

# 簡易乾燥施設によるスギ乾燥方法に関する研究

Study of Drying method of sugi with simple drying facility

工藤康夫・町田初男・山上 守\*・加藤 光則\*・高橋 辰也\*

## I はじめに

近年、「建築基準法」の改正や「住宅の品質確保の促進等に関する法律」の制定、また、プレカット加工などによる工期の短縮化、品質管理に対するユーザーからの評価がより厳しくなっている等の背景から、建築用材の乾燥は必須条件となっている。しかし、国内で最も多く普及している蒸気式乾燥機は、比較的廉価なものであっても設置費用に1千万円以上を要する。中小規模の製材工場にとっては機材の導入だけでなく、運転にかかる費用、減価償却面での経費負担が大きいこともあり、これらの事業体では天然乾燥による乾燥が主流となっている。天然乾燥は木材本来の色や艶を損なわず、乾燥にかかる経費が少なく環境負荷が小さい等の利点があり、天然乾燥材を住宅部材に使用していることを積極的にセールスポイントとしているハウスメーカーも多い。その一方で天然乾燥は乾燥終了までに長い月数を要するため、納品対応が困難になるケースが見られることや、気候や気象条件に左右され品質管理が難しい等の欠点がある。

そこで、天然乾燥の利点を保ちながらも、天然乾燥に比べて乾燥時間を大幅に短縮し、かつ蒸気乾燥機による人工乾燥と比べて設置と運転にかかる費用を抑え、中小製材工場でも導入が容易となることを目的とした簡易な木材乾燥施設（以下、乾燥施設と呼ぶ）を有限会社石山不動産が製作し、林業試験場との共同研究により、これを用いた木材乾燥試験を実施した。

## II 材料及び方法

### 1 乾燥施設の概要

当該乾燥施設（図-1）は、木屑焼却炉の冷却水を循環し、熱交換器を介して乾燥室内の空気を加熱する。工場が無人となる夜間や休日は安全面、防犯面等を考慮して循環加温ヒートポンプ（東芝製CAONS140、加熱能力14kw）により循環水と乾燥室の室内温度を維持することとして設計と製作を行った（図-2）。なお、熱による材色変化を防止するため、循環加温ヒートポンプの上限温度制御機能により乾燥室内部の最高温度を45℃とした。なお、焼却炉は炉床面積が45m<sup>2</sup>で燃焼能力45kg/hである。また、乾燥室は木造軸組構法で床面積10m<sup>2</sup>、容量は約24m<sup>3</sup>であり、その他構造、仕様の詳細は図-3のとおりである。乾湿球温度の制御機能は備えておらず、乾燥室内の自然対流による空気の攪拌と、構造上の空隙から生じる吸排気を考慮してファン及び吸排気用のダクトは備えていない。



図-1 乾燥施設外観

\* 有限会社石山不動産

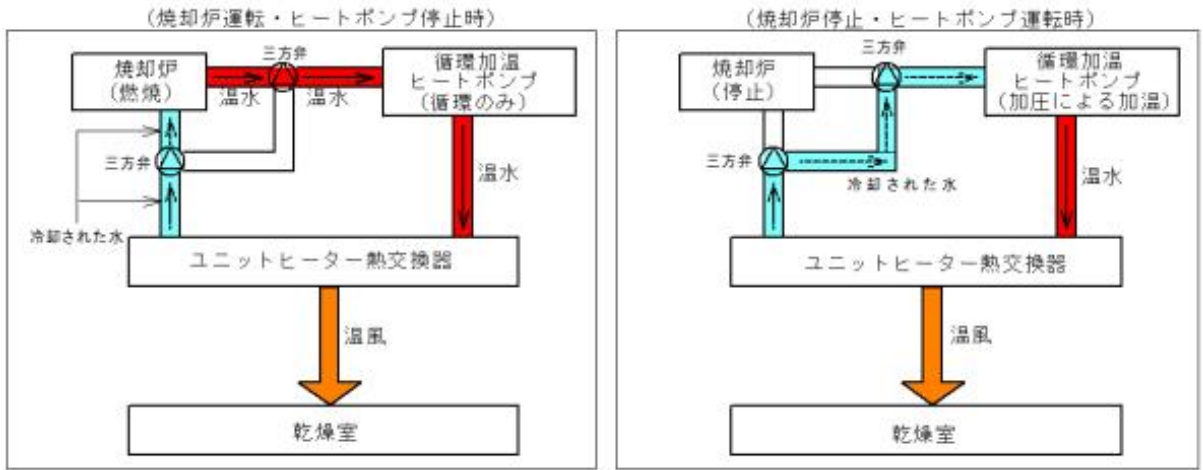
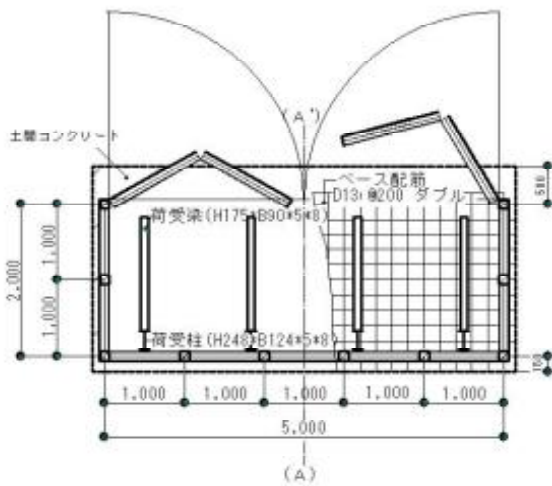
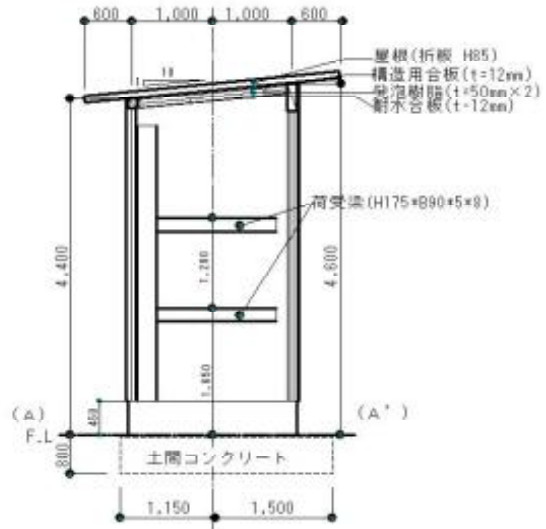


図-2 乾燥施設システム概略図

平面図 (縮尺 1/100)



A-A' 断面図 (縮尺 1/100)



壁仕上図 (縮尺 1/10)

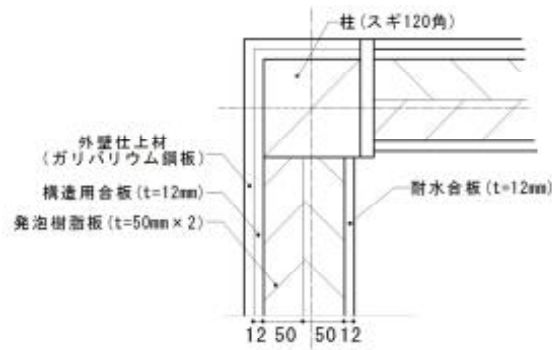


図-3 乾燥室詳細図

## 2 試験運転

スギ板材（厚さ33mm、幅130mm、長さ4,000mm）とスギ柱材（130mm角、長さ4,000mm）の未乾燥材計2.21m<sup>3</sup>を積積した状態（積木厚24mm）で乾燥室に入れて試験運転を開始した。試験運転期間中、焼却炉、ヒートポンプの昇温能力、温度維持能力を確認するため、表-1の試験運転スケジュールのとおり焼却炉及びヒートポンプを間欠運転した。なお、焼却炉の運転時間は9時から16時までとした。乾燥施設の運転中は継続的に図-4のとおり設置した計測点における乾燥室内部の湿球温度（計測点⑨と⑩の平均値）と、乾球温度（計測点①～⑧の平均値）をK熱電対とデータロガー（キーエンス製NR250）を用いて運転期間中1時間ごとに測定し関係湿度と木材平衡含水率を求めた。また、この乾燥施設は前述したとおりファンや吸排気用のダクトを装備していないことから、乾燥室内に発生する温度むらを確認するため、床面からの各高さ（計測点①②の平均、計測点⑤⑥の平均、計測点③④の平均、及び計測点⑦⑧の平均）の同時刻の乾球温度を比較した。

表-1 乾燥施設試験運転スケジュール

	焼却炉燃焼	ヒートポンプ運転
2015年		
11月16日(月)	×	×
11月17日(火)	○	×
11月18日(水)	×	×
11月19日(木)	○	○
11月20日(金)	○	○
11月21日(土)	×	○
11月22日(日)	×	×
11月23日(月)	×	×
11月24日(火)	データ回収	

※ 焼却炉の運転時間は午前9時から午後4時まで

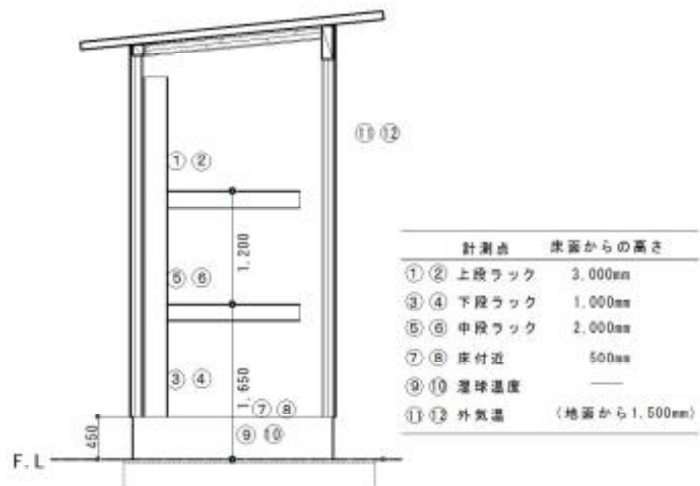


図-4 温度計測点位置図

## 2 板材乾燥試験

未乾燥の幅130mm×厚さ33mm×長さ4,000mmの群馬県産スギ板材の重量を測定した後、乾燥施設の中段ラックに格納（積木厚24mm、錘無し）して表-2のとおり乾燥試験を行った。外気温による乾燥室内温度への影響を考慮し、夏期（7月）と寒冷期（3月）にそれぞれ実施した。夏期は夜間の乾燥室内温度が大きく低下することが無いためヒートポンプを運転せず、乾燥施設の熱源は週に2日または3日の9時から16時まで運転する焼却炉だけとした。一方、寒冷期は温度が大幅に低下する恐れがあるため、焼却炉のほかヒートポンプを連続して運転し、焼却炉停止時も乾燥室内の温度を維持することとした。さらに、6月から7月に実施した天然乾燥を比較対照とした。

夏期、寒冷期のいずれも乾燥試験実施中はK熱電対とデータロガーを用いて試験運転同様乾燥室内部の乾球温度と湿球温度を継続的に測定して関係湿度を求めた。また、仕上含水率は15%を目標とし、全試験体の平均含水率が15%以下に達した時点で試験終了とした。乾燥期間中は概ね10日ごとに全試験体の重量を測定した上、乾燥終了後に全乾重量法により含水率を測定した。

また、併せて反りと曲がり进行评估した。反りと曲がりの評価は、試験体をそれぞれ長さ1,820mmに切断後、手押し鉋盤により仮の基準面を決定し、さらに自動一面鉋版により両面を削り幅120mm、厚

さ30mmの寸法に仕上げた後、表－3の評価方法によりSからCまでの4段階に類別した。ただし、仕上含水率が目標含水率より著しく高い（20%を越える）ものについては、評価対象から除外した。

表－2 板材乾燥試験

試験別	産地・樹種	寸法(mm)	数量	乾燥期間	備考
簡易乾燥(夏期)	群馬県産スギ	厚33×幅130×長さ4,000	40	2016年7月1日～7月21日	ヒートポンプ運転無
簡易乾燥(寒冷期)	//	//	40	2017年3月9日～3月15日	ヒートポンプ運転有
天然乾燥(夏期)	//	//	10	2017年6月22日～7月20日	比較対照

表－3 板材の反り及び曲がり評価方法

評価ランク	基準(削り残しの状態)
S	全面に削り無し
A	裏表一方に削りあり
B	裏表両方、若しくは側面に削りがあり、仕上寸法変更の必要
C	著しい反りや曲がりのため仕上加工不可

### 3 正角材乾燥

未乾燥の幅130mm×厚さ130mm×長さ4,000mmの群馬県産スギ心持正角材の重量を測定した後、乾燥施設の中段ラックに格納(栈木厚24mm、錘無し)して表－4のとおり乾燥を実施した。外気温による乾燥室内温度への影響を考慮し、夏期(6月から10月)と寒冷期(10月から12月)に実施した。

板材同様、夏期はヒートポンプを運転せず、乾燥施設の熱源は週に2日から3日の9時から16時までの間のみ運転する焼却炉だけとした。一方、寒冷期は焼却炉のほかヒートポンプを連続して運転した。また、寒冷期における天然乾燥を比較対照とした。

仕上含水率は20%を目標とし、全試験体の平均含水率が20%以下に達した時点で試験終了とした。乾燥期間中は概ね1か月ごとに全試験体の重量を測定し、乾燥終了後に全乾重量法により含水率を求めた。

表－4 正角材乾燥試験

試験別	産地・樹種	寸法(mm)	数量	乾燥期間	備考
簡易乾燥(夏期)	群馬県産スギ	厚130×幅130×長さ4,000	16	2016年6月15日～10月4日	ヒートポンプ運転無
簡易乾燥(寒冷期)	//	//	20	2015年10月28日～12月19日	ヒートポンプ運転有
天然乾燥	//	//	20	2015年10月28日～2016年4月11日	比較対照

### 4 経費比較

当乾燥施設は、小規模製材工場でも導入、運用が可能となることを目的として導入経費や運転経費両方を抑えることを目的に試作、及び乾燥試験を行った。簡易乾燥(焼却炉とヒートポンプ併用運転、及び焼却炉運転のみ)によるスギ板材乾燥に要する経費と時間を、一般的な蒸気式乾燥機(中温タイ

ブ) 及び天然乾燥と比較した。

なお、当簡易乾燥施設は試作機であり、設置費用を今後も引き続き調査検討する予定であるため、簡易乾燥施設、蒸気式乾燥機ともに減価償却費は示していない。また、栈積みや積込みなどにかかる人件費は乾燥方式に依らず同一の作業内容であるため人件費についても省略し、運転に直接係る費用である燃料代、電気代のみを計算し比較した。この中で蒸気式乾燥にかかる経費は、簡易乾燥と初期含水率、仕上含水率をほぼ同条件（初期含水率50%、仕上含水率15%）とし、既存の計算例（小玉、2000）を用いて、また乾燥室内の実材積については、材寸法、栈木厚、材間隔により既存の計算方法（寺沢, 1994）を用いて経費を計算した。

### III 結果及び考察

#### 1 乾燥室内の温湿度推移

図-5に11月16日から24日までの乾燥室内の温度、湿度測定結果を示す。このうち17日はこの乾燥施設の運転初日であり、以前の運転による雰囲気の影響を受けていない。そこで焼却炉運転による温度上昇の動向や雰囲気の変動を確認するため、17日だけの温度湿度の測定結果を別途図-6に示す。いずれも参考として乾燥施設付近の外気温を示した。

次に、11月19日午前10時頃から焼却炉運転を行って木屑を燃焼し、同時にヒートポンプの運転を開始した。乾燥室内の乾球温度は4時間後の午後2時に40.3℃、関係湿度30.1%RHに達し、焼却炉運転を終了した後も乾球温度40℃以上、関係湿度30%RH以下（木材平衡含水率で約5.5%前後）の非常に乾燥した雰囲気を維持し続けた。また、11月19日から21日のヒートポンプ運転併用により継続して乾燥室を加熱している間、関係湿度は徐々に低下した。乾燥室をユニット構造では無く木造軸組構法としたことで、排気ダクトを備えていなくとも、木材から発生した水は構造上の空隙を通り室外に排出していたと考えられる。

図-7に、11月19日から11月21日までの乾燥室内の各温度計測点の温度分布状況を示す。昇温中は各計測点間に温度差はほとんど生じていないが、乾球温度が40℃に到達したあたりから、床付近と、各高さの計測点間に平均で2.7℃、最大で4.6℃の差が生じていた。一方、上段、中段、下段の各ラックの計測点間に温度差は終始認められなかった。扉の下部付近に隙間が生じていたことが、床付近と各高さとの間に温度差が生じた原因と考えられる。

この乾燥施設では、焼却炉の燃焼により乾燥室内の雰囲気を加熱し、また、焼却炉停止後はヒートポンプ運転により、乾燥室内を乾球温度40℃以上、関係湿度30%RH以下（平衡含水率で5%前後）の乾燥した雰囲気に維持することで木材を乾燥する能力があることが分かった。

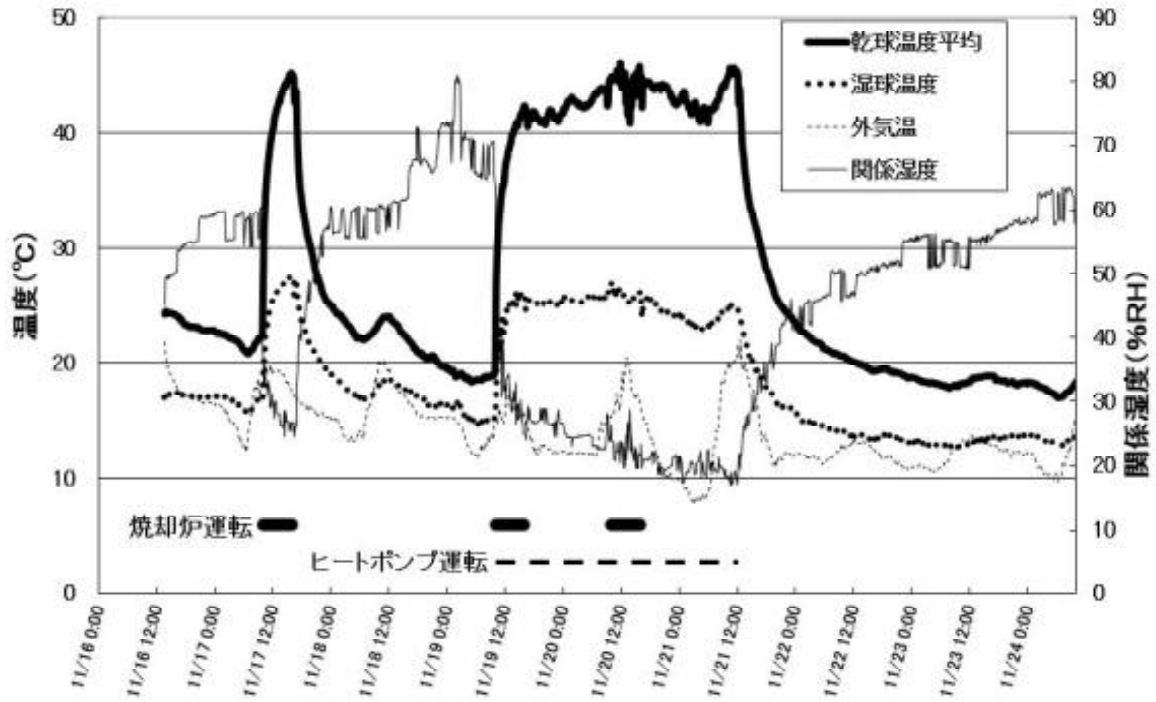


図-5 乾燥室内部温度湿度測定値 (測定期間 11/16~11/24)

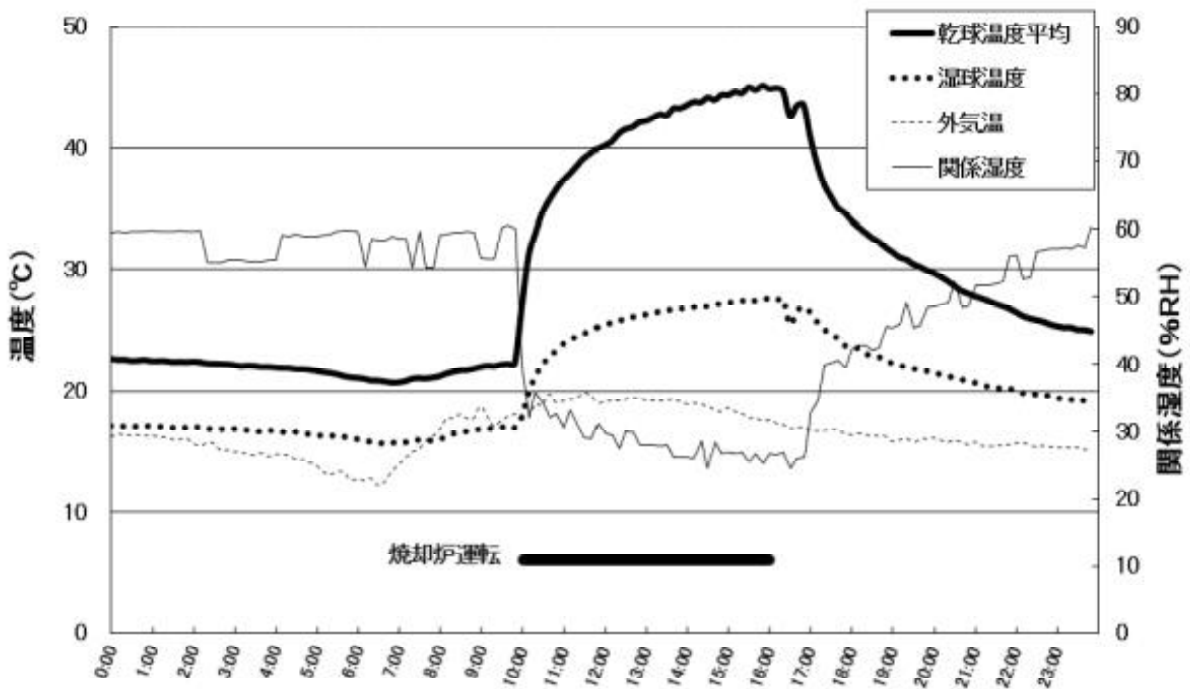


図-6 乾燥室内部温度湿度測定値 (11/17)

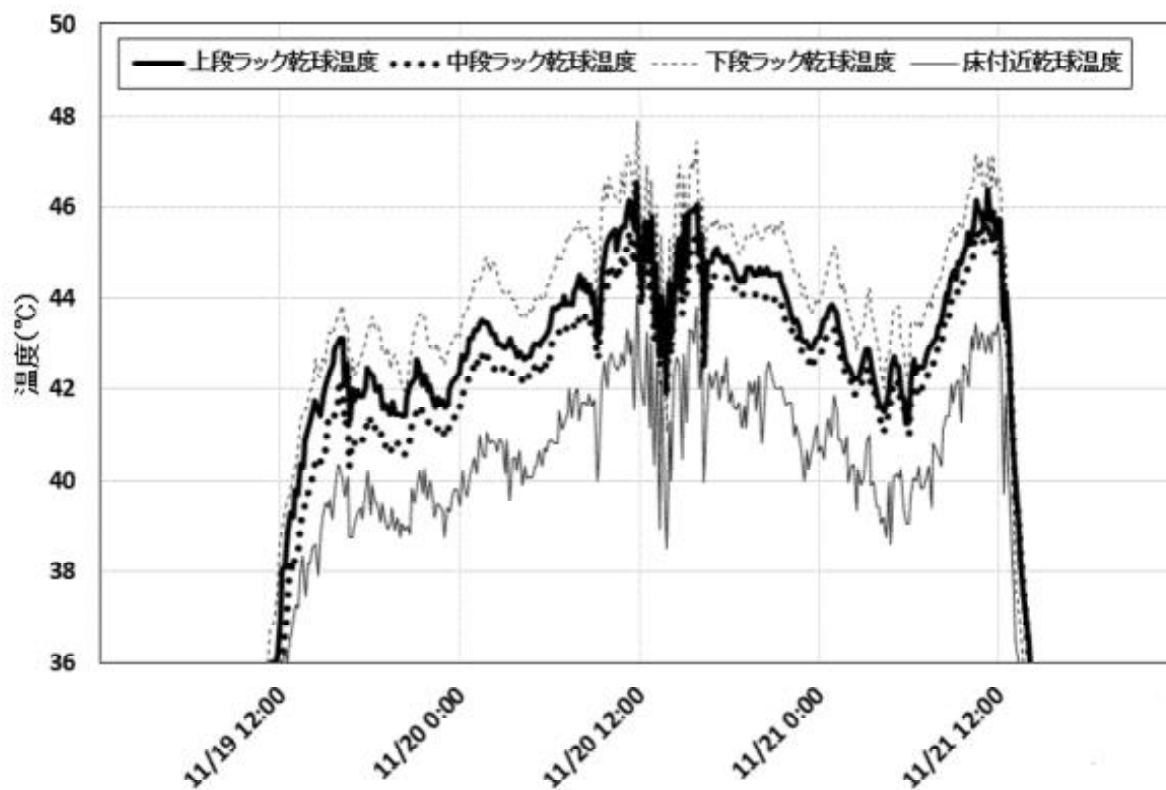


図-7 乾球温度分布 (11/19~11/21)

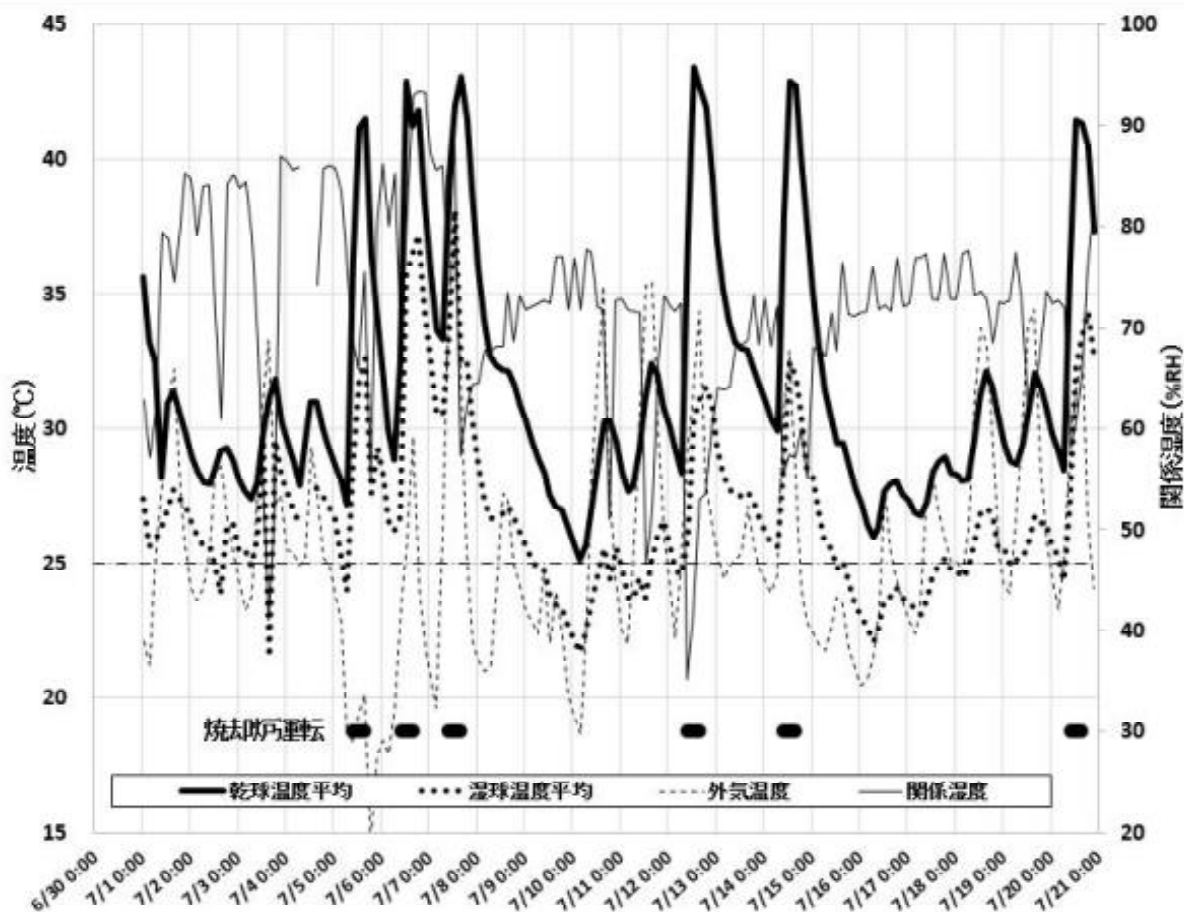
## 2 板材乾燥試験

簡易乾燥試験（夏期）実施中の乾燥室内外温度及び湿度の推移を図-8に示す。期間中の焼却炉運転日数は7月5日から7日、及び12日、14日、20日、21日の合計7日であったが、外気温度が高い時期であったことから、試験実施中の乾球温度は平均31.7°C、最低温度でも25.1°Cであった。表-5に夏期における板材の含水率経過を示す。乾燥開始から11日後には平均含水率が15.9%となり、さらに20日後には平均含水率13.6%となった。目標含水率の15%に到達しなかったものは試験に供した40枚の内の1枚のみであり、また、含水率10%未満の過乾燥材は発生しなかった。試験期間の7月1日から7月20日の乾球温度の平均が31.7°C、関係湿度の平均が68.5%RH、平衡含水率にして約12.5%であり、気温が高い夏期は、ヒートポンプの運転を併用しなくても乾球温度は高く、期間中は平均して適度な乾燥した雰囲気であったことで、過乾燥材の発生も無く仕上含水率のばらつきも小さくなることが分かった。

また、ほぼ同じ時期に実施した天然乾燥に比べて乾燥にかかる時間は8日間の短縮となった。

表-6に夏期における板材の反り、曲がりの評価結果を示す。(B)＝仕上げサイズの変更の必要があるもの、及び(C)＝著しい反りや曲がりのため仕上加工が不可能なものの合計の出現率は全体の10%であり、製品歩留も概ね良好であった。





図－8 乾燥試験（夏期）乾燥室内外温度及び湿度の推移

表－5 簡易乾燥試験（夏期）板材の含水率経過

		7月1日(開始)	7月12日	7月21日(終了)		
簡易乾燥 (夏期・ヒートポンプ無)	平均(%)	75.6	15.9	13.6		
	最大(%)	109.8	23.0	16.2		
	最小(%)	33.0	13.3	12.5		
	標準偏差(%)	21.3	1.73	0.65		
	変動係数	0.3	0.11	0.05		
		6月22日(開始)	6月29日	7月7日	7月14日	7月20日(終了)
天然乾燥	平均(%)	46.7	26.9	22.1	16.8	15.1
	最大(%)	76.7	38.4	27.0	18.0	16.7
	最小(%)	21.4	19.8	14.2	14.5	13.4
	標準偏差(%)	19.8	6.8	4.0	1.1	0.9
	変動係数	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1



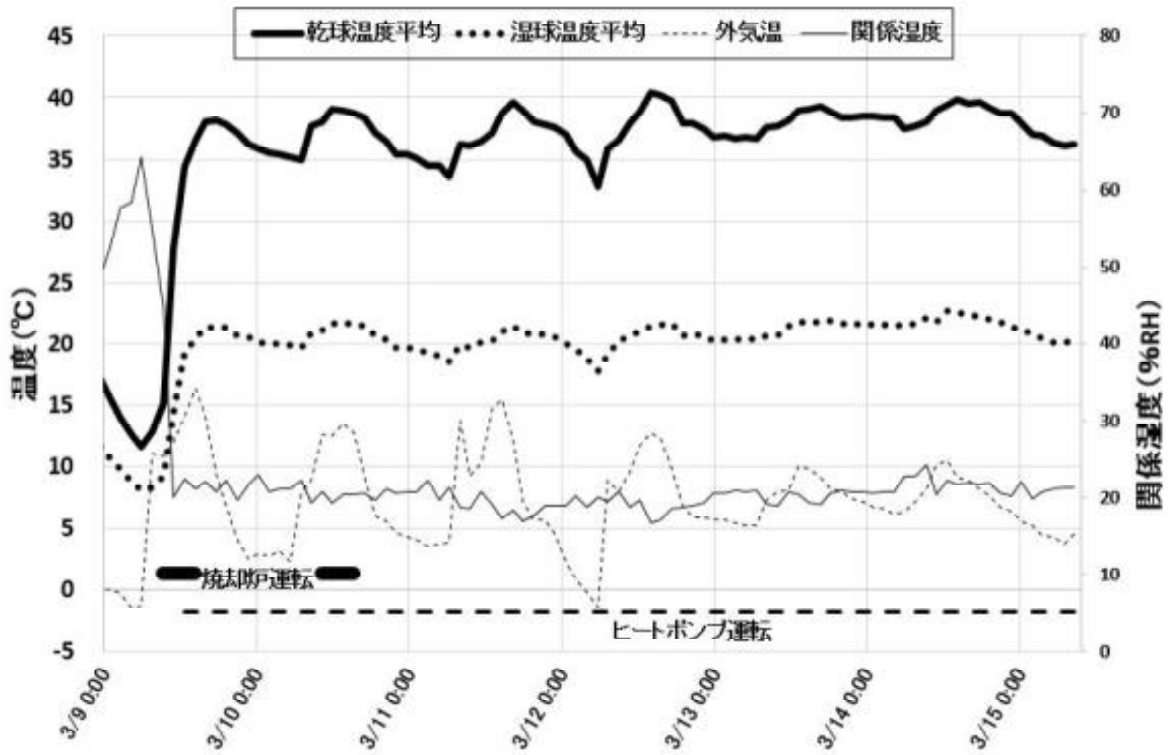
表－6 簡易乾燥試験（夏期）板材の評価結果

	基準	出現数	出現率
簡易乾燥 (夏期・ヒートポンプ無し)	S	16	40.0%
	A	20	50.0%
	B	2	5.0%
	C	2	5.0%

簡易乾燥試験（寒冷期）実施中の乾燥室内外温度及び湿度の推移を図－9に示す。3月9日の試験開始から試験を終了した3月15日までの間で焼却炉の運転日数は9日と10日の2日、また、ヒートポンプは9日から試験終了まで連続で運転を行った。焼却炉の運転とヒートポンプ運転を開始した9日以降、乾球温度平均37.4℃、関係湿度平均20.3%RH、平衡含水率平均約4%で、乾球温度30℃以上、関係湿度16.7～24.1%RHの非常に乾燥した雰囲気を維持していた。

表－7に寒冷期における板材の含水率経過を示す。乾燥開始から12日後の3月15日には含水率の平均は13.8%となった。夏期に実施した天然乾燥と比べても、大幅に乾燥にかかる日数を短縮できることが分かった。しかし、目標含水率の15%に到達しなかったものが試験に供した40枚の内10枚、一方で含水率10%未満の過乾燥材が11枚あった。寒冷期試験終了日の3月15日と、夏期試験終了日の7月21日の含水率分布（表－5）を比較すると、平均値はほぼ同じであるが、寒冷期乾燥は、夏期乾燥と比べて仕上含水率のばらつきが非常に大きくなった。他の研究事例でも、乾燥室内を加熱すると乾球温度と関係湿度は周期的な変化を示すが、関係湿度の変化は乾球温度の変化と比べて振幅幅が総じて小さく、さらに加熱を続けると振幅幅はさらに小さくなることが報告されている（池田, 2009）。当該乾燥施設による乾燥室の加熱経過でも、焼却炉運転とヒートポンプの連続運転を開始した3月9日以降、乾球温度は外気に連動して振幅幅があるのに対して、関係湿度は振幅幅が小さく安定して推移しており、平衡含水率3.5%から5%の極端に乾燥した雰囲気が継続していた。このことにより乾燥前の含水率のばらつきが、そのまま仕上含水率のばらつきとなったと考えられる。一方、夏期乾燥はヒートポンプ運転を行わず、焼却炉運転のみで乾燥室内を加熱していたため、焼却炉運転時には乾燥室内部の関係湿度が低くなり、焼却炉停止時には関係湿度が高くなる状態を繰り返すことで、平衡含水率で9%から20%前後を行き来していた。これにより他よりも乾燥が進み過ぎた材に対しては調湿作用（イコライジング）が生じ、結果均一な仕上含水率となったと推察できる。

表－8に寒冷期における板材の反り、曲がりの評価結果を示す。仕上げサイズの変更の必要があるもの(B)の出現率が全体の11.8%、著しい反りや曲がりのため仕上加工が不可能なもの(C)は0%であった。過乾燥材が多くあったものの、製品歩留は概ね良好であった。



図－9 乾燥試験（寒冷期）乾燥室内外温度及び湿度の推移

表－7 簡易乾燥試験（寒冷期）板材の含水率経過

		3月9日(開始)	3月15日(終了)
簡易乾燥 (寒冷期 ヒートポンプ使用)	平均(%)	48.8	13.8
	最大(%)	136.2	48.4
	最小(%)	20.5	6.5
	標準偏差(%)	26.54	8.13
	変動係数	0.54	0.59

		6月22日(開始)	6月29日	7月7日	7月14日	7月20日(終了)
(比較)天然乾燥	平均(%)	46.7	26.9	22.1	16.8	15.1
	最大(%)	76.7	38.4	27.0	18.0	16.7
	最小(%)	21.4	19.8	14.2	14.5	13.4
	標準偏差(%)	19.8	6.8	4.0	1.1	0.9
	変動係数	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1

表－8 簡易乾燥試験（寒冷期）板材の評価結果

	基準	出現数	全体に占める割合
簡易乾燥 (寒冷期・ヒートポンプ使用)	S	19	55.9%
	A	11	32.4%
	B	4	11.8%
	C	0	0.0%

### 3 正角材乾燥

表－9に正角材の含水率経過（簡易乾燥（夏期）、簡易乾燥（寒冷期）、天然乾燥）を示す。簡易乾燥（夏期）では、開始から83日後の9月6日には平均含水率が目標の20%以下となった。また、最終的に測定を行った10月4日には平均含水率は15.3%となった。一方、10月から翌年4月までの厳寒期を跨いで実施した天然乾燥でも目標含水率の20%に至るまでに要した日数が165日であったことを考慮すると、ヒートポンプ運転を併用しない正角材の乾燥は、天然乾燥に比べて乾燥時間が短縮できたが、それほど大きな短縮は期待できないと考えられる。一方、簡易乾燥（寒冷期）では開始から52日後の12月19日に平均含水率が目標の20%以下となり、同じ時期に行った天然乾燥に比べて100日以上乾燥時間短縮となった。ヒートポンプ運転を併用した正角材の乾燥は、乾燥期間の大幅な短縮が可能となることが分かった。

表－9 乾燥試験正角材の含水率経過

	6月15日 (開始)	7月21日	8月4日	9月6日 (終了)	10月4日		
簡易乾燥 (夏期・ ヒートポンプ 運転無し)	平均 (%)	58.7	30.9	25.8	16.7		
	最大 (%)	98.5	53.6	45.4	29.5		
	最小 (%)	36.7	17.4	15.1	11.3		
	標準偏差 (%)	16.9	12.0	9.8	5.5		
	変動係数	0.3	0.4	0.4	0.3		
	10月28日 (開始)	11月5日	12月19日 (終了)				
簡易乾燥 (寒冷期・ ヒートポンプ 運転有り)	平均 (%)	48.5	26.1	14.3			
	最大 (%)	98.0	53.6	22.9			
	最小 (%)	26.3	15.5	10.4			
	標準偏差 (%)	16.38	10.18	3.67			
	変動係数	0.34	0.39	0.26			
	10月28日 (開始)	11月5日	12月9日	1月13日	2月5日	3月11日	4月11日 (終了)
(比較) 天然乾燥	平均 (%)	45.5	34.3	29.1	25.2	23.8	22.1
	最大 (%)	80.1	65.0	55.0	46.0	41.4	33.5
	最小 (%)	23.6	20.5	20.3	18.8	18.6	18.0
	標準偏差	19.92	13.95	10.37	7.82	6.48	4.25
	変動係数	0.44	0.41	0.38	0.31	0.27	0.19

### 4 経費比較

表－10に板材乾燥にかかる経費と乾燥に要する時間を示す。簡易乾燥（焼却炉とヒートポンプ併用運転）は、蒸気式乾燥（中温タイプ）と比べて、乾燥経費が $m^3$ あたり約300円安くなった。また、簡易乾燥による板材の乾燥は、同時期に実施した天然乾燥に比べて乾燥に要する時間をそれぞれ短縮できることが確認できた。

表-10 板材乾燥にかかる経費と乾燥に要する時間

項目	簡易乾燥(寒冷期) (焼却炉・ヒートポンプ運転)	簡易乾燥(夏期) (焼却炉運転のみ)	蒸気式乾燥 <sup>※1</sup> (中温タイプ)	天然乾燥
乾燥を行う材と積積方法	スギ板材(幅130mm×厚33mm×長4,000mm)、栈木厚24mm、材間隔30mm			
乾燥室容量	24.0m <sup>3</sup>	24.0m <sup>3</sup>	30.0m <sup>3</sup>	-
(実材積) <sup>※2</sup>	(11.2m <sup>3</sup> )	(11.2m <sup>3</sup> )	(14.1m <sup>3</sup> )	-
初期含水率平均	48.8%	75.6%	50%	44.5~46.7%
仕上がり含水率平均	13.8%	13.6%	15%(目標)	15.1~15.9%
処理温度	最大40.4℃	最大43.4℃	乾球80℃、湿球70℃~80℃ (初期蒸発を含む)	-
処理時間	140時間	480時間	120時間 (初期蒸発を含む)	670時間(6月22日~7月8日) 2,880時間(10月7日~2月5日)
灯油代 (144円/リットル)	-	-	51,200円 (ボイラー燃料)	-
電気代(33円/kwh)	58,800円 (ヒートポンプ140時間連続運転)	-	27,000円 (ファン動力及び計器動作)	-
計	58,800円	-	78,200円	-
m <sup>3</sup> あたり乾燥経費	5,250円	-	5,546円	-
摘要	別途減価償却費用 及び人件費加算	別途減価償却費用 及び人件費加算	別途減価償却費用 及び人件費加算	別途人件費加算

#### IV おわりに

この乾燥施設によるスギ板材の乾燥では、外気温が高い夏期(6月~9月)には、焼却炉運転のみで、また、外気温が低い晩秋から早春(11月~3月)は、焼却炉とヒートポンプ運転を併用することで天然乾燥に比べて時間を短縮して乾燥できることが確認できたが、ヒートポンプを連続運転して板材を乾燥すると、仕上がり含水率に大きなばらつきが発生し易い。簡易乾燥試験(夏期)板材乾燥の結果(表-5)を参考として、乾燥期間中にヒートポンプを停止する時間を適宜設けて、定期的に木材を関係湿度が高い雰囲気曝すことを繰り返す対策が考えられる。また、この対策の中で夜間のみヒートポンプを運転することで乾燥室内の極端な温度低下を防ぎながら、安価な夜間電力を利用することにより、運転経費の大幅な削減を図ることが可能と考えられる。乾湿球温度差が大きく一定(関係湿度が低く一定)で推移する場合、乾球温度が高いほど乾燥時間が短縮することが知られており(寺沢ら1976)、この対策は乾燥時間を長引かせる要因にはなってしまうが、乾燥施設の運転を行う季節、また、乾燥を行う材の性質や利用目的別に、それぞれ乾燥日数スケジュールを設定し、品質面、経費両面で有利な乾燥材を生産を行えるようさらに改善を行う必要がある。

#### 引用文献

- 池田元吉(2010), 地域の木材関連産業の形態・規模に応じた乾燥システムの研究, 熊本県林業研究指導所研究報告第36号
- 小玉牧夫(2000) 乾燥材生産の技術マニュアル, 社団法人全国木材組合連合会, 13-14
- 寺沢真, 筒本卓造(1976), 外周条件の影響(木材の乾燥, 寺沢真・筒本卓造共著, 180pp, 社団法人日本木材加工技術協会, 東京), 32-34
- 寺沢真(1994), 蒸気過熱式IF型乾燥室の容量の算出, (木材乾燥のすべて, 寺沢真著, 718pp, 海青社, 滋賀), 64-67