

県産材の加工技術の開発に関する研究

— スギの林内乾燥技術の開発 —

(県単課題 平成9年～平成11年度)

高橋 宏成

遠藤 啓二郎

目 次

要 旨	1
I はじめに	2
II 試験内容	2
1. 材内水分の変動調査と適正乾燥期間の検討	2
2. 心材の乾燥促進試験	4
3. 人工乾燥前処理効果の検討	6
III 結果と考察	7
1. 材内水分の変動調査と適正乾燥期間の検討	7
2. 心材の乾燥促進試験	8
3. 人工乾燥前処理効果の検討	10
IV ま と め	12
引用文献	12

要 旨

葉枯らし乾燥の効率化を図るため、スギ中目材の間伐木を対象として放置期間の検討を行うとともに、樹幹の切削処理による乾燥促進を試みた。

葉枯らし期間中における樹幹水分の変動を調査した結果、梅雨明け後約3カ月経過した時点からは大幅な含水率の低下がなくなる傾向にあったが、適用した試験地によっては辺材の樹高方向に水分傾斜が発生したため、このような乾燥特性と地況条件との関係解明が課題となった。しかし、約6カ月間葉枯らしをすることで、樹幹全体に対してほぼ一様な乾燥効果が得られた。また、心材含水率の低減を目的とし、葉枯らし木の樹幹に心材木口を露出させた穴あけ切削処理を施して乾燥試験を行ったが、辺材の乾燥促進と樹幹含水率の均一化に効果があったものの、心材の含水率はほとんど低下しなかった。

これらの林内乾燥がその後の乾燥コストに与える影響を調べるため、3カ月間葉枯らしを行った原

平成12年3月1日 受理

木を正角材に製材し、人工乾燥試験に供した。

通常の葉枯らしを行った原木には黒心材が混入しており、また製材時に乾燥の進行した辺材の多くが除去されたため、製材品の初期含水率が無処理原木による対照材と差がなく、人工乾燥の前処理効果が認められなかった。穴あけ葉枯らしを行った材は良好な乾燥性を示したが、供試材の心材率など他因子の影響が考えられたため、人工乾燥コストの低減効果については不明であった。

I はじめに

スギ製材における需要の大半は住宅用資材が占めるが、部材のプレカット化など建築工法の多様化や工期の短縮化、ならびに建築基準法改正に伴う性能規定化の導入などにより、含水率が適正に管理された乾燥材へのニーズは今後高まる一方であると予測される。

しかし、スギ材の特徴として、生材含水率が一般に高く、さらには黒心の発現などにより個体間のバラツキも大きいことから、含水率を精度よく制御することが困難であるため、一般に乾燥が容易な針葉樹の中にあつて難乾燥材とされており¹⁾、人工乾燥におけるコストの高さが問題となっている。

このため、品質が保証されたスギ乾燥材の安定供給体制を確立するためには、生産体系の合理化と低コスト化を図ることが重要となるが、乾燥工程を複数に段階化し、人工乾燥などの2次加工に負担が偏重している乾燥コストを分散させる目的で、山元での林内乾燥を適用する手法が再評価されつつあり、その含水率の低減効果に関して各県で研究が進められている^{2)~10)}。

本県においても、平成6年度から8年度まで、スギの立木状態での林内乾燥方法を検討し¹¹⁾、葉枯らしと乾燥特性を比較したが、立木乾燥はその乾燥効果や処理の作業性、放置期間中の安全性などに問題を残し、一方の葉枯らし処理では比較的確実な含水率の低減効果が得られた。ところが、乾燥終期に葉枯らし木の含水率分布を調べた結果、夏期3カ月の林内放置でも樹高方向に水分傾斜が認められ、また、いずれの林内乾燥手法においても、乾燥の進行が辺材部に限定される傾向があつた。

そこで本研究では、効率的な葉枯らし乾燥の適用方法の確立と、葉枯らし材の付加価値向上を図るため、放置期間中における材内の水分挙動の解明と、葉枯らし木の樹幹切削による心材の乾燥促進効果の検討を目的とした林内乾燥試験を行った。

II 試験内容

1. 材内水分の変動調査と適正乾燥期間の検討

(1) 目的

葉枯らし乾燥の過程における水分移動のメカニズムを把握し、効率的な葉枯らしの適用期間を検討するため、葉枯らし木の含水率分布とその変動を試験期間を長期に設定して調査した。

(2) 試験方法

① 試験地と供試木

田村郡小野町地内において、43年生の同一スギ林分(間伐1回、枝打ちなし)に試験地を設定し、

乾燥試験を実施した。面積は約3,357㎡、立木密度は約1,075本/haであった。

供試木は胸高直径が約26cmの健全なスギ12本とし、図-1のように地況の偏りがないように配慮して選木した。試験区は、葉枯らし木を8本、対照木を4本とし、葉枯らし木は伐倒方向を特に定めず、枝葉や樹皮を付けたまま林内に放置した。また、対照木も同様に伐倒し、水分蒸散を促すとみられる枝葉をすべて刈り払って林内に放置した(図-2)。

② 含水率の測定方法

伐倒直後に全供試木の図-3に示す範囲から3箇所ずつ直径21mmの木工ドリルを用いて辺材と心材の木片試料を採取し、ジッパー付きポリエチレン袋に密封した(写真-1)。その後、試料はクーラーボックスに入れて持ち帰り、直ちに全乾法で含水率を求め、3箇所の平均をその位置における心材・辺材それぞれの含水率とした。なお、試料採取後の穴はシリコン系接着剤で充てんし、雨水の流入など外的因子の影響を防いだ。林内放置開始から約3カ月後に同様の方法で含水率を調査し、材内水分の移動と減少の傾向について調べた。また、葉枯らし木の放置期間は平成9年8月5日から平成10年1月27日までの6カ月間としたが、終了時に木片試料の採取部位に隣接した位置から厚さ3cm程度の円板試料を採取し、心材と辺材に分離してそれぞれの仕上がり含水率を全乾法で求めた。

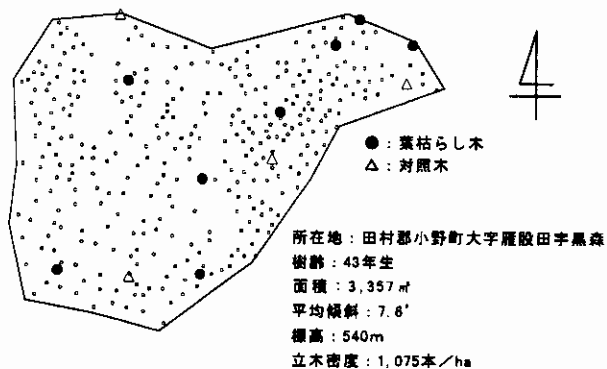


図-1 試験地の概要



図-2 供試木の処理方法



写真-1 木片試料の採取状況

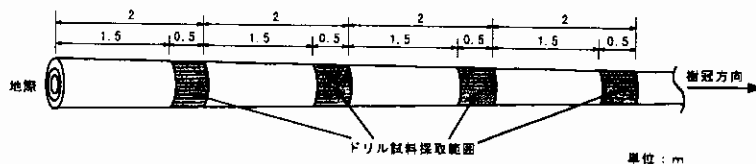


図-3 木片試料の採取位置

2. 心材の乾燥促進試験

(1) 目的

枝葉からの水分蒸散を利用した林内乾燥では、辺材部を主体として乾燥が進行するため、製材後の乾燥コストを低下させるには、製材木取りや素材の用途が限定されてしまう問題がある。そこで、葉枯らし原木の付加価値向上と乾燥工程の効率化を図るため、心材含水率の低減を目的とした葉枯らし処理方法について検討した。

(2) 試験方法

この試験は、葉枯らし木の玉切り予定位置に切削処理を施し、心材部を露出させることにより、樹高方向に対する心材水分の移動を促す目的で平成10年度に実施したが、当年の夏期は梅雨明けのない冷夏となり、記録的な大雨が降るなどの天候不良が続いたため、試験開始時期が計画より大幅に遅れた。したがって、得られたデータは普遍性が低いものと判断し、翌年の平成11年度に切削処理手法を1つに特定した再試験を実施した。

① 平成10年度における林内乾燥試験

田村郡小野町地内において、33年生の同一スギ林分(間伐1回、枝打ちなし)に試験地を設定した。なお、面積は約2,512 m^2 、立木密度は約1,286本/haであった。胸高直径が約24cmの健全なスギ12本を図-4のように地況の偏りがないように配慮して選木し、枝葉を付けたまま任意の方向に伐倒した。その後、樹幹の中央部までクサビ形に切削した処理と、樹幹を貫通する穴あけ処理を4本ずつ行って心材木口を露出させ(図-5)、無処理の葉枯らし木4本を対照とした試験区を設定した。いずれの樹幹切削処理もチェーンソーを使用し、3m材を3番玉まで生産することを想定した玉切り予定位置で切削を行った(写真-2、3)。

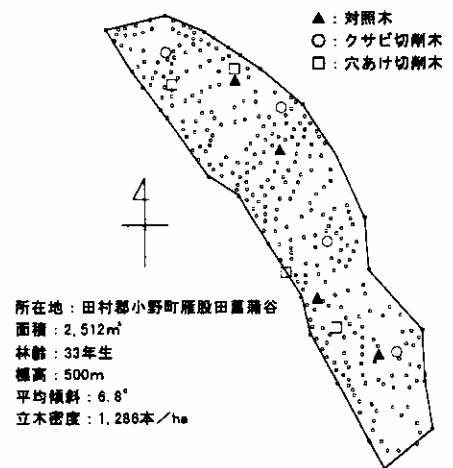


図-4 試験地の概要

切削処理に要する作業時間は、クサビ形切削木で供試木1本当たり1~2分程度、穴あけ切削木は処理に馴れば4~5分程度であり、大幅な労働力の負担増加はないものと思われた。

供試木の伐倒及び切削処理直後に、玉切り予定位置間の中央部からそれぞれ3箇所ずつ直径21mmの木工ドリルで辺材と心材の試料を採取し、全乾法で初期含水率を求めた。その後約6カ月にわたり同様の方法で含水率を測定し、材内水分の移動と減少の傾向について調べた。なお、試料採取後の穴はシリコン系接着剤で充てんし、雨水の

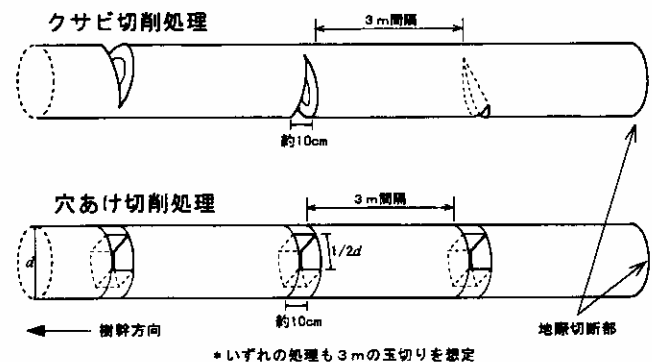


図-5 葉枯らし木の樹幹切削処理方法



写真-2 クサビ形切削木



写真-3 穴あけ切削木

流入など外的因子の影響を防いだ。放置期間は平成10年9月9日から平成11年3月8日までの約6カ月としたが、終了時にドリル試料の採取範囲に隣接した位置から厚さ3cm程度の円板試料を採取し、辺材と心材に分けて全乾法で仕上がり含水率の分布を調べた。

② 平成11年度における林内乾燥試験

田村郡小野町地内において、29年生の同一スギ林分(間伐1回、枝打ちなし)に試験地を設定した。試験地の面積は約3,080m²、立木密度は約1,373本/haであった。胸高直径が約26cmの健全なスギ20本を図-6のように地況の偏りがないように配慮して選木し、枝葉を付けたままで任意の方向に伐倒した。その後、樹幹を貫通する穴あけ処理を10本に行つて心材木口を露出させ、無処理の葉枯らし木10本を対照とした試験区を設定した。

なお、穴あけ切削処理の方法と乾燥期間中における含水率の測定方法は、平成10年度の試験と同様としたが、ドリルによる木片試料の採取はそれ

ぞれの試験区で5本ずつとし、それ以外の供試木は後に人工乾燥試験に供するため、木片試料を採取せずにそのまま放置した。また、木片試料の採取位置は玉切り予定材の中央及び末口近傍からとし、供試木1本当たり計6箇所から心材・辺材それぞれの試料を採取した。

放置期間は平成11年8月4日から平成11年11月9日までの約3カ月としたが、終了時に玉切り予定材中央部における木片試料の採取範囲に隣接した位置から厚さ3cm程度の円板試料を採取し、辺材と心材に分けて全乾法で仕上がり含水率の分布を調べた。人工乾燥用の供試木は、当初の玉切り予定どおり3m材に造材し、搬出した。

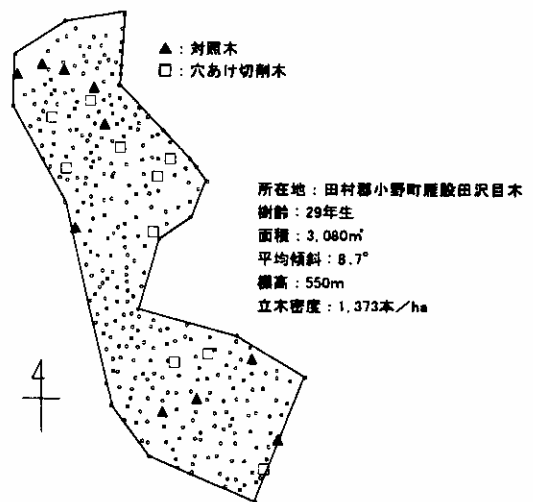


図-6 試験地の概要

3. 人工乾燥前処理効果の検討

(1) 目的

林内乾燥のみによって建築用材としての性能基準を充たす乾燥材の生産は不可能であり、あくまでも人工乾燥もしくは天然乾燥の前処理として認識すべきである。そこで、葉枯らし処理による林内乾燥が、その後の人工乾燥における乾燥特性やコストにどのような影響を与えるのか、その前処理効果について検討するため、製材品の人工乾燥試験を行った。

(2) 試験方法

本試験では、平成11年度に実施した林内乾燥試験における供試原木を用いた。11月9日に伐倒した人工乾燥用供試木10本(対照木5本、穴あけ処理木5本)の1番玉と2番玉を、仕上がり4寸角を想定した129mm×129mm×3,000mmに製材した。なお、原木素材の径級は、1番玉で末口径20~24cm、2番玉で18~22cmであり、計20本採取した製材品の製材歩止りは約36%であった。

葉枯らし供試材の製材直後に、同様の寸法に製材されたスギ柱材を生材で10本購入して対照材とし、これら合計30本の試験材について、重量、材中央部における幅寸法、心材含有率、水分計含水率を測定した。なお、心材含有率(以後、心材率という)は、試験体の末口と元口の心材面積をそれぞれ測定し、木口の断面積に対する割合を平均して算出した。水分計はケット・モコー2を用い、1本の製材品につき材面3カ所の含水率を測定してその平均値を水分計含水率とした。測定を終えた試験材は、直ちに5列×6段に積み重ねて約0.85kg/cm²の積木圧で圧縮し、容量10石の蒸気式IF型人工乾燥装置を使用して表-1に示す条件で人工乾燥を行った(写真-4)。

運転停止後、常温となるまで炉内温度が低下してから試験材を搬出し、重量、材中央部における幅寸法、水分計含水率を測定したが、その後図-7に

表-1 人工乾燥の条件

項目	条件									
積み重ね	5列×6段 (上下1段ずつダミー材を入れて材積を確保)									
運転方式	間欠運転 (夜間は運転停止)									
スケジュール	含水率監視用試験材は採取せずに 以下の時間スケジュールを採用									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>乾燥球温度</th> <th>湿球温度</th> <th>運転時間</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>95℃</td> <td>95℃</td> <td>8h(蒸煮)</td> </tr> <tr> <td>120℃</td> <td>90℃</td> <td>40h</td> </tr> </tbody> </table>	乾燥球温度	湿球温度	運転時間	95℃	95℃	8h(蒸煮)	120℃	90℃	40h
乾燥球温度	湿球温度	運転時間								
95℃	95℃	8h(蒸煮)								
120℃	90℃	40h								

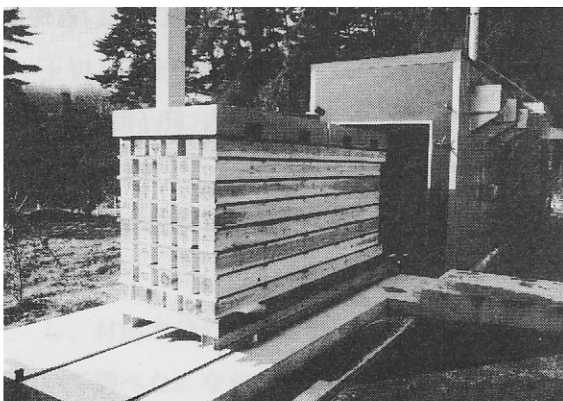


写真-4 人工乾燥試験の積み重ね状況

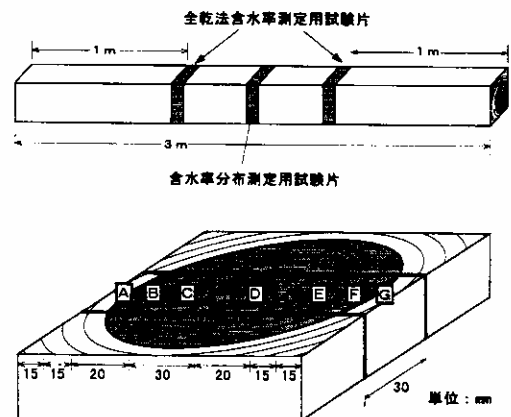


図-7 試験材の採取位置と分割方法

示す位置から試験片を採取して、供試材の仕上がり含水率と材中央部における含水率分布を全乾法により測定した。

また、全乾法による仕上がり含水率から試験体の全乾重量を算出し、人工乾燥前の重量から含水率(以後、重量推定含水率という)を推定した。これらの変数から、以下の式により試験材ごとに乾燥速度係数を求め、同式から試験材の含水率が20%となるまでの推定乾燥時間 t を計算した。

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{U_a - U_e}{U_c - U_e}$$

- ここに、 U_a : 初期含水率
 U_c : 乾燥終了後の含水率
 U_e : 平衡含水率
 t : 乾燥時間(h)
 k : 乾燥速度係数

Ⅲ 結果と考察

1. 材内水分の変動調査と適正乾燥期間の検討

林内乾燥開始時と林内放置が3カ月経過した時点における木片試料の含水率を、対照木について図-8、葉枯らし処理木について図-9に示す。

葉枯らし処理木の放置期間中における含水率は、対照木と大きく異なる傾向を示して減少し、葉枯らしの乾燥現象が枝葉からの蒸散作用に依存するものであることが確認された。また、葉枯らし処理木では、辺材に比較して心材の水分減少は少なく、既往の見と同様の結果であったが、3カ月経過後の葉枯らし木における樹高方向の含水率分布に関しては、明確な傾斜傾向が認められなかった。一方、対照木では辺材の含水率が放置後に増加しており、これが、樹木の生理的な水分変動に起因するのか、もしくは試料採取時の気象環境など外的な影響によるものなのか、原因を特定することはできなかった。

林内放置が6カ月経過した試験終了時

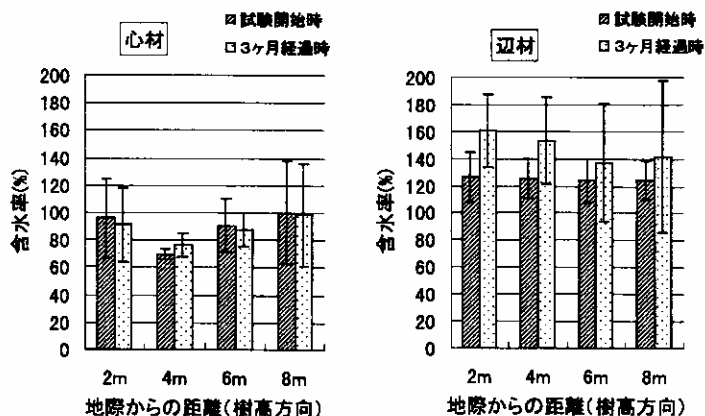


図-8 木片試料の含水率変化(対照木)

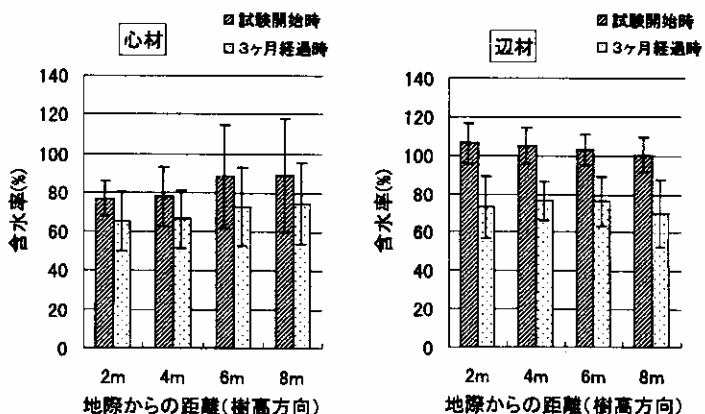


図-9 木片試料の含水率変化(葉枯らし木)

には、供試木に積雪があったためドリルによる木片試料が採取できず、円板試料のみで含水率を調査したが、その結果を図-10に示す。

6カ月間の葉枯らし処理による仕上がりが含水率は、枝葉のない対照木と比較すると顕著な差がみられ、とくに辺材では大きな乾燥効果が認められた。円板試料では、葉枯らし木の辺材で樹高方向に規則性のあるゆるい水分傾斜がみられたが、林内乾燥に要求される乾燥精度を考慮すると、十分均一な樹幹含水率を得ることができた。

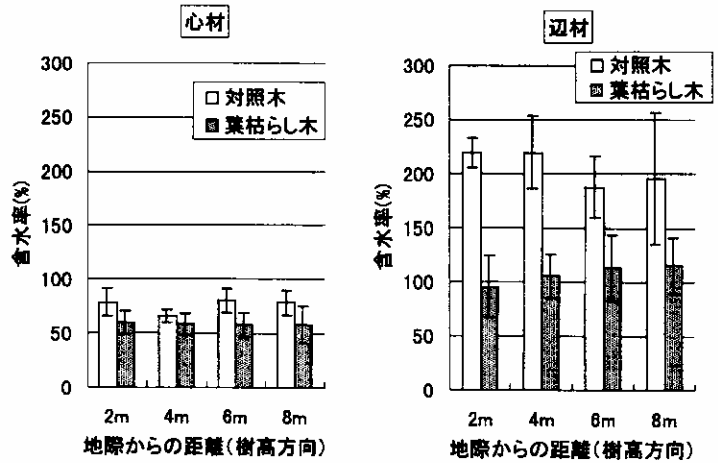


図-10 円板試料による仕上がりが含水率

木工ドリルで採取した木片試料の含水率は、実際よりも低い測定値で検出される¹²⁾ため、3カ月経過時の木片試料による含水率と、6カ月経過時の円板試料による含水率は同等と見なすことができ、樹高方向の含水率分布も双方で概ね均一であったことから、夏期3カ月程度の放置期間で乾燥の進行はほぼ終了していたものと推定できる。

2. 心材の乾燥促進試験

① 平成10年度における林内乾燥試験

木片試料により各試験区の含水率挙動を調べた結果を図-11に示す。

いずれの試験区でも辺材含水率が60%程度低下したが、樹幹切削処理を施した試験区は、対照木とほぼ同様の減少傾向であった。また、1番玉から3番玉までの樹高方向についても、それぞれの試験区で大きな変異はなく、特徴的な挙動は認められなかった。一方、心材の含水率についても、それぞれの試験区で一様に

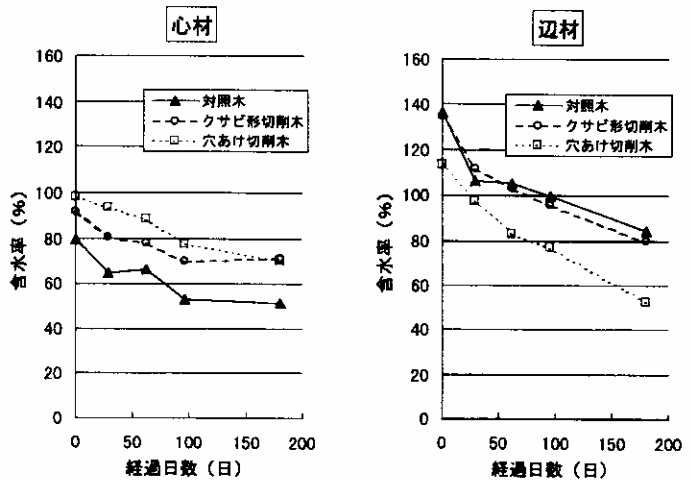


図-11 木片試料の含水率変化

30%程度減少し、樹幹切削処理による心材含水率の低減効果は確認できなかった。

次に、6カ月間の林内放置後の試験終了時における、円板試料による含水率について図-12に示す。仕上がりが含水率の樹高方向分布は、対照木の辺材で若干の水分傾斜が発生したが、クサビ形切削木と穴あけ切削木はほぼ均一な樹幹含水率が得られた。また、心材の含水率はクサビ形切削木の1、2番玉で黒心材の混入による大きなバラツキがあったものの、樹高方向の分布に傾斜傾向はみられなかった。

しかし、先に述べたように、平成10年は天候不順に見舞われ、試験開始時期が9月上旬に延期となるなど、平年に比較して試験期間中の気温上昇が十分ではなかった。よって、これらの結果により心材の乾燥促進効果を結論づけるのは早急であると考えられたため、樹幹切削処理を穴あけ切削に特定して翌年の平成11年夏期に同様の比較を行った。

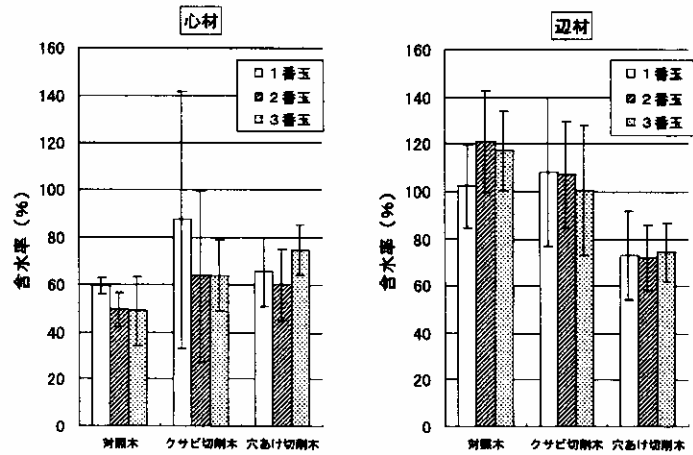


図-12 円板試料による仕上がり含水率

② 平成11年度における林内乾燥試験

通常の葉枯らしによる対照木の木片試料による含水率変化を図-13に、穴あけ切削処理を行った葉枯らし木の含水率変化を試料採取部位ごとに図-14に示す。

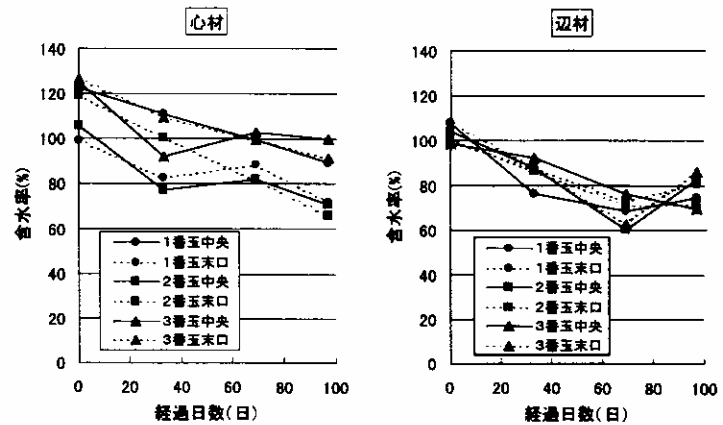


図-13 木片試料の含水率変化(対照木)

対照木の含水率については、樹高方向でバラツキがあるものの、約3カ月間の放置期間で心材、辺材ともに平均で30%程度減少した。既往の調査結果と異なり、心材含水率が辺材と同程度の減少を示したことについては、相対照度などの地況による変動であると思われるが、その原因は不明であった。穴あけ切削処理を行った供試木における心材の含水率は、切削箇所付近の玉切り予定材の末口部で減少傾向がみられ、心材露出による繊維方向の水分通導で含水率低下が生じたことを示唆した。また、辺材でも同様に、末口部での水分減少が顕著となり、切削処理間中央部においても対照木より高い乾燥効果が得られた。ただし、心材部の含水率低下は、穴あけ切削木でも対照木とほぼ同様の傾向であり、切削処理による心材乾燥促進の明確な効果は確認できなかった。

試験終了時における、円板試料による含水率の調査結果を図-15に示す。

心材の仕上がり含水率は、切削処理による含水率低減効果は認められず、対照木と同程度の分布となった。一方、辺材の含水率は試験区により異なる分布傾向がみられ、穴あけ処理木では比較的均一な仕上がりとなったのに対し、対照木では樹高方向に大きな水分傾斜が発生していた。

これらのことから、穴あけ切削処理が含水率の挙動に与える影響は、心材部よりもむしろ辺材において明らかであり、辺材の乾燥促進と樹幹含水率の均一化に効果があるものと考察する。

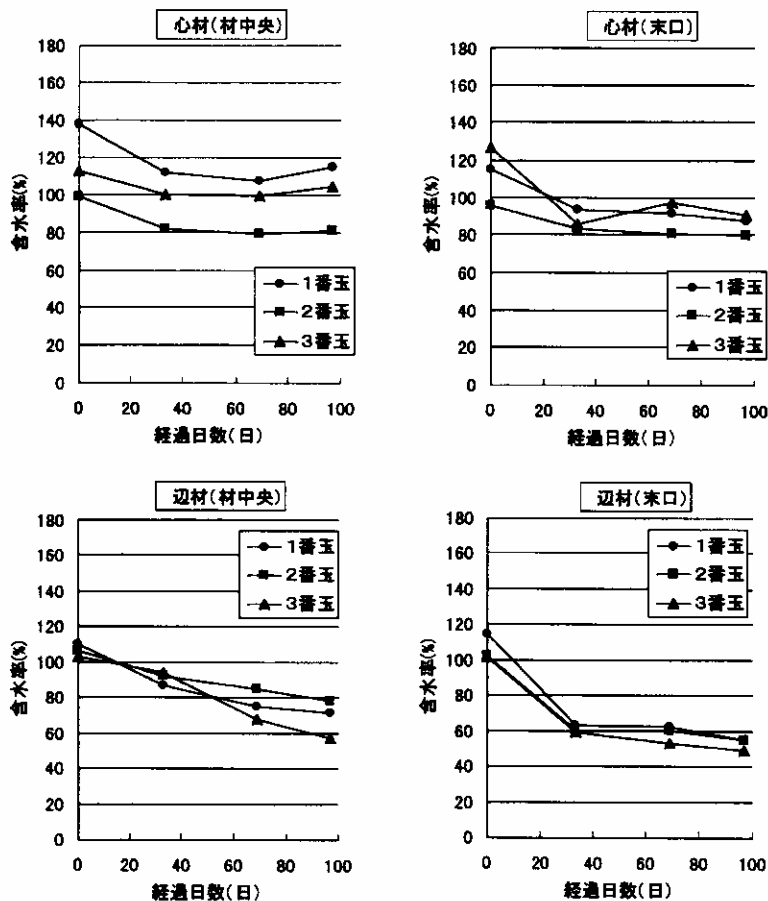


図-14 木片試料の含水率変化(穴あけ切削木)

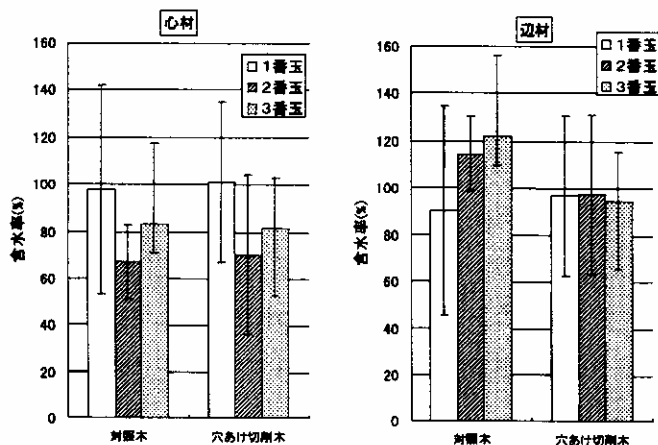


図-15 円板試料による仕上がり含水率

3. 人工乾燥前処理効果の検討

人工乾燥前後の水分計含水率と重量の変化、及び材中央部における幅方向の収縮率について表-2に示す。また、乾燥前の重量推定含水率と乾燥後の全乾法含水率を図-16に示す。

製材品を人工乾燥に供することにより、それぞれの試験区では含水率が著しく減少したが、図-16の乾燥後の含水率を比較すると、穴あけ葉枯らし材では乾燥前の重量推定含水率が低いこともあり、仕上がり含水率が約20%程度に収束し、最も乾燥が進行していた。

含水率20%までの推定乾燥時間の比較を図-17に示したが、通常の葉枯らし材と対照材は約60hでほぼ同程度であるのに対し、穴あけ葉枯らし材では約40hと短く、前処理効果が認められた。また、仕上がり含水率の材内分布については図-18のとおりであったが、穴あけ葉枯らし材は水分傾斜も比較的少なく、対照材や通常の葉枯らし材よりも高い乾燥性を示した。

しかし、図-19に示すように穴あけ葉枯らし材の心材率が最も低く、前述した林内乾燥試験の結果から穴あけ処理により辺材の乾燥が促進されたと見なせることや、辺材の透過性が心材より高いこと

表-2 各測定項目における人工乾燥前後の変化

		水分計含水率(%)		重量(kg)		収縮率(%)
		乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	
対照材	AVG	69.2	15.4	32.3	22.4	2.42
	MAX	85.5	25.7	42.3	29.1	4.11
	MIN	59.8	10.7	26.5	18.7	0.47
	STD	9.79	4.78	4.63	2.88	1.26
通常葉枯らし材	AVG	67.3	15.1	31.7	20.6	1.90
	MAX	113.5	27.8	43.7	25.8	3.80
	MIN	44.3	10.3	22.3	15.4	0.47
	STD	24.80	6.16	7.30	3.46	1.20
穴あけ葉枯らし材	AVG	54.3	12.2	27.2	19.8	2.88
	MAX	72.2	16.8	31.3	21.6	6.62
	MIN	40.0	10.5	23.2	18.3	0.36
	STD	8.77	2.14	2.33	1.11	1.95

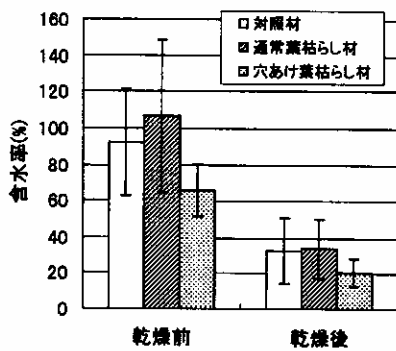


図-16 人工乾燥前の重量推定含水率と人工乾燥後の全乾法含水率

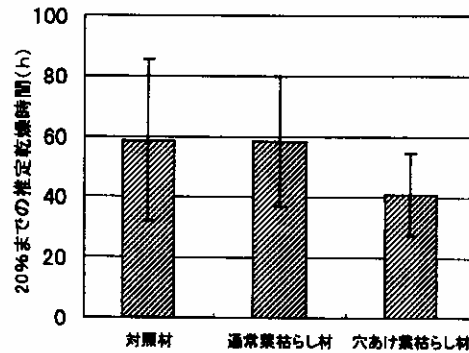


図-17 推定乾燥時間の比較

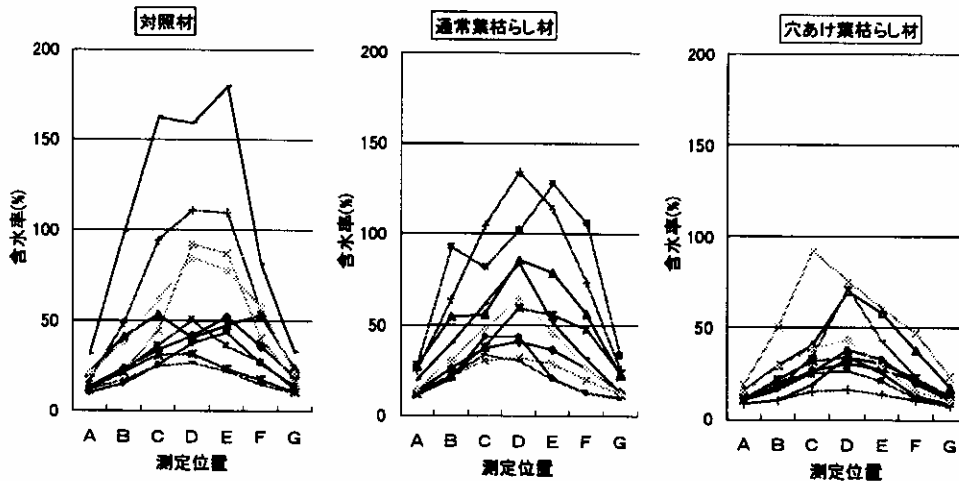


図-18 仕上がり含水率の材内分布

などを考慮すると、穴あけ葉枯らし材が比較的良好な乾燥性を示したのは、心材率の違いによる影響とも推察できる。また、対照材や通常葉枯らし材の中には初期含水率が著しく高い黒心の個体がみられ、これに起因する初期含水率の高さとバラツキも、その要因の一つと考えられた。

このように、前処理としての林内乾燥以外に製材品の乾燥性を左右する因子が存在することから、葉枯らし処理を適用した原木を正角材に製材した場合、乾燥の進行した辺材の多くが背板として除去されてしまうだけでなく、心材がある程度乾燥していたとしても、黒心材などの高含水率材がロットに混入すると、乾燥コストの低減に至らないケースが生じることが判明した。

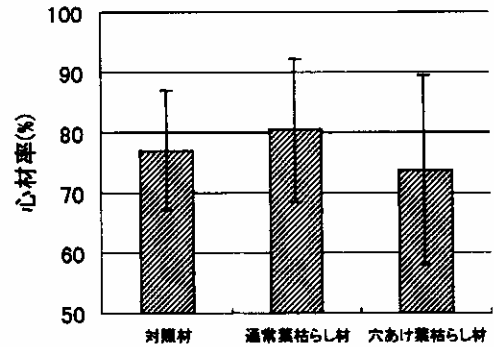


図-19 心材率の比較

IV ま と め

本研究により得られた結果を以下にまとめる。

1. 葉枯らしの期間は、夏期3カ月程度で十分な場合もあるが、辺材に乾燥むらが発生する可能性があるため、6カ月程度の長期に設定した方が確実な乾燥効果を得る上で望ましい。いずれにせよ、間伐木に適用した葉枯らし処理の水分変動は、地況による影響が大きいと考えられ、その因果関係については不明であった。
2. 葉枯らし木の樹幹に穴あけ切削処理を施すと、辺材の乾燥促進と樹幹含水率の均一化に効果がある。
3. 葉枯らし材を人工乾燥に供する場合、心材率が高い木取りの製材や、黒心材が多く混入しているロットでは、乾燥コストの大幅な低減には至らない。

なお、本研究を遂行するにあたり試験地の設定から伐倒・搬出作業に至るまで多大なる御協力を頂いた田村東部森林組合の皆様方に厚く御礼を申し上げます。

V 引 用 文 献

- 1) 亀井淳介, 津島俊治: 日林九支研論集, 41, 221-222(1988)
- 2) 阪井茂美, 山元雅彦: 徳林総研報, 23, 2-8(1985)
- 3) 阪井茂美: 同上, 25, 1-5(1987)
- 4) 阪井茂美, 佐藤尚史: 同上, 26, 1-10(1988)
- 5) 菱田重寿, 加藤龍一: 愛知林セ研報, 25, 27-50(1988)
- 6) 津島俊治, 神田哲夫, 後藤康次: 大分林試研究時報, 14, 9-29(1989)
- 7) 三林 進: 石川林試研報, 21, 28-32(1990)

- 8) 池田潔彦, 大森昭壽: 静岡林七研報, 18, 47-52(1990)
- 9) 池淵 隆, 錦織 勇: 島根林技研報, 44, 51-58(1993)
- 10) 野々田稔郎, 鈴木直之: 三重林技七研報, 9, 1-9 (1995)
- 11) 高橋宏成, 遠藤啓二郎, 中島 剛: 福島林試研報, 30, 99-113(1997)
- 12) 鷲見博史ほか: 昭和61年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書, 157-171(1988)