図によると、両図とも繊維飽和点以上の高い含水率域で圧縮材の場合が無圧縮材の場合に比べて乾燥速度が大きいことが認められる。しかしながら、繊維飽和点以下の比較的低い含水率域における両者の乾燥速度の差は明確でない。

いま、平均含水率50%および20%の乾燥速度を圧縮材および無圧縮材の両者について求め、無圧縮材の乾燥速度を1としたときの比で表すと第5図となる。図



第5図 圧縮処理による乾燥速度の変化

は横軸を圧縮率で示し、図中の●印は、平均含水率50%における乾燥速度比で、○印は平均含水率20%におけるそれぞれ乾燥速度比である。したがって、値が1のとき圧縮材と無圧縮材の乾燥速度に差がなく、1以上で圧縮処理材の乾燥速度の増大を、また1以下で逆に無圧縮材の乾燥速度の大なることを示す。まず、平均含水率50%での乾燥速度についてみると、圧縮率20%まではほぼ1の値で、無圧縮材と圧縮材で乾燥速度に差がみられないが、それ以上の圧縮率になるとその値は1以上を示し、あきらかに圧縮材の乾燥速度が無圧縮材のそれにくらべて大きくなることが認められる。したがって、高い含水率域では、圧縮処理によって乾燥速度が増大するといえる。

次に、平均含水率20%の乾燥速度は、高い含水率の場合とその傾向が異なる。すなわち、圧縮率40%および60%になると、むしろ乾燥速度比の値は1以下の値を示す。したがって、低い含水率では圧縮処理によ

て乾燥速度は増大せず、むしろ小さくなる。この理由は、圧縮処理による脱水のために、試験体の初期含水率が異なったことから、その後の乾燥による材中の水分傾斜の程度が、等しい平均含水率で比較しても異なることが考えられ、これらに関係して生じたものと思われる。

図示していないが、急速な乾燥条件の場合には、高い含水率領域で圧縮材の乾燥速度が無圧縮材のそれより大きくなる前述同様の結果を認めたが、低い含水率領域では圧縮材と無圧縮材の間に有意な差異が認められなかった。この結果は、とくに急速乾燥条件の試験体は、圧縮後再び水中に戻して初期含水率を調整して乾燥したことから、水分傾斜が前者ほど大きくちがいのあらわれないことが予測でき、先に述べた第5図の結果、すなわち低い20%含水率での乾燥速度が圧縮材で小さくなる原因の一つに水分傾斜の相違が関係していることを推測させるものであった。

第1表に緩慢乾燥と急速乾燥の乾燥速度を比較している。緩慢乾燥の場合に高い含水率（含水率50%）では、圧縮材の乾燥速度が無圧縮材のその1.57倍を示しており、低い含水率（含水率20%）では、0.7倍を示す。急速乾燥の場合に高い含水率（含水率80%、50%）で1.31倍および1.24倍、低い含水率で圧縮材と無圧縮材の間に有意な差異がみられない。以上のことが

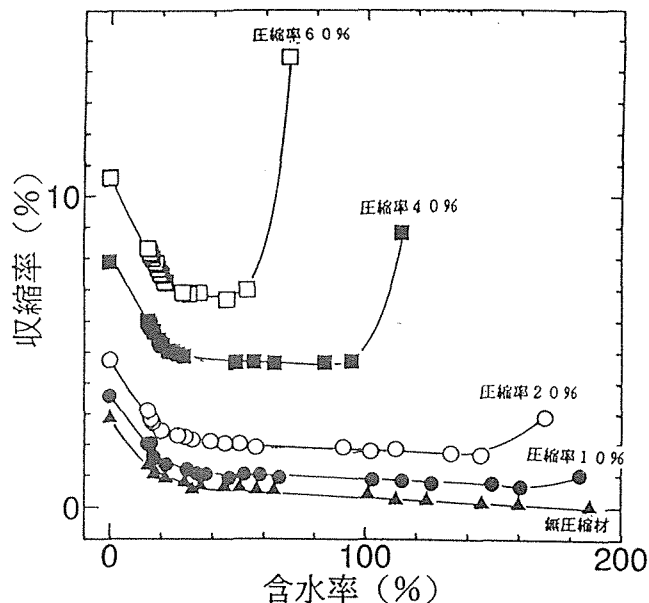
第1表 緩慢乾燥と急速乾燥の比較

	圧縮率 (%)	平均乾燥速度 (%/hr.)		
		MC80%	MC50%	MC20%
緩慢乾燥 (20°C, RH65%)	○	-	0.245	0.043
	●	-	0.384	0.030
急速乾燥 (80°C, RH10%, 熱風乾燥)	○	7.27	4.83	2.32
	●	9.50	5.99	2.20

第2表 平均含水率20%までの乾燥時間

圧縮率 (%)	平均乾燥時間 (hr.)	
	飽水30°Cで圧縮処理	飽水80°Cで圧縮処理
0	573.8±66.5	501.2±40.3
10	571.0±65.1	479.2±59.1
20	526.8±59.9	432.0±66.7
40	394.8±17.7	329.5±98.4
60	322.4±44.1	309.9±55.3

辺材の無圧縮材の場合: 365.2 hr.



第6図 圧縮処理材の収縮経過

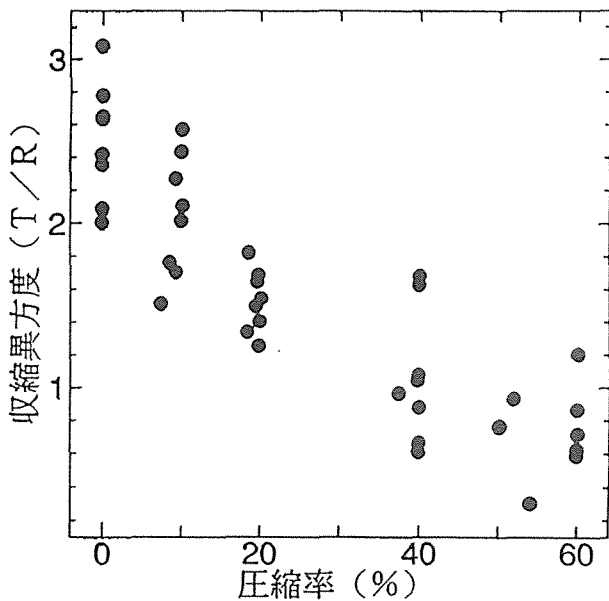
ら、乾燥速度は高い含水率で促進効果のあることが理解できる。

次に、乾燥時間の短縮効果を検討する。第2表にその結果を示す。表によると、緩慢乾燥では無圧縮材の場合、含水率20%まで乾燥するのに574時間を必要とした。これに対して圧縮率が増加すると乾燥時間はより短くなり、60%圧縮した材の乾燥時間は322時間であった。両者を比較すると後者の乾燥時間が約250時間少ない。無圧縮材の場合には約24日間を要したので、約10日間の時間短縮は極めて大きいと言えるであろう。スギ辺材の乾燥時間は、約365時間を要したので、黒心材でも圧縮処理することにより、辺材よりも短い時間で乾燥できることを示している。このことは、圧縮法を木材の乾燥性の改善に用いることができる。

(3) 圧縮処理材の収縮率

第6図に圧縮処理材の収縮率を示してある。収縮率は、木材の半径方向の収縮率である。圧縮率60%を与えた材は乾燥開始時に14.5%の残留変形を有していたが、その後乾燥すると残留変形は小さくなり、見かけ上は収縮率の減少を生じる。乾燥の進行により含水率が30%以下になると、材の収縮が始まるために収縮率を増大する経過を示す。半径方向の全収縮率は、結果として無圧縮材に比べて圧縮材で大きくなる。これは材の収縮率に残留変形が付加されたためである。接線方向の収縮率は図示していないが、圧縮処理しても無圧縮材と大差ないものであった。

第7図に横断面の収縮異方度を圧縮率に対して示し



第7図 圧縮処理材の横断面収縮異方度

である。異方度のばらつきは比較的大きい。これは半径方向に圧縮したとき、まさ目面が平滑とならないことなどが関係している。スギ無圧縮材の異方度は平均約2.5程度である。圧縮処理材の場合、圧縮率とともに異方度は減少し、1程度を示す。半径方向の収縮率の増加ならびに収縮異方度の低下が、損傷の発生とどのように関係するかは明らかにしていないが、肉眼的に観察した乾燥われの程度は、とくに急速乾燥の場合、乾燥途中に軽微な表面割れ、木口割れを認めた。しかし、その程度は圧縮処理材で明らかに小さいものであった。しかしながら、収縮率の増加はそりや狂いの発生と密接に関係するので、その増加は圧縮法の一つの欠点といえるだろう。

4. 結言

スギ材の乾燥性を改善する目的で、あらかじめ横圧縮処理した材の乾燥経過、乾燥速度、収縮率などを検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) スギ飽水材を横圧縮（半径方向）すると、圧縮操作だけでかなりの量の自由水を材外部に放出する。その量（脱水率）は、最大130～150%に達した。結果として処理材の含水率を60～70%にできた。
- 2) 圧縮処理材の乾燥速度は、高含水率域（含水率30%以上）で増大するが、含水率30%以下の含水率では無圧縮材の乾燥速度と大差ないか、幾分小さくなる傾向を示した。
- 3) 圧縮処理材の収縮率は、無圧縮材の収縮率に比べて増大した。これは収縮率に残留変形が付加されるた

めであり、圧縮法の一つの欠点として挙げる事ができる。

4) 圧縮処理材の乾燥時間は、無圧縮材の乾燥時間に比べて約50%から60%となる。したがって、圧縮法を適用することで、乾燥時間をかなり短縮できることがわかった。

引用文献

- 1) 飯田生穂, 高山知香子, 宮川修, 今村祐嗣: 木材学会誌, 38, 240 (1992)
- 2) 飯田生穂, 今村祐嗣, 柏直樹, 中村嘉明: 木材保存, 18, 31 (1992)
- 3) 柏直樹, 飯田生穂, 今村祐嗣: 第22回木材の化学加工研究会シンポジウム要旨集, p.25-30 (1992)
- 4) 飯田生穂: 日本木材学会生物劣化研究会シンポジウム要旨集, p.20-25 (1993)
- 5) 南正院, 佐々木光: 昭和60年度第31回木材と水研究会シンポジウム要旨集, p.8-9 (1985)
- 6) Cech, m.y., Goulet, M.: *Forest, Prod. J.*, 18 (5) 90-91 (1968)
- 7) Cech, m.y.: *Forest, Prod. J.*, 21 (2) 41-50 (1971)

(1994. 9. 5 受理)

3.7 スギ心持ち柱材の熱板処理による割れ抑制

— 表層セット量の測定 —

(九大農) ○藤本登留、川原聡、(静岡県林技セ) 小野和博

《緒言》 心持ち柱材は断面内の収縮異方性が原因となり乾燥段階で大きな表面割れを起こし、それによって商品価値を落としてしまうためその防止法の解明が必要とされている。その一つの手法として、断面内の外周面方向にあたる接線方向収縮を抑え収縮の異方性を少なくすることによる割れ防止が考えられる。筆者らは、効果的なセットの形成手法として表面に直接熱板を押し当て収縮を抑制するとともに、急速加熱が可能なホットプレスに注目し、前処理として材表面を熱圧することで表面割れを防ぐ方法について検討している。今回は、割れ抑制につながると考えられる表層のセット量について熱板温度を変えて比較検討した。

《実験方法》 (1) 供試材 九州大学農学部附属福岡演習林産33年生スギを11cm心持ち柱材(長さ50cm)に木取り、供試材とした。ここで髓が横断面内の中心になるように注意して製材した。また、木口面にはシリコンコーキングを塗り、熱板処理や乾燥時において木口面から蒸発を防いだ。(2) 熱板処理およびセット量の測定 長さ50cmの柱材の材端から8cmの位置で軸方向2cmの横断面材を採取して全乾法で含水率を測定するとともに、表層(0-5mm、5-10mm)からセット測定用基準(自由)収縮試験片を採取した後、残りの約40cmの柱材について木口面にシリコンコーキング材を塗布して熱板処理に供試した。熱板処理は圧縮圧力0.5MPa一定で熱板温度90、120、150、180、210℃、圧縮時間30minの条件で実施した。熱板処理直後(冷却後)および柱材乾燥過程における表層解放後寸法から収縮率を求め、同じ含水率における基準収縮率との差をセット量とした。

《結果および考察》 図は、柱材表層(0-5mm)基準(自由)収縮率曲線と熱圧後の解放収縮率を示している。ここで、表層の熱圧・乾燥により形成されたセットは、同じ熱板処理時間30分で比較すると表層の含水率は高温ほど低くなっており、しかもそのセットも大きく形成されていることがわかる。特に180℃以上では解放収縮率が0に近い値を示し、熱板処理により表層の乾燥収縮がほとんど抑えられている傾向がみられた。この結果は、前年度報告の熱板処理による材面割れ抑制傾向と類似しており、このセットの形成が割れ抑制に大きく影響していることが示唆された。

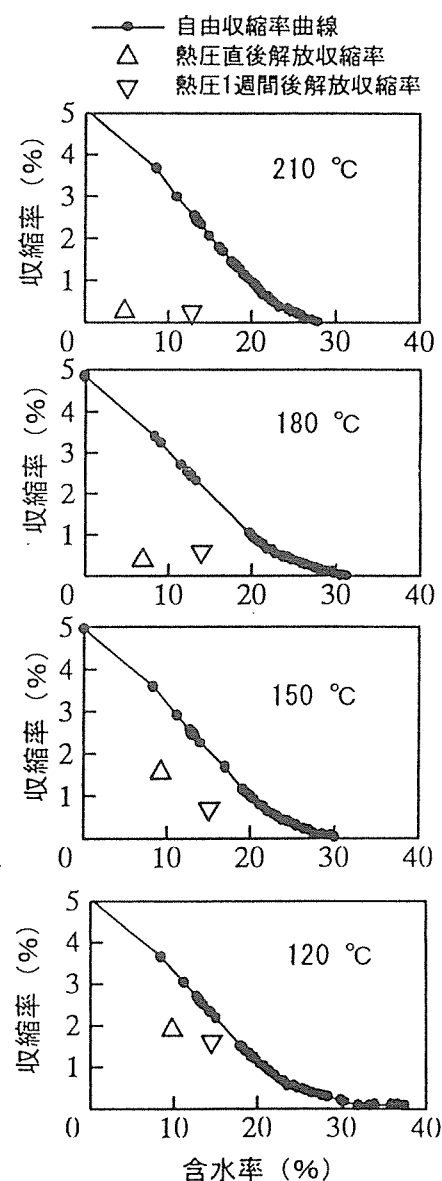


図 スギ心持ち柱材表層(0-5mm)における幅方向自由収縮率および各熱圧温度別(熱圧時間30分)解放収縮率

4 一般の乾燥技術

4.1 スギ品種の乾燥特性

(鹿児島工技セ)〇山之内清竜、(福岡森林技セ)片桐幸彦、(大分林試)三ヶ田雅俊、(宮崎林総セ)若松茂樹、(熊本林研試)池田元吉、(長崎総農試)谷端省三、(佐賀林試)立切哲也

【目的】 九州産スギ6品種の平割材と正角材について乾燥特性を比較、検討した。

【実験方法】 供試材はヤイチ(福岡県矢部村産)、ヤブクグリ(大分県玖珠町産)、マアカ(宮崎県木城町産)、シャカイン(熊本県泉村産)、アヤスギ(佐賀県嬉野町産)、オビアカ(鹿児島県福山町産)の6品種で、1個体から長さ4mの1番玉と2番玉を、各品種5本ずつ採取した。1番玉は樹幹部別の乾燥性を検討する目的で平割材146枚(30×105×3000mm)にだら挽きし、2番玉は心持ち正角材の乾燥性を検討する目的で正角材29本(107×107×3000mm)に製材した。平割材の乾燥条件は、乾球温度60℃、乾湿球温度差15℃の一定とした。また、正角材では乾燥開始から約100時間を乾球温度60℃、乾湿球温度差8℃差とし、その後から乾燥終了の約250時間までは乾球温度60℃、乾湿球温度差15℃差とした。平割材、正角材とも乾燥経過、収縮率、乾燥割れ等を測定した。

【結果及び考察】 平割材の乾燥経過を図1に、品種別の乾燥特性を表1に示す。平割材の初期含水率はオビアカが最も高く、シャカイン、アヤスギは比較的lowく、ばらつきはアヤスギ、オビアカ、マアカ、ヤイチが大きく、シャカインとヤブクグリは比較的小さい。乾燥開始96hr.後の含水率のばらつきは、オビアカが最も大きく、ヤイチ、シャカイン、アヤスギは小さい。平割材の含水率60%時の乾燥速度はシャカイン、ヤイチ、ヤブクグリが比較的速く、マアカ、アヤスギ、オビアカは遅い傾向がみられる。正角材の含水率60%時の乾燥速度はシャカインが最も速く、ヤブクグリ、マアカ、オビアカは遅く、マアカとオビアカは全乾燥過程にわたって含水率のばらつきが大きい。平割材の含水率10%時における6品種の材幅方向収縮率は、辺材が4.0～4.5%、心材は2.9～3.8%の範囲にあり、辺材ではヤブクグリがマアカより大きい。材厚方向収縮率は辺材が2.7～3.6%、心材が4.1～5.5%の範囲にあり、心材ではヤイチ、マアカ、ヤブクグリのグループはアヤスギ、オビアカ、シャカインより大きい傾向がみられる。乾燥割れは平割材では発生していない。正角材の材幅方向の収縮率は、品種間に有意差がみられず、アヤスギ、ヤイチ、シャカインのグループがマアカ、ヤブクグリ、オビアカより大きい傾向がみられる。正角材の4面に発生した表面割れの幅の合計値は、ヤイチ、アヤスギが他の4品種よりも大きい。

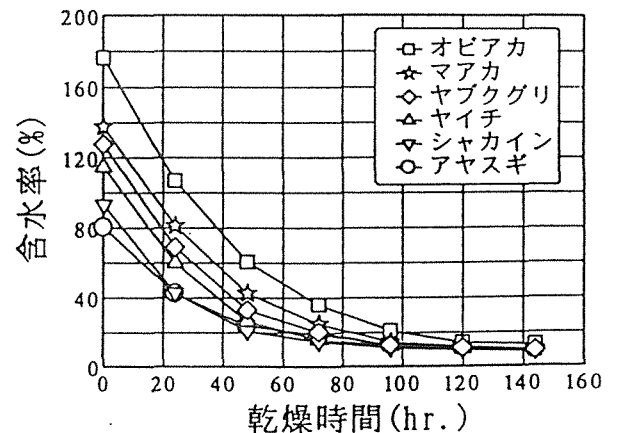


図1 平割材の乾燥経過

表1 スギ品種別乾燥特性

()内は標準偏差

品種名	平割材				正角材		
	初期含水率(%)	乾燥速度(%/hr.)	幅収縮率(%)	厚収縮率(%)	乾燥速度(%/hr.)	割れ幅合計(mm)	収縮率(%)
シャカイン	93.0(18.5)	2.05(0.20)	4.5(0.5)	4.5(1.1)	0.853(0.067)	6.0(2.3)	2.8(0.2)
ヤイチ	114.5(22.3)	2.01(0.24)	4.3(0.2)	5.5(0.9)	0.793(0.051)	15.4(2.1)	3.3(0.3)
ヤブクグリ	127.4(16.1)	1.86(0.36)	4.5(0.8)	4.6(1.2)	0.568(0.026)	4.4(3.2)	2.7(1.6)
マアカ	137.5(24.4)	1.59(0.28)	4.0(0.6)	4.8(1.2)	0.455(0.103)	4.0(1.4)	3.3(0.7)
アヤスギ	80.3(25.5)	1.54(0.27)	4.3(0.5)	4.5(0.6)	0.762(0.033)	12.2(2.9)	3.3(0.2)
オビアカ	176.4(25.1)	1.47(0.38)	4.0(0.9)	4.1(0.7)	0.419(0.181)	6.4(1.7)	2.2(0.7)

注:乾燥速度はいずれも含水率60%時、平割材の乾燥条件は乾球温度60℃・温度差15℃、正角材の乾燥条件は乾球温度60℃・温度差8℃

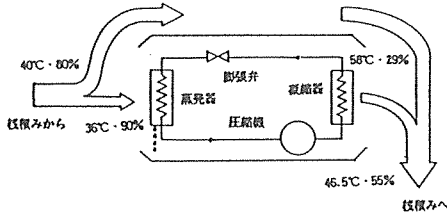
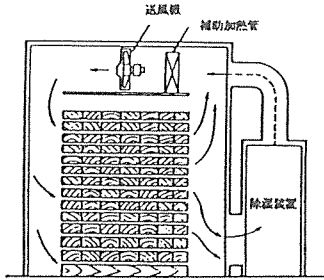
4.2 製材品の除湿乾燥について

奈良県林業試験場

小野広治

はじめに

除湿乾燥は、約15年程前に製材品の人工乾燥法として製材工場に急速に普及した。その背景として、それまでの製材品は天然乾燥が主で人工乾燥はほとんどされていなかったが、建築工法の変化や山元からの原木



第1図 除湿乾燥装置と除湿機の温湿度の変化

の搬出方法の変化等により人工乾燥の必要性が高まってきたことになる。

除湿乾燥は、一般的に乾燥温度を30~50°Cの低温で、相対湿度をヒートポンプ式の除湿機により制御する方法である。蒸気式の熱気乾燥装置にくらべて価格が安い、操作が簡単である、低温で乾燥することにより材の変化や損傷の発生が少ないことなどから広く普及しているが、温度が低いことを除けば、乾燥の原理は熱気乾燥と同じである。

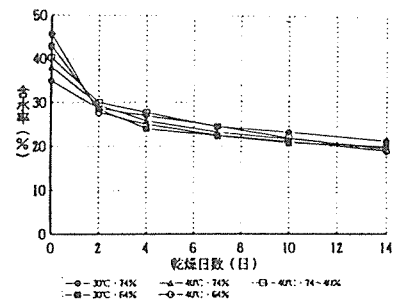
以下に除湿乾燥の原理、装置の概要、ヒノキ、スギ柱材の除湿乾燥特性について紹介する。

1. 除湿乾燥の原理と装置

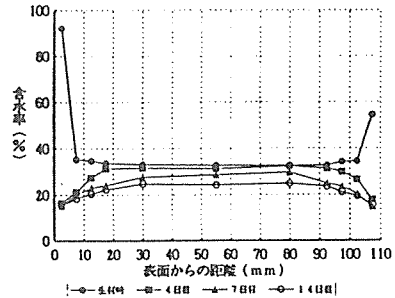
除湿乾燥装置と除湿機の温湿度の変化を第1図に示す。除湿機は、クーラーや冷蔵庫と基本的には同様な構造であり、圧縮機、凝縮器、蒸発器、膨張弁等からなり、冷媒にはフロン R-22や R-12が使用されている。R-22のタイプは温度の上昇が約50°Cで、R-12のタイプは約70°Cであるが、R-12はフロンガス規制の対象になっており、R-22のタイプが多く普及している。

除湿の方法は第1図に示すように、棧積みから送られてきた多湿空気が蒸発器部で冷やされることにより結露した水分が除去される。蒸発器部で冷やされて水分の少なくなった空気は凝縮器部で加温され、湿度が低下した状態で乾燥室に送られる。

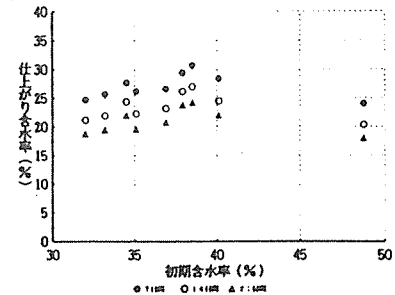
除湿乾燥は省エネタイプの乾燥法といわれている。これは、ヒートポンプ式の除湿乾燥装置では、蒸発器部で冷却除湿するとき空気顕熱と水蒸気の結露による潜熱を取り込み、凝縮器部で加熱し、さらに圧縮機で発生する熱も利用するシステムとなっているためである。しかし、エネルギーとして高価な電力を使用しているので乾燥室の構造は蒸気式の熱気乾燥装置と



第2図 ヒノキ柱材の乾燥経過



第3図 ヒノキ柱材の水分分布の変化



第4図 ヒノキ柱材の初期含水率と仕上がり含水率
同様な仕様が必要である。

2. 製材品の除湿乾燥特性

除湿乾燥は乾燥温度が低いために変色や狂いなどの損傷の発生は少ないが、繊維飽和点以下の含水率域での乾燥速度が小さくなるため²⁾、仕上がり含水率を20%程度まで乾燥するのに適しているといわれている³⁾。

また、樹種や材種によりその乾燥特性が異なるので、その特性を把握して除湿乾燥の適否を認識しておくことが必要である。奈良県では除湿乾燥装置により人工乾燥されているのはヒノキ柱材、スギ磨き丸太が主であり、スギ柱材、造作材への利用はあまり多くない。以下、ヒノキ、スギ柱材の除湿乾燥特性について紹介する。

2.1 ヒノキ柱材の除湿乾燥特性

ヒノキ柱材の生材は、辺材の含水率は高いが心材の含水率が30~40%と低いために除湿乾燥でも比較的速く乾燥する。第2図にヒノキ柱材(10.5cm角, 3m材, 背割り有)を温度30℃と40℃で、相対湿度74%と64%の一定条件と、温度40℃一定で、相対湿度74~40%の験体で除湿乾燥における温度、相対湿度、風速の影響について検討した⁶⁾。

湿度60%一定で、温度を30℃と40℃および30℃と50℃で比較した場合、各温度の乾燥速度の比は、30℃:40℃=1.00:1.13, 30℃:50℃=1.00:1.31と温度が高いほど乾燥速度は大きくなった。板材の熱気乾燥では温度の乾燥速度に及ぼす影響は、例えば温度60℃の乾燥時間を1.00とすると40℃では2.15, 80℃では0.45となり、温度20℃の違いで乾燥時間が約2倍になる⁷⁾、ヒノキ柱材を30~50℃の温度範囲で乾燥したときの温度20℃の違いによる乾燥速度の増加割合は約30%であった。

また、温度40℃一定で湿度を88%と45%および60%と45%で比較した場合、各湿度の乾燥速度の比は、88%:45%=1.00:1.56, 60%:45%=1.00:1.19と湿度が低いほど乾燥速度は大きくなった。温度40℃一定で乾燥する場合、湿度をより低く設定したほうが乾燥速度は大きくなるが、湿度も低くなると、除湿能力が小さくなるとともに除湿効果も低下するので、湿度をあまり低く設定するのは乾燥経費の点からは不利である。

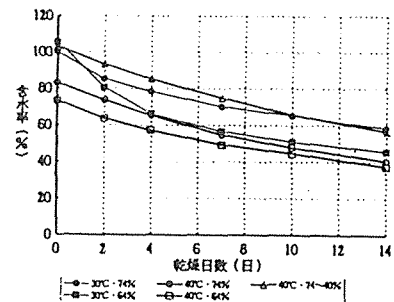
風速が2.5~3.0m/sと0.5~1.0m/sの比較では、風速の違いによる乾燥速度の差は認められなかった。したがって、風速は0.5~1.0m/s程度で、乾燥室全体が均一な乾燥条件になればよいと考えられる。

2.2 スギ柱材

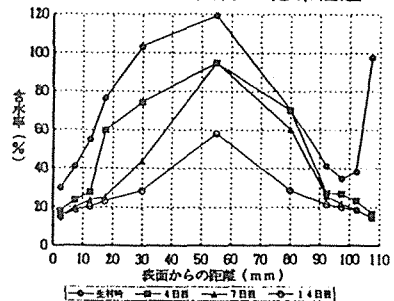
スギ柱材はヒノキ柱材にくらべて辺材、心材の生材含水率が高いという特長があり、除湿乾燥では乾燥時間が長くなる。第5図にヒノキ柱材と同様な各乾燥条件で実施したスギ柱(10.5cm角, 3m, 背割り有)の乾燥経過を示す。乾燥条件の違いによる乾燥経過の大きな差はみられないが、仕上がり含水率は初期含水率に大きく影響を受け、初期含水率が約100%の材は14日間乾燥しても50%近くまでしか乾燥しない。この利用は第6図の乾燥経過に伴う水分分布の変化(温度30℃, 湿度64%の一定条件)に示すように、表層部の含水率は乾燥初期に急激に減少するが、内部は初期含水率が高いために14日間乾燥しても含水率が高く、全体の含水率が大きく減少しないためである。

乾燥条件の違いが乾燥経過におよぼす影響は、ヒノキ柱材の場合と同様な傾向を示すと考えられるが、スギ柱材では、乾燥条件の違いよりも初期含水率の違いが仕上がり含水率に大きく影響すると考えられる。

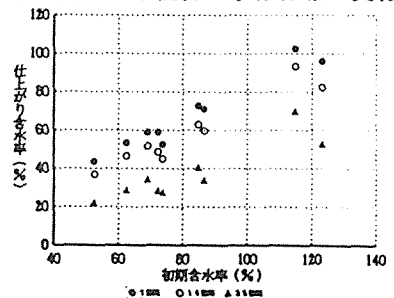
第7図に種々の初期含水率のスギ柱(12cm角, 3m, 背割り有)を35日間除湿乾燥(温度40℃, 相対湿度



第5図 スギ柱材の乾燥経過



第6図 スギ柱材の水分分布の変化



第7図 スギ柱材の初期含水率と仕上がり含水率

条件で乾燥したときの乾燥経過を示す。乾燥条件の違いによる乾燥経過の大きな差はみられず、初期含水率が約40%の材は14日間の除湿乾燥により含水率は約20%に低下する。ヒノキ柱材が除湿乾燥に適しているのは、第3図の乾燥経過に伴う水分分布の変化(温度30℃、湿度64%の一定条件)に示すように、表層の含水率が高い辺材は、乾燥初期に大きく含水率が減少するとともに、内部の心材は生材時から含水率が低いため、辺材を多く含む初期含水率が高い材でも一定時間で所定の含水率に低下するためである⁷⁾。

第4図に種々の含水率のヒノキ柱材(12.0cm角、3m、背割り有)を21日間除湿乾燥(温度40~45℃、湿度70~65%の条件)としたときの各乾燥期間における初期含水率と仕上がり含水率の関係を示す。仕上がり含水率は、初期含水率の大小に関係なく、乾燥時間が長くなるにしたがって低くなる。したがって、ヒノキ柱材を所定の含水率に乾燥するためには、初期含水率の大小にかかわらず乾燥時間を調整する必要がある⁸⁾。

なお、実大材(3m材)の乾燥経過では乾燥条件による大きな差はみられなかったので、初期含水率や材質が同様になるように2本の実大材から採取した小試(80~65%の条件)としたときの各乾燥期間における初期含水率と仕上がり含水率の関係を示すが、いずれの期間においても、仕上がり含水率は初期含水率に大きく左右される。したがって、スギ柱材を所定の含水率に仕上げるためには、初期含水率の大小により乾燥時間を調整する必要がある⁹⁾。

なお、乾燥条件は若干異なるが、第5図の10.5cm角と第7図の12.0cm角の除湿乾燥において、断面寸法の違いによる乾燥速度(2~14日の平均乾燥速度)を比較すると、10.5cm角の乾燥速度は12.0cm角の約1.7倍であった。ヒノキ柱材の比較では、10.5cm角の乾燥速度は12.0cm角の約1.1倍で、断面寸法の違いによる乾燥速度に大きな差はなかったが、スギ柱材では断面寸法が大きくなることによる乾燥速度の低下が大きくなった。

おわりに

以上、ヒノキ、スギ柱材の除湿乾燥特性について述べたが、除湿乾燥では装置の構造上、適用できる温度、湿度の範囲が狭く、さらに加湿装置を持たない場合が多い。したがって乾燥初期から高温、高湿の乾燥条件がとれないので、スギ柱材のように辺材、心材の生材含水率が高く、断面の大きな材を所定の含水率まで乾燥するためには長時間が必要である。

また、湿度は主に除湿機により制御するが、除湿機の能力が被乾燥材の種類、収容材積に対して小さい場合には、カビや乾燥ムラ等の損傷が発生しやすいので、除湿機の大きさは被乾燥材の蒸発量を考慮して決定することが大切である。

しかし、温度が低いので変色や狂いの発生は少ないので、ヒノキ柱材やスギ磨き丸太のように心材の生材含水率が低く、乾燥後の材面の色、艶を大切にする材を含水率20%程度まで乾燥するには適していると考えられる。

このように除湿乾燥では樹種、材種、初期含水率等により適否があるので、これらのことを考慮する必要があると考えられる⁸⁾。

文 献

- 1) 寺沢真, 筒本卓造: 木材の人工乾燥, 日本木材加工技術協会, 141 (1988)
- 2) Cech, M. Y.: F. P. J., 28, 3, 22-26 (1978)
- 3) 寺沢真: 木材工業, 38(3), 118-125 (1983)
- 4) 小野広治他: 奈良県林業試験場研究報告, 15, 29-35 (1985)
- 5) 小野広治他: 奈良県林業試験場研究報告, 20, 32-38 (1990)
- 6) 小野広治他: 奈良県林業試験場木材加工資料, 18, 8-11 (1989)
- 7) 寺沢真, 筒本卓造: 木材の人工乾燥, 日本木材加工技術協会, 32-34 (1988)
- 8) 小野広治他: 木材加工技術ハンドブック, 奈良県林業試験場編, 137-143 (1991)

4.3 スギ正角材の乾燥について

福岡県森林林業技術センター 片桐 幸彦・占部 達也
村上 英人

1. はじめに

建築用部材として木材を使用する場合、割れや曲がりなど様々な欠点の発生を抑えるために、あらかじめ乾燥させてから使用しなければならない。特に住宅の柱などに用いる材は、未乾燥材を使用したときに起こってくる様々な弊害を防止するためにも、適正な含水率管理を行う必要がある。だがスギの心持ち柱材の場合、乾燥機を用いて十分な乾燥を行うことは、技術的な問題だけでなく、コストの面でも困難であるという意見が多く、乾燥コストの低減が求められている。そこでスギの心持ち柱材について、天然乾燥と人工乾燥とを組み合わせを行い、乾燥コスト低減の可能性について検討した。

2. 実験方法

(1) 材料とその乾燥方法

福岡県産スギ材(品種:ヤマグチ)を材料として試験を行った。異なる2林分から、材長7.5mの原木丸太を30本ずつ合計60本採取し、各丸太から1番玉、2番玉それぞれ3mずつを玉切りして、120本の丸太を得た。これらを10.5cm正角の心持ち柱材に製材し、この内60本は天然乾燥を行ってから、他の60本はそのままIF型蒸気式乾燥機を用いて人工乾燥を行った。

天然乾燥は、棧積みした材を当センターの木材加工場内に12月16日からの約3ヶ月間放置して行った。

人工乾燥は、乾球温度を80℃で一定とし、乾湿球温度差を4~16℃へと変化させるスケジュールで、目標含水率を15%として行った。このとき天然乾燥後の材については、初期のスケジュールを1段階緩やかな条件にして乾燥を開始した²⁾。

(2) 測定方法

乾燥経過中の含水率は、棧積み上部の材の重量測定と、数本の材に打ち込んだ電気抵抗式含水率計の測定値から

推測し、目安とした。

人工乾燥後の含水率は、正角材から厚さ2cmの小片を3枚採取し全乾法によって求めた。この内の1枚は、25分割して材内の水分傾斜を測定した。ここで求めた含水率の値をもとにして、乾燥前後の正角材全体の含水率を推定した。

収縮率は、乾燥前後に材の元口、中央、末口の3箇所について幅と高さを測定して算出した。

また、人工乾燥後に材面に発生した割れについて、長さ、最大幅、面積を測定した。

これらの測定項目について、天然乾燥と人工乾燥とを組み合わせを行った場合と、人工乾燥のみを行った場合との比較を行った。

3. 結果と考察

(1) 正角材の材質

供試した正角材の材質について、乾燥条件毎にまとめたものが表-1である。今回供試した材料は、同一品種であるが、2林分から採取したため、平均年齢幅や心材率など材質が異なるものとなった。

(2) 乾燥前後の含水率

乾燥前後の正角材の含水率についてまとめたものが表-2である。人工乾燥のみを行ったグループでは、製材後62.9%だった含水率が11日間の人工乾燥後には12.8%に減少した。天然乾燥と人工乾燥を組み合わせを行ったグループでは、製材後68.1%だった含水率が天然乾燥後に54.6%になり、さらに9日間の人工乾燥後には12.9%に減少した。天然乾燥中の含水率低下が少ないが、これは冬期に行ったためと思われる。乾燥後の含水率のバラツキは、天然乾燥を行ったグループの方が小さかった。

乾燥後の材内の水分傾斜について図-1に示す。人工乾燥のみを行ったグループでは、材の中心部と表層部との間に4~5%程度の差が見られたが、天然乾燥を行った

グループでは、この差が2%程度と少なく、また1番玉と2番玉の差も小さかった。

(3) 材面の割れ

人工乾燥後に材面に発生した割れについてまとめたものが図-2である。天然乾燥後の材を人工乾燥すると割れやすいという報告もあるが、今回の試験では人工乾燥のみを行った材の方が割れが多かった。緩やかな天然乾燥が、材内の水分傾斜を小さくし、材面の割れの発生を抑えたと考えられる。また、いずれの場合も1番玉の材より2番玉の材の方が、割れの本数は少ないが割れの長さや面積は大きくなるという傾向が見られた。

(4) 収縮率

天然乾燥を行った材は、人工乾燥のみの材に比べて収縮率がわずかに小さかったが、統計的な有意差は認められなかった。

表-1 供試した正角材の材質(平均値)

乾燥方法	測定項目	全体	1番玉	2番玉
天乾 + 人乾	平均年輪幅 (mm)	7.43	7.87	7.04
	生材密度 (g/cm ³)	0.63	0.60	0.66
	生材含水率 (%)	68.1	64.3	71.8
	心材率 (%)	61.1	69.5	52.8
人乾	平均年輪幅 (mm)	5.43	5.55	5.31
	生材密度 (g/cm ³)	0.60	0.61	0.59
	生材含水率 (%)	62.9	68.6	57.2
	心材率 (%)	75.2	78.4	72.0

表-2 乾燥前後の含水率 (単位:%)

乾燥方法	項目	生材時	天然乾燥後	人工乾燥後
天乾 + 人乾	平均	68.1	54.6	12.9
	最大	86.4	84.2	14.3
	最小	53.3	30.7	11.5
	標準偏差	9.3	13.8	0.5
	変動係数	14	25	4
人乾	平均	62.9	—	12.8
	最大	92.6	—	18.2
	最小	43.4	—	10.7
	標準偏差	9.1	—	1.3
	変動係数	15	—	10

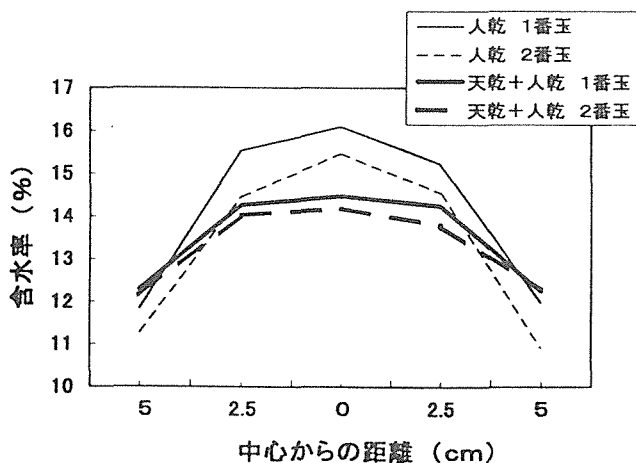


図-1 材内の含水率分布(人工乾燥後)

4. まとめ

今回の実験では、天然乾燥を3ヶ月間行うことにより、人工乾燥に要する時間を2日間短縮できた。また、含水率のバラツキが小さくなり、材内の水分傾斜も小さくなった。冬期で天然乾燥中の含水率低下が非常に緩やかであったことから考えると、天然乾燥の時期を考慮して行えば、さらなる乾燥時間短縮の可能性も考えられる。だが、天然乾燥の速度が速くなると、材内の水分傾斜が大きくなることで材面に微細な割れが発生し、それが後の人工乾燥中に大きな割れとなって現れる危険性もあり、望ましい天然乾燥条件については、今後さらに検討の余地があると思われる。

引用文献

- (1) 池田元吉: 日林九支研論, 48, 209~210, 1995
- (2) 寺沢 真: 木材乾燥のすべて, pp.718, 海青社, 1994

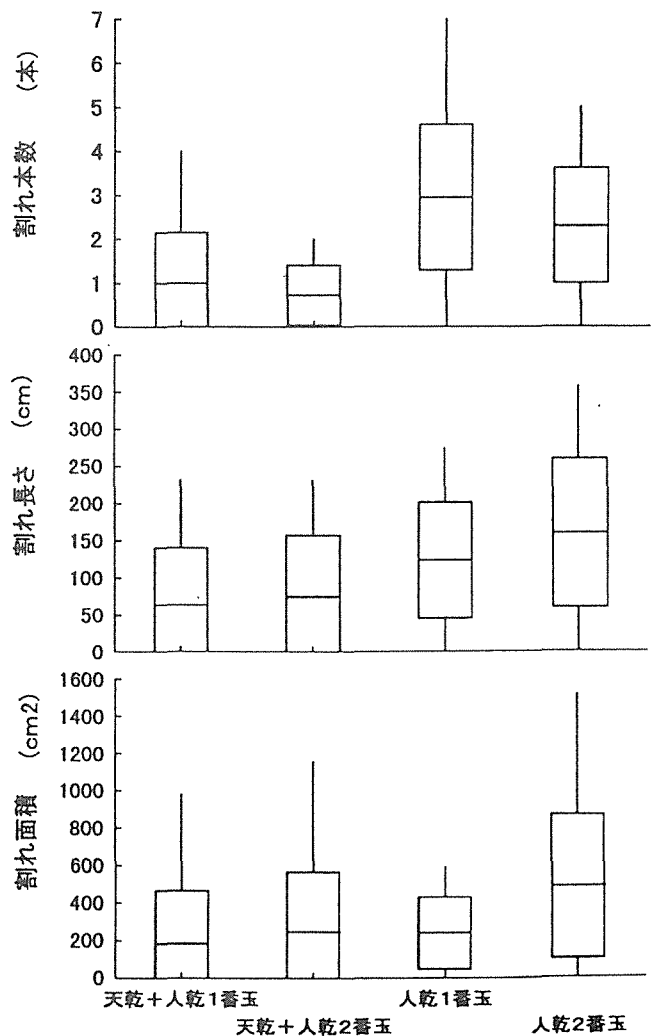


図-2 割れの本数, 長さ, 面積の比較

5 高温乾燥

5.1 スギ材の高温乾燥の現状と可能性

森林総合研究所木材利用部

加工技術科長 久田 卓興

1. はじめに

高温乾燥は針葉樹材の急速乾燥のための有力な手段として、アメリカ、カナダではパイン類、ニュージーランドではラジアータパイン、日本ではカラマツなどの乾燥にかなり以前から用いられている。しかし、実際には高温乾燥はそれほど広く普及しているわけではなく、一般の乾燥現場では高温乾燥は割れや狂いが増加し、問題が多いと受けとめられている。高温乾燥がこれまでそれほど普及しなかった原因としては、高温条件が適さないと言うわけではなく、性能の面で高温乾燥用の適した乾燥機がなかったことによるのではないかと考えられる。

これに対し、日本の乾燥機メーカーは2～3年前から各社競って高温乾燥機の製造、販売に力を入れはじめたが、これが非常な勢いで普及している。この背景には建築用材の乾燥材の要求が急激に高まったことと、スギ材の乾燥に非常に時間がかかるためこれを何とかしたいという要望があったためと思われるが、実際にこの乾燥機を導入した企業の中には予定の成果が得られなくて困っている企業もあり、果たして高温乾燥は有効な手段なのかどうかその限界を知りたいという声が強い。そこで、限られた情報の中ではあるが、スギ材の乾燥を対象にして高温乾燥の現状と可能性について述べてみたい。

2. 高温乾燥の特徴

高温乾燥は普通は100℃以上の乾燥のことをさすが、90℃くらいから上をこれに含める場合もある。乾燥速度を速めて乾燥時間の短縮を図るには、乾燥温度を高めるのが効果的である。しかし、従

来の考え方からすると乾燥温度の上昇は、割れ、落ち込み、狂いのほか収縮率の増大をもたらすとされ、高温条件の採用は控えられてきた。このことは確かに広葉樹材には当てはまるが、落ち込みの少ない一般の針葉樹材には必ずしも該当しない。針葉樹材の多くは温度上昇によってむしろ乾燥割れが減少すると考えられており、これを裏付ける研究も多く見られる。

スギの場合、高温乾燥は処理方法によっては乾燥時間の短縮や表面割れに効果があるが、狂いや内部割れは温度が高くなるほど発生し易くなる。収縮率については材の種類や割れの発生具合によって異なり、大きくなる場合と小さくなる場合が見られ、必ずしも一定の傾向を示さない。これは熱によって木材が変形し易くなり色々なケースが現れるためと考えられる。

高温乾燥の適用に際し、最近では乾燥初期の温度上昇方法や乾燥終了時の温度下降方法、あるいは高温における湿度条件など、乾燥条件や操作に関することが重要であることが指摘されるようになったが、これらが高温乾燥の適用性を広げるのに大きく貢献している可能性は高い。中でも乾燥初期に90℃を越える高湿条件で数時間以上処理する操作は、心持ち材の割れ防止にきわめて有効なものと考えられる。最近の高温乾燥装置の特徴の一つとしてこの種の操作が可能になったことが挙げられよう。

高温乾燥の特徴としては、乾燥時間が短かいためエネルギー効率が良いこと、乾燥設備の回転率が上げられるため相対的に設備経費を低減できることなどがあるが、その反面、乾燥材の強度性能の低下、材色の変化、内部割れの発生、変形や曲がりの増大による歩止まりの低下、乾燥機の耐久

性の低下、温湿度管理の難しさなどがあり、まだ検討あるいは改善すべき問題も多い。

3. 最近の高温乾燥機

最近話題になっている高温タイプの乾燥機は、従来の機械に比べ湿球温度が100℃近くと非常に高く、乾球温度を100℃以上160℃近くまで上げられることが特徴である。表1は100℃以上における木材の平衡含水率であるが、従来は、高温乾燥は装置的な制約から湿球温度の上限が90℃くらいで、このため乾燥割れ等を考えると乾球温度の上限は110℃くらい（平衡含水率約5%）が常識的な値であった。しかし、最近の乾燥機は湿球温度をさらに高く常圧での上限値である100℃近くまで高め、乾球温度の上昇によって乾燥時間の大幅な短縮を

表1 100℃以上における木材の平衡含水率

湿球温度 (°C)	乾球温度 (°C)						
	100	105	110	115	120	125	130
100	19.5	10.8	6.9	5.4	4.1	3.2	2.5
98	15.7	9.2	6.0	4.7	3.8	3.0	2.4
96	12.9	7.8	5.5	4.3	3.6	2.8	2.3
94	10.8	6.9	5.1	4.1	3.3	2.6	2.1
92	8.9	6.2	4.7	3.7	3.1	2.5	2.0
90	7.3	5.5	4.4	3.5	2.9	2.3	1.8
85	5.4	4.2	3.4	2.8	2.3	1.9	1.6
80	4.5	3.5	2.8	2.2	1.9	1.6	1.4

ねらっている。この場合、平衡含水率を同じ5%とすると乾球温度は116℃まで高められることになる。また、最近では乾燥初期の高温高湿処理が心持ち材の割れ防止に効果があることがわかってきており、こうしたことからかなり高い温度条件が用いられるようになってきた。しかし、乾燥スケジュールは乾燥機メーカーによって考え方が異なり、多種多様でまだ定まった型が出来上がっていない。

高温乾燥機の必要条件としては、壁体の断熱性能が高いこと、送風装置や温湿度センサーなど内部機器の耐熱・耐湿性が高いこと、十分な風速が

あり機内の温度むらが少ないこと、ボイラー容量が充分あることが挙げられるが、総合的には装置の耐久性が優れていることがきわめて重要な要素である。乾燥温度が高くなると温湿度のコントロール技術は格段に難しくなり、乾燥機内の場所による温度むらが大きくなり易い点は注意を要する。

4. 高温乾燥スケジュール

高温乾燥スケジュールとしては、アメリカ林産研究所で発表されているものがある。乾球温度はおよそ100~116℃であるが、調湿時に一時的に90℃近くまで温度を下げる場合がある。湿球温度は82~100℃となっており、終始高湿条件のものから比較的低温なものまで色々である。板厚や材種に応じて15種類ほどのパターンが用意されている。

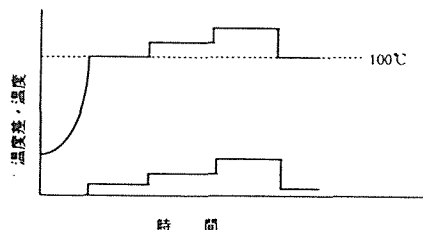
板材や2×4材の場合は、この中から適する乾燥スケジュールを選ぶことが可能であるが、日本では柱材でしかも心持ち材の乾燥が対象となるため、直接これを適用することは問題がある。スギ心持ち柱材の高温乾燥処理方法については、現在は各乾燥機メーカーによって推奨する処理方法が異なり、それぞれ独自の指導が行われている。これについて国公立の研究機関では、この種の乾燥機の導入が遅れていることから、適切な評価や研究指導が行えないでいるのが実状である。

現在使われている高温乾燥スケジュールは、およそ図1の3つのパターンに分類できる。

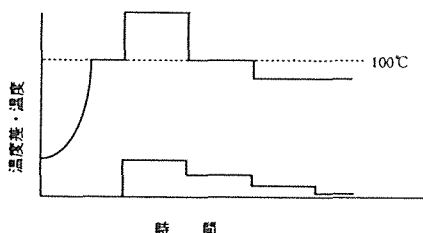
上段は従来からある一般的な高温乾燥スケジュールで、初期は乾湿球温度差を開かないようにして徐々に温度を上昇させ、100℃近くに達したら乾湿球温度差5℃くらいの所定の条件で乾燥するタイプである。中期以降は乾湿球温度差を次第に大きくして行き最終的には20~30℃とするが、初期及び末期の温湿度条件は材種によって適正な条件を選択する必要がある。アメリカ林産研究所のスケジュールは基本的にはこのタイプに属する。

中段は熱処理型の高温乾燥で、乾燥初期あるいは乾燥途中の適当な時期に一時的に高い温度を与えて熱处理的な操作を行い、乾燥割れの防止と急速乾燥を目指す方法である。後半に温度及び乾湿

一般的な高温乾燥：後半に温度上昇



熱処理型の高温乾燥：前半に温度上昇、後半は降温



熱処理後、中温で乾燥する方法

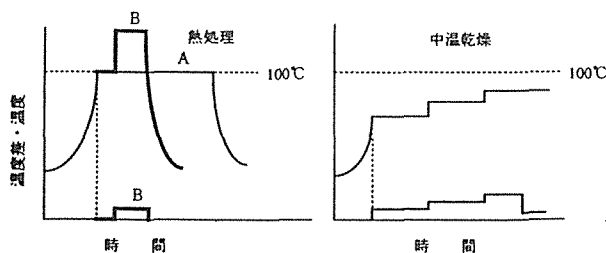


図1 高温乾燥の各種パターン

球温度差を下げていくのは、乾燥割れ特に内部割れを防ぐためであるが、これをあまり慎重にやると乾燥時間は長くなる。一時的にせよ高温条件を如何に長い時間適用できるかが乾燥時間短縮の鍵になる。材質的なばらつきが大きいスギ材では短期間しかこの処理が行えない場合があり、乾燥操作に高い技術レベルが要求される。

下段は熱処理と乾燥とを切り離れたもので、別装置で蒸煮や高温高湿の熱処理を行った後、通常の乾燥よりやや高い温度で乾燥を行う。熱処理により乾燥割れの防止が行われるため、その後は多少きつい条件で乾燥してもこれに耐えられることを利用したものである。熱処理としては色々方法が使えるはずで、後乾燥には既存の乾燥機が使えるため、適用性は広いと考えられる。

スギ心持ち材の乾燥では、乾燥初期の高温高湿空气中での加熱が割れ抑制に効果があるが、処理温度は85℃以上にする必要があると、処理時間が長いほど効果は大きい。柱材では85℃で24時間、

90～95℃で12時間が目安であるが、さらに高い温度を用いれば短時間の処理でも効果が期待できると思われる。こうした熱処理効果が生じる理由としては、材内の生長応力の解放や化学成分の変化、これによる材質の変化などが考えられているが、処理条件との関係を含めまだあまり科学的な原因究明は進んでいない。

現在のところは一応次のように考えている。熱処理によって初期に表面に圧縮応力が、また内部に引っ張り応力が存在する状態が作られ、表面割れが発生しにくい条件が作られるため、その後の乾燥過程で乾燥条件を通常より多少強くしても割れの発生が抑えられ、結果的に乾燥時間が短縮出来るのではないかと考えられる。このほか、熱による軟化、水分通導性の変化なども考慮すべきであるが、この効果について既往の研究からは納得できる成果は得られていない。

5. スギ心持ち柱材の乾燥試験結果

背割りのないスギ心持ち柱材を中型の実験用乾燥機で乾燥した結果について述べる。用いた乾燥機は木積み寸法が幅80cm、高さ120cm、長さ3mで、これに115mm角、長さ3mの柱材をほぼ一杯に42本（約1.7m³）積み積みした。乾燥条件はおおよそ図1の上段及び中段に示すものである。実験Aは乾球温度を110℃、湿球温度を98℃一定とし、昇温と初期蒸煮に約10時間、降温に8時間をとって合計72時間で乾燥した。実験Bは蒸煮後乾燥温度を一時的に115℃まで上昇させ、その後は次第に100℃まで下げて行った。この場合の湿球温度は95℃一定とし、昇温と初期蒸煮に約16時間、降温に5時間をとって合計96時間で乾燥した。

実験結果のうち乾燥後の仕上がり含水率を初期含水率と対比させて図2に示した。含水率の数値は全て全乾法の値である。これによるとAでは初期含水率80%以下の材は約3日間で所定の含水率に仕上げる事ができる。また、Bでは初期含水率120%くらいまでの材を約4日間でまずまずの仕上がり含水率に仕上げる事が出来る。この場合の表面割れや内部割れは、やや大きいものが全体

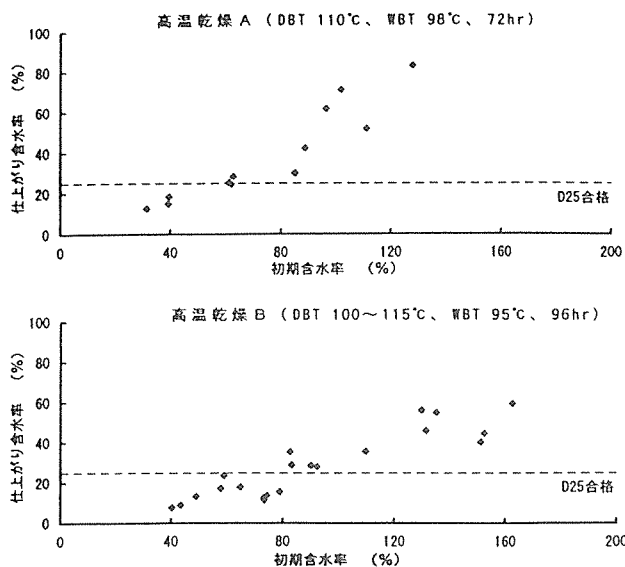


図2 スギ心持ち柱材の高温乾燥試験結果

の10%くらいあったが、残りは全くないか軽微なもので、心持ちのスギ柱材としては一応の合格ラインにあると判断される。実験条件としてはこれよりやや厳しいものも試してはみたが、現在のところこれより短時間で満足できる結果は得られていない。実験の印象としては乾球温度が120℃を越えると、特に内部割れに対して厳しい条件になるように感じられた。

6. スギ材への高温乾燥の適用性

建築用のスギ柱材の乾燥や、集成材用のラミナの乾燥には、高温乾燥は非常に有力な乾燥法であると考えられる。特に大壁工法に用いる無背割り材では、多少の表面割れや内部割れ、変色などは許されると思われるので、高温乾燥の適用範囲はかなり広がるであろう。確かに一般の乾燥方法で10~14日かかるものが、3~4日あるいはそれ以下で乾燥できれば非常に魅力的である。しかし、ちょっとした処理方法の違いや、対象材の違いで乾燥の仕上がり品質に大きな差が生じる危険性も含んでいる。工業材料としての安定した品質の乾燥材を生産しようとするれば、多少乾燥時間を犠牲にしてもう少し処理時間を長くする必要性が生じるかもしれない。実際の乾燥実務の中で乾燥操作条件の改良を図っていくと同時に、より効果的な処理条件を探していく努力が必要である。

表2 推奨しうる高温乾燥スケジュールの例

時間 (日)	含水率 (%)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	乾湿球 温度差 (°C)
0 ~ 1	約 100	95	95	0
1 ~ 2	100 ~ 70	100	#	5
2 ~ 3	70 ~ 40	105	#	10
3 ~ 4	40 ~ 20	110	#	15
4 ~ 5	降温・調湿	110 → 40	95 → 33	15 → 7

心持ちスギ柱材（無背割り）、105mm仕上げ用材

ここで、現在ある試験データや乾燥工場における調査状況などから判断し、スギ心持ち柱材の乾燥方法として推奨しうる乾燥条件を考えて見ることにした。表2がそれであるが、乾燥時間は5日間を見込んでいる。平均含水率が100%くらいあるかなり幅広い初期含水率の材を安全に乾燥しようとする、このくらいの乾燥時間が必要になると考えられる。

7. おわりに

高温乾燥について考え方と可能性を述べてきたが、正直に言って研究及び資料不足の観は否めない。処理方法によっては飛躍的に乾燥時間を短縮できる良い方法があるかもしれない。ここで示した実験データや乾燥スケジュールは、現在筆者が感じている高温乾燥の一つの限界を示すものとして理解願いたい。今後もより優れた処理方法の追求を行っていく予定である。最後に、実験に御協力いただいた住友林業(株)ならびに住金ヒルデブランド(株)の皆様に深く感謝いたします。

5.2 スギ板材の高温乾燥

齋藤 周逸 (森林総研)

I はじめに

国内におけるスギの供給量は順調に伸びており、国産材供給量の3割以上を占めている。

スギ材の特徴に材質的な変動が大きいことがあげられた。たとえば、密度、含水率等が他の国産針葉樹よりも大きい。また、スギの心材部分は比較的含水率が高いので人工乾燥時の仕上がり含水率を揃えるためには乾燥時間が長く必要とされる。

スギの乾燥時間を短縮するために考えられる一般的な方法としては、熱風乾燥法により100℃以上の高温域で処理することである。ここでは、熱風乾燥による試験を高い温度域まで広げて行い、乾燥時間、品質等を評価した。

II 試験方法

試験材は宮崎県産のスギで、末口径が24~34cm長さ4mの一番玉であった。試験材の製材は当所で行い、木取りは材厚24mmと44mmで丸挽き(だら挽き)をした。一番玉は根元から約2mまでの含水率は高いとされていることから試験材は主として末口から2mの範囲で採取した。乾燥試験時には両面プレーナーがけをして、材幅を柾目100mm、板目200mmとし、材厚はそれぞれ20mm、40mmの2条件とした。

熱風乾燥試験は高温条件がとれる小型の試験用乾燥機を用いておこなった。乾燥条件は風上側で乾球温度を120℃、150℃、180℃の3条件、湿度条件は湿球温度の読みが90~95℃になる条件とした。材間風速は平行気流2(m/s)で行った。

試験材は温度の影響を3条件で比較するために、長さ2mの同一の材から60cmずつの長さで連続するようにした。両木口はシリコングリースでコーティングをした。一回の試験に使われる試験材の枚数は、乾燥機の容量の関係から柾目の20mmは16枚、その他は8枚とした。

試験中は含水率の減少経過を求めるために乾燥機から適宜取り出して重量を測定した。また、含水率10%以下の終了時に材幅および材厚を測定し収縮率を求めた。

また、乾燥時間等の比較のための乾燥試験を乾球温度90℃、湿球温度85℃の一定条件および標準的な温度域である乾球温度50~70℃、関係湿度80~31%の乾燥スケジ

ュールに従い行った。

材色は木の素材を活かした使い方をする場合には重要な要素であるため、ここではミノルタ製のCR-200を用いてLab表色系(JIS Z8729)による材色測定をおこない、乾燥前後の色差を求めた。

III 結果

1 乾燥経過：図-1に今回の試験で扱った試験材の初期含水率分布を示す。平均含水率は101%であった。図2、図3は20mmおよび40mm柾目材の含水率減少を指数曲線($Y=A\exp BX$; A, Bは定数)で表したものである。平均値±標準偏差内の含水率範囲から含水率10%までの処理時間は材厚20mmでは120℃、150℃、180℃の各温度でそれぞれ6~10時間、4~8時間、2~4時間程度、40mmの材厚では、それぞれ14~24時間、6~8時間、4~7時間程度であった。柾目と板目の乾燥速度の差は少なかった。

表-1に乾燥各条件の含水率60%~10%までの120℃を1としたときの乾燥時間の比を示す。ここから乾燥温度が高い方が乾燥時間が短いことは明らかである。ただし90℃の乾燥では乾燥スケジュールを作成すれば乾燥時間は短縮されると考えられる。

2 収縮率および欠点：木材の乾燥では、乾燥後の仕上がり状態によって乾燥条件が制約される。割れ等の欠点は乾燥後の加工に影響を及ぼすため、一定限度以下に抑える必要がある。今回の3条件の乾燥では柾目、板目木取りとも乾燥後の表面割れは現れなかった。一方、内部割れは表-2のように150℃以上になると多く現れる傾向にあった。曲がり等の狂いはほとんどなかったが、これらの欠点は試験材長にも影響されるため、実用的な材長の3~4mでは問題になることが予想される。

表-3に各乾燥温度条件における乾燥終了時の幅方向と厚さの収縮率を示す。内部割れが著しい個体はデータからはずした。これらの収縮率は乾燥温度の上昇によって大きくなる傾向がみられた。今回の試験では乾燥温度120℃における収縮率は比較的少なく、半径方向は標準的な温度の乾燥と比べて収縮率の差が少なかった。

3 材色：木材の材色は一般的にL*a*b*表色系色度図の赤方向と黄色方向に挟まれる第1象限で表される。表

Shuetsu SAITO (For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305)

High-temperature kiln-drying of Sugi (*Cryptomeria japonica* D.DON) boards

4に乾燥前後の色差を示す。 ΔE^*ab はLab表色系の色差を表す。ここでは乾燥温度が高い方が ΔE^*ab の値が大きくなる傾向を示し、材色の変化が大きくなることを示した。 ΔE^*ab 値の一般的な色の変化の表現では、50~70℃の標準的な温度による乾燥は「僅かに異なる」に対し90℃、120℃および150℃の乾燥は「きわめて著しく異なる」、180℃の乾燥は「別の色系統になる」と評価された。このことは目視によってもあきらかであり、高温乾燥後の材色は乾燥前より、黒くくすんだ色に変化することが認められた。

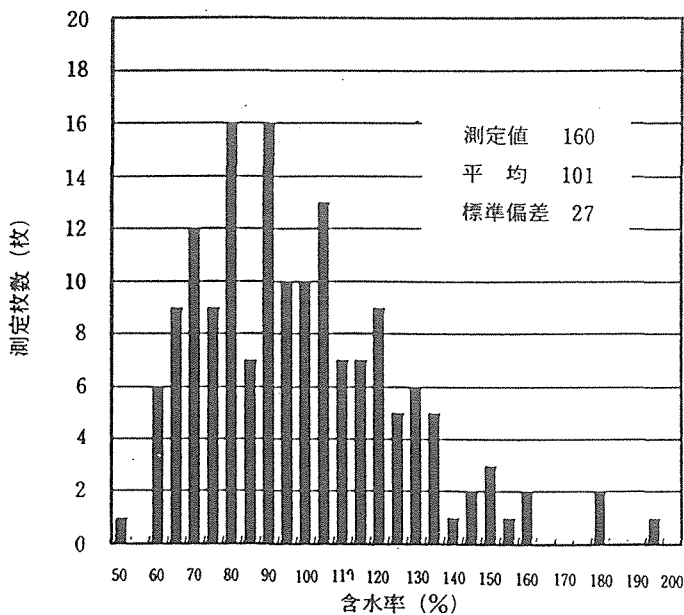
IV まとめ

これらのことから熱風乾燥で乾燥時間を短縮するためには乾燥温度の上昇が有効である。しかし、乾燥後の仕上がり状態を考慮に入れると150℃以上の乾燥では内部割れ、材色の変化が著しく乾燥後の加工に問題がある。

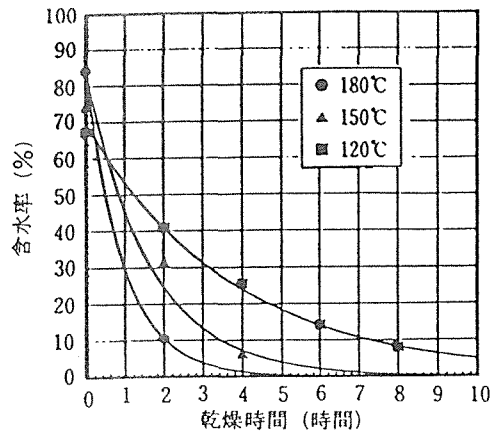
今回の場合は120℃の乾燥であれば比較的割れ等の欠点および材色の変化が少なく、このことは120℃以上、150℃未満の高温乾燥の可能性を示唆する結果となった。

引用文献

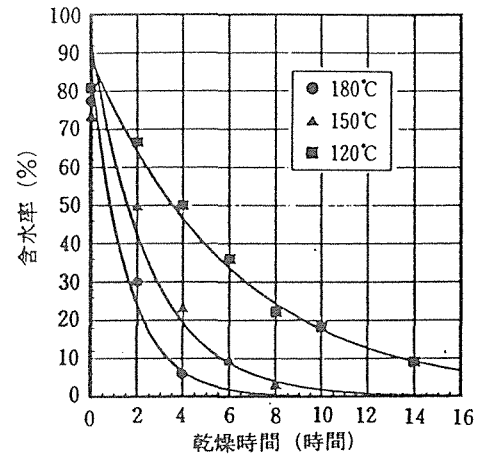
(1) 鷲見博史他：スギ、ヒノキ材の葉枯らし、巻き枯らし等林内乾燥試験（林内乾燥法の確立）国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書、157~171, 1988



図一 1 試験材の初期含水率分布



図一 2 スギ20mm 柵目板材の乾燥経過



図一 3 スギ40mm 柵目板材の乾燥経過

表一 1 含水率60%から10%までの乾燥時間の比

乾燥温度(℃)	柵目板厚		板目板厚	
	40mm	20mm	40mm	20mm
120	1	1	1	1
150	0.4	0.4	0.3	0.5
180	0.2	0.2	0.2	0.3
90	9.5	6.7	—	—
50~70	9.7	7.9	—	—

表一 2 内部割れの生じた割合

乾燥温度(℃)	材厚20mm		材厚40mm	
	柵目	板目	柵目	板目
50~70	0/8	—	0/8	—
90	0/8	—	0/8	—
120	0/16	0/8	0/8	2/8
150	7/16	5/8	2/8	8/8
180	15/16	7/8	5/8	7/8

表一 3 乾燥後の収縮率

乾燥温度(℃)	収縮率(%)	
	半径方向	
	半径方向	接線方向
50~70	2.7	2.8
90	3.9	4.1
120	2.6	6.3
150	3.0	7.2
180	6.1	7.3

表一 4 各乾燥温度における乾燥前後の色差

乾燥温度(℃)	ΔE^*ab	ΔL^*	Δa^*	Δb^*
50~70	0.80	-3.24	1.39	0.18
90	7.75	4.09	2.08	7.38
120	7.45	5.94	1.26	4.32
150	9.62	8.44	1.94	4.33
180	18.71	17.31	2.69	6.59

5.3 スギ正角の高温乾燥について (第1~2報)

(愛媛林試) ○三好誠治 村口良範

1 はじめに

スギ正角の乾燥時間の短縮とコスト低減を目的として高温乾燥試験を行い、乾燥温度の違いによる乾燥速度・初期蒸煮処理の時間とその後の乾燥速度・割れの発生等について検討した。

2 試験方法

2.1 供試材 スギ正角20本(12cm角・材長4m・心持ち・背割りなし)から長さ70cmの試料を4本連続採取し、両端をコーティングして試験材とした。乾燥速度の比較に留意して、連続する試験材を各試験に20本配分した。試験材の平均含水率・気乾比重・年輪幅・心材率はそれぞれ、80.4%・0.380・6.1mm・98.7%である。

2.2 試験について 初期蒸煮温度は95℃とし、その後の湿球温度は乾燥終了まで95℃とした。蒸煮後、乾球温度を105℃と115℃の一定温度に設定した試験と、含水率の低下に合わせて2種類の方法で条件を変更する試験を行った。蒸煮時間は各試験で2条件とし、目標含水率は20%とした。

3 結果及び考察

3.1 図-1~4に各試験の乾燥条件と乾燥経過を示した。含水率は蒸煮処理時間が同じ試験材10本の平均値である。115℃試験の乾燥速度は105℃試験の約2倍となり、高温乾燥の効果が認められたが、ほとんどの試験材に内部割れが発生した。

3.2 初期蒸煮をすると乾燥初期の乾燥速度が促進される傾向となったが、有為差は認められなかった(図-4)。また蒸煮処理時間の長短による、その後の乾燥過程の相違も認められなかった。

3.3 115℃試験では65%の試験材に割れが発生したが、スケジュール-1、2の発生は40%以下となった。

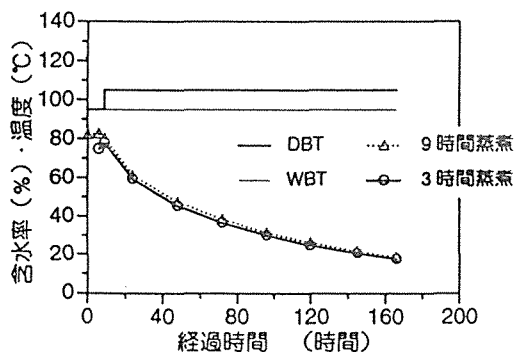


図-1 105℃試験

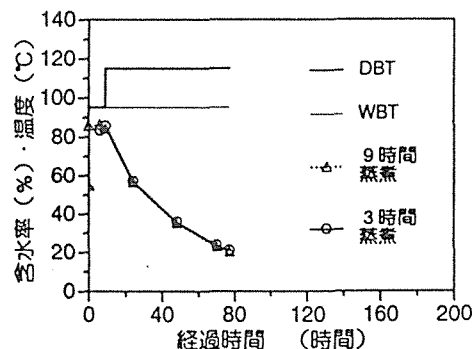


図-2 115℃試験

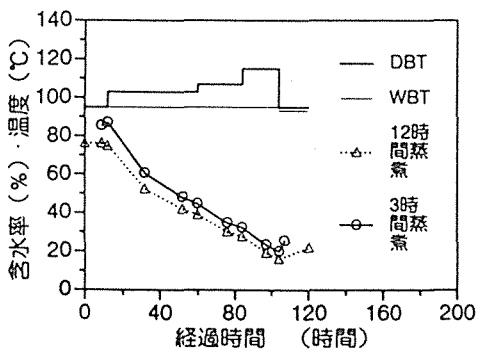


図-3 スケジュール-1

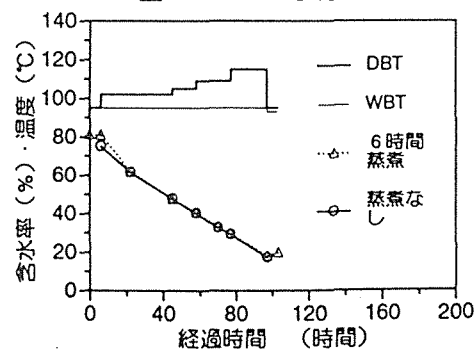


図-4 スケジュール-2

スギ正角の高温乾燥（第2報）

(愛媛林試) ○三好誠治 西浦政隆
(愛大農) 林和男

1 はじめに

スギ正角の乾燥時間の短縮とコスト低減を目的として引き続き、高温乾燥試験を行った前報では主に乾燥温度の違いによる乾燥速度と割れの発生を比較したが、今回は乾球温度の昇温スケジュールの違いによる割れ発生と蒸煮の効果等について検討した。

2 試験方法

2.1 供試材 スギ(*Cryptomeria japonica*)正角(12cm角・材長4m・心持ち・背割りなし)から長さ70cmの試験材を4本連続採取し、両端をコーティングした。試験材はエンドマッチするように各試験へ20本ずつ割り当てた。

2.2 試験について 初期蒸煮を95°Cで行い、その後乾燥終了まで湿球温度は95°Cとした蒸煮後は乾球温度を急激に上昇させて維持する方法(120°C一定・図-1)、徐々に上げる方法(100~115°C・図-2)、急激に上昇させ短時間維持してから温度を下げる方法(120~109°C・図-3と120~102°C・図-4)により試験を行った。平均含水率が20%に達するまで試験材を適時取り出して含水率と材面割れの測定をし、試験終了時に試験材を割材(両端より少し内側と中央部の3面)して内部割れを調べた。材面割れと内部割れは割れ幅1mm・長さ10mm以上を測定した。

3 結果及び考察

3.1 図-1~4に各試験の乾燥条件と乾燥経過を示した。割れの本数は材面割れが発生した試験材の本数である。図-1の試験は他の試験と比べると乾燥時間は短くなったが、材面割れは13本に発生し、顕著な内部割れが18本の試験材に見られた。

3.2 乾球温度を緩やかに上昇させる図-2の試験は、初期の材面割れは少ないが後期に増加した。図-3, 4の試験では材面割れは初期に発生するがその後の増加は少なく、図-2と逆の傾向を示した。内部割れの発生は図-2~4の試験でそれぞれ6本、8本、6本となり、図-1の試験より少なくなった。

3.3 図-3と図-4の試験を比較すると、初期蒸煮時間の違いにより乾燥初期の乾燥速度に相違は認められなかったが、材面割れは減少する傾向であった。また図-3の試験では中間蒸煮を1時間行ったが、その後の乾燥速度に変化は認められなかった。

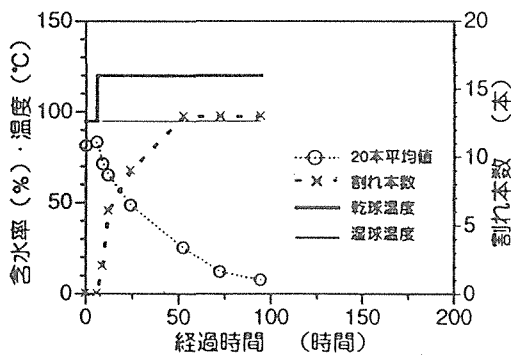


図-1 乾球温度120°C一定

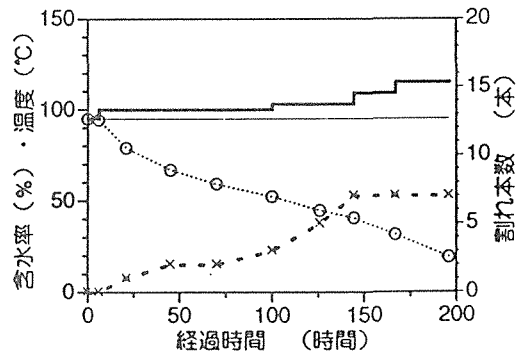


図-2 乾球温度100~115°C

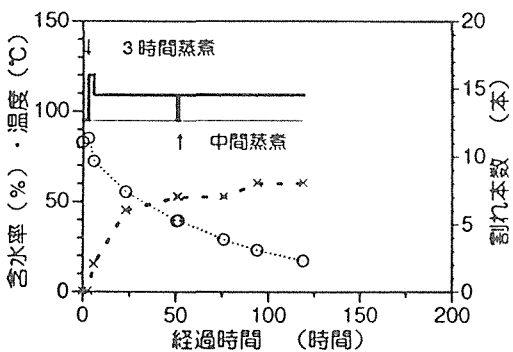


図-3 乾球温度120~109°C

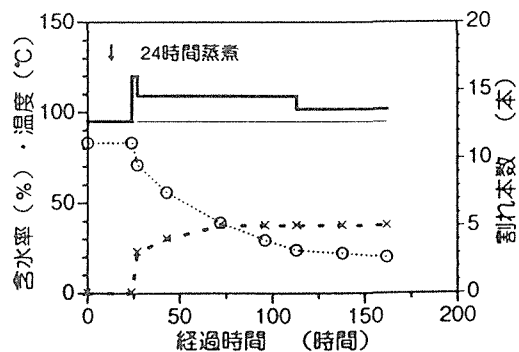


図-4 乾球温度120~102°C

5.4 カラマツ柱材の高温乾燥 (100℃以上)

(長野林総セ) ○吉田孝久、馬渡栄達 (松本地事) 征矢博
(住金ヒルデ) 小林祐行、横川光啓、岡田正行

1. 目的 カラマツの間伐材等中小径材 (φ16~20cm) を柱材として利用するための第一歩として、割れ及びびねじれ、曲がり等、狂いの少ない乾燥スケジュールを確立する。

2. 試験の方法 135×135×3000mmに製材したカラマツ心持柱材を供試材とし、末期乾燥温度110℃48本、120℃42本、130℃42本の人工乾燥を実施した。乾燥スケジュールは、(6時間: 蒸煮98℃) ⇒ (12時間: D.B.T.105℃、W.B.T.98℃) ⇒ (6時間: スケジュール変更期間) ⇒ (24時間: D.B.T.各末期温度、W.B.T.98℃) とし、全乾燥時間を48時間(2日間)に設定した。乾燥経過は水分抵抗式含水率センサーを材40mm深部に打ち込み、これにより追跡した。また、狂い抑制のため荷重約3tonを積載した。

3. 試験結果と考察 (1) 初期材温上昇状況 (図-1) 背割材の材表面から35mmの深部および無背割材の材表面から68mmの深部に熱電対を設置し、材温上昇状況を調査した。材中心部が98℃に達するのに6~7時間を要するが、無背割材と背割材を比べた場合、無背割材が1時間程度遅れる。また、装置内温度が98℃に達してから、約2時間遅れて材温が98℃となった。

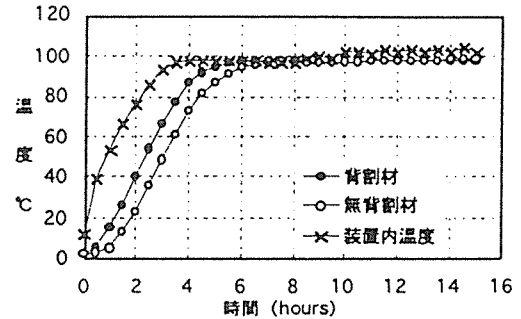


図-1 温度上昇状況

(2) 乾燥経過 (図-2) 120℃乾燥及び130℃乾燥ではかなり速い乾燥速度を示した。今後、乾温球温度差の違いと末期の乾燥温度の違いの影響を検討する予定である。仕上がり含水率(含水率計)は110℃で12.3%、120℃で11.9%、130℃で7.3%であった。しかし、130℃乾燥では、内部割れの発生した材もあり、この点についてもさらに検討する必要がある。

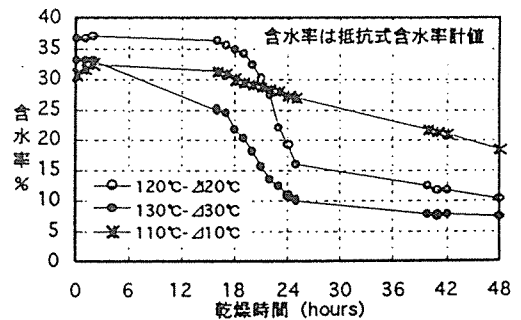


図-2 乾燥経過 (13.5cm背割正角材)

(3) 水分傾斜 (図-3、4) どの乾燥温度であっても含水率計では15%以下の値を示すが、短時間の乾燥では、水分傾斜の大きい乾燥材となってしまうことがわかる。この水分傾斜に影響する今後の狂い発生がどの程度か追跡中である。

(4) 形質変化 (表-1) 約3tonの積載荷重は、狂い抑制にかなりの効果があった。材面割れはどの乾燥においても、半数の材に20~30cmの割れが1本程度発生した。

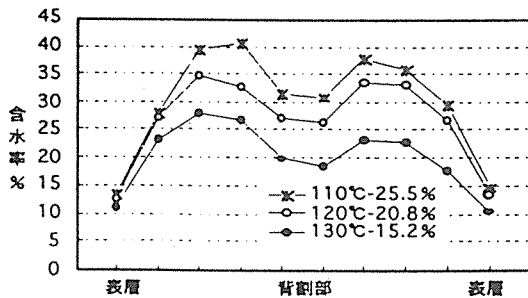


図-3 材内水分傾斜 (乾燥後: 背割材)

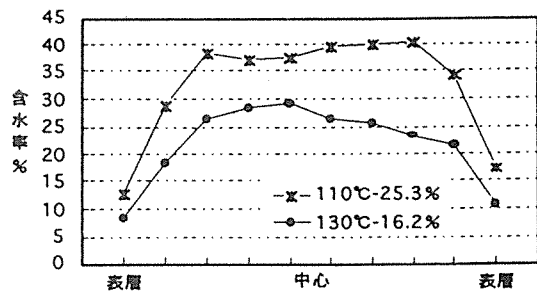


図-4 材内水分傾斜 (乾燥後: 無背割材)

表-1 乾燥による形質変化

乾燥温度	仕上がり含水率 (%)	ねじれ (mm m)	曲がり (mm m)	材面割れゼロの本数比率	重量比 (乾燥後/乾燥前)
110℃	12.3	2.7	2.3	65.1	0.87
120℃	11.9	2.8	2.5	45.2	0.81
130℃	7.3	6.0	3.4	62.2	0.80

仕上がり含水率はDELTA-5による

5.5 スギ柱材の高温乾燥（第1報） （120℃-30℃差の乾燥）

（長野林総セ） ○吉田孝久、橋爪丈夫

1.はじめに

筆者らはカラマツ柱材について、初期蒸煮後、高温熱軟化の状態で一気に温度差を広げ、その温・湿度条件を持続することにより、材面割れも少なく短時間で乾燥が可能であることを報告している¹⁾。

今回はスギ柱材について、実用的な高温高速乾燥スケジュールを確立するため、仕上がり含水率20%を目標に乾燥を行い、割れ・狂い・材色等の乾燥特性について検討した。

2.試験の方法

下伊那郡南信濃村産スギから製材した11.5×11.5×300cmの心持無背割材50本を25本ずつに分け、95℃初期蒸煮8時間→乾球温度120℃、温度差30℃で72時間の高温乾燥（A条件：計80時間、図-1）を2回実施した。また、比較対象として乾球温度を80～105℃、80℃～120℃に段階的にステップする2種類の乾燥スケジュール（B条件：計174時間、C条件：計106時間）で各25本ずつを乾燥した。全条件において、棧積み上部には狂い抑制のため、3ton（桟木加圧3.7kgf/cm²）の荷重を積載した。

3.試験結果と考察

（1）仕上がり含水率と水分傾斜

A条件の仕上がり含水率は、含水率計での測定で2本を除いた全ての乾燥材が、日本農林規格のD15をクリアした。含水率の平均値は全体で8.0%であった。全乾法では黒心材2本、赤心材8本について調査したが、平均値は黒心材28.4%、赤心材7.2%で、赤心材については含水率計の値とほぼ一致し、やや過乾燥ぎみであった。

これらの材について図-2に材内部の含水率分布を示した。赤心材については、材表面と材中心部とに2～5%程度の水分傾斜があり、材中心部の含水率は10%程度であった。一方、黒心材では水分傾斜が非常に大きかった。

（2）高温乾燥による形質変化

乾燥後の形質変化を表-1に示した。収縮率は仕上がり含水率が10%であれば、2.0～2.5%程度と思われる。全乾燥条件において、曲がりはおよそ2～3mm/3mで、JAS I級の許容限度である6mmを越えるものは、B条件の1本のみであった。

ねじれはおよそ1～2mm/3mであり、曲がり、ねじれとも挽き直し時に修正できる範囲であった。

乾燥による割れの発生状況は、全乾燥条件で材面割れ・木口割れともかなり少なかった。A条件の第2回目の試験では、材面割れが他の乾燥に比べ数値的にやや多いが、割れ幅は2mm以内のものがほとんどで、利用上問題となる程度のものではなかった。

（3）材色の変化

乾燥前と乾燥モルダ仕上げ後で材色を比較すると、川崎²⁾の指摘と同様に辺材では明度の低下が、心材では彩度の低下が目立ち、辺材と心材の同色化が進んだ。黒心材においてはこの現象が顕著であった。モルダ仕上げ後の辺材の明度はA条件がL* = 73、B条件がL* = 70、C条件がL* = 73で、高温乾燥特有の焼け色をそれほど感じさせなかった。

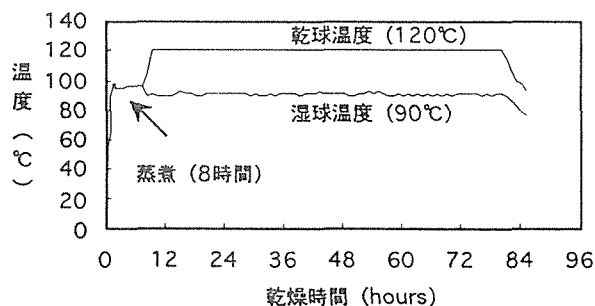


図-1 高温乾燥スケジュール

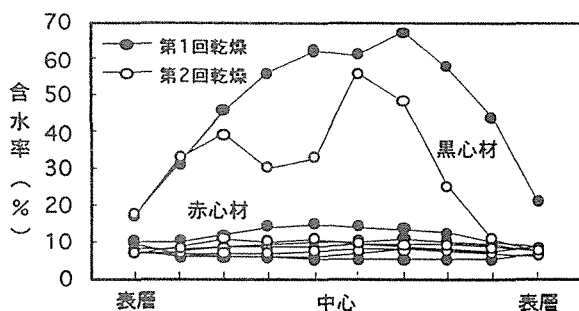


図-2 120℃-30℃差乾燥後の材内含水率分布

表-1 高温乾燥による形質変化の平均値

（含水率の測定はDELTA-5によった）

乾燥スケジュール	本数 (本)	圧縮	含水率 (%)	収縮率 (%)	曲がり (mm/3m)	ねじれ (mm/3m)	1本当りの 材面割れ (cm)	1本当りの 木口割れ (cm)	密度 (g/cm ³)
A 条件 (第1回)	25	有	10.9	2.29	2.2	1.0	96 (10)	5 (12)	0.398
(第2回)	25		5.2	3.28	2.2	1.8	143 (5)	16 (18)	0.398
B 条件	25		13.5	1.95	3.2	1.8	100 (11)	49 (21)	0.422
C 条件	25		8.4	2.54	2.6	1.5	51 (11)	24 (13)	0.405

（ ）内は割れ延長が0cmの柱材本数

〈参考文献〉 1) 吉田孝久ら:第48回日本木材学会大会要旨集,1998, P137 2) 川崎弥生:木材工業,53,(4),166～171 (1998)

5.6 カラマツ及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

1.1 緒言

建築構造用材に対する人工乾燥への関心が高まる現在、高温乾燥に対して、乾燥時間の短縮や低コスト化、さらに割れの抑制効果等が期待されている。しかし、一口に高温乾燥と言っても、乾燥スケジュール（乾燥温度、湿球温度、乾燥時間）の採り方によって、その仕上がり状態は様々である^{1) 2) 3)}。

乾燥温度80℃程度の通常の柱材の乾燥では、一般に乾燥開始時には関係湿度80%以上が保持されているのが普通である。このためか、現在行われている高温乾燥スケジュールの多くは、全乾燥期間を通して湿球温度を100℃近くに保ち、できる限り湿度を高く保つケースがほとんどである。

今回採用した乾燥スケジュールは、初期蒸煮により乾燥を抑えて材温を上げた後、一気に低湿状態で乾燥を進める方法である。この方法によって、乾燥初期に材表層部を急速に乾燥させ、高温域での熱弾性変形と引張りセットの形成により、心持ち材特有の材面割れを抑えようとした。さらに、材表層部は低湿状態で乾燥が進むため、材色の変化が少ないことを期待した。

1.2 試験方法

1.2.1 供試材

末口径級16~20cm、長さ3mの長野県佐久地方産カラマツと下伊那地方産スギから、無背割の

表1-1 供試材の概要

樹種	本数	乾燥回数	製材寸法 (cm)
カラマツ	224本	4回	12.0×12.0×300
スギ	119本	4回	11.5×11.5×300

注) 仕上げ寸法は全て10.5cm角

心持ち正角材を得て供試材とした。寸法、本数について、表1-1に示した。

カラマツはねじれの発生が大きいため、乾燥後の挽き直しを考慮してスギよりも大きい12.0cm正角とした。

1.2.2 乾燥スケジュール

乾燥スケジュールは、表1-2、図1-1に示したタイムスケジュールとした。乾燥時の装置内湿度は30~40%で、この条件での平衡含水率は約3%である。なお、スギについては、温度差50℃に

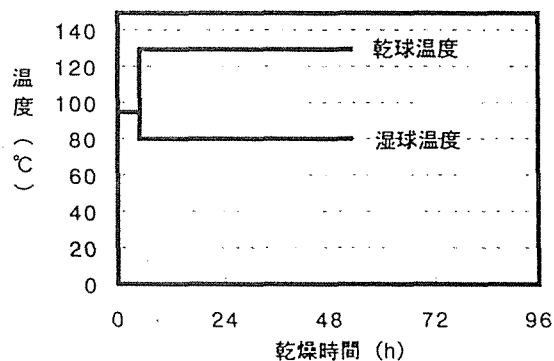


図1-1 基本型乾燥スケジュール (カラマツ)

表1-2 基本型乾燥スケジュール

樹種	時間 (h)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	備考
カラマツ	6	95	95	0	蒸煮 高温低湿条件
	48	130	80	50	
スギ	6	95	95	0	蒸煮 高温低湿条件
	72	120	90	30	

注) 蒸煮時間は装置内の温度が95℃に達してからの時間である。

設定した場合も試験した。

乾燥全てに、狂い抑制のために約3.0～3.5ton（栈木加圧2.9～3.7kgf/cm²）の荷重を積載した（写真1-1）。栈木は、熱及び圧縮によるつぶれがないよう25mm角のアルミニウム製とした。なお、材間風速は1.5～2.0m/sに設定して乾燥した。

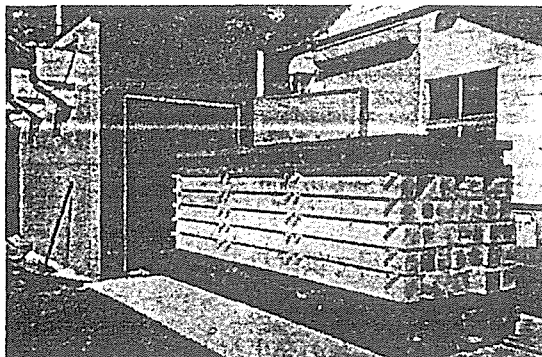


写真1-1 スギ柱材の栈積み（蒸気式乾燥装置）
25mmアルミニウム製栈木、材間風速1.5～2.0m/s

1.2.3 材温

乾燥初期の材温上昇状況を把握するため、JIS Kタイプ熱電対を用いて材温を測定した。熱電対は、材の中心部（表面から約60mmの深部）までドリルにより穿孔し、これを挿入した後に耐熱シリコンにより密封、固定した。

1.2.4 乾燥経過と乾燥後の含水率

両木口をシリコンでコーティングし、さらにこの上をアルミ箔で被覆した長さ1mの試験材2本を乾燥装置内に置き、重量を測定することにより含水率を追跡した。また、これと平行して、材中心部に打ち込んだ電気抵抗式含水率センサーにより含水率を測定した。

乾燥終了後の含水率は、含水率計（カラマツはエーデス機械産業製DELTA-5、スギはケット科学研究所製MOCO2）と、全乾法により測定した。

含水率計による含水率は、乾燥材の長さ方向に80cm、150cm、220cm近辺の3箇所を測定し、この平均値とした。

全乾法による含水率は、栈積みの中から乾燥ごと数本の材を無作為に選び出し、木口から1.5m部（長さ方向にはほぼ中央部）を切断して求めた。残りの材については、およそ1年間養生後の曲げ強度試験時の含水率（全乾法）から、換算して求めた。

また材内水分傾斜は、乾燥後と養生後に材幅方向1/3内部を、図1-2に示すように7分割あるいは10分割し、全乾法により求めた。

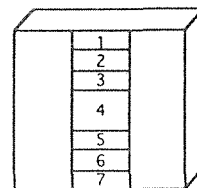


図1-2 水分傾斜測定部位（7分割）

1.2.5 乾燥後の形質変化と内部割れの調査

乾燥前と乾燥後に、寸法（幅、厚さ）、重量、曲がり、ねじれ、割れを測定した。

柱材の寸法は、材の長さ方向の中央部で測定し、乾燥後に測定部に割れが生じた場合は、同じ材面で割れの生じていない部分を測定した。また、これらの値から収縮率を求めた。

曲がりとは、発生している材面の最大矢高を、またねじれは、平面上で3点を固定し他の1点の浮き上がりを計測した（写真1-2）。

材面割れは、木口割れを含めた長さの合計で、また内部割れは、曲げ強度試験時の含水率測定試験片において、長さの合計と最大幅を計測した。

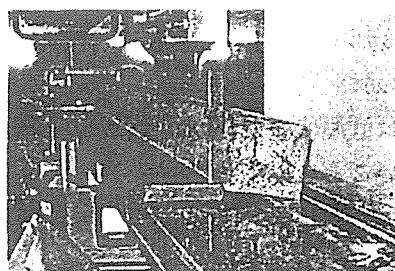


写真1-2 ねじれの測定

1.2.6 モルダ仕上げ後、及び養生後の形質変化

乾燥後の形質変化を測定した後、モルダにより10.5×10.5×300cmの柱材に仕上げた。この時点で再度、寸法、重量、含水率（含水率計）を測定し、栈積み状態で養生した。また、およそ1年経過後に寸法、重量、曲がり、ねじれ、含水率を測定した。

1.2.7 高温低湿乾燥材の吸・放湿試験

カラマツ及びスギの高温乾燥材3本から、10.5×10.5×1.5cmの木口試験片を3枚ずつ採取し、恒温恒湿装置（TABAI ESPEC）内に放置した

(写真1-3)。これらの試験片の重量を、原則として1日ごとに測定し、試験終了時に全乾とした後、各測定時の含水率を算出した。

恒温恒湿装置は、開始2週間を温度20℃・湿度85% (EMC=18%)、後2週間を温度20℃・湿度30% (同6%)、最終2週間を温度20℃・湿度85% (同18%) に設定した。

なお、コントロール材として同寸法のカラマツ及びスギ天然乾燥材試験片を3枚ずつ加えた。

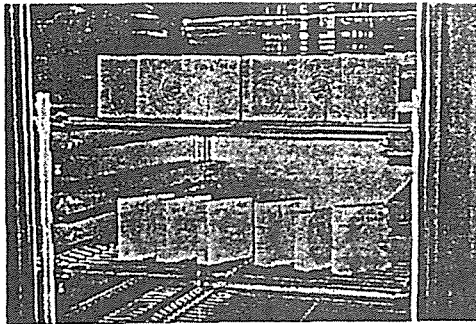


写真1-3 高温低湿乾燥材の平衡含水率の測定
恒温恒湿装置内に木口試片を存置

1.2.8 スギ柱材の材色変化

スギ柱材25体の材色を、乾燥前(生材)と乾燥後及びモルダ仕上げ後に、色差計(MINOLTA CR-300)を用いて、 $L^*a^*b^*$ 表色系で求めた。

1.2.9 実大材曲げ強度試験

乾燥前に、FFTサウンドアナライザーを用い縦振動数を測定し、次式により動的ヤング係数Efr (tonf/cm²)を算出した。

$$\text{ヤング係数Efr (tonf/cm}^2\text{)} = 4 \ell^2 \cdot Ru \cdot f^2 / g$$

ここで ℓ は材長、Ruは密度、fは固有振動数、gは重力加速度(980cm/s²)である。

また養生後の材及びその後同スケジュールで実施した材を加えて、スパン270cm、3等分点4点荷重方式により正角材の実大材曲げ破壊試験を実施した(図1-3)。

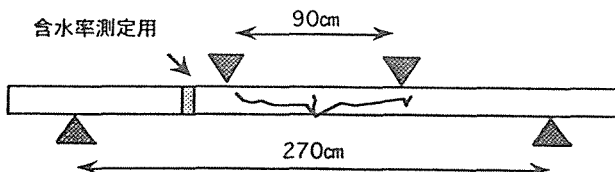


図1-3 曲げ強度試験条件と含水率測定試験片の採取位置

試験機はUH-1000KNA(島津製作所製)を用い荷重スピード10mm/minで行い、次式により曲げヤング係数MOE (tonf/cm²) (静的ヤング係数)及び曲げ強度MOR (kgf/cm²)を算出した。

$$\text{曲げヤング係数MOE (tonf/cm}^2\text{)} = \Delta P \cdot a / (3 L^2 - 4 a^2) / (4 b \cdot h^3 \cdot \Delta Y)$$

$$\text{曲げ強度MOR (kgf/cm}^2\text{)} = 3 a \cdot P_m / b h^2$$

ここでP_mは破壊荷重、 ΔP は比例域内における上限荷重と下限荷重との差、 ΔY は ΔP に対応するたわみ、Lはスパン、aは支点と荷重点との距離(90cm)、bは材の幅、hは材の高さである。

試験後、非破壊部より長さ方向2cmの含水率測定用試片を切り出し、全乾法により含水率を測定した。

1.2.10 実用規模での乾燥試験と乾燥経費の調査

県内の3箇所の乾燥工場において、表1-2に示した乾燥条件に準じた乾燥スケジュールで乾燥した材の仕上がり状態と乾燥経費を調査した。

乾燥材の仕上がり状態調査では、人工乾燥に供される柱材の中から30本を指定し、乾燥前後の重量と含水率(高周波含水率計MOCO2により測定)を、またこの中から10本を選定し、材長の中央部で全乾法による含水率、材内水分傾斜、割れ、曲がりを調査した。

乾燥経費については、電気量と消費燃料、さらに人件費について調査し、乾燥コストを算出した。

調査対象とした工場は、工場番号1が(株)新柴設備製高温タイプ31.5m³の乾燥機1機を、工場番号2が同31.5m³の乾燥機2機を、工場番号3がヒルデブランド(株)製高温タイプ45.0m³の乾燥機2機を保有している。

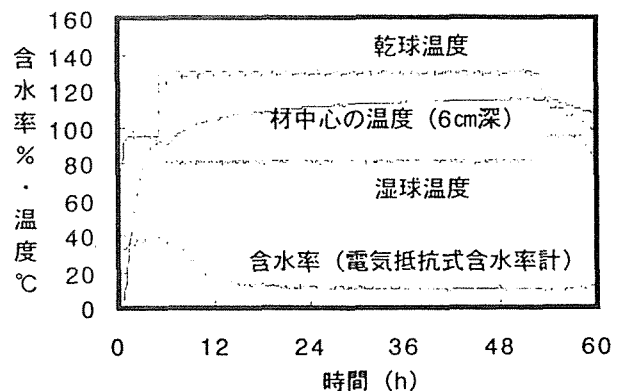


図1-4 カラマツ柱材(12.0cm)の温度上昇と電気抵抗式含水率計による乾燥経過

1.3.結果と考察

1.3.1 材温の上昇

材温の上昇状況例を乾球温度、湿球温度の状況と共に図1-4に示した。材中心部が95℃に達するのにほぼ6時間を要した。初期蒸煮時間の決定は、材中心部の温度が乾燥装置内の温度と同じになるまで行うことを前提として設定した。

満久は、初期加熱時間は一般に厚さ1cmにつき1時間、厚さが増すとこれよりやや低く見積もるのが適当であると述べている⁴⁾。本試験での12cm正角では、材中心部の温度が乾燥装置内の温度と同じ95℃になるまでに、装置内温度が95℃に達してからおよそ5時間、また21cm正角の試験ではおよそ12時間と、かなり満久に近い値が測定された。このことから、実用規模での乾燥装置で、乾燥初期の材温上昇に要する蒸煮時間の目安は、次式により決定するのがよいものと思われる。

$$T=A+H/2$$

ここで、T：蒸煮時間、A：装置内温度が設定蒸煮温度に達する時間、H：材厚（cm）である。

実用規模での乾燥装置におけるAは、乾燥する量や乾燥する季節によっても大きく変化するため、

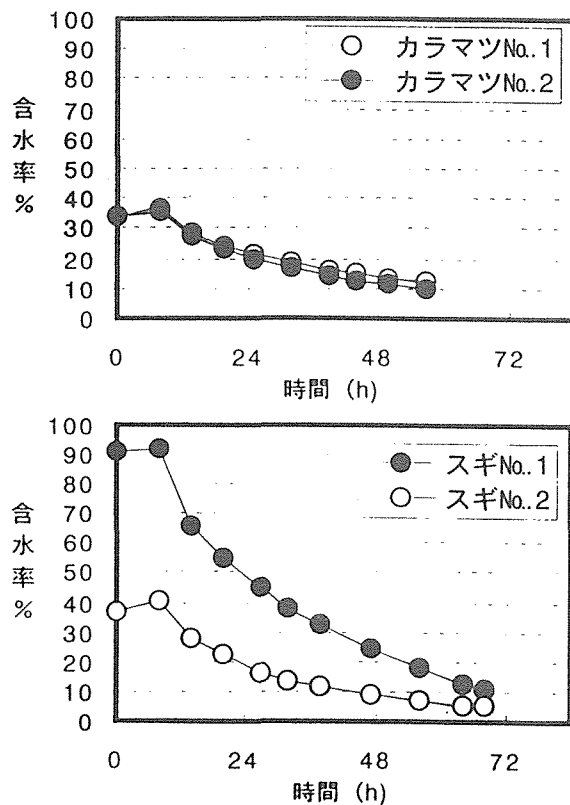


図1-5 乾燥経過（全乾法）

このことも考慮して決定すべきである。

1.3.2 乾燥経過と乾燥後の含水率

電気抵抗式含水率計で計測した乾燥経過の一例を図1-4に、全乾法で測定した乾燥経過を図1-5に示した。

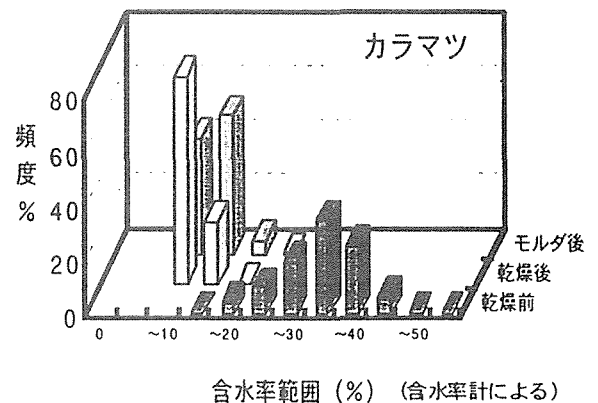
初期蒸煮後、材の含水率はやや上昇し、その後高温低湿の乾燥過程にはいると、カラマツは約60時間、スギは約70時間で含水率10%付近まで低下した。

初期含水率が低いカラマツでは、乾燥全体を通じて平均でおよそ0.5%/hの乾燥速度であった。

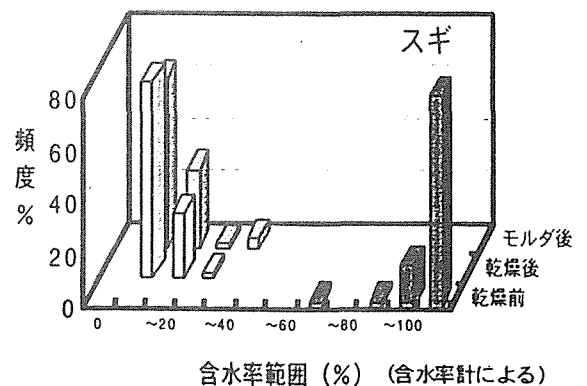
一方スギのNo.1においては、含水率90%から30%付近までは、およそ2.0%/h、含水率30%から10%付近までは、およそ0.7%/hの乾燥速度であった。特に、温度差を開いた直後6時間では、カラマツが1.4%/h、スギのNo.1が4.4%/h、No.2が2.1%/hの乾燥速度を示した。

乾燥前後及びモルダ仕上げ後の含水率（含水率計）の出現割合を図1-6に示した。

カラマツは、含水率計での測定で1本を除いた全ての材が含水率15%以下であった。含水率計での平均値は全体で8.8%、標準偏差1.9%であった。



含水率範囲 (%) (含水率計による)



含水率範囲 (%) (含水率計による)

図1-6 各時点における含水率の出現頻度

全乾法での含水率（曲げ強度試験時の全乾含水率から推定した）は、平均値が11.2%、標準偏差2.8%であり含水率計の測定値より2%程高い値を示した。

これに対しスギでは、含水率計での測定で、20%を超えるものが1本、15%を超えるものが2本で、残りは全て15%以下であった。含水率計での平均値は全体で9.0%、標準偏差3.0%であった。全乾法の含水率（曲げ強度試験時の全乾含水率から推定した）は、平均値が9.9%、標準偏差5.0%であり含水率計の測定値より1%程高い値であった。

スギにおいては、含水率（全乾法）が10%以下の材が全体の73%を占め、構造材としてはかなり過乾燥材となった。実用的に、全乾法による含水率が20%以下を目標とするならば、乾燥時間は48～60時間程度でも可能であると思われる。

なお、乾燥後に目標含水率或いは目標重量に達していない材は、この乾燥方法では養生期間中に割れの延長が見られなかった。すなわち、本乾燥法で含水率が目標値に達していない材は、その後天然乾燥或いは低中温乾燥での含水率調整が可能であると思われる。

1.3.3 材内部の水分傾斜

図1-7及び1-8に乾燥後と1年間養生後の材内部における水分傾斜を示した。

カラマツの場合、乾燥後では、材表層と材中心部とに5～10%程度の水分傾斜が認められたが、材中心部付近の含水率は20%以下に仕上がった。

カラマツは、ねじれの原因となる繊維傾斜が未成熟材部（髄周辺部）ほど大きい為、この部分に水分が残っている材では、その後ねじれの発生がある。事前に行った試験での結果は、材の中心部付近に水分が残っている材は、その後ねじれの発生が見られ、その程度は材中心部に水分が多く残っている材ほど大きかった⁹⁾。今回の試験では材中心部の含水率が20%以下に仕上げることが前提として行ったが、これについてはほぼクリアできた。

1年間養生後の水分傾斜では、材中心部の含水率は減少し、また表層部の含水率が上昇することによって、全体として水分傾斜のない乾燥材となった。

一方スギの場合、黒心材（重い材）では乾燥後の水分傾斜が大きく、材中心部では50%以上の含

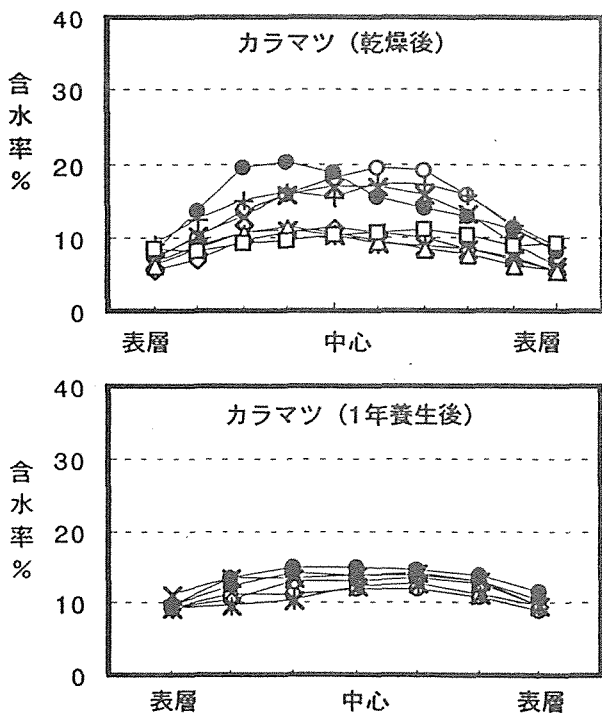


図1-7 乾燥後及び1年養生後の水分傾斜（カラマツ）

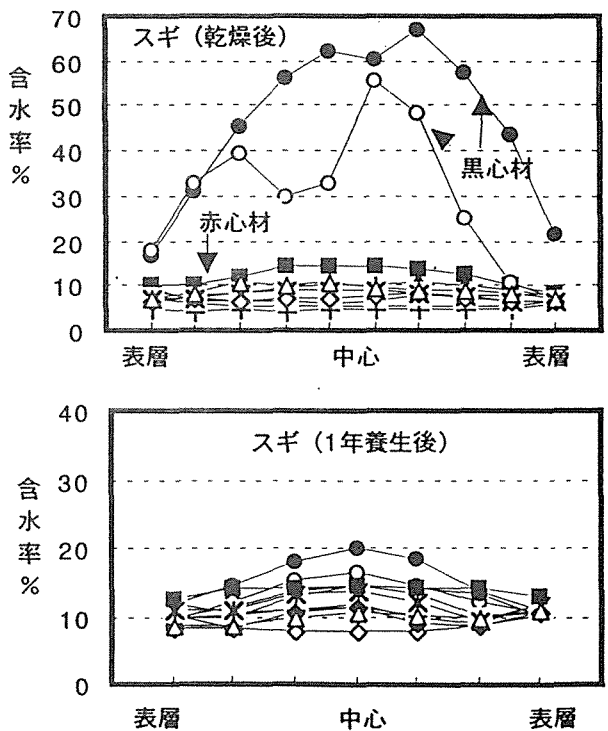


図1-8 乾燥後及び1年養生後の水分傾斜（スギ）

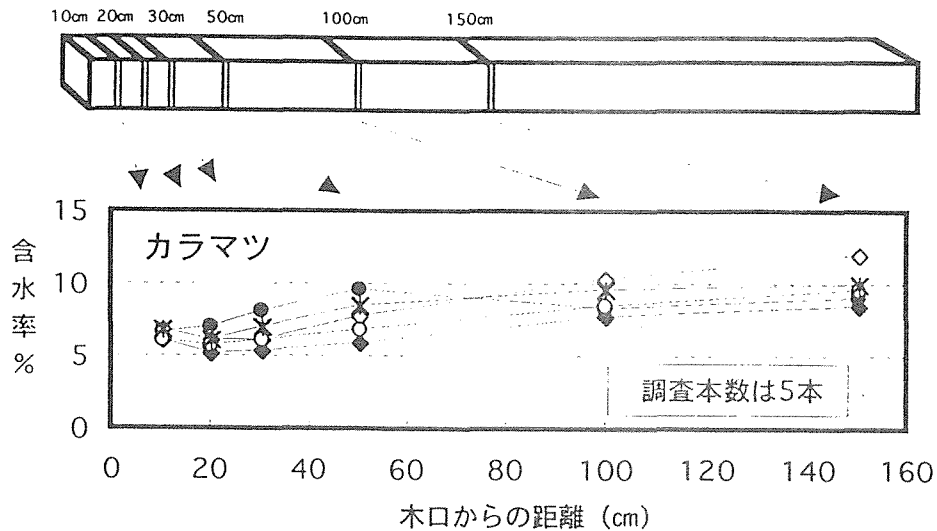


図1-9 乾燥2週間後の長さ方向別の含水率（全乾法）

含水率を示した。これに対し赤心材では、材中心部が10%程度で、水分傾斜の少ないやや過乾燥ぎみの材となった。

1年間養生後の水分傾斜では、黒心材の材中心部はおよそ20%となったが、他の材では、含水率の変動が少なく、3～4%の上昇で、平均で11%程度の含水率に落ち着いていた。

図1-9にカラマツについて、乾燥2週間後における長さ方向の含水率分布を示した。3m材の中央部1.5m部位まで徐々に含水率が上昇していることから、乾燥中の水分蒸発は、木口からもかなり多いものと思われる。また、木口から10cm部位では、乾燥後に材が吸湿して含水率がやや上昇したものと思われる。

1.3.4 乾燥後の形質変化

乾燥後の形質変化を表1-3に示した。

収縮率の平均値は、カラマツで2.92%、スギで3.17%であった。仕上がり含水率からすれば、ほぼ妥当な値であると思われる。

乾燥後の曲がりは、アテに起因するものと思われる、これは個体差が大きい。カラマツの場合、全

乾燥材224本中9本が、スギの場合119本中3本が、JAS1級の許容限度である6mmを越えた。カラマツの中には、積載荷重のため曲がりが拘束され、アテの部分に横割れの認められるものもあった(写真1-4)。

ねじれは、繊維傾斜の大きいカラマツが目立って多く、その平均値は9.2mm/3mで、最小0mm～最大36mmまで大きくばらついていた。一方スギは平均値が1.5mm/3mで、利用上問題とな



写真1-4 アテのある材では、上部積載荷重のため曲がることができず、横割れの発生する材もある。

表1-3 高温乾燥による形質変化（平均値）

樹種	含水率(1) (%)	含水率(2) (%)	収縮率 (%)	曲がり (mm/3m)	ねじれ (mm/3m)
カラマツ	11.2	8.8	2.92	3.5	9.2
スギ	9.9	9.0	3.17	2.3	1.5

注1) (1)の含水率は全乾法による。
注2) (2)の含水率は含水率計による。

表1-4 材1本当りの材面割れと内部割れ

樹種	材面割れ 延長(cm)	内部割れ 延長(cm)	内部割れ 最大幅(mm)
カラマツ	183	—	—
スギ	142	5.9	1.6

注1) カラマツの内部割れは未調査
注2) 内部割れ最大幅は、内部割れがある材の平均値

る値ではなかった。

カラマツについて、同乾燥スケジュールで非圧縮材50本の比較試験を行ったが、この平均値は14.1mm/3mで、圧縮材の平均値と比較すると、およそ35%の抑制効果が認められた。

1.3.5 乾燥による材面割れと内部割れ

材面割れについて、1本当りの割れ延長を表1-4に示した。

材面割れは、その延長や割れ幅が従来の乾燥方法（100℃以下の人工乾燥、天然乾燥）に比べ非常に少ないものとなり、割れの発生する面は、ほとんどが1材面のみであった（写真1-5）。

また、今回の高温低湿乾燥材の特徴として、割れ幅が狭く、また材面割れが天然乾燥材の様に髓までは到達せず、表面から1cm程度の深さしか入っていなかったことがあげられる（写真1-6）。これは乾燥初期に発生した材面割れが、髓まで到達する前（乾燥初期の早い時期）に、材表面

部の乾燥応力が、引張りから圧縮に転じたためと考える。乾燥後の材面割れの観察では、割れの発生した後に閉じた形跡のあるものも認められた。

材面割れは、乾燥前に干割れ（ヘアークラック）が発生していたものが、乾燥時にさらに延長されることが多く、また木口割れに関しては、新しく木口を切断し、乾燥前に木口割れのない状態にしておくと、乾燥による割れ発生はかなり抑制された。このように、材面割れや木口割れの抑制には、乾燥前の材の保管の状態、つまり製材から乾燥行程開始までに、いかに干割れを防ぐかが、大きく影響するものと考えられる。したがって、乾燥前に栈積み状態で長く置かないこと、これが無理な場合は、散水等で材面の乾燥を防ぐ等の工夫が必要であろう。

内部割れは、カラマツに関してはわずかであったが、スギについてはかなりの材に確認された（写真1-7）。内部割れの抑制方法については、内部割れが、強度性能や接合に対してどのように影響するかという問題と併せて、今後の検討課題としたい。（一部1.4項で検討）

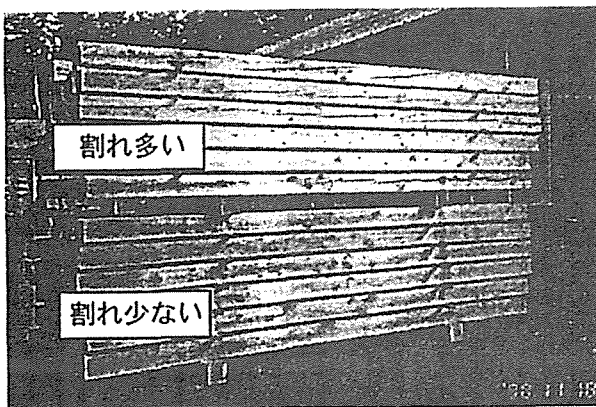


写真1-5 材面割れの発生状況（カラマツ）
上段：天然乾燥 下段：高温乾燥

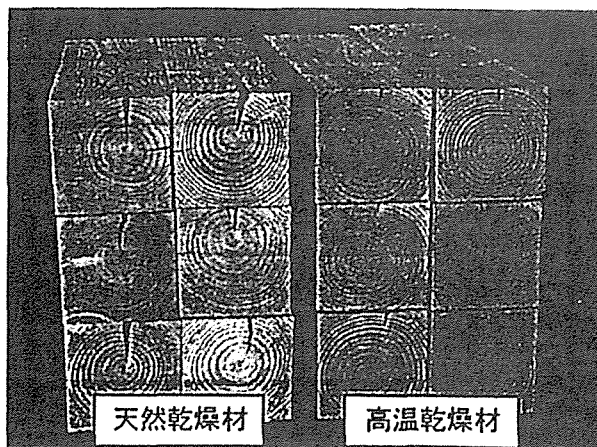


写真1-6 材面割れ深さの比較（カラマツ）
高温乾燥の割れは、浅く細い

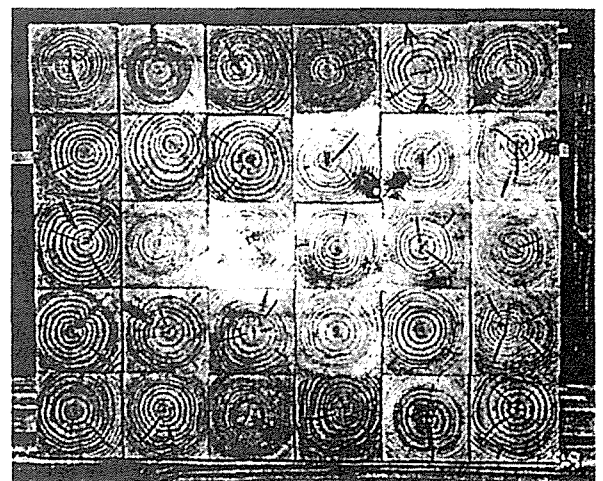


写真1-7 内部割れの様子（スギ）

1.3.6 モルダ仕上げ後及び養生後の形質変化

モルダ仕上げ後、およそ1年間の養生の間に発生した狂いの状況を表1-5に示した。

カラマツ、スギ両者とも全体としては養生期間中に吸湿し、含水率、重量、寸法がやや増加しているが、個体別にみると、吸湿しているものもあれば、放湿しているものもある。

モルダ仕上げ後の含水率（全乾法）と寸法変化の関係を図1-10に、重量変化を図1-11に示した。カラマツ、スギともに、プラス側の変化が大きく+2mm強、マイナス側では-1mm程度の変化であった。この中で、モルダ仕上げ後の含水

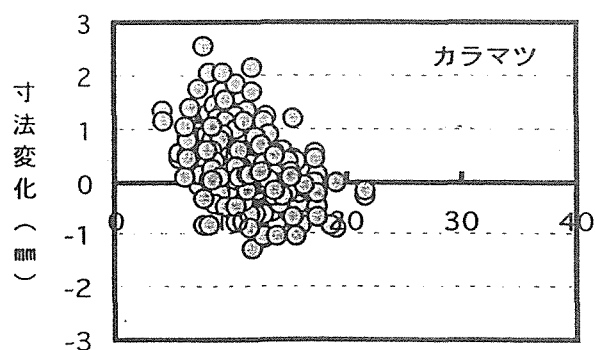
率が20%以上のものはマイナス側に-1~-2mmの動きを示した。今回の試験では全体に過乾燥ぎみであったため、養生期間中にプラス側に变化したが、この変化を少なくするためには、乾燥時間を短くするかあるいは乾燥後の調湿をある程度行った方がよいと考える。この場合、寸法変化の最も少ない含水率12%付近に調整することが望まれる。

曲がりやねじれの増加に関しては、乾燥後、材内に水分傾斜の残る材において、材中心部付近の含水率が低下するに伴って発生したか、或いは、乾燥時に3トンの荷重を棧積み上部に積載したた

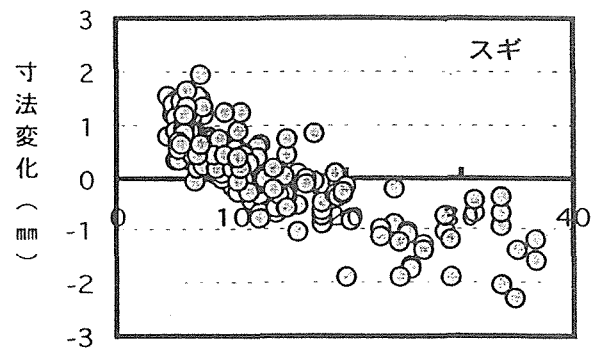
表1-5 モルダ仕上げ後、養生後の形質変化

		含水率 (%)	重量 (kg)	寸法 (cm)	曲がり (mm/3m)	ねじれ (mm/3m)
カラマツ	モルダ仕上げ後	11.2	16.35	10.505	0.0	0.0
	約1年後	11.6	16.44	10.531	2.4	1.9
スギ	モルダ仕上げ後	9.9	13.73	10.508	0.0	0.0
	約1年後	11.2	13.85	10.550	1.4	0.2

注) 含水率は全乾法による。

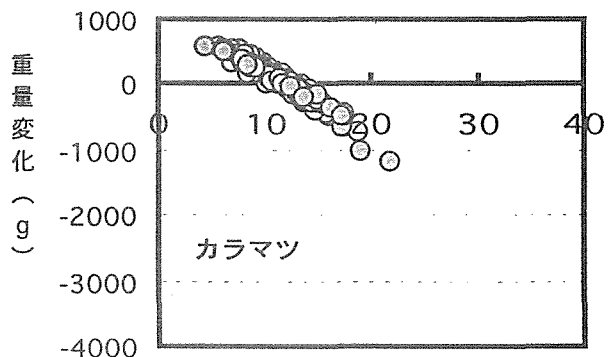


モルダ仕上げ後の含水率 (%) -全乾法-

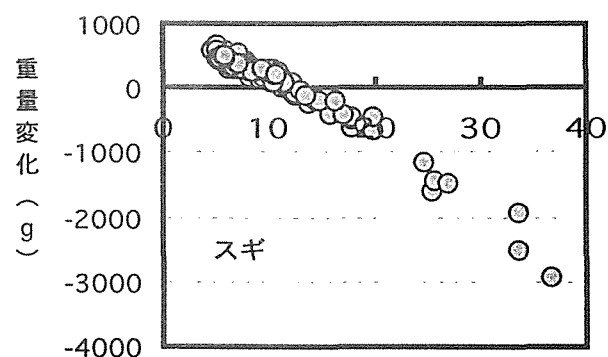


モルダ仕上げ後の含水率 (%) -全乾法-

図1-10 モルダ仕上げ後の含水率と約1年後の寸法変化の関係



モルダ仕上げ後の含水率 (%) -全乾法-



モルダ仕上げ後の含水率 (%) -全乾法-

図1-11 モルダ仕上げ後の含水率と約1年後の重量変化の関係

め、抑えられていた狂いが、その後養生期間中に徐々に回復したのではないかと考えられる。このことは、ねじれが、乾燥後においても養生後においても同じS巡回方向に発生する（吸湿によるものでない）ことから言える。この傾向は特にカラマツについて大きかった。

割れに関しては、新たな材面割れの発生や、既存の割れの延長はほとんどなかった。このことは、養生期間中の材面応力が圧縮応力であったことから説明される⁶⁾。

1.3.7 高温乾燥材の吸・放湿試験結果

恒温恒湿装置内の平衡含水率を18%→6%→18%と変化させた時の、これに伴う高温乾燥材の含水率変化を図1-12に示した。カラマツ及びスギの高温乾燥材の含水率は、天然乾燥材のそれに比べ4~6%低く、平衡含水率が低下していることが推測される。特にスギについては、吸湿側（高湿度条件下）でこの傾向が大きかった。

高温乾燥材の含水率や材内水分傾斜が、養生期間中に吸湿側に大きく変化しなかったのは（図1-7、1-8）、この影響が大きかったものと考えられる。またこのことは、温湿度の変化に対する寸法変化が小さいことを示唆しており、寸法安定性の改善が期待できる。

1.3.8 スギ柱材の材色変化

高温低湿乾燥による材色の変化は、カラマツ、スギともに乾燥による脱色感（特にスギの心材）はあるものの、100℃以下の中温乾燥材と視覚的にはあまり変わらない材色であった。

図1-13に、スギ柱材の辺材と心材について、乾燥前と乾燥後及びモルダ仕上げ後の測定結果を示した。

特に乾燥前と乾燥後とで変化の大きかったのは辺材の明度と、心材の彩度である。

辺材では明度が低下したが、彩度はほとんど変化がなく、一方心材では、明度がやや上昇し、彩度が低下する傾向にあった。つまり、心材では色の鮮やかさがなくなった。これを辺材と心材との色差 $\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$ で表わすと、乾燥前で $\Delta E = 16.86$ あったものが、モルダ仕上げ後では $\Delta E = 3.24$ となり、河崎²⁾が指摘したように辺材と心材の同色化が進んだ。

モルダ仕上げ後に辺材の L^* が70以上を示し、明度の減少が小さかったことは、乾燥温度が120℃と高温であっても、乾湿球温度差が30℃を保ち続けたこと、さらには乾燥時間が比較的短かったこと等に起因するものと思われる。

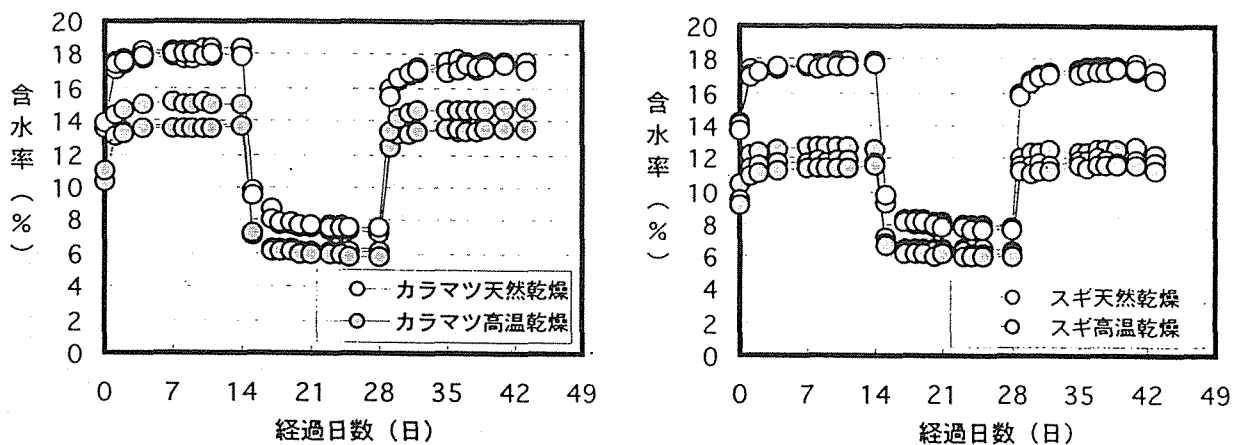


図1-12 天然乾燥材と高温乾燥材の吸・放湿の差異

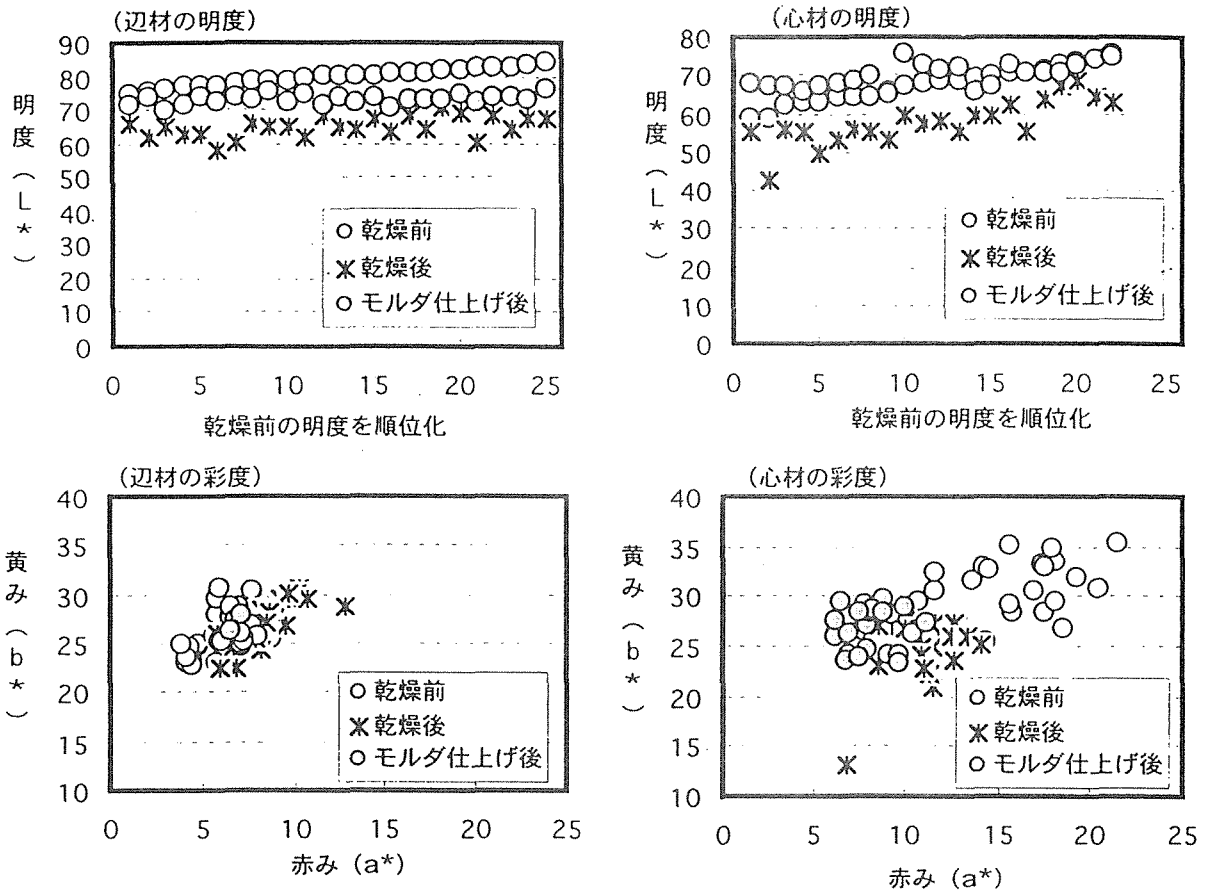


図1-13 乾燥後の材色変化（スギ）

高温乾燥材は一般に暗色化傾向にあると言われるが、この材色変化は、蒸煮時間、乾燥温度、湿球温度、乾湿球温度差、乾燥時間、さらには樹種により左右されるものと思われ、今回の結果は、高温乾燥材が必ずしも焼け色的に暗色化するとは限らないことを示した。

1.3.9 実大材曲げ強度試験結果

高温乾燥材の強度性能は、乾燥温度や乾燥時間の組み合わせにより様々であると考えられる。

表1-6にカラマツ柱材の試験結果を、天然乾燥材の試験結果と併せて示した。また、図1-14及び図1-15に高温乾燥材（130℃）の曲げヤング係数（MOE）と曲げ強度（MOR）を、生材時の縦振動ヤング係数（Efr）との関係で示した。

なお以下の結果の中で、天然乾燥材との比較を述べている部分があるが、試験値については含水率補正を行っていない。

高温乾燥材と天然乾燥材のMOEの平均値はそれぞれ114.3tonf/cm²、110.7tonf/cm²で、MORのそれは379kgf/cm²、521kgf/cm²であり、天然乾

燥材と比較して、MOEには変化は認められないが、MORは低下する傾向が認められた。

曲げ強度に及ぼす乾燥温度の依存性があるのかどうかを検討するため、高温低湿乾燥という基本的パターンは変えずに、乾燥温度を120℃として高温乾燥した材25本の強度試験を行った。この結果を前結果と併せて、曲げヤング係数MOEと曲げ強度MORの関係で図1-16に示した。

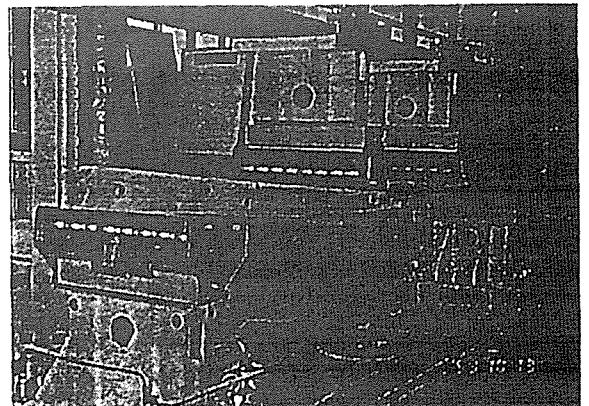


写真1-8 スギ120℃高温乾燥材の強度試験

曲げ強度性能は、天然乾燥材>120℃乾燥材>130℃乾燥材の傾向が見られ、乾燥温度依存性が推測される。この結果の信頼性については、乾燥時間の因子も加え、試験体数を増やした上で、今後検討すべき課題である。

スギ柱材については、120℃高温乾燥材と天然乾燥の結果を表1-7に、曲げヤング係数MOEと曲げ強度MORの関係を図1-17に示した。また、写真1-8に曲げ強度試験の様子を示したが、非常に粘り強い材料であった。

120℃高温乾燥材のMOEの平均値は93.9 tonf/cm²で、MORのそれは476kgf/cm²であった。これに対し天然乾燥では、MOEの平均値は88.2 tonf/cm²で、MORは471kgf/cm²であった。

高温乾燥材は強度が低下する傾向にあると言う報告もあるが⁷⁾、これは、上述したとおり乾燥温度や処理時間等に左右されるものと考ええる。今回の結果では、現在までに報告されているスギ強度⁸⁾と比較すると、上位に位置する曲げ強度結果となった。

表1-6 カラマツ柱材の曲げ強度試験結果

◎130℃48時間の高温乾燥材 (N=251)					
区 分	曲げ強度 (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 (tonf/cm ²)	平均年輪幅 (mm)	密度 (g/cm ³)	全乾含水率 (%)
平均値	379	114.3	4.51	0.482	11.6
標準偏差	97	16.0	0.75	0.036	1.2
最小値	165	66.7	2.63	0.399	8.1
最大値	669	168.1	6.73	0.613	14.8
◎天然乾燥材 (N=94)					
平均値	521	110.7	4.51	0.515	15.4
標準偏差	89	13.3	0.64	0.036	0.5
最小値	300	73.6	3.27	0.432	14.0
最大値	713	147.4	6.27	0.606	16.5

表1-7 スギ柱材の曲げ強度試験結果

◎120℃72時間の高温乾燥材 (N=140)					
区 分	曲げ強度 (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 (tonf/cm ²)	平均年輪幅 (mm)	密度 (g/cm ³)	全乾含水率 (%)
平均値	476	93.9	4.95	0.403	11.5
標準偏差	83	15.0	1.09	0.031	1.7
最小値	271	54.7	2.40	0.319	8.3
最大値	690	136.8	7.68	0.490	15.7
◎天然乾燥材 (N=37)					
平均値	471	88.2	5.59	0.409	16.5
標準偏差	76	13.2	1.38	0.024	0.7
最小値	291	61.3	2.40	0.359	15.0
最大値	659	124.9	8.34	0.462	18.2

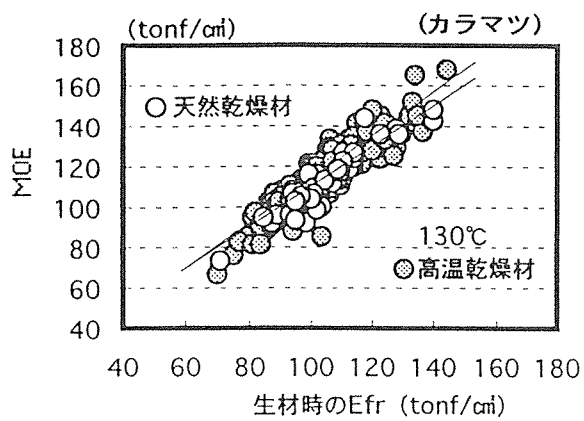


図1-14 生材時のEfrとMOEの関係

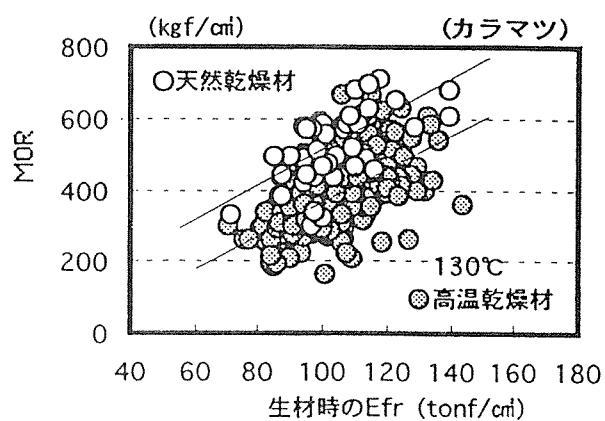


図1-15 生材時のEfrとMORの関係

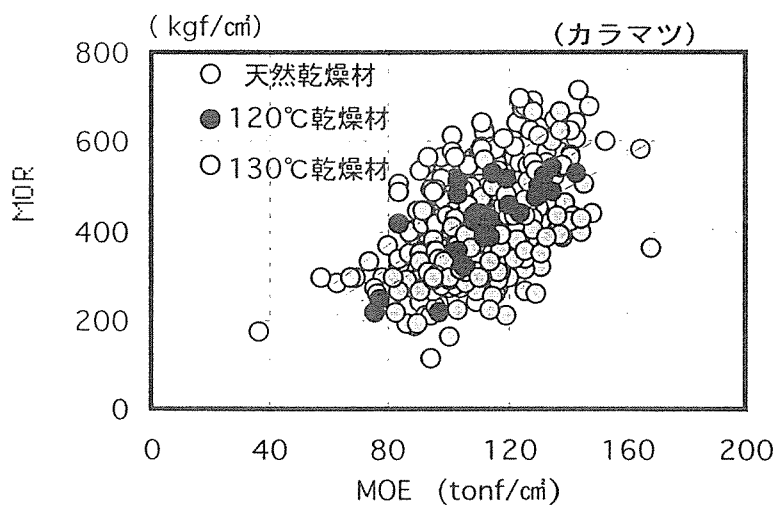


図1-16 乾燥温度別のMOEとMORの関係

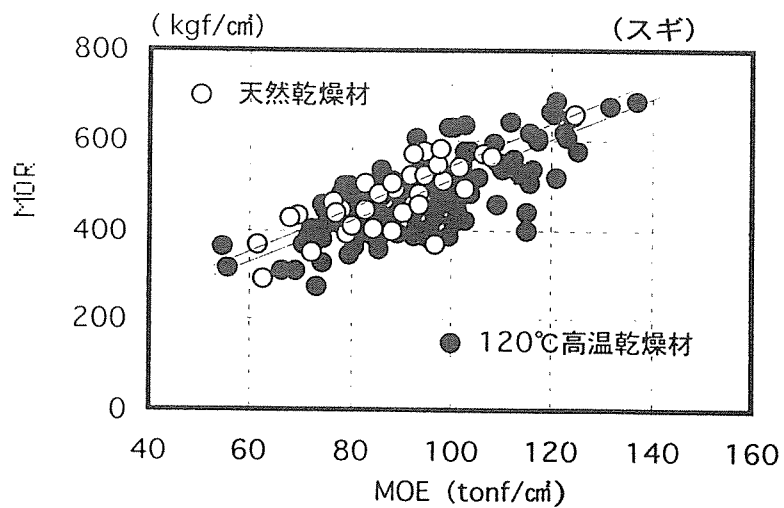


図1-17 MOEとMORの関係

1.3.10 実用規模での乾燥試験と乾燥経費の調査

調査工場別の乾燥条件と乾燥仕上がりを表1-8、1-9に、また乾燥スケジュールと仕上がり材の材内水分傾斜を、図1-18に示した。

(1) スギ柱材（工場番号1、2）

乾燥前の含水率は全体平均で60～80%であり、中には100%以上の含水率のものも存在した。MOCO2の機器特性から高含水率域では値が実際の含水率より低く表示されるため、実際には80～100%の含水率であったと思われる。

乾燥後の含水率（含水率計）は、工場番号1（13.5cm正角）では平均が14%であり、調査した柱30本は全て含水率25%以下であった。工場番号2（13.2cm正角）については、調査の中で最もよく乾いている状態であり、平均が10%で、30本全てが含水率15%以下であった。

全乾法による含水率は、工場番号1（13.5cm正角）では20%、工場番号2（13.2cm正角）では11%であった。

含水率分布の幅が最も小さいものは工場番号2であり、中心部が40%を越えている1本は、乾燥前の重量が平均よりも10kg重い42kgの材であった。工場番号1での含水率分布の幅が大きいものは、やはり乾燥前に重量が重いものであった。これらのことより、仕上がり含水率のバラツキを小さくし乾燥効率を向上させるためには、現在提唱

されている乾燥前の重量選別も、期待されるひとつの方法であろう。

材面割れの発生がほとんどなかったのは工場番号2であった。これに対しやや多く発生が見られたのは工場番号1であった。工場番号1では、製材から乾燥まで時間が長く（2週間程度）、保管場所も西日の当たる場所であり、乾燥前に材面には微細な割れが存在しており、これが乾燥によって大きく拡大延長されたためと考えられる。このように、乾燥前の微細な割れは乾燥後の割れに大きく影響してくるものと思われる、製材後直ちに乾燥するということが、割れ防止の意味から重要なことと思われる。

曲がりについては、平均で2mm/3m程度の発生であった。

(2) カラマツ柱材（工場番号3）

乾燥前の含水率は平均で36%であり、ほとんどが30～40%の範囲に分布していた。乾燥後の含水率は平均で10%であった。全乾法での含水率は平均で16%であり、10～20%の範囲にあった。しかし、乾燥材の断面が15cm角と大きいこともあり、材内含水率の分布幅は大きかった。

乾燥による材面割れは、背割り材であることから、皆無であった。また曲がりには平均で4mm/3mであり、この中には13mm、16mmの大きな曲がりのものが存在した。

表1-8 乾燥の概要

工場番号	材種	寸法 (cm角×m)	乾燥製材量 (m ³)	乾燥温度 (最高)	乾燥時間 ^{注1)} (hr)	乾燥前含水率 (含水率計) ^{注2)}	乾燥後の含水率	
							(含水率計) ^{注2)}	(全乾法) ^{注3)}
1	スギ	13.5×3	32.5	120	112	69	14	20
2	スギ	13.2×3	28.7	120	116	61	10	11
3	カラマツ	15.3×4	21.6	125	122	36	10	16

注1) 冷却時間を含む。

注2) 試験材30本の平均値。

注3) 試験材10本の平均値。

表1-9 エネルギー経費

工場番号	水分蒸発量 ^{注1)} (kg/m ³)	消費電力量 (kWh)			電気代 ^{注2)} (円)	燃料消費量 (リットル)	燃料費 (円)	エネルギー費/m ³ ^{注3)} (円)
		乾燥機	ボイラー	合計				
1	194	-	-	328	5,904	1,506	69,276	2,313
2	224	-	-	401	7,218	1,250	47,500	1,907
3	129	732	207	939	16,909	1,296	47,952	3,003

注1) 試験材30本の重量低下を全材積分に換算したものの。

注2) 18円/kWhとして計算。

注3) 計算の基礎となる乾燥材の材積は表1による。

(3) 乾燥経費 (表 1-9)

1) 水分蒸発量

水分蒸発量は、乾燥前の含水率及び乾燥仕上がり含水率に大きく影響される。スギの柱材の場合、乾燥による水分蒸発量を1㎡当りに換算すると工場番号1では194kg、工場番号2では224kgであった。また、カラマツ柱材では、1㎡当りの水分蒸発量は129kgであった。

2) 消費電力量

消費電力量は、乾燥機のプロペラファン及び吸排気ファン及び開閉モーター、ボイラー、制御盤の電力の合計であり、この中で乾燥機本体に関わる電力が総使用量のおよそ80%を占める。

乾燥1時間当たりの消費電力量を計算すると、工場番号1及び2（スギ柱材）では2.5~3.5KWHに対し、工場番号3（カラマツ柱材）では、7.7KWHで工場番号1及び2の2倍~3倍の消費量

であった。

これは乾燥樹種の違いでなく、乾燥装置の構造的違い（装置の大きさ、プロペラファンの数等）が影響しているものと思われる。

3) 燃料消費量

1時間当たりの燃料消費量を計算してみると、120℃で運転した工場番号1及び2については11~13ℓ/hであり、125℃で運転した工場番号3では11ℓ/hであった。

また、1㎡当りの燃料消費量では、工場番号1では46ℓ、工場番号2では44ℓ、工場番号3では60ℓであった。これらの違いは、乾燥樹種の違いばかりでなく、乾燥装置の断熱等構造的違いが影響しているものと思われる。特に工場番号3の1㎡当りの燃料消費量が大きいのは、45㎡の乾燥容量に対して1/2程度での乾燥運転であったことが原因しているのではないかと考えられる。

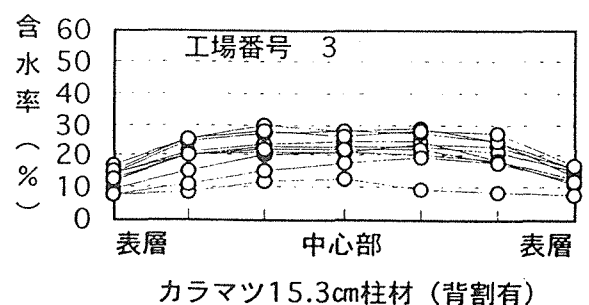
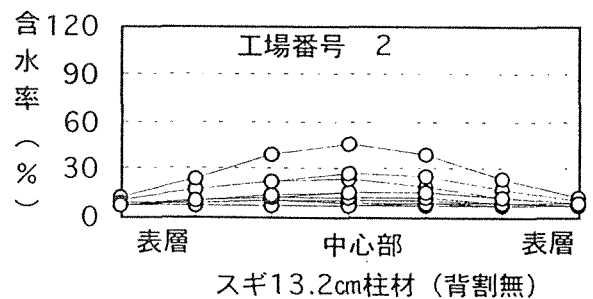
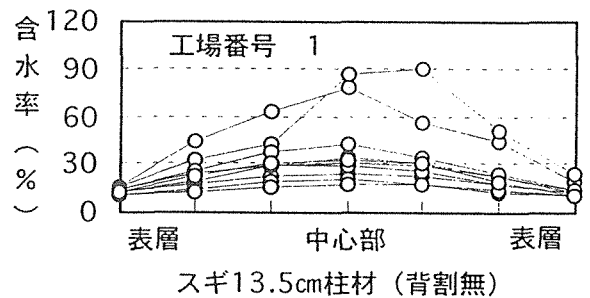
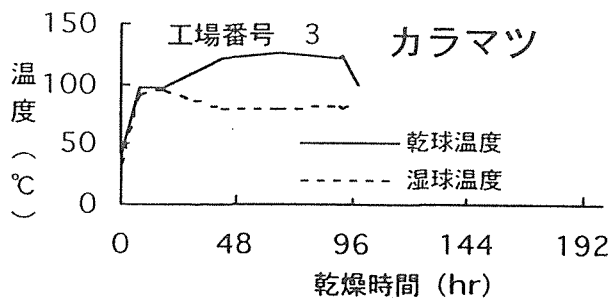
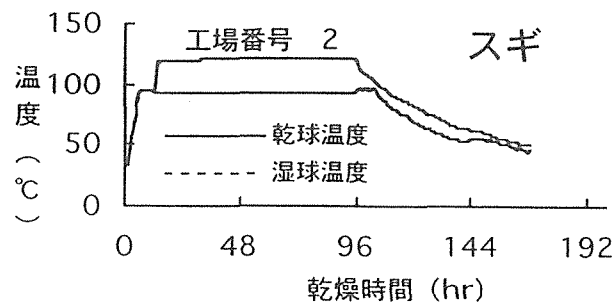
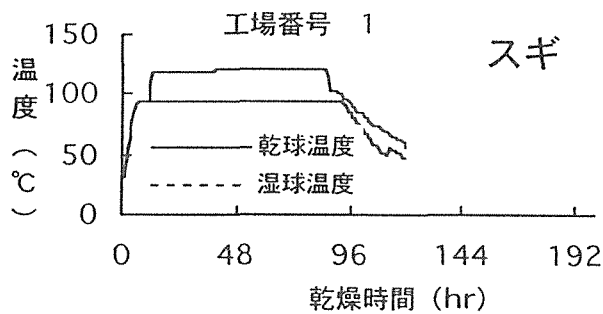


図 1-18 乾燥スケジュールと乾燥後の材内水分傾斜

4) エネルギー費 (円/㎡)

消費電力量と燃料消費量を価格換算し、1㎡当たりのエネルギー費 (円/㎡)を算出した。高温乾燥であるスギ柱材は、2,000～3,000円/㎡であり、また同じ高温乾燥のカラマツ柱材 (15.3cm) は3,000円/㎡であった。

5) 人件費

ボイラーはどの工場も貫流ボイラーであるため、これに関わる人件費はわずかである。

栈積み及び栈降ろしについては、工場番号2では、自動栈積み機及び自動栈降ろし機が設置されているため、ここにかかる人件費はわずかであった。他の工場では、栈積み及び栈降ろしに時間がかかるため、これに関わる費用は、かなりのウェイトを占めていた。

一般的な工場番号1についてみると、ひと山 (50～60本) の栈積みで2人20分を要していた。

(ここでは、人件費の単価が各工場で異なるため、㎡単価は算出してない。)

1.4 普及型スケジュールの提案

今回一連の試験結果から、乾燥仕上りの柱材としてさらに検討を加えなければならないことは、

- (1) 全乾含水率が10%となり過乾燥すぎること。
- (2) スギに関しては内部割れが多いこと。
- (3) カラマツに関して130℃の乾燥は強度的にダメージがあること。

等が上げられる。

そこでこれらの問題点全ての改善に関して、普及型乾燥スケジュール (図1-19) を提案し、県内の企業で行ったところ、かなりの改善効果が認められた。

このスケジュールの考え方は、(1)の過乾燥であることは、乾燥の終了時期を調整すること、(2)の内部割れ防止⁹⁾と(3)の強度的ダメージの軽減については、より低い温度で乾燥することを基本にしている。

つまり、乾燥初期は材面割れ抑制をねらった高温低湿条件で乾燥し、乾燥中期から末期にかけては、内部割れ抑制のためやや低めの温度で乾燥する方法で、併せてカラマツの場合は、強度的ダメージの軽減を図るという理由から、できるだけ温度の低いスケジュールをとるというものである。

乾燥中期から末期にかけては100℃以下あるいは天然乾燥でも可能であった。

温度を低下させる時期については、内部の収縮が始まり内部に引張り応力が形成される時期がポイントと考えるが、この正確な時期あるいは、内部割れ発生原因については、今後普及型乾燥スケジュール試験と併せて検討を加えたい。

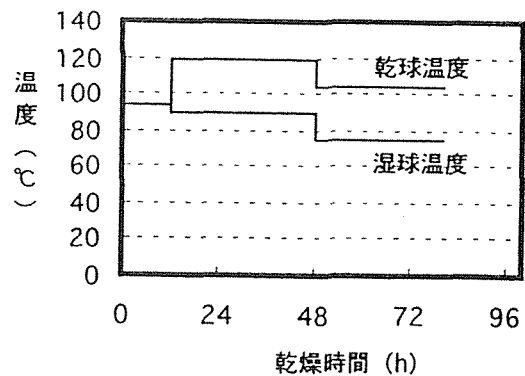


図1-19 普及型乾燥スケジュールの一例

1.5 まとめ

カラマツ及びスギ柱材の心持ち無背割り材を供試材として、乾球温度、湿球温度の組み合わせをそれぞれ130℃、80℃及び120℃、90℃の高温低湿の一定条件で乾燥した。その結果、2～3日間程度の短時間で仕上がり含水率は全乾法でカラマツが11.2%、スギが9.9%となった。また比較的材面割れが少なく、暗色化の少ない乾燥材に仕上がった。しかし、スギの場合は内部割れがやや多く確認された。

乾燥後、約1年間養生した結果では、新たに発生した材面割れはほとんど無く、寸法変化も一部を除いて±2mmの範囲に収まった。最も寸法変化の少なかった材は、全乾法含水率がおよそ12%の材であった。

高温乾燥材の実大材曲げ強度試験を実施したところ、130℃乾燥のカラマツにおいては、曲げ強度は低下する傾向にあったが、120℃乾燥のスギにおいては変化は認められなかった。なお曲げヤング係数は両樹種ともに変化は認められなかった。

民間の実用機で、本スケジュールによる乾燥試験を実施したが、寸法がやや大きかったことから、仕上がり含水率はやや高めであったが、割れの状

態等、ほぼ今回の試験と同程度に仕上がった。燃料代と電気代を合わせたエネルギー経費も、2,000～3,000円/㎡であった。

以上の結果より、高温低湿乾燥は心持ち柱材の短時間低コスト乾燥法として有効であることが示唆された。

本試験を実施するにあたり、ご協力頂いた九州大学農学部藤本登留氏、実用規模での試験にご協力頂いた(株)ウッド&アースの遠山典男氏、北信地域材加工事業協の中村優一氏ほか関係者の方々に深く感謝申し上げます。

キーワード

高温低湿乾燥、カラマツ柱材、スギ柱材、材面割れ、内部割れ、平衡含水率、材色、乾燥経費、曲げ強度

参考文献

- 1) 信田 聡：北林産試報399、1-10 (1985)、北海道立林産試験場
- 2) 河崎弥生：木材工業Vol.53、No.4、166-171 (1998)
- 3) 中嶋厚ら：平成8～9年度技術開発研究費補助事業成果普及講習会テキスト (1999)
- 4) 満久崇麿：実用木材加工全書－木材の乾燥(下)、233-241、森北出版株式会社 (1962)
- 5) 吉田孝久：木材工業Vol.51、No.11、546-549 (1996)
- 6) 藤本登留ら：49回日本木材学会大会 (東京) 要旨集、131 (1999)
- 7) 例えば池田元吉：第48回日本木材学会大会 (静岡) 要旨集、105 (1998)
- 8) 例えば日本木材学会、木材強度・木質構造研究会：構造用木材-強度データの収集と分析、1988.3
- 9) 三好誠治ら：愛媛県林試研報19、70-77 (1998)

5.7 VRC高温木材乾燥システムによるスギ乾燥結果

櫻原 正規^{*1} ・ 佐藤 晃一^{*2} ・ 若林 正浩^{*3}

はじめに

近年建築構造材の乾燥需要が増大するにつれ、針葉樹の乾燥コスト低減が大きな課題となってきた。特に、国産スギ柱材の乾燥は心持ちであることもあって割れぬじれのない乾燥が比較的難しいとされてきた。なかでも黒心は初期含水率が異状に高く、通常の乾燥では水分傾斜の改善が見られない問題を残していた。

一方、市場では乾燥材の評価が定着しつつあり、割れについては強度面で問題がない限りかなりの程度許容されるようになってきた。このような背景のなかでの乾燥コスト低減策は乾燥時間短縮が最も効果的であり、その手段として高温乾燥がクローズアップされてきた。しかし、高温乾燥は一般に100℃以上での乾燥をいい、蒸気も過熱蒸気雰囲気レベルアップされるため熱効率の良いシステム設計が必須とされた。そのために検討されたのがVRCシステムである。VRCとはVapor Re-Compressionの略号であり、回収した過熱蒸気を断熱再圧縮して蒸気温度を上げる設備をいい、フロンを使用しないヒートポンプシステムを指す。

本報告は、VRCを適用した高温木材乾燥機の実用性に関する実証試験結果の概略である。

1. VRCシステムの概要

1.1 VRCの原理

木材乾燥に応用したVRCシステムの原理¹⁾は、第1図に示したように、乾燥時に木材から排出される水蒸気を直接コンプレッサーに吸引して加圧昇温した後、その吐出蒸気を乾燥機内の熱交換器へ供給することを繰り返すプロセスをいう。この時、吐出蒸気を持つエネルギーは吸引蒸気が保有するエネルギー+圧縮機動力ということとなり、熱損失を無視すればプロセスで必要とする蒸気量のエネルギーと常に同等のエネルギーを供給することが可能である。

このことは、一度立上げられたプロセスが従来ボイ

ラスチーム製造の為に必要とされたエネルギーより大幅に少ないコンプレッサー駆動エネルギー(約30%程度)のみで運転が継続出来ることを意味している。

今回の実用試験では、既にあるビール煮釜排気蒸気回収システム等大型の用途例を参考に、比較的小型でかつ蒸気発生容態が基本的に異なる木材乾燥への適用のために小型機を試作して最適化の検討を行ったものである。

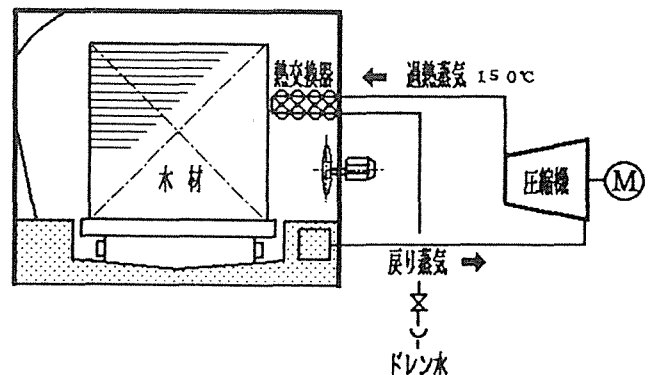
1.2 試験乾燥機の仕様

試験乾燥機は実用規模を前提に長さ3m材が収納できるように全長を3.5mとし、容量は評価に耐える本数として約1.6m³(105mm角材換算48本)とした。仕様の概略は第1表に示すようである。

高温乾燥機設計のポイントは壁体の断熱性、耐熱性は当然のことながら、5m/s以上の材間風速が得られるようにファン能力を設定すること、5時間程度で昇温可能なヒーター容量の設定であること等である。また、やや内圧が高めであるため、乾燥室の機密性には十分の注意が必要である。

なお、センサー類については乾湿球に白金測温抵抗体を使用した。湿球については100℃以上が得られないため98℃設定にとどめた。追加したセンサーは関係湿度測定のための水蒸気圧計測用である。VRCの運転制御は乾湿球にて回転数制御を行った。

写真1に試験機の外観を示す。

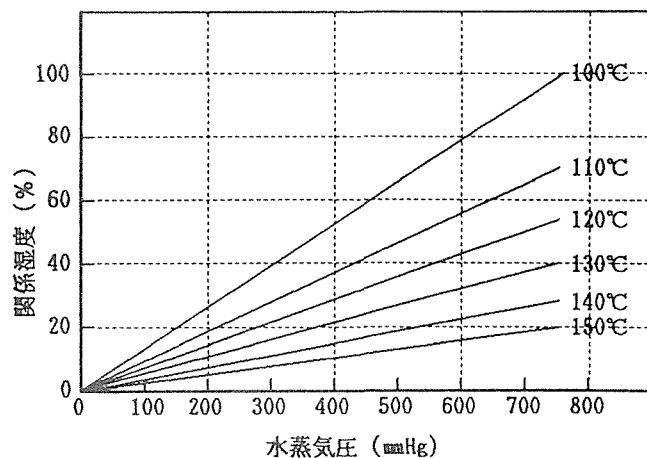


第1図 VRCシステムのフロー

^{*1} 住金ヒルデブランド(株) ^{*2} 東京電力(株)電力技術研究所
^{*3} (株)前川製作所

第1表 高温乾燥試験機の仕様

項目	仕様
1. 乾燥機本体	
機内寸法	3,500L × 2,000W × 2,000H (mm)
木積寸法	3,000L × 800W × 1,200H (mm)
材積	105mm × 105mm × 3,000mm 長材 6列 × 8段 = 48本 (1.64m ³)
2. 設備仕様	
乾燥機壁体	内面ステンレス グラスウール100mm 断熱 熱貫流率 0.3kcal/m ² h℃
熱源設備	蒸気ボイラ 蒸発量100kg/h
加熱	蒸気ヒーター (昇温能力100℃/5h)
増湿	蒸気スプレー
送風機	1.5kW × 3台 (材間5m/s以上)
排気	吸排気ダンパー
熱回収	VRCシステム ツインスクルー水蒸気圧縮機 STM100SS 回転数8500~14200RPM 吸入蒸気量 163kg/h (Pd/Ps=1.5/0.96) 電動機 200V × 60Hz × 2P × 55kW
項目	仕様
3. 制御系	
温度	測温抵抗体 (Pt100Ω) による 蒸気ヒーター制御
湿度	湿球センサーによる吸排気ダンパー 開閉
VRC運転	乾湿球温度による回転数制御
関係湿度	水蒸気圧計測 (mmHg)
調節計	DCP211 プログラム制御



第2図 各温度における水蒸気圧と関係湿度

2. 高温乾燥条件

2.1 高温乾燥の特質

一般に100℃以上の蒸気を過熱蒸気と言い、空気を全く含まない乾き蒸気である。この雰囲気中では木材から出る蒸発水分は沸騰することなく即座に蒸気となる乾燥条件である。100℃以上での関係湿度と水蒸気圧の関係はおおよそ第2図に示すようであり、760mm Hgにおいて100℃、100%の状態は同蒸気圧で130℃に昇温すると約40%の関係湿度に低下する。

通常乾燥温度範囲 (40~80℃) では関係湿度を自由に操作出来るが高温乾燥では大気圧下ではこのように水分の保持が極めて困難となり、乾燥雰囲気としては割れ、そり等の損傷が非常に発生しやすい状況になる。乾燥温度80℃以下の通常のスギ柱乾燥では、一般に乾燥スタート時、関係湿度が80% (平衡含水率で12%) 以上保持されているのが普通であるが、第2図からも分かるように乾燥温度が100℃以上の場合で、関係湿度を80%前後に保てる温度条件は100~110℃である。通常、さらに乾燥を進めて含水率が繊維飽和点近傍まで低下すると、関係湿度で60% (平衡含水率8%)、最終的には50% (同6%) 程度で終了する。従って、高温乾燥であっても、この条件に近い関係湿度と平衡含水率が維持できれば、比較的良好な乾燥仕上りを期待出来るものと思われた。

2.2 乾燥スケジュールの検討

大気圧下で湿球を98℃に固定して乾燥温度 (乾球温度) を100℃から徐々に上げていくと雰囲気中の木材平衡含水率は110℃で7.2%、120℃で4.3%、130℃では3%と低下する。このように温度変化に対して平衡含水率の変化幅が極めて狭くなっていくため、材の昇温条件、乾燥温度条件、冷却条件等乾燥スケジュール^{2,3)}

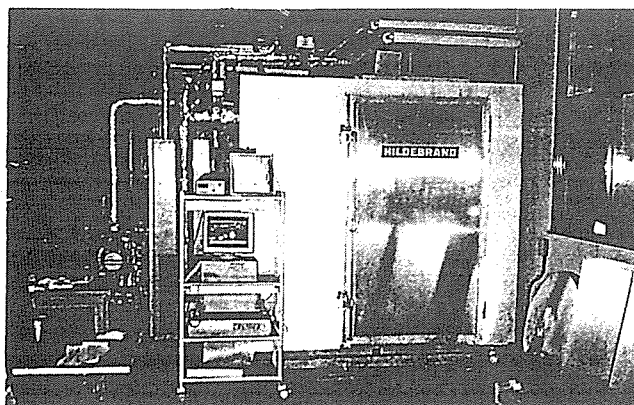
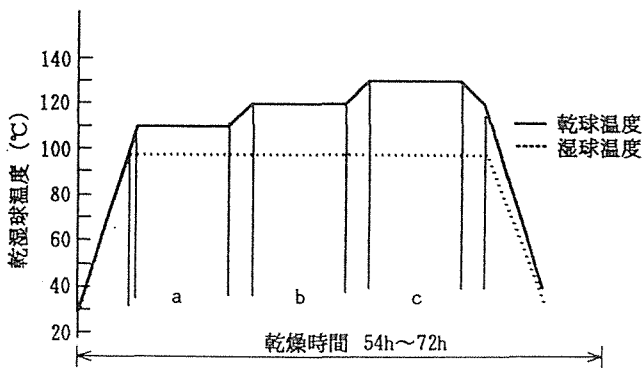


写真1 高温乾燥試験機の外観



	a	b	c
ケース①	—	120℃	—
ケース②	100℃	110℃	120℃
ケース③	100℃	120℃	120℃
ケース④	110℃	120℃	130℃

第3図 乾燥スケジュールの基本パターン

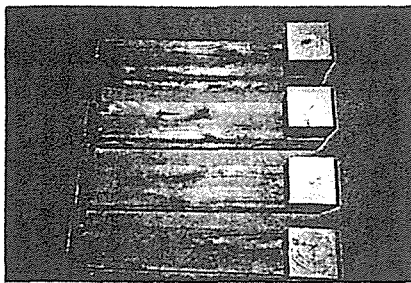


写真2 130℃試験乾燥後の状況

の諸元決定に関しては事前の入念な検討が必要である。この目的で筆者らは先に105mm×105mm×750mm長さのサブサイズ試験片によって多くのサーベイテストを実施し、温度効果、時間効果、損傷程度等の傾向を把握した。

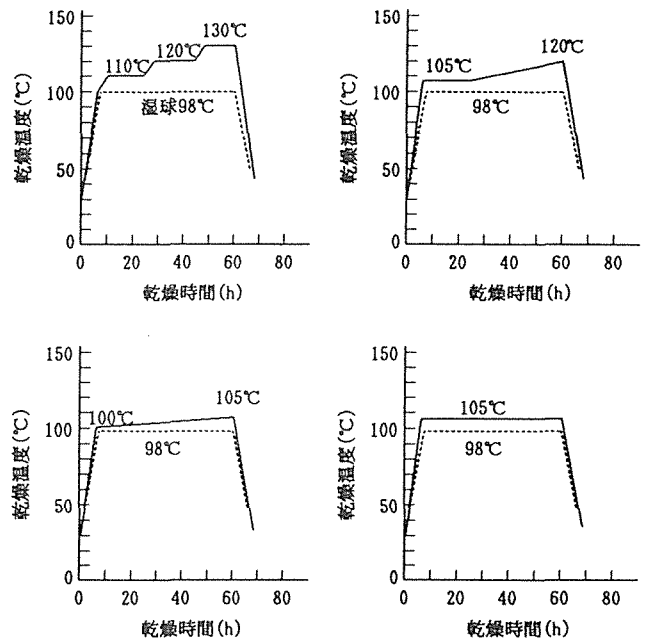
サーベイテストで検討した乾燥スケジュールの基本形は第3図に示す通りであり、このケースでは写真2で見られるように130℃での乾燥も若干の変色はあるものの割れについては皆無の状況であった。

しかし、テストプラントにおける実大寸法試験で当初サーベイテストの試験結果を基に2、3のプレテストを実施したが、いずれも大きなワレが発生したため乾燥スケジュールの再検討が必要となった。

2.3 実大材でのプレテスト

750mm長のサブサイズ試験結果と実大材の乾燥結果に大きな差があることが判明して、急ぎ実大材でのプレテストを第4図に示すスケジュールで実施した。試験状況を写真3に、結果の概要を第2表に示した。プレテスト結果からおおよそ以下のことが類推出来た。

①130℃乾燥はワレが大きく、過乾燥傾向。



第4図 実大試験の乾燥スケジュール例



写真3 試験乾燥の状況 (乾燥終了時)

第2表 実大プレ試験結果

試験条件	仕上含水率	ワレ等損傷
110℃→120℃→ 130℃ (68h)	ほぼ全量 10%以下	全面ワレ発生 ワレ長平均 16mm/柱
105℃→120℃ (64h)	10~20%	平均 24mm/柱 ワレなし材もあり
100℃→105℃ (68h)	20~50%	ワレ長平均 22mm/柱 比較的ワレ多い
105℃一定 (64h)	20~30% (乾燥甘い)	ワレ長平均 8mm/柱

②120℃乾燥ではワレ無し材もあり、仕上含水率も目標内に入ってくるが、バラツキが大きい。

③徐々に上げる105℃乾燥は乾燥が甘い割にはワレが多く、効果的でない。

④105℃一定の乾燥ではワレが著しく改善されるが、乾燥が甘い。

⑤乾燥途中で温度域を変えるのはワレにつながる危険

性がある。

これらの結果を踏まえて、今後の試験についてはこの中間条件を中心にスケジュールを検討することにした。

3. スギ柱材の高温乾燥

3.1 VRC システムの検証

試験乾燥機に装着した VRC 熱回収装置の仕様は第 3 表に示すものであり、運転中のある 1 時間におけるマスバランスは第 5 図に示すようである。図に示すように、VRC への吸入蒸気温度は 105℃、吐出温度は 115℃である。また、乾燥機内からの吸入蒸気圧は 1.033 atm、圧縮機からの吐出蒸気圧は 1.72atm である。なお、吐出蒸気エンタルピー 644.47kcal/kg、吐出蒸気量が 106kg/h から成績係数 (COP) を求めると 7.04 を得た。

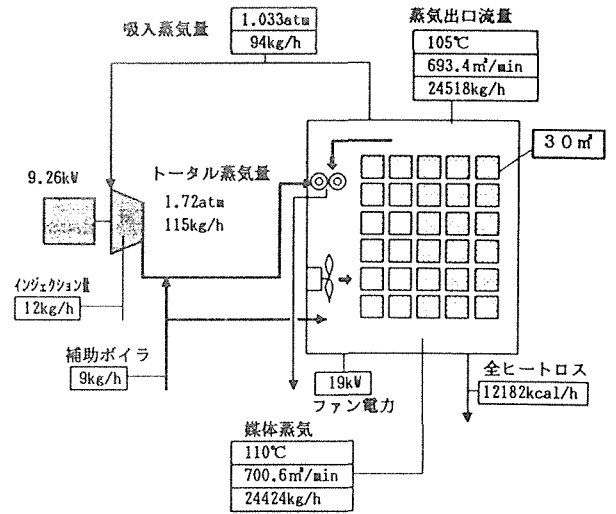
3.2 スギ柱材の高温乾燥結果

高温乾燥の実用実証試験として、流通過程の材の提供を受け試験に供した。産地は栃木県日光、静岡県天竜、四国愛媛、九州宮崎の 4 地域であり、標準材寸は 110mm×110mm×3000mm、黒心比率 30% 程度であった。

これらはほぼ総て乾燥温度 110℃、乾燥時間 60 時間の同一条件にて乾燥試験を実施後、ほぼ全量産地へ返送して評価に供した。産地では 4 面プレーナーがけし

第 3 表 VRC 熱回収仕様

項目	仕様
木材全乾重量	kg 558
初期含水率	% 120
仕上含水率	% 10
蒸発量	kg 614
ヒートロス	kcal/h 1296
乾燥時間	h 60 (冷却時間除く)
平均蒸発量	kg/h 10.2
吸入圧力	atm 0.96~1.033
吸入温度	℃ 98(飽和) 110(過熱)
吐出圧力	atm 1.5~3.7
吐出温度	℃ 110~140(飽和)
吸入蒸気量	kg/h 102(2.7ata) 適用機能による
インジェクション量	kg/h 25(2.7ata)
吐出蒸気量	kg/h 127(2.7ata)
COMP 回転数	RPH 7100~14200
モータ回転数	RPH 1775~3550
電動機容量	kW 55



吸入蒸気温度	105℃	吐出蒸気温度	115℃	所要電力	9.26kW
吸入蒸気圧力	1.033atm	吐出蒸気圧力	1.72atm	回転数	1709RPM
吸入蒸気エンタルピー	641kcal/kg	吐出蒸気エンタルピー	644kcal/kg	体積効率	48%
吸入蒸気量	49kg/h	吐出蒸気量	106kg/h	断熱効率	12%

成績係数 (COP)

$$COP = \frac{(\text{吐出蒸気エンタルピー} - \text{吐出温度}) \times \text{吐出蒸気量} [\text{kcal}]}{\text{電動機出力} [\text{kcal}]} = \frac{(644 - 115) \times 106}{9.26 \times 860} = 7.04$$

第 5 図 30m³ 乾燥機のマスバランス例

ワレの状態が観察され一応実用上問題なしとの評価を得て市場へ還元された。これらの試験結果の評価概要をまとめて第 4 表に示した。写真 3 には天竜スギのプレーナー仕上げ後の外観を示す。

なお、試験 No. 6 - 1 で背割りの効果を検証したが結果として背割りの反対面 (第 4 面) にワレが集中する傾向が見られ、良い結果は得られなかった。

また、高温乾燥による強度劣化が心配されたが長野県林業総合センターへ依頼した強度試験結果は第 6 図に示すようによく含水率と関連しており乾燥によって上昇する傾向にある。少なくとも 130℃ 以下の乾燥では強度劣化の心配はないことが確認された。

3.3 高温乾燥の経済性

乾燥を高温化することで乾燥時間の著しい短縮が可能となったが、VRC 設備コストの増加を加味した総

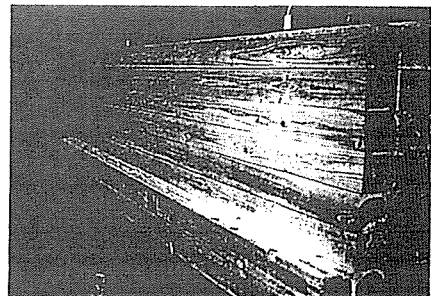
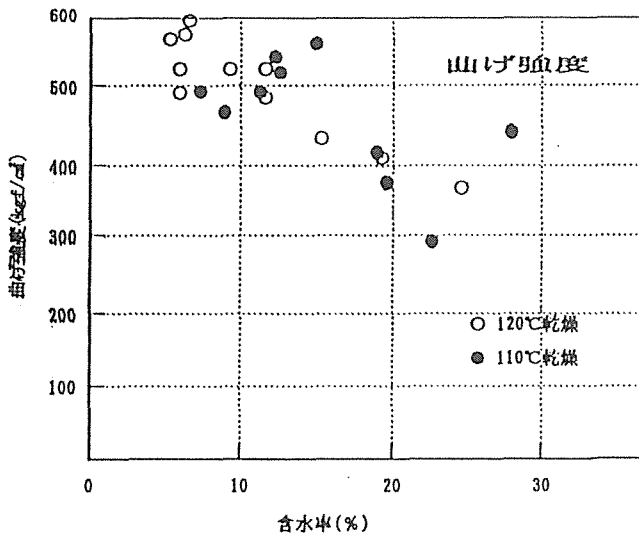


写真 3 乾燥材の外観 (天竜スギ プレーナー仕上げ)

第4表 高温乾燥試験結果

標準材寸法：110mm×110mm×3000mm

試験No.	水分除去の性能					乾燥の品質		備考
	初期重量	乾燥重量	除去水分量	含水率	備考	ワレ長さ	その他特記	
試験No.6-1	23.4kg	17.1kg	6.3kg	14.4%	但し平均値			
背割りあり			5.6			2282mm/柱	背割りの反対面に ワレ大きい	ワレに関する背割りの 効果は少ない
背割りなし			7.0			2811mm/柱		
試験No.6-2 (日光)	23.2	17.0	6.2	12.0	(62%→12%)	4480mm/柱 21本/柱	収縮率 平均 1.9% Max. 3.2%	途中乾湿球差が増大 ワレ増加(ダンパー故障) 材心部温度≒湿球(100℃)
試験No.6-3	24.1	18.0	6.1	12.0	(59%→12%)	3549mm/柱 12本/柱	収縮率 平均 1.7% Max. 3.2%	
試験No.6-4 (天竜)	19.4	14.7	4.7	11.0	(68%→11%)	3181mm/柱 16本/柱	ワレ僅小	急速昇温(5h)
試験No.6-5 (※105角)	18.7	14.0	4.6	10.0	(60%→10%)	3883mm/柱 11本/柱	収縮率 平均 2.5% Max. 4.4%	緩速昇温(15h)
試験No.6-6 (愛媛)	22.0	14.4	7.6	9.0	(77%→9%)	1700mm/柱 4本/柱	ワレ小 若干落ち込みあり	心部の含水率50%のものあり、但し経時変化なし。
試験No.6-7	21.6	14.1	7.5	8.0	(78%→8%)	1234mm/柱 3本/柱		
試験No.6-8 (宮崎)	22.6	15.9	6.7	9.0	(62%→9%)	1216mm/柱	収縮率 平均 2.0% Max. 2.6%	市場へ供出
試験No.6-9	22.5	15.7	6.8	10.0	(67%→10%)	844mm/柱		



第6図 乾燥材の曲げ強度

合的な評価が必要であるが、VRCの設備費は現状で蒸発量150kg/h、ボイラー相当比で450万円程度であり30m³相当乾燥機では追加の設備費として約1000万円が見込まれる。この費用回収には少なくとも4年を必要とすることから更にVRCの小型化を進めイニシャルコスト低減を計る必要がある。

4. まとめ

本報告は東京電力㈱と㈱前川製作所及び住金ヒルデブランド㈱の共同研究で進めた開発成果の概要である。国産スギ乾燥を対象に高温乾燥に有効なVRCシステムを導入して高温木材乾燥機を実用化した。結果から考察して、最適乾燥温度域は100～130℃であり、水分傾斜の改善から少なくとも乾燥時間として60時間以上が必要であることもほぼ確認できた。

文献

- 1) 鶴田英正, 松田潤二: ケミカルエンジニアリング, 30 (11) 抜刷 (1985)
- 2) Charles J. Kozlik, James C. Ward: *Forest Products Journal*, 31 (6) 45-53 (1981)
- 3) D.H. Williamsら: *Forest Research Institute New Zealand Forest Service FRI Bulletin No. 73* (1984)

(1995.3.1受理)

6 高温・過熱蒸気処理

6.1 スギ心持ち材乾燥における過熱蒸気の活用

(森林総研) ○小林 功、齋藤周逸、久田卓興

【はじめに】

前回スギ心持ち材の乾燥割れ防止、乾燥時間の短縮、コストの低減を目的として、人工乾燥の前処理としての蒸煮高温加熱、減圧処理の効果を検討した。今回は同様の目的で、新しい手法として100℃以上の高温過熱蒸気の利用を試みた。

【実験方法】

長さ60cm、105mm角の栃木県産心持ちスギ正角材を試料に用いて、圧力缶内で100℃以上の過熱蒸気によって熱処理した後、天然乾燥及び通常の熱風式乾燥機による乾燥試験を行った。過熱蒸気による前処理は、まず120～130℃の蒸気で蒸煮した後、加熱バーナーで缶を外側から加熱しながら蒸気を少しずつ抜き、圧力を1.5～2.5ataに下げ、この中で数時間処理した。熱風乾燥は乾球温度80～85℃、乾湿球温度差4～15℃の含水率スケジュールを用いて行った。乾燥経過はロードセルによって重量を連続測定する方法で求め、コンピュータで乾燥条件を自動的に変化させた。

過熱蒸気による処理の前後及び熱風乾燥終了後に重量、割れの測定を行い、乾燥効果と割れ防止効果を検討した。

【結 果】

表1に前処理の条件と試験材含水率の変化、割れの程度を示す。実験Aは比較的厳しい条件だったため、含水率減少は大きい割れが多い。実験B及びCは処理条件を緩くしたために割れは少ないが含水率減少は小さい。

図1は前処理材の熱風乾燥試験データの一例である。前処理後しばらく放置してから乾燥したため初期含水率はやや低い。乾燥条件は標準よりやや厳しいと思われるものを用いたが、この例では割れは非常に軽微であった。一方、天然乾燥した材は平均12%まで乾燥して、ヘアークラックが数本増えた程度でほとんど割れは発生しなかった。

一般の方法では初期含水率を低くしてから人工乾燥を開始しても、またゆっくり天然乾燥させても心持ち材を割れなく乾燥することは困難であることを考えると、今回行った高温過熱蒸気による前処理は割れ防止に効果があると思われる。温度や時間、圧力などの前処理条件や本乾燥の乾燥条件によっては乾燥時間をさらに短縮することも可能と考えられる。

なお、本研究を行うにあたって熱処理装置をお貸しいただき、実験にご協力いただいた(株)タカハシキカンの高橋保市氏に感謝の意を表します。

表1. 処理による含水率変動と割れの程度

実験名	処理条件	処理前含水率	処理後含水率	割れの程度
A	蒸煮: 130℃(3時間)	55	33	中
	加熱: 缶内温度140~198℃	83	58	中
	圧力1.4ata	97	65	微少
	時間6時間	44	34	少
B	蒸煮: 120℃(2時間)	147	146	なし
	加熱: 缶内温度140~150℃	123	101	微少
	圧力1.6ata	54	42	少
	時間4.5時間	81	64	なし
C	蒸煮: 120℃(2時間)	104	88	なし
	加熱: 缶内温度112~120℃	40	38	少
	圧力1.65ata	129	116	なし
	時間2.5時間	112	92	なし

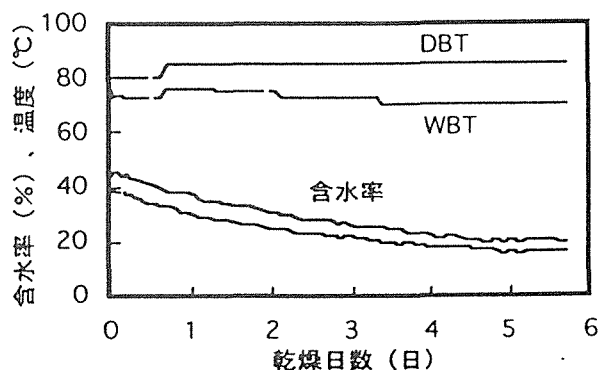


図1. 人工乾燥の経過

6.2 スギ心持ち材乾燥における過熱蒸気の活用 (II)

(前処理としての利用とその効果)

(森林総研) ○小林功 齋藤周逸 久田卓興

【目的】

前回、スギ心持ち材乾燥における過熱蒸気の活用の可能性について報告した。今回は処理条件を変え、効果的な活用法を検討した。過熱蒸気処理は非常に高温であることと、条件によっては短時間でかなり乾燥が進む点に注目し、予備乾燥としての活用について検討した。

【実験方法】

105mm角、長さ35cmの栃木県産スギ心持ち正角材を試験材として用いた。実験装置は蒸気配管を施した二重缶構造の压力容器で、内缶を外缶からの熱で加熱することによって過熱蒸気を作る装置である。処理条件のコントロールは圧力と温度によって行った。圧力は1.5atm一定とし、缶内温度140℃、160℃の2条件で約4時間処理をした。1回の試験で正角を4本同時に処理した。処理材は割れの発生状況と含水率を調べた後、材を長さ20cmに揃え、生材とともに140℃の恒温乾燥器内にて乾燥試験を行い、割れの発生と乾燥経過を比較した。

【結果】

試験結果の中から代表的なものを図1及び表1に示す。過熱蒸気前処理による割れの発生(4本の試験材の合計)は140℃では1本、160℃処理では8本であった。140℃処理の割れは幅1.5mm、長さ15cmであった。160℃処理の割れは8本と多いが、このうち4本はいわゆるヘアチェック状の非常に軽微な割れで、他の4本は幅1.5mm程度の割れであった。

これらの処理材と無処理材とを140℃の恒温器内で仕上げ乾燥したところ、処理材は割れは増大せず、乾燥開始後まもなく閉じた。一方、生材では貫通割れを含む大きな割れが多数発生した。これらのことから過熱蒸気処理を施した材は、生材に比べて高温下での乾燥において表面割れが出にくい状態になっていると思われた。蒸煮処理も乾燥初期の割れ防止に効果があると言われているが、過熱蒸気の場合には前処理中にも含水率の低下を図ることができるため、割れ防止と乾燥促進の両面の効果が期待できる。

図1は処理材と無処理材とを140℃の恒温器で乾燥した乾燥経過である。前回の報告では過熱蒸気処理した材と無処理材とを熱風乾燥機(70℃、10℃差)で比較したところ、処理材の方が乾燥が遅い結果になった。これに対し、今回は140℃の恒温器内という相当過酷な条件で乾燥したところ、処理材の方が速く、しかも少ない割れで乾燥できた。すなわち、前処理と仕上げ乾燥の処理条件の組み合わせによっては、割れ防止と急速乾燥が実現できる可能性がある。

今回用いた試験材は35cmと短いため、この結果を現場で応用するには実大材による処理条件の検討が必要であるが、過熱蒸気処理が乾燥の前処理として利用できる見通しが得られた。

表1. 前処理及び仕上げ乾燥(140℃)における割れの発生状況

前処理条件	含水率(%)		前処理後*		仕上げ乾燥*	
	処理前	処理後	割れ本数	割れ長さ	割れ本数	割れ長さ
無処理(生材)	-	-	-	-	12	133
140℃(4hr)	81.79	54.93	1	15	1	15
160℃(4hr)	81.79	35.94	8	40	8	40

(*各数値はそれぞれ、4本の試験体に発生した割れの合計)

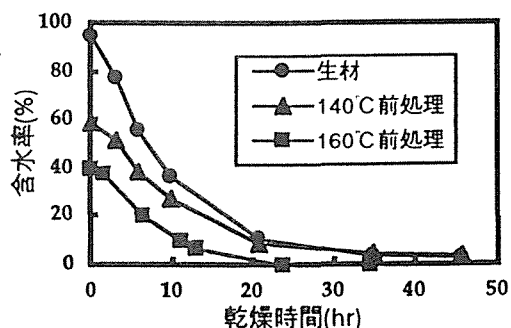


図1. 生材と処理材の恒温器での乾燥試験経過
温度 140℃一定

6.3 高圧蒸気によるスギ正角材の含水率変化

(鹿児島工技セ) ○山之内清竜

- はじめに 圧力容器（オートクレーブ）内で80, 100, 120, 140℃の飽和蒸気雰囲気下においたスギ黒心正角材の含水率経時変化を調べた。
- 実験 試験材は10.5cm角，長さ130cmのスギ心持ち黒心材（背割れ無し）を用い，両木口はシリコンでシールした。圧力容器内において80, 100, 120, 140℃（絶対圧力0.57~3.76kgf/cm²）の各飽和蒸気で7時間処理（以後，蒸気処理という）した後，容器内の圧力を解圧し，蒸気を止めて排気バルブを開けた状態で容器内に17時間自然放置する（以後，解圧処理という）工程を1サイクルとし，これを2サイクル繰り返した。蒸気処理時の温度制御は容器内の雰囲気温度をもとに行い，容器内の絶対圧力，試験材の含水率経時変化と併せて，試験材内部の材温経過を測定した。処理後，材中央部位から採取した試片について材表面より22mmの深さまでの表層部とその内部の含水率変化を生材時と比較した。
- 結果 処理条件別の経過及び2回目の処理サイクルにおける蒸気処理と解圧処理時の1時間当たりの含水率変化を表に，処理条件別の含水率経過を図に示す。

表 処理条件別経過と含水率変化

処理温度 (℃)	絶対圧力 (kgf/cm ²)	材内部の設定温度 到達時間(hr.)	解圧後の温度推移(℃)		含水率変化(%/hr.)	
			6hr. 後	12hr. 後	蒸気処理	解圧処理
80	0.57	4.0	35/48	21/30	+0.60	-0.63
100	1.06	3.5~4.0	43/58	27/38	+0.09	-0.76
120	2.10	3.0~3.5	45/60	29/39	-0.91	-0.71
140	3.76	3.0~3.5	45/62	29/39	-2.00	-1.24

(容器内/材内部) (+:増加 - :減少)

80℃処理時の容器内は飽和蒸気の凝結により減圧状態(約267torr)となる。また，100℃処理時の絶対圧力は大気圧(1.03kgf/cm²)よりわずかに高くなった。

蒸気処理時の含水率変化をみると80℃処理材は増加，100℃処理材は微増，120, 140℃処理材は減少しており140℃処理材の減少速度は120℃処理材の約2倍である。解圧処理時は，80, 100, 120℃処理材の減少速度はほぼ同じであるが，140℃処理材の減少速度は他の処理条件の約2倍である。100℃と140℃処理材の表層部と内部の含水率変化をみると，生材に比べ100℃処理材では内部含水率はほとんど変化せず，140℃処理材では内部含水率が減少する傾向がみられた。損傷は80, 100℃処理材にはみられず，120℃処理材では軽微な表面割れが，140℃処理材では内部割れが生じた。

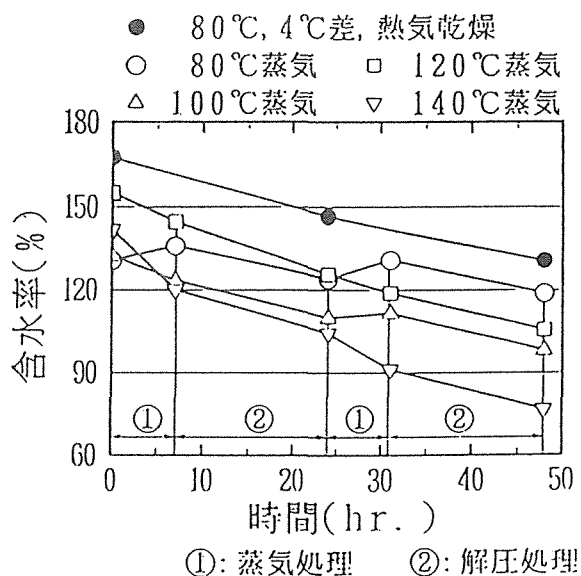


図 処理条件別の含水率経過

6.4 高温・高圧雰囲気中の木材含水率測定

(慶北大) 李 元熙, (森林総研) 安部 久, ○黒田尚宏

【はじめに】

近年、100℃以上の高温域において熱処理、圧縮成型、高温乾燥等の木材加工技術が、寸法安定化、乾燥の高速化など木材製品の付加価値・高品質化を目指して展開されつつある。それに伴い、熱処理後の木材性質の変化、熱圧縮下の木材挙動など、多くの基礎的な知見が蓄積されている。しかし、木材性質の熱による変化に密接に関与する木材水分の高温下での挙動に関しては、実験の困難さもあってほとんど検証されていない現状がある。特に、高温・高圧域における平衡含水率(EMC)に関する実験的検討は1, 2例にすぎない。また、100℃以下の吸着等温線と温度との関係を100℃以上の温度領域へ外挿することによっても、高温域でのEMCが求められるが、この方法では熱分解による実質重量減少分の的確に補正する必要がある。したがって、この研究では密閉された高温・高圧雰囲気中の木材重量のin situ測定法を検討し、100℃以上における平衡含水率の検証を行った。

【実験方法】

適量の蒸留水をはった耐圧ガラス容器中の石英ばねに木材片(スギ辺材・全乾重量既知)を吊り下げ、次にガラス容器全体を油槽に浸漬することによって、温度100~175℃、湿度0~100%、圧力0~10kg/cm²の雰囲気を設定し、重量の経時変化をばねの伸縮(読みとり:カセットメータ)によって求めた。また、デシケータ法により、熱処理後の吸湿にかかわる比内部表面積を求めた。

【結果】

(1) 不飽和蒸気中でのみかけの含水率(熱処理前の全乾重量に基づく値)は、100℃以上での測定蒸気圧の範囲で温度が高い程小さくなる傾向を示した。また、高い相対蒸気圧領域においては、熱分解による実質重量の減少がEMCに与える影響を認めしたが、他方相対蒸気圧が低い場合には175℃を除いて熱分解の影響は生じにくい(図1)。

(2) 実質重量の減少を補正したEMCは参照値(100℃以下のEMC-相対湿度-温度の関係に基づいた推定値)よりも大きい値を示した(図2)。

(3) 100℃以上での飽和蒸気中では、吸湿による重量増加と加水分解による実質重量の減少とが並行して生じる。飽和水蒸気雰囲気中で測定時間内に達する最大の木材含水率はおおよそ25~35%を示し、温度による影響は特定されないが、175℃では時間経過に伴う著しい重量減少および含水率低下を認めた。

(4) 熱処理による木材の実質重量の減少速度は処理雰囲気の温度および蒸気圧に依存して変化し、また吸湿にかかわる比内部表面積の熱処理による減少は処理温度が高いほど大きいことを認めた。

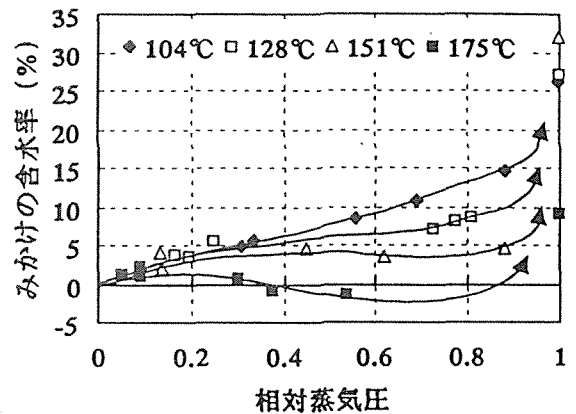


図1 みかけの含水率と相対蒸気圧との関係

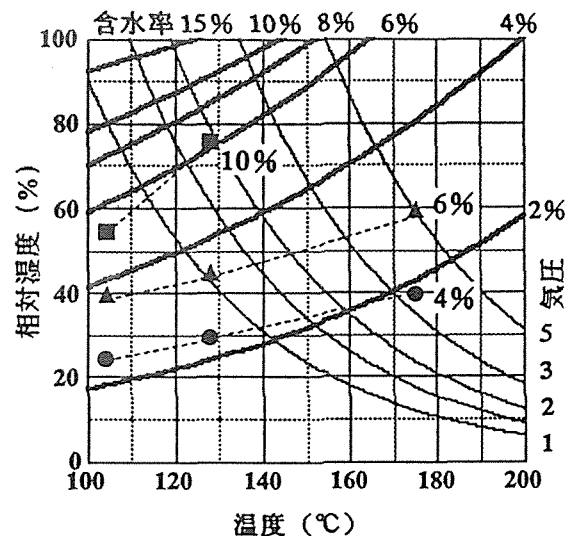


図2 高温での相対湿度、温度、圧力、および平衡含水率との関係(Kauman,1956)
(図中プロットが今回の測定値)

6.5 高温飽和蒸気中の木材含水率

(森林総研) ○石川敦子、黒田尚宏

1. はじめに

近年、針葉樹材の乾燥において、乾燥時間の短縮と損傷の低減が期待できるとして、高温・高圧水蒸気処理の乾燥スケジュールへの導入が注目されている。一方、過度の熱処理は、強度の低減など材料性能の変化を伴うことも周知の事実である。そこで、適正な前処理・乾燥を実現するための基礎データとして、高温飽和蒸気中の木材重量を *in situ* 測定し、含水率を検証した。

2. 実験方法

適量の蒸留水を入れた耐圧ガラス容器中の石英バネに、木材片（スギ心材と辺材、30 (T) × 20 (R) × 2 (L) mm、全乾重量既知）をつり下げ、木材重量の経時変化をバネの伸縮（カセットメータで読みとり）により求めた。なお、ガラス容器全体を恒温油槽に浸漬し、温度 120～160℃ の飽和蒸気の雰囲気調整した。

また、高温熱処理では全乾重量が経時変化するので、ある処理時間までの全乾重量変化も併せて測定した。

3. 結果と考察

図 1 に、温度と処理時間に対する全乾重量の減少率を示した。120℃ では変化は少なかったが、140、160℃ の同一処理条件では、心材の方が辺材よりも重量減少率が大きかった。これは一つには、心材に抽出成分が多く含まれることによるかも知れない。この処理時間と重量減少率との関係をベースに、図 2 には含水率の経時変化を示した。どの処理温度においても時間の経過とともに含水率は増加し、また、この傾向は温度が高いほど著しくなることが明らかである。

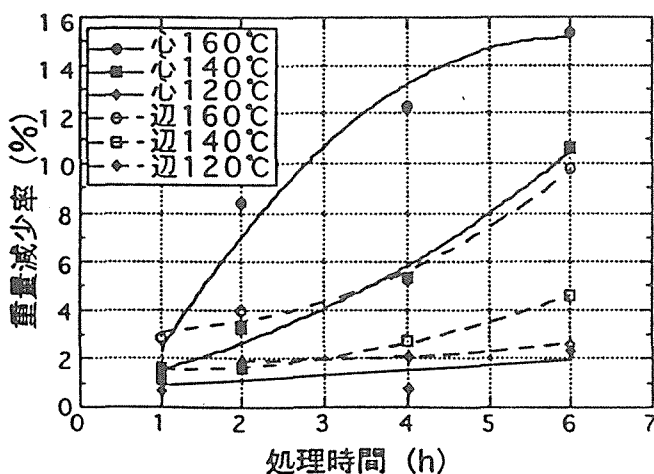


図 1 飽和蒸気温度、処理時間と重量減少率

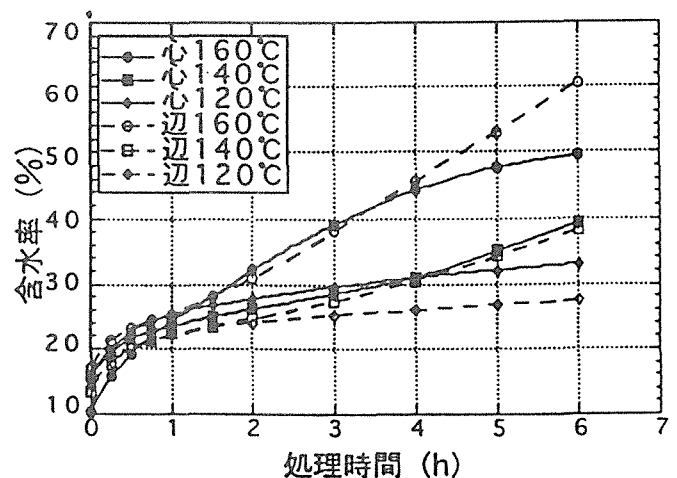


図 2 飽和蒸気温度と処理時間に対する含水率の経時変化

6.6 過熱蒸気中での木材含水率

(森林総研) ○石川敦子、黒田尚宏

1. はじめに

近年、乾燥時間の短縮と損傷の低減が期待できるとして、針葉樹材の乾燥スケジュールへの、高温・高圧水蒸気処理の導入が注目されている。処理による強度の低下や欠点発生を避けつつ適正な前処理・乾燥を実現するためには、こういった処理条件下での木材含水率を的確に把握し制御することが重要である。このため、様々な蒸気雰囲気下における木材含水率について検証を進めており、ここでは特に過熱蒸気中での木材含水率を検討している。

2. 実験方法

適量の蒸留水を入れた耐圧ガラス容器中の石英バネに、木材片（スギ心材と辺材、30 (T) × 20 (R) × 2 (L) mm、全乾重量既知）をつり下げ、木材重量の経時変化をバネの伸縮（カセットメータで読みとり）により求めた。なお、ガラス容器全体を恒温油槽に浸漬し、温度 120～160℃ の過熱蒸気の雰囲気調整した。

高温熱処理では全乾重量が経時変化するので、ある処理時間までの全乾重量変化も併せて測定し、含水率算出の際に考慮した。

3. 結果と考察

図1と図2にそれぞれ、飽和蒸気と過熱蒸気による処理時間と温度、含水率および木材実質量減少率の関係を示した。飽和蒸気処理では時間の経過と共に含水率が高くなり、温度が高いほどその傾向が顕著であったが、過熱蒸気処理では時間が経過しても含水率はほぼ一定にとどまり、温度による差もほとんど認められなかった。このように、過熱蒸気処理では相対湿度が比較的高い場合でも、木材実質の重量減少が少なく、飽和蒸気雰囲気中ほどは平衡含水率の変異が生じないことが明らかである。

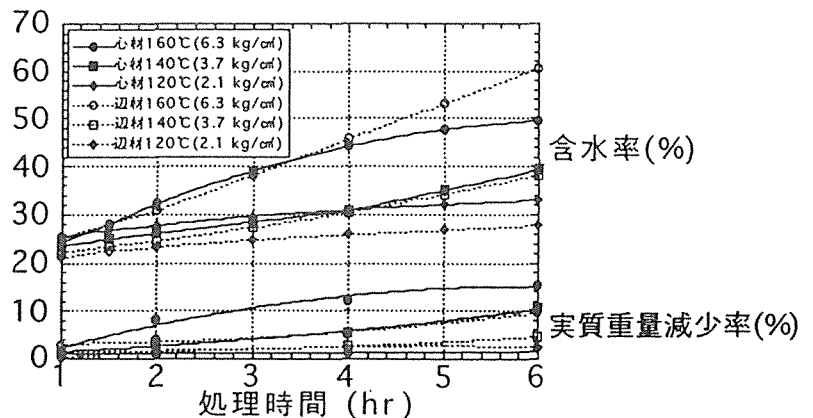


図1 飽和蒸気処理時間と温度、含水率、実質重量減少率。

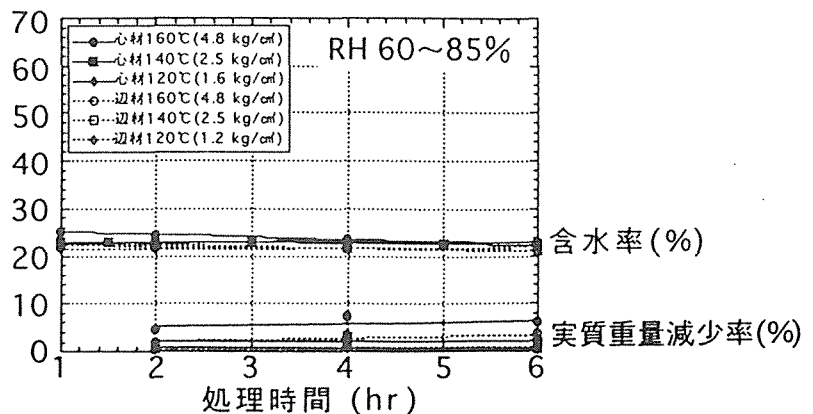


図2 過熱蒸気処理時間と温度、含水率、実質重量減少率。

7 燻煙熱処理、燻煙乾燥

7.1 スギ丸太の遠赤外線燻煙熱処理 (1) (壁孔壁の破壊と材質変化)

(宇都宮大学農学部) ○古沢伸夫・高橋伸英・出井利長,
(栃木協達) 安藤 實, (那須森組) 藤田一二

【はじめに】

最近、原木丸太を廃材を燃料とする高温の燃焼ガスで直接加熱処理することによって、主に残留応力の低減、丸太内含水率の低下と分布の均一化がはかられ、その結果製材歩止りの向上と乾燥前処理効果が得られることが明らかにされている。しかし、過酷な熱処理によっては丸太に干割れ、炭化、変色など材の損傷が生じやすい。筆者らは輻射性の極めて強い遠赤外線の効果に着目し、燃焼室及び熱処理室内壁面にセラミックスを装着することによって遠赤外線の放射量を増加させる増殖炉を試作して、難乾燥材であるスギ生材丸太を処理した。その結果、壁孔壁の破壊と丸太の残留応力低減効果が認められたので報告する。

【材料及び方法】

本研究で試作した遠赤外線増殖炉を使用して、35年生のスギ(末口径約16cm, 長さ3m) 16本を2日間熱処理した。材内温度は5cmの部位で測定した。材質を比較するため皮付き丸太を半分に玉切りし、一方を熱処理、他方を無処理として、動的ヤング係数、残留応力を測定し、材質を比較した。また、処理・無処理のすべての試料について辺材・心材別に小ブロックを切り出し、放射断面について有縁壁孔の形態をSEM観察し、損傷を受けた壁孔壁の破壊率を求めた。

【結果及び考察】

Fig. 1に熱処理による丸太の材内温度変化を示す。燃料に着火後、炉内温度は約2時間で100℃に上昇し、約4時間で最高温度140℃に達した。丸太の材内温度は、着火後4-5時間で80℃になり、約6-8時間後に最高温度100℃付近に達した。このような過酷な熱処理によっても干割れ、材内損傷は観察されなかった。遠赤外線の輻射効果により、材内温度を均一に短時間で上昇させることができ、高められた材内蒸気圧によると思われる壁孔壁の破壊が観察された(Fig. 2)。壁孔壁の破壊によって透過性が向上し、材内で温度と水分の分布が均一になるために乾燥応力が抑制され、材の損傷が生じなかったものと考えられる。材内温度80℃以上で約35時間の処理条件で丸太内残留応力の低減に十分な効果がみられた。

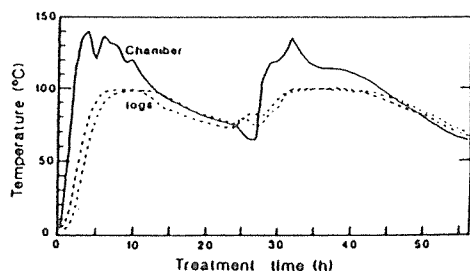


Fig. 1 材内温度変化

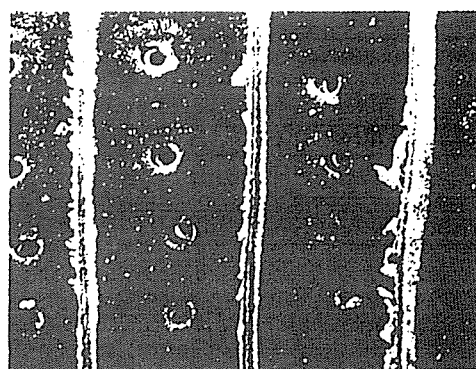


Fig. 2 熱処理によって破壊された壁孔壁

7.2 スギ丸太の遠赤外線燻煙熱処理 (2) (薬剤浸透性の改良)

(栃木協連) ○安藤 實、(宇大農) 吉沢 伸夫、高橋 伸英、
出井 利長、(那須森組) 藤田 一二

〔はじめに〕

スギ中目材の生産量は年々増加する傾向にあるが、新用途開発のために心材部の乾燥促進と薬剤等の浸透性の向上が望まれている。著者らはスギ中目丸太を遠赤外線増殖炉で2日間燻煙熱処理を行い、水溶性の難燃剤を常圧で含浸させた。特に困難とされている心材部において薬剤浸透性が向上する結果が認められたので報告する。

〔材料及び方法〕

樹齢40年生のスギ丸太(末口径18cm、長さ3.65m)を中央部で切断し、一方を遠赤外線増殖炉で燻煙熱処理した。辺材・心材別に厚さ18mm、幅9cmの小幅板に製材し、約2ヶ月間天然乾燥を行った。含水率を約8%に調整後、50cm長さに切断して供試材料とした。あらかじめ重量を測定した試験片を、珪酸アルカリを主成分とする難燃化処理薬剤クリスタルシラー(ファイングラス・テクノロジーKK製)に常温・常圧で56時間含浸させ、重量増加率を算出した。重量測定は2時間毎に行った。なお、実験に使用した難燃化剤は、A液(珪酸)とB液(アルミニウム、カルシウム、マグネシウムを含む飽和無機塩溶液)からなり、試験片を最初A液に24時間浸漬し、さらに32時間B液に浸漬して反応させ、その後5%酢酸で処理した。薬剤処理後、それぞれの試験片についてSEMを用いて観察した。

〔結果及び考察〕

Fig.1に試験片の重量増加率を示す。重量増加率は、無処理の辺材で48%、熱処理の辺材で54%が得られた。また、無処理の心材は24%の増加率を示したのに対し熱処理の心材で43%の高い増加率が得られた。これらの薬剤浸透性の改良は、主に壁孔壁の破壊によるものと思われる。含浸後、1月に試験片を天然乾燥した結果、12日間で初期含水率8%に戻った。細胞内に生成した無機物のSEM写真をFig.2に示した。これらの試料について簡易難燃実験を行ったところ、燃焼中に爆跳による炭化層の剥離は観察されなかった。

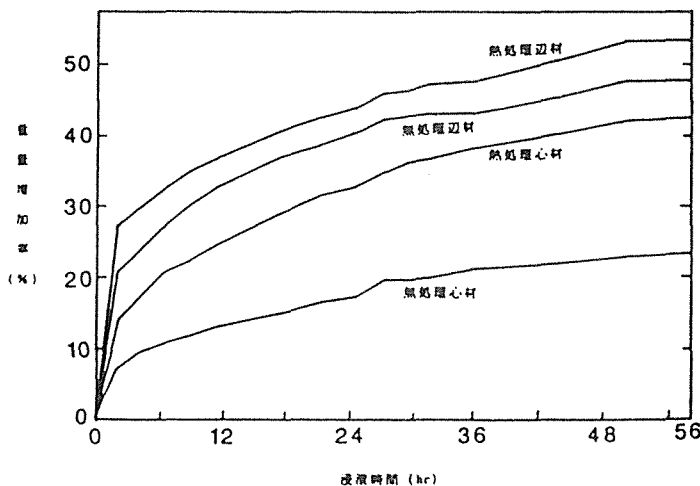


Fig. 1 難燃剤の浸透性

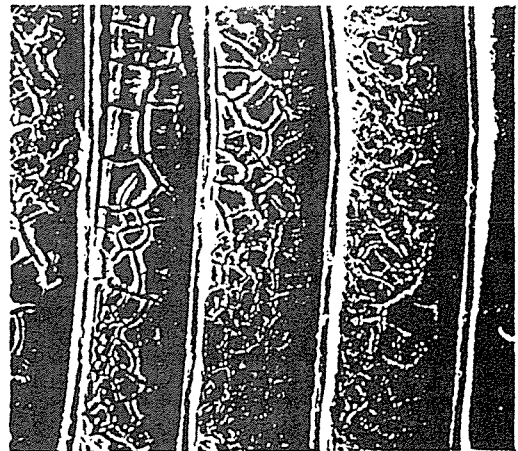


Fig. 2 細胞内に生成した無機化合物

7.3 スギ丸太材の燻煙熱処理試験

齋藤周逸*, 黒田尚宏*, 加藤英雄*, 伊神裕司*, 長尾博文*, 村田光司*, 小林功*,
石川敦子*, 江刺拓司**, 佐藤夕子***, 梅田久男****

Smoke Heat-Treatment of Sugi Logs

Shuetsu SAITO*, Naohiro KURODA*, Hideo KATO*, Yuji IKAMI*, Hirofumi NAGAO*, Kohji MURATA*
Isao KOBAYASHI*, Atsuko ISHIKAWA*, Takuji ESASHI**, Yuko SATO***, Hisao UMEDA****

* Forestry and Forest Products Research Institute

** Miyagi Prefectural Forestry Research Institute

*** Furukawa Agriculture and Forestry Promotion Office

**** Sendai Agriculture and Forestry Promotion Office

A possibility of the smoke heat-treatment as a pretreatment method of kiln drying was examined for promoting the productive efficiency of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) timber. The pretreatment effect on the logs, which were treated by use of the smoke heat-treatment kiln, was evaluated in terms of timber yield after sawing, drying time and checks, and strength properties.

Because of the use of large-scaled kiln, there was the 20°C difference in temperature between upper and lower stacks in the kiln that resulted in the treatment variation among logs as anticipated. The mean crooks and bow rate of the timber sawn from the treated logs were less than those sawn from the non-treated logs. However, the timber yield of the treated logs was not increased because of the drying-checks occasion in outer part of logs. No reductions in the drying time and checks occasion were found in the kiln drying of 110×110mm boxed heart square timbers. It was also found that the strength properties from bending and compression tests were not changed statistically by the smoke treatment of logs.

1. 緒言

燻煙を熱媒として利用する乾燥法は従来から漆工芸品等の短尺材の乾燥方法として行われてきた技術である^{1)~4)}。最近では装置の大型化や温度制御の発達等により工業的な木材熱処理法として注目されている。

燻煙装置は大量の木材を熱処理するためには経済的に有効な手段と考えられ^{5)~7)}、関係各機関で燻煙装置による処理材の研究が進められ、成長応力、空気透過性、収縮率、材色等の変化に関する報告が出されている^{8)~12)}。

今回は、丸太の燻煙熱処理を人工乾燥の前処理と位置づけ、次のような目的で試験を行った。第一に、今回用いた燻煙装置が大型であることによる処理温度むらを明らかにするために、装置内の温度分布および丸太の材温分布を検討すること。第二に、製材時の曲がり、そりの軽減効果および形量、価値歩止りへの影響を明らかにすること。第三に、丸太の段階での含水率の低下、その後の人工乾燥時間および割れ等の乾燥性能への影響を明らかにすること。第四に、燻煙熱処理が製材品の強度性能に及ぼす影響を明らかにすることである。

2. 試験方法

2.1 装置概要

本試験に用いた装置は宮城県林業試験場に導入されたものであり、国産針葉樹であるスギ等の処理を念頭

*森林総合研究所木材利用部

**宮城県林業試験場

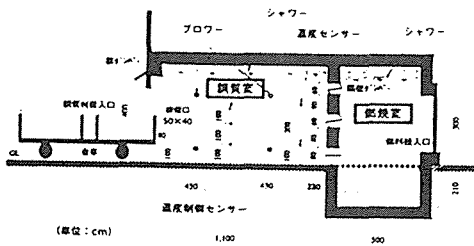
***宮城県古川農林振興事務所

****宮城県仙台農林振興事務所

にした試験研究用である。したがって、すべての燻煙熱処理装置の一般的な性能評価には直接つながらない。

第1図は装置の側面図である。調質室の内法寸法は幅7.5m、高さ4.5m、奥行きが11mである。この調質室の内部は幅3.0m、高さ2.3m、長さ9mの台車が2台並列で入る構造になっている。丸太の処理能力は積載方法に依るが、およそ30~50m³である。

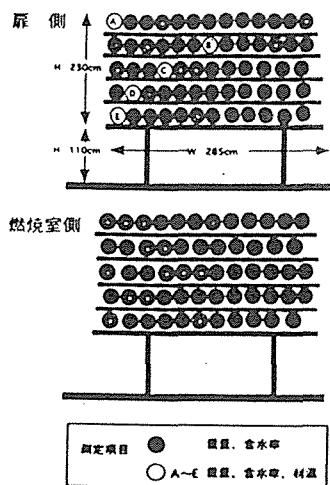
加熱を行うための燃焼室は幅7.5m、高さ7.0m、奥行きが5.0mで、燃料容積は約70m³である。調質室内の加熱は、燃焼室に木材を投入し、これを燃焼させて生じた加熱媒体（燻煙）が流入することで行われる。



第1図 燻煙式調質炉（側面図）

2.2 処理方法

試験材は宮城県産のスギ皮付き生材丸太230本を熱処理に用い、その対照として未処理の同丸太材を用いた。これらの末口径は16~28cmで、長さ3mおよび3.65mであった。試験時は、丸太を各台車に前後5段の積積みをして装置内に積み込んだ。第2図は装置正面から左側に積載した丸太の積載方法であり、右側にも同様に積載した。左側に積載した材は第2図のように重量変化、含水率、および材温を測定するための丸太をランダムに配置した。一方、右側には強度性能を比較するための試験材をランダムに配置した。



第2図 試験時の丸太積積み状態（正面左側）

2.3 調質室内温度制御

処理条件は宮城県林業試験場で研究開発中のスケジュール¹⁸⁾を参考にして調質室内には水の噴射を行わないものとした。制御温度は130℃とし、処理温度は積積み上段の部分で制御した。温度制御は燃焼室で発生する加熱媒体を調質室との隔壁ダンパーの開度で流入量を調節し、燃焼室が加熱状態の時は燃焼物に燃焼室の天井から水を噴射して自動的に温度制御を行った。熱処理時間は温度の上昇時間、安定期、温度下降期間併せて約72時間であった。

2.4 温度測定

処理中の材内および装置内の温度分布を熱電対（TYPE-T）を用いて測定した。材温は第2図の扉側に配列したA~Eの丸太について行った。センサーは丸太の上部にドリルで穿孔して挿入し、シリコングリースで目止めをした。測定部分は、丸太の長さ方向のほぼ中央部、測定深さを表面から3cmと6cmの2段階とした。

2.5 丸太重量および含水率の変化

処理前後の丸太の重量変化、材内含水率分布を測定した。重量および含水率の測定には予め末口径等の形質が揃った丸太を選び出した。

丸太重量の変化は電子天秤（メトラー社製 K-150）を用いて、一丁取り用丸太を30本、中目材15本について、同一の丸太を処理前後で一本ずつ測定した。

材内含水率分布は、含水率測定用の丸太を別に用意して、処理前に末口から50cmの位置から円板を採取して測定した。このとき横断面の含水率分布を見るための心材、辺材、白線帯と7つの部分に分割し全乾法で含水率を求めた。処理後の含水率は、同一の丸太を用いて処理前の切断面から50cm内側の部分から含水率円板を採取して求めた。

2.6 製材試験

廻し挽きによって製材した製材品の曲がり、そり、および製材歩止りを熱処理材と未処理材とで比較した。試験材として末口径20~26cmの中目丸太を用い、各20本ずつランダムに選び出して行った。曲がり率、そり率は日本農林規格の欠点測定法に基づいて算出した。製材歩止りは形量および価値歩止りで評価した。

2.7 材色測定

製材直後の材色を色彩色差計（ミノルタ社 CR-200）を用いて熱処理材と未処理材で比較検討した。

2.8 乾燥試験

熱処理により予想される、初期含水率減少による乾燥時間短縮、割れ欠点等の抑制効果を乾燥スケジュール試験によって比較検討した。

スケジュール試験は末口径18~20cmの丸太から製材された心持ち一丁取りの柱材で行った。試験は熱処理材30本と未処理材30本で行った。試験材の断面は110×110mm、材長は80cmとし、背割り加工は行わなかった。スケジュール試験に際しては両木口をシリコンコーキング材でシーリングした。

乾燥スケジュールは乾球温度を初期60℃、最終70℃を基に、乾湿球温差を2.5~9.4℃と徐々に開いていった。最終は乾球温度70℃、湿球温度67℃で調湿を行い含水率傾斜のない15%の含水率になるように設計した。

2.9 強度試験

試験方法は、曲げ試験（スパン／はりせい≒18, 3等分点4点荷重）および縦圧縮試験（細長比≒10）である。

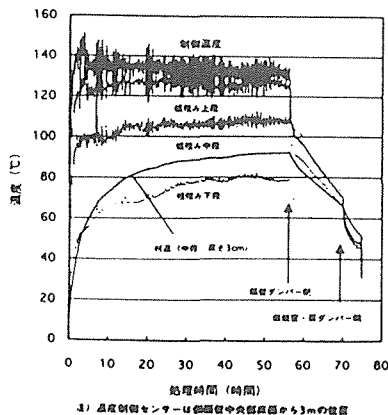
試験材の選定方法は、予め末口径等の形質を揃え、その後縦振動法によるヤング係数の平均値と分散が等しくなるようにスギ丸太（末口径18~20cm）51本ずつの2集団を選定した。

このうち1集団については熱処理を行い、もう一方は生材状態とした。その後、熱処理および未処理のすべての丸太から心持ち正角（断面寸法：110×110mm、材長3m）を製材し、含水率を人工乾燥（乾燥温度50~70℃）により15±2%に調整した後、強度試験を行った。

3. 結果および考察

3.1 調質室内温度

第3図は熱処理時の調質室内の熱媒体の温度経過を

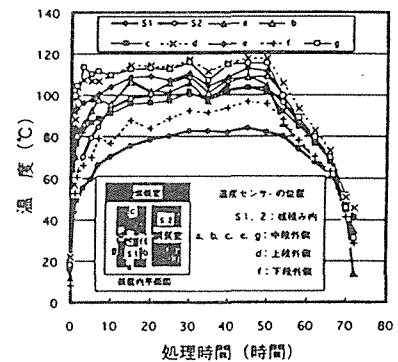


第3図 処理時間と積り内の温度経過

表している。これらは調質室内の内壁に固定設置されている温度センサーで積り上中下段の位置に対応している。また、材温は中段に位置する丸太材内の（深さ3cm）の温度経過である。

この図のように積りの上段はほぼ制御温度になったが、中段、下段になるにしたがって温度が低くなる傾向が見られた。処理装置内の処理中の温度分布は積り上部が約120℃、下部が約80℃であった。

調質室内の温度を熱電対を用いて積り内の媒体温度をさらに詳しく調べたのが第4図である。gとdはほぼ同じ温度の傾向を示した。これらは燃焼室の加熱空気が障害なくほぼ直接流入している箇所と思われる。



第4図 熱処理中の調質室内温度分布

dとeとfは積りの上段、中段、下段で測定したものである。図でも見られるように下段になるにしたがって温度が低い傾向にあり、その差は温度上昇後の温度安定期で約20℃の差であった。

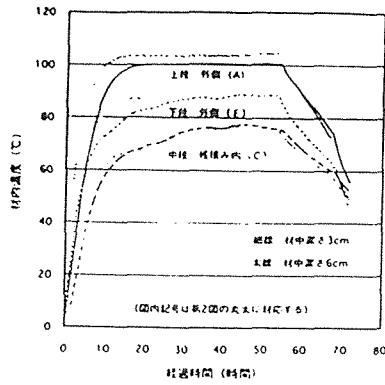
積り内の温度については、S2では積りの表面の周りとの温度差が見られなかったが、S1は80℃程度で推移していた。これは積り内まで加熱媒体が循環されなかったことによると思われる。

このように、積り状態でも内部と外部では差が現れることから、この装置の場合では積りをせずに積載した場合には内部の丸太には十分な熱処理が加わらない可能性がある。

3.2 丸太の材温

第5図に丸太の材温の経過を示す。丸太材内の温度は積り上部で約100℃、中段でも積り内では約80℃と熱媒体温度に則した差がみられ、表面から浅い方が温度の上昇が早く、深い箇所よりも高い温度で推移する傾向が見られた。

積り上段は室内温度の分布でも一番高い温度を示すところであるから、ほぼ最大の処理効果が得られる箇所と考えられる。ここでは材内深さ3cmのところを



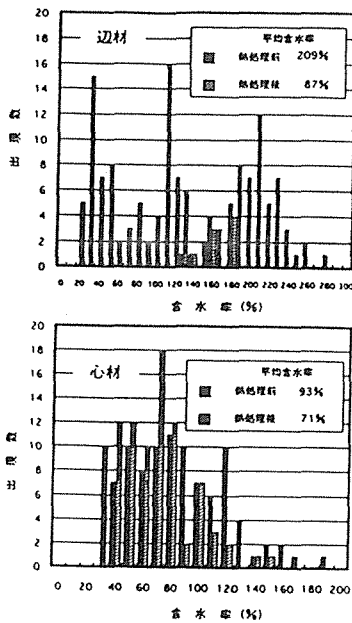
第5図 熱処理中の材内温度

は100℃を超えているが、これは材内圧力の増加あるいは外気が流入したものと考えられる。

このように今回は、丸太に対する熱処理は積載位置によって処理温度に差が生じ、全丸太に対して一定の温度による処理が得られていなかったと考えられる。

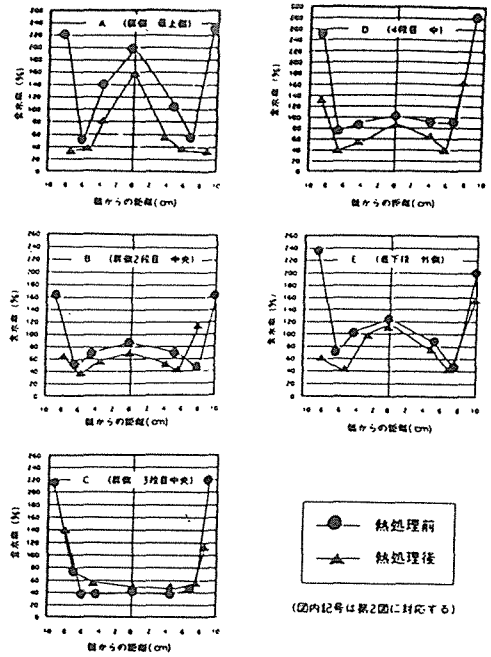
3.3 丸太重量および含水率の減少

丸太含水率の減少を第6図に示す。辺材部分では平均含水率で100%以上の減少がみられた。心材部分は辺材部分ほどの減少はなかったが、有意な差は認められた。



第6図 処理前後の含水率変化

含水率の低下を丸太の横断面で比較したものが第7図である。図内の記号は第2図の材内温度を測定した材と対応している。積堆みの最上部で処理されたAは辺材部分が含水率40%以下まで下がった。他の試験材は最上部ほどの含水率低下は見られなかったが、辺

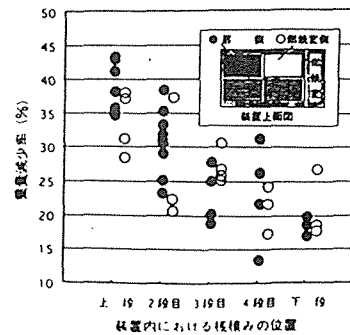


第7図 熱処理前後の丸太断面含水率分布

材の水分減少は大きかった。一方、心材部分の含水率については、減少がみられたものの辺材部のように著しくは変化しなかった。

また、最上部に配置した丸太で断面の含水率傾斜が平準化されたのが見られたが、これは心材含水率が元々低かったことによると思われる。

重量減少の割合を第8図に示す。積堆みの上段に位置しているものから最下段になるにしたがって減少率が小さくなる傾向が見られた。積堆みの扉側と燃焼室側を比較すると扉側の方が減少率が大きい傾向が見られた。調質室内全体の傾向として、丸太の位置と含水率の低下の関係は、積堆みの上下では上部、外側と内側では外側、積堆みの扉側と燃焼室側では扉側の方が効果が大きかった。



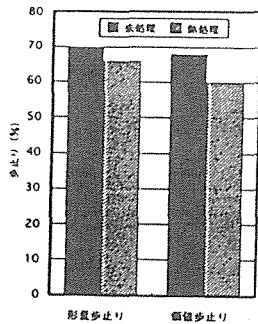
第8図 積堆み位置による丸太重量減少率

これらのことから熱媒体は調質室の天井に流入した後、投入扉の壁づたいに床へ流入し、室内を循環していると思われる、これはシミュレーションを用いた能木

らの報告¹⁹⁾と一致している。

3.4 製材試験

今回の試験に限れば、第9図に示すようにスギ中目燻煙丸太の製材は、処理中に生じたと思われる割れによって、形量歩止り、価値歩止りとも、未処理丸太の製材と比較して低かった。



第9図 製材歩止り

挽き材直後の製材品の曲がり等は第1表に示すように燻煙熱処理丸太の方が小さかった。この挽き材直後の曲がりの減少は他樹種でも報告されており¹²⁾、これは熱処理によって生材時の成長応力が緩和されたことによるとされている^{8, 13)}。

第1表 製材品の曲がり率およびそり率

	断面寸法 mm	曲がり率		そり率	
		未処理 %	熱処理 %	未処理 %	熱処理 %
挽き材直後	30×105	0.10	0.08	0.39	0.19
	105×105	0.17	0.09	0.14	0.09
人工乾燥後	30×105	0.12	0.12	0.24	0.19
	105×105	0.15	0.13	0.16	0.13

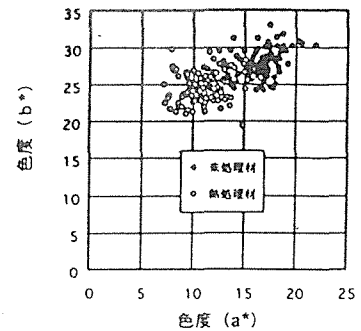
3.5 材色の変化

木材の色はL*a*b*表色系の赤色と黄色で挟まれる象限で表わされる。材色は熱処理によって心材色に変化が見られた。心材の色度は第10図に見られるように赤色、黄色ともにくすむ方向に移行した。この心材の色変化の方向は辺材色に近づく方向であり、材色が均一化(単色化)する傾向を示した。

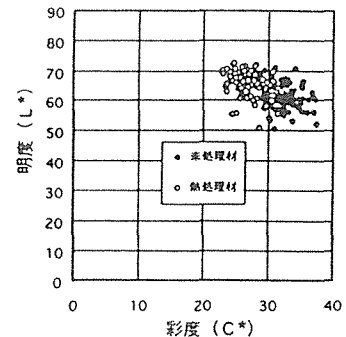
また、第11図のように明度は明るい方向に移ったが彩度は低下した。このように熱処理によって鮮やかさは失われるものの、暗い色が明るくなる。このことは黒色系の心材色が明るくなる(淡色化)可能性を示している。これらの傾向は奥山らの報告¹⁴⁾と一致した。

3.6 乾燥試験

断面が110mm×110mmの心持ち柱材を一丁取りしたときの30本ずつの初期含水率は、熱処理材が58%、未処



第10図 心材部の色度変化



第11図 心材部の明度と彩度変化

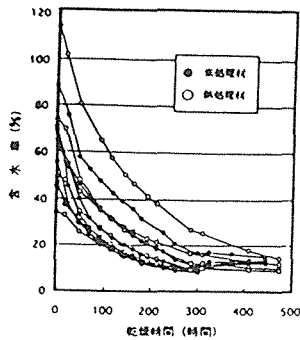
理材が67%であった。これらを断面含水率分布で比較したところでは有意な差は見られず熱処理による水分低下の効果が現れなかった。これは熱処理により含水率の低下が認められた辺材部分が製材時に背板として落とされたためと考えられる。

第12図は乾燥経過である。熱処理材と未処理材では同一の乾燥スケジュールを用いて別試験で行った。この図からも見られるように熱処理によって、実大柱材の乾燥時間を短縮する結果には至らなかった。

割れた場所も含めた材面の幅方向の収縮率の平均値は熱処理材が2.9%で未処理材が1.7%であった。両者の標準偏差(σ)および範囲には差が見られなかった。この収縮率の差は測定時の平均含水率が熱処理材では10%、未処理材では13%であったことによると考えられる。このように、今回は熱処理材と未処理材との収縮率の差はみられなかったが、これは不均一な熱処理によるとも、実大正角材を割れの部分も含めて比較したためとも思われる。

熱処理材の収縮率に関しては熱処理材の方が小さいという報告もあるが¹⁵⁾、処理の温度や対象樹種、熱媒の成分も関係してくると思われ、今後整理する必要があるものと考えられる。

なお、製材品の乾燥では、熱処理を行うことで表面割れの発生が抑えられると言われているが¹⁶⁾、今回の結果からは割れ長さおよび割れ幅の量に有意な差は得



第12図 心持ち柱材の人工乾燥経過

られなかった。熱処理の効果を生かすためには熱処理から乾燥過程への連続的な移行が必要と考えられる。

3.7 強度試験

100℃以上の温度で人工乾燥した建築用針葉樹の製材品の強度変化について報告²¹⁾ が発表されており、ある温度以上で処理された製材品の強度性能が懸念されている。今回のように80℃～100℃で実質50時間程度の処理では第2表に示すように燻煙熱処理および未処理の丸太から製材されたそれぞれの実大のスギ正角の間に、曲げ・縦圧縮強度の差は認められなかった。

第2表 スギ正角の曲げ試験および縦圧縮試験の結果

試験 体数	MC (%)	曲げ試験				縦圧縮試験		
		密度 (kg/m ³)	Efr-I (GPa)	MOE (GPa)	MOR (MPa)	密度 (kg/m ³)	σ_c (MPa)	
燻煙 熱処理 S1	ave.	14.0	402	7.17	6.74	41.3	412	27.8
	s.d.	1.1	32	1.18	1.11	6.3	33	2.4
	CV(%)	7.9	8.1	16.4	16.5	15.3	8.0	8.5
未処理 S1	ave.	14.9	410	7.09	6.61	41.2	419	27.8
	s.d.	1.7	33	1.04	0.95	5.8	33	3.1
	CV(%)	11.3	8.0	14.6	14.3	14.1	8.0	11.1

注) ave. : 平均値, s.d. : 標準偏差, CV (%) : 変動係数

まとめ

今回使用した装置では積みの上下で処理温度に差が見られ、処理が不均一であった。したがって、現在の装置で製材用スギ丸太材の処理を行う場合には改良の余地が残されていると思われる。当面は熱媒体を調質室内で十分循環させるためにブローの数およびその出力増等が考えられる。改良によって装置内の温度差を少なくし、割れが生じないような処理工程がシステム化されれば製材品の歩止まり向上につながる可能性がある。

今回のような丸太径から製材される一丁取りの正角材の場合では、乾燥時間の大きな短縮にはつながらなかったが、柱材でも断面の辺材率が大きい場合には短縮効果が期待できる。また、今回は行わなかったがラミナ等の板材の人工乾燥では乾燥時間の大幅な短縮は

見込まれないものの曲がり、そり等の欠点は緩和されると思われる。強度の変化も今回見られなかったが、処理温度と処理時間、すなわち木材に与えられる総エネルギー量によっては変化の可能性もあると思われる。今後、構造用の製材品の生産にはこれらの要素を含んだ研究データの整理が必要であろう。

以上のことから、今回使用した装置でスギ材を処理する場合には、丸太に割れ等の欠点を生じさせないようなスケジュールの開発が必要である。これらの技術開発が進むことによって、現在よりも工業的な装置になり、熱処理による成長応力の緩和および含水率の減少効果が製材歩止りおよび人工乾燥時間の短縮をもたらしてスギ材生産の効率化に結びつくものと考えられる。

5. 謝辞

本研究は林野庁の「木材利用促進のための緊急支援研究開発事業」の一環で行った。

本試験を実行するにあたって協力していただいた宮城県林業試験場の小関孝美氏および森林総合研究所木材利用部の鈴木茂年氏、川田智也氏に感謝いたします。

文献

- 1) 田中勝吉: "木材乾燥論", 九巻, 309-310 (1941)
- 2) 泉 岩太: "木材の乾燥", 西ヶ原刊行会, 74-76 (1933)
- 3) 森 三郎: 林業試験場集報, 36, 113-120 (1934)
- 4) 寺沢 真: "木材乾燥のすべて", 海青社, P.44, (1994)
- 5) 奥山 剛: 持続性木質資源工業技術研究会第3回研究会資料, 15-19 (1996)
- 6) 奥山 剛: 日本木材学会「木材と水研究会資料」, 6-9 (1996)
- 7) 藤本登留: 木材工業, 51, 552-555 (1996)
- 8) 佐々木康寿ら: 木材学会誌29, 302-307 (1983)
- 9) 寺沢 真: ウッドミック, 7, 38-41 (1985)
- 10) 寺沢 真: ウッドミック, 10, 28-31 (1985)
- 11) 寺沢 真: ウッドミック, 11, 44-47 (1985)
- 12) 奥山 剛ら: 木材工業, 41(6) 28-29 (1986)
- 13) 奥山 剛ら: 木材学会誌, 33, 837-843 (1987)
- 14) 金川 靖ら: 木材学会誌, 34, 479-484 (1988)
- 15) 奥山 剛ら: 木材工業, 43, 359-363 (1988)
- 16) 奥山 剛ら: 木材工業, 49, 63-67 (1990)
- 17) 野村隆哉: 京都大学木質科学研究所木材研究・資料, No.31, 31-43 (1995)
- 18) 佐藤夕子ら: 日本木材加工技術協会第15回年次大会講演要旨集 P.54 (1997)
- 19) 能木雅也ら: 第48日本木材学会大会要旨集, P.148, (1998)
- 20) 齋藤周逸: 木材工業, 53, 531-533 (1996)
- 21) 中野 厚: 日本木材学会「木材と水研究会資料」, 10-16 (1996)

(1999. 6. 11受理)

7.4 低コスト型木材乾燥システムの開発

(熊本工技セ) ○中村哲男、城戸浩一 (熊本県技術アドバイザー) 土山昇
(森商事(株)) 森信行

1 はじめに

近年、建築工法の変化等によって、構造用並材製品についても乾燥材の供給が要求されるようになった。しかしながら、構造用並材製品については、乾燥が困難な上に、製品価格も低いため、生産コストが高い化石燃料を用いた従来の乾燥処理による乾燥材の生産量が停滞しているのが現状である。そのうえ、従来の乾燥は高温乾燥となるため、材面の割れや色焼けなどの欠陥が生じやすい等の問題もある。そのため、低コストで高品質製品が生産できる乾燥システムの開発が強く求められている。本発表では、これらの問題に対応するために開発した、廃材の焼却熱を利用した低コスト型の構造用並材製品専用の木材乾燥システムの概要を報告する。

2 乾燥システムの概要

2.1 システムの概念

本システムは、安価な複数の木造乾燥室を用いて、廃材を焼却した際に発生する温水を利用して、各乾燥室で生材のスギ並材から生産された心持ち角材を50℃前後の温度で約20日間乾燥し、含水率20% (全乾法) まで乾燥するものである。(図1、図2)

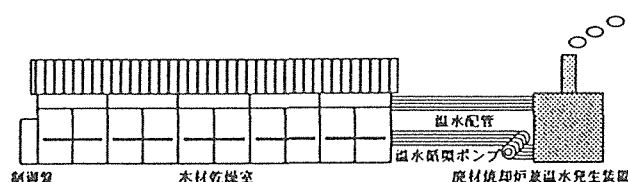


図1 低コスト型木材乾燥システムの構成

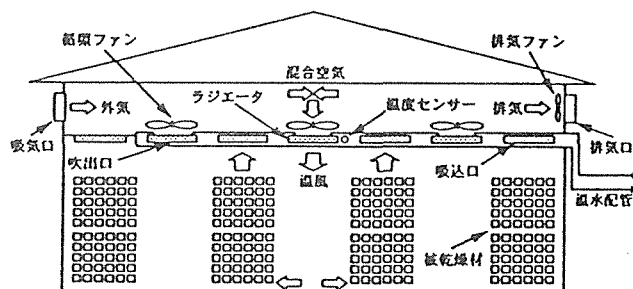


図2 木材乾燥室の構造

2.2 システムの構成と運転方法

本システムは、焼却炉兼温水発生装置、複数の乾燥室及び制御盤によって構成する。焼却炉兼温水発生装置には、各乾燥室との間で温水を循環させるためのポンプを取りつける。各乾燥室には、熱交換機(トラック用ラジエータ)、循環ファン、排気ファン及び温度センサを設置する。制御盤には、温度コントローラ、インバータ等を設置した。なお、本乾燥システムは木材加工工場が作動し、廃材が出てくる時間帯(昼間)のみ乾燥処理を行い、夜間は乾燥処理を停止する間欠運転とする。

2.3 乾燥の仕組み

本システムによる乾燥は、次の①～③の繰り返しによって行う。

- ①循環ファンとラジエータによって加熱(熱交換)された温風が、被乾燥材の間を通過する際に木材から水分を取得することによって湿分が増加する。
- ②湿分が増加した空気の一部は、排気ファンによって排気口から乾燥室外へ排出される。同時に、乾いた空気が吸気口から乾燥室内に導入される。
- ③湿分が増加した空気の多くは、乾いた外気と混合される。

3 乾燥システムの性能

3.1 乾燥経費

生材を20日間で含水率20%まで乾燥した場合、1㎡当たり1,850円(設備減価償却費1,350円、電気代500円、燃料代0円、人件費を除く)で乾燥できる。この他、廃材処理費等が不要となるが、これらは経費に算入していない。

3.2 乾燥能力

1室当たりの30㎡のスギ柱材(105mm角)を乾燥する場合、初期含水率が36~78%であれば、約2週間で17.7~19.6%まで乾燥できる(含水率の測定はいずれも全乾法による)。

3.3 その他の性能

乾燥材の品質(割れ、色焼け他)等の特徴についても測定を行っているが、これらの結果については、発表時に報告する。

最後に、本研究の推進を通じてご指導いただきました、熊本大学教育学部長大迫靖雄氏に対しまして、厚く御礼申し上げます。

7.5 スギ心持ち柱材の燻煙乾燥とその効果

～乾燥、強度、防腐について～

森林総合研究所 ○久田卓興、黒田尚宏、齋藤周逸、長尾博文、加藤英雄、
山本幸一、桃原郁男

山形県森林研究センター 高橋幹夫、 (株)くん煙健康もくざい 安部政昭

1. はじめに

木屑を燃料としてその燃焼ガスを乾燥室内に導入して乾燥する燻煙乾燥法について、乾燥装置としての性能と、この装置で乾燥された木材の材質変化のうち、強度および防腐性能について調査した。

2. 実験方法

用いた装置は(株)くん煙健康もくざいに設置された(株)古代人スガオカ製の装置である。この装置は地下の燃焼室に木屑を入れ、ここへの空気取り入れ量を調整することによって乾燥室内の温度をコントロールする方式である。試験材にはスギ心持ち柱角材(105mm×105mm×3000mm)を用いたが、防腐試験には別途JIS耐久性試験用の試料(20mm×20mm×10mm)を用意した。強度試験用材については、乾燥前に「縦振動法によるヤング係数(Efr)」を測定し、その平均値と分散が等しくなるように、燻煙乾燥用、蒸気式乾燥用に分別した。

3. 結果

図1はスギ柱材の乾燥条件と仕上がり含水率である。通常は処理時間約2週間、最高温度90~100℃で乾燥が行われているが、試験結果はやや温度が高かったためか、過乾燥気味である。

曲げ破壊試験(スパン1800mm、3等分4点荷重方式)と縦圧縮試験(細長比:約10)の結果を表1に示した。いずれも乾燥方法の違いによる有為な差は認められなかった。

図2は燻煙処理したままの材と、その表面を2mm除去した材についての、オオウズラタケを用いた耐久性試験の結果である。燻煙処理材はいずれも未処理材に比べて重量減少が少なく、腐朽に対する抵抗性が増す傾向が認められた。しかし、JISで定めた木材防腐剤の性能基準(重量減少率が3%以下)には及ばず、しかも溶脱処理によりその効果は消滅した。

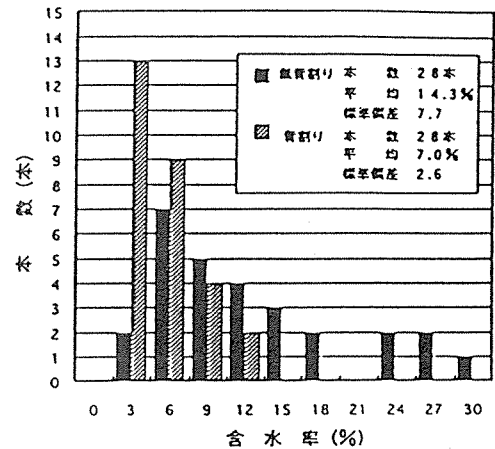
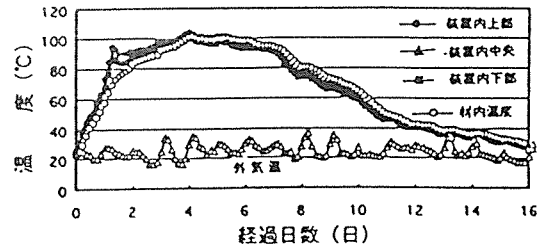


図1 乾燥室内の温度と乾燥後の含水率

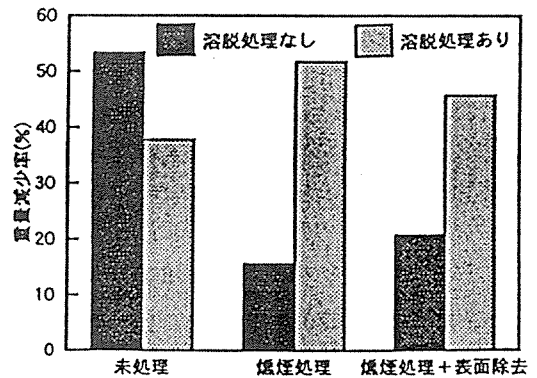


図2 耐久性試験における重量減少率

表1 燻煙乾燥材と蒸気式乾燥材の強度性能の比較

乾燥方法	試験体数	生材時のEfr (GPa)	乾燥後のMC (%)	乾燥後のEfr (GPa)	乾燥後のMOR (MPa)	乾燥後の σ_c (MPa)
蒸気式乾燥	60	6.97	13.0	7.71	44.6	31.5
		18.3%	5.4%	16.8%	17.5%	13.3%
燻煙乾燥	60	6.96	11.5	7.79	45.0	33.5
		17.9%	10.1%	17.1%	16.1%	10.2%

※試験体数を除き、上段は平均値、下段は変動係数を示している。

MC: 含水率、Efr: 縦振動法によるヤング係数、MOR: 曲げ強度、 σ_c : 縦圧縮強度

7.6 柱材の燻煙ミスト法による乾燥

飯田生穂*, 畠山多美夫**, 中町和正**

はじめに

最近、木材の燻煙乾燥が全国各地で検討されている。この乾燥法は、大量の材を低コストで乾燥できる、副次的な効果を期待できる、などの利点が指摘されている。しかし、他方で乾燥に関する基礎データが少ない、或いは公開されていないため、非科学的処理であるなどの懐疑的な評価も強い。

また、従来の方法は温度のみのコントロールで、温度・湿度の両者をコントロールできないため、乾燥の再現性などに疑問視する考え方もあり、その評価は人によって大きく異なる。

従来の燻煙乾燥法が、このような長・短、ならびに評価にあるとき、燻煙乾燥の利点を活かし、燻煙乾燥技術を確認するための基礎的検討、データの蓄積をはかることは意義のあることと考えられる。

我々は、従来の燻煙乾燥法の欠点を改良し、温度・湿度をコントロールできる燻煙乾燥装置の開発を目指し、蒸気乾燥と類似のデータを蓄積、公開していくことで燻煙乾燥の長所、短所が明確にできる、加えて、その結果として燻煙乾燥も一般に理解していただくことができるはずであると考え、基礎的検討を行うことにした。

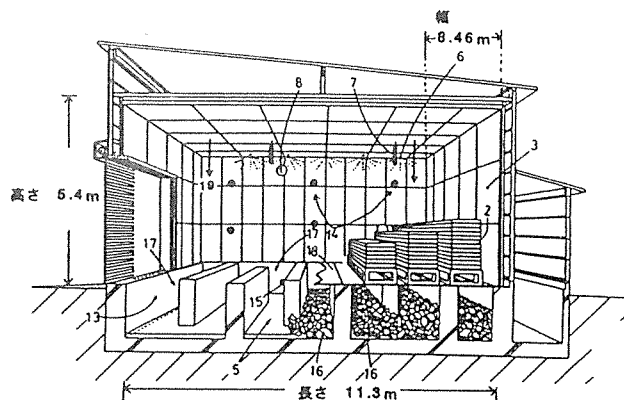
このたび第3セクター土佐産商KKによって高知県土佐郡土佐町境に燻煙ミスト法による木材乾燥処理装置が付設された。そこで、この装置を利用して燻煙ミスト法による木材乾燥処理システムのデータの収集による、技術確立を検討することとした。

現在、実験は、途についたところであるが、温・湿度コントロールを自動化した木材の燻煙乾燥装置はこれまで報告されていないので、一部の実験結果を含めて、ここに紹介し、報告する。

1. 実験

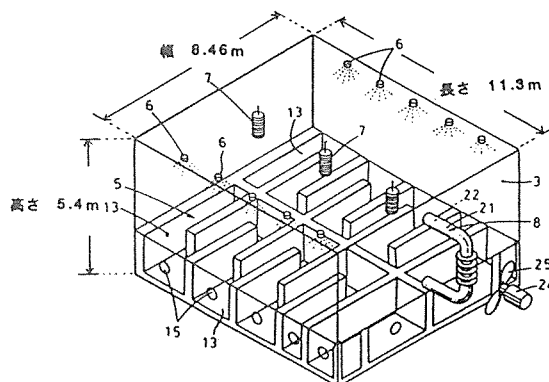
1.1 乾燥装置

第1図及び第2図に、今回我々が用いた装置の概要



第1図 燻煙ミスト乾燥装置の概要

図中の記号説明 2;乾燥材, 3;乾燥室, 5;燃焼室, 6;加湿装置, 7;攪拌装置, 8;除湿及び冷却用ダクト, 13;燃焼路, 14;温度センサー, 15;ダクト, 16;廃材及び鋸屑(燃焼材料) 17;燃焼用の開口路, 18;鋼板製の床板, 19;湿度センサー



第2図 燻煙ミスト乾燥装置の概要

図中の記号説明 3;乾燥室, 5;燃焼室, 6;加湿装置, 7;攪拌装置, 8;除湿及び冷却用ダクト, 13;燃焼路, 15;ダクト, 21,22;循環路

を示す。

本装置は、幅8.46m、奥行き11.3m、高さ5.4mが乾燥室となっており、燃焼室を乾燥室の下部にもうけ、別途制御盤等を集合したコントロール室が付設されたものである。燃焼室は、燃焼時間を長時間保持できるように蛇行式の燃焼炉をとり、それが乾燥室の長さ方向に乾燥室の幅の½区分による独立した2つの燃焼路を構築している。各燃焼路の途中にダンパーが5個あり、その一部には送風、或いは自然対流のいずれによっても空気を送り込むことができる。また乾燥室には温度センサーが乾燥室長さ方向の各壁体に6個、両壁

*京都府立大学農学部

**土佐産商KK

体で計12個付設され、乾燥室の温度管理を行う。しかも、温度をセンサーで測定するとともに、その結果に対してダンパーが作動して、その開閉を行う。温度がスケジュール温度以下に下降するとダンパーを開き、またダンパーから空気を送風して燃焼程度を増大する。また、温度が上昇するとダンパーを締めて燃焼程度を低下させ、温度を下降できる。湿度センサーは乾燥室内に2個もうけてあり、乾燥室の湿度が低下すると、湿度センサーとミスト噴射が電氣的に直結してあってミストが噴射される。また、過剰に湿度が上昇した場合には乾燥室側面にある乾燥室の上部から吸引した空気が一端乾燥室外に導入され、再び乾燥室下部に導入できるようにした閉鎖空気循環ダクトによって、ダクトの中央に冷却機能を設けて、過剰な湿度を結露させて取り除くことができ、湿度をコントロールする。なお、ここで本乾燥法をとくに燻煙ミスト法と呼んだのは以下の理由による。すなわち、従来の燻煙乾燥と類似の方法で木くずなどを燃焼して熱源とし、乾燥室内を燻煙で充満させるだけでなく、これに加えて2つの噴射パイプから構成され、一方から水滴、他方から空気が噴射されて、噴射口で水滴を霧状として乾燥室に散布するのを特徴とする機能を有しており、水滴の噴射口の流量と圧力、空気噴射口の流量と圧力をコントロール可能で、結果として3.0~7.0ミクロンの極めて小さい霧状の水滴を噴射することができる装置である。この特徴を強調する意味からあえて燻煙ミスト法とした。しかし、この呼び方にこだわっているものではなく、燻煙乾燥法の一つの方法として温度と湿度の両者をコントロールする方法について、特に霧状の水滴噴射によって湿度をコントロールする方法であることを示すために燻煙ミスト法の用語を使用する。

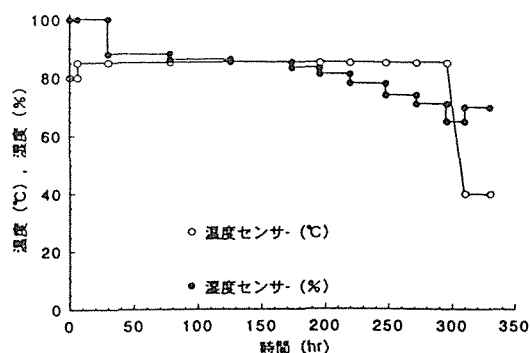
1.2 供試材料

スギの芯持ち柱材の場合、10.5×10.5cm角で長さ4mの柱材120本、10.5×10.5cm角で長さ3mの柱材128本、いずれも背割なしで、柱材の約1/2が黒心材である。ヒノキの芯持ち柱材の場合、10.5×10.5cm角で長さ4mの柱材77本、10.5×10.5cm角で長さ3mの柱材48本、いずれも背割なしの材料を用いた。

その他の材料の場合、スギの板材で10.5cm×1.5cm×4m形状のもの160枚、ヒノキの板材で10.5cm×1.5cm×3m形状のもの365枚、また、スギの12cm角材(長さ4m)90本、竹材20本の各種の形状寸法の材料を用い、これを一度に乾燥室内に入れて燻煙乾燥を施した。

1.3 乾燥条件

乾燥室の下部にもうけた燃焼室に着火して乾燥を実施した。乾燥は、久田らによって報告されている[蒸気式乾燥スケジュールの中温乾燥スケジュール(重い材グループ)]¹⁾を参考として温度80℃~85℃で、湿度を段階的に100%から70%に変化する条件(第3図参照)を目標に乾燥を行った。乾燥日数は総計14日間とした。



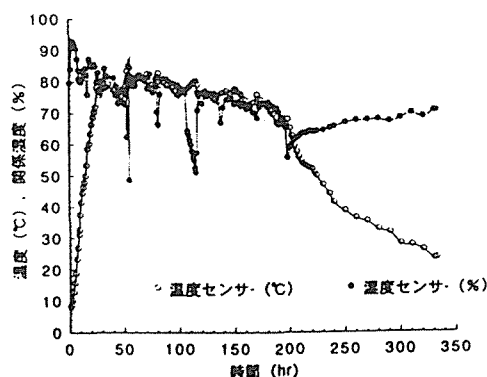
第3図 目標とした乾燥スケジュール(大分県「大分県産スギ乾燥材生産技術マニュアル報告書」)¹⁾

2. 柱材の第1回燻煙ミスト乾燥試験

2.1 乾燥装置及び乾燥条件について

本乾燥装置は、第3セクター土佐産商KKが、10年前に既存の燻煙乾燥装置を購入して実施した経過をふまえて、その性能を把握し、独自に改良を施した1号機であり、第1回目の乾燥の実施は壁体の断熱性や燃焼の様子、温度、湿度計の性能、ミスト噴射性能などのあらゆる面で未知の点があり、その乾燥操作は手探りの要素もなかり含まれていた。そのような装置条件のもとで、乾燥実験は昼夜14日間にわたって管理棟に泊まり込み実施された。結果として多少のトラブルは避けられない状態であった。

第1回の乾燥実験による温度ならびに湿度の変化の様子を第4図に示す。温・湿度の14日間による変化の



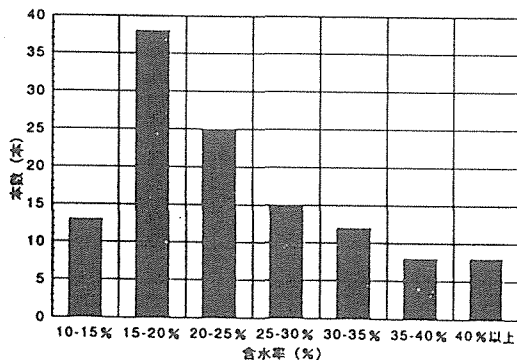
第4図 燻煙乾燥時の温度、湿度スケジュール

様子は、我々の目標スケジュールと現場において修正を施しながら実施した結果にほぼ対応したものである。図において湿度が2度にわたって急激に低下した期間を示しているが、これはミスト噴射装置の一部にトラブルを生じて湿度センサーの指示にミスト噴射が対応できなかったためである。図によると、ミスト噴射装置の修理後には湿度を目標湿度に復帰できたことを示している。このことは、トラブルの結果として新たにミスト噴射の効果が確認できたことを示すものとなり、従来の湿度コントロールができなかった燻煙乾燥装置とは明らかに異なるといえる。

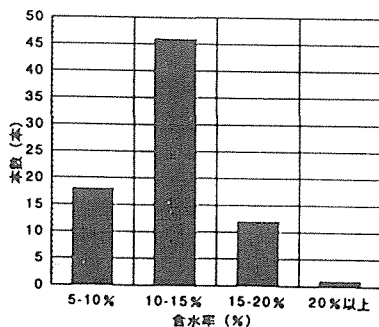
2.2 乾燥後の材の含水率

第5図～第7図に14日間の乾燥処理を施した材の含水率計（デルタ5）により測定した含水率の様子を示す。図はいずれも含水率区分による当該含水率範囲にある材の本数（頻度分布図）を示している。含水率は1試験体当たり3ヶ所測定を行ったときの平均値を用いた。また、第5図は大部分がスギの赤心材で、第7図は乾燥初期に含水率が100%以上のものを含む黒心材であった。

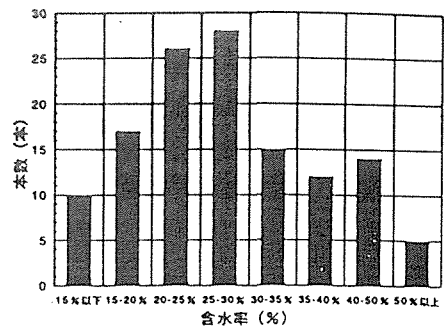
第5図によるとスギ乾燥材の含水率は、含水率25%以下のものが76本で、それ以上のものが43本であった。



第5図 燻煙乾燥したスギ材の乾燥後の含水率（デルタ5 含水率計による）スギ材（400×10.5×10.5cm 材）



第6図 燻煙乾燥によるヒノキ材の乾燥後の含水率 ヒノキ（400×10.5×10.5cm 材）



第7図 スギの黒心材の乾燥後の含水率 スギ材（300×10.5×10.5cm 材）

結果として全体の約60%が、含水率25%以下にできた。また第6図のヒノキ材は大半のものを含水率10～15%とできた。スギの黒心材の場合には、必ずしも目標含水率までの乾燥はできていないが、それでも含水率20～30%の範囲に多数の試験体が含まれていて、かなり合理的に乾燥できたと考えている。

2.3 乾燥後の材の損傷の程度

スギ材、ヒノキ材のいずれの樹種も芯持ちで、背割りなしの材の条件であるが、乾燥割れなどの発生が少なく乾燥できた。損傷の発生を定量的に評価していないため、それを示すことができないが、乾燥結果は納得のいくものと判断している。決して割れが皆無であったわけではなく、全体の1割程度には割れが認められた。乾燥前に一部木口割れを示していたものを除くと、割れの発生は概して小さくできた。

興味深い結果としてスギ、ヒノキの板材を柱材と同じにして乾燥した。この板材の乾燥は含水率10～15%になっていた。そりや狂いが殆ど発生していないことを認めた。また、第1回目の乾燥では、竹を含む種々の形状、寸法のスギ、ヒノキ材の乾燥を行ったが、一部を除き全体の材を繊維飽和点以下に乾燥できた。基本的には、同一樹種、形状のものについて、重量選別などの方法も取り入れ、乾燥を実施すれば、乾燥時間の短縮、含水率の比較的等しいものの生産が可能になると考えられる。

3. おわりに

燻煙ミスト法による木材乾燥は、一度に100㎡にもおよぶ大量の乾燥が可能である。現在立方メートル当たりの単価が計算されつつある。設備費が自前であることなどによって、その価格はかなり低いと予測されている。加えて、温度・湿度を自動化し、第1回目の乾燥結果を踏まえてコンプレッサーの容量の改善なども行われた。第1回の乾燥結果は、より合理的なスケ

ジュールを構築すれば乾燥期間を7日間程度に短縮できそうである。

今後、さらに詳細なデータを得て、より合理的なスケジュールを決定していくつもりである。

また、乾燥材はかなり良好な撥水性を示している。また、竹材は割れなしに均一に茶褐色に着色して特徴を有する乾燥竹材料に変化する。燻煙乾燥木材の副次的な効果についてもなお十分な知見が示されているわけではない。木酢液中に含まれる成分は酸類、アルコール類、中性物質類、アルデヒド類、フェノール類、塩基性物質など極めて多くの種類が含まれている²⁾。そのために、効果の発現機構、効果を示す含有物質の特定などは極めて困難と予測される。しかし、実用的な性能試験の実施はある程度の判断基準を与えるはずである。燻煙乾燥材とそうでない材の性能の相違を明確にする必要がある。

従来より燻煙乾燥に関しては科学的データがあまり公表されていない。今回、具体的に燻煙乾燥を実施してみると、乾燥法の一つとして再考してみる価値はありそうである。

その理由は以下の考え方による。すなわち、乾燥コストを低下させるためには乾燥時間を極端に短くして生産性を上げる考え方と、一度に多量の乾燥を行って単価を低減する方法のいずれかであろう。用いた燻煙ミスト乾燥装置は一度に約100m³の乾燥が可能な装置

である。加えて蒸気乾燥の際と異なる副次効果が期待できそうである。結果として、単位m³あたり乾燥費もかなり安くできそうである。

高知県土佐町に付設された燻煙乾燥装置をより現実的なものとするためには、さらに乾燥中の温度・湿度経過、乾燥室内の温度分布、湿度分布、材の含水率経過、水分分布、材内部の乾燥応力の推移、損傷の発生程度、等々のデータの収集をはかる必要がある。

高知県立森林技術センター、高知大学農学部などの協力、指導、連携も得られることになっているので、正確なデータの収集をはかっていく予定である。

なお、最近では、バイオマスエネルギーの有効利用が叫ばれている。山間地域での製材工場から排出される木くずなどをエネルギー源として有効に利用する手段を考え、それを生かした木材の乾燥技術の確立をはかることは意義のあることといえよう。

文 献

- 1) 久田卓興, 信田聡, 小玉牧夫: 大分県「大分県産スギ乾燥材生産技術マニュアル」報告書, 40-42 (1997)
- 2) 岸本定吉監修: 炭・木酢液の利用辞典, 創森社 248-253 (1997)

(1999. 7. 8 受理)

8 高周波・熱気複合乾燥

8.1 高周波・熱気複合乾燥法と装置

秋田県立農業短期大学 木材高度加工研究所 小林 好紀

1. スギ材乾燥の3つの考え方

筆者らは、これまで次の3つの点からスギ製材の乾燥技術の開発を試みてきた。

- ① 水中貯木による水分透過性の改善
- ② 材の表層を機械的に圧縮し、表層を硬化することによって、厳しい乾燥条件にも耐えられる材質への改善
- ③ スギ材が難乾燥材とされる理由—材の中心部の含水率が高く抜けにくい—を考慮した独自の乾燥方法と装置の開発

ここでは、この③の試みを紹介することとする。これは、木材を常圧下で高周波加熱しながら同時に熱気乾燥する「高周波・熱気複合乾燥法」である。これまでに、理論構築とそれに基づいた実用機の開発が終わり、現在実証機が大阪市で稼働中である。以下この乾燥方法の考え方と試験結果を概説する。

2. 開発の考え方と装置

開発のねらいは、乾燥コストの低減を、乾燥スピードの大幅アップによって実現しようとするものである。ただし、その際使用する技術や装置は

特殊なものではなくごく一般的で、かつ材質を劣化させないことをコンセプトとした。

装置の構造を模式的に図1に示す。基本的には、熱気乾燥装置（蒸気式乾燥機）に高周波発振器を付加した構造であるが、発振機容量を最小に保つため電極切り換えにより各ロケットを順次101℃まで印加加熱する等種々のコスト対策を行っている。

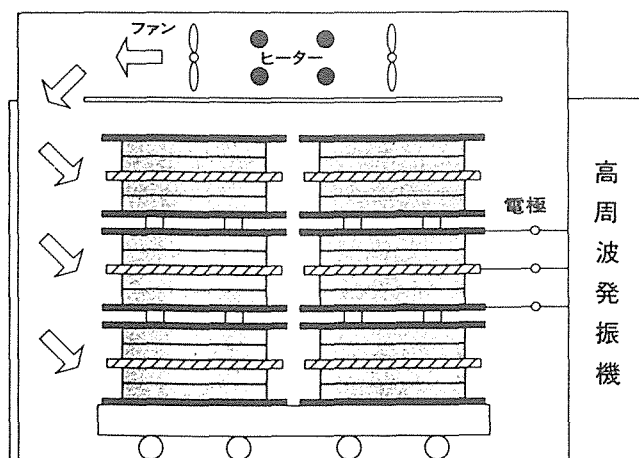
原理的には、高周波加熱による内部水分の表面への押し出しと熱気乾燥による表面からの水分蒸散とが同時に行われるため、乾燥時間は相乗効果によって大幅短縮が期待できる。

3. 試験結果

図2は、この装置による乾燥過程における材内の水分分布の推移を示したものである。高周波加熱の特徴がよく現れていて、内部の乾燥が表層に遅れることなく進み、良好な仕上がり状態になっている。

また、乾燥時間は、初期含水率100%の12cm正角材で、約24時間程度で15%まで乾燥できるというデータも得られている。

(☆紙面の都合により本文一部割愛いたしました)



乾燥機側面の断面図

図1 乾燥機の構造模式図(22m)

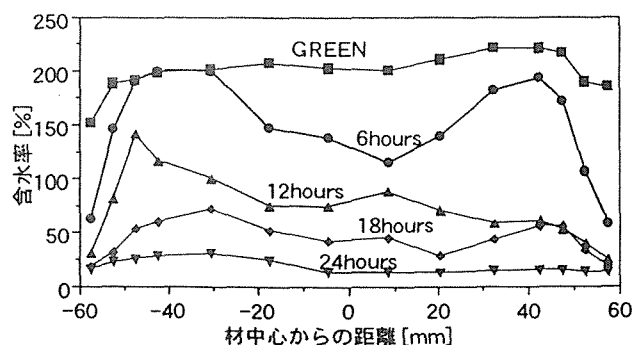


図2 乾燥過程の水分分布の推移

8.2 高周波加熱処理を利用したスギ製材品の乾燥 (乾燥時間の短縮を目的として)

(奈良林試) ○久保 健、小野広治、寺西 康浩

【はじめに】スギ心持ち柱材の乾燥時間の短縮と材面割れの軽減を目的として、相対湿度を高く維持しながら従来の熱気乾燥機内で高周波加熱を実施する高周波併用乾燥を試み、熱気乾燥と比較した。

【実験方法】

1. 高周波併用乾燥：製材工場から購入したスギ心持ち柱材（12cm角、材長1.9m、背割り材、片木口をエポキシ系樹脂によりコーティング）を乾燥機内にさん積みし、72時間実施した。乾燥条件は材温（80、95℃）、相対湿度（平均80%）、さん木厚5mmとした。高周波加熱中の材温は、シールした木口部（4カ所）において測定し、高周波の出力は最も高い材が設定温度を維持するように制御した。また8時間ごとに、重量、断面寸法、材長方向4点の材内温度を測定した。加熱装置は富士電波工機製のFDY-620型（13.56MHz、6kW）、乾燥機は大日エンジニアリング製（収容材積1.5m³）、材温の計測には高岳製作所製の光ファイバ温度計（FT-1110）を使用した。
2. 熱気乾燥：同一の材料から採取した供試材（材長0.9m、両木口をコーティング）をスギ正角材の熱気乾燥の標準的なスケジュール（初期：DBT50℃、WBT47℃）*1により360時間乾燥し、乾燥中の重量、断面寸法の経過を測定した。*1：木材活用辞典(p191、産業調査会)

【結果と考察】図1に高周波併用乾燥の含水率経過を熱気乾燥の経過とともに示す。高周波併用乾燥により処理された材は初期含水率76%の材が72時間で21%まで低下した。乾燥時間は熱気乾燥のそれに比べ大幅に短縮され、上がり時のばらつきも小さい。図2は水分分布の経過の1例であるが、乾燥後の水分傾斜は小さく、材内部まで十分乾燥されていたことがわかる。図3に背割りの対面の寸法変化を収縮率として示す。高周波併用乾燥では、72時間で概ね3%以上の収縮を示した。乾燥後の寸法変化については測定を継続中である。乾燥後は、短い木口割れが認められただけで、材面割れはほとんど発生していなかった。一部材温が上昇した材に内部割れが発生していた。

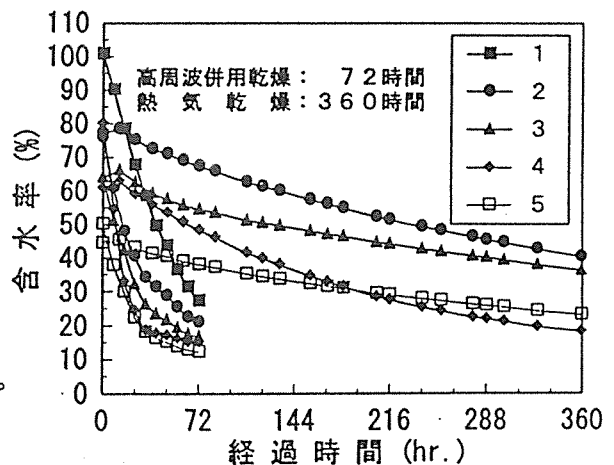


図1 含水率の経過

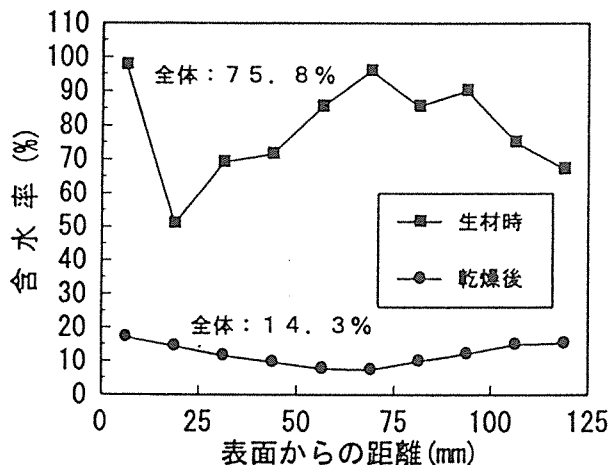


図2 水分分布の変化の一例

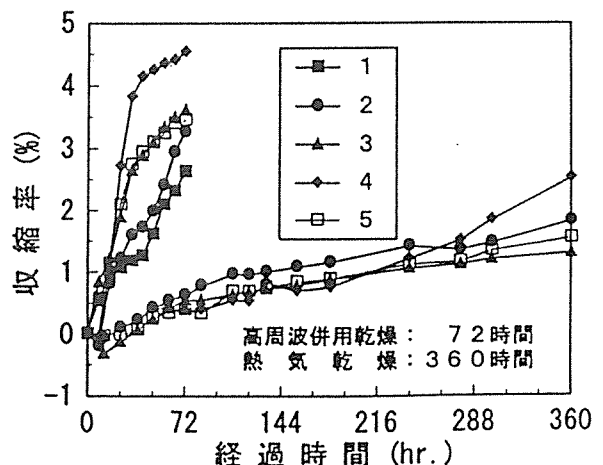


図3 収縮率の経過

(図1、3とも、1：高周波併用乾燥(95℃)のみ、2～5：高周波併用乾燥(95℃)および熱気乾燥)

8.3 スギ正角材の高周波による内部加熱乾燥

(秋田木研) ○小林好紀、三浦 泉、目黒 忠

【はじめに】スギがもともと難乾燥材とされる理由は、内部水分が除去しにくく、乾燥時間とコストがかさむからである。一方、乾燥法や装置の点で考えれば、表層と内部との間の蒸気圧差が小さい従来の外部加熱による乾燥法では、内部水分を自由水状態で表面まで効率的に引き出せず、この問題から脱却できない。この点を解決する一方法として、高周波による内部加熱と熱気乾燥とをシステム化した内部加熱乾燥法を試み、スギ正角材の内部水分平準化と乾燥時間の短縮について検討した。

この方法は、内部加熱により材中心部の蒸気圧を表層よりも高くし、これを駆動力にして内部自由水を表層まで押し出したうえで、その水分を熱気乾燥により除去するものである。

【実験】供試材：高含水率のスギ正角材（長さ 3.65 m、12cm 角、心持ち無背割り材）から、L 方向に連続した長さ 50cm の試料を 6 個採取した。各試料間より幅 3cm の含水率試片を取り、両端の平均値を各試料の生材含水率とした。

乾燥方法：試料中央に埋め込んだ高岳製作所製の光ファイバー温度計（FT-1110）で中心部温度を 100℃ に制御しながら、高周波加熱した。同時に乾球温度 80℃、乾湿球温度差 4~8℃ で熱気乾燥した。栈木厚さは 9mm とし、2 段毎にアルミ電極板を入れた。同一製材から採取した 6 試料を木口面を合わせて一列に並べ、3 時間毎に中央より 1 本ずつ取り出しながら、乾燥経過と水分傾斜を求めた。

【結果と考察】約 18kw の高周波印加により、約 3 時間で中心部温度が 100℃ に達するのに追従して、内部含水率が急速に低下した。そのために、表層付近の含水率が中心部より高くなった（図 1）。極く表層の含水率は 6~12 時間で熱気乾燥条件に平衡するが、表層付近の高含水率部分の乾燥が進み、材全体はほぼ直線的に乾燥した（図 2）。これは、高周波加熱によって表層付近まで押し出された水分が、熱気乾燥によって効率よく除去されていることを意味する。この結果、12~24 時間の内部加熱乾燥で水分が平準化した仕上げが得られた（図 1）。

このように中心付近の含水率低下が先行し、表層がそれに追従しながら、全体の含水率が急速に低下する現象は、高周波加熱と熱気乾燥との両者の特長が効果的に現れたもので、内部加熱乾燥法が水分透過性の悪い、大断面材の乾燥法として適していることを示すものである。しかし、スギ材が特徴的に持つ水分状態や乾燥性のばらつきに如何に対処して、均一な仕上がりを得るかが今後の問題である。

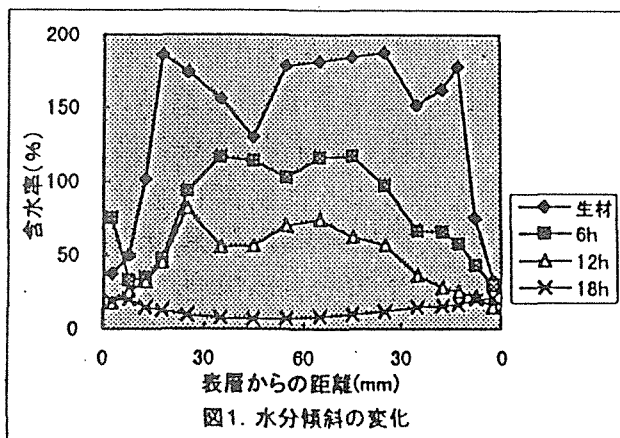


図1. 水分傾斜の変化

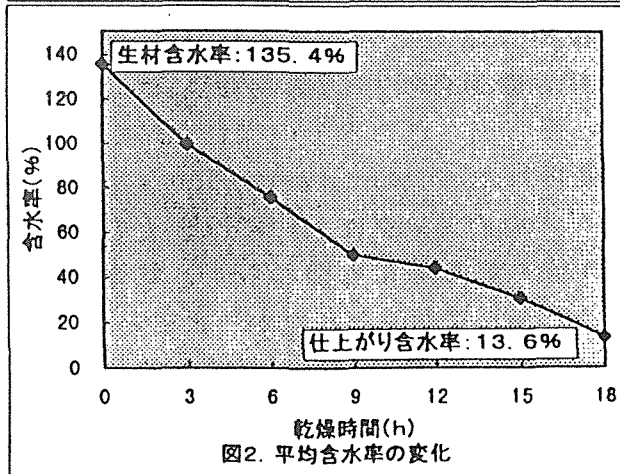


図2. 平均含水率の変化

8.4 高周波・蒸気複合乾燥法の開発

(高周波印加条件の模索とインピーダンス整合の有無による乾燥経費の違い)

(奈良林試)○小野広治、寺西康浩、岡崎 旦
(山本ビニター)山本康二、上田 守

【はじめに】柱断面以上のスギ材について有効な乾燥法を早急に確立することが求められているなか、筆者らは熱気乾燥に高周波誘電加熱を併用した乾燥法の開発・実用化に取り組んでいる。これまでの検討から、本乾燥法は、一般的な蒸気乾燥に比べ乾燥時間および仕上がり品質について優れていることが明らかとなった¹⁾。また、電極間のキャパシタンス変化に応じて随時インピーダンス整合できるよう高周波回路を改良すると発振器に投入する電力量をある程度削減できることもわかった²⁾。しかし、乾燥経費に問題があったため、この低減方法を確立すべく高周波・蒸気複合乾燥法の開発(I)(II)に示す検討を行った。ここでは、上記2報で実施した実大乾燥試験の乾燥経費を求め、乾燥経費からみた各条件間の相違を検討した。

【実験方法】スギ正角材1~2ロット(115×115×3035mm、1ロット56~64本)を電極間にさん積みし、96~120時間の乾燥試験を5回実施した。96~120時間の乾燥工程中、高周波の印加は1ロット当たり10~15時間とし、他は蒸気単独で運転した。第1回目の試験(下表BASE)を基準とし、乾燥時間、投入電力量、さん積み方法および共振回路の整合状態を以下のとおり変化させ、乾燥経費をそれぞれ求めて比較した。

- ①蒸気単独での時間を増加したとき。
- ②単位材積当たり投入する電力量を1.5倍にしたとき。
- ③初期重量から、重量材ロット、軽量材ロットに選別し、これらに投入する電力量を傾斜分配したとき。
- ④インピーダンス整合の有無

【結果】結果一例を次表に示す。

試験条件	BASE	上記①	上記②	上記③
試験材本数	64本×1ロット	64本×1ロット	64本×1ロット	重量材56本×1ロット 軽量材56本×1ロット
乾燥時間	96hr	120hr	120hr	96hr
初期重量	1373kg	1452kg	1547kg	2363kg
脱水量	327kg	388kg	492kg	599kg
仕上D20出現割合 (含水率計測定)	84%	87%	92%	95%
高周波消費電力量	411.5kWh	438.6kWh	616.3kWh	512.7kWh 294.3kWh
高周波消費電気料 /材積 (1kWh 16円)	2,563円/m ³	2,732円/m ³	3,839円/m ³	重ロット 3,649円/m ³ 軽ロット 2,095円/m ³ 全体 2,872円/m ³

1) 寺西康浩ほか：高周波加熱併用乾燥法の実用化試験(第1報). 奈良県林試研報.28,29-33(1998)

2) 寺西康浩ほか：高周波加熱併用乾燥法の実用化試験(第2報). 奈良県林試研報.28,34-40(1998)

8.5 高周波・熱気複合乾燥法の開発

山本ビニター株式会社

1. 技術開発の目的

1-1 目的

スギ柱材等難乾燥材の乾燥で高性能な木材乾燥機を開発し、新しい住宅性能保証制度の発足に対処する目的で実施した。

開発の必要性については、最近の調査において木材乾燥機ユーザーの現状に対する不満の内容で、第1位は乾燥に時間が掛かり過ぎること、第2位が材心まで乾かないことであり、これらでほぼ半数以上を占めていた。このため現状の製材は殆どが未乾の状態出荷されているのが実態である。

来年度に施行される住宅性能保証制度に対応するためには実質的に D15 レベルの乾燥が要求されてくると考えられるため、技術的にも経済的にもそれに対応出来る木材乾燥機の開発が急務である。

1-2 開発の主な課題

平成10年3月末時点で、高周波の常圧印加の安全性が確認され、発振器容量の最小化に成功した。しかし、蒸気乾燥機と複合させるために必要な必要な棧積み状態での印加効率確保と乾燥バラツキの解消策及び経済性のある乾燥スケジュールの確立が残された大きな課題であった。一方、設備面では、作業性の改善、制御システムの確立、全体のデザイン等実用化にとって重要な課題が残されていた。これらの課題は全てがお互いに関連し合う内容であるため、各テーマ毎の分析的な実証試験を必要としていた。

2. 技術開発の方法等

2-1 開発研究の実施項目

(1) 実用規模の実証試験機(容量約7m³)を設計製作し実験に供する。

(2) 実証試験機による乾燥試験

- パラメーター：
- ①機内温湿度条件と高周波印加温度、印加時間
 - ②初期含水率(初期重量)と仕上り含水率(乾燥重量)
 - ③断面形状、初期状態と印加条件(出力・時間)
 - ④単位時間・単位出力当り脱水量等各原単位

(3) 経済性の確立と設計仕様の再検討

(4) 棧積み状態での高周波印加を可能にする。

(5) 高周波の新制御方式を開発する。

- (6) 高周波発振器の容量をミニマム化する。
- (7) 蒸気併用の新乾燥スケジュールを確立する。

2-2 開発の目標

スギ柱材(115×115×3,000)を対象にして以下を目標とする。

乾燥性能	：	乾燥温度	80～85℃
		乾燥時間	3～4日(初期重量により最大5日)
		水分傾斜	15%±7% (歩留 95%)
		エネルギー費	3,700円/m ³ (蒸気乾燥の品質レベルで)

2-3 実証プラント

実証規模の試験乾燥機により性能の実証をする必要から表1-1の仕様による実証プラントを設計製作した。(写真1)

2-4 乾燥実証試験

予備試験5回、本試験6回の合計11回の試験を実施した。(表1-2及び資料の3)

3. 成果

本技術開発の成果によって、JAS規格D15(含水率15%)乾燥品質を安定的に確保できるようになった。

この結果、現在乾燥が困難で集成材(ほぼ外材)に圧され、需要が下降一方の国産材で特にスギ構造材の需要回復に著しく寄与することが予測され、本乾燥機の普及により、5年後少なくとも年間約130億円のKD材市場強化が期待される。

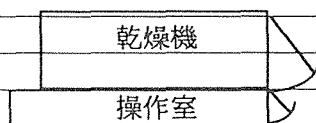
設備普及	$30\text{m}^3 \times 20 \text{基} \times 5 \text{年} = 3,000\text{m}^3$
生産量	$3,000\text{m}^3 \times 6 \text{回転/月} \times 12 \text{ヶ月} = 216,000\text{m}^3/\text{年}$
金額	$216,000\text{m}^3/\text{年} \times 60,000 \text{円}/\text{m}^3 = 12,960,000,000 \text{円}$

3-1 開発の数値目標と開発成果

開発目標に対する達成度は表2-1に示すとおり、乾燥時間96hrでD15レベルの乾燥を可能とした。

表1-1 木材試験乾燥機仕様概要

項 目		仕 様
型 式		本体完成後搬入型（基礎は形鋼等で代用、工場路上設置）
外壁断熱仕様		外側：鋼板 内面：SUS 熱貫流率 0.6以下(壁厚50mm t 以上)
構造形式		メーカー仕様（ただし天井扇型）
常用温度	℃	85℃ (MAX 100℃) 中温型
材搬入方式		台車搬入式（機外レールは可搬移動可能とする）
主扉形式		メーカー仕様
小扉寸法	mm	W-600 H-1000
乾燥機容量	m ³	7
機内寸法	mm	長さ4,500
	mm	巾 2,400
	mm	高さ3,300(天井下) 全高4,300以下
棧積寸法	mm	長さ4,200
	mm	巾 1,200
	mm	高さ1,160×2
機内容積	m ³	35.64
ネット容量	m ³	11.69
ベース	材寸法 mm	115×115×4,200
	栈木厚 mm	20
	充填率 %	33
循環ファン	型 式	メーカー仕様
ファン数	台	0.75KW×3（又は1.5KW×2）
風 量	m ³ /hr	
加熱装置		
ボイラー	型 式	三浦 NR-100相当
容 量	kg/hr	100
(平均)	kg/hr	60
蒸気圧	kg/cm ²	3
熱 量	kcal/hr	53,900
ドレン回収		メーカー仕様
加湿装置		
方 式		スプレー管
蒸気圧	kg/cm ²	3
制御方式		全自動プログラム方式（インバーター組込） 安全対策として120℃以上で蒸気噴射指示組込み
操作室		乾燥機側面組付け（発振器、ボイラー、操作盤等配置）
寸 法	巾×奥行×高さ	1,800×5,300×3,300（高さは変更可）
主 扉	巾×高さ	
小 扉	巾×高さ	
窓	巾×高さ	
換気扇	V×W×台	
排水管		機内排水は排水管にて機外排水溝まで配管
その他		給電口、給電板取付け位置、絶縁仕様は別途指示
機体外装色		ビニター指定色



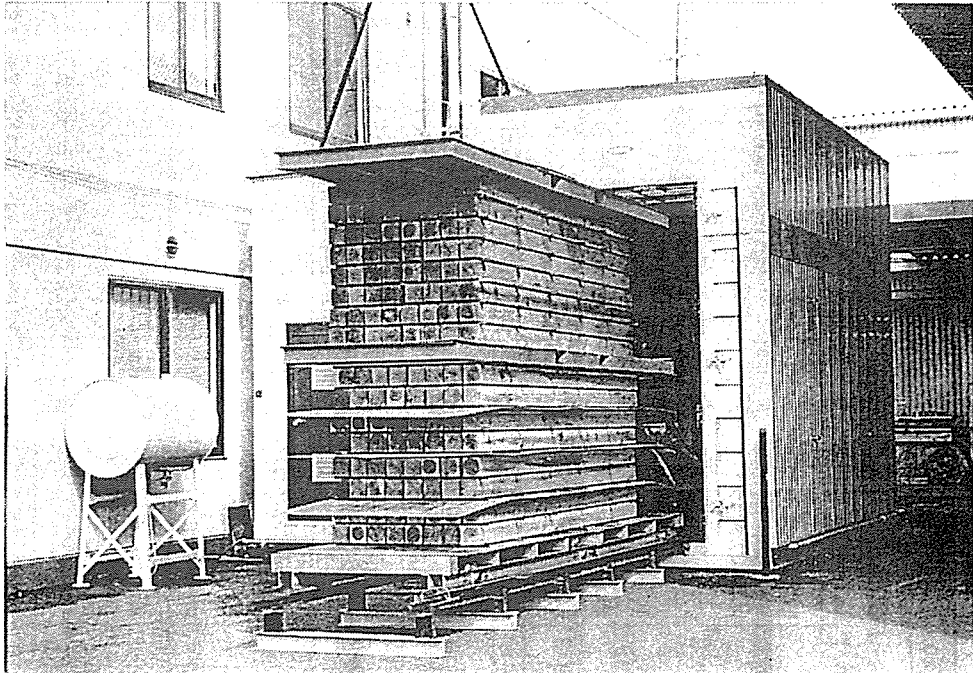
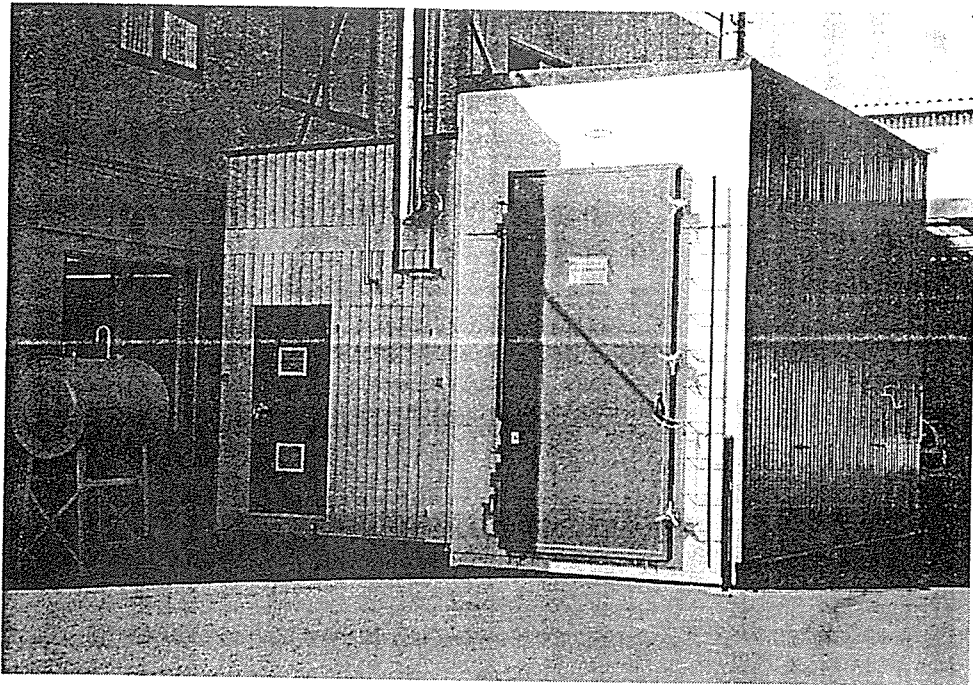


写真 1. 高周波・蒸気複合乾燥の実証試験機概観

表 2-1 開発目標と開発成果

項目	開発目標	開発成果
乾燥温度	80~85℃	85℃
乾燥時間	3~5 日(初期重量による)	4 日(96hr)
乾燥基準	JAS D15 レベル	D15 保証
水分傾斜	15%±7%	D15±4
乾燥コスト	5,000 円/m ³ (D15 基準)	6,000 円/m ³
	参考 (D20 基準)	5,000 円/m ³
	参考 (D25 基準)	3,000 円/m ³

3-2 成果の内容

(1) 高周波を従来の蒸気式乾燥機に適合させるハード的な開発成果として、

① 栈積み乾燥を可能にする高周波同調制御システムの開発

本乾燥機での木材の乾燥過程を実験データに基づき数学モデルでシミュレーション解析し、その変化に対応するリアクタンス、キャパシタンス可変回路を新たに組み込んだ。

② ローテーション印加のための高周波切替機構の改造・整備

切替時の安全対策としてメカニカル部分の補強と接触不良防止のための電極板接続金具の改良、アース部分の自動チャッキング金具の考案等。

③ 最適な同調状態を持続する手段として、入射波・反射波の検出による管理手法を確立

同調機構のチェック機能の必要性から新たに考案した管理手法で、検出用として適用できるメーターを別途作成した。

(2) スギ柱材を対象にしたソフト開発成果として、

① 96hr 乾燥の乾燥スケジュールを確立

実験計画的な乾燥条件マトリックスに従って高精度の乾燥試験を繰り返し、96hr 乾燥を実証した。

② JAS D15 レベルの乾燥を歩留 100%で技術的に実証

スギ材の初期重量(比重)のバラツキに着目して、大まかな重量別グループに試験材を選別、乾燥時に高周波の重量別傾斜印加を試みた。同一乾燥機内で印加条件を個別制御できる特長を最大限活用した成果。

③ 高周波印加制御のタイムスケジュールを確立

初期印加、中期印加、終期印加等の印加時期の影響について実験検証し、

乾燥バラツキの抑制に最も効果的である印加時期を見出し、印加開始から終了までの印加時間振り分けをシミュレーション解析により設定した。

- ④ 印加出力として、安全性・経済性を確保した初期重量当りの出力指標を解し自動制御化

実験結果の統計的処理により、初期重量、含水率、脱水必要量と高周波出力、電力消費、水 1kg 脱水に必要な電力量、初期重量当り相当印加出力等を割り出し標準モデルケースを作成、制御計にインプット。

等種々の操業ノウハウを蓄積した。

4. まとめ

本開発による高周波・蒸気複合乾燥機は、従来の伝統的な蒸気乾燥の利点を活かしながら、その欠点を高周波でカバーする理想的な組合せを実現したものである。

開発に当って我々が留意したことは、乾燥品質に最重点を置いて、従来の高周波乾燥は「性能は良いがコストが高い」と言う常識を払拭するために納得のいく理論構築であり、その結果多くの実証データと独自の操業ノウハウの蓄積に基づいた、実用機として優れた経済性を確立することができた。

山本ビニター株式会社
代表取締役社長 山本 康二

3. 高周波複合乾燥機の性能

[1] 試験データの条件

ここに掲載の各種試験データは以下の条件に基づいています。

(1) 供試材

本試験に供した試験材は試験毎のバラツキを極力抑えるため産地・製材所指定の上、製材後すみやかに供試したものです。

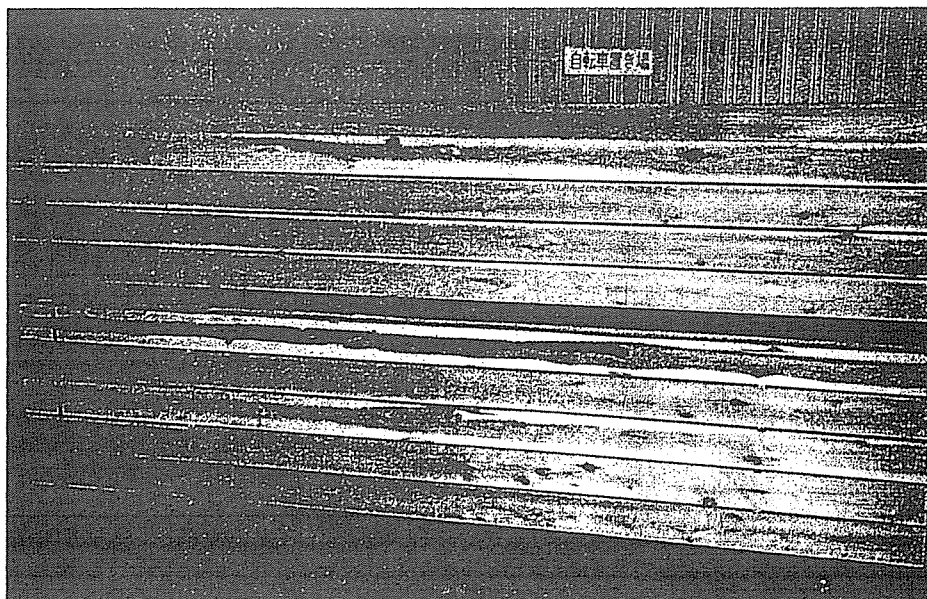
材 種	スギ心持ち材
産 地	奈良県吉野産
寸 法	115×115×3,000 (mm)
特 徴	年輪幅の詰んだ比較的比重の重い材

(2) 含水率の計測

より厳しい評価を行うため、含水率は主に全乾法を用い、含水率計の値は参考程度としました。

全乾法による含水率の算定は、水分傾斜測定時の断面25等分試片から求めた比重によって算出した各全乾重量を基に算定しました。

(3) 供試材の外観

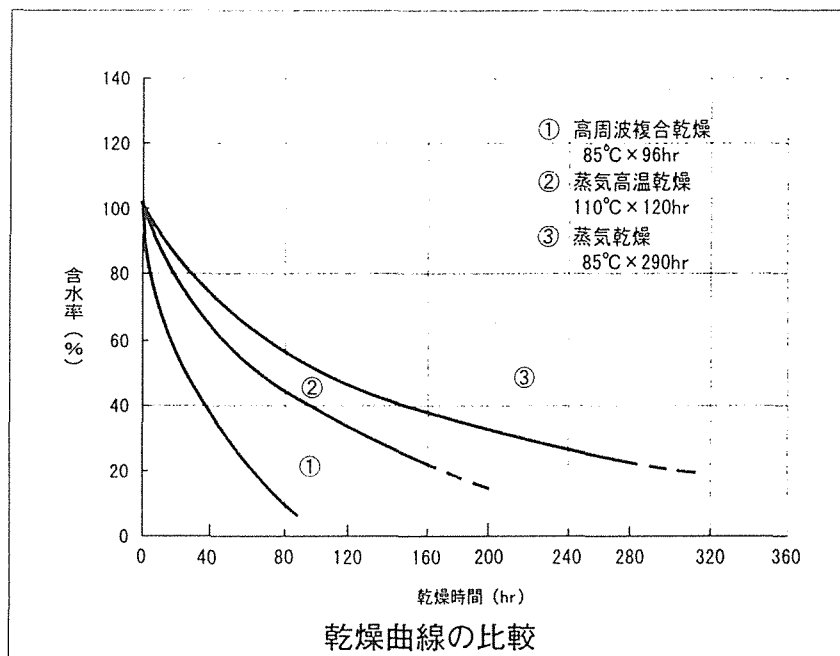


〔2〕高周波印加の効果

高周波を効果的に印加することで内部水分の流動を促進し、乾燥日数の大幅短縮が図れます。

(1) 乾燥曲線で見える効果

JAS基準D15相当の乾燥レベルを満足する乾燥曲線を蒸気乾燥と比較すると下図に示す通りです。



(2) 乾燥後重量と含水率でみる効果 (次頁図参照)

次頁の図は乾燥条件が85°C×96時間乾燥のデータ例です。

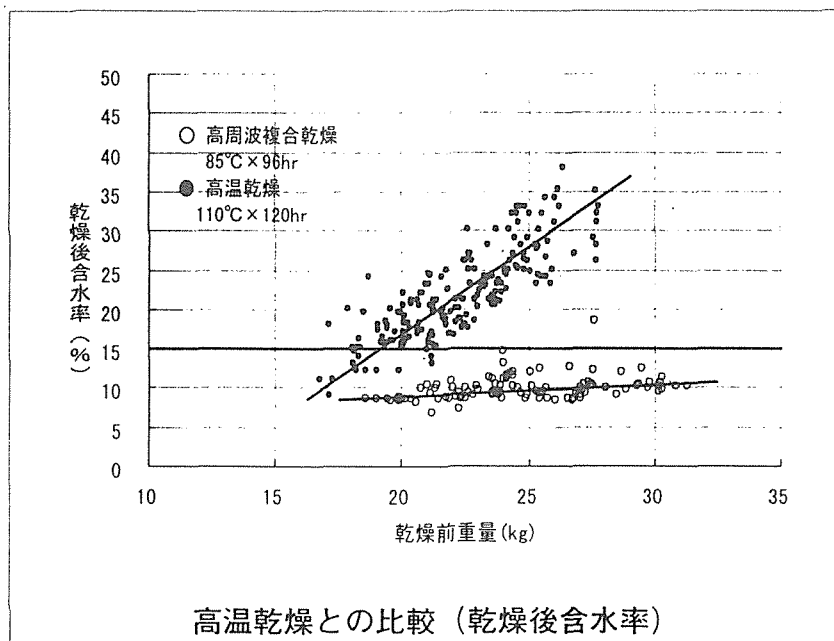
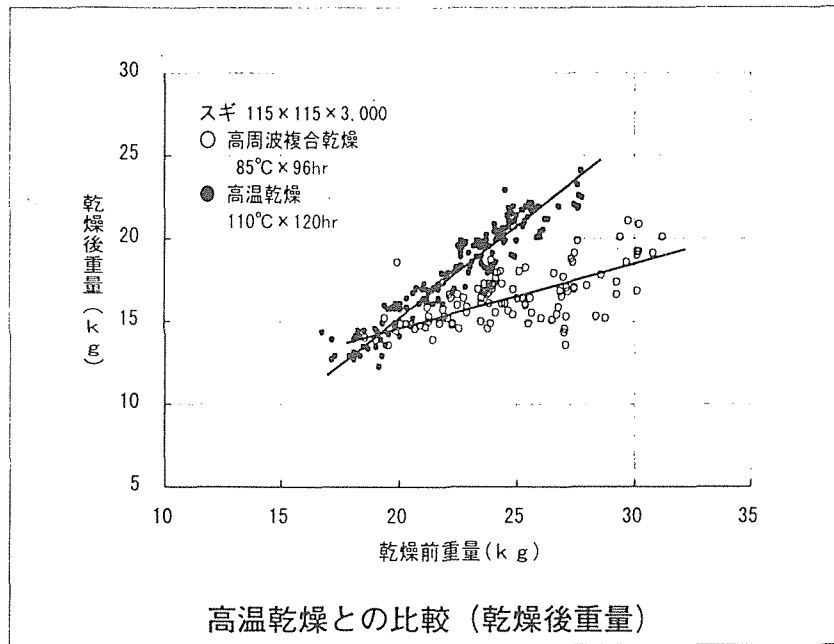
それぞれ乾燥後の重量と含水率を乾燥前重量(横軸)で整理して示したものです。ノウハウを活かしたハイテク制御で乾燥前重量が重い材も良く水分が抜けている状況が確認されます。

(3) 高温乾燥結果との比較 (次頁図参照)

参考までに高温乾燥例との比較でみた図も示しましたが、重い材での水分の落ち方が全く異なる様子が確認されます。

このように高周波複合乾燥は、軽い材は適度に、重い材は集中的に水分を落とす制御方法が可能であるからです。

高温乾燥との比較



9 高周波加熱・減圧乾燥

9.1 高周波加熱式減圧乾燥(1)(2)(3)

森林総合研究所乾燥研究室室長 久田卓興

木材乾燥に限らず乾燥と言えば、乾いた空気をあてて水分をとばすいわゆる熱風乾燥が最もポピュラーです。熱風乾燥では水分の蒸発に必要な熱が熱風から与えられますが、急速乾燥するにはこの熱の伝達を速く行う必要があります。

これに対し、高周波電界中に木材を置いて、自己発熱によって加熱する方法があります。高周波加熱と呼ばれる方法で、加熱速度が速くしかも木材内部も加熱できる特徴があります。電子レンジでなじみの深いマイクロ波加熱も原理的には似ていますが、電子レンジが2,450MHzの高い周波数を用いるのに対して、高周波乾燥では6.7または13.56MHzが用いられます。

急速乾燥のもう一つの方法として減圧乾燥があります。圧力を低くして水の沸点温度を下げ、水の蒸発を盛んにすると共に蒸発した水蒸気を木材中から外へ急速に引き出す効果があります。なお当施設協会では、減圧乾燥機のうち圧力を100トール以下にする装置を真空式と呼ぶことにしています。

本題の高周波加熱式減圧乾燥（以下、高周波減圧乾燥と略す）は、この高周波乾燥と減圧乾燥の二つを併せたもので、両者の特徴を備えた非常に急速な乾燥が可能な方法です。減圧乾燥の考え方はすでに1904年にあったようで、高周波乾燥は1930年代の後半と思われます。1940年には特殊乾燥法として減圧と高周波を同時に取り上げた報告がありますが、1950年頃には日本でもこうした研究が盛んに行われるようになりました。

高周波と減圧を一緒にした高周波減圧乾燥は1962年にアメリカで発表されています。この装置が商業的に使われ出したのは1976年頃ですが、日本で富士電波工機(株)と安島製罐(株)が最初の機械を納入したのもほぼ同じ時期で、この装置の

スタートは世界的に見てもかなり早い方です。その後の高周波減圧乾燥機の発達は諸外国ではそれほどではありませんでしたが、日本では着々と進み現在では150台以上の装置が稼動しています。

これは世界一と言えそうです。この背景には圧力や温度制御技術の向上、高周波同調回路の自動化といった機械設備の発展が大きく寄与しているように思われます。

高周波減圧乾燥の最大の特徴は乾燥速度の速いことですが、もう一つは一般の方法では乾燥が困難な材を損傷少なく乾燥できることです。しかし、問題点は乾燥装置の価格が高いことと、電気代が高くつくことです。このため、適用材種は価格の高い家具用材や運動用具材、厚材や大径の柱材などに限られていました。

こうした木材の乾燥とは別に、日本で高周波減圧乾燥が盛んになったもう一つの大きな原因は、これがツキ板単板の乾燥に使われたことだと思われれます。日本では化粧合板を作るのに非常に薄いツキ板が使われるため、バンドルのまま乾燥できるこの方法は作業能率が良く、しかも取り扱いによる不良の発生が少ないことから、乾燥コストを十分カバーできる方法としてすっかり定着してしまいました。

最近、カナダで日本向けのベイスギなどの乾燥を目標にした大型の装置が開発され、日本でも同様の大型装置がベイマツの乾燥に使われています。

また、森林総合研究所ではこの装置をスギの心持ち柱材の乾燥に用いる方法を研究し、具体的な処理方法の提案を行っています。

このように、高周波減圧乾燥は従来の特殊材の乾燥から、一般材の乾燥へと進出する動きが見られ、新しい乾燥法として注目されています。

高周波加熱式減圧乾燥

(2)厚材および難乾燥材の乾燥

森林総合研究所木材利用部 久田卓興

高周波減圧乾燥は、蒸気式や除湿式など一般の乾燥方法では著しく長い時間を要する厚材や、乾燥割れ、落ち込みなどの発生によって良質の乾燥材を得ることが困難な木材の乾燥に適しています。

この乾燥法の特徴は、高周波によって木材を内部まで均一に加熱すること、減圧によって水の沸点温度を下げ低温で沸騰に近い水分蒸発を起こさせること、材内外の水蒸気圧差を大きくして水分移動を急速にさせることで、そのため損傷の発生を抑えながら、急速乾燥することができます。

乾燥機内の圧力としては通常40~70Torr(mmHg)が用いられ、このときの水の沸点は34~45℃になります。圧力は乾燥温度との関係で決められ、低温で乾燥したいときは低く、また高温で乾燥できそうならば高くします。高周波を印加する際には、2~3分のインターバルでON、OFFを繰り返しながら行うのが良く、連続して高周波を与えるのは危険です。

これは局部的に温度が上昇するのを防ぐためです。水分通導性の良い木材はかなり強いパワーを与えても安全ですが、悪い木材は内部の水蒸気圧が上がってすぐに高い温度になってしまいます。高周波の印加はこの温度が一定限度以上に大きく

ならないように行わなければなりません。つまり、強い高周波を与えても内部の温度が上がらないような木材は、速く安全に乾かすことが可能で、その逆は難しいことになります。

高周波減圧乾燥では、温度の高い水蒸気が内部から表面へ押し出されるようにして移動してくるため、パワーの与え方を上手にコントロールすれば、材内外の含水率が均一ないし内部が低い状態で乾燥を進行させることができます。このため乾燥応力の発生を小さく抑えられます。厚材や割れやすい材の乾燥ではこのことが非常に有利に働きます。また、落ち込みやすい材は、圧力を低くして低温で乾燥することにより、木材細胞のつぶれ、すなわち落ち込みを防ぐことができます。一般の熱風乾燥では表層部の含水率を高く保ったまま、速く乾燥させることは不可能です。その意味では高周波減圧乾燥は損傷防止のための理想的な乾燥法と言えます。

表1は高周波減圧乾燥と一般の蒸気式乾燥との乾燥日数の比較ですが、高周波減圧乾燥では平均的に約1/3の時間で乾燥が可能です。もちろんこの時間は材の種類で異なりますが、概して乾燥の難しい材ほどその差が広がる傾向にあります。

このように高周波減圧乾燥は優れた方法ですが、現在はコストの問題で利用分野は限られています。広葉樹資源が少なくなるこれからは、コストを度外視しても良質の乾燥材を生産することが必要な場面が来るかもしれません。そのときには高周波減圧乾燥が威力を発揮することでしょう。

表1 高周波減圧乾燥による乾燥日数

樹種名	材厚(cm)	HFV	IF	HFV/IF
スギ	15×24	5	40	1/8
クルイン	3	7	16	1/2.3
ゴムノキ	6	4	12	1/3
コジイ	3	11	30	1/3
奄美イタジイ	5	30	—	—
イタジイ ¹⁾	6	10	25	1/2.5
タブノキ ¹⁾	6	10	30	1/3
イスノキ ¹⁾	6	5	15	1/3

HFV：高周波減圧乾燥
IF：蒸気式乾燥

1) 鹿児島工試 山田氏ら

高周波加熱式減圧乾燥

(3)心持ちスギ一般材の乾燥

森林総合研究所木材利用部 久田卓興

高周波減圧乾燥は設備費や乾燥コストが高く、高価な材の乾燥にしか使えないと思われがちですが、ちょっと工夫すると、一般材に対しても意外に経済的な使い方が見つかります。

その工夫とは、設備の利用率を高めること、つまり処理スピードを上げることと、エネルギー消費を必要最低限に制限することです。

図は一般の心持ちスギ材への適用法を示しています。乾燥材の生産に必要な日数は、一般の蒸気式乾燥とほぼ同じですが、乾燥コストを約20%~30%低くすることができます。最初の天然乾燥では、柱材の表面付近のみを乾燥させます。この時期の天然乾燥は速度が速く、しかもエネルギー費がタダという利点があります。次にいよいよ高周波加熱減圧の工程に入りますが、ここでは材をポリエチレンシートで包む方法と、そのまま乾燥機に入れる方法があります。シートで包むのは強力な高周波を与えても表面割れが出ないようにするためですが、この代わりに乾燥初期蒸煮をして割れを防ぐ方法もあります。

材温を95℃まで上げてから、70トールで一気に減圧し、その後は材質を50~60℃にコントロールして、約1日で処理を終了させます。乾燥機から取り出した材は屋外か屋根付きの倉庫で天乾するか、あるいは簡易な乾燥室で乾燥して、所定の含水率に仕上げます。高周波加熱減圧法で乾燥された材は、蒸気式乾燥による材に比べ、平均含水率が同じでも内部の含水率が低くなっているのです。こうした仕上げ乾燥が容易に行える特徴があります。

図の乾燥システムは、天然乾燥工程の途中に高周波減圧乾燥を組み入れたものとする、理解しやすいかもしれません。天然乾燥の問題点は、乾燥処理時間が長くなることなので、これを高周波加熱減圧法で補って、乾燥処理日数と乾燥コストとのバランスを取る考えです。従って、全体の処理日数を短くしようとするれば、高周波減圧乾燥が受け持つ割合を大きくしていけば良いわけです。その場合は当然乾燥コストは上がります。ただし、このコストとは設備費、エネルギー費、人件費などの直接費だけのことなので、乾燥処理の経済性を評価するには、これ以外の要素も重要になってきます。

乾燥処理スピードが速いので少ない設備で間に合い、工場スペースが少なくすむこと、短い納期に対応しやすいこと、材色がきれいなこと、狂いが少ないことなどいろいろなメリットが考えられます。

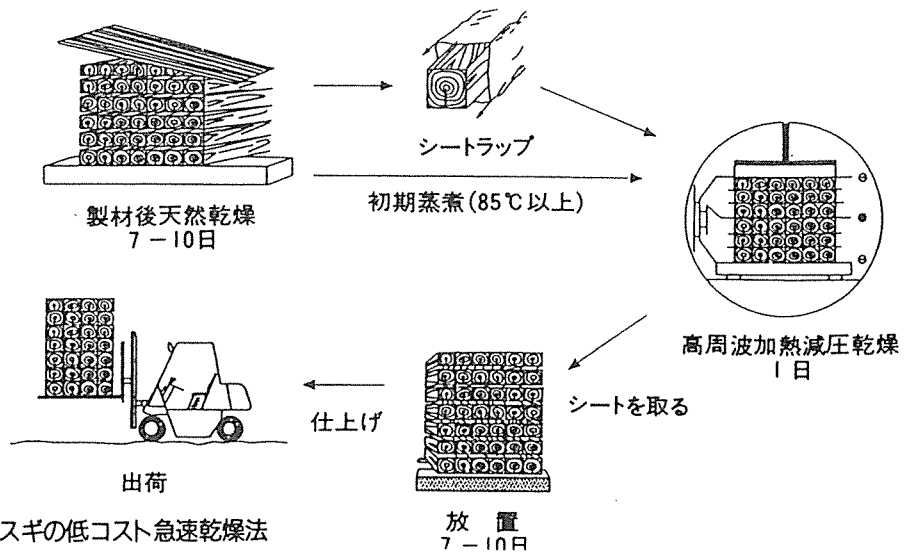


図 高周波加熱減圧によるスギの低コスト急速乾燥法

9.2 スギ柱材の高周波減圧乾燥 (エアージャップの影響)

(岡山木技セ) 河崎 弥生

【目的】 スギ柱材の急速乾燥法の一つとして、高周波加熱の利用が注目されている。実際には、高周波加熱（減圧）乾燥法を単独で用いるのではなく、天然乾燥や爆砕処理等他の乾燥法（前処理）と組み合わせる方式が検討されている。これらは、異なる乾燥法を個別に組み合わせて用いる方法であるが、熱風乾燥と高周波加熱を同時に行う併用方式も一部で実験段階に入っている。その際、材間への空気循環のために設けざるを得ないエアージャップによって生じる熱効率の低下が問題になる。

ここでは、スギ柱材の高周波減圧乾燥におけるエアージャップ（栈木の厚さ）の影響について検討した。

【方法】 スギ心持ち柱材（130×130×1300mm）を、当センター設置の高周波減圧乾燥装置（約0.5m³入り、発振出力3kw）を用いて乾燥した。乾燥には表1に示す条件を用い、栈木の厚さが27mm、17mm、7mm及び0mm（コントロール）の4タイプのロットについて試験を行った。栈木は60cm間隔で3本用い、各試験とも8個体の試験材を4本ずつ2段積みで配置した。乾燥途中で適宜試験材を取り出し、乾燥経過や狂い等の発生状況を調査するとともに、積算電力計により消費された電力量を求めた。

【結果】 表2に、木材中の水分を1リットル蒸発させるのに消費した電力量等を示す。栈木の厚さが大きくなると、明らかに熱効率が低下する。栈木が無い場合と比較して、27mmの場合では50%程度まで悪化する。ここに示した消費電力量は高周波発振機に消費されたものに限定した見かけの数値であるため、真空系統や冷却系統等の周辺設備が消費する電力を合算すると、熱効率はさらに低い値となる。

栈木の厚さが大きくなると、乾燥時間中に占める高周波の発振率が高くなる。すなわち、材の昇温にもエアージャップが影響を与えている。時間当たりの乾燥速度を比較しても、栈木の厚さが強い影響を与えていることが知られる。27mm厚の栈木を用いた場合、乾燥速度は栈木が無い場合の57%にまで低下する。これでは、熱効率が悪い上に乾燥時間も長くなり、さらに乾燥コストは上昇する。

以上のことより、高周波加熱と熱風乾燥を併用する際には、熱風併用による乾燥コストの効果的な低減化がはかれるように、空気循環と高周波加熱効率との兼ね合い等を勘案し、最も効率的な栈木の厚さを決定する必要がある。

表1 乾燥条件

材温 (°C)	60
缶体内圧力 (Torr)	150
高周波発振間隔 (分)	初期～20hr 3on-1off 20hr～終末 連続
隔極電流 (A)	0.5

表2 栈木の厚さの違いによる熱効率等の比較

項 目	栈木の厚さ (mm)			
	0	10	17	27
蒸発水分1%当たりの消費電力量 (kWh)	3.26	3.89	5.14	6.20
見かけの熱効率 (%)	20.0	16.7	12.7	10.5
高周波発振率 (%)	37.9	45.1	53.3	68.8
乾燥速度 (%/h)	1.15	0.93	0.73	0.66

9.3 蒸煮と高周波加熱・減圧によるスギのタイコ挽き材の乾燥

(森林総研) ○小林 功、久田卓興
(奈良林試) 久保 健 (福岡森林技セ) 片桐幸彦

【はじめに】

木材を丸太のまま乾燥したいという要望は強いが、乾燥割れが発生したり、乾燥に時間がかかるなどの理由でこれまであまり人工乾燥は行われなかった。丸太に近いタイコ挽き材の乾燥も同様である。そこでこれらの材の乾燥方法について検討した。

【実験方法】

試験材は宮崎県産のスギで、含水率63～115%、長さ195cm、直径32～45cmのものをタイコ挽き(厚さ23cm)にして皮付きのまま用いた。

乾燥条件は、前処理として蒸煮あるいは高周波加熱を行い、その後の主乾燥工程では高周波加熱減圧を行うことにした。具体的な前処理法には、

- ①蒸煮のみを1日
- ②蒸煮と高周波加熱の併用を1日
- ③蒸煮のみを数時間行った後に蒸煮と高周波加熱の併用を1日

の3つのパターンを用いた。蒸煮温度は88～130℃、減圧時の圧力は60 Torr、高周波加熱減圧時の材温は46～54℃である。

【結 果】

表1に前処理方法を、表2に含水率、乾燥日数及び発生した割れの結果を示す。実験A、Bは乾燥初日に約1日間、88℃で蒸煮しながら高周波をかけることによって材温を缶内温度よりも2～3℃高くして、ある程度含水率を下げながら熱処理した後に高周波加熱減圧乾燥を行った。乾燥日数は9日及び4日であった。実験Aは割れを恐れて電流値を低くし過ぎたためにパワーが足りず、乾燥に時間がかかった。その反省に立って電流値を上げてほぼ同じ条件で行った実験Bは割れも少なく約4日で十分な乾燥ができた。

実験Cでは蒸煮の効果を調べるために乾燥初日に1日間、88℃で蒸煮を行った後、実験Bと同様の方法で乾燥した。実験Bより初期含水率が低いにもかかわらず、同じ含水率まで乾燥するのに約5日を要した。割れの程度もさほど変わらないことから蒸煮のみの前処理はあまり効果的でないと思われた。

表1. 前処理方法

実験名	A	B	C	D
蒸 煮	X	X	○	○
蒸煮+高周波	○	○	○	X

実験Dでは高温蒸煮の効果を見るために130℃で蒸煮を約1日行った。しかし蒸煮によって重量が増えてしまい、乾燥速度への効果はほとんどなかった。表面割れは実験Cよりも多く発生し、さらに内部割れが多く発生した。

今回の結果から厚さ23cmのスギのタイコ挽き材では、実験Bの処理条件によって約4日間で乾燥できる見通しが得られた。

表2. 含水率、割れなどの試験結果

実験名	A	B	C	D
初期含水率(%)	114.8	82.1	62.9	64.2
最終含水率(%)	40.3	15.0	15.1	12.5
乾燥日数(日)	9	4	5	7
表面割れ(本)	2	4	4	10
表面割れ長さ合計(cm)	40	16	24	125

9.4 スギ丸太の高周波加熱減圧乾燥 (表面割れなしの短時間乾燥条件に関する検討)

(九大農) ○河辺純一、片桐幸彦、藤本登留、又木義博

〈はじめに〉 スギ丸太の高周波加熱減圧法による表面割れのない乾燥について、とくに高温加熱による短時間乾燥条件の検討をするとともに、仕上がり含水率の程度が、使用環境条件下での乾燥丸太のひずみ変動や割れ発生におよぼす影響を検討した。

〈実験方法〉 ①供試材：九大粕屋演習林産の20年生のスギ丸太を樹高6m内の部位から玉切りし、長さ2mの丸太を剥皮後、生状態で供試した。②高周波加熱減圧乾燥法：乾燥器内に電極を設置し、高周波出力4000v、0.6Aで加熱した。乾燥経過中、元口に挿入した温度制御装置により、丸太の長さ方向中央部における断面の中心を各設定温度となるようにした。なお、容器内の減圧度は乾燥中一定とした。③使用環境条件下におけるひずみ測定：乾燥後、丸太表面に円周方向と軸方向各々2枚ずつ、対称にひずみゲージを貼付し、使用環境条件下の温湿度変化による膨潤、収縮のひずみ変化量を測定した。④SEM観察：乾燥による組織構造の変化の様子をSEMによって観察した。

〈実験結果と考察〉 ①SEM観察：辺材の早材部で仮道管の破裂現象が生じているが、晩材部や心材においてはその発生が少ないことが分かった。しかも、乾燥温度が高いほど破裂の数は著しく、また、減圧することによってその破裂は助長されるという傾向がみられた。さらに、表面より少し内側の3～5年輪で激しい破裂が観察されたが、この部分は、乾燥過程において半径方向の含水率分布が最も高い部分と一致していた。

②使用環境条件下におけるひずみ測定：乾燥後の丸太を使用環境での温湿度変化に曝した場合、仕上がり含水率の程度がひずみ変化量に多大の影響を及ぼすことが分かった。つまり、仕上がり含水率とその温湿度条件下における平衡含水率より低ければ、吸湿することでひずみは正方向へと変化し圧縮応力を生じ、高ければ脱湿することでひずみは負の方向へと変化し引張応力を生じた(図)。

〈おわりに〉 以上の実験結果から、乾燥温度を高くすると乾燥時間を短縮できるが、同時に細胞破裂の頻度も増加することがわかった。

また、仕上がり含水率が平衡含水率より低くなるまで乾燥を行えば、丸太表面のひずみは伸長方向へと移行し、乾燥後の表面割れを防ぐことができると考えられる。

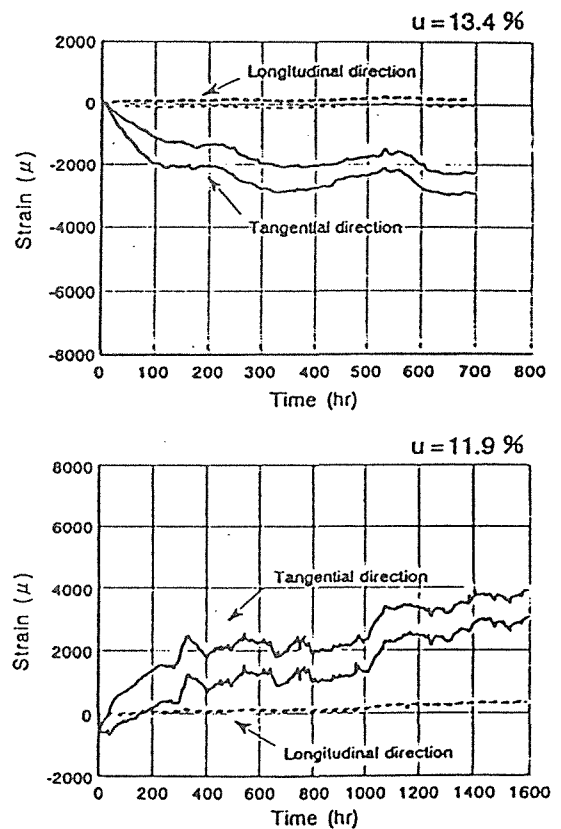


Fig. Developments of strain in T and L direction of dried log.

9.5 高周波加熱・減圧によるカヤ碁盤用材の乾燥

(森林総合研究所) ○久田卓興

(フロンティアウッド) 下西正晃

1. はじめに 碁盤用にカヤが用いられているが、昨今は適木の大径材が少なくなり、非常に高価で貴重な材になってきている。厚材のカヤの乾燥が難しいことは古くから知られており、普通は3~5年もかけてゆっくり日陰で天然乾燥する方法がとられているが、それでも割れが発生し、製品化の際の障害になっている。このため、高周波加熱・減圧法によって歩留まり良く、短時間で乾燥する方法を検討した。

2. 方法 試験材には、中国産のカヤ (*Torreya yunnanensis*) で、寸法が幅 45-50cm, 長さ 50-55cm, 厚さ 20-23cmの板目材および柾目材を用いた。木口および側面には酢酸ビニール樹脂エマルジョン接着剤を塗布し、水分蒸発が主として上下の幅広の面から行われるようにした。乾燥装置は富士電波工機製のHED-0301型(収容材積0.28m³, 6.7MHz, 3kW)を用い、この中に試験材を1枚ずつ入れて試験した。乾燥方法は始めに常圧で加熱のみを行い、1日後に装置内の圧力を70torr一定にして乾燥を進めた。この間、高周波電力は入力約0.8kWとし、材温を30~40℃の範囲で制御した。材温の測定には高周波シールドされた測温抵抗体を用い、これを木口側の一電極に近い側(材厚の約1/3)にドリルで穴をあけて差し込んだ。乾燥中の含水率変化を求めるには、適宜試験材を取り出して重量を測定する方法と、誘電率式の高周波含水率計を用いる方法とを併用し、さらに一部の材は乾燥終了後中央で切断して全乾法で測定した。

3. 結果 カヤは木口割れが発生しやすいため、木口からの水分蒸発は出来る限り少なくする必要はある。実験では厚さ20cmの板目材を39日で、含水率129%から45%(全乾法)まで乾燥することが出来た。ただし、この実験では木表側の端部に長さ8cmの小さな割れが発生した。また、厚さ23cmの柾目材はこれとほぼ同様の乾燥条件により、44日で推定含水率約45%まで乾燥し、1カ月後に碁盤に仕上げた。この材には割れは全く発生せず、仕上がり品質も十分満足できる状態であった。実験結果は図1のとおりで、乾燥速度を速めるため、後半は単位時間当たりの高周波印加量を多くした。このため、材温を多少高くしていった。このような割れやすい材では、材温制御を精度良く行うことが重要であるが、材温はセンサーの挿入位置によってかなり異なるため、実際の温度管理には相当な難しさが伴う。従って、大型装置による乾燥では個々の材の加熱むらを如何に少なくするかが課題である。

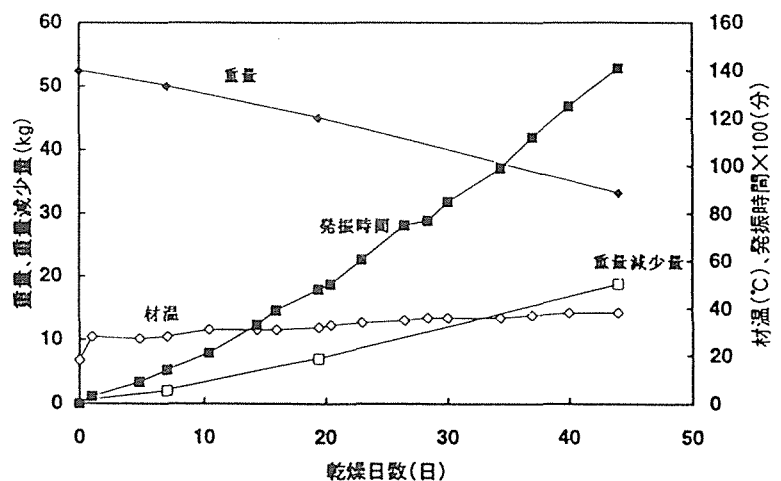


図1 乾燥中の重量減少と材温、高周波印加量の関係

10 その他の乾燥技術

10.1 スギ黒心正角材の乾燥に与えるマイクロ波加熱の効果

(奈良林試) ○久保 健、小林好紀、山田英之、(農工大農) 服部順昭、喜多山繁

【はじめに】 スギ黒心材は、生材含水率が高く、正角材では中心部の水分減少が遅いため乾燥に長時間を必要とする。これを改善する目的で、マイクロ波加熱処理が乾燥速度および仕上がり状態など乾燥に与える効果を、加熱条件あるいはレーザーインサイジング処理の点から検討した。

【供試材】 生材含水率が約120~250%の製材直後のスギ黒心材(12cm正角、長さ100cm、心持ち、背割りなし)の両木口にエポキシ系あるいはシリコン系樹脂でシールを施し、供試材とした。

【実験方法】

1. 供試材をマイクロ波加熱装置(東芝製、発振機総出力4.5kw)により、①加熱温度(80,100,120℃)、②材温が目標の温度に到達するのに要する時間(以下昇温時間という。30,60分間)、③目標の温度を保持する時間(以下保持時間という。30,60分間)を種々組み合わせて加熱した。
2. 上記の条件のうち、加熱処理時間、処理後の水分分布および仕上がり材質などの点から効果が最も高い条件で加熱処理した供試材を標準的な乾燥スケジュールで除湿乾燥した。
3. CO₂レーザーにより繊維に直角方向に貫通するレーザーインサイジング(インサイジング密度: 0個、1万個、2万個/m²)を施した繊維方向に連続する供試材を、I: 加熱処理+除湿乾燥、II: 加熱処理+熱気乾燥、III: 熱気乾燥のみの3通りの方法で乾燥した。

【結果】

1. 1の実験から水分分布の改善に効果的な加熱条件として、加熱温度120℃、昇温時間60分、保持時間60分が得られた。
2. 加熱処理による乾燥開始前の含水率低下が著しく、乾燥所要日数が大幅に短縮された(図1)。その理由は、マイクロ波加熱処理により乾燥前の材中央部の水分が著しく低下することにあると考えられる。
3. その結果、乾燥仕上がり時の水分傾斜が小さくなり(図2)、良好な仕上がり状態が得られた。
4. レーザーインサイジング処理は、乾燥速度の向上にほとんど効果を与えなかった。しかし、加熱処理によって著しい含水率低下が得られ、そのために乾燥時間を短縮できた。特に密度2万個/m²の場合において、その著しい効果が認められた。
5. インサイジング密度1万個/m²の供試材の乾燥仕上がり時水分傾斜に対して、2万個/m²のそれは小さく、乾燥仕上がり時の水分傾斜を緩和するためには、2万個/m²程度のレーザーインサイジングを施すのがよいと考えられる(図3)。

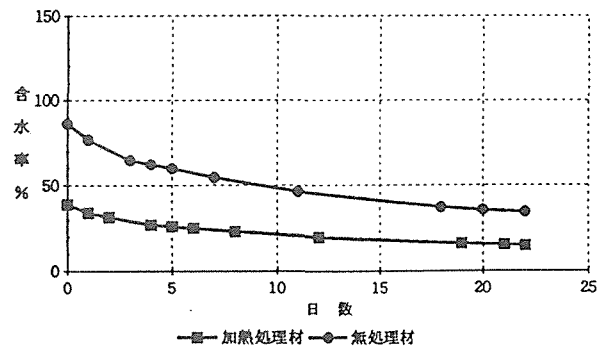


図1 加熱処理の有無と乾燥経過

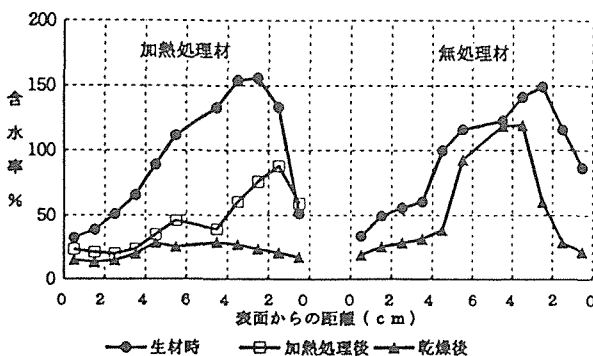


図2 加熱処理の有無と水分分布の関係

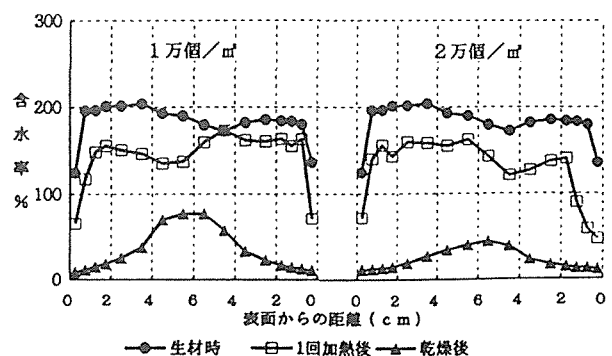


図3 インサイジング密度と水分傾斜との関係

10.2 心持ち角材の乾燥 (マイクロ波加熱乾燥法の改良)

九大農 ○藤本登留、久富浩人、又木義博
九州電力(株) 山田國碩、長野洋文、岩城登

【はじめに】筆者らは、マイクロ波加熱乾燥によりスギ心持ち角材を、表面割れを起こさずに短時間で乾燥できることを確認した。しかし、一般的に心持ち角材は、乾燥後の使用中に割れを生じることがあり、その品質安定性を確認しておく必要がある。そこで今回は、マイクロ波加熱乾燥した柱材を室内放置条件および恒温恒湿器内で設定した比較的厳しい1日の温湿度条件において、割れにつながる材面応力や寸法変化を測定した。そして、その測定結果を踏まえ、さらにこの乾燥法の改良法として天然乾燥との組合せを試み、その効果についても調査した。

【実験方法】供試材は、九州大学粕屋演習林産の32年生スギ心持ち正角材(10.5×10.5cm)を用いた。マイクロ波加熱乾燥の乾燥条件は、昨年度の結果、乾燥中の割れ発生が少なかった材温110℃常圧、110℃・200torr、80℃・常圧の3条件で行った。乾燥後の放置条件は、実験室内と比較的乾燥期の気象条件に応じた1日の温湿度を変化させた恒温恒湿器内の2種類である。この放置中に材面応力、割れ、収縮率の測定を行った。

さらに改良法として、次のような間欠法を試みた。すなわち、30minの材温制御をしたマイクロ波加熱乾燥と30minの放置を2～3回繰り返し、2～4日天然乾燥後、再び30min加熱・30min放置を行う。以上の操作を、目標含水率まで繰り返す方法である。この方法で乾燥した材についても、前述した乾燥後の各測定を行った。

【結果および考察】乾燥中割れ発生のない3条件でマイクロ波加熱乾燥を行った角材は、その後の放置状態における含水率分布が均一化する段階で、割れが発生することがわかった。110℃・常圧の場合の応力経過の一例を右図に示す。すなわち、乾燥中は材面に圧縮応力が生じており、MC20%以下の乾燥終了の頃から放置段階にわたって引張応力が増大する。一方、間欠法を試みたところ、乾燥中は引張応力で、乾燥終了時点で圧縮応力が見られるようになったが、放置中に再び引張応力が増大し、材面割れも多く見られた。しかし、乾燥の電気エネルギーの減少、および、装置占有時間の短縮が確認された。

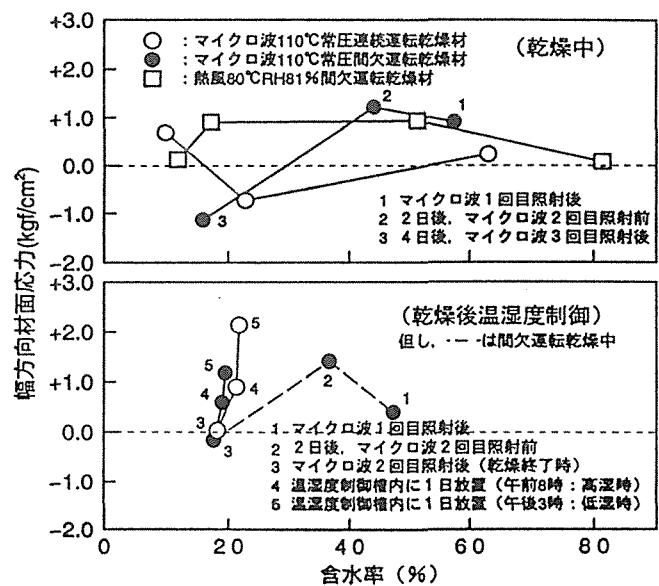


図 材面応力の推移

Drying of Boxed Heart Square Timbers.

Improvement of Microwave Drying System

Kyushu University : ○Noboru FUJIMOTO, Hiroto HISATOMI, Yoshihiro MATAKI
Kyushu Electric Power Co. : Kunihiro YAMADA, Hirofumi TYOUNO, Noboru IWAKI

日本木材学会40周年記念大会要旨集(1995年, 東京)

The 40th Anniversary Conference of the JWRS (April '95, Tokyo)

10.3 スギ心持ち角材の乾燥 (マイクロ波・熱風複合乾燥法について)

九大農 ○後藤健輔、藤本登留、又木義博
九州電力(株) 長野洋文、渡辺重徳

〔緒言〕 これまでに、急速乾燥および乾燥時の割れ防止を考慮したマイクロ波加熱乾燥法が、スギ心持ち角材について実験的に試みられたが、大量処理や割れ発生防止等の品質安定性に問題を残しており、実用には至っていない。そこで、本研究では、マイクロ波加熱乾燥法の乾燥後の割れを抑制することを目的に、内部加熱方式と外部加熱方式の特徴を活かした、マイクロ波加熱と熱風加熱の複合乾燥について検討を行った。

〔実験〕 1. 供試材 福岡演習林産の30~33年生のスギ丸太から得た、木口断面10.5×10.5cm、長さ50cmの心持ち正角材を用いた。各試験で、1回につき、材面応力・含水率分布測定用と、マイクロ波乾燥時の材内温度測定用の2本ずつを供試した。2. 乾燥方法 生材から含水率30~50%までと、その後約20%までの乾燥を、マイクロ波→熱風(M→A)と熱風→マイクロ波(A→M)の2通りで行った。マイクロ波乾燥では、供試材中央に埋め込んだアルコール温度計が105℃となるように、マイクロ波を断続発振させた。マイクロ波出力は、材1cm³当たり0.2Wとし、ターンテーブルを回転させながら行った。熱風乾燥は、乾球温度80℃、乾湿球温度差5℃一定で行った。3. 測定項目 重量

(含水率)、材面幅寸法(収縮率)、横断面内含水率分布、および材面幅方向応力(マイクロ波照射面、照射反対面、および側面の、計3材面)について、乾燥段階毎に測定を行った。

〔結果および考察〕 M→Aでは、前段では初期含水率による加熱むらからか、一概に内層部の含水率が下がるには限らなかった。しかも、内層部が繊維飽和点近辺まで下がっても、後段では内層部の含水率がほとんど低下しなかった。逆にA→Mでは、前段では外層部が低く内層部が高い含水率傾斜を示し、後段ではその内層部へのエネルギー投入が確実に行われ、その結果、ほぼ均一な含水率分布で仕上がった。

M→Aの前段終了時点では、材面応力(圧縮)は小さいが、後段では早い段階で材面割れが生じ、ほとんどの供試材で応力測定ができなかった(図1)。一方、A→Mの前段終了時点では、応力は引張が大きい、後段ではほとんどが圧縮へ移行し、最終的に割れ発生が比較的少ない結果となった(図2)。

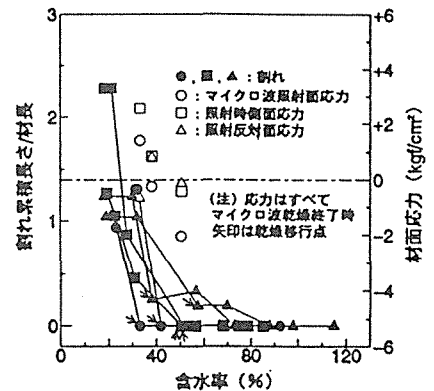


図1 材面応力・割れの推移 (マイクロ波→熱風)

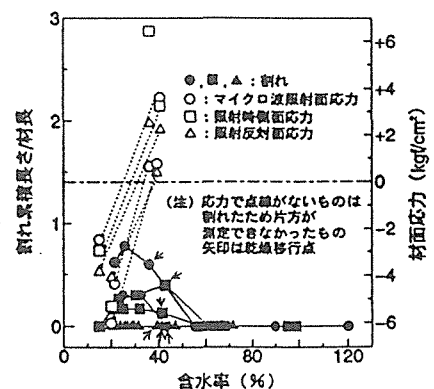


図2 材面応力・割れの推移 (熱風→マイクロ波)

10.4 液体中における柱材乾燥の試み

(長野林総セ) ○吉田孝久

1. はじめに

蒸気式乾燥による柱材の乾燥は、85～95℃の高温乾燥によりかなり時間短縮が可能であるが、初期含水率の高いスギに関しては、それでも1週間程度の乾燥期間を要する。そこでさらなる乾燥時間の短縮を第一目標に置き、100℃以上の液体（灯油）中での加熱による心持ち無背割り柱材の乾燥を試みた。その結果、短時間で材面割れの少ない乾燥ができたので、ここに報告する。

2. 試験方法

両木口コーティング無しの心持ち無背割りスギ柱材（断面寸法：11.0 cm正角、材長1 m）を試験材とし、熱媒体は100℃以上の沸点を持ち、安価で入手しやすい灯油を用いた。図に示す鉄製容器の中に試験材を設置し、この中に灯油を注ぎ容器下部のヒーターにより加熱した。試験材中心部には熱電対を埋め込み材温の上昇を測定した。初期設定温度を100℃とし、材中心部の温度がこの温度に達するまで保持した。その後、徐々に温度を上げ乾燥末期は130℃設定とした。乾燥を終了した材は、灯油から取り出し表面の灯油を除くため、60℃の温風を約1時間送風した。

3. 試験結果

（1）材温上昇と乾燥状況 灯油の温度が100℃に達するのにおよそ1時間を要したのに対し、材中心部の温度はおよそ3時間でほぼ設定温度となった。この時点より、材表面から盛んに細かな泡（水蒸気）が出て乾燥の進行がうかがわれた。灯油の温度を徐々に上昇させ最終的に130℃に設定したが、この泡が出ている間はなかなか材温は上昇しなかった。乾燥末期になると泡の発生が少なくなり、材温が上昇し乾燥終了時で113℃となった。

試験材の初期含水率は、辺材24.4%、心材4.7%、材平均で12.2%であった。乾燥終了時（48時間後）には材平均2.2%となった。この時の材表層部の含水率はおよそ1.1%、材中心部はおよそ2.6%であり、やや水分傾斜の大きな仕上がりとなった。

（2）乾燥終了材の状況 乾燥終了材は、材面割れの無い乾燥材が得られる可能性が高い（3回の乾燥のうち2回は材面割れ無し）。これは写真で見ると、乾燥材を切断すると四隅あるいは髓部に内部割れが生じていることから、高温処理のため材表層部が引張セットされるとともに材内部にさらに大きな引張応力が生じ、これにより内部割れが発生したと考えられる。

また材色については、褐色系への変化が大きかった。

4. おわりに

以上の試験に関しては、未だ様々な問題を残しているが、柱材が2～3日間で乾燥出来ることは興味深い結果であった。今後、灯油に替わるより安全且つ安価な液体の検討や熱による強度劣化、さらに蒸気による加熱等も含めてさらに検討を進めたい。

なお、この試験を実施するにあたり荒井國太氏に御協力頂いたことに感謝いたします。

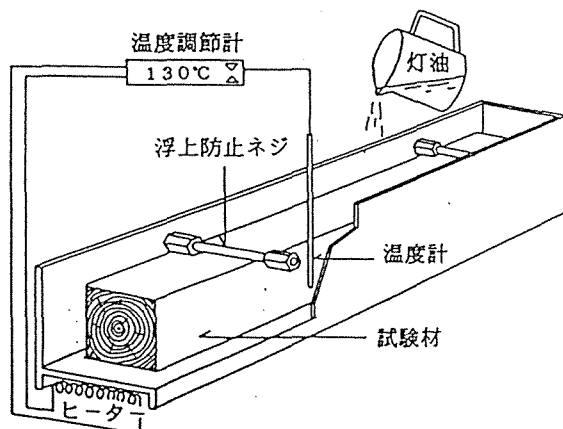


図 乾燥装置概略図

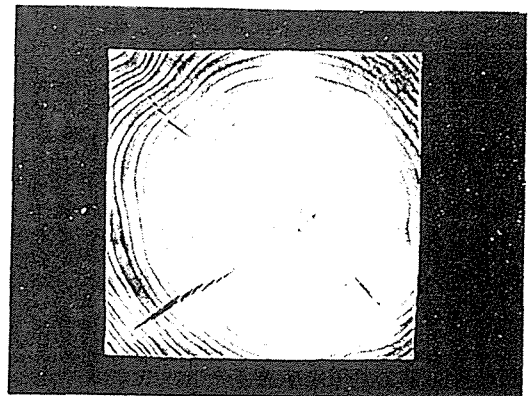


写真 乾燥終了材の内部割れ

10.5 液相乾燥法の概略について

(有) キヤム 柳田英二

はじめに

国産材産業においては、「国産材時代への条件整備」も遅々として、21世紀への展望も混沌としたままですが、国産材特にその太宗を占めるスギの需要拡大に向けたキーワードは、「国産材の乾燥材化」とされています。

しかし、現実には欧州勢を加えた集中的な日本向け海外集成材工場の新設ラッシュによる必然的な過当競争を引き金に、比較的規模の大きい集成材工場とその関連企業が相次いで倒産しています。またその余波から国産材の価格は著しい低迷を続けており、製材工場の倒産・休業や徹底した減産体制が余儀なくされています。その背景には、住宅建築様式の変化による国産材需要の減少や外材との競合がありますが、更に追い打ちをかけるように住宅保証制度化による木材品質の高度化への対応という新たな課題も生まれてきています。

このような情勢のなか、液相乾燥法(LDM: Liquid Drying Method)がエンドユーザーのニーズに応え、例え僅かでも国産材産業の衰退防止と地球上唯一の再生産構造を持つ森林資源の持続的経営の確立にお役にたてれば幸いと考えています。

1 液相乾燥法の概要

本乾燥法は、親水性のない液体を加熱媒体として、その液中で、水の沸点である100℃以上に木材を加熱し、木材組織内の水分を蒸気化して極めて短時間に乾燥させる方法です。

液体については、親水性がないこと、加熱による熱化学反応が起こりにくいこと、発火点が高いことや毒性がないことなど作業上安全であること、採算性の採れる価格であることなどの観点か

らパラフィンワックスを使用しています。

木材の乾燥、特にスギでは、諸性質のバラツキをどう克服し、乾燥材の品質向上をどう図るか、また乾燥コストの低減をどう図るかが重要な因子です。LDMは、一部の報道で「天ぷら乾燥」と表現されたように食材に応じた天ぷら料理の感覚で、木材に応じた温度と時間の設定により、意外と簡単に操作できる木材の乾燥方法です。

乾燥試験機は、次ぎに示す構造となっています。

① 燃焼炉

浸漬槽内の温度センサーと連動した温度と時間の自動制御盤を有する灯油バーナーによる燃焼装置

② 浸漬槽

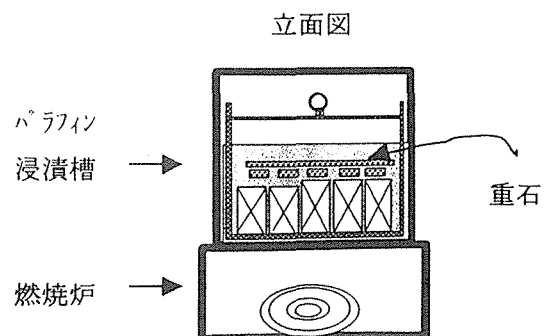
パラフィンを加熱溶解し、木材を浸漬、乾燥する乾燥装置

③ 水蒸気冷却装置

浸漬槽内で大量に発生する蒸気を排出冷却し結露水として回収する装置。浸漬槽の上部に排出口を設け、冷却器へと連結している。

④ 棧積み運搬装置

辺長11.5cm、材長3m材を25本積み込み、その上に浮力による木材の浮き上がり抑制のための重石を載せ、浸漬槽へ運搬投入する棧積み装置



2 本乾燥法の特徴

- 1) 乾燥時間が、文字通り<時間単位>となり、スギ3寸5分角材の場合、18時間前後の乾燥時間です。また時間単位という高速乾燥のため、スギ材のバラツキに応じたきめ細かな乾燥が可能となります。このため、木材の初期含水率に応じた重量区分方式による乾燥が可能となり、乾燥材の品質向上とともにスギ材のバラツキに応じた適正な乾燥コストとなり、ひいては製材業における切削工程と乾燥工程の平準化も可能になります。
- 2) 背割りなしの柱角や平角等において、材面割れが極めて少なく、4材面のうちいずれかにヘアークラックが発生することもある程度です。
- 3) 100℃を確実に越える高温乾燥にも拘わらず、材面の褐色化については、パラフィン処理温度が150℃程度であっても、夕方から翌朝程度の乾燥時間の場合、僅かです。また乾燥割れが極めて少ないことと関連して、役物乾燥の可能性も大いにあります。
- 4) 柱角以上の大きな断面部材の乾燥も可能です。高コストの重ね梁や合わせ梁によらず平角や5寸角等太角も1日強で乾燥できます。また柱適寸を越えた中目材利用として、その末口に内接する正八角材あるいは面取八角材等の採材が可能となり、製材歩留まりの向上や製材コストの低減、更に木材強度の面からも新たな展望が期待され得ると思います。
- 5) 高温液体の優れた対流性により、栈積みの厳格性を要しないため、不定形の断面形状材でも容易に乾燥できます。またノークラックと相まって、輪切り材、穿孔材、製材端材等各種形状材も乾燥でき、新たなデザイン開発による付加価値の向上が可能です。

3 内部割れ

薄板を除いて、内部割れが芯材の髄から放射状に、あるいはその延長線上に発生します。

内部割れを完全に防止することは、現状では困難です。その発生程度は、乾燥処理温度を下げ、処理時間を長くすることでかなり抑制できます。しかし、それは、確実にコスト高を招きます。

◆次に、高温処理による材質劣化等による木材の強度低下の懸念ですが、従来乾燥法における柱材の背割りや材面の長大な割れを考慮すると、内部割れとともに、一定の温度と時間の積和以内であれば高温処理が単純に強度低下を招くとは考えにくいところです。

(参考)

スギの乾燥試験に追われながら、気分転換にヒノキを乾燥させてみますと、改めてスギの乾燥の複雑性を感じてしまいます。ヒノキの物性や基本的な含水率の低さによるものと思われませんが、スギに比べるとヒノキの柱角や5寸角の乾燥はかなり容易です。また、製材直後の干割れに注意を要しますが、ヘアークラックが発生する確率は、スギよりはるかに低いようです。

しかし、高温加熱による材面色や木の香りの変化については、ヒノキ独特の淡赤色が脱色する傾向があり、ヒノキ独特の香りがかなり失われてしまいます。

4 LDM 乾燥の事例

内部割れや材質劣化による強度低下の有無を確認するために、次の2点に関して試験を行いました。

①含水率

長さ方向の中央部で目的の長さの試験体を採取し、その左右両端から試験片を採取し、全乾法により試験体の含水率を算出し、乾燥度を観察した。

②動的ヤング係数

一般に、破壊試験による曲げ強度との相関性が認められている動的ヤング係数の測定を行い、高温乾燥による強度への影響を観察した。

動的ヤング係数(Ed)は、(株)静岡精機が開発した簡易携帯型の「WOODY」を用いて、両端で支持した試験体の一端をハンマーで軽く3回

づつ打撃し、その面で打撃音からの一次固有振動周波数を測定し、右の式により算出した。

$$Ed = 4 l^2 f^2 d$$

l : 材長、f : 固有周波数、d : 密度

4.1 スギ丸棒 (径 10cm、材長 290cm)

表 1 乾燥前後の含水率と動的ヤング係数の変化

NO	乾燥前					乾燥後					Ed2-Ed1 (増減)
	W1	mc1	d1	f1	Ed1	W2	mc2	d2	f2	Ed2	
1	12.60	37.2	0.55	670	91	10.45	13.8	0.48	750	99	7
2	14.00	52.5	0.61	660	98	11.25	22.5	0.51	760	109	11
3	12.70	45.9	0.56	660	89	10.40	19.5	0.48	750	98	9
4	12.30	50.3	0.54	630	79	10.20	24.6	0.47	720	89	10
5	15.55	70.6	0.68	510	65	11.75	28.9	0.54	580	66	1
6	12.85	51.8	0.56	570	67	10.30	21.7	0.47	640	71	4
7	15.95	64.5	0.70	620	99	11.15	15.0	0.51	730	100	1
8	13.40	58.5	0.59	650	91	10.30	21.8	0.47	750	97	6
9	15.25	44.6	0.67	700	121	11.95	13.3	0.55	810	132	11
10	14.05	67.1	0.62	590	79	9.30	10.6	0.43	750	88	9
MAX	15.95	70.6	0.70	700	121	11.95	28.9	0.55	810	132	11
MIN	12.30	37.2	0.54	510	65	9.30	10.6	0.43	580	66	1
AVG	13.87	54.3	0.61	626	88	10.71	19.2	0.49	724	95	7

W : 木材重量(kg)、mc : 含水率 (%)、d : 密度 (g/cm³)、f : 固有振動周波数 (Hz)、
Ed : 動的ヤング係数 (tf/cm²)

(試験材)

丸棒は加工品として購入したが、貯木場での自然乾燥により、幾分乾燥気味であった。

直径 10cm、長さ 3m 強のスギ丸棒 10 本から、長さ 290cm の試験体を採取した。目標含水率を 20% として、およそ 140℃ で、18 時間の乾燥とした。

①含水率

表 1 の mc 欄に示すように、乾燥前の含水率は、最高値 71%、最低値 37%、平均 54% であったが、乾燥後は、最高値 29%、最低値 11%、平均 19% となった。乾燥後に含水率が 20% を越えた丸棒は、10 本のうち 5 本、25% を越えたものは 1 本であった。

②動的ヤング係数

表 1 の Ed 欄に示すように、乾燥前の動的ヤング係数の平均値 88 tf/cm² が、乾燥後は平均値 95 tf/cm² と 7 ポイント増加した。

③材面

木口割れは、発生しなかった。材面割れは、初期含水率が平均で 54% と低く、表面の自然乾燥により潜在していたと考えられるが、ヘアークラックが数本発生した。材面の褐色化は起こって

なかった。

4.2 スギ黒芯平角

(12cm × 27cm × 3m、10 本)

(試験材)

軽量級から重量級までのスギ黒芯材を用い、既述の重量区分は行わず最も乾燥の困難度が高い試験を行った。短辺 12cm、長辺 27cm、長さ 3m 強のスギ平角 10 本から、長さ 300cm の試験体を採取した。

①含水率

表 2 の mc 欄に示すように、目標含水率を 20% として、およそ 150℃ の温度で、40 時間の乾燥とした。乾燥前の含水率が最高値 142%、最低値 55%、平均値 95% であったが、乾燥後は平均で 19% となった。しかし、10 本のうち 5 本が含水率 20% を越えていた。一般のスギ 5 寸角や平角は 30 時間前後で乾燥可能なことから、スギ黒芯は乾燥の困難度が高い。

②動的ヤング係数

表 2 の Ed 欄に示すように、乾燥前の動的ヤング係数の平均値 71 tf/cm² が、乾燥後は平均値 79 tf/cm² と 8 ポイント増加した。乾燥時間が 40 時

間と長時間であるにも拘わらず、8ポイント増加したことは、強度的には前述の限界時間と限界温度内と思われる。

③材面

木口割れはなかった。また材面割れも発生しなかった。ただし、内部割れは、心材部の髄から放

射状に紡錘形に大きく発生した。

材面色の変化については、表面から数 mm までは赤褐色化が明らかであり、またプレーナー屑がオガ粉状態になることから材質劣化が認められた。ただし、一般的にプレーナー仕上げ時には大方切削除去されるため、製品への影響は極めて少ない。

表2 乾燥前後の含水率と動的ヤング係数の変化

NO	乾燥前					乾燥後					Ed2-Ed1 (増減)
	W1	mc1	d1	f1	Ed1	W2	mc2	d2	f2	Ed2	
1	71.95	118.5	0.74	540	79	40.20	22.1	0.45	720	85	6
2	71.20	126.6	0.73	520	73	42.95	36.7	0.48	660	77	4
3	54.60	55.0	0.56	580	69	36.65	4.1	0.41	740	82	13
4	66.75	100.5	0.69	510	66	40.50	21.7	0.45	650	70	4
5	89.50	141.6	0.92	450	68	51.00	37.7	0.57	580	70	2
6	70.55	74.7	0.73	480	61	43.70	8.2	0.49	620	69	7
7	59.40	74.0	0.61	560	70	37.85	10.9	0.42	730	83	12
8	59.90	105.5	0.62	510	59	36.60	25.6	0.41	670	67	8
9	59.70	59.3	0.61	640	92	38.90	3.8	0.43	800	102	10
10	69.20	90.0	0.71	530	73	43.00	18.1	0.48	680	81	8
MAX	89.50	141.6	0.92	640	92	51.00	37.7	0.57	800	102	13
MIN	54.60	55.0	0.56	450	59	36.60	3.8	0.41	580	67	2
AVG	67.28	94.6	0.69	532	71	41.14	18.9	0.46	685	79	8

記号は表1と同じ

今後の取り組み

本乾燥法による各種試験には、安価な簡易携帯型の動的ヤング係数計測器を用いて測定しているが、破壊試験機による曲げ強さ (MOR) の試験は実施していない。将来とも持ち合わせ得ないため、今後公的試験研究機関のご指導ご協力をお願いして実施していきたい。

さて、近年の製材設備では帯鋸や丸鋸の高速切削が可能となり、1ラインの日生産量は柱角で500本に及ぶ。そのときの原木消費量は、丸太径18cm、3m材とするならば1日当たり約50m³になる。年間では、1万m³を越える原木消費量となる。

その製材速度と平行して乾燥を行うには、スギ材のバラツキを考慮し軽い・普通・重い等含水率区分を仮に3等分するならば、1日で乾燥できる乾燥機の場合、1回の処理量が150本強の装置3台が求められることとなる。これはLDM乾燥で可能である。

2日で乾燥できる乾燥機の場合、1回の処理量

が300本強の装置3台が求められることとなる。

3日で乾燥できる乾燥機の場合、1回の処理量が500本の装置3台が求められることとなる。

4日で乾燥できる乾燥機の場合、1回の処理量が650本の装置3台が求められることとなる。

年間丸太消費量が1万立方メートルを越える大型製材工場は、まだ数少ないと思われませんが、一方で地方に多い零細な経営形態の製材工場でも可能な設備投資金額、簡易な操作性、高品質で低コストの乾燥システムを目指し、本乾燥法をさらに工夫していきたい。

最後になりましたが、LDMでは、①乾燥後のパラフィンを除去するとLDM乾燥材、②付着したままでは、パラフィン被膜による撥水性による簡易耐候性機能が付与されます。このことにより木材の新たな商品開発が望めると考えています。

③更に意識的にパラフィンを含浸させると保存木材としての機能向上が期待できます。②及び③についても、今後公的試験研究機関のご指導ご協力を頂きながら検証して参ります。

10.6 孔あき材の乾燥と利用

山田範彦*

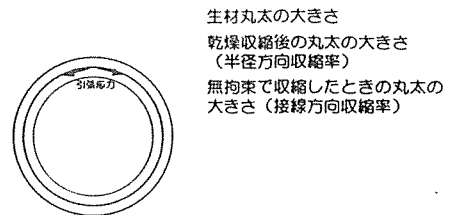
はじめに

スギ芯持ち材は、ヒノキ材と比較して、乾燥速度が遅く、かつ割れが発生しやすいといわれている。その理由として、スギ材は接線方向と半径方向の収縮率の差（収縮異方性）が大きいこと、および心材部分の生材含水率が高いことがあげられる。このため、スギ芯持ち材は未乾燥のまま出荷されることが多かった。しかし、建築工法の変化や木造軸組のプレカット化が進み、針葉樹製材品の乾燥に対するニーズが高まっており、未乾燥では流通しにくくなっていることは周知のことである。さらに、スギ材の森林資源量が増大しており、今後建築用材として大量の供給が見込まれている。そこで、スギ芯持ち材の乾燥について様々な取り組みがなされている。例えば、IF型蒸気式乾燥におけるスギ芯持ち柱材の乾燥スケジュールの検討¹⁾が行われるようになってきており、また新しい試みとしては、100℃以上の乾燥温度を用いる高温乾燥²⁾や常圧下で高周波と熱気を組み合わせた乾燥法の開発³⁾等がある。一方、乾燥方法や乾燥機の改良ではなく、スギ芯持ち柱材そのものの難乾燥性を改善しようとする試みも行われている。正角材に背割りを入れることもそのひとつであるが、材質を改善する比較的新しい方法として、爆砕⁴⁾や水中貯木時の細菌による閉鎖壁孔の穿孔⁵⁾、またレーザーインサイジング⁶⁾による透過性の改善等がある。さらに、同種の試みとして芯持ち柱材の木口面の中心部分に長さ方向に貫通する孔を設けて（孔あき材）乾燥させる方法がある^{7)~12)}。近年、長尺材を比較的短時間（1 mあたり30秒、長さ6 mまで）で貫通孔を設けることができる機械が開発され¹³⁾、この乾燥方法の実用性が高くなっ

た。そこで、孔あき材の乾燥とその利用方法を紹介する。

1. 収縮異方性による乾燥応力の貫通孔による緩和

接線方向の平均収縮率は半径方向のそれに比べて、スギ材で2.6倍¹⁴⁾、ヒノキ材で2.1倍¹⁴⁾である。いずれの場合も、半径方向に含水率が一樣に低下したとすれば、第1図に示すように芯持ち材の外周側面には引張の乾燥応力が発生する。しかし、



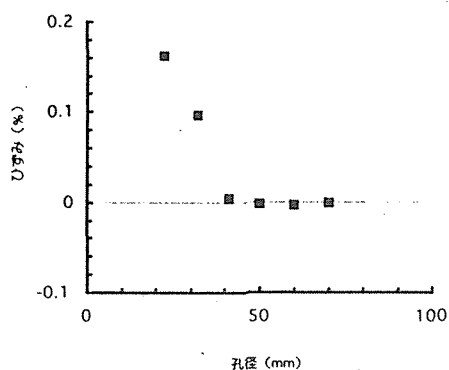
第1図 収縮異方性によって発生する乾燥応力

スギ材の場合収縮異方性が大きい分、芯持ち材は乾燥による外周側面の引張応力が大きくなり、その結果割れが発生しやすい。この収縮異方性に伴う芯持ち材の外周側面の引張応力を小さくするためには、乾燥中半径方向に大きく収縮させてやる必要がある。孔あき材の貫通孔部分の半径は接線方向の平均収縮率で収縮できるため、孔あき材全体の半径は芯持ち材と比較して大きく収縮し、その結果外周側面の引張応力は小さくなる。そこで、孔あき材の外周側面における収縮異方性による乾燥応力と孔径の関係について検討した¹⁰⁾。

まず、髓が中心でかつ心材部分のみが含まれる厚さ20mm、直径100mmの半径方向に水分傾斜のないスギ生材円盤の木口面の中心部分に10~70mm径の貫通孔を設けて試験体とした。この試験体を温度20℃、関係湿度65%の恒温恒湿器内に放置して平衡含水率（13%）になるまで乾燥させた。乾燥終了後、割れの発生しなかった試験体について、試

*兵庫県立森林・林業技術センター

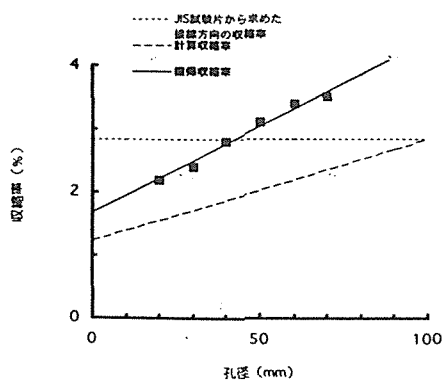
験体の半径に沿ってチップソーで切れ目を入れ、その際生じる外周側面のひずみを外周側面に貼付したひずみゲージにより測定し、乾燥終了時に外周側面に生じているひずみ（残留ひずみ）を求めた。その結果、直径10mmの孔を設けた試験体については全てにおいて割れが発生したが、孔径が大きくなるに従い割れの発生率は低下した。第2図に示すように孔径が増加するに従って残留ひずみは減少し、孔径が40mm以上ではほぼ0となった。このようなことから、芯持ち材の木口面の中心部分



第2図 孔径とひずみの関係

に長さ方向に貫通する孔を設けることにより、収縮異方性によって外周部分に発生する引張の乾燥応力を解消できる。

次に、乾燥終了時の孔あき材の半径方向の収縮率と孔径の関係を第3図に示す。孔径が増大する



第3図 孔径と半径方向の収縮率との関係

に従い、半径方向の収縮率はほぼ直線的に増加した。さらに、JIS試験片から求めた平均収縮率を基に計算した半径方向の収縮率（肉厚部分は半径方向、孔部分は接線方向の平均収縮率で計算）よりも実測した収縮率は全ての孔径で大きくなり、

しかも孔径が大きくなるに従いその差が大きくなった。これは乾燥中試験体を外周部から締め付ける力（フープ応力）が生じ、孔径が大きい程孔が大きく縮むためと考えられる。

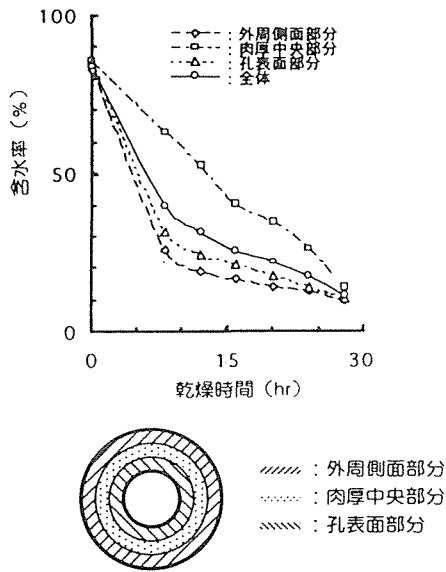
2. 貫通孔による水分傾斜の低減

芯持ち角材に製材した場合、スギ材のように心材部分の生材含水率が高いと内部の乾燥初期含水率が高いことになる。木材内部の水分は表面に移動して蒸散するが表面の蒸散速度に比べて表面への水分移動速度は極めて遅いため、内部の初期含水率が高いと内部まで乾燥させるには長時間を要し、乾燥が進行するに従い内部と表面部分の含水率の差（水分傾斜）が大きくなる。水分傾斜が大きいと表面部分の収縮の拘束も大きくなり、引張応力が大きくなる。しかし、孔あき材の場合には含水率が高い部分が一部取り除かれていることと孔表面からの水分の蒸散が期待できるため、半径方向の水分傾斜は芯持ち材と比較してかなり小さくなると思われる。そこで、乾燥中の孔あき材の半径方向の水分分布を測定し、水分傾斜とひずみの関係を検討した¹¹⁾。

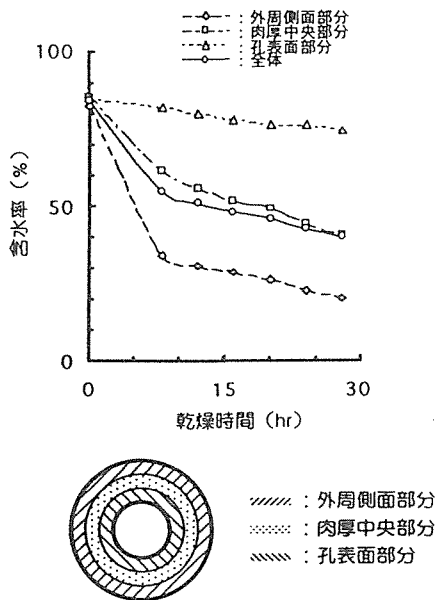
髓が中心でかつ心材部分のみが含まれる直径100mm、厚さ20mmで孔径40mmのスギ生材円盤を試験体とした。貫通孔からの乾燥による半径方向水分傾斜の低減効果を確認するため、試験体の木口面にはシリコンゴムを塗布した上にアルミ箔を貼付して試験体の厚さ方向に水分傾斜が生じないようにし、木口面のみアルミ箔で覆ったもの（孔あき材）と孔部分も覆ったもの（孔シール材）との2種類を作製し、温度80℃、関係湿度40%の条件で含水率約12%になるまで乾燥させた。

孔あき材においては、第4図に示すように外周側面と肉厚中央の間および孔表面と肉厚中央の間で大きな水分傾斜を示した。また、外周側面はJIS Z 2103に基づいて計測した全収縮率（無拘束状態の収縮率）よりも大きな全収縮率を示した。これは前述したフープ応力によるものと考えられ、これによって割れのない乾燥が可能であった。

一方、孔シール材においては、第5図に示すように外周側面の乾燥が局所的に進行し、その結果乾燥時間の延長と大きなV字割れを生じた。孔あ



第4図 含水率の経時変化 (孔あき材)



第5図 含水率の経時変化 (孔シール材)

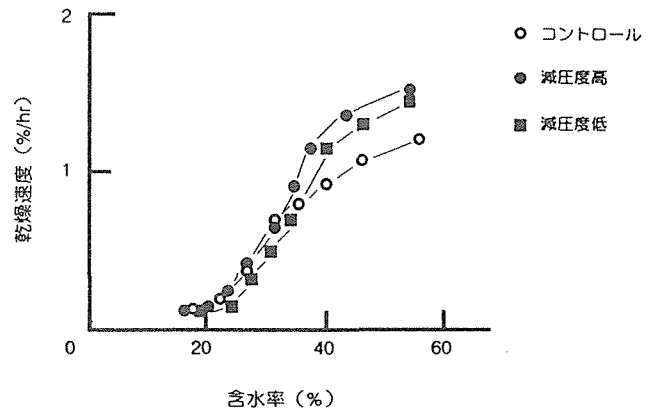
き材の乾燥において、長尺材の場合、長さ方向の中央では孔表面の乾燥は非常に少なく、孔シール材の乾燥条件と類似する。そこで、外周側面のV字割れを防止するためには、孔表面の乾燥を進行させる新しい乾燥方法の検討が必要である。

3. 孔内減圧乾燥

孔表面付近の乾燥を促進させるため、外周側面部分は従来の乾燥方法で乾燥し、貫通孔内は減圧して乾燥させることを試みた。試験体には、長さ

3000mm、直径100mm、貫通孔径52mmのヒノキ孔あき円柱材を用いてこの乾燥方法を検討した¹²⁾。まず、この試験体の貫通孔の両端をゴム栓によって封をし、一方のゴム栓にガラス管を差し込んだものを除湿乾燥機内に入れ、外周側面は低温除湿乾燥で、さらにこのガラス管から減圧して貫通孔内を乾燥させた。その際、乾燥割れに伴う孔内減圧度の低下を防ぐため、木口面はシリコンゴムで、外周側面の節はシリコンゴムとアルミ箔でシールした。試験体にヒノキを用いたことおよび外周側面の乾燥に低温除湿乾燥を用いたのは、この方法が一度に大量の材を乾燥させることが困難であると考えられるためであり、付加価値の高いヒノキ化粧柱の材色を変化させることなく迅速にかつ割れの発生がないように乾燥させることを目的としたからである。

この貫通孔内を減圧した試験体 (孔内減圧材) と同じ形状のヒノキ孔あき円柱材 (コントロール材) との乾燥速度の差異を第6図に示す。この乾燥方法において、乾燥初期の試験体の含水率が高



第6図 乾燥速度の比較

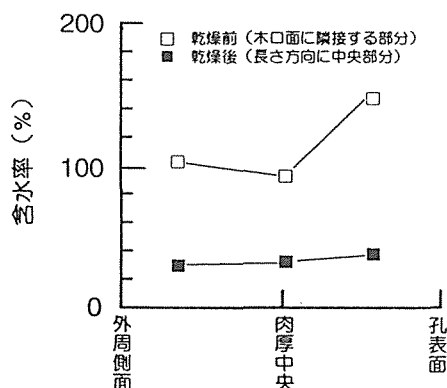
い時、コントロール材に比べて孔内減圧材の乾燥速度が大きかったが、含水率が低くなるに従い両者の乾燥速度の差は小さくなった。これは結合水を蒸散させるには熱エネルギーが必要であり、試験体の乾燥が進行し、結合水が多い状態になると低温除湿乾燥と減圧乾燥の組合せではその熱エネルギーが充分ではないためと考えられる。

また、孔内を減圧することによって乾燥中半径方向の収縮が増大し、外周側面の接線方向の残留ひずみが小さくなるという現象がこの乾燥方法で

は見られなかった。しかし、孔内を減圧することによって乾燥終了時の含水率傾斜は、特に長さ方向において小さくなった。このようなことから、孔内減圧乾燥は熱気乾燥と組み合わせるとさらに効果的な乾燥方法となることが考えられる。

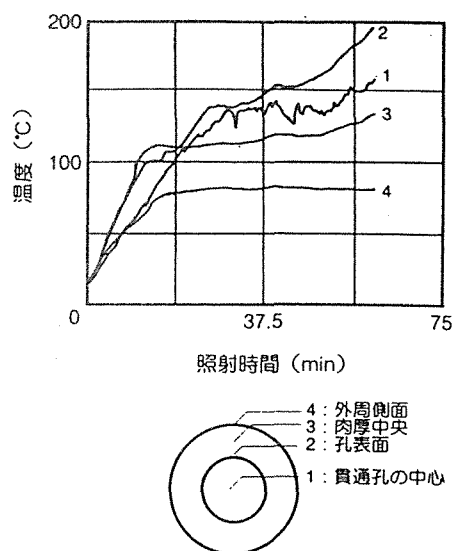
4. マイクロ波乾燥

マイクロ波を木材に照射すると表面よりも内部が加熱されて内部から乾燥する。このことを利用して、通常の乾燥方法では乾燥が困難な孔あき材の肉厚中央部分や表面部分を乾燥させることを試みた。直径120mm、孔径40mm、長さ440mmの孔あき材に出力2kWのマイクロ波照射を行って乾燥させ、その際の孔あき材の水分傾斜を測定した¹⁵⁾。その結果の1例を第7図に示す。



第7図 マイクロ波乾燥後の水分傾斜

マイクロ波によって孔あき材を乾燥させることにより、孔表面部分の乾燥が最も進行した。このことは、第8図に示すようにマイクロ波乾燥中の孔あき材の外周側面、肉厚中央部分、孔表面、貫通孔の中心部分の温度を測定すると孔表面部分が最も高温になることに起因すると思われる。孔表面はマイクロ波の電界強さが外周側面とほぼ同程度であり、そのため同じようにマイクロ波加熱されるが、まわりを断熱性のよい木材で囲まれているため外周側面ほど熱放射で冷やされることがなく、その結果孔表面の温度が最も上昇したものと考えられる。前述したように孔あき材を割れなく乾燥させるためには、孔表面の乾燥を進行させる必要があり、そのための方法としてマイクロ波乾燥が有効であると考えられる。

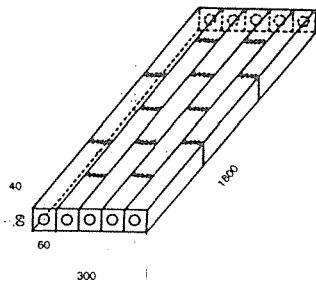


第8図 マイクロ波乾燥中の温度変化

5. 孔あき材の利用

断面2次モーメントを考えると、芯持ち材を孔あき材にした場合の曲げ剛性の低下は小さい(100mm角に40mm径の貫通孔を設けた場合、断面2次モーメントの低下は約1.5%)。しかも、木口面の中心部分となる髓付近は未成熟材部分が多く、密度が高くて強度が小さい部分であるため、貫通孔を設けることによる曲げ強度低下はさらに小さくなる。したがって、孔あき材を長柱や梁材として利用する場合、貫通孔径がさほど大きくなければ強度的な問題はない。しかし、貫通孔を設けることによる短柱縦圧縮強度や横圧縮強度の低下は大きいと考えられる。さらに、接合についても従来の継手・仕口の形状を加工するのは困難な場合があるため、接合部の形状については検討が必要である。現在、貫通孔を利用したダボ接合について検討中である¹⁶⁾。

これら一連の研究が間伐小径材の利用方法の開発からスタートしたため、当初は孔あき材を縦継ぎ・幅はぎしてパネル化し、木造住宅の床材・壁材・屋根材としての利用を検討した。60mm角、長さ650mmで貫通孔径40mmのスギ・ヒノキ孔あき材をフィンガージョイント加工により縦継ぎし、次に幅はぎして第9図に示すパネルとし、曲げ試験を行った。その結果を第1表¹⁾に示す。スギ・ヒノキ素材の文献値¹⁷⁾との比較になるが貫通孔を設け

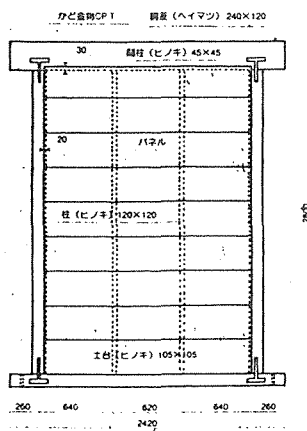


第9図 パネルの形状

第1表 パネルの曲げ強さおよび曲げヤング係数

樹種	試験体数		比重	含水率 (%)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 (×10 ³ kgf/cm ²)
スギ	11	最大	0.37	17.1	559	94.2
		最小	0.27	15.7	335	66.4
		平均	0.32	16.6	389	75.1
ヒノキ	9	最大	0.41	16.8	475	107.2
		最小	0.34	16.4	392	89.2
		平均	0.38	16.6	427	98.9

ることによる曲げ強度の低下は認められない。さらにこのパネルを柱・胴差・土台に組み込み、第10図に示す耐力壁を作製し、JIS A 1414 (1973) に準じた耐力壁の水平せん断試験を行った⁹⁾。その結果、壁倍率¹⁰⁾はスギのパネルを用い



第10図 耐力壁の構成

た耐力壁で3.40、ヒノキのパネルを用いたもので3.21となった。したがって、このパネルを用いた木造耐力壁は、軸組工法の耐力壁として用いることができる。

6. まとめ

芯持ち材の木口面に長さ方向に貫通する孔を設けて乾燥させると乾燥速度が向上し、かつ割れの発生が少なくなる。さらにこの乾燥方法がスギ材にとってかなり有効な方法であることについて述べた。長尺の貫通孔を短時間に設けることが可能になったことにより、この乾燥方法の実用化の可能性が高くなった。完全に実用化されるためには、孔あきの特徴を生かした実用的な乾燥スケジュールの確立が必要であり、現在研究開発中である。

引用文献

- 1) 信田聡：木材工業，49，14 (1994)
- 2) たとえば三好誠治，村口良範：第46回日本木材学会大会研究発表要旨集，156 (1996)
- 3) たとえば久保健，他2名：第46回日本木材学会大会研究発表要旨集，164 (1996)
- 4) 金川靖，他3名：木材工業，46，468 (1991)
- 5) 小林好紀，他2名：第41回日本木材学会大会研究発表要旨集，370 (1991)
- 6) 津山睦生，他5名：第44回日本木材学会大会研究発表要旨集，521 (1994)
- 7) 西村勝美，千葉保人：わかりやすい林業解説シリーズ，間伐材の加工利用のマニュアル，財団法人林業技術振興所，p.37～38 (1984)
- 8) 山田範彦，他2名：木材工業，42，360 (1987)
- 9) 山田範彦，他2名：木材工業，44，320 (1989)
- 10) 山田範彦，森光正：木材工業，51，396 (1996)
- 11) 山田範彦，谷口義昭：材料，47，368 (1998)
- 12) 山田範彦：木材工業技術短信，10，1 (1992)
- 13) 山田範彦：木工機械，168，10 (1995)
- 14) 北原覺一：実用木材加工全書別巻，木材物理，森北出版，p.40 (1977)
- 15) 山田範彦，他2名：第40回日本木材学会大会研究発表要旨集，93 (1990)
- 16) 山田範彦：兵庫森林技センター研究報告，44，26，(1977)
- 17) 林業試験場監修：木材工業ハンドブック改訂3版，丸善，p.188～189 (1982)
- 18) 日本建築学会編：建築耐震設計における保有耐力と変形性能，丸善，p.40～43 (1981)

(1998.8.10受理)

10.7 木材乾燥副生精油の特徴とその利用法 (従来法精油との比較)

(キセイテック) ○東 昌弘、鍋島 敏雄
(小林技術研究所) 小林 健郎

1) はじめに 木材が乾燥する過程で揮散する精油は、適当な条件下で回収が可能と予想され、現に小林ら¹⁾はヒノキ柱材の人工乾燥(除湿乾燥)で得られたヒノキ精油の特徴について報告している。また乾燥の現場では、乾燥室内やその周辺で強い木香臭やドレンに精油の滞留することが日常的に観察される。

樹木精油はその独特の芳香が利用されるだけでなく、種々の生理活性を持つため、抗菌剤・防ダニ剤・医薬化粧品原料に用いられる²⁾が、最近とみにホルムアルデヒド等の VOC 発生を抑制した健康住宅が求められる見地から、精油の示す室内環境浄化能力(脱ホルムアルデヒド、脱臭、除菌)に強い関心が寄せられている。

演者らは、バイオマスとしての樹木を総合的に利用する立場から、人工乾燥時に排出され廃棄される揮発物(精油や樹木水)は、それぞれの樹木の生理活性および官能的性質を特徴づける重要な因子であると考え、これらを可能な限り回収し再利用するための検討を行っている(木材乾燥低コスト化技術研究組合:林野庁)。

2) 目的 今回の検討では、上記小林らの報告をふまえ、精油製造の常法である水蒸気蒸留法による精油と、除湿乾燥及び熱板加熱減圧乾燥による回収精油の組成及び生理活性面での性質の相違を比較するとともに、乾燥条件が回収される精油の物性に及ぼす影響を明らかにし、それぞれの精油の特徴に沿った利用面の可能性についても検討することを目的とした。

3) 方法 1.除湿乾燥機でヒノキ角材を乾燥する Y 社、および熱板加熱減圧乾燥機でヒノキ単板を乾燥する D 社の現場設備から回収精油を採取し、操作条件との関連を調べる。

2.それぞれの回収精油のガスクロ組成をはじめとした諸物理物性を測定し、抗菌性・防ダニ性・防蟻性などの生物活性を調査する。

4) 結果 得られた結果の一部を下表に示した。 <表> 各種精油と GC 組成

	精油の製法	原料	油性状	ガスクロ面積 (%)			ガスクロにおける主成分名と GC 組成比
				モノテルペン	セスキテルペン	含酸素セスキテルペン	
現場乾燥	除湿乾燥	角柱	黄褐	5.8	73.5	20.7	δ -cadinene(40.0), α -muurolene(12.3), α -cadinol(7.1), α -pinene (5.8)
	熱板加熱減圧乾燥	単板	黒褐	66.4	32.4	1.2	α -pinene (64.3), δ -cadinene(20.1), α -muurolene (6.2), α -terpineol(3.8)
コルベン実験	乾燥実験①	30年生植林ヒノキ	淡黄	58.4	37.0	4.6	β -pinene(39.6), δ -cadinene(21.2), α -pinene (7.8)
	乾燥実験③		淡黄	-	60.1	39.9	δ -cadinene(40.8), α -cadinol(17.2), α -muurolene(11.4), T-cadinol(11.2)
	溶剤抽出		褐色	19.7	43.1	37.2	δ -cadinene(25.3), α -pinene (19.7), α -cadinol(16.5), T-cadinol(8.4), α -muurolene(7.3),
現場水蒸気蒸留	B社	天然枝末	淡黄	29.3	58.0	12.8	δ -cadinene(33.3), α -pinene (29.3), α -muurolene(8.8), α -terpineol(5.8)
	P社	植林芯材	褐色	7.9	55.4	12.8	δ -cadinene(30.8), α -cadinol(13.2), T-cadinol(8.4), α -muurolene(8.3), α -pinene (7.4)
	A社	植林間伐	淡黄	12.2	54.4	33.4	δ -cadinene(29.0), α -cadinol(12.1), α -pinene (11.6), α -muurolene(8.3),
	M社	植林間伐	深赤	2.4	61.5	36.1	δ -cadinene(34.6), α -cadinol(11.9), α -muurolene(9.3), T-cadinol(8.4)
	S社	?	淡緑	81.2	12.4	6.4	α -pinene (78.1), δ -cadinene(7.8), α -cadinol(3.1), α -muurolene(2.3)

1) 小林、吉崎、谷田貝; 日本木材学会(第45回大会1995)発表要旨集、606p.

2) 樹木抽出成分利用技術研究組合、平成元年～(林野庁)

11 乾燥コスト

11.1 建築用木材の乾燥コスト

森林総合研究所 久田卓興

はじめに

木材利用にとって乾燥は避けられない処理である。樹木の生育過程で必要とされた水分は、木材が利用される際にはもはや不必要なもので、これがあると色々不都合なことが生じる。例外として乾燥の必要がないのは、木材が水中で使われる時のように使用中に水分が減少して行かない場合である。ただし、この際には木材が腐朽しないような対策が必要である。木材乾燥の主たる目的は水分を取り去ることによって、木材が長期にわたって安定した性能を維持できるようにすることであり、言わば最も基本的な耐久性向上処理の一つである。

乾燥処理の方法としては屋外に一定期間放置して自然に含水率を低下させる天然乾燥法と、人工的に熱を与えたり圧力を変えたりして乾燥する人工乾燥法とがあり、処理コストは当然後者の方が高い。このため、現在でも人工乾燥をしないで天然乾燥のみにたよっている例は多い。しかし、天然乾燥で木材を目的どおりに乾燥するには限界があって、樹種や寸法形状によってはその間に大きな割れや狂いが発生したり、変色、虫害などがおこる。これに対し人工乾燥では、コストを別にすれば、ほとんどの場合こうした問題を解消することが技術的には可能である。ただし、乾燥コストの合わない乾燥方法は実際には応用出来ないため、結果的に未利用材として放置されている木材資源は多い。我が国の主要樹種であるスギや、かなり蓄積の多いシイ、カシ類なども同様な悩みをかかえている樹種であるが、このことを考えると、将来の国内木材資源の利活用にとって乾燥コスト問題が大きな障害になることが懸念される。そのため、ここでは国産材の建築への利用を中心に、乾燥コストの問題を考えてみることにする。

1. 木材乾燥をとりまく環境

我が国における木材の人工乾燥の歴史は、戦後の広葉樹材の家具への利用を契機として始まり、これまで広葉樹材を中心に進歩してきた。その結果、広葉樹材の乾燥については技術的にも工業的にも一応の成熟期を迎えていると言えよう。ただし、最近では広葉樹資源の枯渇から利用樹種が広まる傾向にあり、乾燥技術の面では別の新たな解決すべき問題が生じてきている。

最近10年間に於ける大きな変化としては、建築用針葉樹材の乾燥需要の増加があげられる。従来、建築用材と言えば大工が長期間寝かせた、いわゆる天然乾燥材が用いられてきたが、最近では人工乾燥材あるいは輸入KD材の需要が増えてきている。この理由として、

- ① 建築構法の変化に伴って乾燥材が要求されるようになった。

(枠組壁工法, プレハブ構法, プレカット加工)

- ② 壁、内装工事の方法が多様になり、収縮、狂いに関する消費者のクレームが増加してきた。

3. 乾燥コストに影響をおよぼす諸要因

乾燥コストを考える際の要素としては、乾燥設備費、乾燥日数、エネルギー消費、人件費があげられるが、これらは被乾燥材の樹種、材種、仕上げ含水率、品質など多くの要因によって影響を受ける。以下、要素別に検討を加える。

(1) 乾燥設備費

乾燥設備としては乾燥室、ボイラー、天乾施設のほか棧積み、運搬、品質管理などにかかわる諸設備が必要である。主要設備の費用はおよそ表-1に示すとおりであるが、もちろん設備規模が大きくなればスケールメリットが生じ、相対価格は低下する。ただし、小型の装置を複数設けた方が良いか、大型装置が良いかは乾燥する材の種類や用途、すなわち製品の品質によって変わってくる。諸外国の乾燥設備は概して大型であるが、我が国では品質重視の立場から収容材積が約15~20m³と比較的小型のことが多い。

表-1 乾燥設備の種類と設備費

	蒸気式	除湿式	高周波加熱減圧式
収容材積	20 m ³	30 m ³	15 m ³
装置数	4	5	2
乾燥日数(平均)	8日	15日	3日
乾燥量(月間)	300 m ³	300 m ³	300 m ³
設備額(装置) // (ボイラ)	40,000千円 15,000千円	60,000千円	90,000千円
収容材積あたりの 設備額(円/m ³)	690千円	400千円	3,000千円

(2) 使用エネルギーの種類

装置によって使用エネルギーが異なり、蒸気式では電気のほかボイラ燃料用に木屑、灯油、重油などが用いられる。また、除湿式、高周波加熱減圧式では主として電気が用いられる。単位保有熱量に対するエネルギーコストは表-2に示すように木屑が最も安く、廃材が排出される木材工場ではこの有効利用が乾燥コスト低減の鍵を握っている。しかし、木屑燃料の利用にはボイラ関連設備費の増大や、作業員の確保、公害問題などいくつかの問題がある。これに比べれば電気や石油系燃料ははるかに使いやすいため、最近はこのを使うことが多く、この方がかえって経済的な場合も少なくない。

(3) 操作員および作業員

乾燥装置の操作や管理に必要な人員の数はどの装置でもほとんど同じであるが、蒸気式や減圧式のように乾燥条件を幅広く変えることが出来る装置にはそれ相当の優れた技術者をおく必要がある。また、ボイラ設備にはこれに加えて一定の資格を持ったボイラ技師の設置が義務づけられている。ただ

表-2 各種エネルギーの単価

燃料の種類	単 価		燃料の種類	単 価	
	KWH・kg当り	×10 ⁴ kcal当り		KWH・kg当り	×10 ⁴ kcal当り
木屑(15%)	3 円	12 円	灯 油	40 円	45 円
“ (50%)	3	16	電 気	18	209
A 重 油	30	35	電 (ヒートポンプ)	18	70

ボイラー効率：木屑70%，A重油，灯油85%として，電気（ヒートポンプ）は成績係数3.0として計算。

し、小型の貫流ボイラはこれが免除され、蒸気発生量1,500kg/hrくらいまではこれに対応できるようになってきたため、最近ではこれを使うことが多くなっている。このほか意外に大きなウエイトを占めるのは棧積み作業のための人件費で、今後は自動棧積み機の導入などを考えていく必要がある。

(4) 乾燥日数

乾燥日数は乾燥装置の種類や乾燥の仕方によって異なり、どんな材をどのような品質に仕上げるかで決まる。すなわち、樹種の違い、材の厚さ、断面寸法など木取りの違い、一般材、構造材、高級材、ラミナ用材など用途の違い、そして仕上げ含水率、材色の好みなどによっても異なる。表-3は建築用材の標準的な乾燥日数であるが、乾燥日数の長短は直接的に乾燥コストに影響するため、適正な条件で操作することによって極力短時間で仕上げるようにすることが大切である。

表-3 乾燥方法、材種と乾燥日数

乾燥方式	材種	ス ギ			ヒ ノ キ			ベ イ ツ ガ		
		25%まで	20%まで	15%まで	25%まで	20%まで	15%まで	25%まで	20%まで	15%まで
天 然	正角	60	120		20	40		60	120	
	平割		30	60		15	30		30	60
除 湿 (35~45℃)	正角	17	23		8	11		12	16	
	平割		7	9		3	5		8	10
蒸 気 (60~70℃)	正角	11	15		6	8		9	12	
	平割		5	6		3	4		6	7
高周波減圧	正角	5	7		2	3		3	4	
	平割		3	4		2	2		2	3

材種：正角（10.5cm角）、平割（4.5cm厚）
仕上げ含水率：高周波式含水率計による

4. 乾燥材の生産コスト試算例

通常の乾燥処理による場合は、乾燥所要日数が判ればおおよそその乾燥コストを推測することが可能である。図-1は乾燥日数から乾燥コストを求める図で、これから乾燥コストの概算額を知ることが出来る。

これよりさらに精度の高い計算をするには、装置の種類や規模に応じて予想される経費を実測値等を用いてはじき出す必要がある。ヒノキ、スギの建築用材について乾燥コストを試算した例を後で示すが、その算定基礎は表-4のとおりである。

乾燥方式として除湿式、蒸気式、高周波加熱減圧式の3つを考えたが、このうち高周波加熱減圧式はあまり一般的ではない。乾燥室の収容材積は普通は板材を標準としているため、除湿式と蒸気式では実材積がやや多く見積られている。設備の償却は7年、残存価格を15%として計算し、維持費は償却費の20%を見込んだ。人件費については材の栈積み、積み下ろしの人手と、装置の操作員およびボイラマンが必要になるが、木屑炊きボイラの場合のみボイラマンを平均して1人使う計算とし、操作員と兼務させることにした。ただし、この想定にはやや無理があり、木屑炊きの場合もう少し規模が大きくなると成り立ちにくい面がある。直接費としては電気および燃料代を1カ月当りの平均的な利用実績から求め、これを計上した。乾燥経費としてはこのほか土地や建物、金利の計上が必要であるが、不確定要素が多いためここでは除外した。原材料である木材の金利は少ないが、設備費に関しては償却費の30~50%の金利を別途見込んでおく必要がある。

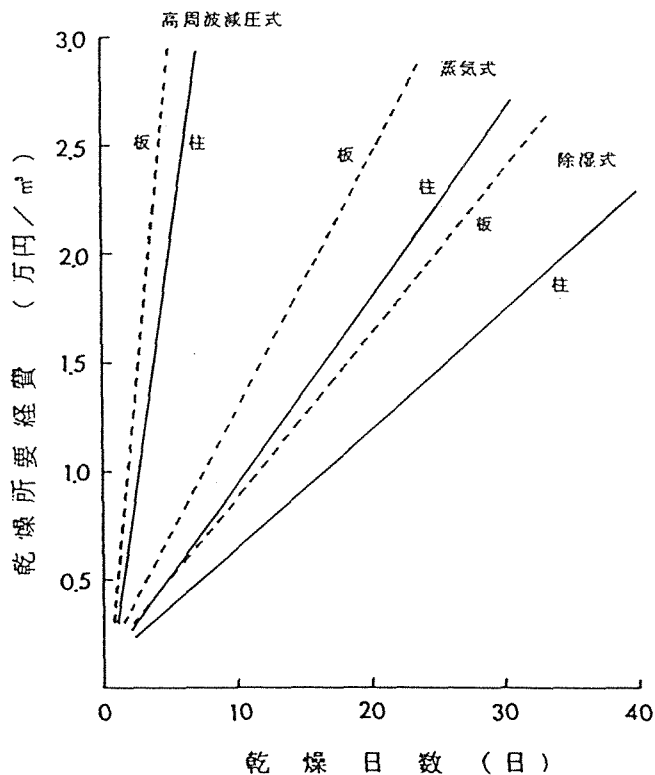


図-1 乾燥方法、材種別の乾燥コストの概算額

表-4 乾燥コストの算定基礎

乾燥方式 (実材積)	除湿式 50石入 2室 (38 m ³)	蒸気式 50石入 2室 (38 m ³)	高周波減圧式 50石入 1室 (14 m ³)
設備費 乾燥室 ボイラー 償却 維持費	1800万円 18.2万/月 3.6万/月	1800万円 (木屑) 800万円 (貫流) 500万円 26.3万/月 23.3万/月 5.2万/月 4.7万/月	4500万円 45.5万/月 9.1万/月
人件費 積み下ろし 操作員	4万/回, 2人×2日/回 9万/月, 30万×0.3人	4万/回, 同左 35万/月, 1人	4万/回, 同左 9万/月, 同左
直接費 電気	(kw/月) ファン 3000 除湿機 5500 (スギ) 3200 (ヒノキ) ヒーター 5800 (スギ) 2900 (ヒノキ)	(kw/月) ファン 5800 ファン (ボイラ用) 2200	(kw/m ³) スギ 35%まで 750 20%まで 950 ヒノキ 25%まで 150 20%まで 240
燃料		木屑 (ton/月) 重油 (ton/月) スギ 29 スギ 7.0 ヒノキ 20 ヒノキ 4.9	

但し、電気 18円/KWH 重油 30円/ℓ 木屑 3000円/ton

表-5 ヒノキ心持ち柱材 (12cm角) の乾燥コスト

乾燥方式	含水率範囲 (%)	背割り	乾燥日数 (日)	月産 (m ³)	乾燥経費 (円/m ³)			
					直接費	人件費	設備費	計
除湿 (35-45℃)	35-25	有	9	127	1,400	1,800	1,700	4,900
	35-20	有	12	95	1,800	2,000	2,300	6,100
	35-20	無	18	63	2,700	2,500	3,400	8,600
蒸気 ¹⁾ (45-55℃)	35-25	有	7	163	1,900	1,600	1,700	5,200
	35-20	有	9	127	2,400	1,800	2,200	6,400
	35-20	無	15	76	4,100	2,200	3,700	10,000
高周波減圧	35-25	有	2	209	2,800	1,200	2,600	6,600
	35-20	有	3	139	4,500	1,400	3,900	9,800

仕上がり品質：木口割れが材長の5%以下

1) 燃料、重油、貫流ボイラ使用

表-6 スギ心持ち柱材(12cm角)および平割材(48mm厚)の乾燥コスト

乾燥方式	材種	含水率範囲(%)	乾燥日数(日)	月産(m ³)	乾燥経費(円/m ³)			
					直接費	人件費	設備費	計
除湿 (35-45°C)	正角	100-35	18	95	4,100	2,500	3,500	10,100
		100-20	28	61	6,400	3,300	5,400	15,100
	平割	100-18	11	125	4,100	2,000	2,600	8,700
蒸気 ¹⁾ (60-70°C)	正角	100-35	12	95	4,000	2,000	2,900	8,900
		100-20	19	60	6,200	2,600	4,600	13,400
	平割	100-18	7	128	3,400	2,000	2,200	7,600
蒸気 ²⁾ (60-70°C)	正角	100-35	12	95	2,600	4,800	3,300	10,700
		100-20	19	60	4,200	6,800	5,300	16,300
	平割	100-18	7	128	2,200	4,000	2,500	8,700
高周波減圧	正角	100-35	5	83	13,700	1,800	6,500	22,000
		100-20	7	60	17,400	2,200	9,200	28,800
	平割	100-18	3.5	120	12,700	1,500	4,500	18,700

正角は背割り材、仕上がり品質 JAS 1等

1) 燃料、重油、貫流ボイラ使用 2) 燃料、木屑

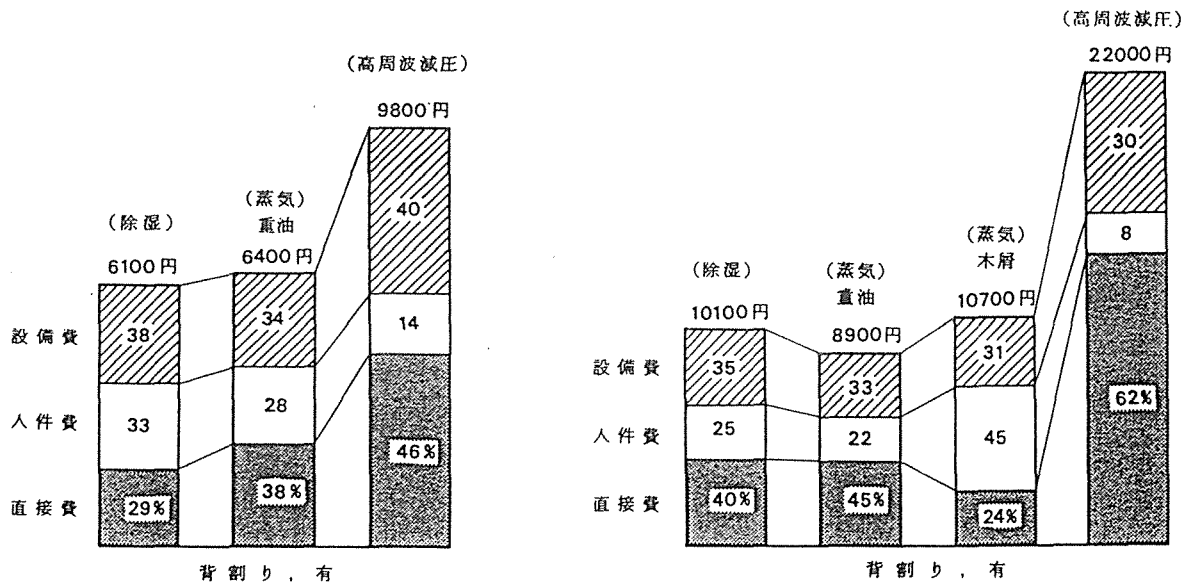


図-2 ヒノキ柱材(12cm角)の乾燥コスト内訳
含水率20%仕上げ

図-3 スギ柱材(12cm角)の乾燥コスト内訳
含水率35%仕上げ

第5章 水分管理及び品質管理

1 含水率測定、水分管理

1.1 含水率計

森林総合研究所 黒田尚宏

1. 木材含水率計の条件

木材の含水率を計測するには、全乾法を用いるのが基本で、しかも正確である。しかし、木材生産から利用に至る様々な加工プロセス、例えば①丸太や製材品の乾燥、②各種木質材料の製造ライン、③家具・住宅部材の含水率管理においては、全乾法の適用が困難な場面が多い。このため、木材性質の含水率による変化を利用して、様々な指標を応用した含水率計が開発され、木材加工・利用の現場で活用されている（第1表）。

1930年代に電気抵抗式含水率計が実用化されて以来、使用目的に応じたいろいろな原理や方法が考案されてきた。しかし、水分検知が可能であるとしても、その原理・方法の全てが木材含水率計に應用されてきたわけではない。含水率計として認知されるためには、①全乾法との含水率の相違が小さいこと（測定精度）、②現場での測定ができること（環境の影響）、③操作が簡単であること（操作性）、④安全であること（安全性）、⑤安価であること（経済性）などの条件を、使用目的や使用環境に応じてクリアすることが必要なためである。

第1表に示したように、近年様々な方式の含水率計が市販されるようになったが、木材工業においては電気式の含水率計が依然主流である。なかでも、回路の簡易さと経済性から、直流抵抗式と高周波容量（誘電）式が広く用いられ、測定対象によってハンディタイプとライン方式のものが使い分けられている。

第1表 実用化されている含水率計とその対象材

形式	ハンディタイプ	ラインタイプ
直流式	製材一般	合板用単板
高周波式	製材一般 住宅部材 集成材用ラミ	構造用製材 合板用単板
マイクロ波式		構造用製材
赤外線式		パーティクル パーティクル

2. 電気式含水率計

直流からGHzオーダーのマイクロ波に至る電場中に置かれた木材の電氣的応答は含水率の変化に対して極めて敏感である。この特性を利用した電気式の含水率計は、目的によって様々な電極配置が可能であり、どのような電氣的指標、周波数および回路を含水率計に採用するかは、対象材の形状、求められる精度、製造コスト、利便性などによって選択することができる。ちなみに第2表には、電気式含水率計の特徴を示している。

(1) 直流式含水率計

結合水領域での木材直流抵抗の含水率依存性は極めて大きいので、市販されているこの型の多くが含水率30%以下の測定を対象にしている。比重による影響は比較的小さいが、温度と樹種による影響が大きいため、これらの補正が必要である。電解質の影響も顕著であるため、過度の塩分等を含む材には使用できない。

一般に、ハンディタイプの計器では打ち込み式の針状電極を検出部に使う。乾燥過程における含水率の材内分布を検知することにも応用できるが、温度・木理・水分勾配などの影響によって再現性に難がある。また、合板単板の乾燥度をモニターするには、回転式の針状電極を用いるなど、目的に応じて様々な検出方法を適用できる。

(2) 高周波式含水率計

周波数は数十kHz～MHzの周波数における木材の電気容量（誘電率）や抵抗が水分によって変化することを利用する。したがって、原理的には結合水領域から自由水を含む高含水率域に至る広い含水率範囲において有効である。測定値への温度による影響が小さい反面、容量成分への比重の影響が大きいため、比重による補正が技術上の課題である。ハンディタイプの電極には、押しあて式平板電極が用いられるが、電気力線の深度（試料厚さ）によって測定値が影響され、水分勾配がある場合には検出部位の平均もしくは低めの含水率となる。このため逆に、電場の強さや電極間隔を変化させるなど、電場の与え方の工夫によって

材内での含水率の不均一性を評価することもできる。直流抵抗式と異なり、対象材と電極との強い接触を必要としないので、ラインでの連続測定にも活用しやすい。高周波抵抗式も単板含水率測定用に実用化されており、目的に応じて容量測定と抵抗測定の使い分けが可能である。

(3) マイクロ波含水率計

1~30GHzの電磁波はマイクロ波と呼ばれ、水分によって熱損失として吸収されるエネルギーが極めて大きいことを利用するものである。導波管を使った透過型の含水率計が単板や製材品の測定に実用化されているが、製材を対象とする場合には測定含水率と寸法が限定されることになる。他方、検出部と対象材の接触は必要ないので、ラインでの測定に活用しやすい。

第2表 電気式含水率計の特徴

方法	測定含水率	要補正因子	対象材の板厚	検出部の接触	経済性
直流抵抗	低	温度/樹種	薄	厳要	◎
高周波	低~高	比重	任意	緩要	○
マイクロ波	低	比重	薄	不要	△

3. 電気式含水率計の限界

木材の電気抵抗や誘電率などの電氣的指標の多くは単位体積当りの水分量によって決定される。したがって、全乾状態での木材比重が異なる場合は、たとえ含水率が同一の材であっても、含水率計の表示は異なることになる。また、生材や乾燥後間もない乾燥材の水分は材内で様に分布しているわけでもない。したがって、検量線を基にした含水率計の測定精度にはクリアできない限界があるが、測定対象材の条件（樹種、寸法、比重、辺心材、含水率、水分勾配、乾燥履歴など）と与える電場の条件（電極配置、周波数、電圧、電場深度など）とを整合させることが、電気式含水率計の精度を高めることになる。

4. 乾燥材需要と含水率計

針葉樹建築用材の含水率測定を目的として、平成3年に（財）日本住宅・木材技術センターによって電気式含水率計の性能規定が行われ、構造用製材の日本農林規格（JAS）の運用に広く利用されるようになった。現在認定されているのは高周波式ハンディタイプの3機種で、高周波木材水分計MOCO-2（㈱ケット科学研究所・HM-520）、高

周波木材水分計WAKARL-S（フソー㈱・FSK-118）、およびCSA高周波木材含水率計（㈱エーデス機械産業・DELTA-5）である。この認定事業は、単に含水率計の普及だけでなく、二次的に乾燥材普及の一助ともなった。

最近、乾燥された針葉樹製材の普及が進むにつれ、住宅建築においてはより良質な乾燥材への指向が生じ、乾燥材供給サイドには出荷する乾燥材の含水率基準を保証する責任が生じている。良質な乾燥材生産とその需要は、含水率勾配が生じやすい断面の大きな構造用乾燥製材に対するより精度の高い含水率計の需要と連携しており、その開発と普及が今後の課題である。また、仕分け（等級付け）の省力化と迅速化のためにはライン方式の含水率計が必要であり、製材用についても高周波式とマイクロ波式のものが出販されるようになった。今後も、増加が期待される乾燥材需要を背景に、木材含水率計の普及・開発が進展するものと考えられる。

今後の展望・動向

今後住宅部材の性能規定化に基づいて、建築材料の性能保証が進むと同時に、製材含水率の規定化も進むものと予想される。一方、国内針葉樹製材の乾燥比率は高まる傾向にある。したがって、丸太・生材選別のための生材含水率の測定技術や構造用乾燥製材の仕上げ含水率を精度よく測定するためのセンサー技術の向上とともに、木材含水率測定への含水率計の活用がますます進むものと考えられる。

参考文献

- 1) 上村武、木材の水分とそのはかり方、林野庁（1954）
- 2) 星合正治、電気式水分計、日刊工業新聞社（1960）
- 3) 日本木材加工技術協会関西支部、木材用水分グレーダーの開発研究会報告書（1990）
- 4) 日本機械学会編、湿度・水分計測と環境のモニタ、技報堂出版（1992）

（執筆者名：黒田尚宏）

1.2 高周波式含水率計の測定精度について

齋藤 周逸 (森林総研)

I はじめに

現在、国内において木造建築の構造材は針葉樹であり、このなかで国産材はスギ、ヒノキが主たる樹種である。国産材全体の供給率が低下している中で、主要樹種であるスギの供給量は、戦後植林されたものを中心に増加している。

近年、建築用木材は木造住宅の質の向上、工期短縮、プレカット化等の情勢から高品質化が望まれている。一昨年「構造用製材のJAS」が制定され、建築用針葉樹の乾燥規程、すなわち含水率の値が明確化された。しかし、この含水率の測定方法は全乾法のために容易とは言えない。

全乾法に代わる方法としては含水率計が考えられる。木材の水分状態を測定するには重量、電気、振動、熱等が可能な物理量として様々な方法が提言されている^{1,2)}。ここで、簡便性、安全性、経済性等を兼ね備えると高周波容量式の含水率計が現在最も一般的とされる。

ここでは高周波容量式含水率計を用いてスギ柱角材の含水率を測定し、全乾法で求めた含水率と比較することで含水率計の精度を検討した。現在のところ柱材のような厚材の精度は明らかにされていない。

II 試験方法

試験材は栃木県大田原市の製材工場から購入したスギ角材で、断面寸法は114×114mm、材長を2mとした。

測定に用いた含水率計はKett科学社製IM-520 (MOC0-2)を使用した。この機種仕様は高周波容量式、使用周波数20MHz、極板間40mm、測定深度は40mmであった。測定時の各補正値は樹種：スギ、厚さ：40mm、水分補正：0%、温度補正：AUTOとした。

柱材は製材後の未乾燥状態から高周波減圧乾燥を行い、室内に放置した。含水率計による測定はそれぞれの場合で随時測定した。この測定値は柱材の予め決められた場所で各面の平均を求めた。また、全乾法の値は人工乾燥終了後および測定終了時に含水率計の測定箇所から試験片を切断し求めた。含水率分布はその側近の試験片断面を25分割することから求めた。

III 結果と考察

図-1は全乾法の含水率と含水率計の測定値の関係で

ある。相関係数は0.90であったが、生材状態に近い高含水率域では測定誤差が大きかった。回帰線からみると含水率計による測定値は20%以上で低めにでる傾向がみられた。

構造用製材のJASは乾燥材の基準を25%以下、20%以下、15%以下と3段階に定めている。国内において針葉樹材の人工乾燥技術は現在発達中の段階であり、特にスギ材の場合は初期含水率が高いために乾燥時間がかかり材価に反映しない等の経済的な問題がある。したがって、スギ材では乾燥材と認められる最低限の含水率25%をクリアすることが求められている。

図-2は含水率計の値が乾燥材として認められる25%以下と示される範囲で全乾法含水率を2%刻みで表したものである。表-1は全乾法含水率とそのときの含水率計の値である。全乾法の値から含水率計の値を比較すると、各含水率の平均値は全乾法に近い値が示された。

次に実用的な観点から含水率計の測定値から全乾法の含水率を比較する。図-3は含水率計で25%以下、20%以下、15%以下をクリアした全乾法の含水率頻度分布である。このときの含水率測定値を表-2に示す。ここでも平均値は合ったが標準偏差は表-1に示された値より大きく、実用的な面で含水率計の精度は良好な結果が得られなかった。含水率計20~25%の範囲で全乾法含水率25%以下を達成した数は全体の65%であった。

これらの誤差は、比重、測定深度が影響していると考えられる。高周波容量式の含水率計は木材の含水率と誘電率の間に相関関係がみとめられることを原理としている³⁾。木材には各個体間で材質のバラツキがあり、比重に関しても一樹種の中でバラツキがみられる。スギの場合含水率15%の材を含水率計で測定したとき、比重0.4~0.6の間で4.5%の差が生じるといわれている⁴⁾。図-4は今回使用したスギ供試材の気乾比重分布である。平均比重0.42は一般的な値(0.34)より高かった。含水率計はあらかじめ比重補正を行うが実際に測定する材の比重が補正值よりも高い場合には高い含水率の値を示し、逆の場合は低めに表示する。図-2で全乾法含水率より上下に誤差が生じたのは比重の影響と考えられる。

Shuetsu SAITO (For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305)

The accuracy of moisture meter on sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) 114 × 114mm lumbers

図-5は高周波減圧乾燥直後の試験材の中から含水率が表-2に示した平均値±標準偏差内の平均断面含水率分布である。柱材は断面に含水率傾斜をつけながら乾燥が進み、このことは高周波減圧乾燥でも同様の傾向がみられた。この図からみられるように含水率計は柱材中心部の含水率まで測定できず、実際の含水率よりも低い値を示したと考えられる。したがって、全体的に含水率計の値が低めに表示されたのは測定深度の影響と考えられる。各図とも下側部分の等含水率線が中央部に入り込んでいるのは背割りの影響があったと考えられる。

図-6は含水率計の値が乾燥材の基準値である25%以下でも内部含水率が100%を超えていた断面含水率傾斜の例である。辺材部分の多かった図の右および下の各辺では低い含水率を示していた。スギ柱材は断面に辺材部分を多く含む場合が一般的である。この辺材部分は乾燥が速く進むため低含水率になると空気層ができ高周波電界を妨げたとも考えられる。

このような測定深度の影響から、一試験体の測定各面のデータにもバラツキが認められた。今回の各面の平均値で全乾法含水率と比較したことも精度に影響したと考えられる。

図-7は今回行った含水率計の実測平均値から全乾法含水率の対応を求めたものである。現在の含水率計の性能では測定深度が浅いため、柱材内部の含水率が高く含水率傾斜があると考えられる全乾法含水率35%以上の領域では直線関係が認められなかった。

したがって、高周波容量式含水率計は比重、測定深度等の問題を解決することで性能は向上すると考えられる。また、現在の性能では実用上において全乾法含水率の目安を知ることが重要と考えられる。

引用文献

1) 祖父江信夫：木材用水分グレーダーの開発研究会報告

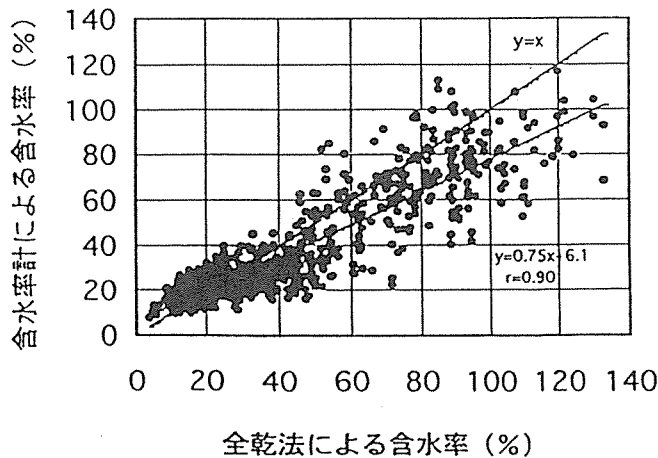
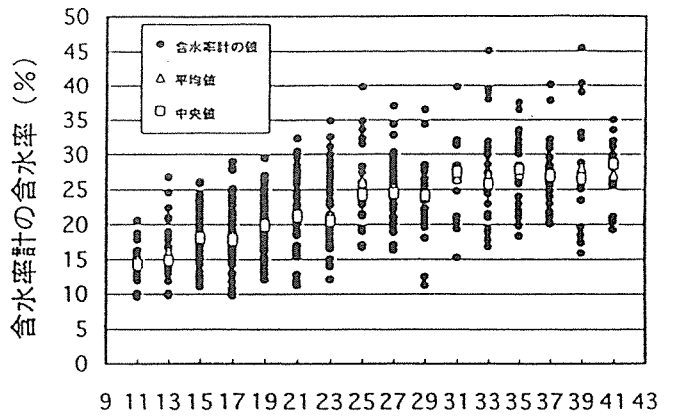


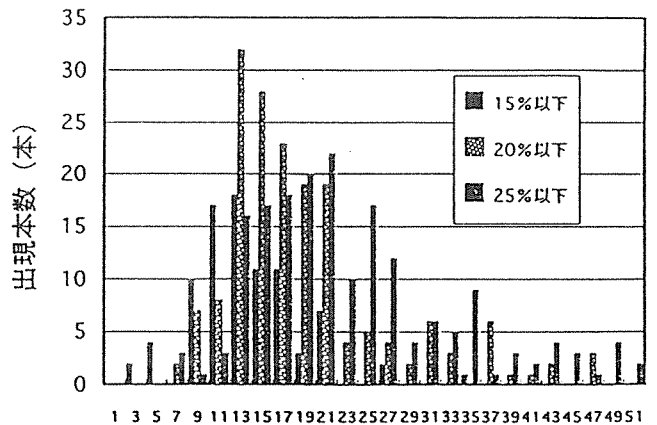
図-1 柱材における含水率計の精度

書, 58-67, 1990 2) 信田聡：木材工業, 43, 8-13, 1988
 3) 森山正幸他：木材工業, 41, 37-39, 1986 4) 増馬浩志：木材用水分グレーダーの開発研究会報告書, 87-94, 1990 5) 齋藤周逸他：40回日林関東支論, 285-287, 1988



全乾法の含水率 (%)

図-2 低含水率域での精度



全乾法含水率 (%)

図-3 含水率計の測定値頻度分布

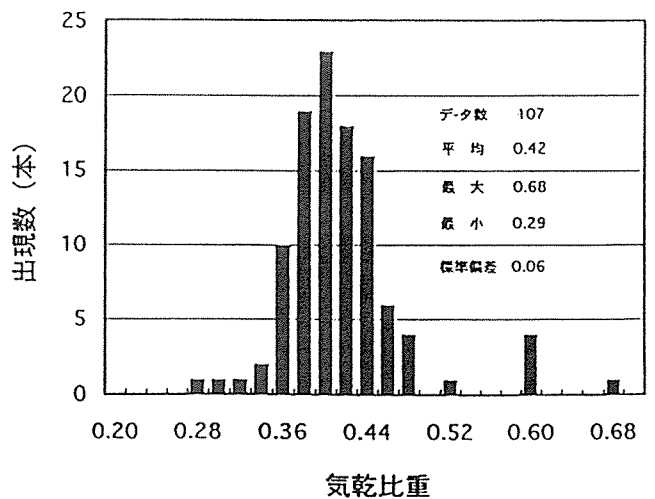


図-4 試験材の気乾比重分布

表-1 各範囲における含水率計の含水率

全乾法の値	15%以下	20%以下	25%以下
データ数	115	122	147
平均	16.9	19.2	22.3
最大	26.8	29.5	39.8
最小	9.6	9.8	11.3
標準偏差	3.9	4.9	5.5

表-2 各範囲における全乾法の含水率

含水率計の値	15%以下	20%以下	25%以下
データ数	85	175	183
平均	14.7	20.1	24.7
最大	35.5	48.3	71.6
最小	3.6	8.1	8.5
標準偏差	5.2	8.1	10.1

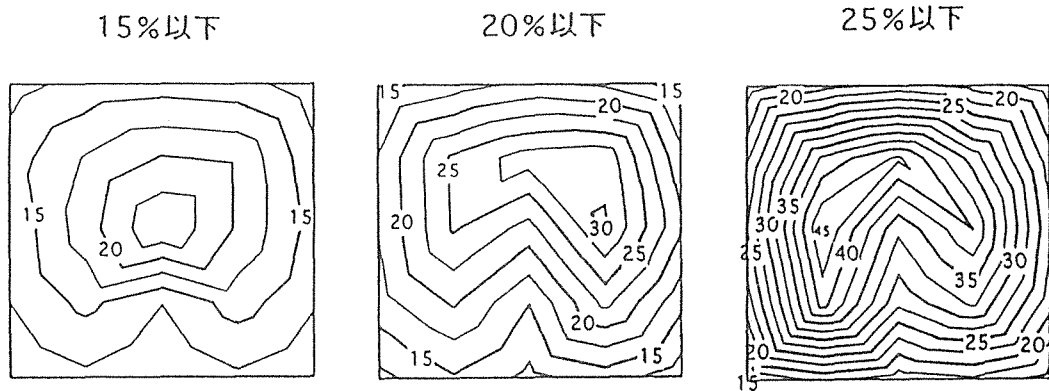


図-5 各含水率域における含水率傾斜

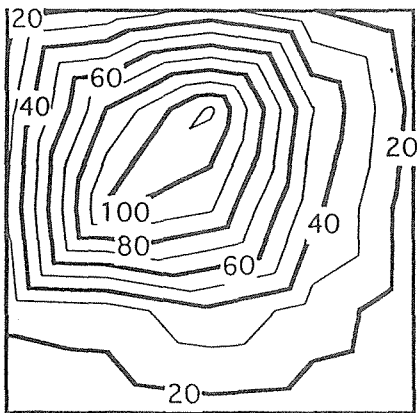


図-6 内部の含水率が高い例

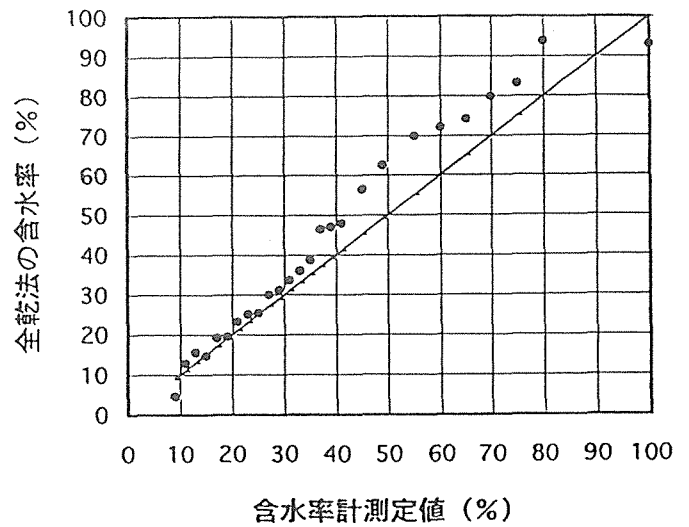


図-7 実測値を基にした含水率

1.3 圧電分極による材内水分勾配評価

(森林総研) ○鈴木養樹, 中井毅尚

1. 【目的】

木材中の含水量の推定に関しては、現在、高周波誘電容量型の含水率計が最も簡易であり、幅広く用いられている。また、水分含量のモニタリング手法には、そのほか祖父江らによる超音波あるいは応力波などによる基本振動数から音速を求めて、密度計算から算出する方法も考案されている。ただし、何れの手法においても、含水率が木材実質単位体積中に含まれる水分量であることから、木材実質の量すなわち密度(比重)が解らなければ正確な水分量は算出できないのが評価法としての問題点であろう。さらに木材は樹種・個体および部位によって、密度(比重)の差異が存在することから、測定部位によってデータにはバラツキが含まれる。しかし、水分に対する応答性の良さは電氣的な手法以外には、現在見出されていないと思われる。

さて、誘電率と含水量の関係は、概ね線形を有し、両者の関係は一定の関数で表される傾向である。上村、堤、則元らの研究によって、周波数による緩和現象が整理された。さらに、平井らは、圧電温度特性から圧電緩和と含水率との相関性について検討を加え、繊維飽和点以下での挙動で含水率の増加に伴い圧電分極の位相が遅れから進みへ変化することを報告している¹⁾。一般的に木材の圧電性には、緩和が存在し、刺激である応力に対して、圧電分極は正(遅れ)と負(進み)の両者の符号を有することが1つの特徴であろう。

ところで、平井らの結果から推測すれば、圧電分極の位相のずれは、乾燥材と湿潤材とはかなり異なり、観測する圧電信号には分極経路による位相差として現れることになる。本研究では、水分量と圧電分極の位相との関係について注目し、木材中の水分勾配の非破壊的検出が主な目的とした。すなわち、含水率ではなく材中に局在する水分の検出の可能性について検討した。また、木材の刺激応答の機構について、幅広い周波数帯による測定および解析は行われていない。水分勾配の評価とともに、木材の微細、組織構造の評価としての活用も考えられる。

2. 【実験】

2.1 供試材料

ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa* ENDLICHER)の柁目板から、厚さ1cm、幅5cm長さ20cmの試験片を4枚作製した。そのうち、2枚を含水率調整に用いた。ヒノキ材2枚を長期、蒸留水中に浸漬して、できるだけ含水量を高めた。初期含水率は、おおよそ60%であった。一方の2枚は、20℃50%RH.の環境下で気乾状態である。

2.2 圧電電位・位相測定

木材表面の電位測定に用いたのは、エヌエフ回路設計ブロック併製のロックインアンプ、増幅器、圧電型トランスデューサーで図1に示すような測定装置を構成した²⁾。測定手順は、内蔵発振器を有するロックインアンプで参照信号を出力して、木材表面の電位を参照信号との大きさと位相を検出した。ここで、周波数は100Hzから20kHzまで、順次信号の振幅と位相を測定した。測定周波数は、100, 500, 700, 1000, 2000, 3000, 5000, 7000, 10000, 15000, 20000Hzである。なお、信号が微弱なため、ノイズを除去するフィルターはバンドパスを用いた。

実際の測定は、まず気乾状態のヒノキ材の1枚、2枚重ねたものの電位及び位相を上記の周波数を変えて測定後、図2に示すような2種類の積層した状態a), b)で測定を行った。さらに1回の測定終了後、20℃50%RH.の雰囲気下で乾燥させつつ、乾燥過程での電位測定を繰り返した。

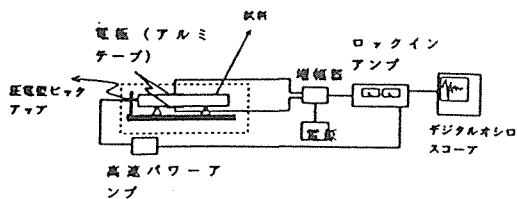


図1 圧電信号検出システムの概要図

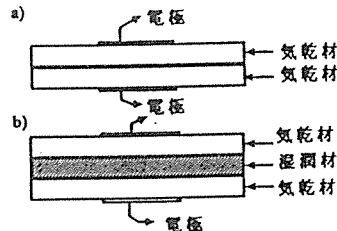


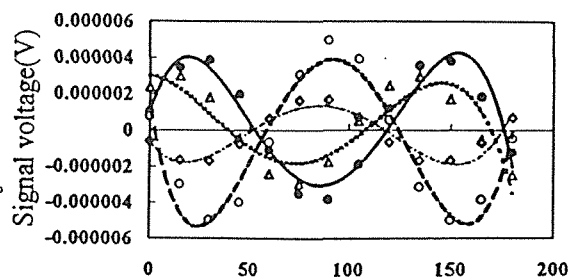
図2 測定試料の構成

3. 【結果および考察】

乾燥した材と湿潤材を組み合わせた測定結果を図3に示す。周波数1000Hzでの信号の時間による変動を表している。ロックインアンプで計測される信号は、 $a \times \cos(\theta)$ で表される。したがって、積層した状態での信号の位相変化について、検討した。乾燥状態の材のインピーダンスをR、湿潤状態の材のインピーダンスをCとすれば、それぞれの位相 δ の和として、信号の振幅に現れることになる。図中での変動は、この予測に従うものと考えられるが、他の周波数と比較した詳細な機構については現在検討中である。

参考文献

- 1) Hirai, N.; Yamaguchi, A. *Mokuzai Gakkaishi*, 25, 1-6(1979).
- 2) 鈴木養樹: 木材工業, 52, 20-23, 1997.



○: 乾燥材2枚 ...
●: 乾燥材1枚 ...
△: 湿潤材1枚 ...
◇: 湿潤材2枚 ...
10kHz
図3 積層条件による信号変動

1.4 近赤外分光法による木材の非破壊計測 (VI) (含水率ならびに密度の検量線)

(名大農) ○土川 覚、任 莉

【はじめに】著者らは、さまざまな分野で注目を浴びている近赤外分光法を木材の新しい非破壊計測手法として活用するための一連の実験を行ってきた。既往の研究では、繊維飽和点以下の調湿試料を測定対象として、含有水分や繊維走行に関する予測精度の高い検量線が本法によって作成可能となる事実を明らかにした。ところで、近赤外領域(800~2500nm)は、その吸収強度が赤外域の1/1000程度であるために高水分量の試料を直接測定できるという利点をもつ。したがって、自由水を含んだ木材を対象とした場合にも多くの有益な知見が得られると考えられるので、本報ではこれに着目して種々の実験を行った。すなわち、自由水を含んだ試料を対象としてその含水率ならびに全乾状態における密度 ρ に関する検量線を作成するとともに、木材の乾燥特性と近赤外吸収スペクトルの変動との関係について検討を加えた。

【実験】スギ、シトカスプルス、およびブナの飽水試料を室内に放置し、適当な時間間隔で質量、表面温度ならびに近赤外吸収スペクトルを測定した。その後、含水率および ρ に関する検量線を重回帰分析によって求めた。

【結果】試料母集団における ρ を区分することによって、含水率検量線の予測精度を高めることができる(図1)。 ρ に関しても予測精度の高い検量線が本法によって作成可能となる(図2)。水の吸収に関する差吸光度2次微分値は、木材の乾燥過程に対応して特徴的に変化する(図3)。

	ρ (g/cm ³)	選択波長 (nm)	MCC	SEC(%)	SEP(%)	r
■	$0.22 \leq \rho \leq 0.27$	1144 2248	0.96	8.2	6.0	0.96
○	$0.27 < \rho \leq 0.34$	1144	0.96	8.1	5.5	0.97
△	$0.34 < \rho \leq 0.40$	1144 1208	0.94	9.5	7.1	0.93
×	$0.22 \leq \rho \leq 0.40$	1144 2025 2248	0.94	8.3	9.7	0.93

MCC:重相関係数、SEC:回帰推定の標準誤差、SEP:予測値標準誤差
r:検量線評価用試料の実測値と検量線による予測値との間の相関係数

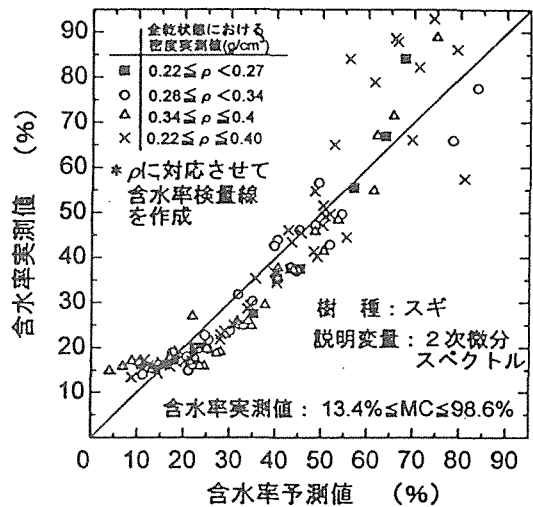


図1 含水率の実測値と検量線予測値との相関

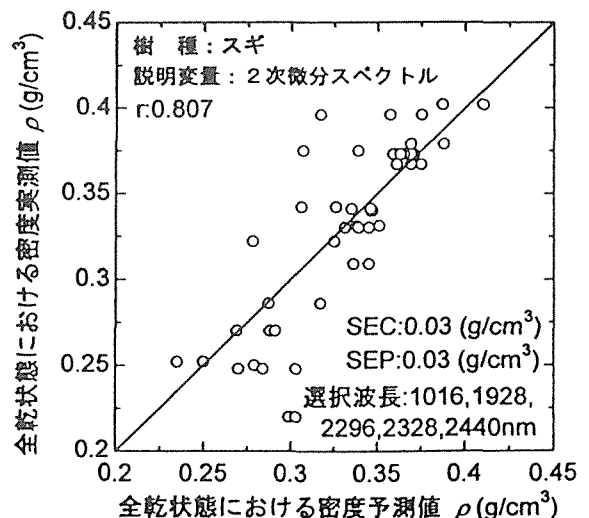


図2 全乾状態における密度の実測値と検量線予測値との相関

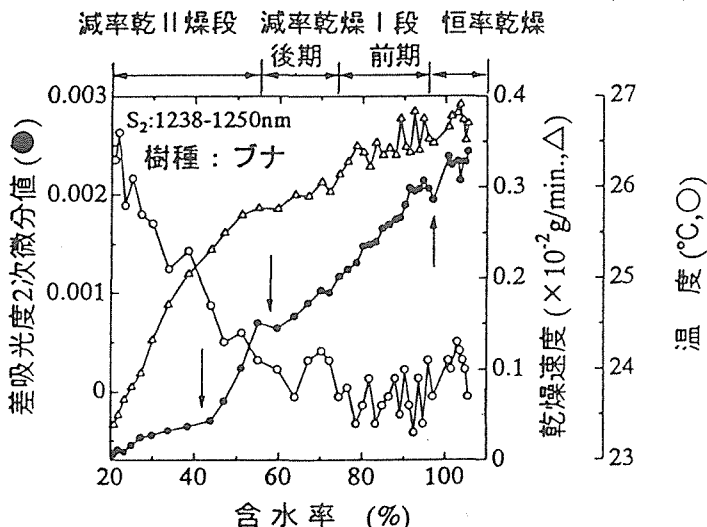


図3 乾燥特性と差吸光度2次微分値の関係

1.5 オンライン用木材水分計水分グレーダーの開発

(株) ケット科学研究所
増馬浩志 森山正幸

1. 緒言

近年、住宅業界を中心に高品位の住宅部材の安定供給の目的から構造用製材品の乾燥材の要求が高まり、また林野庁を中心として、JAS規格が追加（構造用製材品）された。

従来、柱角、梁等の大径の製材品の水分測定器は数社から、高周波容量式の木材水分計が市販されているが、何れも電界深度が不十分で深部の水分まで計りきれない。

本装置の開発は、厚さ4.5 cm～12 cmの柱、梁等の木材製品の水分を非破壊で正確かつ、迅速に測定し、更なるその材料を自動的に選別する機能を有するオンライン装置の開発を目的として、平成2年度より林野庁のローカル補助事業（単年度事業）として開始、その後、(株) ケット科学研究所、飯田工業(株)、住友林業(株)の3社で共同研究を開始し、本機の開発を終了。

各社の業務分担はケット科学研究所は水分センサー（含水率計）の開発、飯田工業は製材の搬送及び選別装置の設計製作、住友林業は開発製品の精度確認及び耐久性等の評価を行った。

本機の目標性能は水分センサー精度は全乾法含

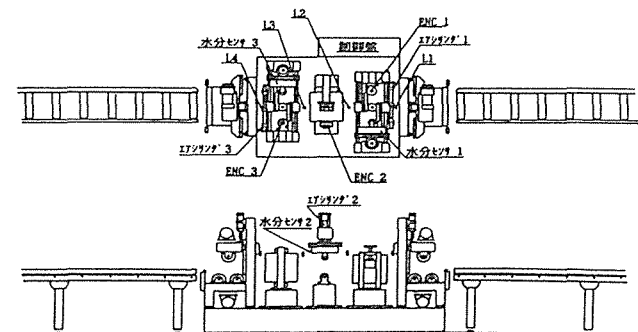


図1

水率との誤差は、10～20%の範囲で±2%、20～30%の範囲で±3%、30～40%の範囲で±5%を指向。

ラインスピードは10本/min (105×105×3,000 mm)、最大約20本/min処理能力を有し、送り速度は60m/minまで可能。

図1に本装置の立面図、下に側面図を示す。

2. 本装置の仕様

電極の形状はローラー型電極で接触、非破壊方式を採用、電極の構成はローラー型電極本体を陽極とし、対向する面にアースを兼ねた平面の陰極を立体的に配置する構成とする事により、十分な電界深度の確保をした。

図2に電極の外観図を示す。

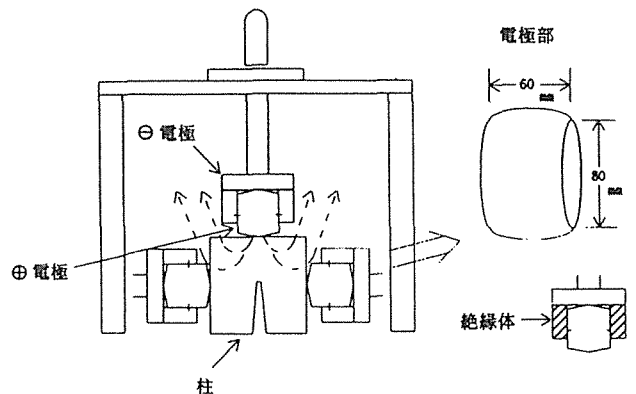


図2

測定方式は比較的周波数の低い高周波容量式を採用する事により、比重の影響が少なく、また十分な水分測定範囲を確保できた。

測定チャンネルはスギ、ヒノキの切り替えとした。

通信及びデータ処理はRS 232C - 3回線を使用して、各センサーから順次コントローラーヘッダー

タを転送、コントローラ内部でRAMにデータを蓄積し、演算式を組み込んだROM内部の検量線を介して水分に変換し、各本数毎の平均水分値、最小、最大水分を表示する。

パソコンで通信、データ処理の場合はリアルタイムに柱梁等の部位毎の水分をグラフ表示する、他各種データ処理が可能。

サンプリングは50mm間隔でデータのサンプリングを行い、3m柱角で最大60点のデータを採取。実際は約45点/3m柱=225cm長を測定。

注) 材料の送り速度とセンサの接触する時間のタイムラグによりデータ数が少なくなる。

材料の搬送及び測定については、材料の投入、取り出しはインバータ制御によるモーター駆動で行い、柱材3側面にローラー電極を押し宛て測定。

材料の送りスピードMax60m/min(柱材20本/3m/min)まで可能。

3・開発上の問題点の解決

測定深度については、従来の市販品のハンディタイプの水分計の測定深度は比較的浅く(有効深度約15mm)、柱角を測定するには充分といえない。

今回開発の水分センサーは上記に示す独特な電極構造及び構成により、80~90mmまでの深度を取得し、柱角、梁等の大径の角材に対して測定面を対向する事により、内部水分まで測定が可能となった。

樹種及び比重の影響についてはYHP製のインピーダンスアナライザーを使用して、0.1~数10MHzの間において、容量成分と抵抗成分の電気特性を測定した結果、発振周波数を数100kHzに下げることにより、比重の影響が従来機種よりも小さくなった。

従って、同一樹種内の比重の影響の差も小さくなった。

節、乾燥割れ等の欠点が水分測定に与える影響については測定(駆動)状態ではほとんど影響受けない。

水分信号の波形データは、節でピーク、乾燥割れでボトムを表示するが、電極の直下に存在する

場合のみ、小数点以下1桁のオーダーで影響を受ける程度で有るが、多点観測中の数点が大半なので、それらの影響は殆ど無視される。

4. 検量線の作成

スギ、ヒノキについて、柱角(105mm)の背割りの有るものと、無いものの両方を検討した結果殆ど差異がないので、スギ、ヒノキ別にミックスして作成した。

供試材については、天乾材、人乾材、長期放置材の3種類のものを使用した。

柱の材長の1/4、1/2、3/4の位置に於いて、センサーを固定して、静止状態で背割り面を除く、3側面で水分信号を測定し、次いでその個所の横断面を小割して、水分の分布状態を確認した。

水分値としては、各小割の水分の単純平均をもって、その測定部位の全乾法の水分とし、その部位に対応する水分信号との関係を以下のモデル式で近似させた。

$$Y = AX^3 + BX^2 + CX + D$$

但し X: 水分信号

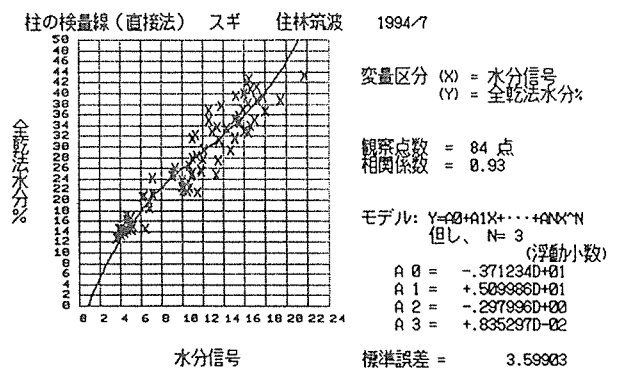


図 3

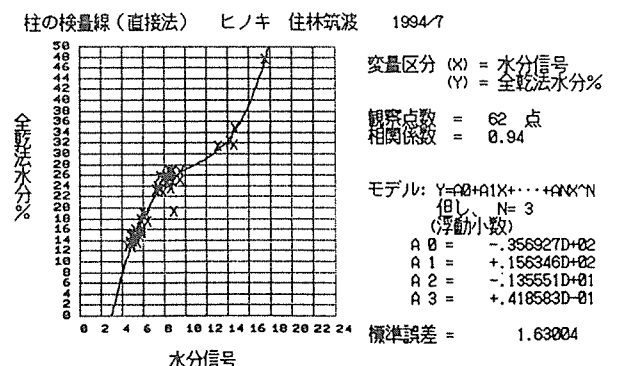


図 4

Y： 全乾法水分 %

図3、4にスギ、ヒノキ別の検量線を示す。

注) 北米輸入材のベイマツ、ベイツガ等の樹種については、今後検量線を拡充していく予定。

5. パソコンによる波形データ取り込みソフトを使用した表示形式の一例

図5に表示形式の一例を示す。

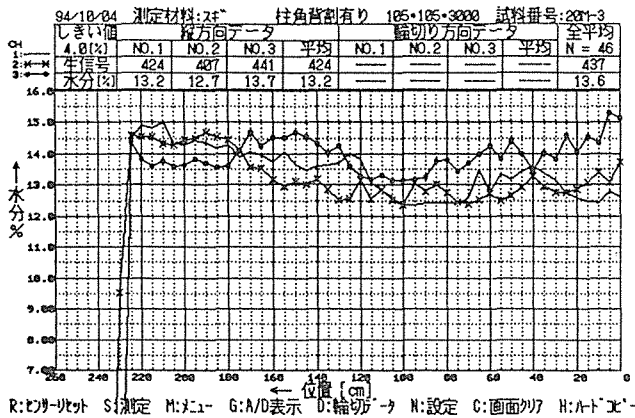


図5

ディスプレイ上に1本の柱の長さ方向の各部位毎の測定面の異なる3方向の水分センサー別の水分値、及び柱材の平均含水率を表示。

次の柱材を測定し終わるまで表示水分%をホールド。

注) 製品仕様では、LED外部表示器に柱毎の平均水分をコントローラーのパネル面にロットNo、測定時間、平均水分、最小水分、最大水分を表示。

6. その他の機能 (オプション)

マーキング機能として、コントローラーからの制御信号で計測装置をでた、1本、1本の柱に対して、インクジェット方式による“D15”、“D20”、“D25”区別のスタンピングが可能。

データの保存、管理、外部周辺機器等の制御に関して、標準仕様では、柱材の平均含水率等のデータは保存しなく、LED外部表示器、コントローラーのパネルに表示。

オプションとして、パソコンと接続して、デー

タの保存、管理、各種制御も可能。

また、ホストコンピューターとのLAN通信でデータの保存、管理、各種制御も可能。

7. 柱材 (含水率傾斜材) への適用の評価試験

柱材をグレーダーに搭載し、稼働状態での全乾法水分%に対する測定精度の確認を行う。と同時に高周波容量式の現行器種HM-520 (MOCO 2) との測定精度の比較検討を行い、更に現場対応の耐久試験を行う事を目的とする。

供試材として、以下の材料を使用した。

材 種：スギ、ヒノキ 105×105×300mm、
人乾材

各20本ずつ計40本

(岡山、四国産 背割り有り、無し
で各5本)

全乾比重：スギ 0.27~0.41 (文献気乾比重0.
30~0.40)

ヒノキ0.38~0.54 (文献気乾比重0.
34~0.54)

供試器は本装置の他、(財)日本住宅木材技術センター認定の高周波容量式含水率計HM-520 (MOCO 2) を使用した。

試験方法は

7-1. 上記供試材を本装置で、約5cm間隔で3側面の波形データを取り込み、水分に変換し各測定部位毎の3面の平均を求め、更に、その柱の全長について、全平均を求めた。

7-2. HM-520 (MOCO 2) による測定は、柱角の全長の1/4、1/2、3/4の部位の3側面の平均を求め、さらに各部位の平均でその柱の水分とした。

7-3. 柱角を全長の1/4、1/2、3/4の各位置で材料を切り出し、全乾法で水分をもとめ、その3個所の部位の平均をその柱の水分とした。

7-4. 耐久試験については、同一柱を往復で5万回連続運転し、電気的、機械的な異常の発生の有無の動作確認をした。

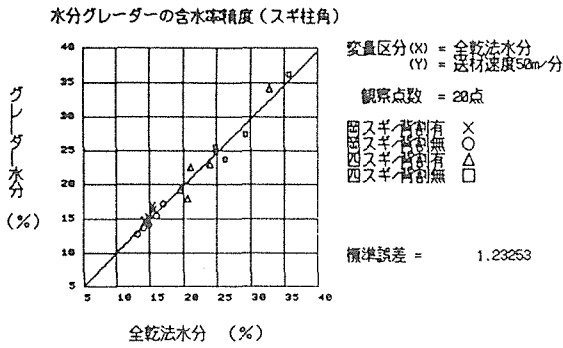


図 6

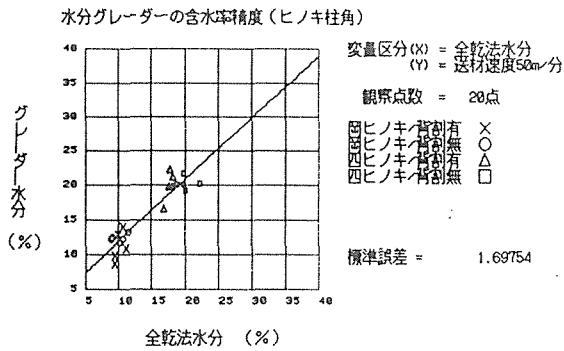


図 7

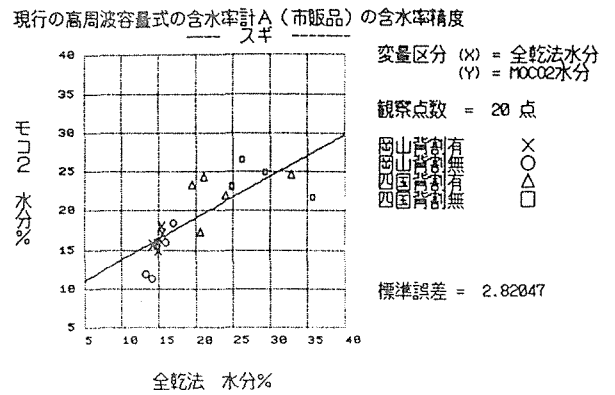


図 8

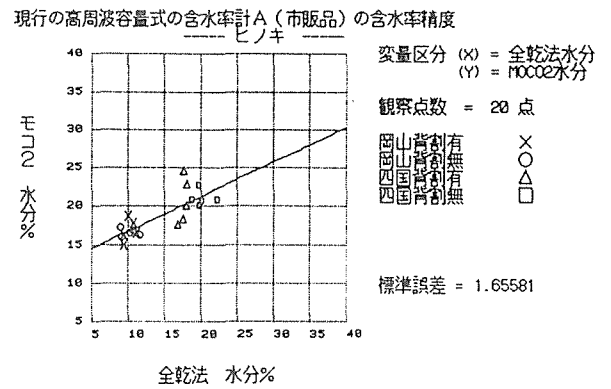


図 9

8. 結果

含水率精度は、柱を3側面測定した結果スギ、ヒノキとも全乾法の含水率との誤差は±約3%内(信頼度95%)と当初の目標値に近い結果を得た。

図6、7にスギ、ヒノキの全乾法水分に対する水分グレーダーの測定精度の結果を示す。

図8、9にスギ、ヒノキの全乾法水分に対する現行器種HM-520(MOCO2)の測定精度の結果を示す。

耐久試験については、約5回の動作確認の結果、電氣的、機械的な異常は認められなかった。

1.6 厚板の含水率測定技術とその実用性

静岡大学農学部
教授 祖父江信夫

1. 厚板の含水率計測

水分計は、家具関連産業や合板産業において比較的早くから利用されているが、従来から普及している電気式水分計は、比較的薄い板の水分測定に適したハンディタイプの直流電気抵抗式または誘電式（高周波容量式）である。最近の水分計に対する要求の特徴は、建築構造用の柱や梁けた材のような従来より大きなサイズの木材に適用できることである。

そこで、あらたな含水率計の開発の課題を要約すれば次のようになろう。(1)建築構造材のような比較的大きな断面を持つ木材に適用できること、(2)木材内部まで十分に乾燥されているかの検査、すなわち木材内部の水分分布（水分傾斜）を調べられること、(3)リアルタイムの水分情報を乾燥制御にフィードバックするための検査に利用できることなどがあげられる。

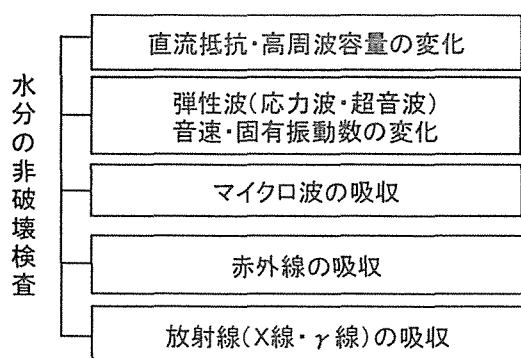


図1 木材水分の非破壊検査法

木材水分の非破壊検査法には、図1に示すように種々の方法が研究・開発されているが¹⁾²⁾、厚板や柱材への適用を前提に、それらの特徴をまとめると次のようになる。

直流および高周波による水分計測

直流電気抵抗や電気容量を計測する水分計は古

くから実用化されているが、木材内部の水分計測が難しいことから、改良が望まれている。従来技術の改良という点では着手し易い技術であり、“温故知新”技術として取り組みがなされている。

弾性波による水分計測

木材を繊維方向に打撃すると弾性波（応力波、超音波）が発生し、その音速は弾性率と密度によって決まる。弾性率変化の少ない水分領域、たとえば生材から含水率が20数%あたりまでの乾燥過程では、主として密度（水分を含んだ見かけの密度）変化が音速または固有振動数の変化と対応し、これは水分変化に換算することができる。柱材や梁桁材などに適用可能な技術であり、工夫次第では興味深い内容を持っている。

具体的には、木口面を打撃して応力波の固有振動数を測定するか、圧電素子を用いて超音波を発生し、その伝播速度を用いる方法が研究されている。前者では、高次の固有振動の周波数を用いれば積積み状態の木材にも適用できる。後者では、人工乾燥装置内での適用が試みられており、ダンパの開閉、リコンディショニングなどに基づく水分変化に対応して超音波の伝播速度が変化し、乾燥過程の水分のモニタリングに有効なことが知られている。

マイクロ波による水分計測

水分によるマイクロ波の吸収を利用した水分計は、わが国でも食品や茶葉の水分測定に利用されている。マイクロ波は透過能力、非接触性、高速性などにすぐれており、有望な技術として期待される。最近、木材用装置も国内で市販されている。

熱特性による水分計測

赤外線ランプなどで木材表面に一定の熱量を与えたときの表面温度を赤外線温度計などで測定し

て含水率を計測する。水分によって木材の熱容量が変化し、木材表面温度に違いが現れる。生材および乾燥材への適用が可能で、ディメンションランバーの製材ライン用として市販されている。

赤外線による水分計測

食品関係ではオンラインの赤外線水分計も利用され、多周波方式による装置も実用化されている。木材でも赤外線の適用が試みられているが、表面付近による赤外線の吸収が大きいため、木材内部水分の計測という目的からは、期待性は少ない。

放射線などによるトモグラフィ法（断層法）

X線やNMRのCT法（コンピュータ・トモグラフィ法）を利用すると木材内部の水分分布を断層画像として知ることができる。水分計測の性能に関しては要求水準を満たしているが、装置のコストがかさみすぎること、放射線管理や電磁波ノイズの遮断などの問題があり木材産業での利用は難しい。

以上のように、それぞれの方法に長所と弱点があり、用途により技術を選ぶ必要があることはいうまでもない。ここでは、木材加工業や住宅産業の現場、工場や屋外などにおける製材やラミナなどの水分計測を前提に考えると、新たな水分計の開発には更に次のことを考慮する必要がある。

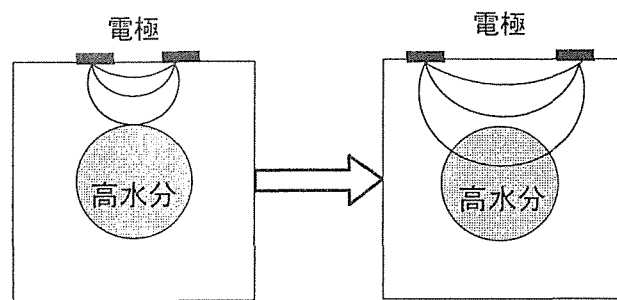
- (1) 開放系で使用でき、身体の安全や機器の性能保持のために特別な防護策を必要としないこと。
- (2) ある程度の量産速度に対応できること。
- (3) 装置の価格が高額でないこと。
- (4) 作業者に特別高度な知識や技能を必要としないもの。

このような条件を基準に、従来技術や将来の可能性を含めてふるいにかけて、電気抵抗、誘電現象、マイクロ波吸収など電氣的性質を利用した技術によるものの実現性が高いと考えられる。

2. 従来装置の機能向上と最近の製品化の傾向

水分計測に関するAQ制度の施行、針葉樹の構造用製材のJASの改正に伴い、建築用材のように、従来より断面の大きな製材の内部水分を計測する

方法の開発がいろいろ進められてきている。当面の目標として、内部の水分がある程度検知できることに主眼をおいているものが多い。上記のAQ制度、新JASの施行に前後し、誘電式（高周波容量式）水分計の改良が進められ、図2のように電極間隔を広げることにより、内部水分に対する感度を向上させる方策が採られている。現在、これらのうち3機種は一定水準を満たしているとして、（財）日本住宅・木材技術センターから優良機種認定がなされている。



電極間隔を広げることにより
電界の有効深度を深める

図2 誘電式水分計の改良

しかし、これらは電界の有効深度が深くなったとはいえ、有効電界深度における平均水分量を計測するもので、水分計傾斜を計測することはできない。ただし、表面付近の含水率が明らかに下がっていると判断される際には、このような水分計で計測される平均含水率が高いことは表面と内部の含水率差が大きいことを意味するので、木材内部の水分状態をある程度推測することができる。

また、旧来技術の復活となるが、高周波を用いた挟み込み式電極による方法が研究されている。高周波乾燥機の高周波出力メータを活用する乾燥中の木材水分計測に関する基礎研究も行われている。比較的断面の大きな在来工法用製材に適用できる断続式あるいは連続式のオンライン用含水率計も製品化されており、図3は製品の例である。

木材内部への電磁波の浸透性ではマイクロ波がすぐれており、非接触、高速性から判断すると、厚板の含水率計測の精度の向上と実用性では、マイクロ波の応用技術がいちばん実現性の高い方法であると考えられる。最近、集成材ラミナのオンライン水分計や連続式ストレスグレーディングマ

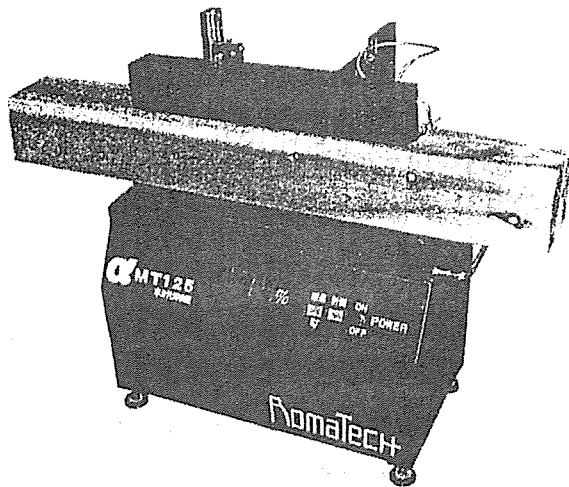
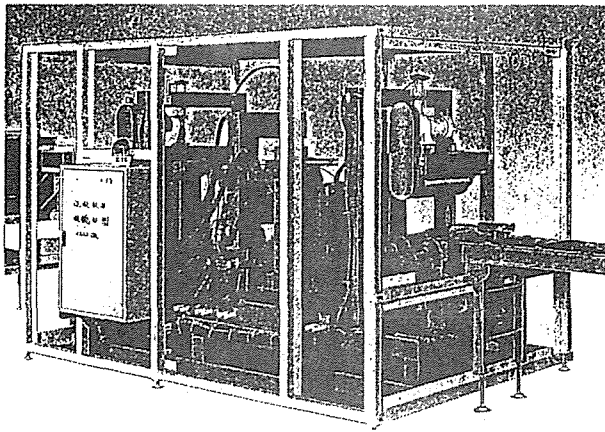


図3 誘電式水分計の製品例

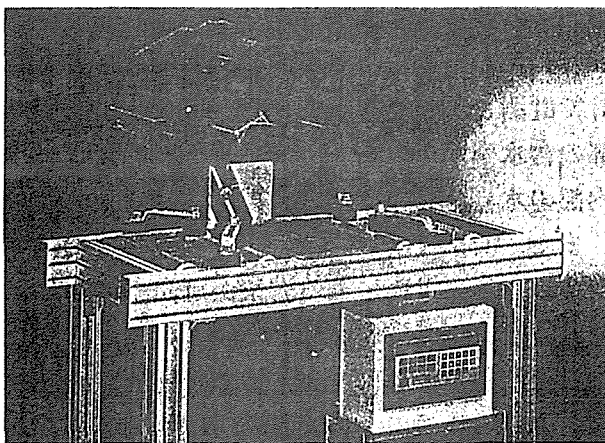


図4 マイクロ波吸収式水分計の製品例

シンと複合したオンライン水分計が製品化されている(図4)。

水分計測の影響因子として、電気容量やマイクロ波吸収を利用する水分計では基本的に木材密度の補正を必要とする。市販のポータブルタイプの含水率計では、密度補正ダイヤルまたは樹種選択ダイヤルによってこの補正を行っている。研究段

階では、木材密度の考慮を必要としないマイクロ波二周波の振幅比や位相差を計測パラメータとする方法も検討されている^{3, 4)}。また、乾燥装置から出たばかりのような高温の木材では、温度の影響も無視できない。

厚板の含水率測定に関して、現時点である程度の改良が実現している計測器は、いずれも平均水分量を計測するものであり、水分傾斜のようなもう少し高度な水分情報を非破壊で計測するには基本的に次に述べるトモグラフィー手法の導入が必要である。

3. 木材内部の水分計傾斜の予測技術

トモグラフィー法は、異なった方向から物性値に関する情報を計測し、数理的手法を用いて特定位置の物性値を再構成する方法で、物体の表面から得られる情報から非破壊的に物質内部の情報を推定することができる。たとえば、X線やNMRを用いたCT法は、医療施設で体の検査に利用され、病気の診断に効力を発揮している。

トモグラフィー手法は、木材内部の水分状態を非破壊的に知るためには大変魅力のある計測法である。最近、電気的な性質を利用したCT法の開発がいくつか試みられている。直流電気抵抗、および高周波容量(誘電率)の計測を利用する方法について紹介する。

(1) 直流電気抵抗の空間分布を利用する方法

富山県林業技術センターで研究が進められた方法で、心持ち正角材の乾燥中の水分モニタリングを目的としているものである⁵⁾。図5のように試験体の相対する表面に複数の電極を配置し、ステンレス製の釘を電極として打ち込み、各電極間の電気抵抗を測定する。得られた情報から、逆投影法を利用し、内部水分の状態を推定する方法である。なお、直流電気抵抗は温度依存性があるため、温度補正用熱電対の挿入を行っている。この方法では、電極を木材内部に挿入する必要があるため、製材品の検査には適さない。開発目的にあるように、乾燥中における水分モニタリングには有効と考えられる。

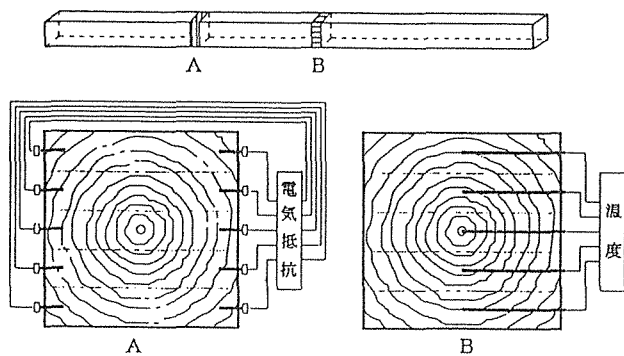


図5 直流抵抗の空間分布を利用する方法

(2) 電極走査型誘電式水分計

静岡大学農学部で研究が進められている誘電式水分計で、木材表面で電極の位置を移動させることによって電界分布を能動的に変化させ、数学的な逆問題解法によって厚さ方向の木材内部の水分傾斜を予測する手法である⁶⁾。

モデル実験の段階ではあるが、図7のように種々の含水率傾斜を持つ場合について、逆計算によってうまく再現されることが明らかとなっている。

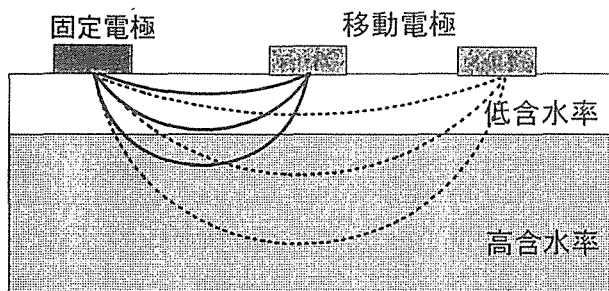


図6 電極走査型誘電式水分計の原理

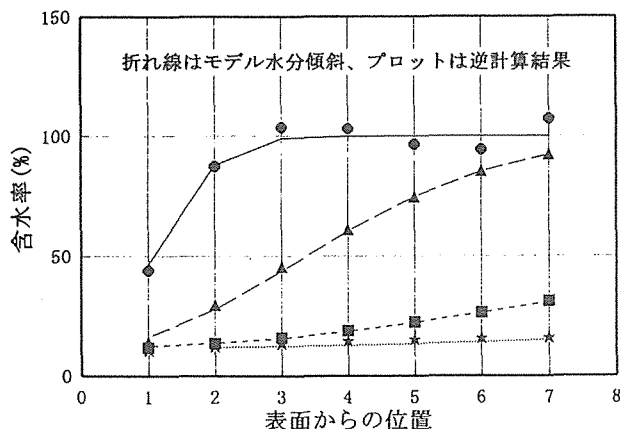


図7 電極走査による水分傾斜の推定

4. まとめ

最近、厚板や建築構造用木材の水分計測に適用できる水分計の改良は進んでいるが、必ずしも市場の要求に満足できる段階ではない。

平均含水率を計測する水分計としては、プロセス用では、挟み込み電極による誘電式水分計やマイクロ波透過法による水分計の開発が進んできている。今後、マイクロ波吸収式の水分計の利用が進むと予想される。しかし、現場で手軽に扱えるポータブル式の水分計では、誘電式水分計が有望と考えられるが、性能はまだ充分ではない。

また、木材内部の水分傾斜を推定できるような高機能型の電気式水分計は、研究段階でCT法の研究が進みつつある段階であり、実用化にはしばらく時間を要するが、現時点では誘電式水分計が有望と考えられる。

精度の良い木材水分の計測技術は、乾燥材に対する信頼性をサポートする技術であり、乾燥技術の高度化の支援技術としても、いつそう技術開発を急ぐ必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 祖父江信夫：木材学会誌 39, 973 (1993)
- 2) 日本木材学会：木材の科学と利用技術Ⅱ “自動計測の基礎と応用” 1991
- 3) Zhihong Ma and Seichi Okamura: IEEE Trans. Electron., Vol.E80-C, pp. 1324-1329, 1997
- 4) Seichi Okamura, Yangjun Zhang and Tomoki Kurematsu: Proc. SPIE, Subsurface Sensor and Application, pp. 47-52, 1999
- 5) 坂井正孝、橋本 彰：1998年度日本木材学会中部支部大会講演要旨集, p.40-41 (1998年、富山)
- 6) 祖父江信夫・酒井徹：日本木材加工技術協会第15回年次大会講演要旨集 p.26-27 (1997)

2 寸法変化

2.1 製材品の水分管理について

奈良県林業試験場 小野広治

1. はじめに

建築用製材品、特に柱材の乾燥の必要性が高まり、各地の製材工場では人工乾燥や天然乾燥により製材品の乾燥が行われています。また、平成3年には針葉樹構造用製材の日本農林規格（新JAS）が制定され、乾燥基準、寸法基準が示されたことにより、乾燥の重要性はさらに高まっています。しかし、新JASに基づいて生産された製材品の乾燥後の挙動については明らかではありません。そこで製材品の水分管理を効率的に行うため、新JASに基づいて生産されたスギとヒノキの柱材について、乾燥法や乾燥基準および修正挽きによる乾燥後の含水率や収縮率の変化について検討したので紹介します。

2. 乾燥法・乾燥基準の違いについて

2.1 含水率と収縮率の変化

スギとヒノキの柱材（12cm角）を天然乾燥と人工乾燥（除湿乾燥）により含水率計による測定で仕上がり含水率を20%と25%に乾燥した材を修正挽きをしないで室内に1年間放置したときの含水率計による含水率と収縮率の変化を図1、図2に示す。

含水率の変化では、スギ柱材の含水率は天乾材、人乾材の20%と25%材ともに3カ月までに約15%まで低下した。ヒノキ柱材の含水率も乾燥法や乾燥基準による差はみられずいづれも3～6ヶ月までに15～17%まで低下し、その後は放置場所の平衡含水率に連動して変化し、乾燥法や乾燥基準による差はみられなかった。

収縮率の変化では、スギ柱材は含水率が同じでも天乾材と人乾材では放置中の変化は異なった。すなわち、天乾材の20%、25%材ともに3ヶ月までに収縮率が約0.8%まで増加し、その後安定したのに

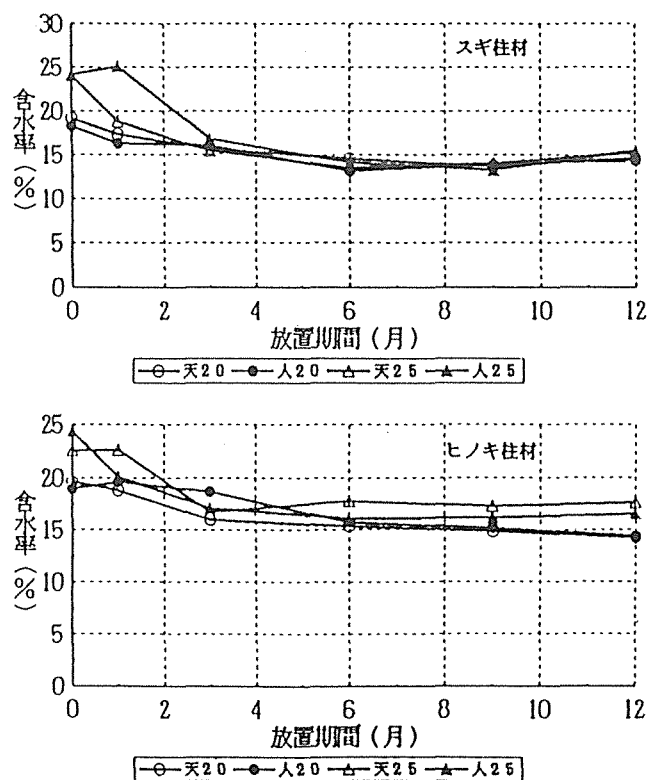


図1 含水率の変化

対し、人乾材の20%、25%材ともに6ヶ月までは収縮率はほとんど変化しなかった。しかし、その後の変化は異なり、25%材は9ヶ月までに収縮率が約0.7%まで増加しその後安定したのに対して、20%材はその後収縮率は漸増して12ヶ月時には約0.4%まで増加した。

一方、ヒノキ柱材は乾燥法の違いによる差はみられなかったが、仕上がり含水率の違いによる差がみられた。すなわち、天乾材と人乾材の25%材ともに3ヶ月までに収縮率は約1.0%まで増加し、さらに6ヶ月までに約1.5%まで漸増しその後安定したのに対して、天乾材と人乾材の20%材は収縮率が安定した時期は異なるが、3~6ヶ月までに0.8~0.9%まで増加しその後安定した。このように放置中の収縮率の変化は、スギ柱材では仕上がり含水率が同じでも天乾材と人乾材で異なったのに対して、ヒノキ柱材では仕上がり含水率が同じであれば天乾材と人乾材の差はみられなかった。この理由については、スギ柱材とヒノキ柱材では乾燥終了時の水分分布や放置中の水分分布の変化が異なるためと考えられた。

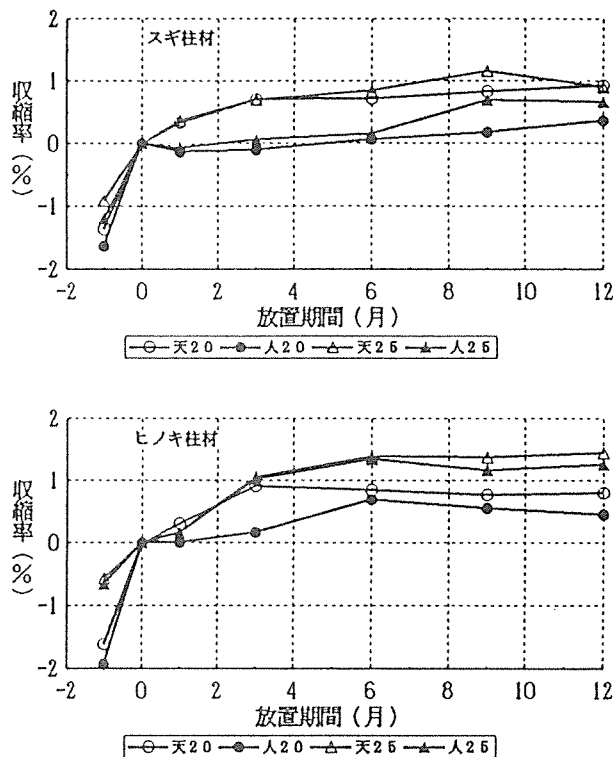


図2 収縮率の変化

2.2 スギ柱材とヒノキ柱材の水分分布の違い

図3にスギ柱材の天乾材と人乾材の20%材の乾燥終了時および収縮率が安定した6ヶ月時の水分分布の一例を示す。

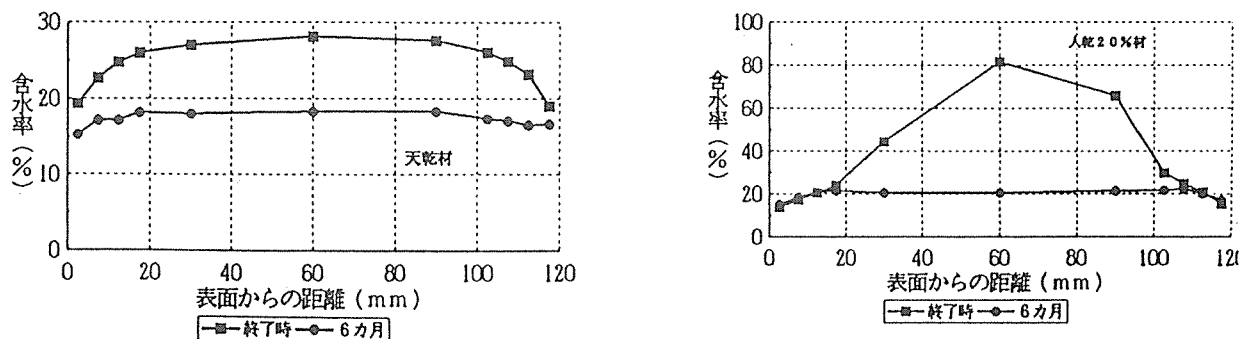


図3 スギ柱材の水分分布の変化

乾燥終了時の水分分布は天乾材と人乾材で異なっていた。すなわち中心部分と表層部分との水分傾斜が天乾材では小さかったのに対して、人乾材では大きかった。また、6ヶ月時の水分分布は天乾材、人乾材とも同様で、6ヶ月の放置期間中に天乾材は中心部分、表層部分の含水率が一様に減少したのに対して、人乾材は中心部分の含水率は大きく減少したが、表層部分の含水率はほとんど変化しなかった。天乾材と人乾材の収縮率の変化の違いはこの水分分布の変化の違いに起因していると考えられた。

図4にヒノキ柱材の人乾材の20%材と25%材の乾燥終了時と6ヶ月時の水分分布の一例を示す。乾燥終了時の水分分布は20%材、25%材ともに水分傾斜は小さかったが、中心部分、表層部分の含水率は20%材の方が低かった。6ヶ月時の水分分布は20%材、25%材ともに類似していた。放置期間中に20%材、25%材ともに中心部分、表層部分の含水率が一様に減少したため、収縮率は断面全体の含水率の減少量に比例して増加したと考えられた。

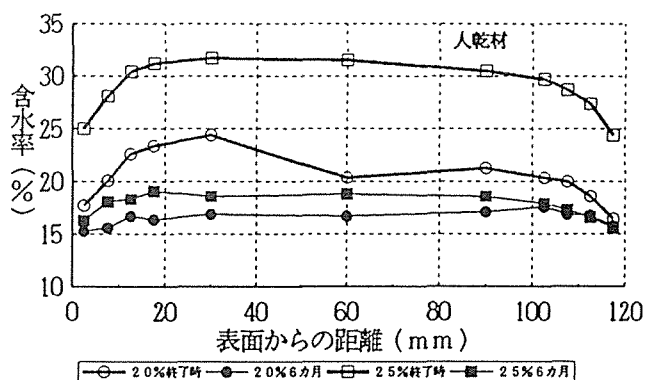


図4 ヒノキ柱材の水分分布の変化

3. 修正挽したスギ柱材の寸法変化について

スギ柱材を天然乾燥や除湿乾燥で新JASの乾燥基準D15に仕上げるためには長時間を要するため、熱気乾燥（温度80℃、温度差3℃～10℃）により14日間乾燥した後、修正挽したスギ柱材を1年間実験室内に放置して、修正挽き材の乾燥基準と含水率と収縮率の変化についてを検討した。

3.1 修正挽きによる含水率の変化

背割り材は乾燥により背割り幅が広がるために、乾燥後修正挽きをする。そこで乾燥後約5mmの厚さで修正挽きした。図5に修正挽き前後の含水率（含水率計による）の関係を示す。修正前の含水率の平均値は17.9%、修正後のそれは25.5%になり修正挽きにより含水率は7.6%高くなった。含水率の

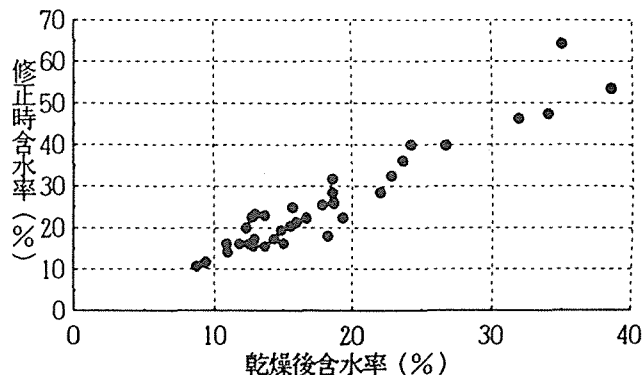


図5 修正挽きによる含水率変化

増加量は含水率が高いほど大きくなった。また、乾燥直後に J A S の乾燥基準の15%、20%、25%を示しても修正挽き後にはそれぞれ20%、25%、30%程度の含水率を示すことになり、修正挽きによる含水率の増加を考慮しなければならない。

図6に修正挽き後の全乾法と含水率計による含水率の関係を示す。

乾燥直後には中心部分の含水率が高い場合でも表層部分が低いことにより、含水率計による含水率は全乾法による含水率に比べて低くなる傾向があるが、修正挽きすることにより含水率計による含水率は高くなった。その結果、全乾法による含水率との差が小さくなり、全乾法と含水率計による含水率は近似した値になった。

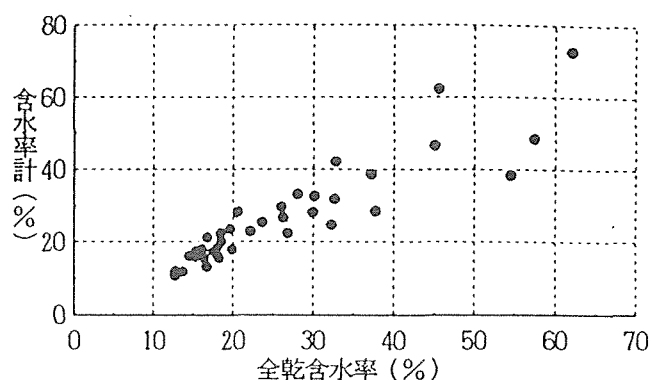


図6 全乾含水率と含水率計含水率

3. 2 修正挽き材の含水率と収縮率の変化

修正時の含水率（全乾法による）が約15%、約20%、約25%、約50%の材（各含水率とも3本の平均値）の放置中の含水率（全乾法と含水率計による）および収縮率の変化を図7、図8に示す。

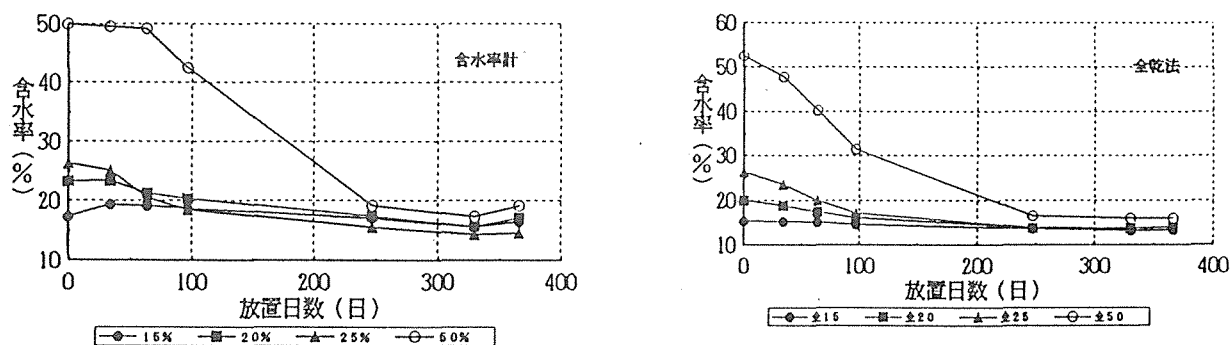


図7 含水率計と全乾法の含水率変化

含水率計による含水率は全乾法の含水率にくらべて高めの値を示し、変化も一定していなかったが、全乾法の変化は含水率基準に応じた一定であった。両者の15%材、20%材、25%材ともに3ヶ月までに近似した含水率になりそれ以後の変化は小さかったが、50%材は3ヶ月時には全乾法では約30%、含水率計では約40%を示しそれ以後の変化も大きかった。

収縮率の変化では15%材は3カ月まではむしろ膨潤する傾向にあり収縮率の変化はほとんどなかった。他の材は約0.3%~0.7%ほど収縮率が増加したが、含水率の違いによる収縮率の増加量には顕著な差はみられなかった。しかし、12ヶ月時の収縮率の増加量には含水率の違いによる差が顕著にあらわれ、15%材は約0.5%、20%材は約1.0%、25%材は約1.5%、50材は約1.7%に収縮率が増加した。含水率基準の違いによる放置期間中の含水率、収縮率の変化は以上のように異なっていたが、図9に全含水率域の12カ月時における修正時含水率と収縮率の関係を示す。含水率が約25%以下では含水率と収縮率は比例関係にあり、含水率が低いほど収縮率は小さく、含水率が約13%の材は収縮率が0.1%とほとんど寸法変化がなかったが、25%以上では含水率の高低にかかわらず収縮率は1.3%~2.0%に分布した。

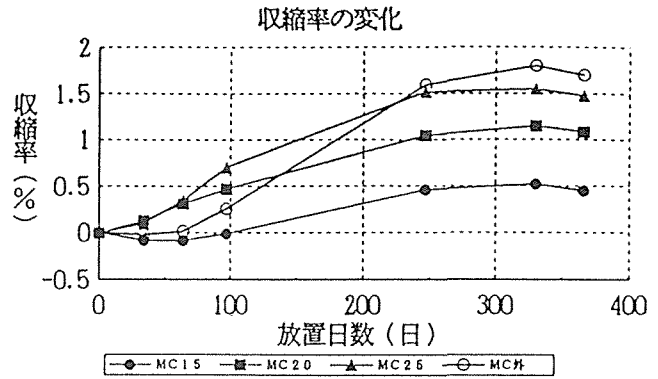


図8 収縮率の変化

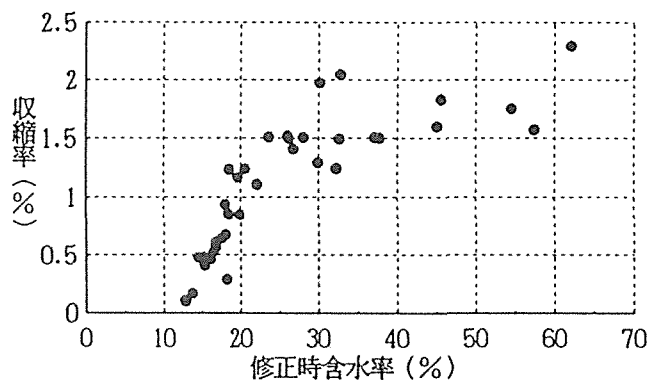


図9 修正時含水率と収縮率

3・3 乾燥および放置による断面寸法の変化

柱材を生産する場合には、乾燥および修正挽き後の収縮や乾燥による曲がり等を考慮して荒挽き寸法を決める必要があるが、図10に修正時の含水率と乾燥後、放置後および両者の合計の収縮率との関係を示す。

乾燥後と放置後の収縮率の関係は、含水率25%以下では乾燥による収縮率が大きい場合には放置後の収縮率が小さくなり、含水率25%以上では乾燥後と放

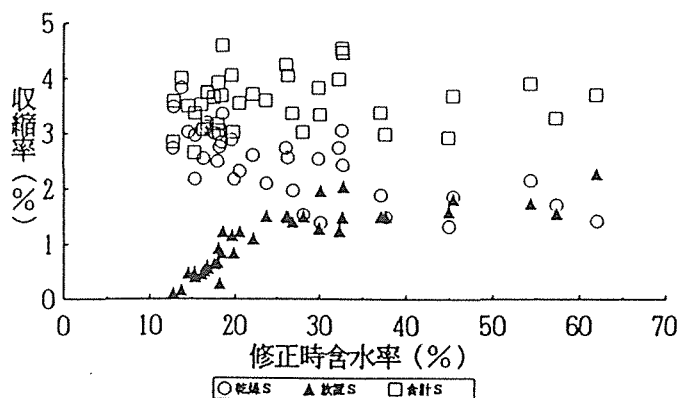


図10 乾燥後と放置後の収縮率

置後の収縮率は同程度であった。その結果、両者の収縮率の合計は含水率にかかわらず約4%程度になった。したがって荒挽き寸法を決める場合には、これらの収縮率と乾燥による曲がり等の矯正量を考慮しなければならない。

また、新JASの乾燥材の寸法規定には、表示寸法と実測寸法との誤差は±1.5mmと規定されているが、120mm角の柱材では±1.5mmの誤差は収縮率では1.25%になる。この値と放置後の各含水率材の結果を比較すると乾燥材の寸法精度を保証するためには修正挽き後の含水率を20%以下にする必要がある。

4. おわりに

スギ、ヒノキ柱材を天然乾燥と人工乾燥（除湿乾燥）により新JASの乾燥基準D20、D25に乾燥し、修正挽きをしないで室内に放置して、放置中の収縮率の変化について検討した結果、ヒノキ柱材は乾燥基準が同じであれば放置中の収縮率の変化に違いがみられなかったが、スギ柱材は乾燥基準が同じでも天乾材と人乾材で異なり、スギ柱材は乾燥法により仕上げ含水率を考慮する必要があった。

また、スギ柱材を熱気乾燥により乾燥し、修正挽き後の放置中の含水率、収縮率の変化について検討した結果、修正挽きする事により含水率計による含水率が高くなったが、その含水率は全乾法による含水率に近似した。放置後の収縮率は含水率25%以下で含水率と収縮率は反比例し、含水率が25%以上では一定であった。これらの結果から新JASの寸法規定に示される許容差を保証するためには修正挽き後の含水率を20%以下にすることが必要と考えられた。

2.2 木造住宅における製材品の上棟後の寸法変化と発生したトラブル（乾燥材と未乾燥材の比較）

河崎弥生^{*1}・古川郁夫^{*2}・作野友康^{*2}・中尾哲也^{*3}

Dimensional Change of Timbers and Troubles Occurred after Beginning of Construction of Wooden House. - Comparison between the dry timbers and the green timbers -

Yayoi KAWASAKI^{*1}, Ikuo FURUKAWA^{*2}, Tomoyasu SAKUNO^{*2}, Tetsuya NAKAO^{*3}

^{*1}Okayama Prefectural Wood Technology Research Center

^{*2}Faculty of Agriculture, Tottori University

^{*3}Faculty of Interdisciplinary Science and Engineering, Shimane University

The Serious troubles have been occurred after construction of wooden houses used timbers with high moisture content. In this study, the dimensional change of timbers after the beginning of construction and the troubles occurred after the completion of wooden houses were investigated in the region of Okayama prefecture.

The results obtained are as follows.

(1) As for the dimensional change of timbers for the structure, a conspicuous difference was observed between the wooden houses used dry timbers (houses-A) and the wooden houses used green timbers (houses-B).

(2) At the houses-B, the green timbers were used for the interior material, too.

(3) At the houses-B, the troubles began to occur within 1 year after completion. The many kinds of trouble continued to occur after that and reached eight kinds. But at the houses-A, the occurring troubles were only two kinds.

(4) The gaps and the distortions which occurred to the wooden houses had the boundary value which the inhabitants recognize as the trouble.

(5) As for the chief inhabitants of the houses-B, the knowledge about the dry timbers was lacked. However, the chief inhabitants thought that they might be burdened themselves with the proper dry expenses and that they wanted to use dry timbers in the future.

1. 緒言

木造住宅において竣工後に発生するドアや引き戸の開閉困難、床鳴り等のトラブルは、使用された製材品の水分管理の不備による寸法変化に起因するものが多い。これを防ぐには、住宅部材として使用される製材品は上棟後の寸法変化の少ない

乾燥材であることが望ましい。このため、供給側では製材関係の日本農林規格¹⁾に製材品の含水率基準が定められており、需要側でも様々な建築工事仕様書²⁾に製材品の含水率基準が示されている。さらに過去に実施された木造建築の新技术開発プロジェクトにおいても、新工法を採用する前提として乾燥材の使用が不可欠であることが明記されている³⁾。

このように、乾燥材に関する規定は確立されつつある。しかし木造住宅の建築の実状をみると、高品質な乾燥材が十分に使用されているケースは

^{*1}岡山県木材加工技術センター、^{*2}鳥取大学農学部、^{*3}高根大学総合理工学部

†本報告の一部は、第49回日本木材学会大会（1999年4月、東京）において発表した。

必ずしも多くない。また未乾燥材を多用した住宅では、数多くのトラブルが発生している。

本研究では、乾燥材使用及び未使用の戸建て木造住宅における製材品の上棟後の寸法変化と竣工後に発生したトラブルについて調査し、乾燥材を使用する意義について検証した。なお、本研究は岡山県下におけるケーススタディである。

2. 実験方法

2.1 調査対象木造住宅

調査した住宅の概要と工期を第1表に示した。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棟を調査対象とした。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カ月であった。

第1表 調査した住宅の概要と工期

住宅	乾燥材の指定	部材	所在地	建築様式			延べ床面積 (m ²)	工期 (月)
				本体構造	外壁	屋根		
A-1	あり	国産材	津山市	2階建て	真壁・しっくい	入母屋	252	6.5
A-2	あり	国産材	津山市	2階建て	大壁・モルタル	寄せ椽	230	6.0
B-1	なし	国産材	津山市	2階建て	大壁・モルタル	寄せ椽	184	7.5
B-2	なし	国産材	津山市	2階建て	大壁・モルタル	寄せ椽	178	5.5
B-3	なし	国産材	津山市	2階建て	真壁・モルタル	寄せ椽	208	6.5
C-1	なし	外材	岡山市	2階建て	大壁・モルタル	切り妻	113	5.0

2.2 調査住宅における乾燥材の割合

調査した住宅の構造部分に乾燥材が使用された割合は乾燥材住宅では約90%と高く、垂木のみが未乾燥材であるに過ぎなかった。また乾燥材のうちでは、柱・土台などの人工乾燥材が1/3、梁・桁などの天然乾燥材が2/3の材積を占めていた。未乾燥材住宅では、アカマツの梁・桁材は天然乾燥材であったが、材積の70%を占めるその他の部材には全く乾燥されていないものが用いられていた。

2.3 測定方法

調査対象住宅に使用された柱、土台、梁等の製材品の含水率と断面寸法を、上棟直後、内装開始時（上棟後約2カ月）及び竣工後約8年を経過し

た時点で測定した。一部の住宅では、竣工時点にも測定を行った。上棟は、すべての住宅で10月上旬～中旬の間に行われた。

測定は、柱は住宅の南面、中央部、北面において各5本、土台は南面、中央部、北面において各2本、梁は中央部の5本を対象とした。測定は原則として、柱と梁は4材面、土台は3材面について行った。ただし、上棟後は次第に他の建築部材によって材面が覆われるため、測定可能な本数及び材面は減少した。測定には、高周波式水分計デルター5とノギスを用いた。

竣工後8年後の測定時には、住宅内部に発生していたすきま、狂い、割れを計測するとともに、施主に対する聞き取りによって竣工後のトラブルの発生経過についても調査した。

2.4 調査地域の気象条件

調査した住宅が立地した地域の上棟開始年を含むその後9年間の年平均気温は津山市で13.6℃、岡山市で16.0℃、年平均湿度は同様に77%と67%であった。温度と湿度から計算される木材の平衡含水率は、県北部では春期は約13%と最も低く、夏期から秋期にかけて14~15%、冬期には16~17%と最も高い値を示した。県南部の平衡含水率は県北部よりも約2%程度低かった。

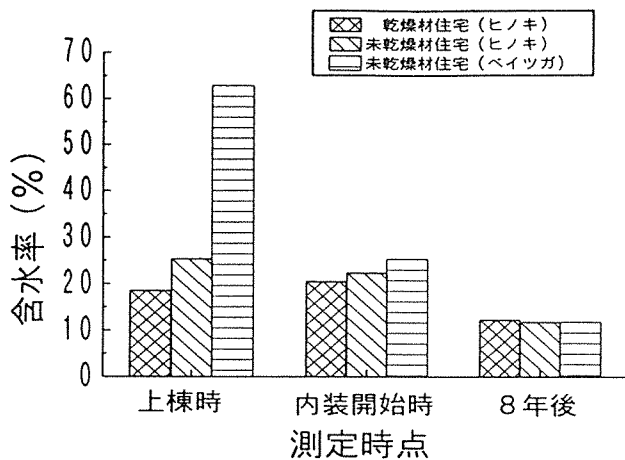
3. 結果及び考察

3.1 構造部材の含水率と断面寸法の上棟後における変化

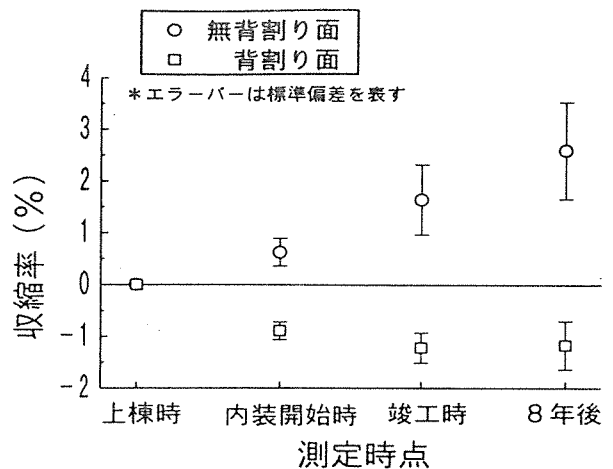
3.1.1 柱材について

柱材の含水率と断面寸法（無背割り面）の上棟後における変化を、第1図及び第2図に示した。ヒノキ柱材（心持ち材）の上棟直後の含水率は、乾燥材では平均値で18.6%、未乾燥材では25.4%であった。ベイツガ未乾燥柱材（心去り材）の含水率は63%で、同じ未乾燥材であるヒノキ材と比較しても非常に高かった。これらの材の含水率は、乾燥材、未乾燥材の違いにかかわらず8年後にはほぼ12%に達していた。

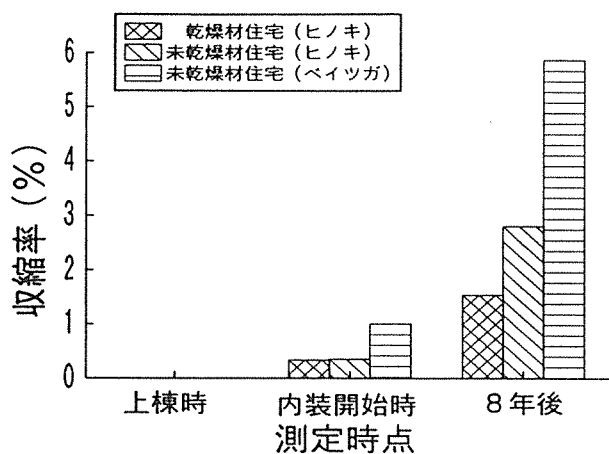
ヒノキ柱材の断面の収縮率は、内装開始時には未乾燥材と乾燥材との間に大差はなかったが、8年後の時点では未乾燥材は乾燥材の約2倍に達し



第1図 柱材の含水率の上棟後における変化



第3図 未乾燥柱材における上棟後の背割り面と無背割り面の断面寸法変化



第2図 柱材断面の上棟後における寸法変化

ていた。また、ベイツガ柱材の8年後の収縮率はヒノキ未乾燥柱材の4倍近くになり、際立って大きかった。これは、未乾燥材であったことと併せて心去り材であったことによる。

未乾燥ヒノキ柱材の無背割り面と背割り面における上棟後の断面寸法の変化を第3図に示した。8年後に生じた寸法変化を基準にすると、無背割り面では内装開始時までにその24%、竣工時で63%の収縮が生じていた。背割り面は、内装開始時までは背割り幅が増加することによって急速に断面寸法が大きくなったが、その後の変化は少なかった。以上の結果より、工期の短縮化が要求される現状においては、「未乾燥材を使用しても、内装を開始するまでに十分に天然乾燥が進行するため、何ら支障はない」とする考え方が施工現場にはあるが、これは妥当ではない。

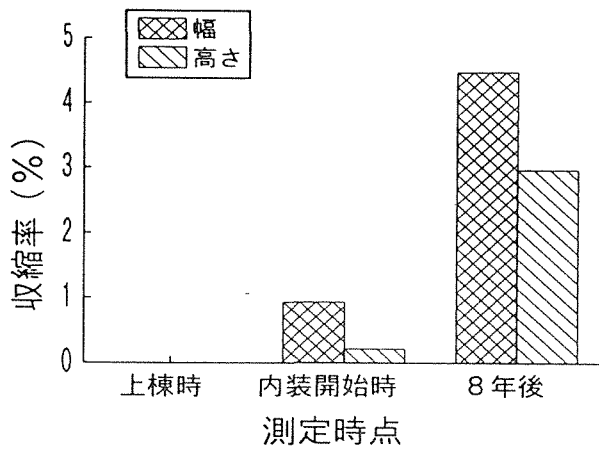
3.1.2 土台材及び梁材について

ヒノキ土台材の上棟直後における含水率は、乾燥材で18.3%、未乾燥材で25.8%であった。また、ベイツガ土台材の上棟直後における含水率は65.3%であった。ヒノキ乾燥土台材は8年後には含水率が16.1%に達していたが、柱材の同時期の値と比較すると3~4%高かった。ヒノキ土台材では、乾燥材であっても8年後には幅方向で2.81%、高さ方向で1.58%の寸法変化が生じていた。内装開始時までに生じた寸法変化は、これらの1/5以下であった。

アカマツ乾燥梁材の上棟直後の含水率は、幅方向が28.4%、高さ方向では33.6%であった。アカマツ未乾燥梁材では、幅方向29.4%、高さ方向47.5%であった。ベイツガ未乾燥梁材では、幅方向30.0%、高さ方向86.0%であった。アカマツ乾燥梁材の含水率は、8年後には幅方向で10.0%、高さ方向で14.0%に減少していた。

アカマツ乾燥梁材の断面の上棟後における変化を第4図に示した。8年後に、幅方向で4.47%、高さ方向で2.96%の収縮が生じていた。8年後に生じた寸法変化に対して内装開始時までに生じた寸法変化の割合は、高さ方向では約7%に過ぎず特に少なかった。未乾燥梁材の内装開始時までの断面寸法の変化は、ベイツガの方がアカマツよりも大きかった。

3.2 含水率と断面寸法の変化に対する構造材の住宅内部に占める位置の影響



第4図 アカマツ乾燥梁材断面の上棟後における寸法変化

3.2.1 柱材に対する住宅内位置の影響

柱材の含水率は、上棟直後から竣工後8年のいずれの時点においても、南面が北面よりも、また中央部よりも若干低く推移した。このことは、未乾燥材、乾燥材の両方において観測された。柱材断面の寸法変化は、乾燥材、未乾燥材とも、内装開始時、8年後のいずれの時点でも南面が最も大きく、さらに北面>中央部の順であった。

3.2.2 柱材に対する垂直的位置の影響

竣工後8年の時点で柱材の含水率と断面寸法を垂直方向に3箇所測定した。床に近い部分の含水率が胸高部分及び天井に近い部分よりも2~3%高いものが多い住宅もあったが、一定の傾向は確認できなかった。

断面寸法においても、一定の傾向は見いだせなかった。ただし、部位別の寸法のばらつきは乾燥材よりも未乾燥材で大きく、未乾燥材では乾燥が進行するにしたがって長さ方向に不均質な収縮が生じているようであった。

3.3 その他の部材の内装時の含水率

未乾燥材住宅では、大引き、根太などの床部に使用される部材にも高含水率材が使用され、さらに当然乾燥材であるべき鴨居や建具枠などの内装材にもスギの高含水率材が用いられていた。これに対して乾燥材住宅では、すべての部材に人工乾燥材もしくは天然乾燥材が使用され、未乾燥住宅とは顕著な違いが認められた。

3.4 竣工後に発生したトラブル

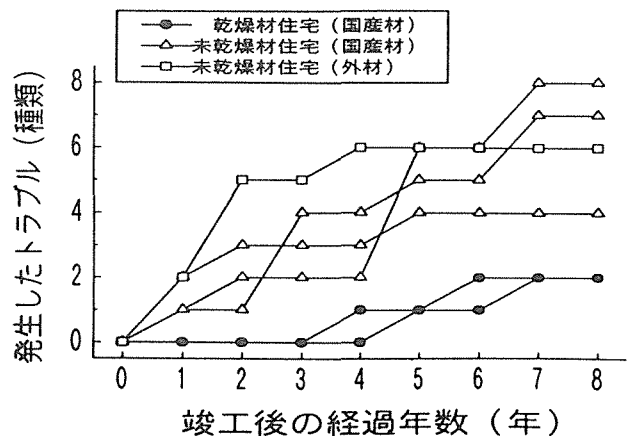
3.4.1 トラブルの発生経過

住宅の竣工後に発生したトラブルについて、施主に対して聞き取り調査した結果を第2表に示した。発生した割合が高かったのは、一階部分の床鳴り、壁クロス、壁タイル及び塗り壁の亀裂、ドア・引き戸の開閉困難等であった。また、床鳴りや壁タイルの亀裂が竣工後3年までに発生し、その後ドア・引き戸の開閉困難等が生じ、5年以降になると構造材の変形や内装各部でのすきまが顕在化するという傾向が見られた。

第2表 竣工後のトラブルの発生割合と発生時点

	トラブルの種類	発生した割合(%)	発生した時点(年)
1	一階部分の床鳴り	6.7	2.8
2	二階部分の床鳴り	1.7	1.0
3	壁クロスの亀裂	8.3	4.6
4	壁タイルの亀裂	5.0	2.7
5	塗り壁の亀裂	8.3	3.4
6	ドア・引き戸の開閉困難	6.7	4.3
7	柱等の構造材の割れ	1.7	1.0
8	柱等の構造材の変形	1.7	5.0
9	内装材等の造作材の割れ	0	
10	内装材等の造作材の変形	0	
11	内装各部でのすきまの発生	3.3	7.0
12	壁等のカビの発生	5.0	4.0

竣工後に発生したトラブルの種類の推移を第5図に示した。乾燥材住宅でも竣工後4~5年目にトラブルが発生したが、最大でも2種類のトラブル発生に留まっていた。未乾燥材住宅では竣工後1年以内にトラブルが発生し始め、その後も各種



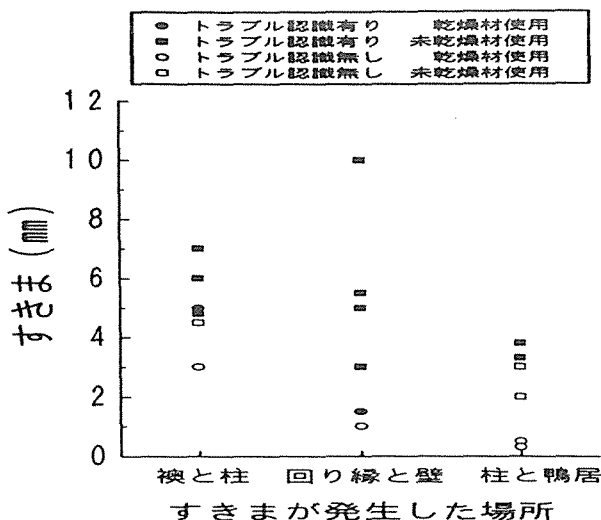
第5図 竣工後のトラブルの発生経過

の新たなトラブルが発生し続け、最大で8種類のトラブルが発生した住宅もあった。この結果から、乾燥材の使用が竣工後に発生するトラブルを抑制し、高品質な住宅を提供することにつながる事が明らかとなった。

3.4.2 住宅内部に発生したすきまとトラブルとしての認識

竣工後8年時点の住宅内部に発生していたすきまは、乾燥材住宅の方が未乾燥材住宅と比べて明らかに小さかった。例えば、柱材と壁との間のすきまは、乾燥材住宅が平均0.8mmであるのに対して、未乾燥材住宅では2.4mmであった。その他、回り縁と壁、障子と柱、襖と柱の間に発生したすきまにおいても、乾燥材住宅は未乾燥材住宅の1/2~1/3の量に留まっていた。

これらの住宅内部におけるすきまの発生量とそれらを施主がトラブルとして認識しているかどうかを第6図に示した。竣工後に使用された部材が変形することによって住宅の各所にすきまが生じるが、それを施主がトラブルとして認識するようになるには量的限界があり、それを越えた時点でトラブルとして顕在化することがわかる。乾燥材住宅では竣工後に生じる変形量は少ないが、限界値を超えると未乾燥材住宅と同様に施主はトラブルが発生したと認識していることがわかる。



第6図 すきまの発生量とトラブルの認識

3.5 乾燥材に対する施主の意識

3.5.1 住宅を発注した時点での意識

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全く受けておらず、「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、それらの必要性を全く認識していなかった。

3.5.2 竣工8年後の時点での意識

竣工8年後における施主の乾燥材に対する意識を第3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。

第3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当か。

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（あるいは知らない

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の意識も感じられた。

4. まとめ

乾燥材使用未使用の戸建て木造住宅における上棟後の寸法変化と竣工後に発生したトラブルについて調査した結果、次の点が明らかとなった。

- 1) 木造住宅に使用された構造用製材の上棟後の寸法変化には、乾燥材住宅と未乾燥材住宅との間に顕著な差異が認められた。
- 2) 未乾燥材住宅では、内装材にも未乾燥材が使用されていた。
- 3) 未乾燥材住宅では竣工後1年にトラブルが発生し始め、その後も様々な種類のトラブルが発生し続け、最大で8種類に達した。乾燥材住宅では発生したトラブルの種類が2種類以下であり、両者の間に顕著な違いが認められた。
- 4) 住宅に生じるすきまや狂いには、施主がトラブルとして認識するに至る量的な境界値がある。
- 5) 今回乾燥材の使用を指定しなかった施主は、乾燥材に関する知識が皆無であったために結果として指定できなかつたのであり、今後は適正な乾燥経費であればそれを負担してでも乾燥材を使用

したいとの意志表示をした。

木造住宅に乾燥材を使用する意義について、施工者は概念的には理解しているが、必要とされる品質についての具体的な検討がなされていないため、実際に使用されている部材の含水率は現在でも一定していない。今後は、乾燥材を使用することによって得られるトラブル抑制効果について、さらに部材別の定量的な検討が必要である。このことによって必要とされる部材の品質が明確となり、乾燥材の普及が促進されると期待される。

謝 辞

本研究をおこなうに当たり、有意義なご助言をいただいた岡山県木材加工技術センター所長中神照太博士に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 例えば、農林水産省：針葉樹の構造用製材の日本農林規格、平成3年1月31日農林水産省告示第111号（1996）
- 2) 例えば、建設大臣官房官庁営繕部監修：建築工事共通仕様書（平成5年度版）、（社）公共建築協会（1995）
- 3) 建設省建築研究所：建設省総合技術開発プロジェクト新木造建築技術の開発報告書（1988）
（1999. 5. 17受理）

2.3 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

信州大学農学部
武田孝志

はじめに

木材を使用する場合、あらかじめ使用場所に応じた含水率に調整しておくことが望ましい¹⁾。住宅の構造部材も同様で、現在のように工期に厳しい制約があると、かつてのように軸組を組んだ後に徐々に各部材を乾燥させるということは困難になってきている。また、梁などの横架材では、乾燥に伴う断面寸法変化のほかにクリープ変形の影響も考慮する必要がある。木材は水分状態が変化するとき、定常状態と比較してクリープ変形は非常に大きくなることが知られており、実大材のクリープについての研究²⁾も進められているが、実大の軸組についてのクリープ試験はほとんど行われていない。

ここでは、信州大学農学部で行っている軸組構造体のクリープ試験結果^{3), 4)}について紹介する。

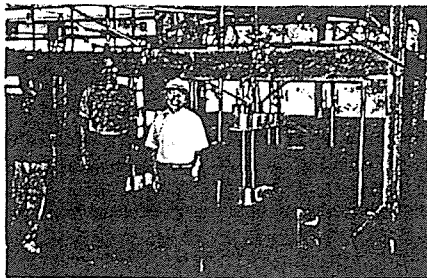
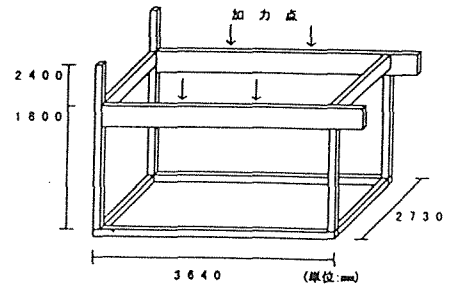


写真1 試験体

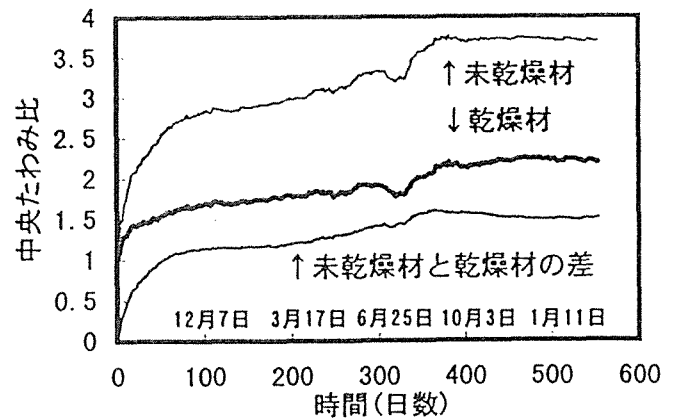
1. 試験の概要

試験体は、第1図に示すような約6畳の広さをもつ軸組構造体であり、人工乾燥材のみで組み立てた軸組と未乾燥材のみで組み立てた軸組の計2体とした。梁と柱の接合部は、梁の一方を通し柱(ほぞ差し)、もう一方を管柱(短ほぞ)を想定しており、各部材はプレカット材を使用した。軸組の組み立て後、T金物等により補強し、ボルトはトルクレンチを用いてトルク200kgf・cmでナットを締めつけた。樹種は、柱はヒノキ、梁・桁・土台はベイマツである。

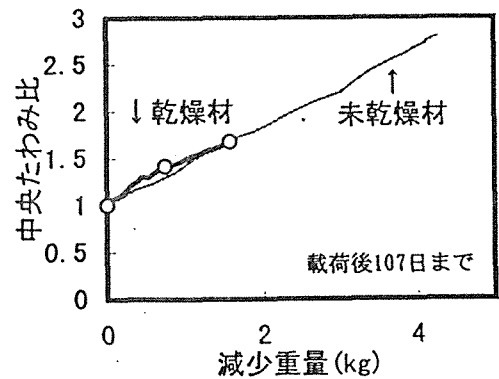
この試験体の梁に長期設計荷重相当の荷重を載荷した。載荷開始日は1994年8月29日である。試験は、写真1に示すとおり、学内の実験室内で行い、室内の温



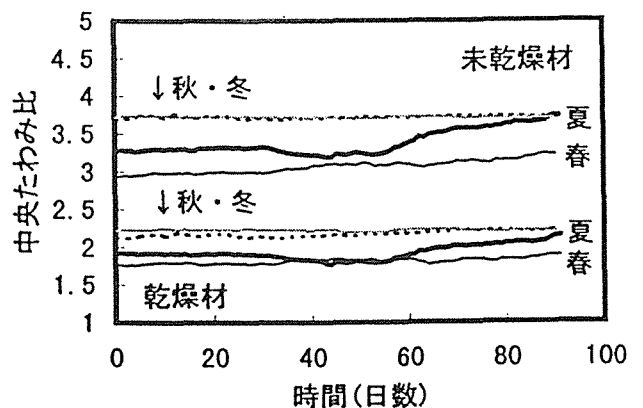
第1図 試験体図



第2図 中央たわみ比



第3図 中央たわみ比と減少重量の関係



第4図 中央たわみ比の季節変動

湿度は無調整である。また、軸組試験体の梁と同寸法の材を対照試験体として用意して、約1週間間隔で重量等の測定を行った。

以下、「中央たわみ」は载荷した梁中央の上面の垂直変位を指し、「中央たわみ比」はこの初期たわみ比である。従って、中央たわみには、梁背の収縮、接合部の変形の影響が含まれている。また、「たわみ量」は、梁材の曲げによるたわみ量とし、中央たわみから梁の接合箇所の垂直変位平均値を引いて求めた。

2. 試験結果

2.1 クリープ変形

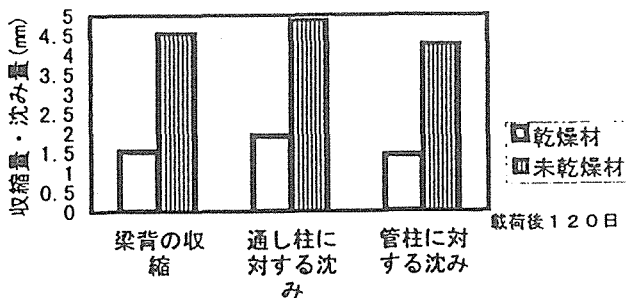
第2図に示すとおり、クリープ変形は未乾燥材の方が乾燥材より大きくなった。乾燥材と未乾燥材の中央たわみ比の差は载荷直後大きく増加し、载荷後約3ヶ月ではほぼ一定の値を示したが、夏期に再び増加した後減少した。载荷後約1年経た後においても乾燥材と未乾燥材の差に変化が生じることから、乾燥材と未乾燥材はそれぞれ含水率変動の履歴を何らかの形で記憶していると考えられる。

対照試験体の重量変化と中央たわみ比の関係を第3図に示す。载荷初期段階の中央たわみ比の増加は重量変化とほぼ直線関係にあり、クリープたわみの進行は乾燥の進み具合による影響が大きいといえる。

クリープ変形の季節変動について第4図に示す。乾燥材、未乾燥材両者とも梅雨期に中央たわみ比が減少した後増加する傾向がみられ、この変動幅は未乾燥材の方が大きい。

2.2 梁背の収縮

载荷後120日の梁背の収縮量及び柱に対する梁の沈み量を第5図に示す。図に示すとおり、梁背の収縮量は未乾燥材の方が大きく、柱に対する沈み量はほぼ収縮量と一致した。通し柱と管柱それぞれに対する梁の沈み量をみると、乾燥材、未乾燥材両者とも通し柱の



第5図 梁の収縮量と沈み量

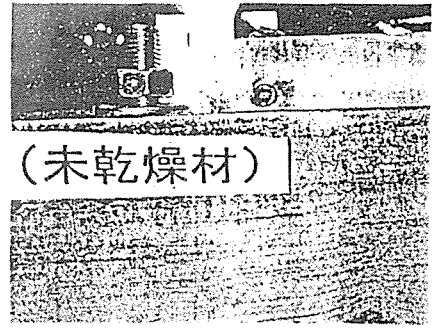
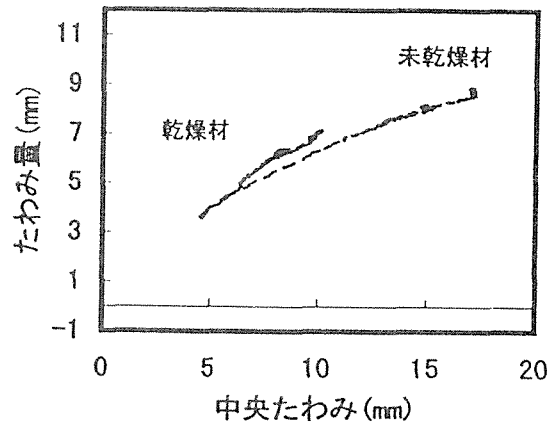
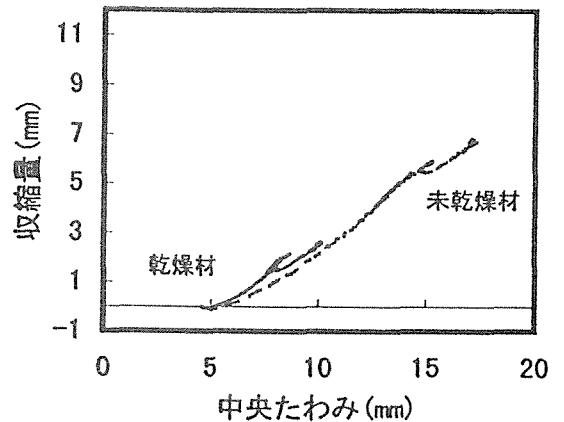


写真2 ボルトの緩み (未乾燥材)



第6図 中央たわみとたわみ量の関係



第7図 中央たわみと梁背収縮量の関係

方が大きい値を示した。

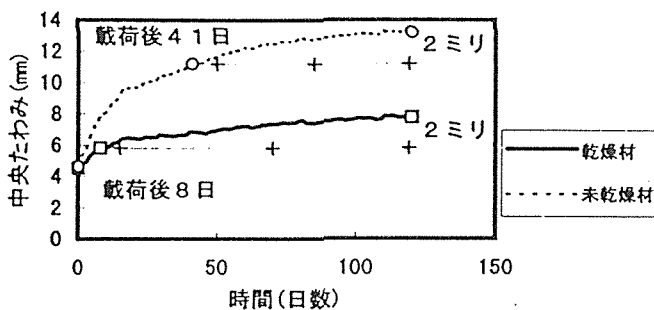
未乾燥材では、写真2に示すとおり、梁上面の羽子板ボルトに緩みが生じた。乾燥材ではこのような緩みはなく、ナットを手で回すことができなかった。

2.3 中央たわみに及ぼすたわみ量と梁背の収縮量の影響

中央たわみとたわみ量の関係を第6図に、中央たわみと梁背の収縮量の関係を第7図に示す。いずれも、乾燥材と未乾燥材のプロットはほぼ同じ直線上にあり、その変化量は乾燥材と比較して未乾燥材の方が大きい。また、未乾燥材の場合、中央たわみに対する梁背収縮の影響は徐々に大きくなり、たわみ量と同程度まで梁背の収縮の影響が大きくなった。

3. 工期との関係

この試験データを利用して、内装工事にとりかけられるまでの日数について検討した。工期を仮に120日間、許容たわみを2mmとして、載荷後120日の中央たわみから逆算して、載荷後何日で許容たわみの範囲におさまるかを求めた。結果を第8図に示す。乾燥材では、



第8図 載荷後120日までのクリープ変形

載荷後8日、未乾燥材で載荷後41日になった。

この結果は、内装工事にとりかけられる期間を直ちに示すものではないが、未乾燥材は乾燥材と比較すると非常に長い期間が必要と考えられる。

まとめ

本試験結果からは以下のことがいえる。

- 1) 未乾燥材のクリープたわみは乾燥材と比較して約2.5倍大きい。
- 2) クリープたわみは、乾燥材、未乾燥材とも梅雨期に減少し、その後増加する傾向がみられた。
- 3) 初期段階のクリープたわみは、乾燥の進み具合に対して直線的に増加した。
- 4) 未乾燥材は乾燥材より梁の柱に対する沈み量は大きく、これは主として梁背の収縮量に依存する。
- 5) 乾燥材を使用する方が未乾燥材を使用する場合と

比較して、時間コスト面からは有利と考えられる。

実際には、軸組組み立て直後に長期設計荷重相当の重量を横架材が負担することはないが、この試験結果が実際におこりうる軸組の変形を拡大して表しているものとすれば、未乾燥材を使用する場合は乾燥材と比較して大きな変形が生じると考えると、工期に制約のある場合、乾燥材を用いることが望ましい。

最後に、本試験は、(株)中国木材、三栄ハウス(株)及び(株)日本住宅・木材技術センターのご支援・ご協力を得て実現した。ここに深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 寺沢真, 鷺見博史: 林業試験場研究報告第227号 (1970)
- 2) 荒武志郎, 有馬孝禮: 木材学会誌, 41(4), 359-366 (1995)
- 3) 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(北海道), 93-94 (1995)
- 4) 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(近畿), 27-28 (1996)

3 強度性能

3.1 鹿児島県産スギ材の乾燥温度別強度性能

(鹿児島工技セ) ○山之内清竜、図師朋弘、福留重人

1. 目的

鹿児島県産スギ材の乾燥温度と強度性能の関係を把握するため、乾燥温度 60 ~ 150 °C の範囲におけるスギ材の強度性能について検討を行った。

2. 実験方法

供試材は鹿児島県産スギ材で、厚さ 25mm、幅 105mm、長さ 4m の板材をそれぞれ長さ 1m に切断後、両木口をコーティングして乾燥した。乾燥温度は 60,90,120,150 °C の一定温度 4 条件とし、乾燥は定温乾燥器を使用した。乾燥終了後、約 3 週間養生し、板材から 20mm × 20mm × 350mm の無欠点試片を採取した。試験は JIS の曲げ試験に準拠して行い、試験材は各温度条件でそれぞれ 23 本づつを供試した。なお、乾燥温度別の強度性能の比較は、いずれも繊維方向に連続（切断）した 4 枚の試験材の間で行った。

3. 結果及び考察

各試片の強度測定時の平均含水率は乾燥温度 60 °C で 10.1%、90 °C が 8.3%、120 °C が 6.6%、150 °C が平均 4.9% であった。そこで含水率 1% に対する曲げ強さの変化率を 4%、曲げヤング係数の変化率を 2% として、含水率 10 % 時の曲げ強さ及び曲げヤング係数に補正した各温度におけるスギ材の強度性能を表 1 に示す。なお、供試材の平均年輪幅は 4.0mm（範囲 2.6 ~ 6.3）、気乾比重は 0.36（範囲 0.29 ~ 0.43）であった。

表 1. 乾燥温度と強度性能の関係

平均値（標準偏差）

乾燥温度 (°C)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 (tonf/cm ²)	全たわみ量 (mm)
60	677.9 (93.6)	68.6 (21.9)	9.1
90	648.6 (94.0)	61.2 (15.2)	10.3
120	616.1 (102.7)	66.1 (12.3)	8.4
150	480.0 (150.2)	57.4 (20.8)	7.7

各乾燥温度間で曲げ強さの平均値を比べると、有意水準 5% で 60 °C > 90 °C > 120 °C > 150 °C という関係が認められ、60 ~ 150 °C の範囲においては乾燥温度が高くなるに従い曲げ強さは低下する。乾燥温度 60 °C の曲げ強さに対する各温度の曲げ強さの比をみると、乾燥温度 90 °C が平均 0.96、乾燥温度 120 °C が平均 0.91、乾燥温度 150 °C が平均 0.71 と乾燥温度 150 °C で急激に曲げ強さが減少する傾向がみられた。また、150 °C 乾燥材の曲げ強さは他の温度条件の曲げ強さに比べばらつきが大きい、これは内部割れが発生した材の曲げ強さが極端に低下するためと考えられる。各乾燥温度間で曲げヤング係数の平均値を比べると、有意水準 5% で 60 °C > 90 °C、60 > 150 °C、120 °C > 150 °C、90 °C < 120 °C という関係がみられたが、60 ~ 150 °C の範囲において乾燥温度と曲げヤング係数間には曲げ強さのような明確な傾向が認められなかった。乾燥温度 90 °C 以上の全たわみ量をみると、乾燥温度が高くなると全たわみ量は小さくなり、高温処理材はねばりが低下する傾向がみられる。

3.2 群馬県産スギ正角材の強度性能 (1) (110℃乾燥材の強度試験)

町田 初男 (群馬県林試)

I はじめに

建築基準法が性能規定を盛り込んだ内容に改正され、実大材の強度性能の把握が必要になってきている。しかし、群馬県産スギ材の強度データは非破壊試験、強度試験共に何のデータもないのが現状であり、県産スギ材の強度データがほしいという声も出てきている。そこで、群馬県産スギ材の曲げ強度試験を実施した。

また、非破壊による強度推定の方法としてFFTアナライザを使用して動的ヤング係数を測定する方法があるが、密度の測定に手間がかかるため、密度測定を行わず、基本振動数の測定だけでの強度推定の可能性について検討してみた。

II 試験方法¹⁾

試験材は群馬県西部の松井田町細野産スギ4寸角3m柱材47本を使用した。未乾燥の製材品を購入し、寸法、年輪幅、節径比等形質測定のもの、人工乾燥を行った。

人工乾燥は日本電化工機(株)製のIF型高温乾燥機DKSH-15HTを使用し、初期蒸煮を98℃で30時間行い、その後湿球温度98℃で乾球温度を徐々に110℃まで上昇させた。乾燥期間は7日間であった。

乾燥後、強度推定を行うため、重量測定と(株)小野測器製FFTアナライザCF-1200を使用した基本振動数の測定を行い、式(1)により動的ヤング係数Efr (以下Efr)を求めた。

$$Efr = 4L^2 f^2 \rho \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし、L：試験材の材長 (m)

f：基本振動数 (Hz)、 ρ ：材の密度 (g/cm³)

曲げ強度試験は、インストロン・ジャパン(株)製の強度試験機5582EX/Hによりスパン216cmの3等分点4点荷重方式で実施し、全スパンのたわみによる曲げヤング係数MOE (以下MOE)を式(2)により求めた。

$$MOE = a \cdot (3L^2 - 4a^2) \cdot \Delta P / 4bh^3 \Delta Y \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし、a：1/2シェアスパン (mm)、L：スパン (mm)

ΔP ：比例域における上限荷重と下限荷重の差 (N)

b：試験材の幅 (mm)、h：試験材の高さ (mm)

ΔY ： ΔP に対応するたわみ (mm)

曲げ強度MOR (以下MOR)は式(3)に従って算出した。

$$MOR = 3Pa / bh^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

ただし、P：最大荷重 (N)

a：1/2シェアスパン (mm)

b：試験材の幅 (mm)、h：試験材の高さ (mm)

曲げ試験終了後に試験体の非破壊部分から厚さ約2cmの試験片を採取し、試験時の含水率を求めた。

含水率の影響を除くために、式(4) (ASTM D2915)により含水率15%時の強度を算出した。

$$P_2 = P_1 (\alpha - \beta M_2) / (\alpha - \beta M_1) \quad \dots\dots\dots(4)$$

ただし、P₁：含水率M₁%時の強度値

P₂：含水率M₂%時の強度値

M₁, M₂：含水率 (%)

α ：含水率補正係数 (曲げヤング係数：1.44, 曲げ強度：1.75)

β ：含水率補正係数 (曲げヤング係数：0.0200, 曲げ強度：0.0333)

III 結果

試験材の形質測定の結果を表-1に示した。試験体はほぼ基本振動数の平均値である690Hz未満のものと、690Hz以上の試験体とで区分した。含水率の平均値は690Hz未満19.1%、690Hz以上13.7%、Efrの平均値は690Hz未満6.60GPa、690Hz以上8.36GPaであった。

試験材の曲げ強度試験の結果を表-2に示した。以下のMOEとMORの値は式(4)により、含水率15%に換算した値である。試験体全体について、MOEの平均値は8.12GPaで、信頼水準75%の5%下限値は5.82GPaであった。また、MORの平均値は38.7MPaで、信頼水準75%の5%下限値は27.9MPaであり、建築基準法に示された材料強度の225kgf/cm² (約22.1MPa)を満たしていた。

MORの頻度分布を図-1に示した。基本周波数690Hz以上の試験体は690Hz未満の試験体に比べてMORの値がより高い方に分布している。

基本振動数とEfrとの関係を図-2に示した。相関係数

Hatsuo MACHIDA (Gunma Pref. For. Exp. Stn., Shinto, Gunma 370-3503)

Strength properties of Sugi square lumber in Gunma prefecture(I) -Strength test of 110℃ drying lumber-

は0.80で、高い相関であった。これに比べると図-3に示した基本振動数と MOR の関係は0.47と相関が低い。

平均年輪幅、全乾密度、基本振動数、Efr、MOE、MOR の各測定因子間の相関関係を表-3にまとめた。

MOR と各ヤング係数の関係は、Efr、MOE 共に相関が高く、曲げ強度の推定に有効な因子である²⁾。

ヤング係数以外の因子と MOR の相関係数としては、平均年輪幅とは-0.35、全乾密度とは0.62、基本振動数とは0.47であった。全乾密度はかなり高い相関を示している。一方、平均年輪幅とは負の相関で絶対値は低い値であった。基本振動数との相関もかなり高いが、同一の試験体であっても密度によって振動数が変わることが強度推定において難しい点である。

IV まとめ

1：基本振動数は曲げ強度の指標としてヤング係数ほど高い相関はなかったが、大まかな強度推定には使える可能性があることがわかった。

2：今回試験を行った柱材の曲げ強度は平均37.8 MPa、信頼水準75%の5%下限値は27.9MPaであり、建築基準法に示されている材料強度225kgf/cm² (約22.1 MPa) を満たしていた。

3：Efr、MOE、全乾密度は曲げ強度と高い相関があった。最大節径比は曲げ強度との相関は低かった。

今回は、47本の群馬県産材の強度データについて報告した。今後の試験では、データ数を増やしていくとともに、含水率の変化による基本振動数の変化について検討していきたい。また温度、乾燥方式の違い等乾燥条件により強度にどのような影響が出るのかの検討も行っていきたい。

引用文献

(1)財団法人住宅・木材技術センター編：構造用木材の強度試験法、7～23、1997 (2)たとえば祖父江信夫：木材学会誌39(9)、973～979、1993

表-1 形質測定結果

	690Hz未満		690Hz以上		全試験体	
	AVE	CV	AVE	CV	AVE	CV
年輪幅(mm)	4.7	17.6	4.7	17.5	4.7	17.4
最大節径比	0.35	34.7	0.30	58.8	0.32	48.0
密度(g/cm ³)	0.46	11.0	0.45	10.5	0.45	10.7
含水率(%)	19.1	41.0	13.7	31.8	16.1	41.5
Efr(GPa)	6.6	15.6	8.36	11.6	7.2	16.3

表-2 曲げ強度試験結果

	690Hz未満			690Hz以上			全試験体		
	AVE	CV	5%LL	AVE	CV	5%LL	AVE	CV	5%LL
MOE(GPa)	7.37	15.4	5.40	8.73	11.8	6.95	8.12	15.6	5.82
MOR(MPa)	35.4	14.8	25.30	41.5	16.4	30.30	38.7	17.8	27.9

表-3 各因子間の相関関係

	基本振動数	平均年輪幅	密度	全乾密度	最大節径比	Efr	MOE	MOR
基本振動数	1							
平均年輪幅	-0.03	1						
密度	-0.19	-0.50**	1					
全乾密度	0.14	-0.57**	0.65**	1				
最大節径比	-0.07	-0.41**	0.31*	0.33*	1			
Efr	0.80**	-0.32*	0.42**	0.63**	0.12	1		
MOE	0.58**	-0.33*	0.55**	0.62**	0.14	0.87**	1	
MOR	0.47**	-0.35*	0.50**	0.62**	0.10	0.75**	0.75**	1

*有意水準5% **有意水準1%

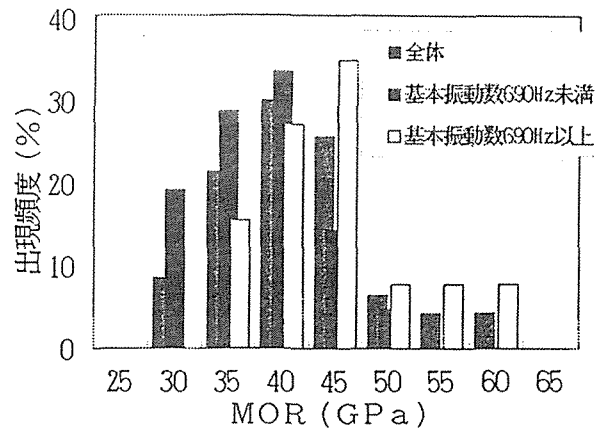


図-1 MORの頻度分布

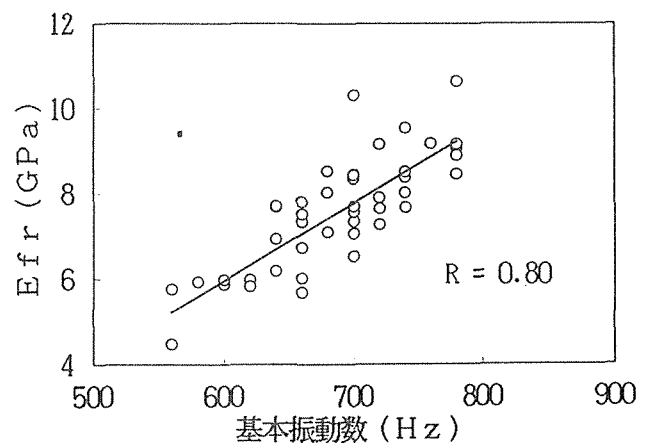


図-2 基本振動数とEfrの関係

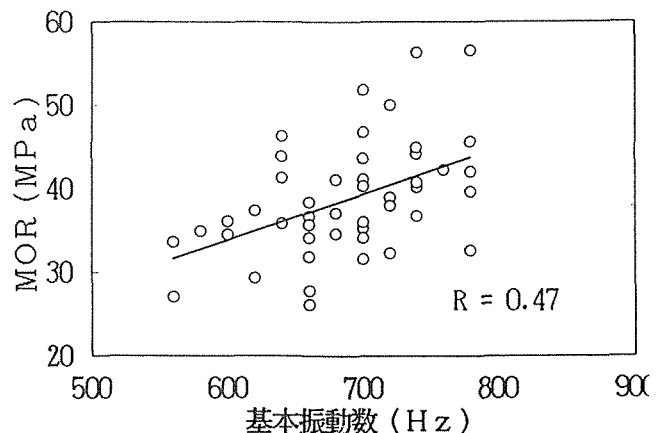


図-3 基本振動数とMORの関係

3.3 高知県産スギ材の加熱温度と強度性能との関係

(香川工技セ) ○大北一也 (高大名誉教授) 中山義雄

【はじめに】

建築基準法の性能規定化、建築工期短縮、プレカットなど建築工法の変化、及び未乾燥にともなう狂いなどのクレームなどから、乾燥材の必要性は高まっており、効率的な乾燥方法の開発と普及が急務になっている。この木材乾燥方法の一つとして近年高温乾燥が普及しつつある。これは乾燥時間を大幅に短縮できることである。しかし高温乾燥は、高温の影響による材質の変化などが、特定の樹種においてはまだ十分に明らかにされていないと考えられる。本研究では高知県産スギ材について、曲げ強さ、曲げヤング率、曲げ仕事量、硬さの各値と加熱温度との関係について検討した。

【実験方法】

市販の高知県産スギ丸太材(赤色系6本、黒色系6本)から、辺長25mm材長約1000mmの角材を切断し、この角材から、辺長25mm長さ400mmの曲げ試験体を上下に2個採取し、ランダムに片方を加熱試験体とし、もう一方を天然乾燥試験体とした。

加熱試験体の加熱温度は80℃、100℃、120℃、140℃とし、恒温乾燥器内で生材から加熱した。試験体は急激な乾燥と割れを避けるため、木口面以外を食品包装用ラップフィルムで被覆した。加熱時間は、試験体の含水率が15%になるまでの時間とし、各加熱温度ごとにあらかじめ予備実験を行い決定した。各加熱時間は加熱温度80℃で40～120時間、100℃で15～26時間、120℃で7～20時間、140℃で3～7時間である。加熱後曲げ試験までの養生期間は約2～3週間である。

天然乾燥試験体の乾燥は、屋根付きの屋外で約1ヶ月半行った。

試験方法は「木材の試験方法」JIS-Z2101-1994に基づく硬さ試験及び3点曲げ試験で、3点曲げ試験については荷重速度4mm/min、スパン350mmである。

【結果】

ここでは辺材の試験結果について報告する。曲げ強さ、曲げヤング率、曲げ弾性域仕事量、曲げ塑性域仕事量、曲げ破壊仕事量、まさ目面硬さの各値を、比重の影響を取り除くため、比強度値を算出し、各比強度値における天然乾燥試験体に対する加熱処理試験体の比を求めた。その結果、加熱処理試験体は天然乾燥試験体と比較して各値にばらつきはあるものの、比曲げ強度及び比曲げヤング率の値は同等か約1割程度向上した。また同様に、比弾性領域仕事量は、同等か最大4割程度向上した。逆に比塑性仕事量は全体的に1割程度から最大4割程度減少する傾向がみられた。比破壊仕事量は黒色系心材の辺材部において約1割程度の減少がみられた。比まさ目面硬さについては同等か、約1割程度向上していた。

表 天然乾燥試験体に対する加熱処理試験体の各比強度値の比率

心材色	加熱処理温度区分	試験部位	比曲げ強さ	比曲げヤング率	比弾性域仕事量	比塑性域仕事量	比破壊仕事量	比まさ目面硬さ
赤色系	80	辺材	1.11	1.09	1.01	0.56	0.63	1.14
	100		1.09	1.03	1.26	0.96	1.01	1.01
	120		1.14	1.08	1.39	1.05	1.10	0.83
	140		1.13	1.09	1.28	1.03	1.06	1.19
黒色系	80	辺材	1.03	1.01	1.15	0.84	0.90	1.23
	100		1.01	0.89	0.94	0.95	0.95	0.96
	120		0.99	0.92	1.00	0.88	0.91	1.05
	140		1.09	1.11	0.98	0.95	0.95	1.06

第6章 乾燥材と行政、規格、その他

1 乾燥施設整備の推進

林野庁 中島孝雄

1. 木材乾燥の必要性

乾燥材供給に対するマーケットニーズが高まっている中で、柱材については、構造用集成材が増加しており、さらに建築基準の性能規定化等の動きを考えると、少なくとも構造材については未乾燥材は商品性を持ち得なくなると思われます。

しかしながら、我が国の人工乾燥施設の導入状況、国内製材品に占める乾燥材の比率はいずれも極めて不十分であり、平成7年度の国内製材品における乾燥材の比率はわずか7.5%(1,869千m³)にすぎません。この理由は、乾燥コストのすべてを製品価格に必ずしも転嫁できる状況にないことなどによりますが、今後、国産材が輸入製品との競争にうちかつためには、人工乾燥製材品の生産体制の緊急な整備が不可欠であり、人工乾燥施設の導入促進と乾燥コストの低減を積極的に推進する必要があります。

2. 低コスト木材乾燥技術の開発

製材品の乾燥を推進するためには、省エネルギーかつ低コストの乾燥機械、人工乾燥前処理技術を利用した低コスト木材乾燥システムなどを開発・導入

する必要があります。

現在、低コスト乾燥技術のひとつとして高周波加熱減圧乾燥が研究開発されていますが、容積当たりの機械価格が高く、コスト高に見えるため導入が進んでいません。森林総合研究所の試算によると、養生スペースさえあれば、機械の処理能力は非常に高く、材積当たりの価格は現在の他の乾燥方式に比べても安くなります。今後、これらの新しい乾燥方式の事業段階への早期導入を推進していきたいと考えています。

また、平成11年度予算においては、バイオマスエネルギーの利用技術として、木屑等の焼却熱を用いた低コスト乾燥システムの開発を要求しています。このシステムにおいては、過熱蒸気等による前処理と蒸気乾燥を組み合わせた乾燥方法を用いることなどから、エネルギーの有効利用とかなりのコスト低減が期待されます。

3. 木材乾燥施設整備に対する助成制度

木材乾燥施設を導入する場合、一定の条件が整えば、国からの補助、制度融資等を受けることができます。

木材乾燥施設導入に対する助成制度

事業(資金)名	対象	内容	問合せ先
林業構造改善事業	森林組合、事業協同組合等	林業構造改善事業実施地域において、乾燥施設を整備する場合に補助(1/2)。	各都道府県林務担当課
木材流通合理化整備特別対策事業	事業協同組合等	木材の流通合理化のため、乾燥施設等を整備する場合に補助(1/3)。	各都道府県木材担当課
農林漁業金融公庫資金	個人(林業者等)企業(林業者等)等	乾燥施設等を整備する場合に融資(利率:1.7~2.85%、限度額:3億円又は80%の低い額)。	農林漁業金融公庫本支店
木材産業高度化促進事業	個人・企業等	乾燥施設等を整備する場合に利子を助成(3%又は4%)。	各都道府県木材担当課または日本木材総合情報センター
木材流通合理化設備リース促進事業	個人・企業等	大型乾燥施設等をリースで整備する場合にリース料の一部を補助(リース月額額の7~8%)。	日本木材総合情報センター

※このほか、条件が整えば、他の補助事業、中小企業金融公庫からの融資などを受けることもできます。

2 リースによる大型木材乾燥設備の整備

林野庁木材流通課

近年、建設基準法の改正等により、木材需要者から部材の品質、性能の保証や性能の規定化など、高品質・高性能である乾燥材が強く求められています。

しかし、我が国の国内製品に占める乾燥材の比率は増加傾向にあるものの、その比率はわずか7.2%（平成7年度）と極めて低位な状況にあり、その比率を高めるために、早急に木材乾燥整備の導入が必要となっています。

木材乾燥整備を、個人企業でも国の助成が受けられる方法として注目されている「リース」に対しての助成制度についてご紹介します。

1 リースとは

リースとは、ユーザーが機械設備を導入する際、リース会社が代わりにその機械設備を購入します。そして、ユーザーはその機械設備を使用する代わりにリース料を支払うことで、その機械設備が使用できる仕組みです。施設設備の手法としては、リース、融資等いろいろありますが、リースでの導入のメリットは、

- ① 一度に多額な費用を必要とせず、月々のリース料を支払うだけで最新の設備が使用できること。
- ② リース料は全額経費として処理できること。
- ③ 銀行から融資を受ける時のような担保を必要としないこと。

などがあります。

機械設備の導入に当たっては、銀行からの融資にするのか、リースにするかはその会社の経営状況などによって決めなければなりません。

図1 助成の対象設備

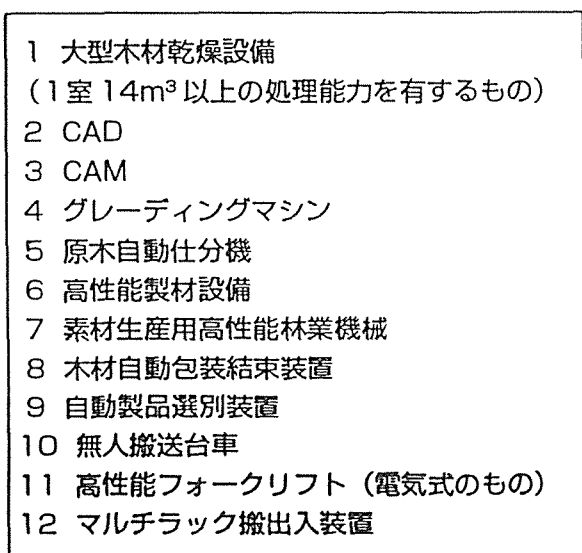
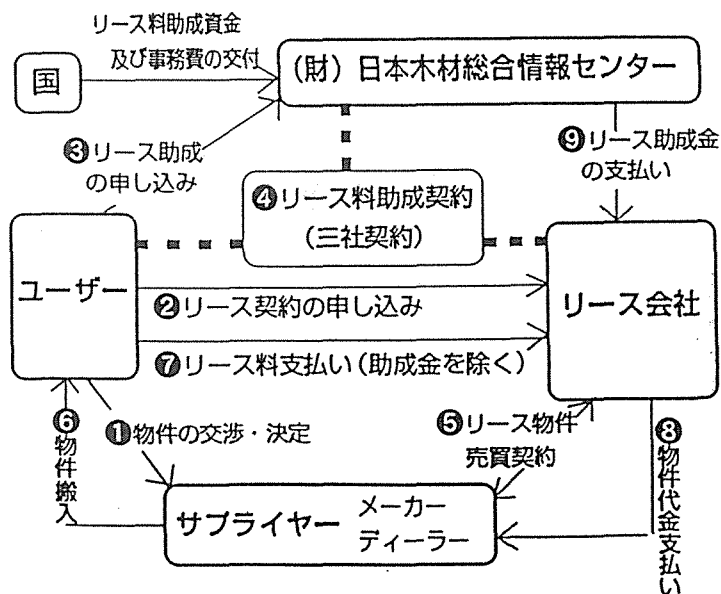


図2 木材流通合理化設備リース促進事業の仕組み



2 リース助成制度

林野庁では、昭和62年度に国産材の品質向上を目的に、木材乾燥設備をリースで導入する場合、そのリース料の一部を助成する事業として「木材流通改善設備導入促進事業」を発足しました。現在は、「木材流通合理化設備リース促進事業」として、大型木材乾燥設備をはじめとして、高性能製材設備、CAD/CAMなど、図1に掲げる12機種に対し助成を実施しています。

この結果、木材乾燥設備についてはこれまでに、314台（我が国の全乾燥設備の7.9%）^{*1}の助成をし、好評を得ております。

当事業では、リース対象物件価格の金利3.5%相当分を助成し、これは実質補助率に換算しますと、6～7%^{*2}になります。

この制度は、図2のように（財）日本木材総合情報センターが国からの交付金により資金造成を行います。そして、これの運用益（定期預金による利息）を加えた資金によりリースの助成を行っています。

助成を希望する者が指定木材団体（都道府県木材協同組合連合会等）を經由して提出された書類を、日本木材総合情報センター内に設置された「リース審査会」で審査されたのち、助成が決定となります。詳しくは日本木材総合情報センター^{*3}にお問い合わせください。

おわりに

阪神・淡路大震災を契機として、木造建築等への安全性に関する関心や、品質、性能の保証や性能の規定化など、住宅を取り巻く木材製品の需要面の環境は大きく変化しております。

今後、これらに対応できる乾燥材がますます必要とされていく中で、リースのメリットを生かし木材乾燥設備の導入を推進する当助成事業を活用し、木材産業が一層発展することを期待します。

*1 比率は、平成7年当時の数値

*2 現在の長期プライムレートから換算した場合。長期プライムレートによって変動します。

*3 （財）日本木材総合情報センター企業振興課
tel03-3381-6595

3 木材乾燥低コスト化技術研究組合が発足

林野庁 谷田部 昭

我が国の森林資源は、1,000万haの人工林を中心として充実が図られつつあり、21世紀には国産材の供給力は飛躍的に増大することが期待されています。

一方、我が国の林業・木材産業は、製材、合板等の製品輸入の増大、木材価格の長期にわたる低迷等から極めて厳しい状況にあります。

また、国産材需要の大宗を占める住宅建築部門においては、阪神・淡路大震災を契機とした耐震性の向上や建築コストの低減に向けた取り組みが進展する中で、使われる木材も乾燥材や集成材等の寸法、強度等の安定した製品の需要が増大するなど、木材の需要構造の急激な変化が起きています。

これらの傾向は、今後予定されている建築基準法の見直しに伴う性能規定化への動きにより、一層加速していくものと考えられます。

このような状況の中で、需要者ニーズに合致し、寸法精度が高く、狂いの生じない乾燥材の安定的な生産・供給が強く求められています。

しかしながら、乾燥のコストが割高であることや乾燥コストを製品価格に転嫁できる状況にないことなどから、国内製材品における乾燥の実施率は6%程度にとどまっています。

特に、現在、国産針葉樹供給量の約5%を占めているスギ材については、今後、飛躍的な供給の増大が見込まれるものの、相対的に心材の含水量が多いことや含水率に大きなバラツキがあること、心持ち材の乾燥が技術的に難しいことなどから既存の乾燥技術では長い時間を必要としています。

このため、乾燥コストの低減を図るためには、容易に短時間かつ低コストで乾燥できる新たな乾燥技術を開発することが重要な課題であります。

■表-1 具体的な開発課題及び担当組合員

中 課 題	小 課 題	担当組合員
工程・品質管理のための材質測定技術の開発	1. 木材の含水率測定技術及びこれを利用した木材の選別・仕分け技術の開発	小野測器エンジニアリング(株)
	2. 木材の含水率測定技術及び乾燥材品質評価・区分技術の開発	カワサキ機工(株)
	3. 乾燥材の安定生産と乾燥コスト低減技術の開発	院 庄 林 業 (株)
乾燥性改善のための乾燥前処理技術の開発	1. 乾燥コスト低減のための圧縮前処理技術の開発	(株)日阪製作所
	2. 加熱式二重缶圧力容器による乾燥前処理技術の開発	(株)タカハシキカシ
乾燥処理の自動化及び低コスト化技術の開発	1. スチーミング併用等による高周波減圧乾燥の低コスト化技術の開発	(株)ヤスジマ
	2. 燻煙乾燥技術の開発	(株)古代人スガオカ
	3. 乾燥揮散精油の回収等による総合的乾燥コスト低減法の開発	(株)キセイテック
	4. スギの効率的乾燥技術の確立と住宅部材用途の開発	住 友 林 業 (株)

これまで、林野庁森林総合研究所において、木材内部の水分の通導性をよくするための物理的処理を行うことによる乾燥期間の短縮、乾燥の自動化、低コスト化等の研究が行われており、林野庁では平成9年度から13年度までの5年間で、これらの研究成果を活用し、木材を効率的に、かつ低コストで乾燥する技術を開発することとしました。

この技術開発を推進するに当たっては、技術研究組合制度を活用することとし、研究組合設立のための準備室を設け、着々と準備を進めてきましたが、去る7月11日、「木材乾燥低コスト化技術研究組合」の創立総会が開催されたところであります。

当研究組合への参加企業は、院庄林業(株)、小野測器エンジニアリング(株)、カワサキ機工(株)、(有)キセイテック、(株)古代人スガオカ、住友林業(株)、(株)タカハシキカン、(株)日阪製作所、(株)ヤスジマの9企業であり、会長には大西和男氏（住友林業株式会社取締役会長）が、理事長には杉原昌樹氏が選任され、そのほか10名の役員で構成されています。また、業務の適切かつ円滑な執行を図るため、当

研究組合理事会の諮問機関として、鷺見博史氏（森林総合研究所木材利用部長）ほか12名の学識経験者、国立試験研究機関の職員からなる技術開発委員会が設けられることとなっています。

事務所は既存の木材関係の技術研究組合と同じ事務所（〒104 東京都中央区八丁堀3-5-8 京橋第二長岡ビル7F TEL 03-3552-6184）となっています。

当研究組合の主な取り組み課題は、①効率的な仕分け及び品質管理のための材質測定技術の開発、②短期間で効率のよい乾燥を行うための乾燥前処理技術の開発、③乾燥処理の自動化及び低コスト化技術の開発等となっており、具体的な開発課題及び担当企業（組合員）は表-1のとおりです。

これらの技術開発が着実に進展し、乾燥コストの低減が図られ、乾燥材生産の促進、ひいては、国産材の需要を拡大し、林業、木材産業の厳しい状況を打開するためにも当研究組合の今後の活躍が大いに期待されています。

（林野庁技術開発推進室 谷田部 昭）

4 宮城県における乾燥材普及への取り組み

宮城県 三島木 進

近年、住宅の高性能化や建築工法の変化などから、木材についても一定の強度や寸法安定性が求められている。

また、建築基準法の性能規定の施行や住宅品質確保促進制度の法案提出も予定されており、今後は品質規格の明らかな乾燥材がますます要求されてくる。

しかし、本県の乾燥材生産の現状は、24工場が乾燥機を導入しており、一部に積極的な取り組みは見られるものの、乾燥材の生産比率は2%にすぎず低調である。

全国的に産地間の競争が激しくなるなかで、県産材の足場を築いていくには、本県人工林面積の7割を占めるスギを中心とした乾燥材の生産流通体制の整備が緊急の課題である。

県では、県産材のブランド化推進のため、平成6年から「みやぎ材銘柄化推進対策事業」に着手、木材含水率の実態調査や乾燥材の市場調査等の各種調査を実施し、平成8年には乾燥を含めたスギ製材品の品質管理基準を設定した。

平成9年には、県木連を事業主体にした木材乾燥の講習会を実施するなど、ブランド材の生産意欲の向上を図ってきた。

さらに、平成10年3月にブランド化推進協議会設立準備委員会を開催、以後検討を重ねた結果、同年10月に、ブランド材生産に意欲のある24社（団体）により「みやぎ材ブランド化促進

協議会」が発足したところである。

協議会の今年度の事業はブランドマークの作成、ブランド材生産工場の認証、講習会の開催、ブランド材の試作と生産及び販売コストの調査などで、平成11年度から本格的な生産、販売に取り組む予定である。

また、高い乾燥コストをいかに軽減するかが課題であるが、県の補助で県森連が取り組んでいる葉枯らし乾燥を人工乾燥の前処理として定着させるとともに、県林業試験場が研究しているスギの低コスト乾燥技術の成果を取り入れながらトータルとして乾燥のコストダウンを図っていくことにしている。

平成12年に施行される建築基準法の性能規定化に加え、住宅品質確保促進制度の導入が現実のものとなれば、大工・工務店側の対応としてはエンジニアードウッドの使用を余儀なくされるものと思われる。

木材の供給側としては、健康住宅志向や地球温暖化防止等の追風を最大限利用し、消費者に対し木の良さを積極的にPRするとともに、性能品質が明確で、大工・工務店が使いやすいブレナー仕上げなど加工度の高い製品を供給することが必要であり、本県においても「みやぎ材ブランド化促進協議会」を中心とした体制づくりが急がれるところである。

5 岩手県における乾燥技術開発等乾燥材普及への取り組み

岩手県 久慈 敏

1 岩手県における製材品の流通及び乾燥施設と乾燥材の生産動向

1. 1 木材需給量

岩手県における木材需要は昭和47年の 326万 5 千 m³をピークに減少傾向にあり、61年には 252万 m³まで減少した。62年以降はやや増加の傾向を示したが、平成元年の 271万 7 千 m³を境に減少している。平成 7 年以降はやや持ち直しの傾向が見られ、平成 8 年の需要総数は 236万 3 千 m³となった。

供給について見ると、県内素材生産量は昭和46年の 231万 2 千 m³をピークに減少傾向にあり、50年以降は 170万 m³前後を上下していたが、平成 4 年以降減少傾向に拍車がかかり、8 年には 127万 2 千 m³まで減少した。なお、国産材率は近年減少の傾向にある。

表 2 - 1 平成 8 年岩手県内木材需給量

(単位：千 m³)

区 分	需 要 量					供 給 量				国産材率 (%)
	総 数	製材用	パルプ チップ用	合板 その他	県外 移出	総 数	県産材 生産量	県外 移入	外材 入荷	
需給量	2,363	887	544	849	83	2,363	1,272	159	932	60.6
構成比 (%)	100	38	23	36	4	100	54	7	39	-

1. 2 製材品出荷量

製材品出荷量は昭和48年の 108万 1 千 m³をピークに減少傾向にある。昭和59年以降は減少傾向に歯止めがかかり、70万 m³前後で推移していたが、平成 3 年に70万 m³を割ってからは年々減少し、8 年には57万 5 千 m³となった。

表 2 - 2 平成 8 年製材品出荷量

(単位：千 m³)

区 分	総 数	建 築 用 材				土木 建設 用材	木箱 仕組板 梱包用材	家具 建具 用材	その 他 用材	内 訳	
		小計	板類	挽き割類	挽き角類					国産材	外材
製材品出荷量	575	456	122	142	192	25	44	13	37	427	148
構成比 (%)	100	79	21	25	33	4	8	2	6	74	26

1. 3 製材品の出荷先

平成 8 年の出荷先別の出荷割合は県内が51%で約半数となっている。県外では京浜地

区（東京、神奈川、千葉、埼玉）が多く、総出荷量の26%を占めている。

表2-3 平成8年出荷先別製材品出荷量
(単位：千 m^3)

区分	総数	県内	県外						
			計	北海道	東北	関東	中部	近畿	その他
出荷量	575	293	282	1	69	190	11	5	6
構成比(%)	100	51	49	0	12	33	2	1	1

1.4 木材加工工場、製材工場数

海外産地国の丸太輸出規制強化や製材品の輸出増加、円高による経済的環境の悪化、深刻化する労働力不足等により製材工場の経営は厳しい状況にあり、製材工場数は減少の一途をたどっている。

平成8年の1工場当たりの平均出力量は87.1kW、1kW当たりの製材品出荷量は19.9 m^3 となっている。なお、1工場当たりの平均製材品出荷量は1,737 m^3 で、平均従業員数は7.9人となっている。

表2-4 平成8年加工品別木材加工工場数

区分	製材工場	チップ工場	マッチ材工場	床板工場	合単板工場	紙パルプ工場	集材工場	ブライット工場
工場数	331	101	3	3	8	2	7	17

表2-5 平成8年出力数別製材工場数(7.5kW以上)

区分	製材工場数							素材入荷量 (千 m^3)
	計	7.5~ 22.5KW	22.5~ 37.5KW	37.5~ 75KW	75~ 150KW	150~ 300KW	300KW 以上	
工場数	331	41	56	120	60	41	13	887
構成比(%)	100	12	17	36	18	12	4	-

1.5 木材乾燥施設保有数

近年の木材乾燥に対する関心の高まりなどにより、乾燥施設の保有者数、乾燥室数は増加の傾向にある。増加しているのは建築材用の乾燥施設で、平成元年に比べ8年では室数が倍増となった。乾燥方式別では蒸気式の占める割合が多く、全体の61%（平成8年）が蒸気式乾燥装置となっている。

表 2 - 6 平成 8 年岩手県内乾燥機保有数

乾燥機保有者数(社)		室数(室)		容量(m ³)	
総数	うち建築材用	総数	うち建築材用	総数	うち建築材用
93	57	169	107	3,194	1,988

注)乾燥機保有者には、製材業者、集成材工場、プレカット工場等の他、家具・木工業者を含む。

表 2 - 7 平成 8 年岩手県内方式別乾燥施設数

区分	蒸気	除湿	ソーラー	電熱	温水ボイラー	計
室数(室)	103	37	5	20	4	169
容量(m ³)	1,960	505	82	216	431	3,194
生産量(m ³)	32,531	4,561	472	7,300	12,216	57,079

注)乾燥機保有者には、製材業者、集成材工場、プレカット工場等の他、家具・木工業者を含む。

1. 6 乾燥材生産量

県内における乾燥材の生産量は平成 4 年にゆるやかなピークを迎えるが、おおむね横ばいで推移している。そのなかで建築用材はやや増加の傾向にあり、平成 6～8 年には建築用材が乾燥材全体の約半分を占めている。建築材の中でも特に構造材は乾燥比率が高まっている。ただし、乾燥材率は全体で 10%、建築材で 6% 程度のところで頭打ちになっており、乾燥装置の稼働率も必ずしも高くないものと考えられる。

表 2 - 8 平成 8 年岩手県内乾燥材生産量

(単位: m³)

区分	乾燥材 全体	建築材				家具材	木箱 その他 梱包材	その他
		計	造作材	構造材	その他			
生産量	57,079	27,718	7,783	15,952	3,983	9,353	480	19,529
構成比(%)	100	49	14	28	7	16	1	34

表 2 - 9 平成 8 年岩手県内生産乾燥材率

製材出荷量(m ³)		乾燥材出荷量(m ³)		乾燥材率(%)	
総数	建築材	総数	建築材	総数	建築材
575,000	456,000	57,079	27,217	9.9	6.1

2 岩手県における乾燥材普及への取組

2. 1 乾燥材普及への県の取組

乾燥材の普及が進まない原因として、乾燥コストを製材品価格に上乗せできないため生産者側が乾燥コストを負担しきれないといった問題や、大工・工務店といった施工者と比較して、生産者である製材工場等やエンドユーザーである消費者が乾燥材に対して認識が低いといった問題があげられる。これらの課題に対する県の取組を紹介する。

2. 1. 1 業界及び消費者への普及活動

県では、木材関係団体、製材工場等に対して乾燥施設導入に対する助成制度、金融制度の活用について普及を行うとともに、乾燥材の品質、規格の統一に向けた業界指導を行ってきた。また、乾燥実務者を対象に木材乾燥技術研修を実施するとともに、木材乾燥にかかる手引書を数種類作成、配付し、実際の現場における乾燥技術の向上に努めている。

なお、消費者など木材を利用する側に対しては、パンフレット等により木材乾燥に関する情報の提供や普及啓発を行うとともに、木材需要拡大会議等を通じて、公共施設、「いわて優良木造住宅資金利子補給補助事業」対象住宅での乾燥材使用を推進している。

2. 1. 2 乾燥材普及に関する県事業の概要

乾燥材の普及のため、県では、平成元年度から「県産材乾燥合理化モデル事業」を、平成9年度からは「いわてブランド材確立対策事業」を実施している。

(1) 県産材乾燥合理化モデル事業（平成元～8年度）

乾燥材のトータルコストの縮減と乾燥材の安定供給を促進するため、乾燥材安定供給体制整備、乾燥材生産技術の推進、荒挽き材乾燥施設整備、乾燥材安定供給資金の貸付、乾燥材生産施設整備資金造成等の事業を行った。

(2) いわてブランド材確立対策事業（平成9年度～）

今後ますます激化することが予想される国産材の産地間競争、外材との競合に打ち勝っていくため、「いわてブランド材」及び乾燥材の需要拡大と普及宣伝を行うため、次の事業を実施している。

1) いわてブランド材普及宣伝事業

県産ブランド材及び人工乾燥材の安定生産及び販路拡大のための広報活動、説明会の開催、常設展示、フェア開催等の普及宣伝活動を行う。

2) 高品質木材利用研修事業

人工乾燥材に対する認識を高めるため、大工・工務店等の木造建築の担い手等に対して木材利用の研修会を開催する。

3) 乾燥材安定供給促進資金貸付金

乾燥材の需要に即応するため、乾燥材を一定量木材市場等にストックしておくために必要な資金の貸付けを行う。

2. 2 岩手県人工乾燥材普及協議会

平成元年、「岩手県人工乾燥材普及協議会」が設立された。この会は、岩手県内の製材所、工務店や森林組合など建築資材の人工乾燥材を供給する事業体を正会員、趣旨に賛同するものを賛助会員としており、平成9年時点で会員が18名、賛助会員1名となっている。活動としては、乾燥材の品質・規格の統一、乾燥材の普及宣伝の他、需要者のニーズに合致した建築資材の安定供給等を図るため、行政等とも連携しながら、流通情報のシステム化、各種シンポジウム・研修会の開催、新聞広告の掲載、パンフレット等の作成、いわてブランド材フェアへの参画等を行っている。

3 木材乾燥に関する技術開発の状況

3. 1 岩手県林業技術センターでの取組

岩手県林業技術センターでは、前身である林業試験場時代から木材乾燥にかかる試験研究に取り組んできた。これまで実施してきた主な研究内容は、県産広・針葉樹材の適正乾燥条件の検討、コスト低減のための葉枯らしや太陽熱を利用した乾燥の効果の検討などである。

3. 2 アカマツ平角材の乾燥

岩手県のアカマツの蓄積は広島県に次いで全国2位であり、人工林に限れば面積、蓄積とも全国1位である。アカマツは構造用としては平角材で使用されることが多いが、近年のプレカットの普及などにより「梁」や「桁」などの横架用平角材についても乾燥の必要性が高まっている。岩手県林業技術センターでは平成8年度からアカマツ平角材の乾燥技術の検討に取り組んでいるが、これまでの成果の一部として、蒸気式乾燥装置で温度条件別に乾燥試験を行った結果について紹介する。

6 長野県における乾燥技術開発等乾燥材普及への取り組み

長野県林業総合センター 吉田孝久

1、長野県の木材事情

1.1 長野県の森林

長野県は県土の約78%が森林で占められ、北海道、岩手県に次いで第3位の森林県である。林業では、木曾のヒノキの歴史が古く、知名度も高いが、県土が南北に細長く標高差も大きいことから、生育する樹種も多い。その中で、信州の代表的な景観を構成し、さわやかなイメージを生み出しているカラマツは、県内森林面積全体では23%、人工林面積ではその55%を占める重要な樹種である。

1.2 長野県の素材需給の動向

平成8年の素材需要量（図-1）は812,000 m³、このうち県産材は307,000 m³、外材は472,000 m³といずれも前年より減少した。その結果、外材依存率は全需要量の58%となった。

平成8年長野県における素材の生産量（図-2）は、461,000 m³で前年に比べ4%減少した。樹種別に見ると、カラマツが141,000 m³と全体の31%を占め、次いでヒノキが126,000 m³で27%を占めている。全国的に多いスギは、長野県では北信地域で多く生産されるが、その生産量は50,000 m³と、カラマツやヒノキに比べかなり少ない。

全国的に素材生産量をみると、カラマツは北海道、岩手県に次いで第3位、ヒノキは第9位、スギにあっては第35位である。従って、このような状況からみても、カラマツの需要開発は長野県林業及び林産業の発展にとって重要な課題である。

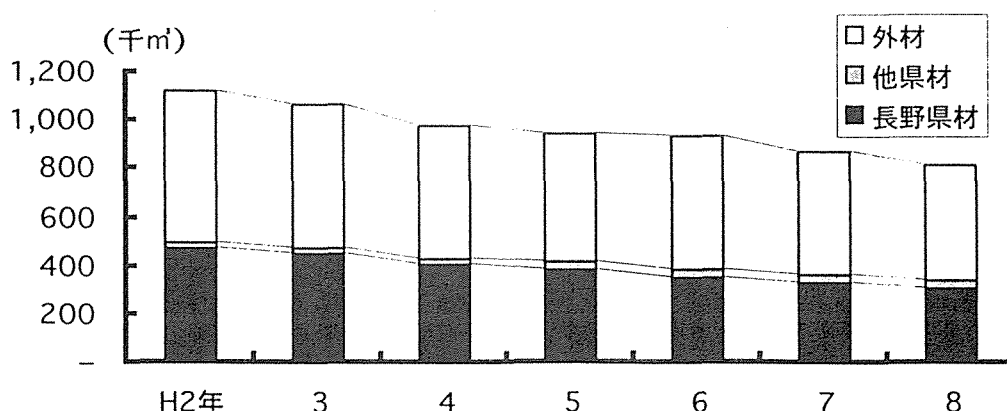


図-1 長野県における素材供給量の推移

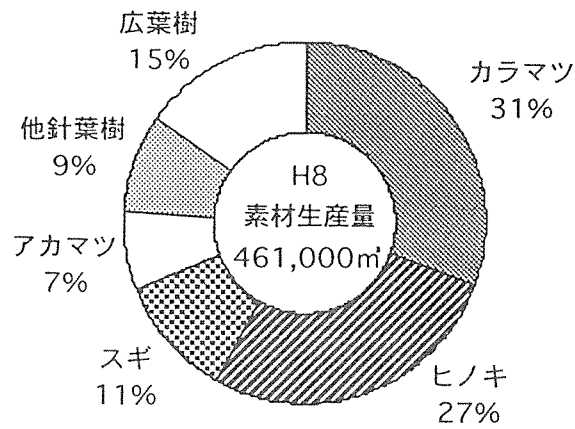


図-2 長野県における樹種別素材生産量

1.3 長野県の木材産業の動向

長野県における平成8年度の製材工場数は478工場と年々減少傾向にある中、平成8年度も前年度より21工場減少した。内容的には中規模工場の閉鎖が目立った。木曾ヒノキを売り物にしている木曾谷では平成8年、平成9年と相次いで中規模製材工場が閉鎖し、さらに平成10年に入っても大手人工林ヒノキ製材工場が自己破産を申請した。この工場は木曾の木材業界ではトップメーカーで業界をリードする優秀な工場であり、長野県にとっても大きな痛手であった。

平成8年度の製材用素材入荷量は712,000m³で、前年より6.4%減少した。このうち国産材の占める割合は34.1%であった。

また、製材品出荷量は516,000m³で、前年に比べ5.0%減少した。用途別では建築用材が344,000m³と最も多く、全体の66.7%を占めている。

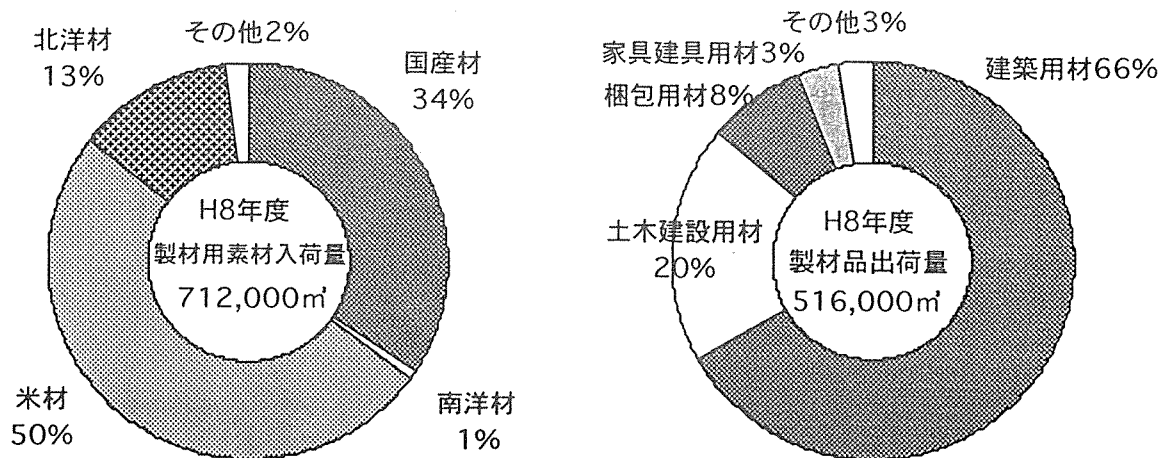


図-3 長野県における製材用素材入荷量と製材品出荷量

1.4 長野県の木材価格の動向

平成9年の木材価格は春頃から下がり始め、秋になっても例年のように木材の需要が増加せず、下落し続け平成9年12月のヒノキの中丸太は33,500円/m³、正角が86,000円/m³となり、それぞれ前年同月より16,300円、26,500円と大きく値下がりをした。

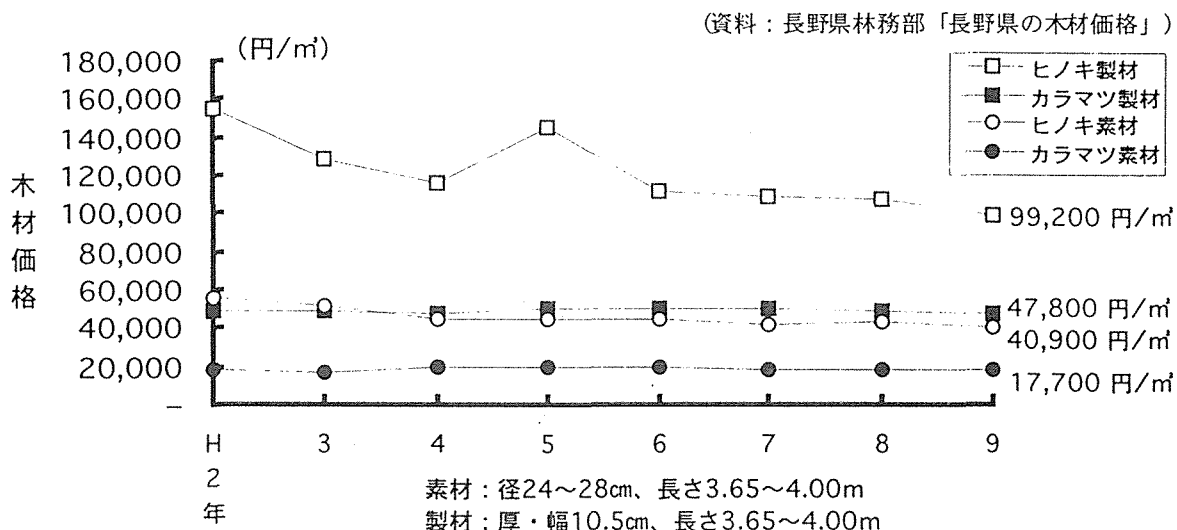


図-4 長野県における木材価格の推移

2、長野県における木材乾燥の研究と普及

2.1 カラマツ材の人工乾燥技術開発への着手

カラマツの人工造林が最も盛んに行われたのは戦後間もなくであったため、現在の資源は5齢級~8齢級の若齢林がほとんどを占めている。木材利用の面からは、素材生産が小中径材に偏っているため、現在に至っても杭・仮設材等の土木用材や梱包用材等の用途に向けられるものが多い。

人工造林されたカラマツ材は、その樹種特性から「割れる」「ヤニがでる」「狂う」の3つの欠点が以前から指摘され、住宅関連の分野にはなかなか利用されなかった。しかし、これらの欠点は材の乾燥に伴って発生することから、新しい用途開発のため、S52年頃からその基本となる乾燥技術の開発に着手し、それなりの成果を収めながら今日まで至っている。

2.2 業界の木材人工乾燥への取り組み

カラマツ材の人工乾燥技術開発における研究成果は、技術指導あるいはマニュアルの発行等により業界に普及し、現在では県内10社以上でカラマツ材の人工乾燥が行われ、壁板、集成材ラミナ、家具等に向けられている。

平成7年のカラマツ乾燥材生産量は、開発当初の生産量のおよそ20倍以上にも伸びた(図-5)。その経緯をみると、昭和57年、カラマツの脱脂乾燥技術の開発を背景として、カラマツの加工技術の向上と需要拡大を図ろうとする企業が集まって、「信州からまつ工業会」が組織された。これをきっかけに、カラマツの利用拡大の先駆けとして、壁板の開発が始められたが、この年この壁板は、県住宅部建築課によって高校体育館の壁板として指定さ

れた（写真-1）。採用されるに当っては、生産する側と使う側の一定の基準の同意のもとで製品開発が進められた。

この製品開発の過程を通して、関係者の間に、「今後も木材製品の提供には業界統一の基準のもとに、品質の安定した製品製造を行うことが重要である」という認識が生まれることになった。

現在では、このような関係者の努力により、カラマツ製品に対する信頼度も増し、その良さが各方面で認められ、木材業界でも蒸気式木材乾燥装置が導入され、カラマツ材の利用を積極的に行うようになってきている。また一方では、木材乾燥の重要性について消費者側の理解も次第に深まっている。

昭和62年には、カラマツの大量消費をねらい、高速道路の防音壁の開発を業界と共同で行ったが（写真-2）、断面がやや大きく難乾燥材（当時としては）であったことや、生産コストの面で課題を残した。

一行政サイドでは、県の施策として「カラマツ材等高度加工化事業」を展開、また、平成元年より「乾燥材供給総合対策事業」を実施し、カラマツをはじめとした人工乾燥材の普及に努めた。

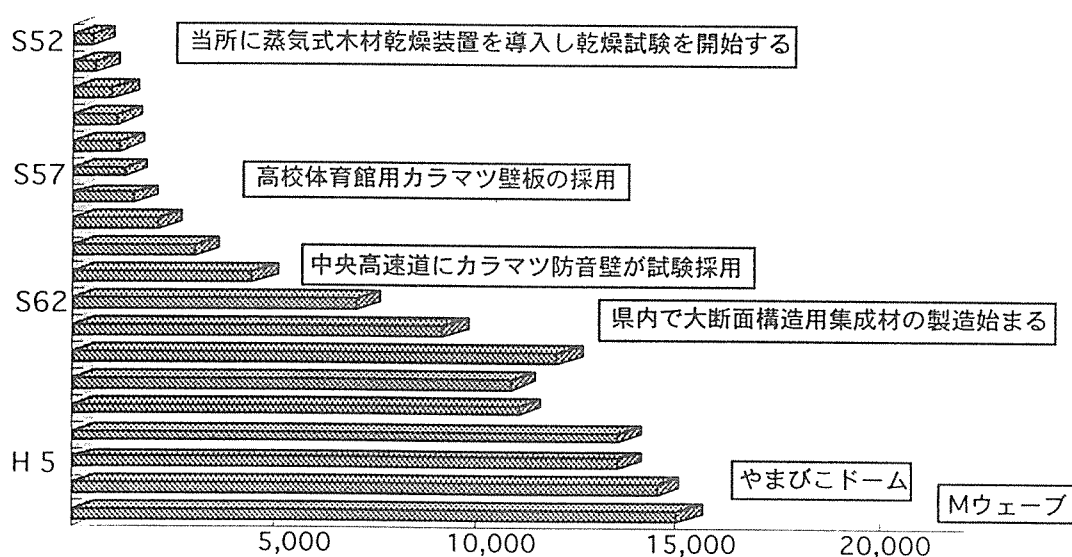


図-5 長野県におけるカラマツ乾燥材生産量の推移 (m³)

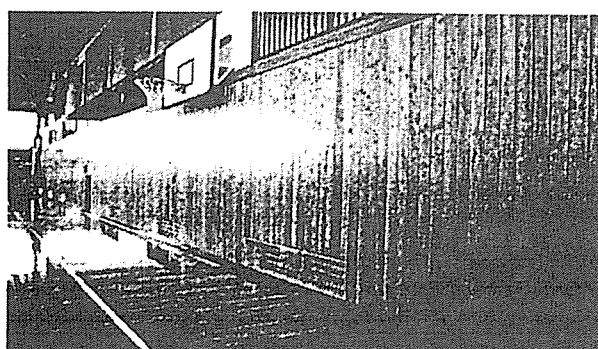


写真-1 高校体育館用カラマツ壁板
カラマツ人工乾燥材のデビュー作

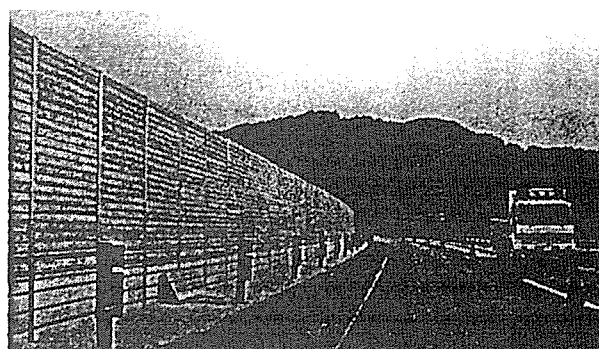


写真-2 カラマツ防音壁：中央自動車道で試験採用された。大量使用が期待されたのだが・・・

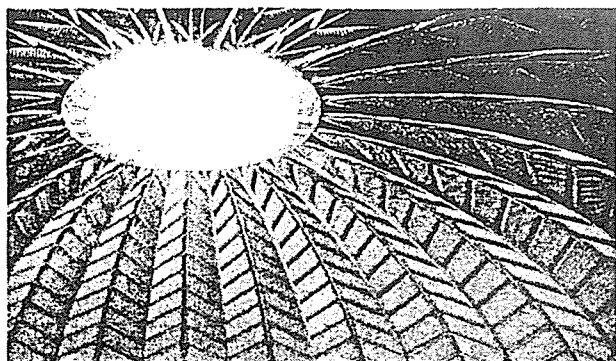


写真-3 信州博覧会メイン会場：カラマツを使用した“やまびこドーム”
直径110mは当時国産材では日本一

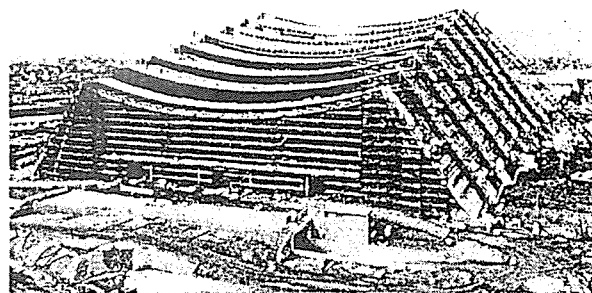


写真-4 長野オリンピックスケート会場（Mウェーブ）
スパン80mのカラマツ大断面集成材を使用

壁板から広がったカラマツ材の用途は、しだいに集成材のラミナの乾燥技術へと発展し、大断面構造用集成材へとその利用を広げた。平成5年の信州博覧会のメイン会場であるカラマツドームや長野冬季オリンピックに向けて平成8年に完成したスピードスケート会場（Mウェーブ）は、我々に大きな自信を与えた（写真-3、4）。

このように、かつて土木仮設用材としての利用がほとんどであったカラマツ材は、人工乾燥技術の確立に伴い、現在では建築材や集成材をはじめ、家具・建具材にまで幅広く利用されるようになった。

2.3 平成8年における乾燥材の生産量

カラマツを含めた平成8年における乾燥材（人工乾燥材+天然乾燥材）の総生産量は89,000m³であり、そのうち国産材が45,000m³で51%を占めている。県内製材工場の製材品出荷量が516,000m³であるので、その17%に相当する製材品から乾燥材が生産されている。

また、乾燥材のうち67%は人工乾燥材で、製材品出荷量全体からするとおよそ12%を占めている。

人工乾燥材、天然乾燥材別にその内訳をみると、外材の場合、乾燥材の内、約5割が人工乾燥材であるのに対し、国産材では約8割とかなりの割合を人工乾燥材が占めている。これは、人工乾燥材のほとんどがカラマツであることから、カラマツの乾燥に関する認識が高まっていることと、さらに外材に比べ径級の小さい国産材は、乾燥しなければ狂ったり割れたりしてしまうと言った考え方が、かなり浸透しているためと思われる。

表-1 乾燥材生産量（平成8年） 単位：m³（ ）内は%

	人工乾燥材	天然乾燥材	合計
国産材	35,504 (78)	10,137 (22)	45,641 (100)
外材	24,388 (56)	19,307 (44)	43,695 (100)
合計	59,892 (67)	29,444 (33)	89,336 (100)

7 富山県における乾燥技術開発等乾燥材普及への取り組み

富山県林業技術センター 橋本 彰

1 富山県における製材品の流通および乾燥施設と乾燥材の生産動向

1. 1 富山県の木材産業の現状

本県の木材需給量は、表4-1に示すとおり1,742千m³で全国的にみると高い水準にあり、供給量の96.0%を外材が占めている。とくに、外材の85%が北洋材で、全国シェアの24%を占めており、全国一の北洋材集散・加工基地となっている。

一方、国産材の供給量は69千m³となっており、うち県内生産は57千m³で平成3年以降60千m³程度で横ばいとなっている。しかし、戦後、造林が続けられたスギを主体とした人工林の木材蓄積は着実に増加し、21世紀初頭には本格的な主伐期を迎え、200千m³（スギ160千m³）の出材が見込まれる。このため、森林組合を中心として高性能林業機械を利用した生産性が高く安定的に素材生産ができる体制が作られつつある。生産が見込まれるスギ材の多くは、中小径木で節も多く、品質的に良好とは言えない「並材」とみられており、その加工・利用技術の開発が本県森林・林業の大きな課題になっている。また、天然林についても人工林を上回る15百万m³の蓄積があることから、コナラ等未利用広葉樹の加工・利用技術の開発が必要となっている。

表4-1 富山県における木材需給量（平成8年度）

単位：千m³

供 給				需 要				
総数	県産材 生産量	外材 入荷量	県外 移入量	総数	製材用	合板用	チップ パルプ用	県外 移出量
1,742	57 (3.3)	1673 (96.0)	12 (0.7)	1,742	1,310 (75.2)	57 (3.3)	37 (2.1)	338 (19.4)

()は構成比

本県木材産業の中心は北洋材を原料とする製材業で港湾型製材に特色があり、県産材についての生産・加工・流通体制は脆弱な状況にある。製材工場数は207工場あり、約4割が港湾の富山市、高岡市、新湊市に集中している。また、1工場当りの平均動力出力数は145kwで全国3位と高く、大型化、自動化が進んでおり、最近では、ロシア国内で日口合弁・技術協力による製材工場が4工場稼働するなど国際化が進展している。

一方、国産材を50%以上挽く工場は31工場（うち国産材専門工場は15工場）あるが、いずれも経営規模の小さい内陸型製材工場であり、優良材を中心に県外（石川、青森、群馬など）から原木を購入している。これらの工場は地場販売型が多く、製品流通は大工・工務店に流通する経路、同業者（製材・木材販売業者）に流通する経路などがある。市場流

通量は約 16千 m^3 （平成7年度）と少なく、県産材については、主に山元製材を中心に小規模な生産状況にあるため、近代的な県産材加工体制の整備、拡大を進めることが求められている。

製材品の出荷量は表4-2に示すとおり、839千 m^3 で、このうち約90%が建築用材であり、住宅着工の動向が需要に大きく影響している。用途別製材品出荷量をみると、建築用材のひき割類が58%、ひき角類が26%と、全国に比べてひき割類が多く、北洋材産地としての特徴を示している。しかし、国産材に限れば、ひき角類44%、ひき割類19%、板類25%と全国の国産材用途別出荷量比率と同様にひき角中心の生産を行っており、本県のひき角類出荷量は全国平均を約10ポイント上回っている。

表4-2 富山県産製材品の用途別出荷量（平成8年度） 単位：千 m^3

区 分	総数	建 築 用 材				木箱 仕組板 梱包用材	土木 建設 用材	家具 建具 用材	その他
		小計	板類	ひき 割類	ひき 角類				
全 国 (構成比)	24,206 (100)	19,587 (81)	3,547 (15)	7,293 (30)	8,747 (36)	2,275 (9)	922 (4)	710 (3)	712 (3)
富山県 (構成比)	839 (100)	756 (90)	58 (7)	483 (58)	215 (26)	30 (4)	47 (6)	3 (0)	3 (0)

農林水産省「木材需給報告書」による

製材品の出荷先別の割合は、表4-3に示すとおり、県内消費が34%、県外への移出が66%で、主な出荷先は愛知、東京、長野、大阪で、近年、県外出荷の比重が大きくなっている。

表4-3 富山県製材品の出荷先（平成8年度） 単位：千 m^3

地 域	富山県	県外小計	愛知県	東京都	長野県	大阪府	石川県	新潟県	その他
移出量	273	534	115	104	72	59	31	27	126
構成比	34	66	14	13	9	7	4	3	16

北陸農政局富山統計情報事務所資料による

プレカット工場は17工場あり、年間加工棟数は3,316棟で年々増加しており、本県木造住宅戸数の約4割を占めている。その理由として、熟練した大工など技能者の減少および高齢化、住宅建築工期の短縮に対する強い要望などがある。17工場におけるプレカット用製材品の用途別合計量を表4-4に示す。国産材は約2割使用され、その大部分は他県産

スギ材で、98%が柱材として使用されている。これに対して県産スギ材は、柱材以外の用途にわずか1%使用されているに過ぎず、逆に言えば、県産スギ需要拡大の有力な目標と考えられる。そのためにも今後は、量的にも時期的にも安定的な供給が必要となるほか、乾燥材の供給が不可欠となってくる。

表4-4 プレカット用製材品用途別使用量 単位：m³

区分	柱材	横架材	羽柄材	合計
木材使用量	13,826	38,154	15,326	67,216
割合	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
国産材	10,765	35	99	10,899
割合	77.9%	0.1%	0.7%	16.2%
外材	558	36,695	15,033	52,286
割合	4.0%	96.2%	98.7%	77.8%
集成材	2,503	1,424	104	4,031
割合	18.1%	3.7%	0.7%	6.0%

近年の木材産業の新しい動きとして、現在、製材業から約10社が木造住宅建設分野に進出している。木造住宅の着工数は約7,800戸であり、木造率は約64%と全国に比べて高い。また、プレハブ、ツーバイフォーの非在来型木造住宅は、全国に比べてシェアは小さいが着実に増加している。

1. 2 乾燥施設と乾燥材の生産動向

乾燥装置の保有工場は木材産業全体で約40社あるが、うち製材工場関係では15社となっている。乾燥材に対する製材工場の意識は高いが、施設整備に多大な投資が必要なことや、乾燥コストの価格転嫁が難しいことなどから、製材工場段階での対応は立ち遅れている。県内の乾燥方式別の装置数は、表4-5に示すとおりである。最近導入されている蒸気式は高温タイプが多く、現在13基になっており、主に北洋材の乾燥が行われている。また、特殊なものとしては、微減圧乾燥装置が2社、燻煙乾燥装置が1社で導入されている。

表4-5 県内の乾燥方式別装置数

乾燥方式	乾燥装置数
蒸気式	56
高温蒸気式	13
除湿式	18
減圧式	6
煙道式	9
その他	12

表4-6は富山県が実施した平成7年度の乾燥材生産量の調査結果であるが、乾燥材生産量は48.1千m³で、製材品生産量の5.6%を占めている。現在、北洋材の多くは未乾燥材のまま出荷・販売されているが、今後は製材の加工度の向上、付加価値付与や性能保証の明確化により、住宅メーカー、プレカット工場が使用しやすいよう、多少コスト高になっても乾燥された製品を出荷することが要求されると考えられる。

表4-6 製材における乾燥材生産（平成7年度） 単位：千m³

区 分	全製材 生産量	乾燥材生産量		
		人工乾燥材	天然乾燥材	
国産材専門	3	—	—	—
国産材外材併用	145	33.9	25.2	8.7
外材専門	718	14.2	13.8	0.4
合 計	866	48.1	39.0	9.1

2 県産材の乾燥材普及への取り組み

現在、県産材の地場需要の拡大を図っていくことが重要な課題となっており、川上から川下に至るトータルコストの低減と加工の高付加価値化が求められている。そこで、小規模な企業が連携し、住宅産業が求める乾燥材、プレカット材などを供給できる県産材の加工、流通拠点として、県内では初めての協同組合方式によるプレカット工場が平成8年に完成したので、その概要を紹介する。

（協）プレカットタテヤマは、国・県からの補助を受け、県内の製材業者、住宅メーカー、県森林組合連合会などがメンバーとなり設立されたもので、資本金は1億円で、現在組合員は56名である。とくに、県森林組合連合会が参加して、県産材を積極的に供給していくこととしており、今後、山元における県産材の安定的生産体制の構築と合わせて、県産材振興に大きな役割を果たすことが期待されている。導入機械は、CAD/CAMに接続した最新鋭機械で、企画、設計から積算、施工、部材準備まで、各段階に適したトータルサポートが可能である。ロボットの自由度を100%生かした全自動プレカットシステムはロボット5台で、1日当たり約60坪、年間330棟程度の住宅部材を加工することができる。また、高温蒸気式乾燥装置（25m³収容 2基）、防腐防蟻処理装置も設置され、高品質な住宅部材が供給できる。これに使用する木材は、年間4,500m³程度で、タテヤマスギの他、米材や北洋材などを投入している。

3 乾燥技術開発・低コスト化への取り組み

以上のように、県産スギの安定した需要を確保することが課題となっているが、とくに多くの出材が予想される並材については、建築構造用材とりわけ大壁工法用柱材としての展開を今後進める必要がある。そのためには部材の乾燥が必要であり、しかもそれを低コスト化することが課題となる。そこで、乾燥コストの低減を図るために、スギ心持ち柱材を高温乾燥（処理温度100℃以上）し、処理温度、時間が乾燥速度、仕上がりの品質に及ぼす影響について、当センターで検討した結果について紹介する。

試験材にはタテヤマスギ心持ち柱材（12cm角、材長4m）を60本用いた。乾燥温度は開始から終了まで一定とし、乾球温度は110、130、150℃の3水準、湿球温度は99℃、乾燥

時間は所定温度到達後24、65時間の2水準とし、計6条件（10本／条件）行った。栈積みは同寸法のダミー材を試験材のまわりに配置することにより7本×5段積みとし、栈積みの上には、約1.5tonの荷重を積載した。

表4-7に乾燥温度・時間と乾燥前後の含水率を示す。24時間経過後の処理材の含水率は、処理温度の上昇に伴う乾燥速度の増大により、110、130、150℃では42.9%、17.1%、12.5%と低下した。このような処理温度と仕上がり含水率の関係は、65時間経過後でも同様であり、本試験の処理温度の範囲では2～4日で乾燥を終了させることが可能である。別に実施した中温乾燥（60～70℃）試験では、含水率20%以下に低下するまで13日間要したことに比べると、高温乾燥による乾燥時間の短縮効果は著しい。

表4-8に乾燥温度・時間と発生した材表面割れの関係を示す。処理温度の上昇に伴い、材表面の割れの長さ、本数は、減少する傾向がみられた。中温乾燥の場合と比較すると、極めて小さく、高温乾燥による材表面の割れ抑制効果が認められる。

表4-7 乾燥条件別の含水率変化

乾燥条件 時間 温度	含水率(%)	
	初期	終了時
24hr 110℃	75.9	42.9
	59.2	17.1
	67.6	12.5
65hr 110℃	70.7	24.0
	76.1	5.9
	69.1	3.5
13日60～70℃	70.8	19.4

表4-8 乾燥条件別の表面割れ

乾燥条件 時間 温度	本数 (本)	長さ (cm)
130℃	11.9	218
150℃	10.0	182
65hr 110℃	9.2	237
130℃	8.9	164
150℃	8.7	64
中温(60～70℃)	20.6	1016

表面割れ本数、長さは試験材1本当たりに発生した平均値

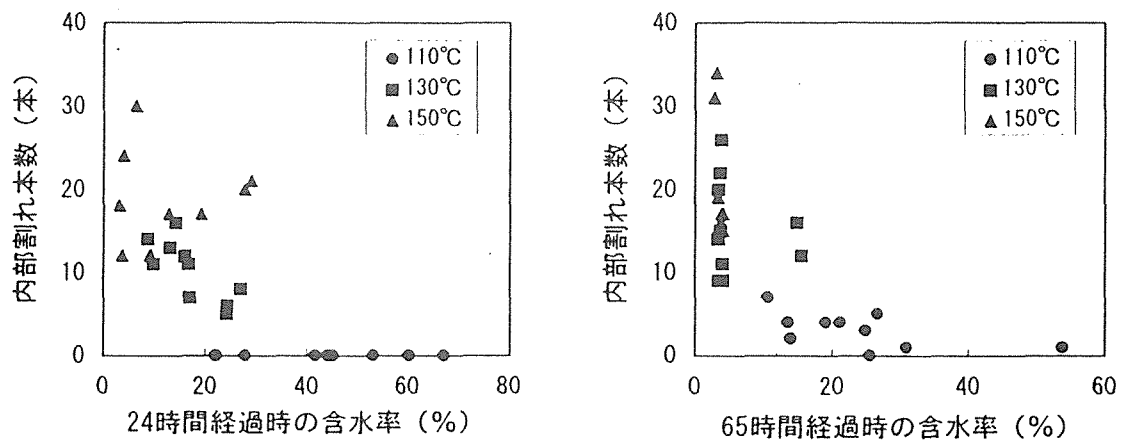


図4-1 含水率と内部割れ

図4-1に、元口から80cmの位置の横断面に発生した内部割れの発生状況を示す。内部割れの長さおよび本数は、一定の乾燥時間（24、65時間）で比較すると、処理温度の上昇に伴い、その発生程度は増加する傾向がみられた。内部割れの発生を抑制するには、110℃以下で乾燥すること、あるいは乾燥途中において温湿度を制御する必要があると考えられる。

表4-9に乾燥前後の曲りを示す。乾燥に伴う曲りの増加は小さく、高温域での処理温度の違いによる曲りの発生量の明確な差は認められなかった。また、高温乾燥の曲りの発生量は、中温乾燥試験で得られた4.8 (mm/4m) に比較して小さく、高温乾燥により曲りが著しく増加することは少ないと考えられる

表4-9 乾燥条件と曲り量

乾燥条件		乾燥前	乾燥後
時間	温度	(mm/4m)	
24hr	110℃	3.5	2.8
	130℃	1.5	3.2
	150℃	2.2	2.8
65hr	110℃	1.4	2.4
	130℃	2.9	2.9
	150℃	1.5	5.3

曲り量は、材長方向に沿う内側曲面の最大矢高

今後の検討課題としては、乾燥温度、時間等の条件を組み合わせ、損傷の少ない低コストなスギ柱材の乾燥スケジュールを確立することである。さらに乾燥スケジュールの自動制御による効率的なシステムの検討を予定している。

8 愛媛県における乾燥技術開発等乾燥材普及への取り組み

愛媛県林業試験場 越智仁夫

1 愛媛県の製材製品の流通および乾燥施設

1. 1 愛媛県における木材需給量

愛媛県における木材の総需給量（平成4，8年）は、表5-1に示すとおり1847千 m^3 となっている。そのうち県産材供給量は、656千 m^3 であり、県産材の自給率は約36%と低迷している。また、米材を中心とする外材入荷量はここ数年横バイ状況にあり、平成8年現在では入荷量は1025千 m^3 で、木材供給量の55%を占めている。需要部門別では、県外移出量53千 m^3 （3%）、製材用1379千 m^3 （75%）、パルプ・チップ用330千 m^3 （18%）、合板・その他65千 m^3 （4%）の内訳になっており製材用に加工される割合が高い。

表5-1 愛媛県における木材需給量 (単位：千 m^3)

年次	供給				需要				
	総数	県産材	外材 入荷量	県外 移入量	総数	県外 移出量	製材用	パルプ チップ用	合板 その他
4	1,969 (100)	644 (33)	1,107 (56)	218 (11)	1,969 (100)	54 (3)	1,425 (72)	405 (21)	85 (4)
8	1,847 (100)	656 (36)	1,025 (55)	166 (9)	1,847 (100)	53 (3)	1,379 (75)	330 (18)	65 (4)

1. 2 愛媛県における製材品の用途別出荷量及び出荷先

表5-2は、県内で生産される製材品の用途別出荷量についてまとめたものである。

本県で生産される製材品は、建築用材として出荷されるものが855千 m^3 （83%）と非常に大きなウエイトを占めている。また、建築用材の種類毎の生産量では挽き角類の占めるウエイトが高く、続いて挽き割類、板類となっている。挽き角類、板類については、生産量が年々増加傾向にあるので、本県においては今後も挽き角類が主体になると思われる。生産された製品の出荷先は、県内消費が47%、県外消費が53%と半数以上が県外に移出されており、その内訳は表5-3に示すように、四国3県67千 m^3 （6%）、中国地域が58千 m^3 （6%）、九州地域55千 m^3 （5%）、近畿地域197千 m^3 （19%）中京地域72千 m^3 （7%）、関東地域75千 m^3 （7%）と近畿地域のウエイトが高くなっている。しかし、関東・中京地域の製材品大量消費地における出荷が少ない状況であり、今後新たに関東・中京地域において市場開拓を行い需要拡大を図る必要があると思われる。

表5-2 愛媛県における製材品の用途別出荷量（平成8年）
（単位：千m³）

	出 荷 量								
	合 計	建 築 用 材				土木・建設	木箱・仕組板	家具建具	造船・車両
		小 計	板 類	挽き割類	挽き角類	用 材	梱包用板	用 材	その他用材
全 国	24,206	19,587	3,547	7,293	8,747	922	2,275	710	712
(%)	(100)	(81)	(15)	(30)	(36)	(4)	(9)	(3)	(3)
愛 媛	1,031	855	169	220	466	26	113	5	32
(%)	(100)	(83)	(16)	(22)	(45)	(2)	(11)	(1)	(3)

表5-3 愛媛県における製材品の出荷先（平成8年）
（単位：千m³）

地 域	県内消費	県外小計	四 国	中 国	九 州	近 畿	中 京	関 東	その他
移出量	497	555	67	58	55	197	72	75	31
%	47	53	6	6	5	19	7	7	3

1. 3 乾燥材生産状況

本県には、平成8年現在で289の製材工場が稼働しているが、近年の木造軸組工法におけるプレカット加工やエンジニアリングウッドの普及にみられるように、製材製品においても強度性能、寸法精度等の要求が多様化、高度化している。このような状況のなかで、製材工場においては設備投資が積極的に行われノーマンツインバンドソーや乾燥・モルダ一施設等の導入が見られ、乾燥材生産への取り組みを行う製材工場が多くなってきている。

表5-4は県内の乾燥機保有工場、乾燥施設数等を示したものである。乾燥機を導入する工場は最近増加傾向にあるが、県内の全製材工場のうち乾燥機保有工場が占める割合

表5-4 乾燥機設置状況

区 分	工場数	乾燥施設数	能力 (m ³)
国産材専門工場	14	41	1,120
外材専門工場	5	26	1,130
合 計	19	67	2,430

は約7%と低い状態である。1工場あたりの施設数では、国産材専門工場では2.9基、外材専門工場では5.2基となっている。最近の動向としては、新たに乾燥機を導入する工場より、規模拡大等により乾燥機を増設する工場が増える傾向となっている。

さらに、今後稼働予定である大規模製材工場においては特に乾燥材生産に意欲的で数十室の乾燥施設を導入する計画があり、今後も県内の乾燥施設は増加する傾向となっている。

表5-5は乾燥方法別の施設数を示したものである。県内の乾燥方法は蒸気式がほとんど

であり、近年導入される蒸気式乾燥機は乾燥時間の短縮による乾燥コストの低減を目的とした高温タイプを導入する工場が多くなっている。

乾燥材の生産状況は、
 国産材工場ではスギ・ヒノキの構造材が主流を占めている。また、本県には米マツの大規模専門工場、米ツガ・ヒバ、トウヒ等をラミナとする集成材工場がありここから生産される外材の生産量も多くなっている。

表 5-5 乾燥方法別施設数

乾燥方法	国産材専門工場		外材専門工場	
	工場数	乾燥施設数	工場数	乾燥施設数
蒸気式（高温）	7	14	5	23
蒸気式（中温）	8	13	1	3
除湿式	3	7	-	-
その他	2	7	-	-

2 乾燥材普及への取り組み

2.1 愛媛材ブランド化推進協議会の取り組み

愛媛県内の木材供給量は、先にも述べたようにここ数年約190万m³で推移しており、県産材は36%の66万m³を占めている。このうち製材用に供されるのは、約150万m³で、約100万m³の製材製品が出荷されている。しかし、県内で消費されるのは約45%の50万m³程度で、残りの55%は県外に移出されている状況であり、今後、蓄積量が増加する県産材の需要を拡大するには、県外の販路を開拓する事が必要である。

また、近年の木材需要の変化、例えば、住宅建築におけるプレット加工や部材の工場生産が増え、構造用集成材や輸入製品の増加にみられるように、エンドユーザーが住宅部材に強度や寸法精度の信頼性を要求するようになってきた。

このように、木材需要が変化していくなかで、愛媛県として県産材の需要の拡大と県外販路の拡大を目指して、「愛媛材ブランド化推進協議会」を組織し、県産材のブランド化に取り組んでいる。

2.2 愛媛材ブランド化推進協議会の組織

愛媛材ブランド化推進協議会は、愛媛県森林組合連合会・社団法人愛媛県木材協会等の木材関係団体代表者、県内主要流通業者、学識経験者、行政関係者等で組織されており、円滑な運営を行うために品質管理センター、出荷推進センターの2つの組織を協議会内に設置し、組織的に品質管理や販売促進等に取り組みブランド化を進める体制を整えている。

品質管理センターは、ブランド材の規格を厳守し、ブランド材の品質管理を行うことを

目的としてブランド材品質管理技術の開発、ブランド材の品質確認、ブランド材生産工場の認定等の事業を行っている。

ブランド化を進めるにあたって、最も重要となってくるのが製材品の品質管理であり、均一化した商品の生産である。このため、品質管理センターが中心となり、ブランド材生産に係る製材工場毎に製材工程、乾燥方法、生産された製材品の含水率等の調査を行い、ブランド材規格をクリアできる生産体制を整えている工場だけをブランド材生産認定工場として認定を行うことにしている。

出荷推進センターは、ブランド材の出荷推進を図ることを目的としてブランド材生産認定工場の生産指導、ブランド材の出荷に関する各種情報の収集と提供等の事業を行っている。

2. 3 ブランド材の規格

愛媛ブランド材はスギ・ヒノキ構造材（当面は正角）を対象としており、規格は、強度を担保するために「針葉樹構造用製材の日本農林規格（JAS）」の乙種構造材 2 級以上とし、また寸法精度を保つため含水率は 20% 以下としモルダ加工を行っている。含水率は、含水率計（日本住宅・木材技術センター認定機種）を使って JAS の乾燥材の検査方法に従い測定し、目標平均含水率を 20% として、標準偏差が 5% になるように品質管理を行っている。表 5-6 に示す各項目において、その基準をクリアする品質の製材品にのみ「愛媛ブランド材」の強度性能・寸法精度という信頼のブランドが与えられ、ブランドシールを貼付して出荷されている。

表 5-6 愛媛ブランド材品質管理基準

区 分		基 準	適 用
寸 法	材 長	+制限なし～0 mm	
	材 辺	+1.0 mm	
節	節 径	径比が 40% 以下	
	集中節	径比が 60% 以下	
丸 身		なし	
貫通割れ	木 口	長辺寸法の 1.5 倍以下	
	材 面	材長の 1/6 以下	
繊維方向の傾斜		1 : 8 以下	
平均年輪幅		8 mm 以下	
曲 が り		0.5% 以下	
その他欠点		軽微なこと	
目標含水率		20%	平均値
表面仕上げ		モルダ加工	

2. 4 ブランド材の生産への取り組み

前述のようなブランド材規格に適合した製材品は、推進協議会の構成員である愛媛県森林組合連合会、八幡浜官材協同組合、愛媛林産商事（株）の3流通業者が窓口となり出荷並びに販売を行い、需要者からの受注に対し迅速に対応できる体制となっている。流通3者の出荷並びに販売については、各社の商行為として行われている。

また、平成9年度には厳しい品質管理を行って生産されているブランド材規格の認知及び、協議会の設立の目的である県外での需要拡大を目指す為、関東・中京・関西地域の製品市場においてブランド材の見本市を開催する等、広く宣伝活動を行ってきた。さらに、見本市を開催した市場において買方である流通業者等と意見交換会の開催やアンケート調査を実施するなど、ブランド材の規格の検討、評価等を含めた意見を聴取するとともに、宣伝普及・販路拡大方法について検討を行っている。

2. 5 ブランド材生産の今後の取り組み

現在のように原木価格並びに製品価格が低迷した状況のなかにおいては、ブランド材のよきな強度性能・寸法精度を確保した良質な製材品であっても、新しく市場拡大を行うことは非常に難しい状況である。またブランド材生産にかかるコスト、すなわち徹底した品質管理にかかるコスト、特にスギ正角材の人工乾燥に伴う乾燥コスト等によって製品のコストが必然的に増高してしまうが、現在の製品価格の低迷のなかでは、それらのコストを全て回収することは難しい状況である。

しかし、集成材の増加に見られるように、部材への信頼性の要請が高まっているなかでは、最低限愛媛ブランド材のように品質管理を行った製材品を供給していく必要があり、ブランド材生産にかかるコストは、製材工程での省力化、高温乾燥を含めた新しい乾燥技術の開発等による乾燥コストの低減、製品流通の短絡化により、生産過程全般において生産コストを低減させていかなければならない。

3 乾燥技術の開発・コストダウンへの取り組み

3. 1 はじめに

近年、乾燥時間の短縮を目的として、乾燥温度を100℃以上に設定できる高温乾燥機が販売されるようになり、県内においても高温乾燥機を導入しスギ正角の乾燥を行う工場が多くなっている。

しかし、高温乾燥法については高温域における内部割れの発生、材色の変化、強度性能の劣化、曲がりの発生について不明であり、このため、乾燥スケジュールにおいてはこれら問題点を解決する定まったスケジュールがないのが実状である。

そこで当林業試験場においては、スギ正角を対象として高温乾燥の最適スケジュールを開発するため試験に取り組んでいるのでその一部について紹介する。

3. 2 スギ正角の選別による乾燥

スギ正角の乾燥は、初期含水率は高く非常にバラツキが大きいことから、乾燥に際して時間が長くなり仕上がり品質は均一になりにくいので乾燥が難しいとされている。さらに、高温乾燥を採用すると乾燥時間が短縮されるため、一層仕上がり品質は安定しにくいと考えられる。

スギ正角の初期含水率は正角の生材密度と高い相関があることが判っている。そこでスギ正角の初期含水率のバラツキを小さくするため、生材密度による選別を乾燥前に行った。供試材は愛媛県産スギ正角（12 cm 角・材長 4 m・心持ち・背割り無し）を用い、生材密度から求めた含水率により3グループ（1：2：1の本数割合）に選別を行った。図5-1、-2に示すとおり、グループ分けを行うことで、初期含水率のバラツキを小さくすることが可能であった。

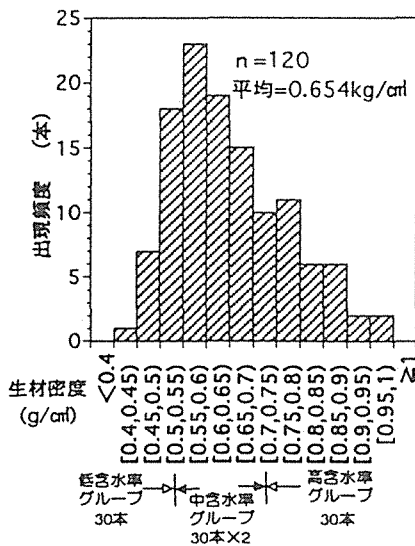


図5-1 生材密度のヒストグラム

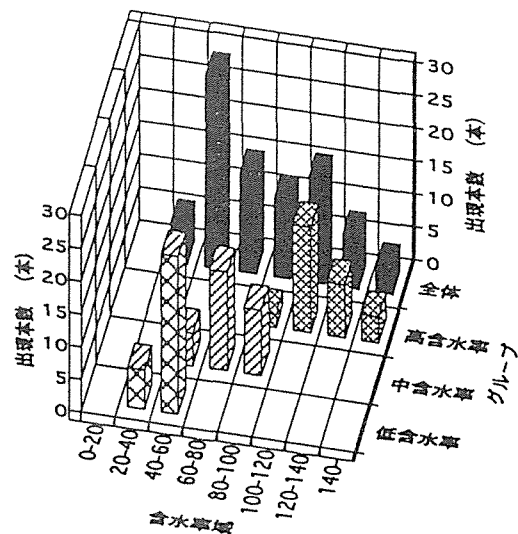


図5-2 生材含水率のグループ別ヒストグラム

3. 3 高温乾燥による含水率の減少経過

3グループに選別した試験材は、両端を切断し3mに調整して高温乾燥を行った。目標含水率は全乾法で20%とし、乾燥スケジュールは、乾球温度を急速に上昇させ、乾燥初期に乾湿球温度差を付けることにより材面割れの抑制と乾燥速度の確保を狙ったスケジュールを用いた。スケジュールの内容は表5-7に示す。各含水率グループに表5-7のスケジュールを用いたが、高含水率グループの試験では乾燥機の蒸気漏れによりスケジュール初期の乾球温度120℃の条件がとれなかった。

人工乾燥途中の含水率は、3グループの試験材からそれぞれ無作為に含水率測定用試験材

6本を選び、乾燥機から適宜取り出し重量を測定して求めた。各グループの含水率測定用試験材の含水率減少経過を図5-3に、各含水率域における乾燥速度を図5-4に示す。また、試験材全ての仕上がり含水率

表5-7 乾燥スケジュール

含水率 (%)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	平衡含水率 (%)	時間 (h)
G	95	95	—	24
G~3h	120	95	3.7	3
~50	109	95	6.1	—
50~20	105	7.5	—	

を表5-8に示す。これら3回の試験結果から初期含水率によるグループ分けを行うことで、目標含水率に到達する乾燥時間をグループ別に調整して乾燥効率を向上させることが可能であり、乾燥後の含水率のバラツキは抑制できると思われる。

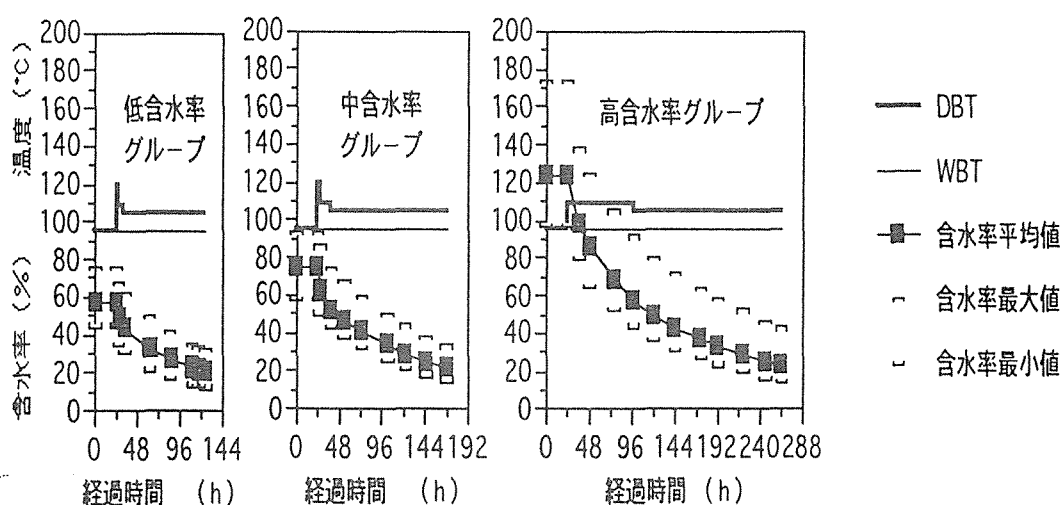


図5-3 グループ別含水率の減少経過 (含水率経過測定用試験材6本)

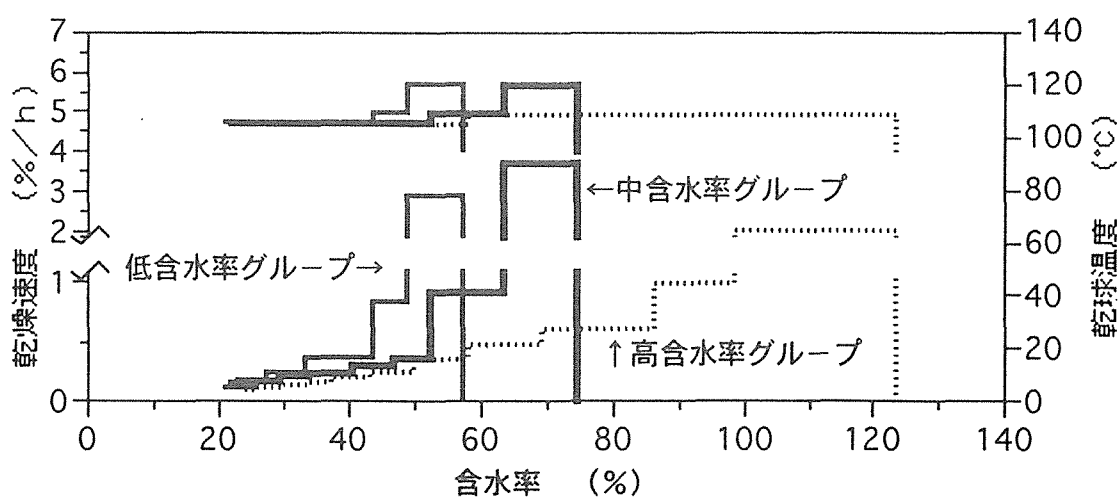


図5-4 グループ別による乾燥速度の比較

表 5-8 乾燥前後の含水率

グループ 区 分	初期含水率 (%)			乾燥後含水率 (%)		
	平 均	範 囲	標準偏差	平 均	範 囲	標準偏差
低含水率	60.3	31.5-100.5	16.0	18.2	4.3-43.7	4.3
中含水率	78.8	51.3-144.4	17.9	21.4	5.3-53.0	9.9
高含水率	126.2	85.7-183.5	25.6	23.5	9.1-42.9	9.3

3. 4 高温乾燥による材の損傷

各グループにおける材面割れと内部割れの発生を表 5-9 に示す。

低含水率グループ・高含水率グループは中含水率グループに比べると材面割れの発生が低くおさえられた。中含水率グループの材面割れが多くなったことについては、グループ中で一番最初に試験を行ったため、乾燥途中に乾燥機から試験材を取り出す作業に時間が掛かり材表面の急激な温度低下により材面割れが多く発生したと思われる。その後に行った低含水率・高含水率グループは、乾燥途中での試験材の取り出しは、なるべく短時間でいった。

幅 2 mm 以上の割れは全体では 64% の試験材に発生した。内部割れについては、低・中含水率グループでは半数に発生し、高含水率グループでは全ての試験材で発生した。

表 5-9 材面割れと内部割れの発生

グループ 区 分	材面割れ発生面と本数					内部割れ 発生本数
	なし	一面	二面	三面	四面	
低含水率	11	10	6	2	1	5
中含水率	6	8	9	4	3	5
高含水率	15	6	5	4	0	10

(材面割れは幅 2 mm 以上の割れ 材面割れは 30 本中 内部割れは 10 本中)

3. 5 乾燥後の含水率と寸法変化

人工乾燥後、修正挽きを行わないで試験材を室内に放置したときの含水率（全乾法）と収縮率の経過（中含水率グループから無作為に抽出した 10 本について）を図 5-5、6 に示す。

含水率の変化は、人工乾燥後の含水率が 20% 以上の試験材は含水率が減少傾向を示したが、20% 以下の試験材は、顕著な変化はなかった。

収縮率は最初膨潤傾向を示した。これは、人工乾燥によって材の表層はほぼ乾燥スケジュールの平衡含水率まで下がっており、乾燥終了後は室内の平衡含水率に近づくためと考えられる。収縮率の変化は、室内の平衡含水率に連動して多少は変化はするものの、全

ての試験材について顕著な変化は認められなかった。

含水率20%以上の試験材は、放置期間中含水率が低下しているが、収縮率の変化は20%以下の試験材と比べても顕著な差はなかった。高含水率の試験材は、材の表層の含水率は20%以下の試験材と同程度まで下がっていると考えられるが、材内部の含水率が高く含水率傾斜が大きいいため平均含水率が高くなっていると考えられる。

今回用いたスケジュールでは、乾燥初期の高温熱処理により表層に強い引張り応力が発生するため表層に引張りセットが生じていると考えられる。また、材内部については圧縮セットが生じていると考えられる。これらのことから、含水率20%以上の試験材は材内部の含水率が低下すると、材内部は収縮しようとするが表層は引張りセットの影響のため収縮率が小さくなっており、表層と材内部に収縮量の差が発生し内部割れの原因になると推測できる。含水率20%以上の試験材の含水率の減少に伴う収縮率の変化が2.0%以下の試験材と比べても顕著な差がない理由については、上述の表層の引張りセット及び内部割れの発生の影響の為ではないかと推測できる。

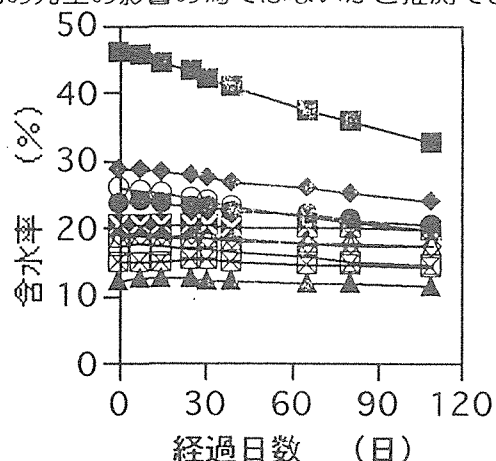


図5-5 人工乾燥後の含水率の経過

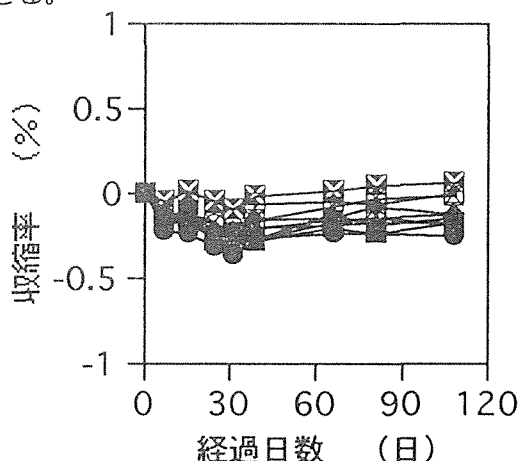


図5-6 人工乾燥後の収縮率の経過

3. 6 おわりに

スギ正角の初期含水率は高く、非常にバラツキが大きいので、生材密度によりグループ分けを行うことで、初期含水率のバラツキを小さくすることができた。また、乾燥前に選別を行うことにより、乾燥時間等の乾燥効率の向上や仕上がり品質の均一化が可能である。

また、今回の試験では乾燥途中で試験材の取り出しを行って、試験材の取り出しを行わない試験を行い材面割れの発生について検討する必要がある。また、内部割れについては、低含水率・中含水率グループでは半数、高含水率グループは全ての材に発生しており、内部割れを抑制するためには乾燥途中の温湿度条件について検討する必要がある。

高温乾燥による材面割れや内部割れだけでなく材色や強度の変化についても、今後検討を行いたい。

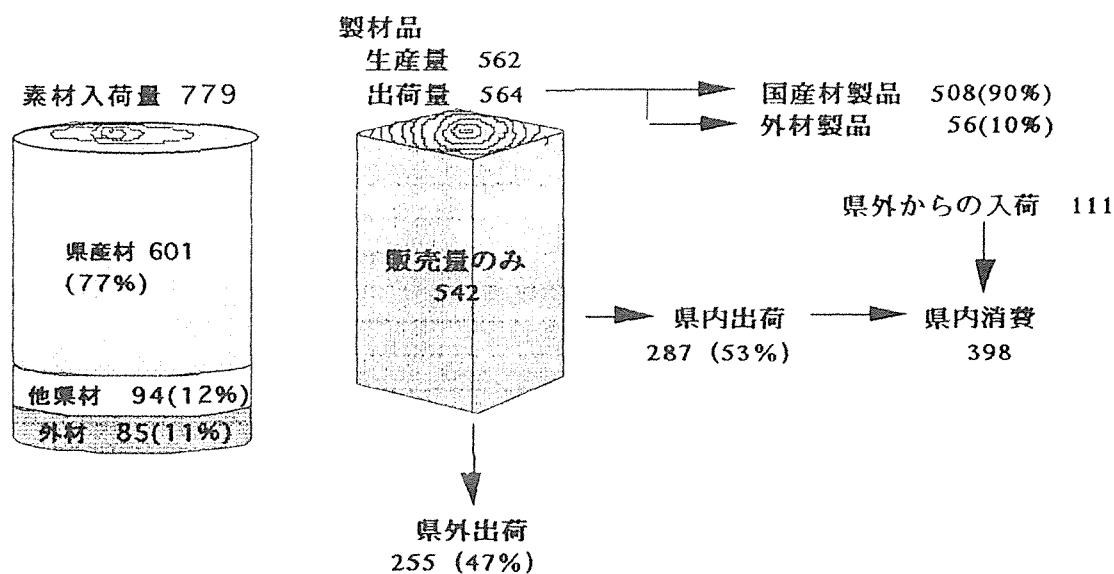
9 熊本県における乾燥技術開発等乾燥材普及への取り組み

熊本県林業研究指導所 池田元吉

1 熊本県における製材品の流通及び乾燥施設と乾燥材の生産動向

平成8年分の県内の素材・製材品の生産・流通状況を図-1に示す。7年分と比較すると、販売量で40千 m^3 、県内出荷量で15千 m^3 と共に8年分が少なく、県内消費量も30千 m^3 の減であった。平成8年分の県内消費量に占める県内出荷量の割合、いわゆる県産材自給率は、7年分から僅かではあるが2%増の72%であった。このように自給率は、全国の製材用材の自給率32.3%（平成7年の林野庁木材需給表から）のほぼ倍と高い水準にある。

図-1の販売量542千 m^3 を100%として県外出荷状況をみると、県外出荷分は47%（255千 m^3 ）、この内訳は多い地域から九州の35%、中京の5%、阪神の3%と続き、九州内への出荷が県外出荷分の74% $\{(189/255) \times 100\}$ を占める。特に福岡県への出荷量は県外出荷量の40% $\{(101/255) \times 100\}$ を占めている。



県外出荷状況

単位；千 m^3 、割合%

	合計	出 荷 先 内 訳												
		京浜	中京	阪神	中国	その他	九州	福岡	佐賀	長崎	大分	宮崎	鹿児島	沖縄
出荷量	255	14	27	15	6	4	189	101	28	39	8	4	9	0
割合(%)	47	2	5	3	1	1	35	40	11	15	3	1.5	3.5	0

図-1 熊本県の製材品の生産・流通状況（平成8年度調べ） 単位：千 m^3

ところで、ここ数年内に稼働を始めた比較的規模の大きな製材工場や規模拡大した工場は、県外出荷に意欲的である。その背景には、上述したように県産材自給率が70%と高い水準にあることから、増産分が自ずと県外出荷へ向けられるためではないかと推

察される。

表-1に製材品、乾燥材の生産量及び乾燥材割合の推移を示す。平成8年以前の人工乾燥材の生産量が把握されていないが、現在の県内の乾燥材生産量は、県外出荷に意欲的な工場が取組により増加傾向にある。1996年の人工乾燥材割合は生産量45千m³の9%となっ

ているが、このうち針葉樹の構造用製材の日本農林規格（JAS）の乾燥材の含水率基準を満足する量は少ないと推察される。

表-2に県内に導入されている乾燥機113基の方法別施設数を示す。なお、方法を明らかに区分できない施設はその他に含めた。蒸気式と除湿式の2方法で78%を占める。また最近導入される蒸気式は高温タイプのもが多く、これまでに約10基が導入されている。

図-2に導入された乾燥施設数、乾燥機を保有する製材工場数、1社あたりの保有数の変化を84年を100として示した。この12年間に施設数はほぼ直線的に増加し3.8倍に、工場数は90年以降の伸びが若干小さくなったものの4.2倍に、また乾燥施設保有工場数が全工場数に占める割合は、全工場数の減少もあって5.1%から24.4%へと大きく4.8倍へと増加しており、乾燥材生産への感心の高まりを示している。

表-2に示す方式のうち、スギ構造用製材の乾燥に用いることを特徴としている方法として、燻煙式、蒸煮減圧式並びに温水式に含めた熊本型乾燥システムの施設が挙げられる。

現在、熊本型乾燥システムの施設は、主に板類の乾燥に用いられている。

表-3は平成9年（1997年）7月の調査による県内地域別にみた素材、製材品、人工乾燥材の生産量および乾燥機の導入状況である。地域毎

表-1 乾燥材生産量の推移

	1984年	1990年	1996年
製材品生産量 (国産材のみ)	千m ³ 454	千m ³ 546	千m ³ 508
うち乾燥材量	15	30	85
人工乾燥材	-	-	45
天然乾燥材	-	-	40
人工乾燥材割合(%)	-	-	9

表-2 乾燥方法別施設数

方式	施設数
蒸気式	60
除湿式	28
電気式	2
遠赤放射	2
温水式	6
燻煙	2
蒸煮減圧	1
その他	12

温水式には熊本型乾燥システムの施設も含む。

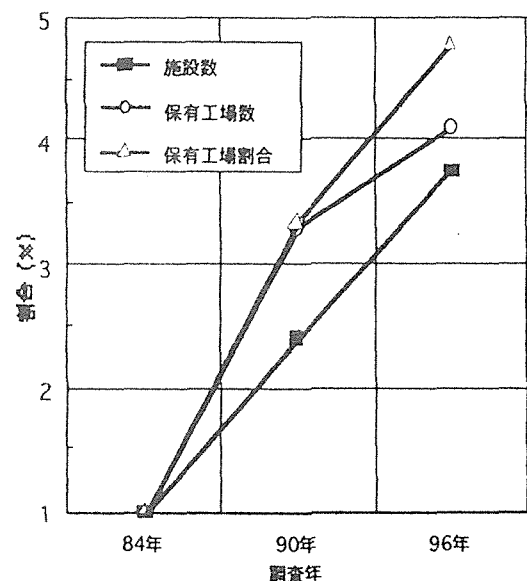


図-2 乾燥施設及び乾燥施設を保有する製材工場数の変化 (84年を1とした場合)

の素材と製材品との生産量を比較すると、熊本地域のように製材品生産量が多い加工する地域と、阿蘇や球磨のように素材供給をする地域とに分けられる。現在の乾燥材生産量は、消費地やその周辺の加工する地域、言い換えれば川下側の地域に多い。特徴的な地域として天草地域がある。素材生産量は全体の1.3%と少ないが、乾燥材生産割合は21.6%、単純計算すれば域内で生産される製材品の42%を乾燥している地域である。このような乾燥への取組は、製品の多くを域外へ出荷しなくてはならないという地理的に不利な条件への対応策と考えられる。

表-3 熊本県の地域別素材、製材品、乾燥材、乾燥施設状況

地域名	素材生産量 VL	製材品生産量 VP	人工乾燥材 生産量(DWV)	乾燥機の導入状況	
	千m ³ (%)	千m ³ (%)		容量(KDV) m ³	施設数 基
熊本	5(0.6)	72(11.9)	12(23.5)	304	15
宇城	8(1.0)	23(3.9)	0	108	7
玉名	1(0.2)	20(3.4)	0	36	4
鹿本	37(4.7)	24(4.0)	3(5.9)	126	6
菊池	29(3.7)	7(1.2)	1(2.0)	15	2
阿蘇	162(20.8)	81(13.6)	5(9.8)	207	8
上益城	47(6.1)	49(8.2)	4(7.8)	700	2
八代	82(10.5)	101(16.8)	8(15.7)	311	18
芦北	98(12.7)	40(6.6)	2(3.9)	166	9
球磨	298(38.4)	156(26.0)	5(9.8)	433	22
天草	10(1.3)	26(4.3)	11(21.6)	567	16
計	777	601	51	2,973	109

()内は各々地域の生産割合を示す。

乾燥材の生産動向のなかでも、熊本県森林組合連合会が八代事業所ではじめた取組¹⁾が期待されている。事業所では、球磨川流域内の森林組合系統、第三セクターの製材所をはじめ一般の製材所から、年間17,500m³の未乾燥製材品を購入し、蒸煮減圧処理後に養生と2次乾燥を組合せ用途に応じた目標含水率に仕上げている。年間の乾燥材生産目標が15,000m³の『流域の乾燥・加工工場』を目指している。この取組に対して、地域の製材・加工業からは、自社の設備事情に応じた前処理、仕上げ乾燥、モルダー加工などの依頼が増加している。

ところで、表-3に示した乾燥機容量と各社の営業内容を考慮した場合、乾燥材生産能力は81,000m³であるとの試算がある。この量と実態とのズレがいかほどかは別にして、大きな生産余力があることを示している。

このような状況から、乾燥材の生産量を増加させるためには、既存の乾燥機をより有効に活用できる前処理技術の導入が望ましいと考えられる。

2 乾燥材普及への取組

2.1 くまもと型新木造住宅工法『郷の匠；さとのたくみ』の開発

熊本県における乾燥材普及の取組は、県が開発した郷の匠工法の推進からと思われる。同工法は、消費者アンケート調査を受けて1986年に設計・施工マニュアルが作成された。工法開発の目的は、木造住宅の振興を通して県産針葉樹製材の需要拡大を図ることである。工法の特徴は、在来軸組工法+壁枠組工法で表現される。材料側の特徴は、柱の基本断面寸法を12cm正角材とし、主要部材を12種類に整理したこと、構造用部材は含水率20%以下で仕上げは4材面プレーナー加工としたことである。また、県内の資源状況を考慮して、接着による重ね梁も提案された。

1988年の建築コンペで選ばれた13棟がモデル住宅として建築されたが、各メーカーは乾燥したスギ心持ち12cm正角材を入手するのに苦労したと聞いている。その原因は、12cm正角材の流通量が少なかったこと、その乾燥材となればなおさら入手困難であったと推察される。

以前、郷の匠工法の建築現場で、部材についての感想を聞いたことがある。部材の重量が軽い、寸法が揃っている、重ね梁は曲がり少なく壁面がきれいに仕上がる、接合部のボルトの増し締めが少なく済む、現場でのかな肩が少ないなどの好評な意見と、逆に、全ての構造用部材を4材面プレーナー加工する必要はないなどの声が聞かれた。

ところで、郷の匠工法の各部詳細図や施工方法解説書はオープンにされている。県内の住宅メーカーにとってこのオープン化は、自社の施工方法等を検討する確かな情報となり、より質の高い住宅供給へつながり、地元材が利用される機会を増やすことに貢献している。先に記したように、当時は乾燥+プレーナー加工材の供給は順調ではなかった。しかし郷の匠工法への取組は、県内の材料供給から建築までに携わる業界に、乾燥技術の難しさ、乾燥材の利点等を体験させ、以降の各々企業の取組みの方向性に良い影響を与えたことは容易に推察される。

2.2 熊本県独自品質基準材の出荷

熊本県は平成5年からの3年間、業界団体を実施主体として『統一基準適合材出荷モデル事業』に取り組み、乾燥材生産に積極的な工場が関東、関西地域へ乾燥材を共同出荷する支援を行い、乾燥材の生産促進を図ってきた。この取り組むは、事業終了後に業界の自主的な組織として現在に至り、参加工場数5社で乾燥管柱を主に、乾燥面材料の共同出荷に取り組んでいる。また、県は先の事業を継続、拡大するため平成8年度からは『くまもとブランド材供給体制整備事業』をスタート、同事業で『くまもとブランド材共同出荷協議会』を発足させ生産量拡大を推進している。この協議会に参加しているメンバーは主に森林組合系列の製材工場12社が参加している。なお、同協議会で出荷した乾燥材の量は、初年度の平成8年度が4千 m^3 、平成9年度が1万 m^3 、平成10年度以降の計画は年1万5千 m^3 である。統一基準材とブランド材の品質基準はほぼ同じ内

容である。表-4に品質基準の内容を示す。基準内容はJASの乙種1級を基本とし、曲がり、寸法精度、材面仕上げが独自の基準となっている。特に曲がり、寸法精度はJAS基準より厳しい基準となっている。

これらの取り組みは、複数工場をグループ化することで、取り扱う商品の幅が広がり、結果的にグループ内の各々工場の商取引量の拡大につながっているようである。

共同出荷に取り組む場合のポイントは、各工場からの製品品質のばらつきが少ないことであり、そのための各工場における出荷時の品質管理と考えられる。協議会では品質管理技術の向上を図るため林業研究指導所において技術研修会を行っている。研修内容は寸法や含水率の測定方法などの基本的なことから、持ち寄った未乾燥材を人工乾燥し乾燥後の品質調査を行うなどの乾燥技術に関するものである。その中で、乾燥材の品質管理の重要なポイントである含水率計の取り扱い方法が、十分に周知出来ていないことが分かった。PL法や建築基準法の性能規定化など、今後、材料供給側がより厳しい品質管理を求められるのは必至なことから、生産者の意識改革を図るための日々の取り組みが必要と考える。

表-4 くまもと統一基準適合材の品質比較表

区分		基本となるJAS基準	独自基準
表示		乙種1級(★★★)	同左
節	単独	径比が30%以下	同左
	集中	径比が45%以下	同左
丸身		10%以下	同左
貫通割れ	木口	長辺の寸法以下	同左
	材面	ないこと	同左
目まわり		短辺寸法の1/2以下	同左
繊維走行の傾斜比		1:12以下	同左
平均年輪幅		6mm以下	同左
腐朽		ないこと	同左
曲がり		0.2%以下	0.15%以下
狂い及びその他の欠点		軽微なこと	同左
含水率		D25,D20,D15	D25,D20,D15
寸法精度		±1.5mm	±0.5mm
材長		+制限なし, -ゼロ	同左
材面仕上げ		—	モルター仕上げ

*乙種：目視等級区分製材のうち、主として圧縮性能を必要とする部分に使用されるもの。
(熊本県木材乾燥統一基準材出荷協会)

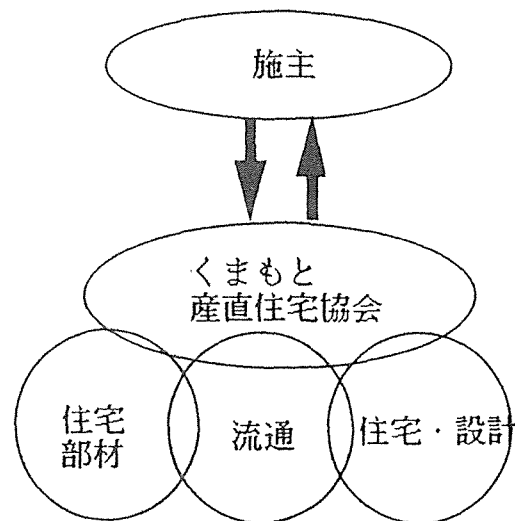


図-3 くまもと産直住宅協会組織

2.3 くまもと産直住宅協会

図-3は熊本県が平成8年にスタートさせた『くまもと産直住宅協会』の組織図である。

組織構成は流通業3社，製造・加工業10社，住宅・設計業7社の計20社である。3年目になる同協会の活動が，県外での住宅販売をとおして県産材の需要拡大につながる事が期待されている。

3 乾燥技術開発・コストダウンへの取組の動向

3.1 民間での取組

県内で積極的に構造用柱材の乾燥に取り組んでいる工場が選択した乾燥技術は2，3の方式に分類される。それは次のようなものである。

①熱気乾燥（最近は高温乾燥が多い），②前処理方法と熱気乾燥の組合せ，③製材の天然乾燥 の三つの方式である。

①熱気乾燥

一般温度域の熱気乾燥では所要日数が7～10日程度のところが多いようである。スケジュールは，初期蒸煮→乾球温度一定（湿球温度のみ調節）のタイプが多くみられる。使用温度域は初期蒸煮が80℃程度，一定にする乾球温度が70℃程度である。

一般熱気乾燥に取り組んでいる工場において，乾燥材の品質向上を図るための調査を依頼されたことがある。その結果は添付資料-1の内容で短期または長期の改善事項として示した。また添付資料-2の写真3-1から3-3は調査した工場の状況である。改善内容は乾燥によるはね材を減少させるのに有効とされる一般的なことである。

高温乾燥のみで仕上げ乾燥を行っているのは2，3の工場である。その内の一工場で調査した仕上げモルダ加工前の選別結果を表-5に示す。同工場での通常の生産工程は，乾燥4～5日間，冷却2日間，屋内養生2週間，その後仕上げ加工から出荷となる。表中の

表-5 乾燥後の仕上げモルダ加工前の選別結果

区分	内容	本数	割合 %	寸法 mm	含水率(%)	
					加工前	加工後
仕上げ材		41	42.7	125.6	23.4	30.1
ハネ材	割れ	16	16.7	129.0	19.3	-
	重さ	27	28.1	129.4	31.5	-
	返品	12	12.5	129.0	22.6	-

調査本数スギ120mm正角96本。寸法，含水率は各材の中央部の隣接する2材面の測定結果の平均値を示す。使用含水率計はモコ2。

寸法はモルダ加工直前の寸法を，含水率はモルダ加工前後の含水率を示す。仕上げ加工をするかしないかは割れ幅4mm以下と重量で判断されている。重量は材種毎の基準値があるわけではなく経験により判断されている。

このような選別方法のため，仕上げ材の含水率平均値は30%と25%より大きな値であった。加工後に含水率測定ができた25本中7本の含水率が25%以下であったことから，D25を満足する材の本数割合は，仕上げ材の内の3割弱，全体の13%程度と推察された。これらのことから二つの問題点が挙げられる。一つはD25合格本数の少ないこ

と、もう一つは品質管理に認定の含水率計が上手く使われていないことである。

前者の改善方法としては、別添資料に示したような一般的な取り組みをいかに日常の生産工程の中に取り入れるか、後者については、例えば選別作業中に測定台に乗せるだけで含水率が測定できる装置、またはモルダー加工ラインに組み込み可能な装置等の開発が必要と考えられる。

②前処理方法と熱気乾燥の組合せ

県内では燻煙熱処理と蒸煮減圧処理が前処理に利用されている。燻煙熱処理は、県内の住宅メーカーが自社建築分の材料処理に使用している。この住宅メーカーは製材機械を持ち主な部材は自社で製材している。スギ構造用部材の生産の流れを図-4に示す。燻煙熱処理は丸太での処理と処理丸太からの製材の処理の2回行われており、それぞれに処理内容は異なる。処理丸太の製材後、2度目の燻煙熱処理と屋内養生によって仕上げ乾燥されている。屋内養生場所には材表面が黒い正角や平角材が積積みされている。この組合せの技術的な、中でも仕上げ材の損傷を抑制するためのポイントは、製材の燻煙熱処理により一挙に低含水率まで乾燥させず、その後の養生で目標含水率まで乾燥させることのようなのである。

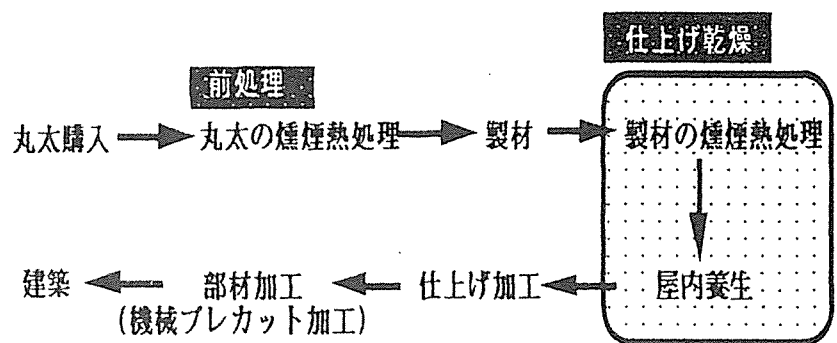


図-4 燻煙熱処理を前処理としたスギ構造用材の製造工程

次に、蒸煮減圧処理は養生または仕上げのための熱気乾燥との組合せで使用されている。これについては3.2.2で述べる。

③製材の天然乾燥

ある程度まとまった量のスギ構造用材の天然乾燥は、地元住宅メーカー1社が屋内天然乾燥の形で取り組んでいる。写真3-4にその状況を示す。4棟の建物に、材種別の材積では柱が7ヶ月分、平角材が5ヶ月分、棟数にして60棟分、約600m³の材が養生されている。

現在、平角材の乾燥期間が長くなること、羽柄材の乾燥方法、季節により乾燥時間が変わり計画的な生産が難しいことなどから、部分的には人工乾燥機の導入が検討されている。

3.2 公的機関での取組

3.2.1 熊本型乾燥システムの開発と改良

熊本型乾燥システムは県工業技術センターが開発したシステムで、乾燥機の形式は温水を熱源とする熱気式乾燥機に分類される。同システムの特徴は、天井部に設置したトラック用ラジエータに焼却炉からの温水を循環させ、ラジエータ上部の循環ファンで温風を循環させることである。稼働中の一部の施設では、温風の吹き出し口に近い棧積み上部の製材に大きな割れが発生しやすいこと、棧積み内部の風速不足など改善すべき点がみられた。対策として加湿装置の設置、天井から下降へ吹き出す温風を床下まで導くなどの工夫がされている。これらの点が改良された施設の温度と相対湿度の測定結果並びに平衡含水率の変化を

図-5に示す。図の横軸は時刻ではなく測定の時間間隔を示す。横軸中央部の加温開始時に相対湿度が大きく低下しており、加湿のタイミングと量の検討が必要である。現在、導入された同システムの多くは、ヒノキ正角材、板類、スギ平角の乾燥に利用されている。

同システムについては風の循環方法、ラジエータへ循環させる温水温度のばらつきを小さくする工夫、排気方法の改良を行うことで、より使いやすいシステムになると期待される。

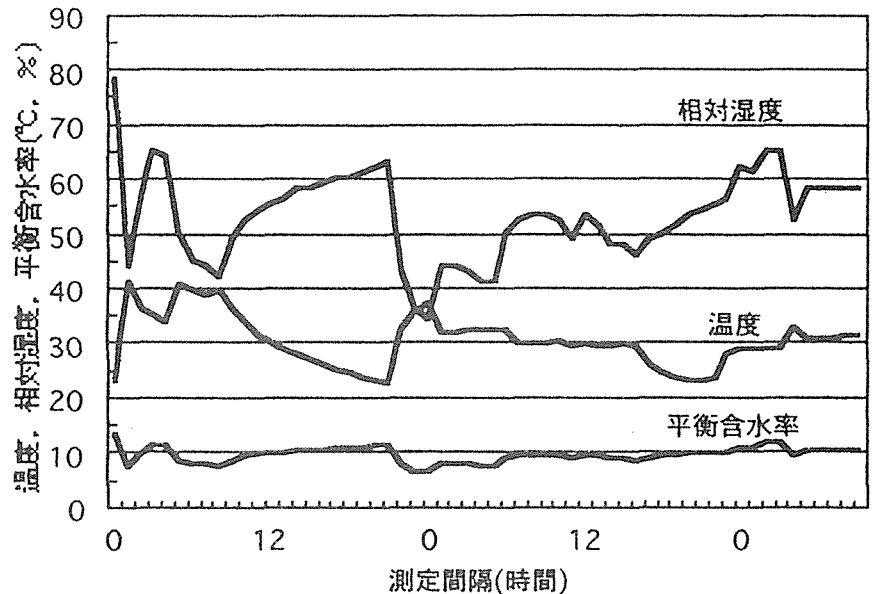


図-5 熊本型乾燥システム施設内の温度、相対湿度と平衡含水率の経時変化の一例

3.2.2 前処理技術との組合せによる仕上げ乾燥

県内の既存乾燥施設を有効に活用するための前処理技術の検討の一つとして、蒸煮減圧処理したスギ心持ち正角材の仕上げ乾燥方法を検討している。

未乾燥材を湿熱処理した効果として、仕上げ乾燥時の材の曲がり、割れの軽減が知られており、このことは県森連八代事業所においてこれまでに生産された乾燥材でも確認されている。

林業研究指導所では、蒸煮減圧処理し養生中の材を仕上げ乾燥するタイミングを知るため、処理後の含水率変化を調査している。調査した製材は、八代事業所が未乾燥製材を主に購入する3地域別に12本ずつとした。その理由は、3地域に主に植栽されているスギ品種が異なり、それが処理材の含水率変化に影響するかどうかを確認するため

ある。図-6に処理前後と養生中の含水率を示す。含水率は地域別に3本ずつを抜き取り、切り出した試片を用い全乾法で測定した。図から処理前の含水率は、40~160%と大きなばらつきがあるが、処理により含水率が全体的に低下すること、特に材表面の含水率が大幅に低下しそのばらつきも小さくなることが分かった。また地域毎の差はみられなかった。養生中の含水率は、30日間でほとんどの材で表層と中央部との差が10%程度になり、67日間では表層と中央部との差はさらに小さくなり全体的にも20~30%に減少することが分かった。

このことから、仕上げ乾燥するために必要な養生期間は一ヶ月間程度と判断される。今後は、一般温度域での熱気乾燥による仕上げ乾燥スケジュールを検討する計画である。

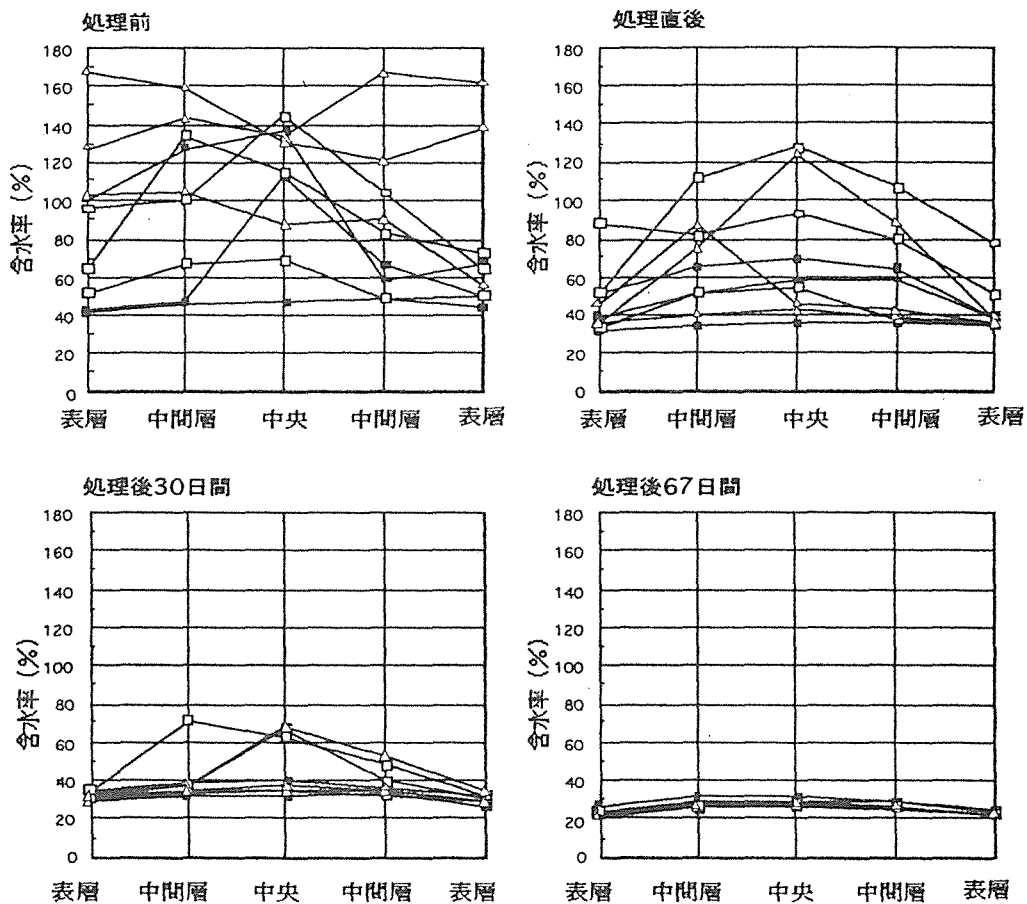
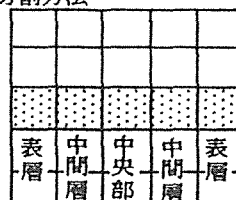


図-6 蒸気減圧処理前後および養生中の含水率変化

分割方法



3 m材の中央部から取った厚さ 2 cmの試片を左図の様に分割し 5つのブロックで含水率を測定した。

第7章 参考資料

1 木材乾燥機の仕様と性能表示に関する基準

協会では、平成5年度の調査・研究事業の一環として、乾燥機の仕様と性能の表示統一を図ることにした。これは前年度の乾燥施設用語を統一したと同様、メーカーによりカタログ・見積りの仕様と性能の表示がバラバラであり、ユーザーが比較検討しにくいいため、乾燥機の仕様、機能に関して、性能を表示統一することで、比較検討を分かりやすくするためであり、会員および関係者の絶大なご協力が必要です。

乾燥機の仕様

1. 寸法に関する

a) 乾燥機寸法：外寸法 間口(m)、奥行き(m)、高さ(m)

設置スペース分かるよう外寸法で表示する。

b) 棧積み有効寸法：積み幅(m)、積み高さ(m)、積み長さ(m)

乾燥機内の棧積み有効寸法を表示する。

c) 収容材質：柱材(120mm×120mm 角材想定) 『m³』
板材(35mm 厚材想定) 『m³』

材の寸法を明示し、柱材と板材の二種の材の材積を『m³』にて表示し、下記の計算方法で収容材積を算出する。

* 収容材積の計算方法

柱材：寸法(角寸法×材長) 積み幅本数×積み高さ段数

板材：積み幅(m)×積み高さ(m)×積み長さ(m)×板厚(mm) / (板厚(mm)+ 棧木厚(mm)) ×空隙割増係数(K)

空隙割増係数(K)

	幅決め材	片耳付材	両耳付材
定尺材	0.9	0.75	0.65
乱尺材	0.85	0.7	0.6

機能に関するもの

a) 乾燥機の壁体構造：内壁面・断熱材・外壁面の材質・厚さ

使用している材質と厚さを表示する。

日本木材乾燥施設協会

b) 送風装置：送風方式の表示

送風方式を下記の三種類の中から選び表示する。

(1) 内部送風式：乾燥機内にファンを設置して風を循環する方式

(2) 外部送風式：乾燥機外にファンを設置してダクトにて乾燥機内に風を供給する方式

(3) 自然循環式：自然対流にて乾燥する方式

c) 加熱方式：加熱方式の表示

蒸気式・温水式・電気式・ヒートポンプ式・太陽熱式・燃焼ガス式等の熱源方式を表示する。

d) 加湿方式：加湿方式の表示

蒸気加湿式・温水加湿式・水加湿式・電器加湿式等の加湿方式を表示する。

e) 排湿方式：排湿方式の表示

吸排気式・排気ファン式・真空式等の排湿方式を表示し、吸排気熱回収装置の有無を表示する。

f) 木材の搬出入方式：木材の搬出入方式を表示

台車方式・フォークリフト方式・電動台車方式・コンベアー方式等の搬出入方式を表示する。

g) 温湿度調節装置：温湿度調節方式の表示

i) 手動式：温度調節計を使用しない方式

ii) 自動制御式：

定置制御式：温湿度調節計を適時設定しながら制御する方式

プログラム制御式：

乾燥時間制御：温湿度条件を乾燥時間の経過に従い設定し自動的に制御する方式

含水率制御：含水率を自動的に測定し、含水率に対応して温湿度条件を自動的に制御する方式

コンピューター制御式：コンピューターを用いて温湿度条件を自動制御する方式

乾燥時間制御：温湿度条件を乾燥時間の経過に従い設定し自動的に制御する方式

■木材乾燥機の仕様と性能表示に関する基準

- 含水率制御：含水率を自動的に測定し、含水率に対応して温湿度条件を自動的に制御する方式
- h) 風速制御装置：風向切替えの有無、風速調節の有無を表示する
- i) 温湿度自動記録計：記録計設置の有無を表示する
- j) その他の装置：含水率測定装置、遮風板の設置の有無、狂い防止装置等の設置の有無を表示する
3. 乾燥機の性能（設計基準）
- (1) 使用温度範囲：
- a) 最高使用温度を明示する（℃）
- b) 加熱機の総発熱量を明示する(Kcal/hr) 熱源温度（℃）と機内温度（℃）を付記して、発熱量を明示する
- (2) 使用湿度範囲：調節可能な最低湿度（％）と最高湿度（％）を明示する。
- (3) 送風能力：
- a) 材間風速と風速の範囲を明示する。（風速計算は下記計算式を参照する）
- $$\text{ファン風量 (m}^3/\text{min.)} \times \text{ファン台数} \div \text{乾燥機高さ (装置部を除く) (m)} \times \text{乾燥機奥行 (m)} \times \text{棧木厚 (mm)} / (\text{板厚} + \text{棧木厚 (mm)}) \times \text{空隙割増係数 (K)}$$
- 空隙割増係数(K)：台車方式=1.2～1.3
フォークリフト方式=0.3～1.4
- b) ファンの性能：ファン直径、風量、静圧、回転数、台数を明示する。
- c) ファンモーターの性能：電圧、馬力(KW)、耐熱温度、台数を明示する
- (4) 加熱能力：加熱装置の最大発熱量(Kcal/hr)を明示する。
- (5) 加湿能力：加湿装置の最大加湿量(Kg/hr)を明示する。
- (6) 排湿能力：排湿装置の排湿量(Kg/hr)または除湿量(Kg/hr)を明示する。乾燥機内外の温湿度条件を付記する。
- (7) 温湿度制御：温湿度制御方法と調節計・センサーの精度を表示する
- a) 制御方法：ON-OFF制御、PID 比例式 等
- b) 調節計の精度：○、○級または○、○％で表示
- c) センサーの精度：○、○級または○、○％で表示
- (8) 乾燥時間
- a) 乾燥時間：樹種・寸法・初期含水率・仕上含水率・乾燥条件を明示して乾燥時間を表示する
- b) 含水率測定方法：全乾法または含水率計による測定を表示する

日本木材乾燥施設協会会員

会社名	所在地	電話番号	会社名	所在地	電話番号
(株)新柴設備	北海道旭川市	0166-61-6000	伊豆巴産業(株)	静岡県伊東市	0557-53-0511
エノ産業(株)	北海道東川町	0166-82-4000	横山鉄工(株)	静岡県島田市	0547-35-3411
アサヒ動熱(株)	北海道旭川市	0166-48-5527	(株)疋田商店	愛知県豊橋市	0532-31-0307
高岳金属(株)	栃木県小山市	0285-24-2117	(株)タカハシキカン	愛知県名古屋市	052-871-6731
氏家木材乾燥(有)	群馬県赤城村	0279-56-8145	ファーストエンジニアリング(株)	三重県四日市市	0593-47-1688
富士電波工機(株)	埼玉県鶴ヶ島市	0492-86-3211	(株)コシイブレイジング	大阪市住之江区	06-685-8737
協和科学(株)	東京都中央区	03-3669-5150	富洋木材(株)	大阪市住之江区	06-681-0435
日本電化工機(株)	東京都渋谷区	03-3373-0611	(株)モカン機械製作所	大阪府八尾市	0729-91-5756
立山工業(株)	東京都板橋区	03-3550-1011	カンブー工業(株)	大阪府門真市	0720-82-3045
住金ビルブランド(株)	東京都足立区	03-3870-3361	フソー(株)	奈良県桜井市	07444-3-2020
(有)エーテス機械産業	東京都小平市	0424-67-0401	(株)トーチク	広島県広島市	082-885-1323
(有)エアビック工業	新潟県三条市	0256-38-6670	九州パルビ7工業(株)	宮崎県国富町	0985-75-8281
(株)ヤスジマ	石川県金沢市	0762-40-3911			