

高周波減圧乾燥と熱風乾燥の比較

－ヒノキ板材での乾燥試験－

河崎弥生・金田利之

1. はじめに

従来、高周波減圧乾燥は広葉樹特殊用材の乾燥に用いられることが多かった。その特徴は、高周波誘電加熱により被乾燥材が自己発熱する原理により乾燥させる点にある。また、内部加熱方式であるため水分傾斜が生じにくく、乾燥時間の短縮も大幅に望めるとされている。最近、この高周波減圧乾燥を建築用材に適用する試みが一部で行われている。建築用材、特に心持ちで材厚であるため、乾燥時間が極端に長くなる構造材の人工乾燥方法に採用しようとするものである。既に、基礎実験の段階で成果があがっている例も散見されるが、未だ究明されなければならない点も多い。

今回は、ヒノキ板材を使い、高周波減圧乾燥と熱風乾燥法で、時間短縮の効果、仕上がり時の水分分布状況、材色などについての比較を行った。なお、高周波減圧乾燥試験の一部は、富士電波工機(株)、安島製缶(株)と協同して実施した。

2. 方法

1) 供試材料

県北部の中国山地沿いに産するヒノキ丸太を原木市場で購入し、当センターで、幅10cm、厚さ3cm、長さ1~1.5mの寸法に製材した。中心部で柱材を採材したため、心材と辺材が混じる背板に相当するものが多い。両乾燥法とも、乾燥総材積は約0.5m³とし、その中に試験材を設置し各項目の測定に供した。試験材数は、高周波減圧乾燥に12個体、熱風乾燥に6個体使用した。

2) 手順および

第1表 ヒノキ板材の人工乾燥スケジュール

測定項目	Step	含水率		熱風乾燥		高周波減圧乾燥	
		(%)	(%)	乾球温度 (°C)	乾湿球 温度差 (°C)	缶体内圧力 (mmHg)	材温設定温度 (°C)
①乾燥装置							
7.熱風乾燥							
当センター							
設置の電熱式							
人工乾燥装置	1	生	~ 30	45	4	50	40
で乾燥した。	2	30	~ 28	45	7	(一定)	(一定)
	3	28	~ 25	50	10		
1.高周波減圧	4	25	~ 21	55	12		
乾燥	5	21	~ 17	60	15		
当センター	6	17	~ 終末	60	20		
に設置されて	7		調湿	60	10		

(注) 缶体内圧力が50mmHgのとき、水の沸点は約38°Cである。

いる3石入り高周波減圧乾燥装置を使用した。出力は3Kwである。

②乾燥方法

第1表に示すスケジュールで、高周波減圧乾燥および熱風乾燥を行った。

③測定項目

7.水分測定

人工乾燥後、1試験体当たり3cm幅の3個の試験片を採取し、全乾法により測定した。

イ.寸法測定

デジタルノギスにより、厚さと幅を計測した。測定部位は材の中央部とした。

ウ.割れなど

木口割れおよび材面割れの有無を観察した。割れの発生したものは、その長さなどを測定した。

エ.水分分布

人工乾燥終了後、試験体中央部から約3cm幅の試験片を採取し、さらに、それらを厚さ方向で5分割した。また、5つの試験体については、上記の試験片を採取した残りの材を2分割し、そのまま屋内に2週間および4週間放置した後、同様な方法で分割して水分分布の推移の測定に供した。

オ.材色測定

色差計(SMカラーコンピューター5型、スガ試験機)を用いて、人工乾燥前と人工乾燥後の材色測定を行った。測定スポット径は30mmとし、各試験材ごとに心材部、辺材部それぞれ3カ所とした。

3. 結果と考察

①乾燥所要時間

高周波減圧乾燥の場合、初期平均含水率63.4%の材を14.2%まで乾燥するのに54時間を要した。一方、熱風乾燥の場合には、初期平均含水率63.2%の材を11.3%まで乾燥するのに169時間も要した。

熱風乾燥では、含水率14.2%までの乾燥時間は、データから約140時間と計算される。これを高周波減圧乾燥の乾燥時間54時間と比較すると、計算上、高周波減圧乾燥は熱風乾燥の約38.5%の乾燥時間で済むことになる。

②仕上がり含水率と収縮率

第2表に、人工乾燥後における含水率の仕上がり程度と収縮率を示す。

7.含水率

標準偏差と変動係数からみると、高周波減圧乾燥に比べ、熱風乾燥は乾燥後の含水率のバラツキが小さい。初期段階の含水率では、むしろ熱風乾燥用試験材の方がバラツキが大きかった

ことを考えると、乾燥方法そのものに起因する現象と考えられる。

第2表 2種類の人工乾燥法で乾燥されたヒノキ板材の仕上がり状況

項目	含水率(%)				収縮率(%)			
	高周波減圧乾燥		熱風乾燥		高周波減圧乾燥		熱風乾燥	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	幅(T)	厚さ(R)	幅(T)	厚さ(R)
最高	136.92	38.01	150.30	13.60	5.76	5.00	4.36	2.47
最低	34.28	6.05	29.70	8.70	1.04	1.56	3.10	0.53
平均	63.38	14.18	63.22	11.30	4.00	3.16	3.50	2.47
標準偏差	29.70	9.98	51.55	1.72	1.23	0.89	0.50	0.53
変動係数	43.43	70.38	81.46	15.22	30.75	28.16	14.29	21.45

(注) 人工乾燥時間：高周波減圧乾燥が54時間、熱風乾燥が169時間である。

1. 収縮率

収縮率をみると、低含水率まで乾燥した熱風乾燥による場合の方が、高周波減圧乾燥よりわずかながら小さい。このことは一部で言われている“高周波減圧乾燥における収縮率は蒸気式等の熱風乾燥方式による場合より小さい”という知見とは一致しない。

収縮率のばらつきは、仕上がり含水率のばらつきの程度を反映してか、熱風乾燥より高周波減圧乾燥の方が大きい。

材の幅方向と厚さ方向の収縮率の比較は、試験材が板目材であるため、当然接線方向の要素が強い幅方向の方が、厚さ方向より大きい。ただし比率は、理論的に言われる値ではない。

③割れなど

材面割れ・木口割れについては、全く発生しなかった。

④水分分布

第3表に、各乾燥方法における仕上がり時の含水率が高めの材と、低めの材の水分分布の状況を示す。第1層と第5層が表層部で、それぞれ、木表面と木裏面に該当する。そして、第3層が中心部になる。

熱風乾燥の場合、“中心部が高く表層部が低い”と、一般に想像されているような水分傾斜が生じている。これに対し、高周波減圧乾燥の場合は、初期含水率の高かった木表側の含水率が高く、心材を含むため初期含水率が低かった木裏側へ向かって次第に含水率が低くなる、といった初期の水分傾斜をそのまま残す。このことは、高周波減圧乾燥の場合、熱風乾燥のように表面の乾燥が早く、内部になるにしたがって水分減少が少なくなる、といったメカニズムを取るのでは

なくて、フラットな水分移動が生じていることを示すものと思われる。水分移動は、熱風乾燥の場合には拡散により、高周波減圧乾燥の場合には透過による、とされていることから、ある程度予測できる現象であるともいえる。

第3表 2種類の人工乾燥法で乾燥されたヒノキ板材の仕上がり時の含水率分布

測定部位	高周波減圧乾燥		熱風乾燥	
	試験体 1	試験体 2	試験体 1	試験体 2
第1層 (表層部)	35.72	11.88	12.69	9.07
第2層	36.02	11.12	13.51	9.36
第3層 (中心部)	30.88	10.24	13.95	9.50
第4層	25.50	9.71	14.35	9.41
第5層 (表層部)	22.14	8.95	12.43	8.92
全平均	30.05	10.38	13.39	9.25

(注) 第1層が木表に、第5層が木裏面に該当する。

⑤高周波減圧乾燥における仕上がり含水率のバラツキの原因

第4表に、陽極側から陰極側に向かって順々に設置した試験材の仕上がり含水率の状況を示す。それぞれ、試験材 a は陰極に、試験材 e は陽極に接している。

試験材 a ~ e の初期含水率が全く同じでなかったため、詳細な考察はできない。しかし、傾向としては、高圧側である陽極に近い方が乾燥が早く進み、アース側である陰極に向かって次第に乾燥が遅くなる。特に陰極に接する面は極端に乾燥が遅かった。

この現象の背景には、当然、加熱むら、引いては材温むらが生じていることが推察される。材温コントロールを陰極側で行っていることを考えると、問題が残る。

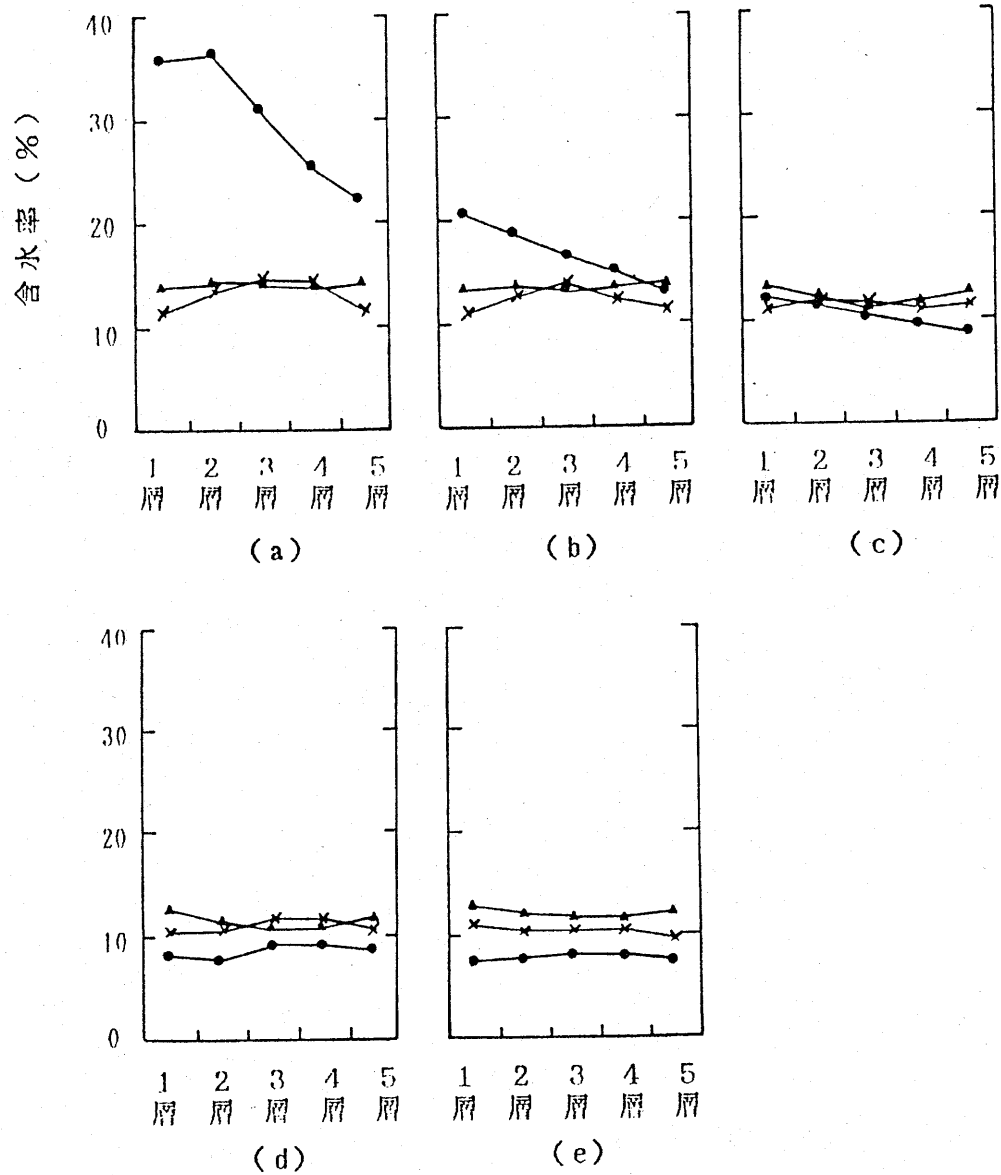
この問題解決には、当然陰極側の乾燥の遅れをカバーする補助熱源の投与が不可欠である。

第4表 電極からの距離が仕上がり含水率に及ぼす効果 (高周波減圧乾燥法)

測定部位	試験体位置				
	陰極側 ←	-----			→ 陽極側
	試験体 a	試験体 b	試験体 c	試験体 d	試験体 e
第1層 (表層部)	35.72	20.35	11.88	8.17	7.39
第2層	36.02	18.59	11.12	8.08	7.71
第3層 (中心部)	30.88	16.77	10.24	9.17	8.02
第4層	25.50	15.13	9.71	9.51	7.94
第5層 (表層部)	22.14	12.97	8.95	8.61	7.69
全平均	30.05	16.76	10.38	8.71	7.75

⑥屋内放置による水分分布の推移

仕上がり含水率が異なる試験材 a～e (第4表参照) を、2週間および4週間屋内放置した時の水分分布の変化を第1図に示す。



第1図 仕上がり含水率が異なる材を屋内に放置したときの水分分布の推移

記号： ○ 乾燥直後 × 2週間放置後 ▲ 4週間放置後

屋内放置後2週間を経過すれば、含水率が高かった材も平均含水率13%程度まで減少する。その時の水分傾斜は、初期の段階と異なり、表層の含水率が低く中心部が高いという形態を示す。その後、4週間目では、この水分傾斜が解消され、ほぼフラットな水分分布状態となる。

含水率が低かった材の屋内放置では、2週間目でほぼフラットな水分分布状況となる。その時の平均含水率は上昇している。これは、放置場所の温湿度条件時の平衡含水率の方が仕上がり含水率よりも高かったことを反映しているものと考えられる。ただし、ヒステリシスによるものか、含水率が高かった材に比べて、4週間後においても低い含水率にとどまっている。

低い仕上がり含水率の材が吸湿して、外周条件に平衡して行く場合、4週間後においても、内部の含水率が低く表層部が高いという水分傾斜パターンが残る。

⑦材色

第5表に、熱風乾燥後の材色の変化を示し、第6表に高周波減圧乾燥後の材色を示す。

L*を見ると、高周波減圧乾燥の場合、辺材・心材ともに、深さ方向の変化はほとんどなく、おそらく、乾燥前と比べて変化していないと推定される。これに対し、熱風乾燥においては、表層部の値は若干小さくなり、明るさが減少している。しかし、この現象も、深さ1mmの部分ではほぼ解消されている。

色相を表現するa*、b*値を辺材で見ると、高周波減圧乾燥の場合、赤みを表現するとされるa*値が表層部で極端に低くなっている点が注目される。黄色みを表現するとされるb*値は、高周波減圧では変化なく、熱風では表層部において大きくなり、黄色化が若干進んでいる。

a*、b*値を心材で見ると、高周波減圧では、表層部において若干a*が減少し、b*が上昇したと推定され、赤みが減少して若干黄色化が進んだと考えられる。熱風の場合は、a*が上

第5表 熱風乾燥法により人工乾燥された
ヒノキ板材の深さ方向の材色

測定時	測定部位	材色					
		辺材			心材		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
乾燥前	表面	79.27	4.22	25.07	75.69	8.33	26.86
乾燥後	表面	78.35	3.85	26.44	74.27	9.26	26.16
	1mm 内部	79.98	4.11	25.31	75.40	9.21	26.48
	2mm 内部	80.26	4.11	24.72	75.47	9.20	26.45
	3mm 内部	80.36	4.16	24.49	75.17	9.29	26.47

第6表 高周波減圧乾燥法により人工乾燥された
ヒノキ板材の深さ方向の材色

測定時	測定部位	材色					
		辺材			心材		
		L [*]	a [*]	b [*]	L [*]	a [*]	b [*]
乾燥後	表面	84.38	0.96	22.75	78.51	7.68	25.67
	1mm 内部	84.23	2.10	23.64	78.43	8.82	24.97
	2mm 内部	84.12	2.71	22.93	77.94	9.19	24.98
	3mm 内部	83.73	2.94	22.60	78.73	8.93	24.89

昇し赤みが増していると判断される。

以上をまとめて表現すると、熱風乾燥の場合、表層部の仕上がり時の見た目は、やや明るさが減少し、辺材はより黄色く、心材はより赤く変化して、心材と辺材がよりはっきりするという状態である。これに対し、高周波減圧乾燥の場合の表層部の仕上がりは、明るさは変化せず、心材・辺材とも赤みが減少し、全体的に薄い色合いで、心材と辺材の区別が若干はっきりしなくなるという状態である。しかし、この傾向は極く表層部に限定され、深さ 1mm程度の部分では見られなくなると言える。

以上の結果より、高周波減圧乾燥における明確な乾燥時間の短縮効果が確認され、水分傾斜のパターンから見て、より厚材への応用の可能性が改めて示唆された。また、一部で過去に指摘されたことのある“高周波減圧乾燥すると材色が白っぽくなって、材色を重要視する役物の乾燥には使えない”とされる点について、材色を表現する数値の上では、表面部において確かに存在することが確認された。しかし、それはあくまで極く表面に限られた部分における現象であって、二度挽き、あるいは、仕上げ挽きを必ず行う建築用材においては全く問題がないと判断される。

今後は、今回の結果を踏まえ、より厚材への応用、あるいは、スギ材などの他樹種における応用のための基礎的データの把握を行う予定である。