

地域産材の低コスト乾燥技術の開発
— 高周波加熱減圧乾燥法の活用技術の開発 —

河崎弥生

1. はじめに

1) 研究の目的

スギ材の人工乾燥には、ヒノキ材と比較して長い乾燥時間が必要であり、乾燥コストも割高である。このため、ヒノキ材においては乾燥材の生産量が順調に増加する一方で、スギ材では需要がありながらも、製材業界は人工乾燥の実施を敬遠してきた。このような状況下において、建築業界では、乾燥材を求めてエンジニアリングウッド（EW）の採用に踏みきる企業が急増している。以上のことより、スギ材を低コストで乾燥する方法の開発が急務となっている。

本課題は、スギ材の低コスト乾燥法の開発を行うことを目的とする。

2) 全体計画

本課題は、地域重要新技術開発「地域産材の低コスト乾燥技術の開発」に関するプロジェクトチームに参加して、木材加工国庫助成試験費によって行うものである。プロジェクトチームには全国で6県が参加し、それぞれ研究分野を分担している。本県は、特に、「高周波加熱減圧乾燥法の活用技術の開発」に関する研究を分担することになっている。研究実施期間は、平成9年度から平成13年度にわたる5カ年間である。

以上のことより、本研究では高周波加熱減圧乾燥法を主眼に置き、この乾燥方法をより低コストで利用する方法について検討する。具体的には、天然乾燥や簡易な予備乾燥と高周波加熱減圧乾燥の効率的な組み合わせ乾燥方法について検討を行う。具体的な、検討項目は以下の通りである。

①前処理としての天然乾燥法等の検討

- a. 効率的な天然乾燥処理条件の検討
- b. 簡易なプレドライ的手法の検討

②効率的な高周波加熱減圧乾燥条件等の検討

- a. 高周波印加条件の検討（印加量，印加間隔等）
- b. 缶体内条件等の検討（缶体内圧力，材温制御温度等）

- ③人工乾燥後の養生処理としての天然乾燥法等の検討
 - a. 天然乾燥による効率的な養生処理条件等の検討
 - b. 養生期間の短縮化をめざした簡易的手法の検討

平成9年度は、スギ柱材を天然乾燥や予備乾燥と高周波加熱減圧乾燥の組み合わせによって乾燥し、乾燥経過を観察した。

2. 方 法

1) 試験材

- ①岡山県産のスギ柱材（13cm×13cm×3m、心持ち、背割り有り）で、心材が赤色系のもの（赤心材）と黒色系のもの（黒心材）を5本ずつ用いた。
- ②赤心材および黒心材とも、4本を乾燥経過測定用試験材、1本を水分分布測定用試験材とした。
- ③長さ方向に3分割し、3タイプの乾燥試験に用いた。

2) 実験方法

- ①3種類の組み合わせ乾燥を行い、乾燥経過を比較した。
 - a. 高周波加熱減圧乾燥＋養生処理（屋外存置）
 - b. 天然乾燥（屋外存置）＋高周波加熱減圧乾燥＋養生処理（屋外存置）
 - c. 予備乾燥（恒温恒湿室）＋高周波加熱減圧乾燥＋調湿処理（恒温恒湿室）
- ②乾燥方法を、第1表に示した。
- ③高周波加熱減圧乾燥は、当センター設置の装置（0.5m 3入り、発振機3kw）を用いて行った。乾燥条件は、初期蒸煮温度80℃、缶体内圧力150Torr、材温制御温度60℃、陽極電流値0.5Aであった。
- ④天然乾燥等の屋外存置には、風通しの良好な屋根付きの天然乾燥場を用いた。
- ⑤上記の乾燥試験に伴う、試験材の含水率、水分分布の推移及び割れや狂い等の発生量について測定した。
- ⑥水分分布測定用試験材においては、各処理段階での含水率等の測定時に水分分布測定用試片を採取した。乾燥経過測定用試験材では、各処理段階が終了した時点で水分分布測定用試片を採取した。

3. 結 果

1) 乾燥経過

3種類の乾燥法に用いた試験材を、ここでは以下のように表現する。

a. 生材, b. 天然乾燥材, c. 予備乾燥材

- ① 3種類の乾燥法における乾燥経過を、第2表～第4表に示した。
- ② 人工乾燥と前処理、養生処理を組み合わせることによって、ロット内の含水率の標準偏差が減少し、均一化が進行することが明らかとなった。
- ③ 乾燥法 a の乾燥経過より、高周波加熱減圧乾燥で低含水率まで乾燥を行えば、ロット内の含水率のばらつきは小さくなることが明らかとなった。
- ④ 高周波加熱減圧乾燥を平均含水率が24%程度で終了した場合には、ロット内の含水率のばらつきは大きい。したがって、含水率のばらつきを高周波加熱減圧乾燥を単独で用いた場合の仕上がり状態にまで減少させるには、長期にわたる養生期間が必要であることが明らかとなった。
- ⑤ 人工乾燥の前処理や乾燥後の養生には、天然乾燥よりも人工的な処理条件を用いることによって、乾燥工程に必要な総時間の短縮が可能であることが示唆された。

2) 水分分布

- ① 第1図～第3図に天然乾燥材（乾燥法 b）の水分分布の推移を、前処理期間、高周波加熱減圧乾燥期間、乾燥後の養生期間ごとに示した。同様に、第4図～第6図に予備乾燥材（乾燥法 c）の水分分布の推移を示した。
- ② 第1図と第4図から、前処理終了時の水分傾斜は、天然乾燥材よりも予備乾燥材の方が大きいと判断された。
- ③ 第2図と第5図に見られるように、高周波加熱減圧乾燥の初期には、含水率は材の表層部では上昇し、中心部では減少した。その後、表層部でも含水率が減少するようになるが、表層部よりも中心部での含水率の減少量が多いために、水分傾斜は次第に小さくなるという経過をたどった。
- ④ 第3図と第6図から、養生期間における水分傾斜は、天然乾燥材よりも予備乾燥材において顕著に減少することが明らかとなった。
- ⑤ 図には示さないが、乾燥過程での水分傾斜は、赤心材よりも黒心材の方が大きく、実験終了時に最終的に残存している傾斜も大きかった。

3) 断面寸法の変化

- ① 3種類の乾燥法における断面寸法の変化を、第5表～第7表に示した。

- ②実験終了時点での収縮率は、生材の方が天然乾燥材、予備乾燥材と比較して大きかった。
- ③天然乾燥材と予備乾燥材との比較、および赤心材と黒心材との比較においては、断面寸法の変化に顕著な差は認められなかった。
- ④天然乾燥材と予備乾燥材の養生処理期間における無背割り面の寸法変化は平均で0.25%前後と小さかった。しかし、背割り面の寸法変化は、0.5~0.6%と大きかった。

4) 背割り幅の変化

- ①3種類の乾燥法における背割り幅の変化を、第8表に示した。
- ②養生処理期間における背割り幅は、天然乾燥材では増加し、生材と予備乾燥材では減少した。

5) 割れの発生量

各処理段階で含水率分布測定用試片を採取し、材長が試験開始時と比較して、高周波加熱減圧乾燥時で約15cm、養生処理時で約30cm短い状態であるため、各乾燥法において連続的に割れ量を考察することはできない。しかし、各処理終了段階における乾燥法間での比較は可能である。

- ①3種類の乾燥法における木口割れと材面割れの発生量を、第9表および第10表に示した。
- ②割れの発生量は、木口割れ、材面割れのいずれにおいても、生材、予備乾燥材、天然乾燥材の順で少なかった。

6) 狂いの発生量

各処理段階で含水率分布測定試片を採取しているため、狂いの発生量の考察においても、割れの場合と同様な配慮が必要である。

- ①3種類の乾燥法における曲がりとねじれの発生量を、第11表および第12表に示した。
- ②曲がり及びねじれの発生量には、乾燥法間で顕著な差は認められなかった。

4. まとめ

本年度の結果より、天然乾燥や予備乾燥と高周波加熱減圧乾燥法の組合わせ乾燥法に関する基礎的なデータを得た。しかし、今回のデータはのみでは、効率的な組み合わせ方法を検討するにはデータが不足している。

したがって、来年度も高周波加熱減圧乾燥法と天然乾燥法等の効率的な組み合わせ方法に関する研究を継続する。特に、効率のよい人工的な予備乾燥期間等について検討する。また、効率的な高周波加熱減圧乾燥条件を明らかにするため、高周波の発振を制御する被乾燥材の材温設定条件について検討する。

第1表 乾燥方法

処理工程	生 材		天然乾燥材		予備乾燥材	
	方法	期間	方法	期間	方法	期間
前 処 理	×	×	天然乾燥	28日	予備乾燥 (40℃, 80%)	14日
人工乾燥	高周波減圧	119時間	高周波減圧	44時間	高周波減圧	44時間
養生処理	屋外存置	56日	屋外存置	56日	調湿処理 (40℃, 80%)	56日

(注) ×は、処理を行っていない。

第2表 「生材」の乾燥経過

処理工程	赤心材			黒心材			平 均		
	平均 (%)	標準 偏差	変動 係数 (%)	平均 (%)	標準 偏差	変動 係数 (%)	平均 (%)	標準 偏差	変動 係数 (%)
前 処 理									
高周波減圧乾燥→	81.1	20.80	25.66	112.4	31.12	27.69	96.8	30.76	31.80
養生処理 →	10.2	1.31	12.87	10.7	1.67	15.63	10.4	1.52	14.59
	13.3	1.28	9.63	13.5	1.27	9.63	13.4	1.41	10.49

(注) 前処理は行っていない。

第3表 「天然乾燥材」の乾燥経過

処理工程	赤心材			黒心材			平 均		
	平均 (%)	標準 偏差	変動 係数 (%)	平均 (%)	標準 偏差	変動 係数 (%)	平均 (%)	標準 偏差	変動 係数 (%)
前 処 理 →	77.7	15.78	20.30	104.0	22.78	21.92	90.8	23.58	25.96
高周波減圧乾燥→	39.6	9.19	23.21	58.6	5.87	10.00	49.1	12.24	24.93
養生処理 →	18.9	3.82	20.25	27.7	6.07	21.96	23.3	6.71	28.88
	16.9	1.85	10.96	16.0	3.80	23.72	16.4	3.01	18.36

第4表 「予備乾燥材」の乾燥経過

処理工程	赤心材			黒心材			平均		
	平均 (%)	標準 偏差	変動 係数 (%)	平均 (%)	標準 偏差	変動 係数 (%)	平均 (%)	標準 偏差	変動 係数 (%)
前処理 →	73.2	11.97	16.36	98.6	16.47	16.71	85.7	19.21	22.37
高周波減圧乾燥 →	37.6	6.19	16.45	59.1	8.54	14.45	48.4	13.10	27.02
養生処理 →	18.3	3.01	16.43	29.0	6.11	21.05	23.7	7.21	30.46
	15.5	0.70	4.49	16.4	1.73	10.53	16.0	1.40	8.72

第5表 「生材」の乾燥に伴う断面寸法の変化

処理工程	材面	赤心材		黒心材		平均	
		平均 (%)	標準 偏差	平均 (%)	標準 偏差	平均 (%)	標準 偏差
前処理	無背割り面						
高周波乾燥 →	背割り面						
	無背割り面	3.13	0.249	3.67	0.296	3.40	0.387
養生処理 →	背割り面	-3.01	1.248	-1.15	1.138	-2.08	1.513
	無背割り面	2.71	0.225	3.13	0.175	2.92	0.291
	背割り面	-2.73	1.158	-0.90	1.167	-1.82	1.481

(注) 前処理は行っていない。

第6表 「天然乾燥材」の乾燥に伴う断面寸法の変化

処理工程	材面	赤心材		黒心材		平均	
		平均 (%)	標準 偏差	平均 (%)	標準 偏差	平均 (%)	標準 偏差
処理前 →	無背割り面	0.45	0.116	0.21	0.066	0.33	0.152
高周波乾燥 →	背割り面	-0.89	0.410	0.04	0.762	-0.43	0.767
	無背割り面	1.97	0.273	1.57	0.319	1.76	0.360
養生処理 →	背割り面	-1.32	1.119	-0.31	1.251	-0.81	1.291
	無背割り面	2.14	0.221	1.78	0.272	1.97	0.302
	背割り面	-2.11	0.628	-0.77	0.626	-1.44	0.918

第7表 「予備乾燥材」の乾燥に伴う断面寸法の変化

処理工程	材面	赤心材		黒心材		平均	
		平均 (%)	標準偏差	平均 (%)	標準偏差	平均 (%)	標準偏差
前処理 →	無背割り面	0.45	0.071	0.23	0.072	0.34	0.131
	背割り面	-0.99	0.266	-0.41	0.228	-0.70	0.380
高周波乾燥 →	無背割り面	1.56	0.278	1.52	0.301	1.54	0.291
	背割り面	-1.40	1.084	-1.39	0.960	-1.39	1.024
養生処理 →	無背割り面	1.76	0.124	1.81	0.183	1.79	0.158
	背割り面	-1.37	0.058	-0.35	0.792	-0.86	0.758

第8表 乾燥に伴う背割り幅の推移

処理工程	生材			天然乾燥材			予備乾燥材		
	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)
前処理				3.6	3.8	3.7	3.6	3.8	3.7
高周波減圧乾燥 →	3.5	4.2	3.8	5.6	4.9	5.3	5.9	5.0	5.4
養生処理 →	11.5	8.7	10.1	7.9	7.0	7.5	8.6	6.5	7.6
	10.1	7.4	8.8	8.5	7.4	7.9	7.7	6.3	7.0

(注) 生材の前処理は行っていない。

第9表 乾燥に伴う木口割れの発生量

処理工程	生材			天然乾燥材			予備乾燥材		
	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)
前処理				0	0	0	0	0	0
高周波減圧乾燥 →	0	0	0	134.8	130.3	132.5	68.8	65.8	67.3
養生処理 →	0	76.0	38.0	44.8	388.3	216.5	78.0	83.8	80.9
	34.3	13.5	23.9	0	346.0	173.0	0	70.0	35.0

(注) 生材の前処理は行っていない。

第10表 乾燥に伴う材面割れの発生量

処理工程	生 材			天然乾燥材			予備乾燥材		
	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)
前 処 理				0	0	0	0	0	0
高周波減圧乾燥→	0	10.0	5.0	430.5	238.8	334.6	104.3	143.0	123.6
養生処理 →	0	122.3	61.1	462.5	309.5	306.3	117.0	209.5	163.3
	34.3	119.8	77.0	372.8	306.3	339.5	72.0	213.8	142.9

(注) 生材の前処理は行っていない。

第11表 乾燥に伴う曲がりの発生量

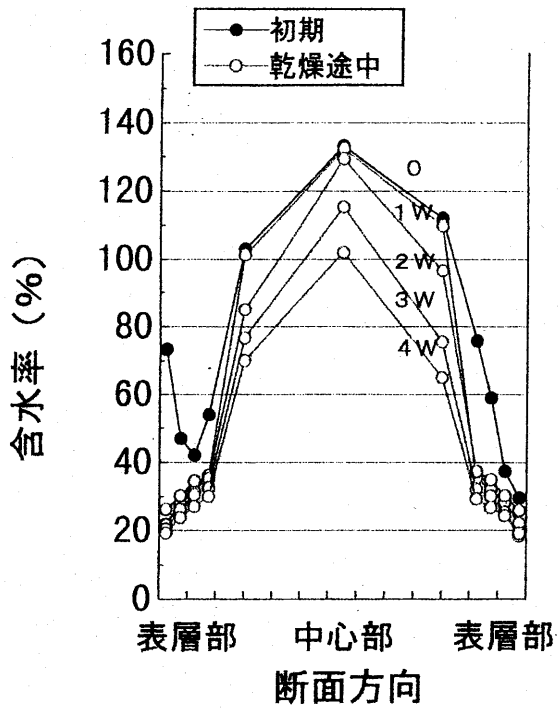
処理工程	生 材			天然乾燥材			予備乾燥材		
	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)
前 処 理				0.88	0.63	0.75	1.13	0.34	0.75
高周波減圧乾燥→	0.38	1.13	0.75	0.78	0.73	0.75	0.78	0.45	0.62
養生処理 →	0.85	1.48	1.16	0.58	0.63	0.60	0.88	0.50	0.69
	0.90	1.13	1.01	0.63	0.75	0.69	0.83	0.50	0.67

(注) 生材の前処理は行っていない。

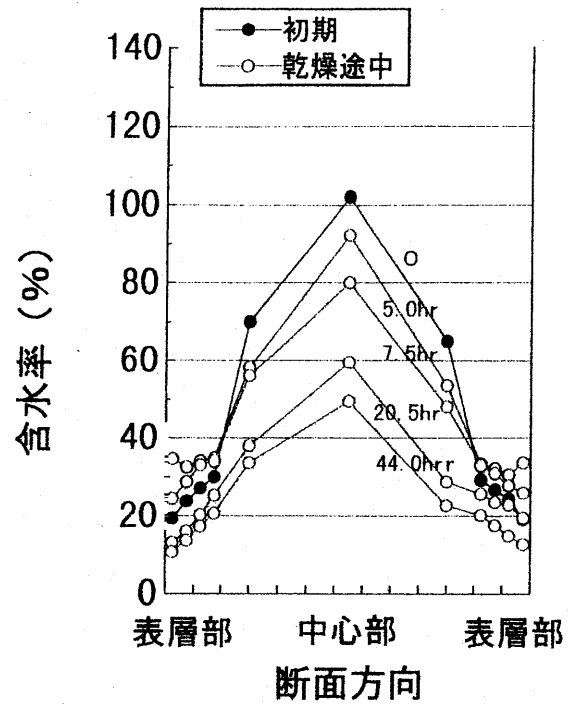
第12表 乾燥に伴うねじれの発生量

処理工程	生 材			天然乾燥材			予備乾燥材		
	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)	赤心 (mm)	黒心 (mm)	平均 (mm)
前 処 理				0.50	0.38	0.44	0.50	0.63	0.56
高周波減圧乾燥→	0.34	0.25	0.32	1.00	0.63	0.82	0.63	2.00	1.94
養生処理 →	1.88	1.63	1.75	0.88	1.34	1.13	1.38	1.25	1.32
	1.50	1.63	1.56	1.63	1.75	1.69	1.38	1.13	1.25

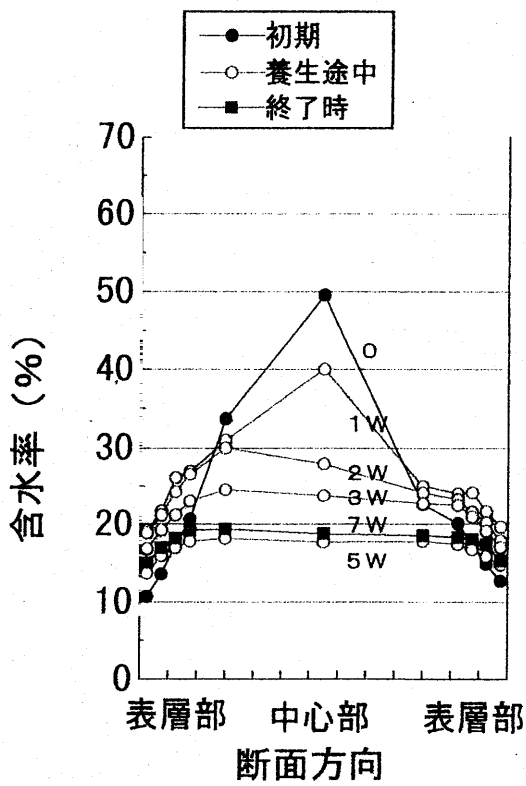
(注) 生材の前処理は行っていない。



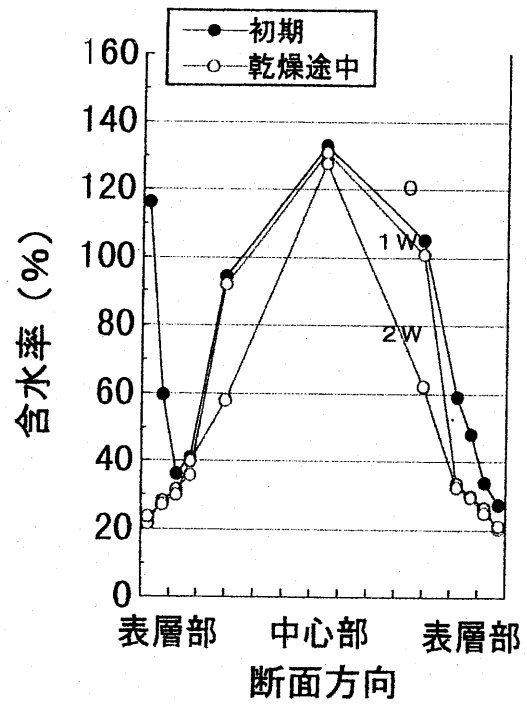
第1図 天然乾燥材(赤心材)の前処理期間の水分分布の変化



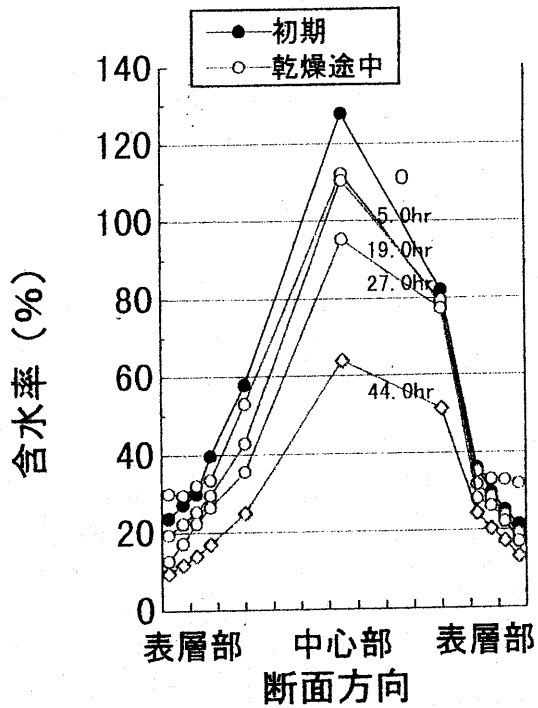
第2図 天然乾燥材(赤心材)の人工乾燥期間の水分分布の変化



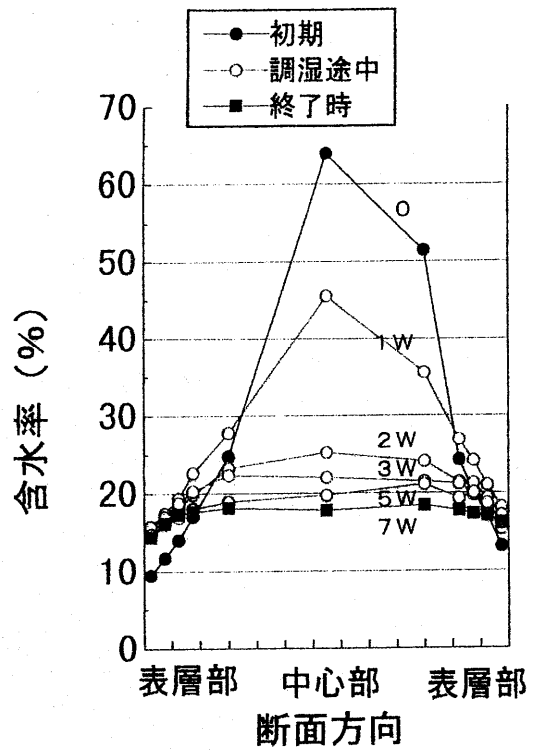
第3図 天然乾燥材(赤心材)の養生期間の水分分布の変化



第4図 予備乾燥材(赤心材)の前処理期間の水分分布の変化



第5図 予備乾燥材(赤心材)の人工乾燥期間の水分分布の変化



第6図 予備乾燥材(赤心材)の調湿期間の水分分布の変化