

スギ材利用の高付加価値技術に関する調査研究

長谷川良一 香川紘一郎 *白井征雄

目 次

はじめに	85	2.1 葉枯らし処理方法	95
I 製材品の実態調査	86	2.2 葉枯らし効果測定	95
1 素材流通の現状	86	2.2.1 含水率の測定	95
2 製材品の品質調査	86	2.2.2 材色の測定	95
2.1 調査対象	86	2.2.3 製材品の品質調査	95
2.2 調査項目	86	2.2.4 製材品の人工乾燥、天然乾燥	95
3 調査結果	87	3 結果と考察	97
3.1 製材工場段階	87	3.1 葉枯らしによる含水率の減少量	97
3.2 製品センター段階	87	3.2 材色変化について	98
4 流通段階での実態について	87	3.3 製材品の性状	98
II 仕上げ含水率状態との関連分析	89	3.4 乾燥試験	99
1 試験目的	89	3.5 葉枯らしについて	102
2 試験方法	89	IV スギ材材ステークによる耐久性試験	102
2.1 試験材	89	試験目的	102
2.2 仕上げ含水率状態	89	2 試験方法	102
2.3 保管場所	89	2.1 試験材及び暴露条件	102
2.4 測定項目と集計方法	89	2.2 測定項目及び調査時期	102
3 結果と考察	90	2.2.1 被害度	102
3.1 含水率変化	90	2.2.2 重量測定	102
3.2 収縮率	90	2.2.3 曲げヤング率	103
3.3 背割り幅	90	2.2.4 調査時期	103
3.4 曲り	90	3 結果と考察	103
3.5 割れ	90	3.1 被害度	103
3.6 最適仕上げ含水率について	90	3.2 容積重の変動	103
3.7 高周波含水率計について	91	3.3 ヤング係数	103
III 葉枯らし処理の効果	95	3.4 ステーク劣化について	103
1 試験目的	95	まとめ	105
2 試験方法	95	謝辞	105
		引用文献	106

はじめに

わが国の木材産業は、これまで南洋材、北米材を中心とした外材に大きく依存してきた。それは、価格が安くかつ大量にそして安定的に入手できたためである。しかし、今後は、地球環境や森林資源保全の観点から今までのような輸入にばかり依存しては行かない状況になりつつある。一方国内で

*現 岐阜県庁林政部自然保護課

は、戦後大規模に植栽された人工林が間伐期を過ぎて今後主伐期にはいりつつあり、本県においても人工林資源は 298,000haに達し着実に充実している。とりわけスギの人工林資源は、5～9 齢級が 107,000haのうち66,900haと63%を占めている⁴⁾ 状況にある。このため国産材時代を迎えるにあたって、スギ材の需要拡大は重要な課題であるとともに、そのための高付加価値化技術の確立が急がれる。

このため、本研究においては、スギ材利用のため多面的調査研究を行った。Ⅰ章において建築用木材の乾燥問題を検討するため、製材工場と製品市場等の流通段階での実態調査を行い、含水率などの状況を把握した。Ⅱ章においては、適正な含水率を把握するため、種々の含水率を設定し、その後の形状変化を追跡した。Ⅲ章においては、人工乾燥の前処理に有効である葉枯らし処理の効果について試験を行い。Ⅳ章では、スギ材の耐朽性を知るためステークによる屋外暴露試験を行った。

なお本報告は、1988年から1991年にかけて、林野庁大型プロジェクト研究において、「国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化」で実施したものの一部である。

Ⅰ 製材品の実態調査

1 素材流通の現状

スギ素材流通の現状を知るため、県内スギ素材流通の代表的な県森連岐阜共販所の例を示す。それによると昭和61年9月からの1年間に取引した総材積は20,547m³であり、このうちスギ材は11,955m³で全体の58.2%を占め、長さ3m径14～18cmの柱適寸の出荷が最も多く、材積で26.1%、金額で23.8%を占めている。次に長さ4m径20～24cmの中目材が材積で17.7%、金額で18.6%占めている。⁶⁾

2 製材品の品質調査

2.1 調査対象

県下に平成4年3月現在800の製材工場があり、数では全国1位である⁵⁾。しかしスギ柱材を専門もしくは主に製材をしているのは9工場程度³⁾にすぎない。

今回は、このうちスギ柱材を専門に製材している製材工場(1ヵ所)と、製品センター(2ヵ所)において、柱、母屋、鴨居について調査した。なお、調査企業の素材、製品の入荷量、素材径級等の概要を表1-1に示す。

2.2 調査項目

2.2.1 含水率

長さの中央部で4面(鴨居は平行する2面)について高周波含水率計(デルタ)を用いて測定した。(ファクターは、1.0に調整)

2.2.2 割れ

最長割れを測定し、材長に対する比率(A:0～5%、B:6～10%、C:11～20%、D:20%以上)により判定した。

2.2.3 曲り

材長の中央における最大矢高を測定し、材長に対する比率で0.2%以下、以上に分類した。

2.2.4 その他チェック項目

- (1) 断面寸法:長さ方向の中央部においてノギスで測定
- (2) 木取り:心持ち、心去りを区分した。
- (3) 背割りの有無
- (4) 品等区分:材面の表示を確認した。
- (5) 乾燥表示:材面の表示(乾燥方法、含水率等)を確認した。

- (6) 日数の確認：製材工場においては人乾日数を、製品センターにおいては入荷後日数を確認した。

3 調査結果

3.1 製材工場段階

心持ち柱材20本について調査を行い、その結果を表1-2に示す。含水率は、最小85%で20本中13本が100%以上を示す生材であった。このため割れはなく、曲りはすべて0.2%以下であった。

寸法は、12.2cmで挽き12cm角の2mm歩増しをしていた。背割り有りは、20本中2本でほとんどの材に背割りは入っていない。

人工乾燥をせず製材後1週間以内には、出荷をしている。夏期においては防かび剤を噴霧し、汚染対策をとっている。

3.2 製品センター段階

材種別に調査した結果を表1-3に示す。

7) 柱、母屋材

調査した柱材10本の平均含水率は37.3%で、含水率範囲は16.0~76.5%とばらついていた。割れは背割りを有していたためA段階が9本と少ない。

母屋角材は平均含水率26.6%、含水率範囲23~33%と小さい。割れは背割りが少ないため9本中5本がC段階以上であり、多く発生している。

なお、両材種とも心持ち材で人工乾燥は行っていない。曲りについては、19本中4本が0.2%以上である。

1) 鴨居

杉鴨居の60本について調査を行った。入荷後日数はそれぞれ異なるが、平均含水率が21.0%（最小9.5~最大45.0%）乾燥表示はしていない。割れは60本中44本がA段階と少ないが、C、D段階も6本みられた。

4 流通段階での製材品の実態について

スギを専門に挽く製材工場は、県内に数少なく、かつ、1工場の調査のため実態把握には至っていない感もあるが、今回調査を行った製材工場では、素材の入荷は全て県内でまかなっているものの、製材品の8割は県外に出荷している。その製材品は全て人工乾燥を行わず、製材後すぐに梱包し、出荷するのが現状のようである。背割りを入れないのは、乾燥に伴う背割りの開きによる寸法変形を避けるという理由である。歩増し2mmとしていたが、気乾状態に達した場合、収縮により規定の12cm以下になると考えられる。平衡含水率15%までの収縮率は約3%であるため、乾燥に伴う収縮だけを考えると、歩増しは約4mm必要であり、さらに人工乾燥材とするには、13.0cm以上で荒挽きし、人工乾燥後に修正挽きする必要がある。

今回調査した製品センターでは、製品の7割が県外から入荷し、全て県内に出荷している。調査した鴨居に関しては、歩切れ材はないものの、心持ち材でないにも関わらず、割れが60本中6本と調査本数中10%が30cm以上の割れが発生しており、結果的に未乾燥材の取引では、割れ、狂いなどにより在庫をすれば品傷みによって損失をこうむることになると考えられる。

今回流通段階の調査を行った結果、スギ材に関しては、乾燥材の流通はほとんどない状況にある。人工乾燥された製材品については、技術面、コスト面、市場評価などまだ種々の問題¹³⁾があると考えられる。しかし、乾燥された製品は、商品としての品質管理の強化であり、それが製品、企業への信頼と評価を高めることにつながるため1日も早く人工乾燥材の普及が望まれる。

表 1 - 1 調査企業概要

企業種	製材工場	製品センター
入荷量	素材 6000m ³	製品 2500m ³
入荷先	岐阜86%, 中濃10% 飛騨4% 素材径級 14cm以下 25% 16~22cm 75% 長さ 3m	東濃30%, 県外70% 柱 10% 母屋 5% 長押 10% 天井板 5% タルキ10% その他60%
出荷先	県内 20% 県外 80%	県内 100%
出荷製品	柱85%, 野地板 15%	

表 1 - 2 製材工場段階の製材品性状

項 目	結 果
含水率(%)	AV 97.6(MIN84.3~MAX100以上)
割れ本数	0
曲り	すべて0.2%以下
製品寸法(cm)	12.2×12.2×300
背割り材	20本中2本
品等区分	特1等

表 1 - 3 製品センター段階での製材品性状

項 目	柱 材	母 屋	鴨 居
含水率(%)	AV 37.3 (MIN21.5~MAX76.5)	AV 26.6 (MIN20.3~MAX33.1)	AV 21.0 (MIN9.5~MAX42.0)
割れ発生	A段階 B 9 0 C D 1 0	A段階 B 1 3 C D 3 2	A段階 B 44 10 C D 2 4
製品寸法 (cm)	10.5×10.5×300	10.5×10.5×300	4.5×12.0×300
背割り材	10本中10本	10本中0本	なし
品等区分 (本)	特等 1等 5 5	1等 2等 2 7	4方無節 3方無節 2方無節 5 19 28 3方上小節 2方上小節 6 2
乾燥表示	なし	なし	なし
入荷後日数	50	50	1.5~3.5カ月
調査本数	10	9	60

II 仕上げ含水率状態との関連分析

1 試験目的

種々の含水率に仕上げた製材品の乾燥後の水分の挙動、寸法変化、損傷の状態を追跡調査し、適正で実用的な仕上げ含水率を究明する。

2 試験方法

2.1 試験材

長さ3mの12cm柱材（心持ち、背割りあり）合計29本を人工乾燥（I F型熱気乾燥または除湿乾燥）し、各含水率に仕上げたものを供試材とした。人工乾燥方法及びスケジュールを表2-1に示す。

2.2 仕上げ含水率状態

あらかじめ試験材の両端から採取した小片より初期含水率と全乾重量を推定し、この値をもとに、人工乾燥中に各含水率に達した試験材を順次取り出し保管を開始した。最終的には保管終了時に試験材から小片を採取し、再度正確な全乾重量を求め、保管開始時の含水率を補正し表2-2に示すグループ分けを行った。

2.3 保管場所

保管は当センター製材実験棟内に棧積した。人工乾燥後7日、15日、30日、以後1カ月毎に約1年間測定した。

2.4 測定項目と集計方法

重量、断面寸法、背割り幅、曲り、割れ長さを測定し、仕上げ含水率別に各測定値の平均を算出した。

表2-1 仕上げ含水率のための人工乾燥スケジュール（蒸気式2タイプ、除湿式1タイプ）

含水率（％）	I F型熱気式乾燥（℃）				除湿乾燥（℃）	
	温度	温湿度差	温度	温湿度差	含水率（％）	乾燥温度 関係湿度
生～40	初期蒸煮 3時間				生～70	35 80
	50	4	100	4	～55	40 80
	中間蒸煮 3時間				～45	40 70
40～31	55	7	105	7	～40	40 65
30～21	60	15	105	15	～15	40 60
20～15	65	20	105	20		

表2-2 供試材本数

仕上げ含水率 グループ（％）	50％	45％	40％	35％	30％	25％	20％
供試本数	3	2	3	5	6	6	4

3 結果と考察

3.1 含水率変化

保管中の含水率減少経過を図2-1に示す。どの含水率に仕上げた場合も、保管開始後約60日までに急激に重量が減少し、その後は、緩やかになっている。最低仕上げ含水率の20%グループは、保管開始後60日と早く平衡に達している。その他のグループは90~210日後に平衡に達している。

材内部の含水率分布を把握するために、図2-2に示す試片を、人工乾燥後と保管終了時に採取した。これによる材内含水率分布結果を図2-3に示す。45, 35%グループの製材品では、中心部に80%以上、30%グループでは70%以上の含水率の部分が見られる。25%グループでは、中心部が50%以上、表層部が、15%以下となっている。

3.2 収縮率

人工乾燥後、保管終了時の形状変化を表2-3に示す。含水率を45%以上に仕上げた材は、保管中にさらに2%以上の収縮率が起きたのに対して、25%以下のものは1%以下の収縮となり、より低含水率に仕上げた材ほど保管中の寸法収縮が小さい。

図2-5に人工乾燥後と保管終了時の仕上げ含水率ごとの収縮率変化を示す。20%仕上げの一部の材に高温乾燥の影響と思われる高収縮が見られるが、全体的には仕上げ含水率にかかわらず平衡含水率までの収縮率は約3%と考えられる。例えば、人工乾燥で1%収縮した場合、保管中2%収縮し、人工乾燥で2%収縮すれば、保管中1%の収縮が発生する。

3.3 背割り幅

人工乾燥後と保管後の背割り幅比を表2-3に示す。含水率との比較において、45%以上に仕上げた製材品は、保管中背割り幅比がさらに2以上になっているのに対し、30%以下では保管中の背割り幅比はほぼ1となる。

人工乾燥後と保管後の背割り幅の開き量を仕上げ含水率ごとに図2-6に示す。含水率45~35%グループでは右上がりのグラフとなり保管中にさらに開いていることを示しているが、30%グループでは保管中においては変化しないことを示している。さらに25%以下のグループでは逆に狭くなっている個体も生じている。これらの結果から、保管中の背割り幅を開けないためには30%の仕上げで十分であると考えられる。

また、仕上げ含水率にかかわらず、人工乾燥による背割り幅の開き量が6mm以上である場合、おおむね保管中にさらに背割り幅の開きは増加しないと思われる。

3.4 曲り

仕上げ含水率の違いによる、保管中の曲り量は、一定の傾向はみられない。すべての製材品は構造用JASの1級(0.2%以下)に相当している。

3.5 割れ

人工乾燥後、保管終了時の割れを表2-4について示す。

人工乾燥時に割れが発生し、かつ、低い含水率ほど多くなっているが、保管中は木口、材面割れの両方とも長さ個数が減少(肉眼で確認できない)している。

3.6 最適仕上げ含水率について

収縮は、繊維飽和点から平衡含水率まで、含水率減少量に応じ同比率で生じるため、保管中の収縮変化を最小限におさえるには仕上げ含水率を平衡含水率に近づけることが最も良い方法である。一方背割り幅は、30%仕上げで保管中の背割り幅のさらなる開きは生じないといえる。最適仕上げ含水率とは、どのような寸法変化を重視するかによって決めるものであり、背割り幅の開きのみを重視すれば30%の仕上げでよいことになり、乾燥後の収縮を1%以下にしようとするれば25%以下の仕上げをしなければならない。

また、人工乾燥後の木材の形状変化度合からも、保管後の変化もある程度推定できる、たとえば、

収縮率3%から人工乾燥後による収縮率を引いた値が、保管中に発生する収縮率とみることができる(図2-7)。また、背割り幅では、背割り鋸幅4mmの2.5倍、背割り幅が10mmに達した材であれば、保管中は変化しないことが認められる(図2-8)。

木材の形状変化から乾燥程度を計る方法として、後述する含水率計による方法が現場では通常であるが、収縮率の程度や背割りの開きを測定することにより、保管後の形状変化を推定でき、さらに含水率をも推定できる可能性がある。

今回の試験では、乾燥方法や乾燥スケジュールによる違いが仕上げ後の材の形状変化を与えないものとし解析をしている。また、背割り幅の挙動は人工乾燥後の含水率傾斜との関係が深く影響していると思われ、今後これら仕上げ方法の影響についてさらに詳しく追求する必要がある。

3.7 高周波含水率計について

高周波含水率計では表層部の含水率の影響を大きく受ける⁷⁾ため、今回のような含水率傾斜のある製材品では正確な含水率を把握することは困難と考えられる。そこで図2-4に示すような30%台に仕上げた製品を矢印方向から高周波含水率計(デッカー5)で測定した場合17%を示し、実際の含水率より10%以上低い値を示していた。このような含水率傾斜のあるスギ材を含水率計で測定する場合、全乾法の含水率との差を常に念頭におかなければならない。また、含水率計の使用を前提とした基準作りの再検討もスギ材の場合特に必要と考える。

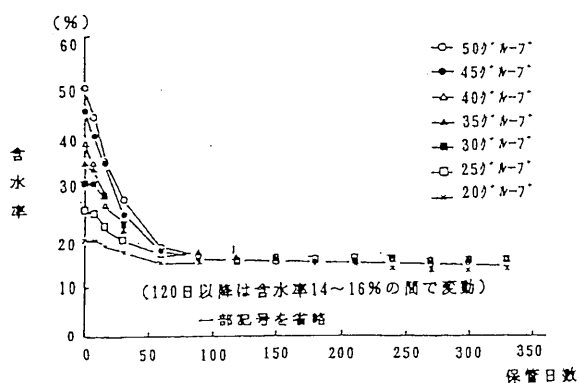


図2-1 保管中の含水率減少経過

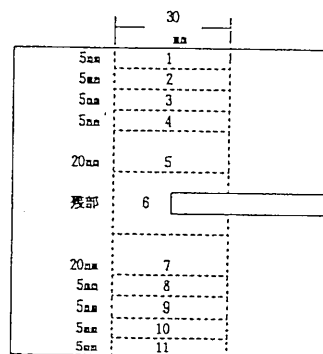


図2-2 含水率分布割法(木口面)

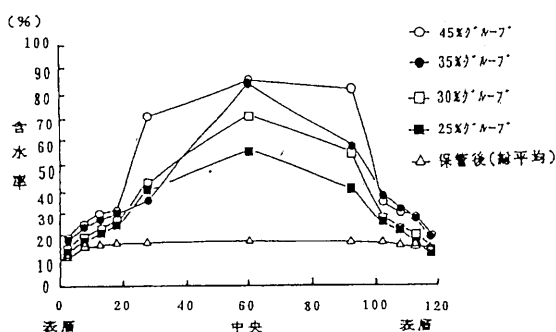


図2-3 材内含水率分布

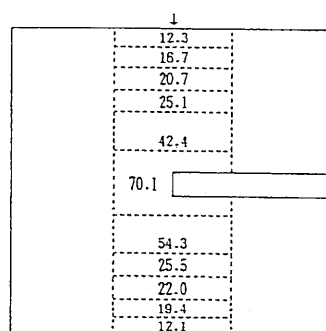


図2-4 含水率分布状態(30%台に仕上げた場合、3本の平均値)

表 2-3 製材品の形状変化

仕上げ材 含水率	収縮率 (%)		背割り (比)		曲り (%)			供試 本数
	人乾後	保管後	人乾後	保管後	製材後	人乾後	保管後	
50%グ ル-フ°	0.49	2.25	1.49	1.91	0.06	0.08	0.15	3
45%グ ル-フ°	0.33	2.10	1.36	1.96	0.09	0.09	0.07	2
40%グ ル-フ°	1.02	1.75	1.98	1.21	0.06	0.09	0.15	3
35%グ ル-フ°	1.02	1.78	2.26	1.64	0.07	0.10	0.16	5
30%グ ル-フ°	1.38	1.31	2.86	1.05	0.08	0.14	0.14	6
25%グ ル-フ°	1.62	0.90	3.13	1.02	0.08	0.11	0.10	6
20%グ ル-フ°	2.18	0.90	3.14	0.94	0.07	0.12	0.19	4

注) 収縮率、背割り：人乾後の数値は製材後から人乾終了時までの変化量
保管後の数値は、人工乾燥後から保管終了時までの変化量
曲り：数値は全て、製材後からの変化量

表 2-4 製材品の割れ (長さの単位はmm)

仕 上 げ 含 水 率	人 工 乾 燥 後				保 管 後				供 試 本 数
	木 口	個 数	材 面	個 数	木 口	個 数	材 面	個 数	
50%グ ル-フ°	176	1	546	3	83	2	286	2	3
45%グ ル-フ°	84	1	448	3	593	2	790	1	2
40%グ ル-フ°	24	1	37	1	36	2	0	0	3
35%グ ル-フ°	426	2	940	10	247	3	319	3	5
30%グ ル-フ°	1398	2	737	9	1419	2	657	5	6
25%グ ル-フ°	805	3	1804	14	490	3	532	2	6
20%グ ル-フ°	282	2	2121	6	270	9	1063	3	4

注) 数値はすべて、製材後からの変化量

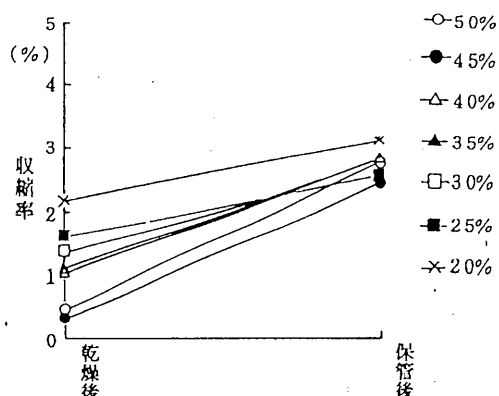


図 2-7 人工乾燥後と保管後の収縮率 (平均)

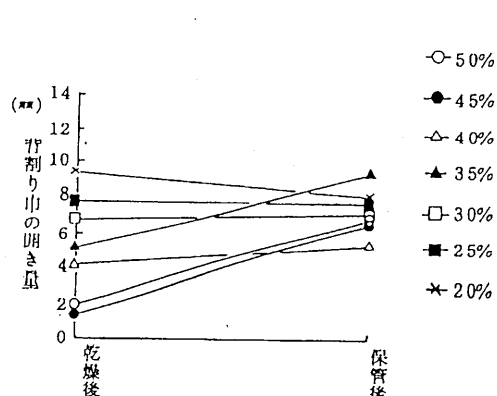


図 2-8 人工乾燥後と保管後の背割り開き量 (平均)

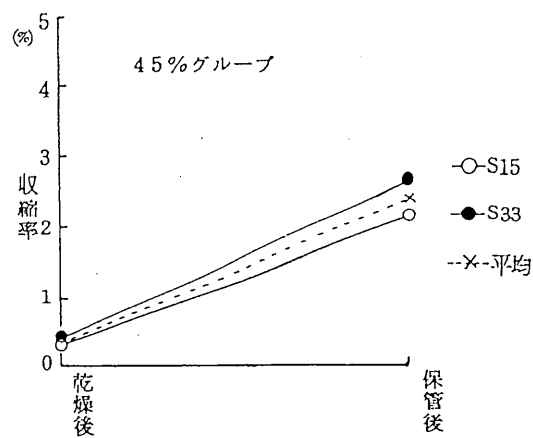
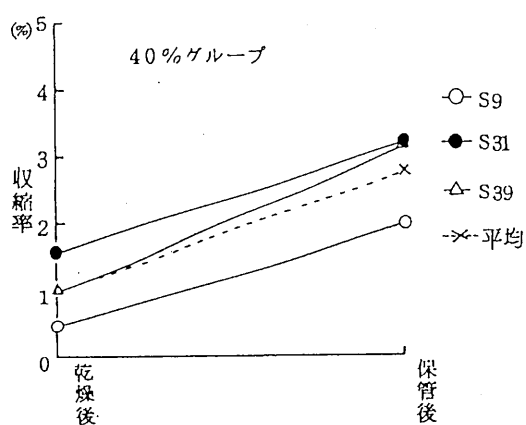
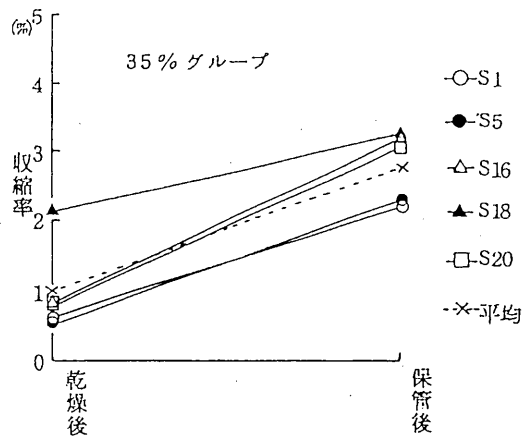
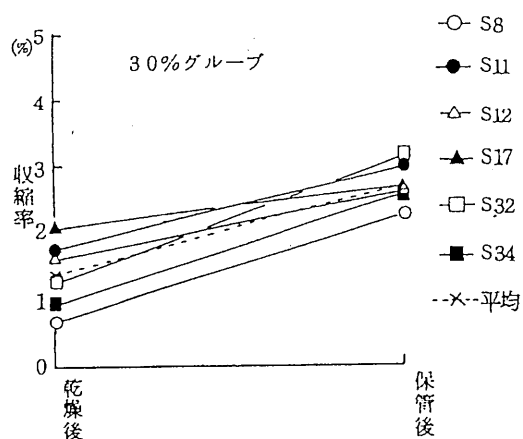
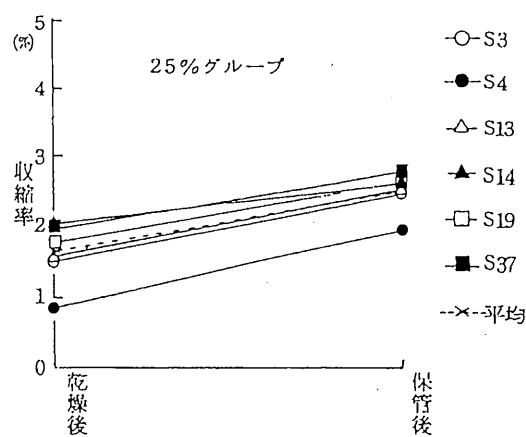
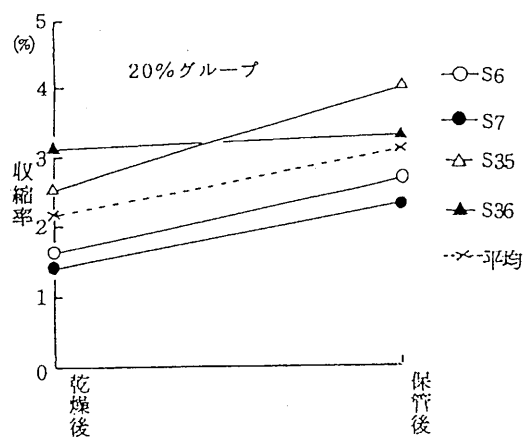


図2-5 人工乾燥後と保管後の収縮率

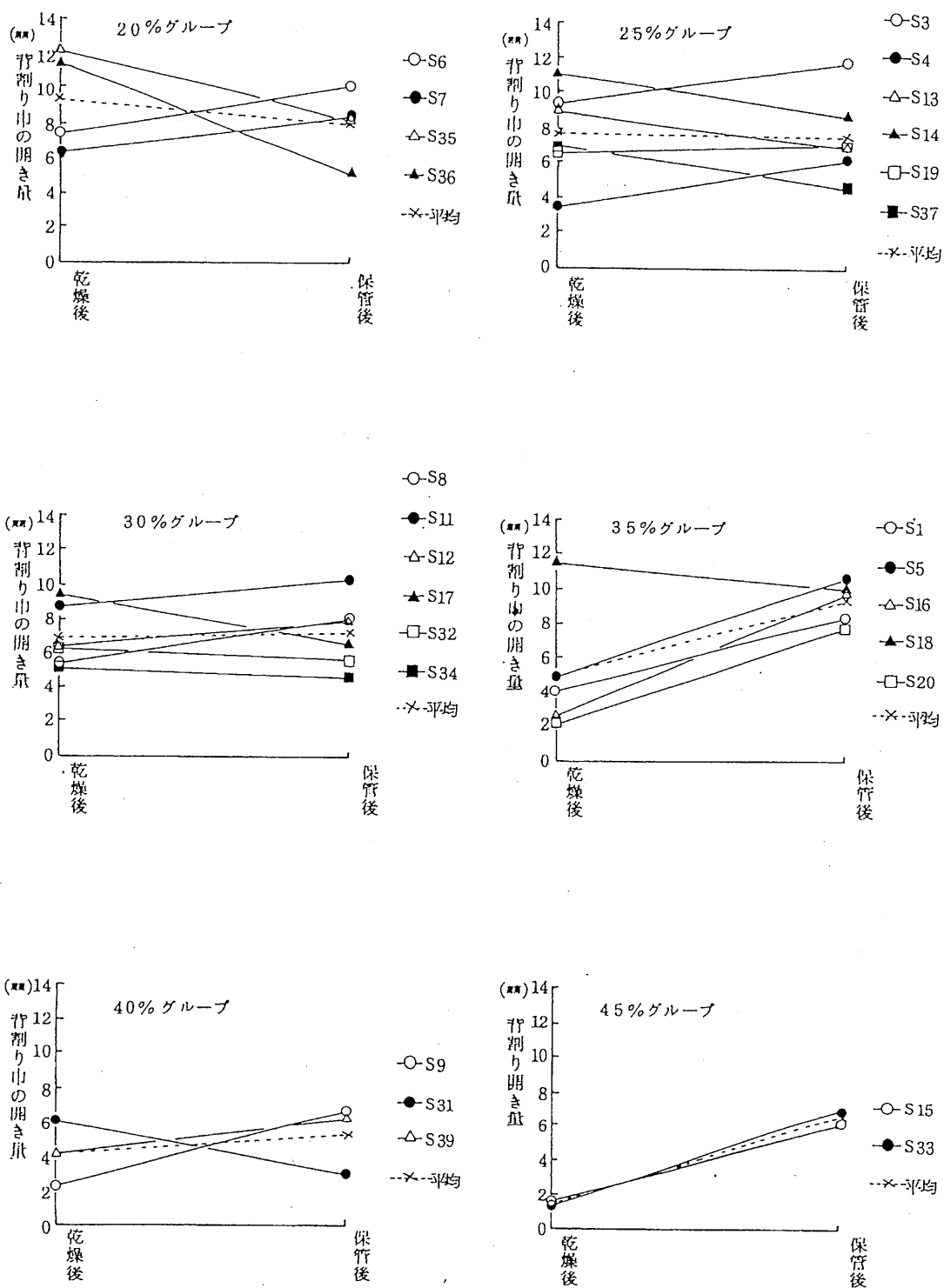


図2-6 人工乾燥後と保管後の背割り巾の開き量

Ⅲ. 葉枯らし処理の効果

1 試験目的

葉枯らし処理による効果を明らかにするため、季節による乾燥効果の違い、材色及び製材品への影響、特に人工乾燥前処理としての効果について検討を行った。

2 試験方法

2.1 葉枯らし処理方法

試験地及び供試木の概要を表3-1に示す。試験は、間伐で3地域5回、皆伐で1地域1回行った。伐倒方向による影響は少ない⁹⁾と報告されているため、特に規定しない。枝葉は全て残したままとし、葉先が枯れるまでを処理期間とした。時期は春夏秋冬について行った。

2.2 葉枯らしの効果測定

2.2.1 含水率の測定

供試木10個体中5個体をコントロール材とし、その林分の初期含水率とした。残り5個体について葉枯らし処理を行い、処理終了時に円板を採取した。以下これを円板含水率とする。また、部位別の含水率減少を把握するためにコントロール材、葉枯らし材共に心材、辺材に分けた試片も同時に採取した。含水率測定は全て全乾法で行った。円板の採取位置及び含水率測定方法を図3-1に示す。

なお、事例N0.6においては、葉枯らし期間と乾燥経過を明らかにするため、供試木を15個体とし、伐倒後8日目に3個体、22日目に3個体、38日目に3個体取り出し、途中の含水率を測定した。

2.2.2 材色の測定

含水率測定時に葉枯らし材とコントロール材から円板（厚さ5cm）を採取し、直射日光の当たらない室内で気乾状態まで乾燥し、測色直前にサンドペーパー（＃150）で研磨した。色の測定には、色差計（ミノルタ色差計）を用い、心材柃目面2点についてφ50mmの部分で測色した。

なお、測定に用いたスギは、単一クローンで品種（日出雲スギ）が明らかな林分から得られたものである。

2.2.3 製材品の品質調査

葉枯らし材とコントロール材を10.5cm角心持ち柱材に製材し、曲り、割れ、青変菌の侵入、虫害の状況を比較調査した。

2.2.4 製材品の人工乾燥、天然乾燥

製材品の品質調査を行った後、乾燥試験を実施した。

人工乾燥は、当センターのI F型熱気式乾燥室を用いて葉枯らし材とコントロール材を同一スケジュールにより乾燥した。乾燥スケジュールは表3-2に示す4種類とし、目標含水率を15%とした。ボイラーの運転は1日約12時間の間欠運転とし、乾燥時間はボイラーの稼動時間を実質乾燥時間として算出した。

天然乾燥については、当センター製材棟内で平成2年5月～平成3年4月の間、棧積み状態で約1年間乾燥を行った。

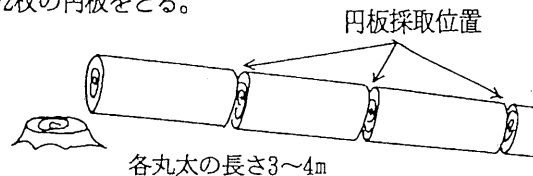
両乾燥方法とも重量減少、寸法変化、曲り、背割り幅、割れについて測定した。

表 3 - 1 試験期間および林分概況

事例NO	場 所	試 験 期 間	季 節	処理方法、林分
1	美濃市	S63. 9. 20 ~ H1. 2. 9 142日間	秋~冬	間伐 1900本/ha 26年生 標高230m
2	明宝村	H1. 6. 6 ~ 9. 26 92日間	夏~秋	間伐 5000本/ha 25年生 標高910m
3	"	H1. 9. 26 ~ H2. 4. 17 203日間	秋~冬	間伐 5000本/ha 26年生 標高910m
4	荘川村	H2. 2. 21 ~ 4. 16 52日間	冬~春	皆伐 65年生 標高710m
5	武儀町	H3. 2. 19 ~ 4. 23 63日間	冬~春	間伐 30年生
6	"	H3. 8. 26 ~ 11. 21 87日間	夏~秋	間伐 30年生

注) 春(3~5月)、夏(9~11月)、冬(12月~2月)とした

- ・各丸太の末口側から、含水率試験片として厚さ3~4cm、材色試験片として厚さ5~6cmの2枚の円板をとる。



- ・チェーンソー等で、採取した円板は、ただちに1枚ずつビニール袋にいれる
- ・円板は図のように割り、辺材、心材別に全乾法で含水率を算出する

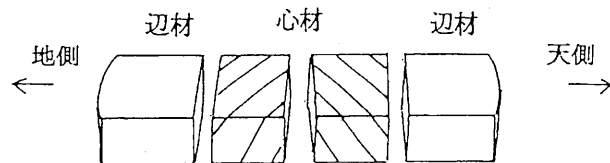


図 3 - 1 円板の採取位置、含水率の測定方法

表 3 - 2 人工乾燥スケジュール(蒸気式4タイプ)

(蒸気式4タイプ)

含水率(%)	Type 1		Type 2		Type 3		含水率(%)	Type 4	
	温度 (℃)	温湿度差 (℃)	温度 (℃)	温湿度差 (℃)	温度 (℃)	温湿度差 (℃)		温度 (℃)	温湿度差 (℃)
生~40	初期蒸煮 3時間						生~61	初期蒸煮 3時間	
	50	4	90	4	100	4		70	4
40~31	中間蒸煮 3時間						60~51	中間蒸煮 3時間	
	55	7	95	7	105	7		70	6
30~21	60	15	95	15	105	15	50~41	75	8
20~15	65	20	95	20	110	20	40~31	75	10
							30~21	75	15
							20~15	75	20

3 結果と考察

3.1 葉枯らしによる含水率の減少量

表3-3に各事例による含水率の減少量を示し、図3-2に円板含水率の減少経過を示す。

円板採取による含水率測定の結果、含水率の減少量は36～93%であり、1日当たりでは0.46～1.08%の減少であった。また、葉枯らしの途中経過を知るたのNO.6の事例についてみると、全期間(87日間)の含水率減少量は53%であり、40日経過時点で46%減少しており、葉枯らしの初期の段階で急激に含水率が減少していた。

季節による違いは、間伐では夏季に実施した事例の1日当たりの含水率減少量が他の季節に比べ大きい。

伐採方法別では、間伐が1日当たり0.46～0.61%であったのに比べ、皆伐では、冬から春に実施したにも関わらず1.08%と乾燥速度は一番大きかった。

部位別による含水率減少速度を図3-3に示す。辺材部に関しては全ての季節において減少量は極めて大きいものの、心材部の含水率はほとんど低下しないか、低下しても辺材の減少量には及ばない。

含水率の変化を全乾比重を0.34g/cm³とし⁷⁾、1m³当たりの重量(kg/m³)に換算すると、長期間葉枯らしを行った事例(No3)を除くと、1.5から3ヵ月の葉枯らしで14～22%の重量が減少していると推定される。

樹高方向による含水率の減少量を図3-4に示したが、高さ方向別における含水率減少については、明瞭な傾向がみられない。

これらの結果から葉枯らし処理は早期の時点で、辺材部の高含水率域部の水分を主体に乾燥し、次第に心材の乾燥へ移行がみられ、90日で約50%、気乾含水率15%までの約1/3を葉枯らしで乾燥できることになる。

表 3 - 3 葉枯らしによる含水率減少量

事例 NO	円板含水率 (%)	減少量/1日 (%)	部 位 別 (%)		1m ³ 当たり 重量 (Kg)	重量減少率 (%)
			辺材	心材		
1	72	0.51	112	42	245	26
	182 → 110	(間伐)	217→105	107→65	959→714	
2	53	0.58	120	10	181	22
	144 → 91	(間伐)	201→ 81	71→61	830→649	
3	93	0.46	127	22	316	38
	146 → 53	(間伐)	183→ 56	64→42	836→520	
4	56	1.08	103	31	190	20
	176 → 120	(皆伐)	247→144	124→93	938→748	
5	36	0.57	89	-15	123	14
	164 → 128	(間伐)	240→151	84→99	898→775	
6	53	0.61	77	57	180	20
	167 → 114	(間伐)	212→135	144→87	908→728	

注) コントロール材→葉枯らし処理材、上段の数値は減少量

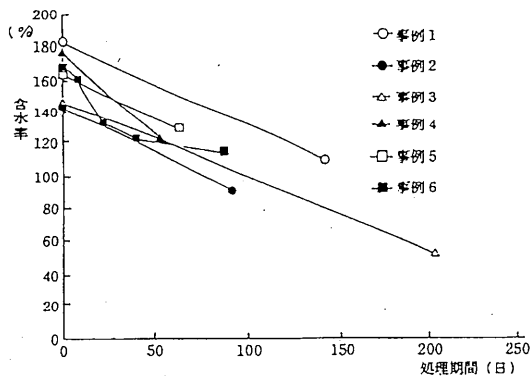


図 3 - 2 葉枯らしによる含水率減少経過

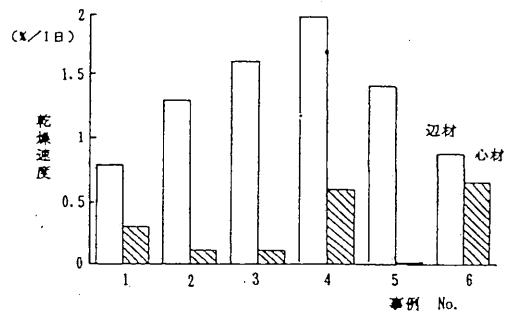


図 3 - 3 部位別の含水率減少速度

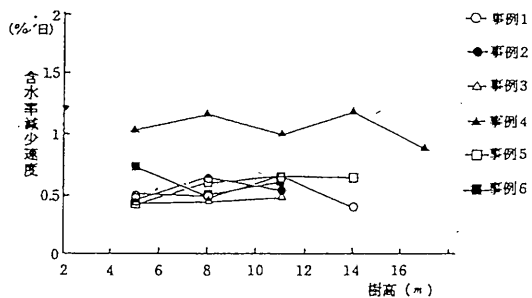


図 3 - 4 樹高別含水率減少速度

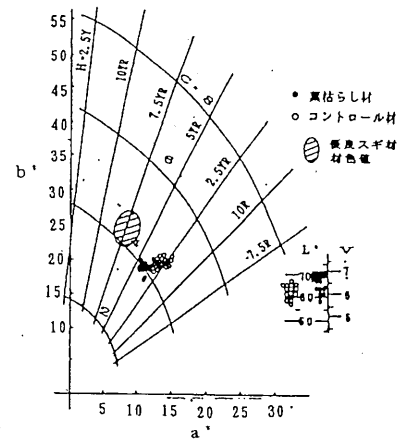


図 3 - 5 葉枯らしによる材色変化 (夏期)

3.2 材色変化について

事例No2に実施した葉枯らしによる材色変化を図3-5に示す。現在、色を数量的に表示する視覚を基にして記号で表すマンセル表色系による方法と、立体的な色空間の中で座標で表す $L^*a^*b^*$ 表色系による方法がある。今回は、両者の測定値を簡易に比較できる材色値の判定チャート¹⁰⁾を使用し、図上に葉枯らし材とコントロール材の材色値をプロットした。

図3-5の扇がたはマンセル表色系を示し、YRとRは色相、Vは明度、Cは彩度を示す。また $L^*a^*b^*$ 表色系では、 L^* 値が大きくなるほど明るさの増大を、 a^* 値が大きくなるほど赤味の増大を、 b^* 値が大きくなるほど黄味の増大を示している。

葉枯らし材のマンセル表色系による表示では、色相がコントロール材の3.4YRに対し4.5YR付近へと移行が認められる。一方 $L^*a^*b^*$ による表示ではコントロール材に対して、明度 L^* 値が平均で3.34増加し、 a^* 値が2.63減少、 b^* 値が1.26減少し、色差 ΔE^*ab は、4.43となった。これらの結果から、葉枯らし処理により、心材色の明るさの増大と、赤味の減少が認められ、黒心に顕著にみられる「赤黒さ」のぬけが認められた。材色変化の方向性としては、優良材色といわれるスギ材(秋田スギ、吉野スギ)の色相といわれている6.8YRから6.9YR彩度 $C=4.5^{11)}$ へと近づいていると言える。また、材色の分布の広がりがコントロール材に比べ葉枯らし材は、分布の範囲が狭くなり、色のバラツキが少なくなっている。

3.3 製材品の性状

製材直後の製材品の曲り、割れ、虫害について表3-4に示す。

曲りは5事例中4事例において、葉枯らし処理材がコントロール材に比べ0.01～0.05%大きい値を示した。このうち葉枯らしにより円板含水率の低い事例ほどコントロール材との差が大きくなっていた。

木口割れについては、NO3の事例を除き、1本当たり総延長26～73mmとほとんど問題にならない小さい割れであったが、NO3事例は、856mmと大きかった。これは、葉枯らし期間が長く、含水率が53%と低くなっているためと考えられる。

虫害については、NO2の事例でほとんどの材にφ1mm程度のピンホールが発生している。この食痕から主にハンノキキクイムシと推定された。ハンノキキクイムシは、主に6月以降に発生するため、その被害は6月～9月の実施時に多く発生したものと考えられる。

表3-4 製材直後の製材品の性状

事例 NO	曲り (%)		木口割れ (mm)		材面割れ (mm)		虫害 (本)	
	葉枯らし	コントロール	葉枯らし	コントロール	葉枯らし	コントロール	葉枯らし	コントロール
1	0.09	0.14	26	0	0	0	0	0
2	0.11	0.06	29	0	0	0	15本中11本	0
3	0.13	0.08	856	0	62	0	15本中2本	0
4	0.12	0.11	27	35	12	0	10本中1本	10本中1本
5	0.12	0.09	73	173	35	319	0	0

注) 割れは1本当たり総延長長さ

3.4 乾燥試験

3.4.1 人工乾燥

今回の乾燥スケジュールによる含水率経過を図3-6～9に示す。全てのタイプともスギ柱材の乾燥に有利と言われている蒸煮を加え、温度別に乾燥を行った。蒸煮については、初期と中間に2回3時間行い、温度は、初期温度を50、70、90、100℃としたが、Type3の実施では実際に末期温度110℃に達していなかった。これらの結果、乾燥スケジュールの違いを問わず、全てのタイプのスケジュールにおいて葉枯らし処理材の方が、算出した実質の乾燥時間で17～33時間少なく、葉枯らしの効果が認められる。

表3-5に人工乾燥による性状比較を示す。収縮率、背割り比ともコントロール材に比べ葉枯らし処理材の方が少ない。曲りについては、葉枯らし処理材は、コントロール材に比べ製材直後の製材品について曲りが大きかったものの、人工乾燥後は、コントロール材との差が小さくなっている。割れについては、特に材面割れで、葉枯らし処理材の方が多く発生している。

3.4.2 天然乾燥

製材品の性状を表3-6に、含水率減少経過については図3-10に示す。天然乾燥の開始時期を同時にするためコントロール材を玉切りした状態で約2カ月放置しておいたにもかかわらず、葉枯らし処理した製材品は、製材後約150日、コントロール材は約210日で平衡状態になり、平衡状態までの期間が葉枯らし処理することにより短縮されている。割れについては、葉枯らし処理材の方が1本当たり長さが短い割れであった。なお、天然乾燥期間は平成2年5月～3年4月である。

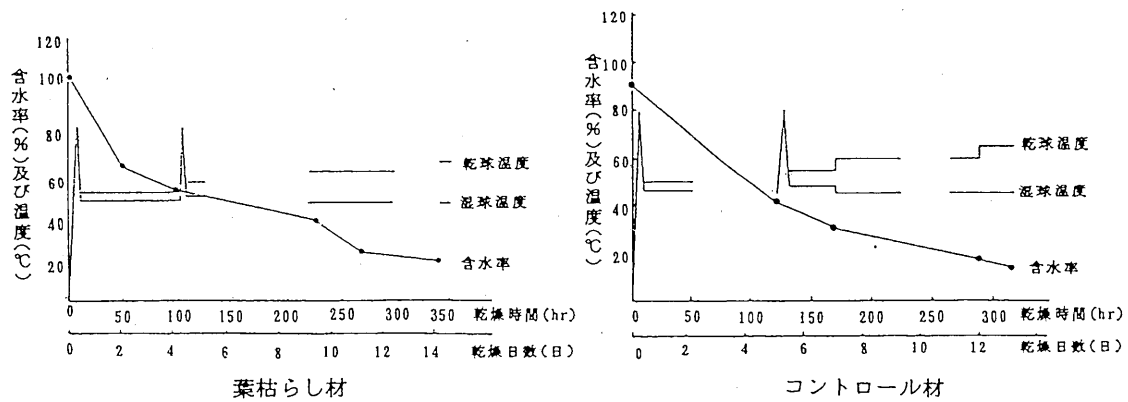


図3-6 人工乾燥比較 (Type 1)

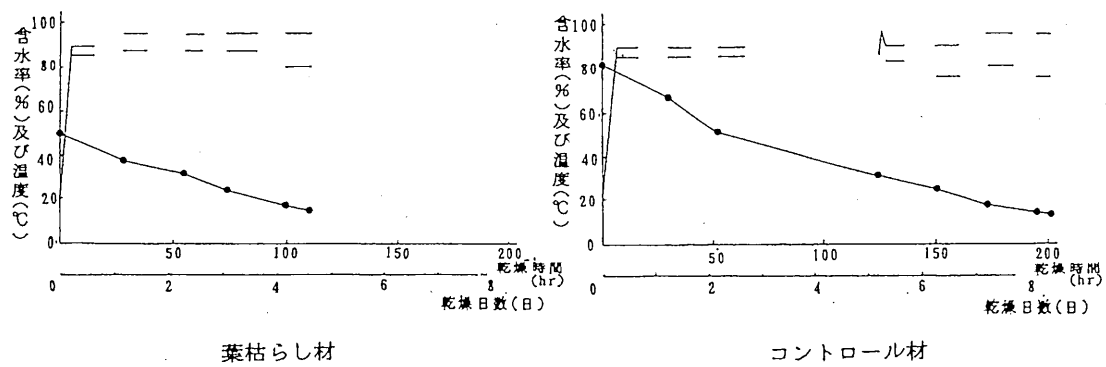


図3-7 人工乾燥比較 (Type 2)

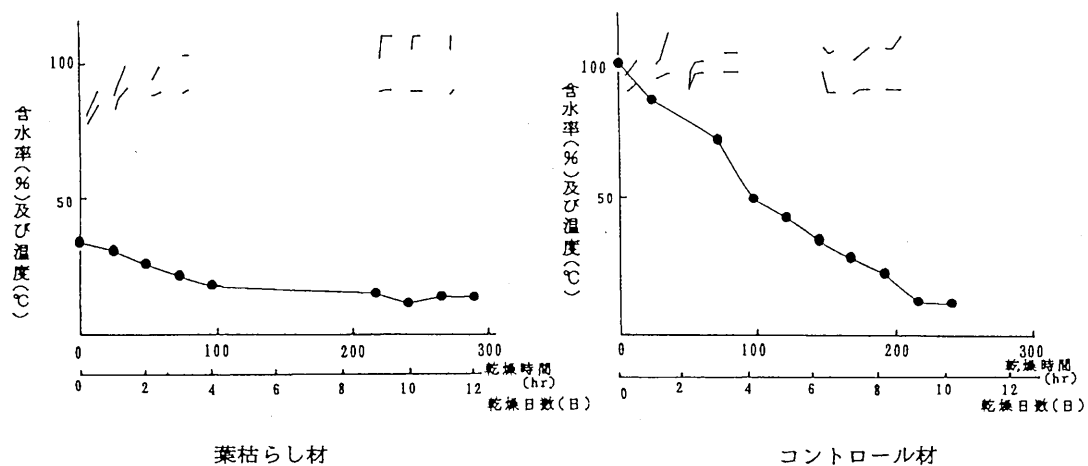


図3-8 人工乾燥比較 (Type 3)

表 3 - 5 人工乾燥後の性状比較

スケジュール	含水率 (%)	実質乾燥 時間(hr)	収縮率 (%)	背割り比	曲り (%)	割れ長さ (mm)		使用 供試材
						木口	材面	
Type1	90.3→18.7 (106.1→17.7)	171 (204)	2.71 (3.02)	2.88 (3.58)	0.09→0.14 (0.14→0.16)	129 (72)	753 (373)	事例 NO1
Type2	67.5→21.9 (96.6→13.4)	73 (98)	2.93 (3.56)	4.34 (4.65)	0.11→0.11 (0.06→0.08)	135 (68)	329 (151)	事例 NO2
Type3	39.4→13.5 (96.3→12.2)	83 (100)	3.07 (4.39)	3.57 (5.47)	0.12→0.10 (0.08→0.12)	18 (92)	443 (216)	事例 NO3
Type4	95.1→29.0	101	2.22	4.33	0.11	120	115	事例NO6

注) カッコ内はコントロール材

割れ長さは、増加分、1本当たりの総延長

乾燥前→乾燥後

表 3 - 6 天然乾燥後の性状比較

区 分	含水率 (%)	収縮率 (%)	背割り比	曲り (%)	割れ長さ (mm)				使用 供試材
					木口	個数	材面	個数	
葉枯らし	85.4→17.0	2.00	2.75	0.12→0.11	485	4	1040	13	事例
コントロール	113.8→20.0	1.44	2.41	0.11→0.12	1268	3	1202	10	NO4

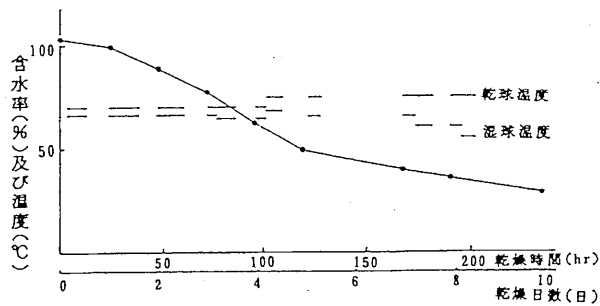


図 3 - 9 乾 燥 経 過
(葉枯らし材、Type 4)

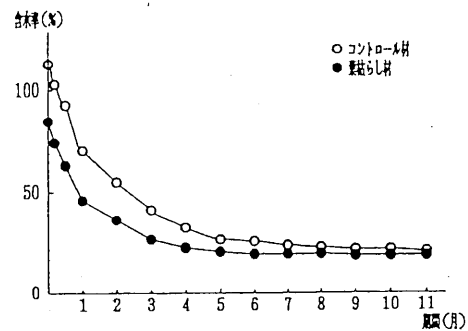


図 3 - 10 天然乾燥による含水率
の変化 (重量から換算)

3.5 葉枯らしについて

スギ材の葉枯らしによる効果を検討し、それらをまとめると次のとおりである。

(丸太への効果)

・葉枯らしによる乾燥効果は、36～93%の含水率低下がみられた。部位別では、ほとんどが辺材部の含水率低下によるものである。間伐方式では1日当たり0.46～0.61%減少、皆伐方式では1.08%と皆伐方式の方が効果が大きい。また、含水率の減少量を重量に換算すると、1m³当たり1.5～3ヵ月の処理期間で14～22%減少することになる。

・材色については、心材部で、明るさが増し赤黒さが抜け、色のバラツキが少なくなる。

・処理時期は、6月～8月に実施した場合が、含水率低下に対して最も効果が認められるが、ハンノキキクイムシを主とする穿孔虫による加害も多く認められた。しかも、ハンノキキクイムシ以外の穿孔虫の被害は4月～6月に多発するという報告があるので、葉枯らしの実施は、これら穿孔虫の活動期を避けた8月以降が有効と考えられる。

・処理期間については葉枯らしの初期(約40日)の段階で急激に含水率が減少し、60日以降では含水率減少は緩やかになっている。このため、乾燥効果を重視するのであれば40～60日が適当である。なお長期間の葉枯らしは製材品にした時、木口割れが発生する場合がある。

(製材品への効果)

・人工乾燥に対する葉枯らしの効果は、乾燥時間が17～33時間(実質)短縮し、また収縮率、背割り幅の変化の減少も見られる。ただし割れについては人工乾燥前からの割れ発生と関連し、逆に葉枯らし材の方が多い結果となった。

・天然乾燥に対する葉枯らしの効果は、気乾状態までの時間の短縮に見られる。性状の変化量については明確な効果は認められなかった。

IV スギ辺材ステークによる耐朽性試験

1 試験目的

木造住宅の耐用年数の推定を目的とし、標準材としてスギ辺材を用い、屋外暴露により耐朽性試験を行った。なお、この試験は全国23カ所で同時実施されており、全国劣化マップ作成用耐久試験の一部である。

2 試験方法

2.1 供試材及び暴露条件

スギ辺材(吉野産)のステーク(3×3×60cm, 二方粧)11本を、屋外水平暴露台に設置した(当場内)設置方向は、暴露台の南北辺の方位差は2°以内、暴露台の高さは75cmとした。

供試材を暴露台上(5cm厚板)に重ならないようにならべ、昭和63年11月16日に暴露を開始した。

試験実施中(1988～1992年)の気象を、近隣の地域気象観測所(美濃市前野中川原)の気象データ¹⁴⁾をもとに表4-1にまとめた。試験期間中は冬は概ね暖冬傾向であり、夏は1990年に異常高温が目立った。台風上陸は例年に比べ多い年(本州上陸6個)であった¹⁵⁾。このような気象状況は、気象による劣化環境としては厳しいものと思われる。

2.2 測定項目及び調査時期

2.2.1 被害度

木材表面の肉眼的観察は表4-2に示す評価法¹⁾を用いて、0～5段階の6段階に分類し評価した。なお、その段階評価の間には0.5刻みのグレードをつけた。

2.2.2 重量測定（含水率、容積重）

測定時毎に、重量、中央部寸法を測定した。含水率は、設置前の試片調湿により推定した全乾重と測定時重量とを用い計算した。

2.2.3 曲げヤング率

スパン42cm、中央集中荷重2、2.5、5、7.5、10kgfの荷重を加え、その変位をダイヤルゲージ(0.01mm)で測定した。荷重面は、暴露上面(A)及び側面(B)の2面とした。

2.2.4 調査時期

暴露開始後、1、1.5、2、2.5、3、4年後に行った。以後暴露試験は継続している。

3 結果と考察

3.1 被害度

表4-3に被害度の経時変化を示す。暴露開始後2.5年後から、被害度に変化がみられすべての供試材の被害度が1.0になった。3年後には被害度が3になった供試材が11本中2本見られた。4年経過時には、平均被害度が1.9である。

3.2 容積重の変動

気乾容積重の変動量の経時変化年数を図4-1に示す。暴露開始後2.5年以降明らかに全体の容積重の低下がみられた。とくに、腐朽の激しい2本の試験片については、容積重が3年目に暴露開始時に比べ、 $0.34 \rightarrow 0.28$ 、 $0.44 \rightarrow 0.40 \text{ g/cm}^3$ にそれぞれ $0.06 \sim 0.04 \text{ g/cm}^3$ 低下していた。

これらの傾向から、被害度に変化のあった2.5年目以降から、容積重の変動が減少傾向になっており、容積重の減少を腐朽の判定に用いることができると推測される。

3.3 ヤング係数

表4-4にヤング係数の経年変化を示す。測定時のヤング係数の変動が大きく、ヤング係数による劣化の傾向は読みとりにくい。暴露4年後、被害度3の供試材は、ヤング係数が 53.1 から 20.5 ton/cm^2 に激減した。荷重面A、B面の差によるヤング係数の違いは、明確でない。

3.4 ステーク劣化について

暴露2.5年時点で耐用年数（被害度が2.5以上¹⁾²⁾に達したと思われるのは2本見られた。その他については、暴露上面において目捜せや木口割れがみられるものの被害度は2.0以下である。平均被害度は1.9であるため、今回の環境下での暴露では耐用年数の範囲であると判定した。

本報の被害経過及び耐用年数は、野外の地中に杭をたてる試験に比べて、土に直接ふれないため当然耐用年数が長くなっている。スギ心材については土にふれない場合18年以上の耐用年数が保持されるという報告²⁾もあり、今回行っているスギ辺材についてはさらに継続した暴露試験が必要である。

表4-1 月別平均気象値
(1988.11~1992.10)

月	気温 (°C)			降水量 (mm)	日照時間 (hr)
	月平均	最高	最低		
1	3.8	8.6	0.0	93	137.7
2	4.6	9.7	0.3	156	130.4
3	8.3	13.7	3.4	151	169.0
4	13.4	19.5	7.8	205	176.8
5	16.9	22.2	12.0	202	158.4
6	21.5	26.5	17.5	313	115.7
7	25.2	30.1	21.2	294	128.9
8	26.2	31.6	22.3	217	159.5
9	23.0	27.9	19.3	301	143.7
10	16.5	21.8	12.7	157	140.2
11	10.5	16.1	6.3	142	146.3
12	5.4	10.8	1.4	60	145.1

注) 最高、最低は、日最高、日最低の月平均

表4-2 被害度判定

被害度	被害状態
0	健全
1	部分的に軽度の腐朽
2	全面的に軽度の腐朽
3	2の状態の上部分的に激しい腐朽
4	全面的に激しい腐朽
5	腐朽により形が崩れる

表4-3 被害度の経年変化

暴露期間	0年	1年	1.5年	2年	2.5年	3年	4年
平均	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.8	1.9
最大	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	3.0
最小	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.5

注) 数値は11本の平均値

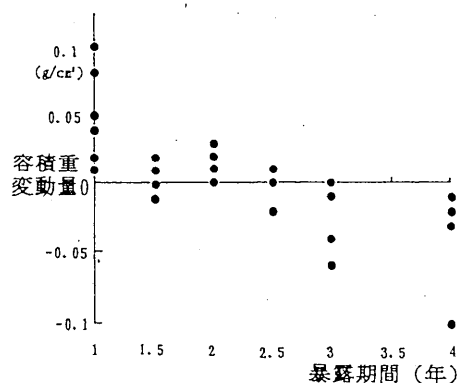


図4-1 容積重と暴露期間

表4-4 ヤング係数の経年変化

暴露期間 ヤング係数	0年		1年		1.5年		2年		2.5年		3年		4年	
	A面	B面	A面	B面	A面	B面	A面	B面	A面	B面	A面	B面	A面	B面
ton/cm²	60.6	62.7	50.4	52.3	74.5	74.7	71.7	61.7	55.3	57.5	61.6	68.7	48.9	45.8
平均	61.7		51.4		74.6		66.7		56.4		65.2		47.4	
最大	76.3	83.0	64.5	96.1	166.7	152.8	99.7	89.9	75.8	90.4	73.5	102.1	69.3	64.7
最小	39.4	43.9	26.8	42.5	42.5	48.7	46.7	39.1	41.4	40.7	36.8	46.2	18.4	22.5

注) 数値は11本の平均値

ま と め

以上スギ材の付加価値向上のため多面的に調査研究を行ってきたが、各章の結果をまとめると次のようである。

I 製材品の実態調査について

- 1) 製材工場においては、素材の入荷は県内から賄っているものの、製材品とくに柱材の出荷先はほとんど県外である。含水率管理はされず、生材のまま出荷されている。歩増しは12cm角で2mmで、夏期においては、防かび剤を噴霧し汚染対策をとっている。
- 2) 製品センターでは、柱材は人工乾燥されている製品がほとんどなく、このため含水率のばらつきが大きい。鴨居は平均含水率が21%と低いが、割れが材長の10%以上のものが調査した製品中1割見られた。

今回調査した結果県内においてスギの乾燥材の流通はほとんどされていない状況にある。今後スギ材に対する関係業界の取り組みによる人工乾燥材の普及が望まれる。

II 仕上げ含水率状態との関連分析

- 1) 20%に仕上げた材は、保管開始60日後に平衡含水率に達している。
- 2) 収縮率は、全体的に仕上げ含水率にかかわらず平衡含水率まで約3%と考えられる。人工乾燥で1%収縮した場合、保管中2%収縮し、人工乾燥で2%収縮すれば、保管中1%の収縮が発生する。
- 3) 背割り幅は、30%以下に仕上げた材は保管中の広がりかほとんどみられない。
- 4) 最適仕上げ含水率とは、どのような寸法変化を重視するかによって決めるものであり、背割り幅の開きのみを重視すれば30%の仕上げでよいことになり、乾燥後の収縮を1%以下にしようとするれば25%以下の仕上げをしなければならない。なお含水率傾斜のある製材品を高周波含水率計で測定する場合、実際の含水率より低い値を示すため注意が必要である。

III 葉枯らし処理の効果について

- 1) 葉枯らしによる乾燥効果は36~93%の含水率低下がみられた。部位別では、ほとんどが辺材部の含水率低下によるものである。間伐方式で1日当たり0.46~0.61%、皆伐方式で1.08%と皆伐方式の方が乾燥効果が大きい。また、含水率の減少量を重量に換算すると、1m³当たり1.5~3カ月の処理期間で14~22重量が減少する。
- 2) 処理時期については、虫害発生の危険性のある4月~6月の間を避け、8月以降に行うのが有効と考えられる。
- 3) 材色については、心材部で明るさが増し赤黒さが抜け、色のバラツキが少なくなる。
- 4) 処理期間については、葉枯らしの初期の段階(40日)で急激に含水率が減少し、60日以降では減少が緩やかになるため、40~60日程度が適当であり、長期間の葉枯らしは製材品への影響(木口割れ)があり避けるべきである。
- 5) 人工乾燥に対する葉枯らしの効果は、乾燥時間が17~33時間(実質)短縮し、また収縮率や背割りの開きの減少も見られる。また、天然乾燥に対しては、気乾状態までの時間が短縮される。

IV スギ辺材ステークによる耐久試験

- 1) 4年暴露経過時点では、供試材11本中2本被害度が3に達しているものが見られたが、平均被害度は1.9であり、耐用年数(被害度2.5以下)の範囲に入っている。腐朽の判定に際しては被害度の評価とともに気乾容積重の測定も有効な方法であると考ええる。

謝 辞

調査試験にあたり御協力していただいた製材工場、製品センター、葉枯らし試験において林分の提供をいただいた森林所有者に、また、まとめに際して御助言を頂いた当センター木材加工科長富田守泰専門研究員に厚くお礼を申し上げる。

引用文献

- (1) 雨宮昭二ほか：杭の被害程度を評価する方法, 林業試験場研究報告, 150, 143-156, 1963
- (2) 雨宮昭二ほか：防腐処理杭の18年間の被害度と耐用年数, 林業試験場研究報告297, 133-155, 1977
- (3) 岐阜県木材協同組合連合会：スギ材状況把握調査, 平成3年度
- (4) 岐阜県林政部：岐阜県林業統計書、民有林森林資源構成表, 平成2年度
- (5) 岐阜県林政部：木材需給の現況, 平成4年3月
- (6) 平岡厚雄ほか：郡上スギの産値化に関する調査, 岐阜県林業センター研究報告, 18, 73-90, 1991
- (7) 平岡厚雄：県産スギ材の利用拡大に関する研究, 岐阜県林業センター業務報告, 69-75, 1992
- (8) 伊藤光寿ほか：含水率計の性能について, 木材保存, VOL15-4, 1989
- (9) 岩田隆昭ほか：スギ、ヒノキ丸太の林内乾燥について, 9, 49-59, 1981
- (10) 基太村洋子：材色のためのL*a*b*表色系からマンセル表色系への変換について, 日本木材学会大会発表要旨集, 37, 227, 1987
- (11) 基太村洋子：内外産有用木材の測色値, 林業試験場研究報告, 347, 203-239, 1987
- (12) 松岡昭四郎ほか：各樹種の野外試験による体朽性調査結果, 林業試験場研究報告232, 109-135, 1970
- (13) 日本備蓄機構：乾燥材の供給体制基礎調査, 平成2年3月
- (14) 財団法人日本気象協会岐阜支部：岐阜気象月報, 28-32, 1988-1992
- (15) 財団法人日本気象協会岐阜支部：岐阜気象年報, 1989-1990