

スギ人工乾燥の低コスト化に関する研究

(県単課題 平成 12 年～平成 15 年度)

水野 俊一
高橋 宏成

目 次

要旨

はじめに	2
乾燥前の材料選別による人工乾燥試験	2
1 目的	2
2 材料および方法	2
3 結果と考察	3
人工乾燥前の予備乾燥(天然乾燥)試験	5
1 目的	5
2 材料および方法	5
3 結果と考察	6
前処理による乾燥促進試験	7
1 目的	7
2 材料および方法	7
(1)蒸煮処理時間による検討	7
(2)蒸煮処理および蒸煮処理後の高温低湿処理による検討	7
(3)インサイジングによる検討	8
3 結果と考察	8
(1)蒸煮処理時間による検討	8
(2)蒸煮処理および蒸煮処理後の高温低湿処理による検討	8
(3)インサイジングによる検討	9
高温低湿処理による天然乾燥中の表面割れ抑制試験	9
1 目的	9
2 材料および方法	10
3 結果と考察	10
おわりに	10
参考文献	11

受理日 平成 16 年 5 月 31 日

現経営支援領域

要 旨

スギ人工乾燥の低コスト化を図るため、材料の乾燥前の重量（生材密度）による選別および天然乾燥との併用によるスギ心持ち柱材の乾燥性について検討した。

その結果、材の選別による仕上がり含水率の均一化、天然乾燥の併用による乾燥時間短縮効果が認められ、製品歩留まり向上および直接費削減による低コストの乾燥材生産体系確立の可能性が示唆された。

また、乾燥促進（材の水分透過性促進）を目的とし、前処理としての蒸煮処理や高温低湿処理、インサイジングについて検討したが、処理時間および処理方法による乾燥速度の向上効果は認められなかった。しかし、高温低湿処理によって、表面割れが抑制できること、また、含水率のばらつきが小さくなる傾向を示したことから、天然乾燥前や人工乾燥初期に高温低湿処理を実施することにより、品質管理手段の一つとして有効であると考えられた。

はじめに

近年、未乾燥材を使用した場合のトラブル、クレーム¹⁾を防ぐため、また、平成12年の「住宅の品質確保の促進等に関する法律」の施行等により、木造住宅の構造材には、寸法精度の高い乾燥材の使用が不可欠となってきた。

しかし、県産主要樹種であるスギは初期含水率が高く、そのばらつきも大きいため²⁾、乾燥時間を長期間必要とし、均一な仕上がり含水率を得ることが難しい。さらに、安価な乾燥された外材の進出等により、材価に乾燥コスト分を反映させることが困難な状況にある。

そこで、スギのなかでも乾燥が難しい心持ちの柱材について、低コストの乾燥材生産体系を確立し、県内における乾燥材の生産割合を高めるため、人工乾燥前の重量による材料選別や、天然乾燥の併用によるコスト削減効果について検討した。

生産規模や目標とする仕上がり含水率などによっても異なるが、一般的な蒸気式乾燥の場合、乾燥コスト（直接費）に占める灯油代と電気代等の燃料費の割合は4割程度と試算されており³⁾、今回はとくに、燃料費の削減と、仕上がり含水率の均一化による製品歩留まりの向上を目指した。

乾燥前の材料選別による人工乾燥試験

1 目的

人工乾燥前に材料の重量を測定し、生材密度による選別を行った後に、人工乾燥に供試することにより、選別されたロット別の乾燥時間の把握と、仕上がり含水率のばらつきの把握を目的とする。

2 材料および方法

供試材

115 mm正角 3 mに製材した無背割りの県産スギ心持ち柱材 300本

試験方法

すべての供試材について、寸法、初期重量を測定し、重量（生材密度）の小さい順に、約60本ずつ5つのロットに選別した（写真 - 1）

なお、ロット名を生材密度の小さい方から順にA、B、C、D、Eとした。

これらのロットについて、容量 10 石 (約 2.8m³) の蒸気式 I F 型人工乾燥装置 (株新柴設備製 SK - IF10LHP) を用いて、表 - 1 に示す含水率制御スケジュールを適用し、人工乾燥を行った。なお、栈木間隔は 60 cm とし、栈積み上部に重さ 1 トンの重垂を載荷した (写真 - 2)。

含水率監視用試験材は、それぞれのロットの平均重量に近い個体 2 本から採取し、乾燥期間中定期的に重量を測定し、含水率を推定した。これらの推定含水率が 20% を下回るまで人工乾燥機を運転し、ロット毎の乾燥時間および灯油使用量を調査した。

人工乾燥終了後、2 週間 ~ 1 ヶ月程度の養生期間を設け、修正挽きを行い曲げ試験に供試した後、非破壊箇所から試験片 2 枚を採取し、全乾法により仕上がり含水率を測定した (図 - 1)。

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推定し、初期、乾燥前後、修正挽き前後の含水率を、それぞれの時点の重量により推定した。

表 - 1 人工乾燥スケジュール

含水率(%)	乾球温度()	湿球温度()	温度差()	備考
M.C.	DBT	WBT	WBD	
	85	85	0	初期蒸煮(12hr)
~ 85	60	56	4	
~ 60	62	56	6	
~ 45	64	56	8	
~ 35	66	56	10	
~ 30	68	56	12	
~ 20	70	55	15	



写真 - 1 材の選別作業



写真 - 2 人工乾燥機と供試材

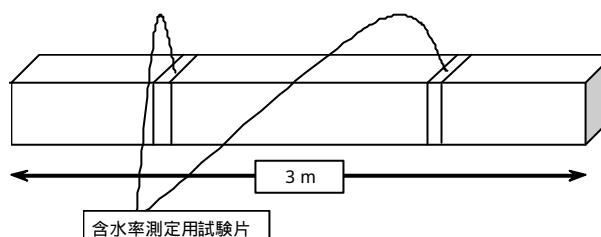


図 - 1 全乾法含水率測定用試験片の採取位置

3 結果と考察

図 - 2 に、スギ柱材 300 本の生材時初期重量の分布を、表 - 2 に選別したロット毎の重量を示す。平均重量は 25.4kg であったが、重量の最小値は 17.3kg、最大値は 37.6kg であり、最小値と最大値では 2 倍以上の重量差があった。

また、右に裾の長い分布形となり、重量が平均付近の材に合わせたスケジュールで運転した場合、未乾燥材が多く発生することが予想された。

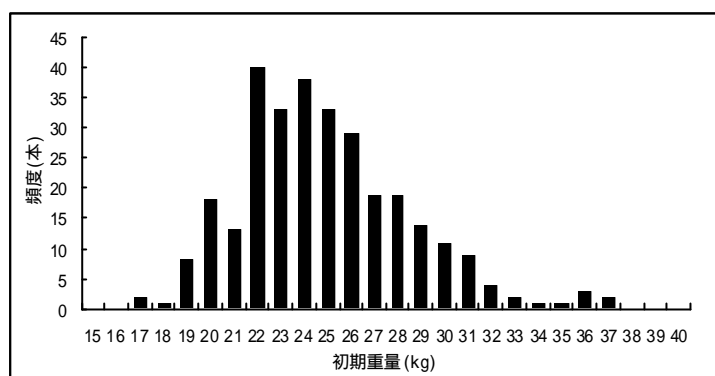


図 - 2 生材時初期重量のヒストグラム

表 - 2 ロット毎の生材時初期重量

項目 \ ロット名	A	B	C	D	E	全体
供試本数	56	60	63	60	61	300
平均値	20.9	23.1	25.0	26.8	30.8	25.4
重量(kg) (標準偏差)	(1.23)	(0.72)	(0.74)	(1.01)	(2.42)	(3.60)
最小値	17.3	22.0	22.8	24.7	27.0	17.3
最大値	22.8	25.1	26.6	28.9	37.6	37.6

図 - 3 にそれぞれのロットの含水率 20%までの乾燥傾向を示す。

最軽量のロット A では、20%までの乾燥時間は約 150 時間であり、一般的な中温乾燥での乾燥時間 (14 日)³⁾ に比べ大幅に短縮した。しかし、最重量のロット E ではロット A の 4 倍以上の約 660 時間を要した。また、重量が中庸なロット B ~ D では、いずれも 300 時間前後であった。

選別を行わずに乾燥した場合、図 - 3 より、300 時間付近の含水率は、ロット A に含まれる材では過乾燥となることが予想され、ロット E に含まれる材では 50% 前後であることから、非常にばらつきが大きくなると考えられる。

乾燥傾向については、乾燥当初はいずれのロットとも同様の乾燥曲線を描くが、ロット D およびロット E は他のロットと比較して、徐々に描く弧が緩やかになった (乾燥速度が緩慢になった)。

灯油使用量についても、ロット A が最も少なく、ロット B ~ D がその 2 倍、ロット E ではさらにその 2 倍 (ロット A の 4 倍) 程度となった。

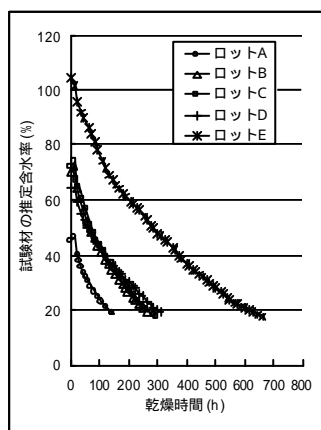


図 - 3 ロット毎の乾燥傾向

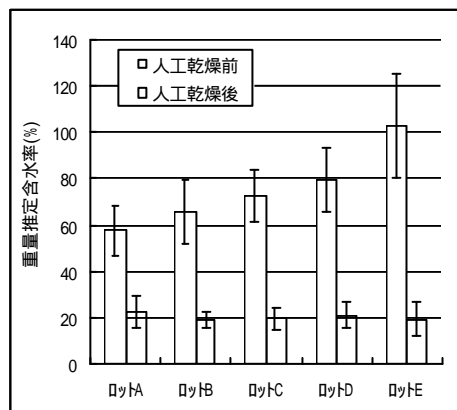


図 - 4 ロット毎の乾燥前後の含水率変化

図 - 4 にロット毎の乾燥前後の含水率変化を示す。

乾燥後の含水率は各ロットとも目標含水率の 20% 近辺でほぼ均一となり、乾燥前に比べ、ばらつきも小さくなった。

以上のことから、人工乾燥前に、重量（生材密度）による選別作業を組み込み、それぞれのロットに合わせた乾燥スケジュールを適用することにより、初期含水率のばらつきが抑えられ、仕上がり含水率が均一になることが明らかとなった。また、軽量材であれば乾燥時間が大幅に短縮できることから、品質（含水率）管理と乾燥時間短縮の面からコスト削減に有効であると考えられた。

人工乾燥前の予備乾燥（天然乾燥）試験

1 目的

あらかじめ天然乾燥によって含水率をある程度低下させた後に、人工乾燥に供試することで、人工乾燥時間の短縮効果およびそれに伴う燃料費の削減効果の把握を目的とする。

2 材料および方法

供試材

115 mm 正角 3 m に製材した無背割りの県産スギ心持ち柱材 192 本

試験方法

すべての供試材について、寸法、初期重量を測定し、生材密度により軽量材（密度 0.50 未満）40 本、中量材（密度 0.50 ~ 0.74 未満）110 本、重量材（密度 0.74 以上）42 本に選別した。

軽量材については、すべて天然乾燥に供し、重量材については、軽量材の初期重量程度になるまで天然乾燥に供した後、人工乾燥に供した。

また、中量材については、無作為に a) 生材から人工乾燥に供試するロット 37 本、b) 天然乾燥 1 ヶ月後に人工乾燥に供試するロット 37 本、c) 天然乾燥 2 ヶ月後に人工乾燥に供試するロット 36 本の 3 ロットに選別した。

天然乾燥期間中は定期的に重量測定を行った。また、人工乾燥は、前出の蒸気式 I F 型人工乾燥装置を用いて、表 - 1 に示した含水率制御スケジュールを適用し、含水率監視用試験材の含水率が 20% を下回るまで運転を行い、ロット毎の乾燥時間を調査した。なお、天然乾燥は 8 月上旬から屋外で実施した（写真 - 3）。

乾燥終了後は、先の試験同様、曲げ試験に供試した後、全乾法により仕上がり含水率を測定し、初期、天然乾燥期間中、人工乾燥前後、修正挽き前後の含水率を、それぞれの時点の重量により推定した。



写真 - 3 天然乾燥状況

3 結果と考察

軽量材と重量材の乾燥傾向を図 - 5 に示す。

軽量材は 2 ~ 3 ヶ月程度の天然乾燥でほぼ平衡に達した。

重量材は軽量材の初期重量程度に達するまで、3 ヶ月程度要したが、その後の人工乾燥では、200 時間強で含水率 20% に達したことから、生材から直接人工乾燥した場合 (2 . の試験、ロット E : 約 660 時間) に比較して、人工乾燥時間は大幅に短縮した。

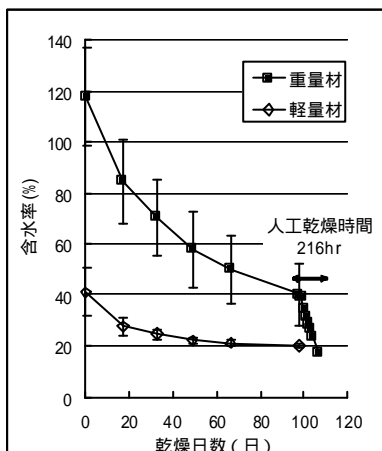


図 - 5 軽量材および重量材ロットの乾燥傾向

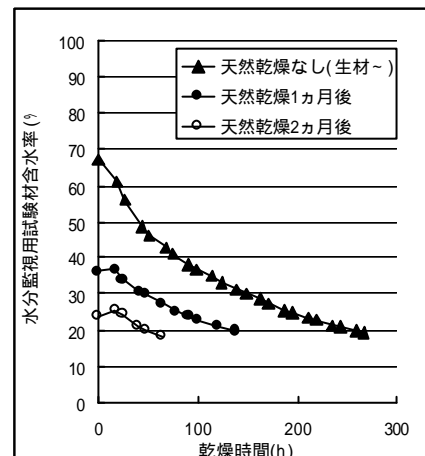


図 - 6 天然乾燥期間の違いによる人工乾燥傾向

図 - 6 に中量材における天然乾燥期間の違いによる人工乾燥傾向を示す。

含水率 20% までの所要時間は、生材から人工乾燥に供したロットでは、およそ 270 時間であったが、天然乾燥 1 ヶ月後に人工乾燥したロットでは約 1 / 2 (137 時間) に短縮し、天然乾燥 2 ヶ月後に人工乾燥したロットでは約 1 / 4 (64 時間) にまで短縮した。

以上のことから、人工乾燥前に生材密度による選別を行い、更に天然乾燥を組み合わせることによって、人工乾燥時間を大幅に削減できることが明らかとなり、天然乾燥の併用が、直接費 (燃料費) 削減の面から有効であると考えられた。

とくに、重量材については人工乾燥のみの場合では、1 ヶ月程度乾燥機を運転し続けなくてはな

らないことから、現実的には予備乾燥が必要となり、予備乾燥としては天然乾燥がコストの面から有効であると考えられた。

また、選別したロット毎の天然乾燥傾向が明らかとなり、先の試験で明らかとなったロット毎の人工乾燥時間と組み合わせることにより、天然乾燥を併用したスケジュールの組み立てについても可能になると考えられた。

前処理による乾燥促進試験

1 目的

重量選別および天然乾燥の併用により、乾燥材生産に係るコスト削減が示唆されたが、天然乾燥期間を短縮し、効率的に人工乾燥機を稼働させるため、天然乾燥前に前処理を施し、天然乾燥期間中の乾燥速度を上昇させることを目的とする。

2 材料および方法

(1) 蒸煮処理時間による検討

供試材

115 mm正角 3 mに製材した無背割りの県産スギ心持ち柱材 108 本
(生材密度により選別した中量材)

試験方法

上記供試材について、それぞれの重量の平均値やばらつきがほぼ等しくなるように、a)生材から天然乾燥に供試するロット 36 本、b)材内に熱電対を挿入し、材内温度を監視しながら、材中心部の温度が 85 に達するまで蒸煮処理した後、天然乾燥に供試するロット 36 本、c)材内に熱電対を挿入し、材内温度を監視しながら、材中心部の温度が 85 に達してから 12 時間蒸煮処理した後、天然乾燥に供試するロット 36 本、の 3 ロットに選別した。各ロットとも定期的に重量を測定しながら、100 日程度の天然乾燥に供試した。

なお、蒸煮処理は蒸気式 I F 型人工乾燥装置を用いて行い、天然乾燥は屋外で 8 月下旬から約 3 カ月実施した。

乾燥終了後、曲げ試験に供試し、全乾法により仕上がり含水率を測定し、初期、天然乾燥期間中、修正挽き前後の含水率をそれぞれ推定した。

(2) 蒸煮処理および蒸煮処理後の高温低湿処理による検討

供試材

115 mm正角 3 mに製材した無背割りの県産スギ心持ち柱材 117 本
(生材密度により選別した中量材)

試験方法

上記供試材について、それぞれの重量の平均値やばらつきがほぼ等しくなるように、a)生材から天然乾燥に供試するロット 37 本、b)95 12hr の蒸煮処理後に天然乾燥に供試するロット 40 本と、c)85 6 hr の蒸煮処理後に DBT110 - WBT70 の条件で 24hr の高温低湿処理を施した後、天然乾燥に供試するロット 40 本に選別した。各ロットとも定期的に重量を測定しながら、100 日程度の天然

乾燥に供試した。

なお、各処理は蒸気式 I F 型人工乾燥装置を用いて行い、天然乾燥は 8 月上旬から屋外で実施した。

乾燥終了後、曲げ試験に供試し、全乾法により仕上がり含水率を測定し、初期、天然乾燥期間中、修正挽き前後の含水率をそれぞれ推定した。

(3) インサイジングによる検討

供試材

115 mm 正角 3 m に製材した無背割りの県産スギ心持ち柱材 5 本

試験方法

上記供試材について、長さ方向で 2 等分し、一方は無処理で、他方はインサイジング (約 4,500 個/m²) を施した後、12 月中旬から定期的に重量を測定しながら、屋内で約 2 ヶ月の天然乾燥に供試した。

3 結果と考察

(1) 蒸煮処理時間による検討

図 - 7 に処理別の天然乾燥傾向を示す。

処理の有無、また、蒸煮時間の長短による天然乾燥傾向に差は見られなかった。

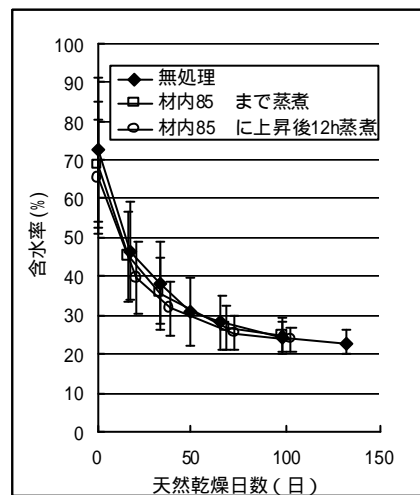


図 - 7 処理別の天然乾燥傾向

(2) 蒸煮処理および蒸煮処理後の高温低湿処理による検討

図 - 8 に処理別の天然乾燥傾向を示す。

蒸煮後に 24hr の高温低湿処理を施すことにより、含水率は蒸煮のみのロットに比べ、大きく減少するが、徐々にその差は縮まり、100 日後にはほぼ同程度となった。

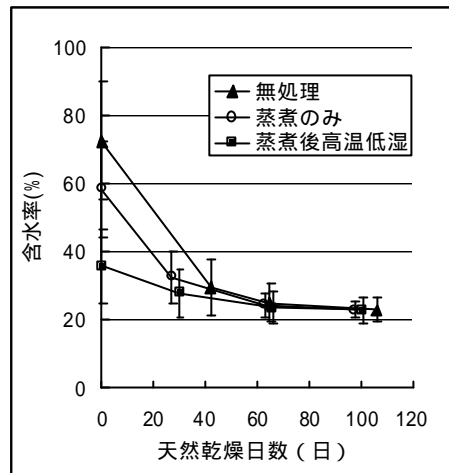


図 - 8 処理別の天然乾燥傾向

(3) インサイジングによる検討

図 - 9 に処理の有無による天然乾燥前後の含水率変化を示す。
処理の有無による差は認められなかった。

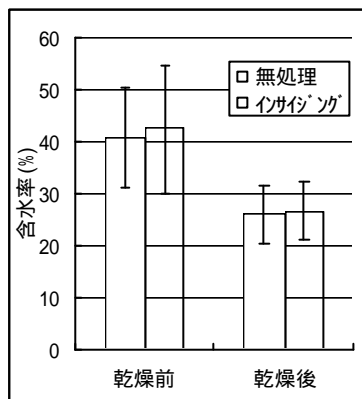


図 - 9 処理別の天然乾燥前後の含水率変化

以上のことから、蒸煮処理および蒸煮処理後の高温低湿処理は、天然乾燥中における乾燥速度の向上には寄与しないことが明らかとなった。むしろ、高温低湿処理を施した場合、材表面層部にドラインゲットが形成され、材表面からの水分蒸散が抑えられるため⁴⁾、蒸煮のみのロットよりも乾燥速度が低下する可能性があった。しかし、他のロットに比較して、含水率のばらつきが抑えられる傾向を示した。

また、インサイジングによる含水率の減少や、ばらつきの抑制について効果は認められなかった。

高温低湿処理による天然乾燥中の表面割れ抑制試験

1 目的

天然乾燥における重要な問題の一つに、表面割れの発生が顕著であることが挙げられる。

近年、高温低湿処理による表面割れの抑制効果について報告されているが⁵⁾、処理条件については、未だ不明な点も多いため、今回は処理時間の違いによる割れ発生状況の把握を目的とする。

2 材料および方法

供試材

115 mm正角 3 mに製材した無背割りの県産スギ心持ち柱材 89 本

試験方法

上記供試材を、それぞれの重量の平均値やばらつきがほぼ等しくなるように、a)無処理 30 本、b) 蒸煮処理 95 4 hr 高温低湿処理 DBT110 -WBT70 12hr 後に天然乾燥に供試するロット 30 本、c) 蒸煮処理 95 8 hr 高温低湿処理 DBT110 -WBT70 24hr 後に天然乾燥に供試するロット 29 本、の 3 ロットに選別し、約 150 日間の天然乾燥に供試した。

なお、各処理は蒸気式 I F 型人工乾燥装置を用いて行い、天然乾燥は屋外で 6 月末から実施した。表面割れは、木口面を除く 4 材面すべての割れの長さをコンベックスにより測定した。

3 結果と考察

図 - 10 に乾燥後の全供試材の順位化した表面割れ長さの合計を示す。

蒸煮後に高温低湿処理を施したロットの表面割れは、無処理ロットに比較して大幅に減少し、より処理時間が長いロットほど、割れが少なくなる傾向を示したが、顕著な差は認められなかった。

また、高温乾燥で問題となる内部割れについては、高温低湿処理後は比較的條件の緩やかな天然乾燥に移行したためか、確認できなかった。

以上のことから、天然乾燥前の蒸煮処理および高温低湿処理によって、天然乾燥中の表面割れが抑制できたが、処理時間の長さによる顕著な差は認められなかった。

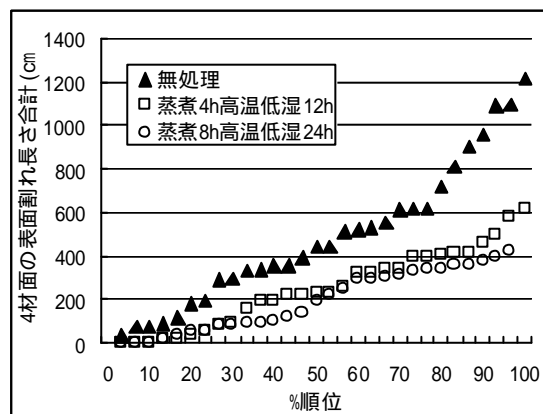


図 - 10 順位化した表面割れ長さの合計

おわりに

本研究において以下の知見を得た。

- ・乾燥前に、重量（密度）選別をすることにより、乾燥時間が短縮するとともに仕上がり含水率のばらつきが抑制された。
- ・天然乾燥を併用することにより、人工乾燥時間が短縮した。
- ・蒸煮処理や高温低湿処理、インサイジングによって天然乾燥速度は上昇しなかった。
- ・蒸煮後に高温低湿処理を施すことによって、表面割れ抑制効果および含水率のばらつきを抑制する効果が認められた。

以上のことから、乾燥工程に重量(密度)選別と、天然乾燥(予備乾燥)を組み込むことにより、製品歩留まりの向上と、燃料費削減による、人工乾燥の低コスト化が示唆された。

また、蒸煮後の高温低湿処理は、表面割れの抑制および含水率のばらつきを抑制する効果が認められることから、天然乾燥前あるいは人工乾燥初期に実施することが有効であると考えられた。

最後に、本研究で実施した試験条件における燃料費および所要期間を表 - 3 に示す。

使用した乾燥機は容量が小さく、人工乾燥機の運転時間 1 時間あたりの燃料費は 5,000 ~ 6,000 円程度であり、事業用の一般的な蒸気式乾燥機と比較してかなり割高となったため、燃料費について相対的に比較した。

表 - 3 各条件の燃料費および乾燥所要期間

重量による選別	天乾併用の有無	燃料費(円)			所要期間(日)			蒸煮 8hr 高温低湿24hr
		灯油使用量 x45円	電気代	合計	天乾日数	人乾時間 ÷24hr	合計	
軽量材	人工乾燥のみ	23,191	11,840	35,031	-	6.2	6.2	燃料費 11,785円
	天然乾燥併用(のみ)	0	0	0	98	-	98.0	
中量材	人工乾燥のみ	39,060	21,360	60,420	-	11.1	11.1	うち 灯油代 9,225円 電気代 2,560円
	天然乾燥併用(1ヵ月)	19,440	10,960	30,400	40	5.7	45.7	
	天然乾燥併用(2ヵ月)	11,070	5,120	16,190	73	2.7	75.7	
重量材	人工乾燥のみ	92,689	52,960	145,649	-	27.6	27.6	
	天然乾燥併用(3ヵ月)	43,515	17,280	60,795	98	9.0	107.0	

例えば、中量材では、1ヵ月の天然乾燥後に人工乾燥することで、生材から人工乾燥した場合の約半分、2ヵ月の天然乾燥後ではおよそ1/4となり、人工乾燥時間に対応していた。

しかし、これらの値は季節や、材の出現分布・選別基準が異なれば、変動すると考えられる。

また、この他にも、乾燥コストには、直接経費として設備償却、人件費等が、間接経費として土地・建物、歩留まり損失、加工費等が挙げられ⁶⁾、とくに、天然乾燥では、ある程度の規模の土地や、材をストックしておくための資金等の間接経費を多く見込む必要がある。

低コストの乾燥材生産体系を確立するためには、これらの要素も考慮しつつ、各事業所の特性に応じた組合せを検討していくことが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 河崎弥生ら：木造住宅における製材品の上棟後の寸法変化と発生したトラブル - 乾燥材と未乾燥材の比較 - ，木材工業 Vol.55, No. 2 (2000)
- 2) 寺澤眞：木材乾燥のすべて，海青社，282 (1994)
- 3) (社) 全国木材組合連合会：わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル，13 - 14 (2000)
- 4) 蛭原啓文ら：第 52 回日本木材学会研究発表要旨集，137 (2002)
- 5) 吉田孝久、橋爪丈夫：カラマツ及びスギ心持ち柱材の高温乾燥特性 - 高温低湿乾燥条件が乾燥特性に及ぼす影響と曲げ強度性能 - ，長野県林業総合センター研究報告，3 - 18 (2000)
- 6) (財) 日本住宅・木材技術センター：建築用針葉樹材の乾燥に関する資料集()，31 (2000)