

構造材等木材の乾燥技術の向上・開発に関する研究 (I)

－ 背割りを施したヒノキ心持ち平角材 の蒸気式乾燥スケジュールについて －

河崎弥生

1. はじめに

過去6年間にわたり、ヒノキ心持ち柱材の蒸気式乾燥スケジュールについて検討した。その結果、主に乾燥速度及び変色量の温度依存性などについて、新しい知見を得た。それらの知見は、現在、生産現場において乾燥スケジュールを設定する上で様々な形で指針となっている。

これらに続く技術開発の次のステップとして、これまで研究の対象としてきた原木よりも大きい径の丸太、すなわち中径材（中目材）から木取られる製材品の乾燥方法について、昨年度から検討を開始した。本年度は、ヒノキ心持ち平角材の蒸気式乾燥スケジュールを検討することを目的として、この材の概略的な乾燥特性を把握するための試験を実施した。

2. 実験方法

1) 供試材料

今回の試験対象材は、ヒノキ中径（中目）並材である。長さ4mで、末口径26cm前後のヒノキ丸太から、190×115mmの断面の平角材を木取り、約5mm幅の背割りを入れた。これらの材を、さらに所定の長さに切り落として供試した。試験材の長さは、乾燥経過測定用を80cm、材色及び水分傾斜測定用を30cmとした。供試本数は、乾燥経過測定用を3本、材色及び水分傾斜測定用をエンドマッチした10本とした。

試験材はすべて木口面を銀ニスでコーティングした。

2) 乾燥装置および方法

乾燥試験には、当センター設置の電熱式スケジュール試験機を用いた。スケジュール試験の条件を、第1表に示す。乾燥スケジュールの設定に当たっては、経済性の面から中温域から高温域を採用し、2種類の乾燥スケジュール（中温スケジュール、高温スケジュール）を作成した。乾球温度は、中温スケジュールでは過去の試験で明らかになっている変色限界よりも低い温度域、高温スケジュールではそれよりも高い温度域とした。また、過去の実験から乾燥末期の調湿を高温域で実施した場合にはさらに変色量が増大するという知見を得ているため、乾燥末期に用いた乾球温度よりも低い温度で調湿を行う方法を用いた。乾湿球温度差は、割れが発生しないことを目標に設定した。

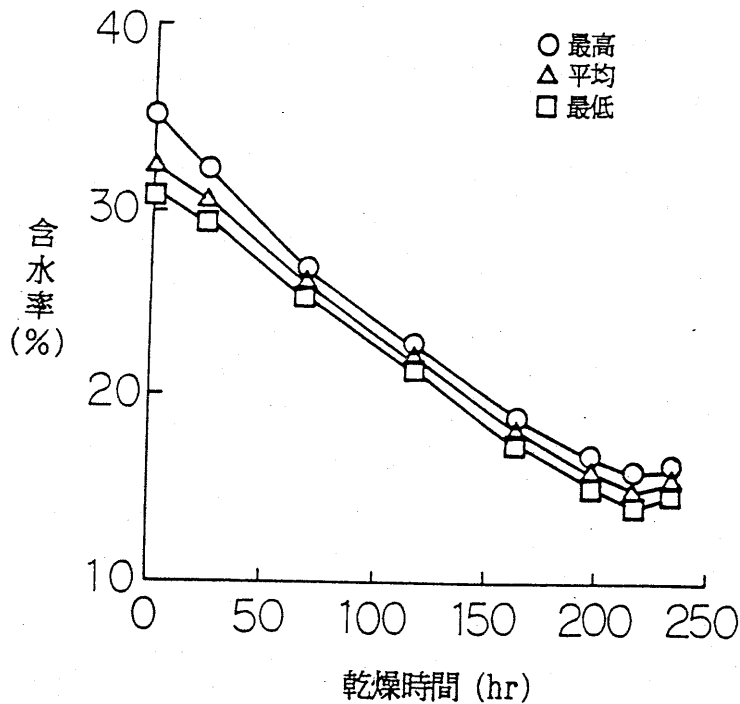
3. 結果と考察

1) 乾燥経過

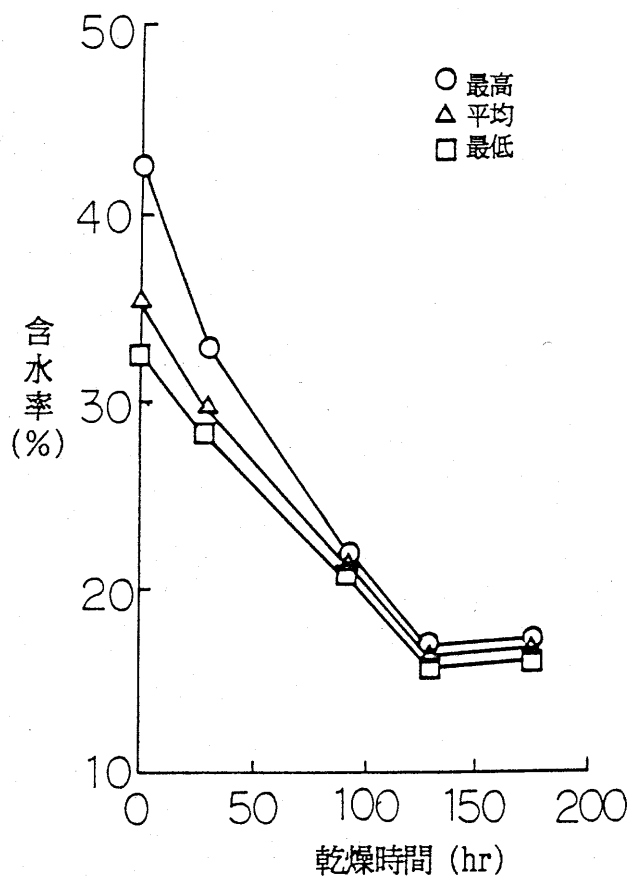
中温及び高温スケジュールにおける乾燥経過を、それぞれ第1図と第2図に示す。乾燥初期に存在した含水率のバラツキは、いずれの場合にも乾燥時間の経過につれて徐々に減少していくものの最終段階でも若干は残る。また、最終段階で実施した調湿処理においても、完全なイコーライジングは達成されていない。このことは大きな水分傾斜が存在する厚材の調湿処理が容易ではないことを示唆するものである。

第1表 ヒノキ平角材（背割り有り）の人工乾燥スケジュール

乾燥範囲 (%)	中温スケジュール			高温スケジュール		
	乾球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)	平衡含水率 (%)	乾球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)	平衡含水率 (%)
初期～30	60.0	3.0	15.0	75.0	3.0	14.9
30～26	60.0	5.0	12.5	80.0	6.0	10.5
26～22	65.0	8.0	9.7	80.0	6.0	10.5
22～18	70.0	11.0	8.0	85.0	12.0	7.5
18～終末	70.0	15.0	6.2	85.0	12.0	7.5
調湿	60.0	5.0	13.0	70.0	4.0	13.5



第1図 ヒノキ平角材（背割り有り）の中温スケジュールによる乾燥経過含水率は全乾法による測定値を示す。



第2図 ヒノキ平角材（背割り有り）の高温スケジュールによる乾燥経過
含水率は全乾法による測定値を示す。

2) 乾燥速度

各乾燥範囲における時間当たりの乾燥速度を、第2表に示す。心持ちヒノキ厚材の乾燥速度としては中温条件でも十分な速度を確保できている。材の断面形状と乾燥速度との関係については、さらに詳細な検討が必要であるが、単純に材厚との相関を考えるのではなく、断面積をも加味したファクターとの相関を検討すべきかもしれない。

針葉樹の構造用製材のJASに定められている乾燥グレードに仕上げるのに必要とする乾燥時間を、第3表に示す。中温スケジュールでは、D25が5日弱、D20が約7日、D15は約10日間の乾燥時間を必要とする。この乾燥時間は柱角の場合と大差は無く、経済的範囲以内のものであると判断される。高温スケジュールは、さらにこの約6割の乾燥時間で所定の含水率まで仕上げる事が可能である。

第2表 乾燥速度

乾燥範囲 (%)	乾燥速度 (%/hr)			
	全 乾 値		水 分 計 値	
	中温スケジュール	高温スケジュール	中温スケジュール	高温スケジュール
生 ~ 30	0.082	0.200	0.139	0.263
30 ~ 25	0.096	0.143	0.128	0.238
25 ~ 20	0.088	0.132	0.111	0.208
20 ~ 15	0.067	0.125	0.074	0.179

第3表 所定の乾燥グレードに仕上げるのに必要とする平均的な乾燥時間

乾燥グレード	乾燥時間 (hr)			
	全 乾 値		水 分 計 値	
	中温スケジュール	高温スケジュール	中温スケジュール	高温スケジュール
D 25	113 (4.7)	60 (2.5)	75 (3.1)	40 (1.7)
D 20	170 (7.1)	98 (4.1)	120 (5.0)	64 (2.7)
D 15	245 (10.3)	138 (5.8)	188 (7.8)	92 (3.8)

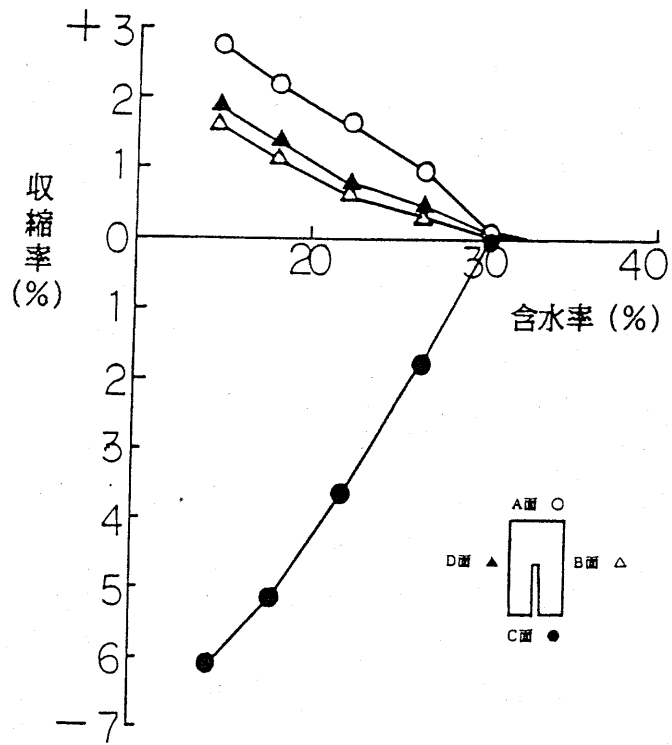
(注) 初期含水率を35%と想定した。

() 内は、日数計算である。

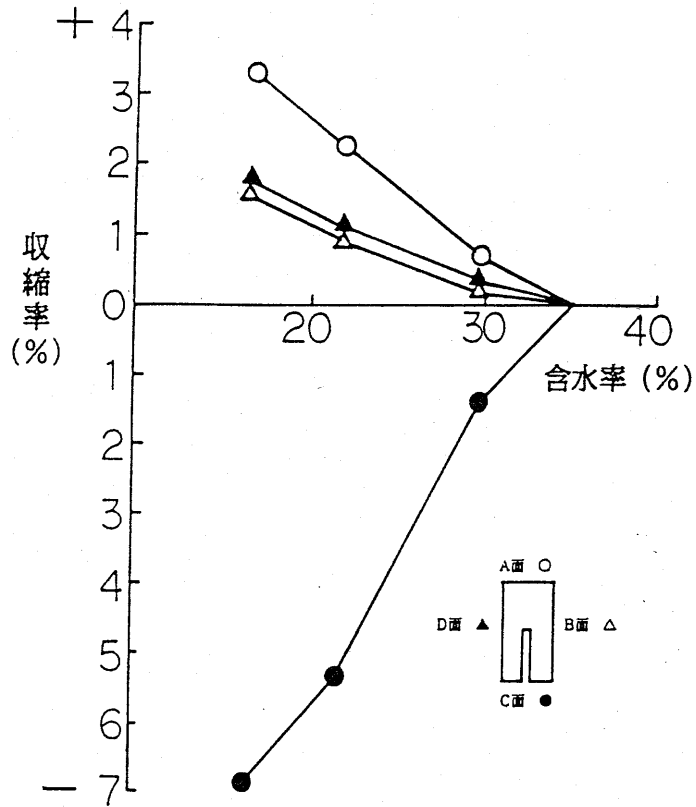
3) 寸法変化

乾燥に伴う寸法変化を第3図及び第4図に示す。4材面間で寸法変化量に違いが見られ、全体的にはかなり大きな断面変形が生じていることが観察される。乾燥に伴う寸法変化を、平均収縮率により第4表に示す。T方向の要素の影響が強い短辺面の方がR方向の要素の影響が強い長辺面よりも収縮率は大きい。

これらの結果から、推定できる荒木取りの段階で必要とされる歩増し寸法を、第5表に示す。なお、ここでは仕上げ寸法を使用量が多い短辺面120mm、長辺面240mmと想定して計算した。乾燥温度域が高い方が、計算上では、若干多くの歩増しが必要という結果を得た。実際には、これに狂いを加味した歩増しが必要である。



第3図 中温スケジュールによる寸法変化



第4図 高温スケジュールによる寸法変化

第4表 乾燥に伴う寸法変化 (平均収縮率：%)

乾燥範囲 (%)	中温スケジュール			高温スケジュール		
	短辺面 背割無	短辺面 背割有	長辺面	短辺面 背割無	短辺面 背割有	長辺面
生 ~ 30	+0.043	-0.043	+0.043	+0.139	-0.241	+0.052
30 ~ 25	+0.210	-0.440	+0.070	+0.170	-0.460	+0.084
25 ~ 20	+0.150	-0.410	+0.100	+0.190	-0.440	+0.100
20 ~ 15	+0.160	-0.320	+0.146	+0.240	-0.300	+0.130

第5表 収縮から見て必要な歩増し寸法 (mm)

乾燥グレード	中温スケジュール		高温スケジュール	
	短辺面	長辺面	短辺面	長辺面
D 25	1.6	1.4	1.9	1.7
D 20	2.7	2.6	3.1	2.9
D 15	3.5	4.4	4.6	4.5

(注) 仕上げ寸法を、短辺面120mm、長辺面240mmと想定した。

4) 背割り幅

所定の乾燥グレードに達した時の背割り幅を、第6表に示す。実験計画の段階では、背割り深さが95mmと深いため、順当に開くかどうか懸念された。しかし、背割は問題なく広がり、他の材面における割れの発生

状態から見ても、応力解除には十分な効果があったと判断される。

しかし、背割りの広がり幅は柱角と比較するとかかなり大きく、結果として乾燥に伴う断面変形が大きくなった。

また背割りは、乾燥温度域が高い方が、より大きく開く傾向がうかがわれる。

第6表 所定の乾燥グレードに達した時の背割り幅

乾燥グレード	中温スケジュール (mm)	高温スケジュール (mm)
D 25	8.8	11.2
D 20	12.0	14.7
D 15	15.4	17.7

(注) 初期の背割り幅は5mmである。

5) 狂いの発生状況

乾燥によって発生した狂いなどの欠点の発生量を、第7表に示す。供試材が短尺材であるため今回の実験のみでは十分には考察できないが、目安としての狂いの発生傾向はとらえられた。高温スケジュールの方がいくらか狂いの発生量が大きいことが観察されるが、絶対値としては極端に大きくはない。

割れは、木口、材面とも全く発生しなかった。

6) 変色量

乾燥に伴う材表面の変色の進行状況を、中温および高温スケジュールの場合について、それぞれ第5図、第6図に示す。さらに、変色の内訳を第8表に示す。材表面の変色は、心材よりも辺材において著しい。乾燥温度域が高くなると、心材においても変色が大きくなる。変色を分析してみると、主に明度の低下と黄色化の進行に起因するものであることが判る。

過去の実験から、調湿期間において一段と変色が進行する場合があるという知見を得ている。しかし、今回はかなり変色の進行を阻止できた。これは、調湿期間に使用する温度域の高低の重要性を示唆するものと考えられる。

変色が表面からどの程度の深さまで及び、またその変色度合いはどの程度であるかという点について検討するために、深さ方向に順次プレーナー掛けして材色を測定した。その結果を、第9表に示す。同一材面での測定でないため厳密な比較は難しいが、1mm程度プレーナー掛けすれば、中温及び高温スケジュールのいずれにおいても変色の程度はほぼ許容範囲内に留まると判断される。このことは、ヒノキ材の乾燥に高温度域が使用できる可能性を示すものと思われるが、さらに詳細な検討が必要である。

4. 今後の研究方向

今回の試験は、限定された断面寸法の材を供試し、過去の知見に照らしてある程度適当であると思われる乾燥スケジュールを設定して人工乾燥を実施したものである。その結果、ここで設定した乾燥スケジュールは経済的許容範囲内のものとして使用可能であると判断された。しかし、さらに効率的な乾燥条件の探求が必要である。また、今回とは異なる断面寸法の材についての検討が必要であり、乾燥方法についても高周波の利用など幅広く検討を進める必要がある。

第7表 狂いの発生量

欠点	材面	中温スケジュール			高温スケジュール		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
曲がり	短辺	0	0.5	1.0	0	0.4	1.0
		0	0	0	0	0.2	0.3
ねじれ	短辺	0.5	1.0	1.5	1.0	1.5	2.0
		1.5	1.5	1.5	2.0	2.2	2.5
幅ぞり	短辺有り*	0.2	0.4	0.8	0.7	0.8	1.0
	短辺無し*	-1.7	-2.4	-3.0	-2.6	-3.0	-3.5
	長辺	1.5	1.6	1.8	1.0	1.5	1.8
割れ	木材口面	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0

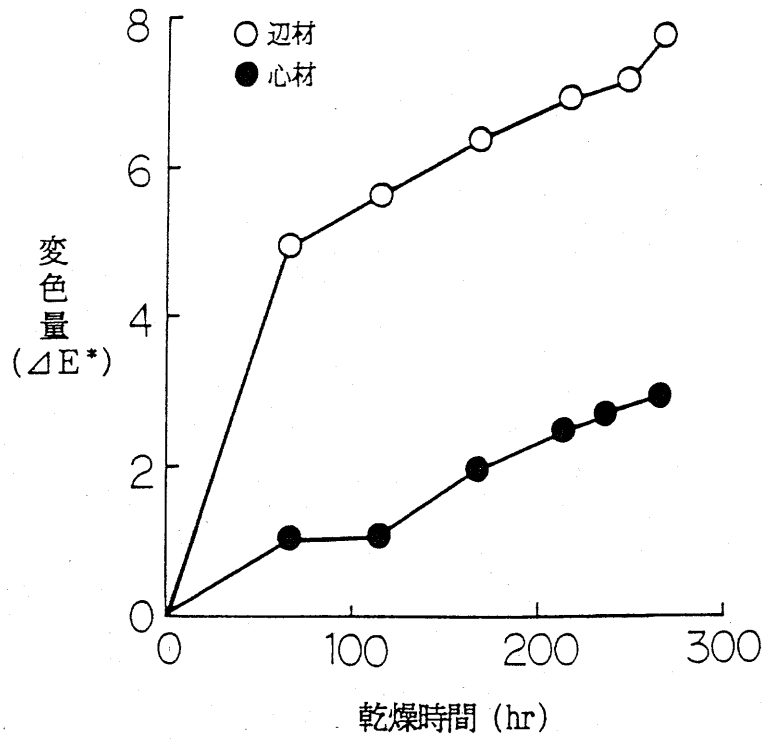
*材面の背割りの有無を示す。

第8表 乾燥に伴う材表面の変色量

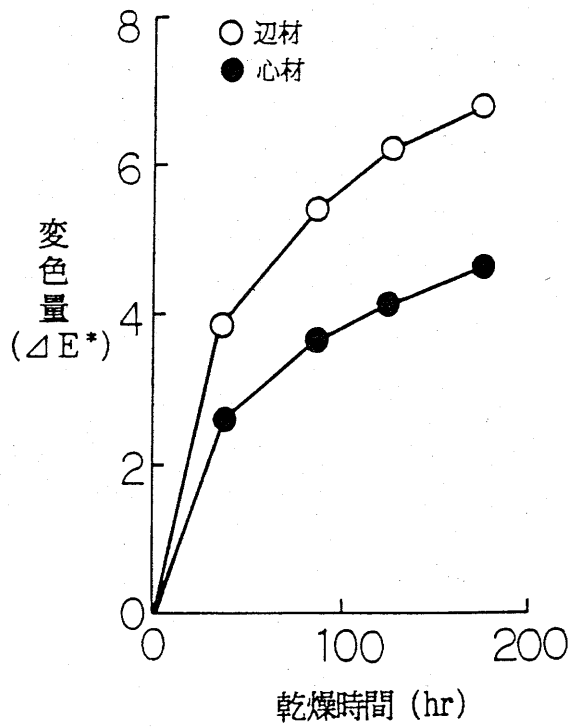
部位	期間	中温スケジュール				高温スケジュール			
		ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
心材	乾燥期間	-1.19	-0.94	1.92	2.24	-3.41	-0.78	+2.55	4.11
	調湿期間	+0.02	+0.01	+0.27	0.27	-0.45	+0.28	+0.28	0.60
辺材	乾燥期間	-3.70	+0.44	+5.71	6.82	-4.29	+0.79	+4.31	6.13
	調湿期間	+0.02	-0.15	+0.34	0.37	-0.37	+0.43	+0.42	0.71

第9表 厚さ方向の変色量

表面からの 深さ (mm)	変色量 (ΔE^*)			
	中温スケジュール		高温スケジュール	
	心材	辺材	心材	辺材
表面	2.08	3.58	2.48	2.69
1.0	1.44	2.38	2.42	1.15
2.0	1.43	2.04	1.66	1.71
3.0	1.67	1.72	2.01	2.31
5.0	2.05	1.00	2.07	2.29



第5図 中温スケジュールによる材色の変化



第6図 高温スケジュールによる材色の変化