

## 太陽熱を利用した針葉樹材の天然乾燥の促進 (第2報)

### —— 装置の改造とその効果など ——

上席専門研究員 中野正志  
主任専門研究員 東野正

#### 要旨

本試験は、既設の太陽熱利用乾燥装置(収容材積 $2.78\text{ m}^3$ 規模)の乾燥効率をさらに高めるため装置を全面的に改造し、その乾燥効果などを検討した。

今回は、スギの正角材・平割材を用いて、冬季(平成元年1月)及び夏季(同8月)について乾燥試験を行った。

- 1 装置の改造に当たっては、日光透過性・保温性及び集熱性の向上を重点に置いた。
- 2 冬季の装置内での乾燥経過は良好であり、太陽熱利用乾燥による乾燥効果が認められた。
- 3 冬季の乾燥は、天然乾燥に比較して約 $1/2$ の日数で含水率 $20\%$ になった。その日数は、正角材で約2か月、平割材で約1.5か月を要した。
- 4 夏季の乾燥は、人工乾燥に匹敵する乾燥促進の傾向を示しており、天然乾燥に比較して $1/2 \sim 1/3$ の日数で含水率 $20\%$ になった。
- 5 乾燥材の形質変化のうち、曲り、ねじれは小さく、所定の寸法に修正挽きすることが可能であった。
- 6 乾燥による割れは、心持ち材では全てに発生し損傷が著しい。心去り材・平割材では、割れないものが多かった。割れが生じた材は利用上の支障はなかった。
- 7 送風機の電力費のみを乾燥の直接経費としてみると含水率 $20\%$ までの経費は、冬季では正角材で $3,170\text{円}/\text{m}^3$ 、平割材で $2,210\text{円}/\text{m}^3$ 、夏季ではそれぞれ $1,350\text{円}/\text{m}^3$ 、 $580\text{円}/\text{m}^3$ となった。

#### 1 はじめに

最近、建築材に対する乾燥の必要性の認識が一段と高まり、乾燥材の需要が高まってきた。

本県の針葉樹建築材は、天然乾燥が主流であり、その乾燥の進み具合は、気象条件によって著しく左右され乾燥に長期間を要する。さらに、寒冷な冬期間は乾燥が進行しにくい。一方、人工乾燥は、ランニングコストの安価な省エネルギー型の装置が普及してきてはいるが、未だ乾燥コストが経営上のネックになっており、役物級の構造材及び造作材について生産されているにすぎないのが実状である。

したがって、県産針葉樹乾燥材の需要拡大と安定供給を図るには、さらに乾燥コストを低く抑えた乾燥法の開発が重要である。

その一方法として、太陽熱を利用した乾燥法が省エネルギーの面から注目されつつあり、各機関で装置の開発あるいは研究が進められている。

そこで、前報<sup>1)</sup>では、建築用材の乾燥の生産性を高めるため、地域・気象条件を考慮して北海道立林産試験場で開発した施工マニュアル<sup>2)</sup>を参考に、収容材積10石(約2.78m<sup>3</sup>)規模の装置を製作し、乾燥試験を行った。その結果、建築用材の天然乾燥の促進としての効果が認められた。

今回は、乾燥効率をさらに高めるため装置の全面的な改造を行い、一般建築材を対象に冬季及び夏季における乾燥促進効果の程度などについて結果を報告する。

## 2 装置の改造の概要

本装置のシステムは、太陽エネルギーを積極的に利用することであり<sup>2)</sup>、改造に当たっては、日光透過性・保温性及び集熱性の向上に重点を置き、図-1に示すと通りの構造に装置を全面的に改造した。

装置の大きさは、改造前と変わらない間口120cm、長さ455cm、高さ190cmとし、収容規模は10石(約2.78m<sup>3</sup>)である。

以下、施工の概要を示す。

装置の土台・柱等一部は、既設の骨組を利用したが、屋根などの骨組み材は、新たに乾燥した構造材を使用した。壁体の北・東及び西面の内・外装は、構造用合板(特類、9mm厚)と断熱材(グラスウール、100mm厚)で構成した。日光を取入れる南面には、日光透過性が比較的良好な市販の中空複層パネル(9mm厚)を取付けた構造とした。

装置内の床部には、地表からの湿気を防ぐため、アスファルトを敷設した。

集熱体は、屋根(10/10勾配)の天井室と南面の三角集熱室を一体化した構造とし、日光を受ける天井部・壁体に集熱板(黒色亜鉛鉄板)を全面的に取付けた。

装置全体の太陽エネルギーの集熱面積は約30m<sup>2</sup>である。

各集熱室からの熱は送風機により装置内に送り込む構造とした。その送風機は、装置内(棧積み室)に熱を吹込む送風用(直径35cm、風量43m<sup>3</sup>/分)と熱を吸出す吸気用(直径30cm、風量28m<sup>3</sup>/分)をそれぞれの室内の北及び南側の天井部に各2基また、排気口には室温の熱損失を少なくする強制同時吸排気用(熱交換効率70%以上、風量110m<sup>3</sup>/時)の送風機を東及び西面の壁体に各1基、計6基を設置した。

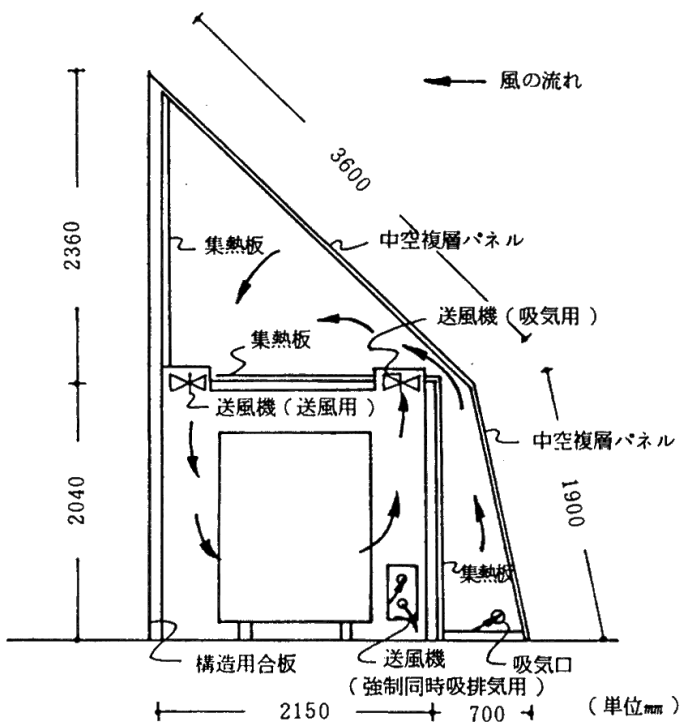
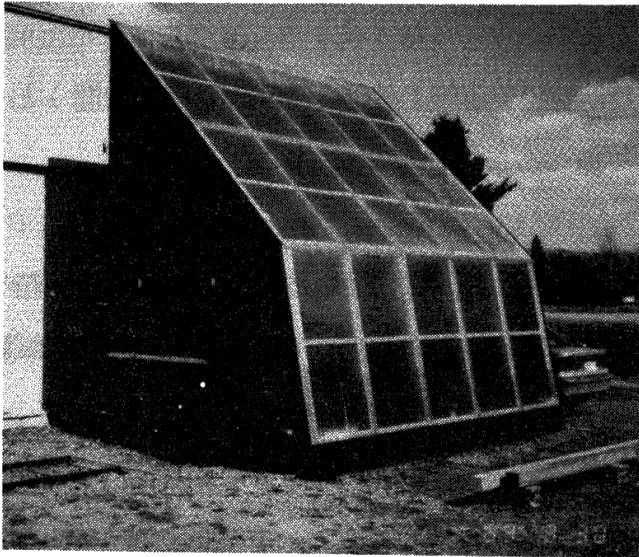


図-1 装置の概略図



写真一 1 装置の外観

これらの送風機に、送風用には風量調節器、吸気用及び強制同時吸排気用には自動タイマー制御機能装置をそれぞれ取付けた。

なお、南面の集熱室の東及び西面の壁体には、乾燥初期の必要外気量を取入れる開閉式の吸気口を設けた。

この装置の製作費を新設したものとして試算した場合、材料費・労務費込みで約 117 万円を要した。

その装置の外観を写真一 1 に示した。

### 3 材料及び方法

#### (1) 供試材及び試験条件

供試材は、長さ 3.65 ~ 4 m、スギの正角材 (11.5 × 11.5 cm、心去り材、ただし冬季には心持ち材を加えた) 及び平割材 (6 × 12 cm) の 2 材種とし、それぞれ 60 本、15 本を込みで積みした。

太陽熱利用乾燥の乾燥度合の測定は、材種別の供試材から初期含水率の中庸な材を選び、長さ 100 cm に採材した乾燥経過測定用材 (両木口面をコーティング処理) で行った。また、比較のため天然乾燥を行い、前述と同様の長さの採材したもので乾燥経過の度合を測定した。

乾燥経過測定用材は、太陽熱利用乾燥では積み材の吸気用送風機側の中段部に設置した。一方、天然乾燥は、屋外の屋根付き製品置場において正角材・平割材の積みの中段部に設置した。

測定は、含水率 30% 前後まで 1 週間に 2 回程度、それ以降は週 1 回とした。

なお、供試材のうち正角材は、心持ち・心去りとも各 15 本、平割材は供試した本数 (15 本) とし、それぞれ乾燥の仕上がり程度及び曲り・割れなどの形質変化を調査した。

#### (2) 乾燥期間

乾燥は、表一 1 に示すとおりで、冬季が平成元年 1 月、夏季が同年 8 月に実施した。太陽熱利用乾燥による乾燥期間は、乾燥経過測定用材のうち正角材が含水率 20% (全乾法) に達した時点で乾燥を終了とした。

表一 1 乾燥期間

季節	材種	試験 開始日	太陽熱利用乾燥		天然乾燥	
			終了日	期間 (日)	終了日	期間 (日)
冬季	正角材	1. 1. 26	1. 4. 2	66	1. 4. 2	66
	平割材				1. 4. 2	66
夏季	正角材	1. 8. 10	1. 8. 31	21	1. 9. 16	37
	平割材				1. 8. 31	21

### (3) 送風機の運転

送風機の運転は、送風用は連続運転、吸気用は日中のみの間欠運転（冬季8時間、夏季10時間）とした。

### (4) 温度及び風速

装置内の温湿度は、熱電対式温湿度記録計で測定した。気温は、天然乾燥場に設定した簡易百葉箱を用いて毛髪温湿度記録計で測定した。なお、全天日射量などは、装置に近接している岩手県立農業試験場の気象観測値によった。

冬季の装置内での湿度は、乾燥期間中にセンサの機能が正常に作動しなかったこともあったので、湿度の測定値は欠測扱いとした。

風速については、熱線風速計を用いて扉側の棧積み材の端部から奥行き1mの位置で測定した。

## 4 結果及び考察

### (1) 装置内の温度

季節別の太陽熱利用乾燥試験期間中における装置外及び装置内の温度・平均全天日射量などを図-2、3に示した。

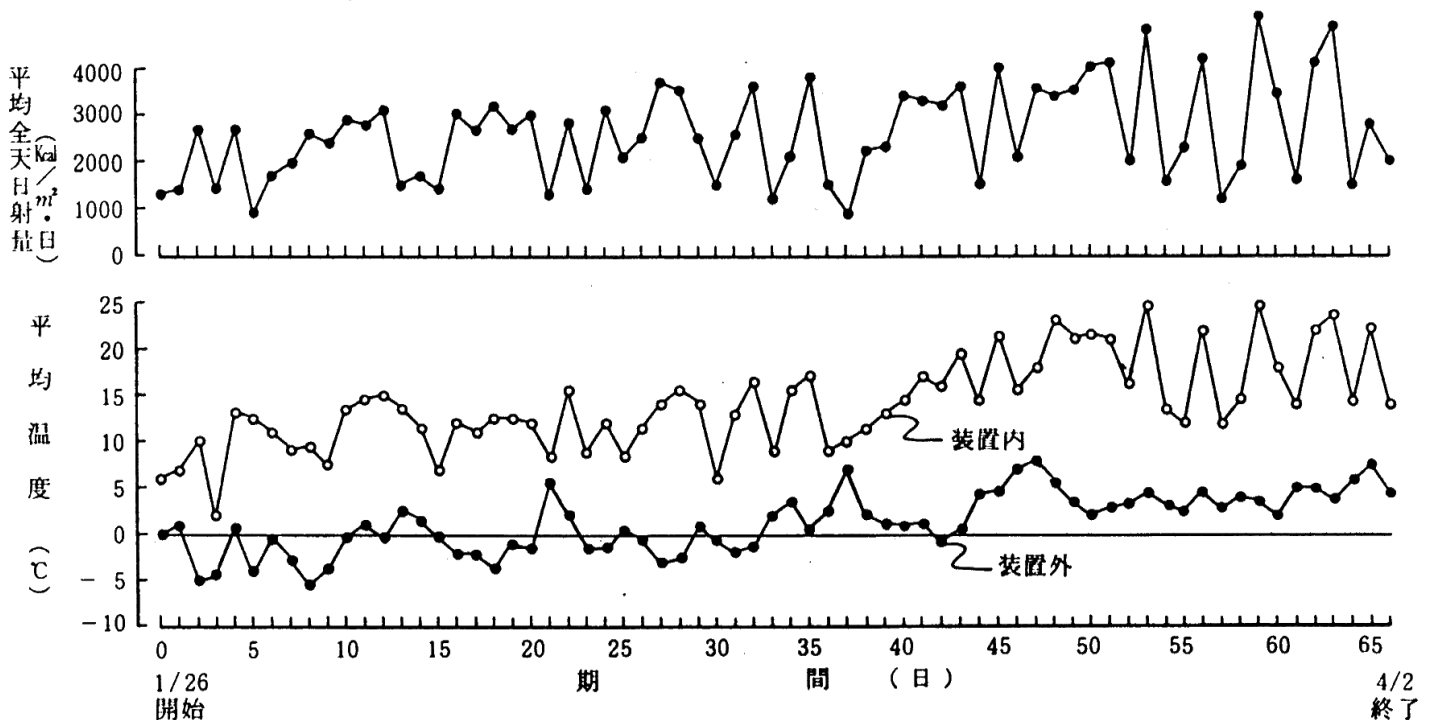


図-2 装置外と装置内の温度・全天日射量（冬季）

#### ア 冬季乾燥

乾燥開始から乾燥終了までの装置内の平均温度は14.0℃で装置外の気温より12.7℃高くなっていた。

開始から30日経過した2月下旬までの平均気温は $-1.0^{\circ}\text{C}$ 、また、平均全天日射量は $2,300\text{Kcal}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ となり、後者は平年並で気温のみが平年より高めであった。この時期は、年間のうち日射量の少ない時期であるが、装置内の平均温度は $10.9^{\circ}\text{C}$ となった。ここに晴天日の2月7日の装置外と装置内の温度分布の一例を図-4に示す。日射時間は8.8時間、全天日射量は $3,100\text{Kcal}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ であったが、装置内の温度は最高で $23^{\circ}\text{C}$ まで達し、日中と夜間の温度差は $21^{\circ}\text{C}$ であった。この温度分布は、装置外より $5\sim 18^{\circ}\text{C}$ 高い温度差で推移しており、夜間の温度はプラスの条件を保っていた。

今回の試験において、装置内の期間中を通じての最低温度の平均は $4.3^{\circ}\text{C}$ であった。この温度は平年では、3月下旬から4月上旬平均気温とほぼ同程度を示しており、冬季における天然乾燥の促進として有利な条件といえる。

#### イ 夏季乾燥

期間中の装置内の平均温度は $36.8^{\circ}\text{C}$ 、平均湿度は57%で、装置外に比して気温では $12.8^{\circ}\text{C}$ 高く、湿度では22%低かった。

この期間中を通じて全天日射量は、 $3,650\text{Kcal}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ と月別としては平年の値であったが、装置内は最高温度の平均が $47.3^{\circ}\text{C}$ 、最低温度の平均が $26.2^{\circ}\text{C}$ となった。

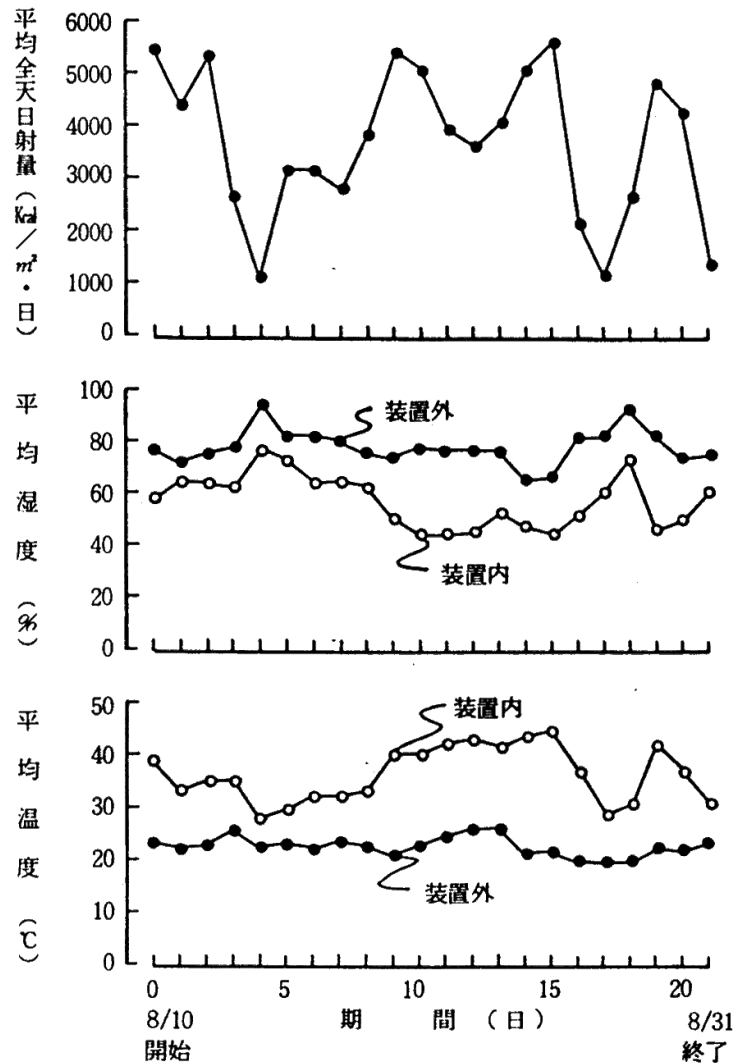


図-3 装置外と装置内の温湿度・全天日射量(夏季)

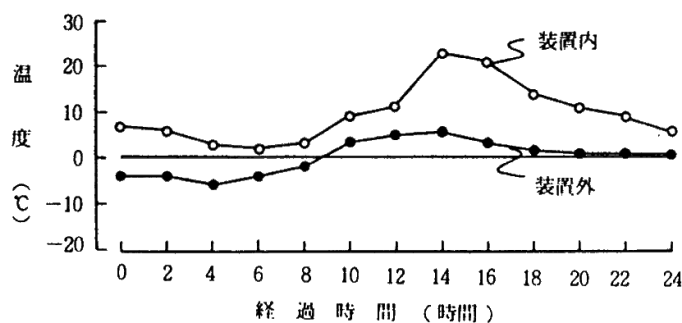


図-4 装置外と装置内の温度分布例(冬季)

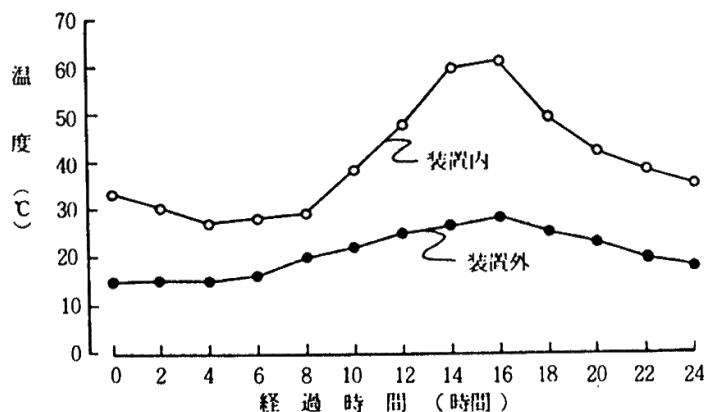


図-5 装置外と装置内の温度分布例(夏季)

乾燥開始後、乾燥経過測定用材で正角材の含水率が30%程度に低下した晴天日の8月25日における装置外及び装置内の温湿度分布の一例を図-5に示した。日射時間は10.9時間、全天日射量は5,528 Kcal/m<sup>2</sup>・日であったが、装置内の最高温度は61℃に達し、最低温度は28℃であった。この温度分布は、装置外の気温より17～33℃高い温度差で推移しており、集熱による効果が認められた。

### (2) 装置内の風速

送風用と吸気用の送風機を併用運転した場合、扉側における栈積み材(奥行1m)の中段部及び下段部の高さの位置の材間内の風速分布を図-6に示した。

材間内の風速は、各段とも送風用側から吸気用側に沿って減少の傾向を示し、その風速は、中段部で0.5 m/秒、下段部で0.8 m/秒の平均値であった。

これらの風速は、改造前の送風機より風量の大きい送風機に変えたことで材間内の風速がやや増大し、さらに、栈積み材の風下側(吸気用側)の風速の減少が少なくなった。

### (3) 乾燥経過

太陽熱利用乾燥及び天然乾燥における正角材・平割材の季節別の乾燥経過を図-7、8に示した。これをもとに、一定の含水率に達するまでの乾燥日数は表-2に示したとおりである。また、乾燥の終了した栈積み材の仕上り含水率を表-3に示した。

#### イ 冬季乾燥

年間のうち、最も寒さが厳しい2月末までの気象条件において、本装置による乾燥経過は良好な傾向を示しており、特に、乾燥初期は比較的速く含水率が減少し、乾燥の促進効果が認められた。

供試材のうち平割材は、乾燥初期からの含水率の低下が大きく、乾燥初期(含水率97%)から含水率40%までの乾燥日数は22日を要し、天然乾燥に比較して25日の短縮となった。この間の太陽熱利用乾燥による乾燥低下速度は2.6%/日であった。

含水率20%までの乾燥日数は、心去り正角材で66日(初期含水率98%)、心持ち正角材で63日(同71%)及び平割材で47日を要した。

一方、含水率20%に達した時点(66日間)での、天然乾燥の乾燥経過測定用材は含水率25～35%の範

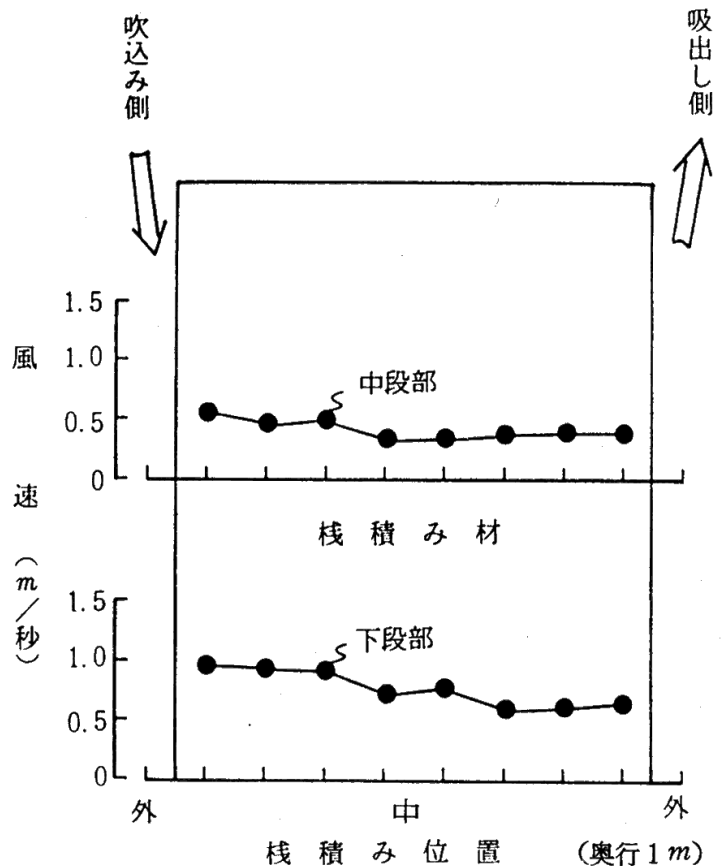
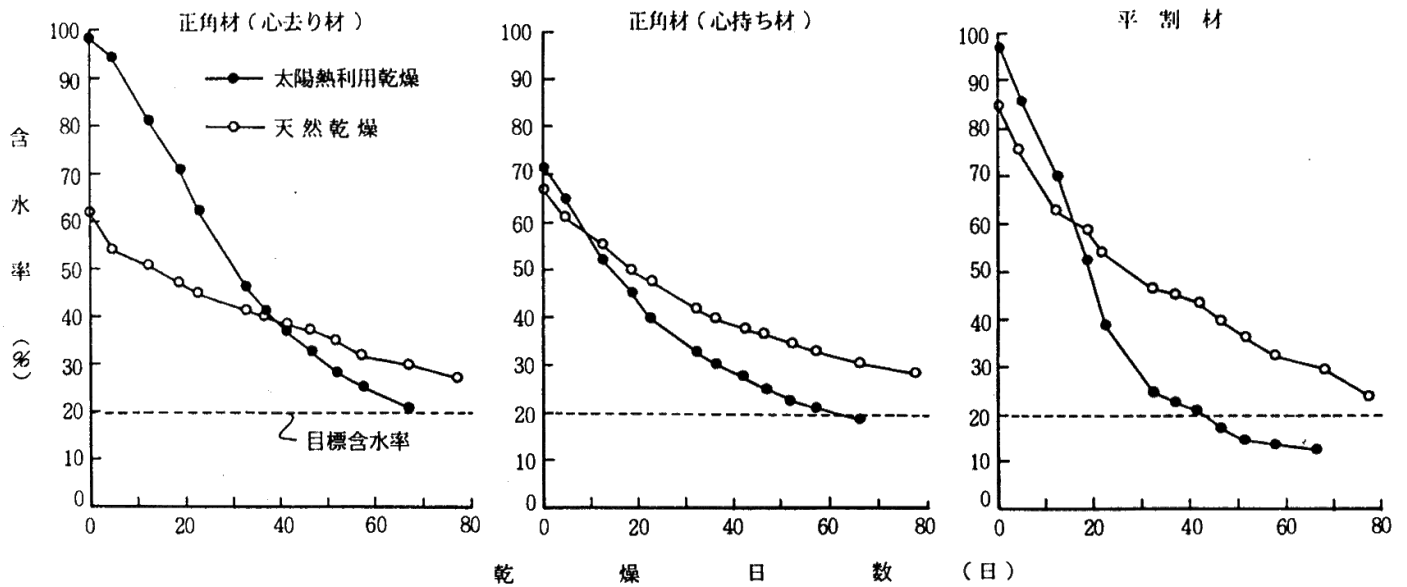


図-6 材間内の風速分布



図一7 乾燥経過 (冬季)

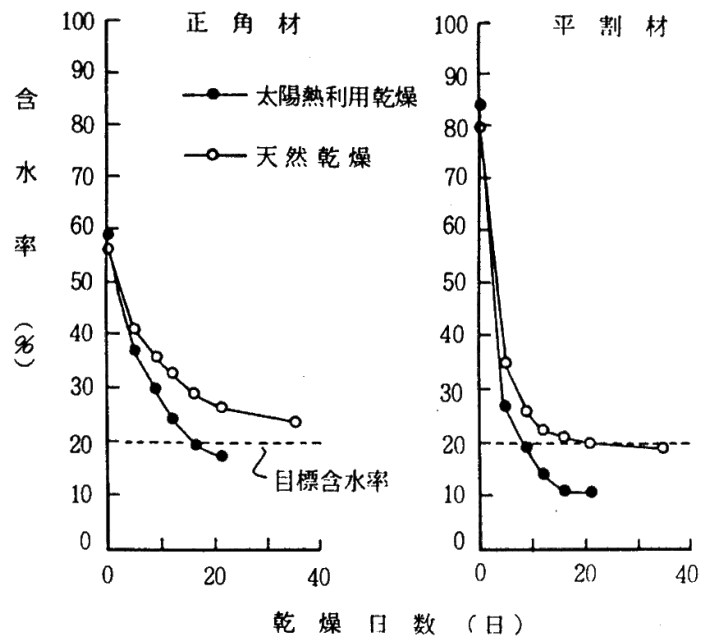
囲にあった。これらの材が、平年と変わらない状態で含水率が減少するものと想定した場合、太陽熱利用乾燥は天然乾燥に比較して1/2の乾燥日数と推定された。

太陽熱利用乾燥を終了した栈積み材の含水率は、心去り正角材で22.6%、心持ち正角材で18.8%の平均値となった。供試材は表一3に示すように個体間の含水率のばらつきが大きく、特に、初期含水率120%以上の正角材は、66日間では目標の含水率に達しなかった。

なお、平割材は正角材の乾燥終了時まで装置内に栈積みしていたため、乾燥が進行し含水率は平均で14.4%に低下していた。

### イ 夏季乾燥

装置による乾燥初期から含水率20%までの乾燥日数は、正角材(心去り)で15日(初期含水率59.4%)及び平割材で8日(同84.3%)を要し、天然乾燥に比較して含水率の減少低下が極めて大きく、1/2~1/3の日数で乾燥した。目標含水率に達するまでの1日当たりの乾燥低下



図一8 乾燥経過 (夏季)

表一2 太陽熱利用乾燥と天然乾燥の乾燥日数の比較

季節	材種	乾燥法	初期含水率 (%)	一定の含水率に達するまでの乾燥日数 (日)		
				~40%	~30%	~20%
冬季	正角材(心去り)	SD	98.1	37	48	66
		AD	60.1	36	67	—
	正角材(心持ち)	SD	70.8	22	36	63
		AD	66.6	36	70	—
平割材	SD	96.7	22	28	43	
	AD	84.6	47	69	—	
夏季	正角材(心去り)	SD	59.4	4	9	15
		AD	56.1	6	14	—
平割材	SD	84.3	3	5	8	
	AD	79.9	4	7	20	

注) SD:太陽熱利用乾燥 AD:天然乾燥

表一3 正角材・平割材の仕上り含水率

季節	材種	供試材数 (本)	含水率 (%)	
			初期 平均 (最小～最大)	終了時 平均 (最小～最大)
冬季	正角材 (心去り)	15	96.3 (65.5～142.5)	21.6 (16.3～27.4)
	正角材 (心持ち)		73.0 (50.7～106.0)	18.8 (15.9～29.5)
	平割材		89.6 (57.4～152.1)	14.3 (12.9～18.7)
夏季	正角材 (心去り)	15	66.9 (52.5～76.5)	19.5 (17.5～22.0)
	平割材		75.1 (32.2～130.3)	18.0 (14.6～27.8)

速度は、正角材で4.0%、平割材で10.5%となり、人工乾燥に匹敵する速さといえる。

これは、乾燥当初から気温が比較的高めであったことから、含水率が急激に減少したためと考えられ、天然乾燥の促進効果が極めて大きいことが認められた。

太陽熱利用乾燥を終了(21日間)した積み材の含水率は、正角材で19.5%、平割材で18.0%の平均値となった。

なお、乾燥終了時の天然乾燥での乾燥経過測定用材は、平割材で20%、正角材で29%程度の含水率であった。

#### (4) 乾燥材の形質変化

##### ア 曲りとねじれ

乾燥による曲り・ねじれの程度を表一4に示した。曲りは、材長365cmに対する内曲面の最大矢高(mm)とした。ねじれは、平面上に材の一方の木口面を固定した時に、他の木口面が平面から持上がる一辺長の両端の差をねじれ(mm)とした。

曲りは、現行JASの項に準じて等級格付けした場合、いずれの材とも2等の下限値0.5%以下に該当しており、うち1等以上は供試材の過半数を占めていた。

表一4 乾燥による曲り・ねじれの程度

季節	材種	供試材数 (本)	曲り (mm)	ねじれ (mm)
冬季	正角材 (心去り)	15	3.0 (2.6)	0.3 (0.5)
	正角材 (心持ち)		4.5 (1.4)	2.9 (2.2)
	平割材		5.8 (5.1)	2.0 (1.4)
夏季	正角材 (心去り)	15	3.1 (1.4)	0.9 (1.9)
	平割材		5.4 (3.1)	2.4 (2.4)

曲り・ねじれは材長365cmに対する平均値  
( )は標準偏差



表一5 乾燥による割れの発生及び等級区分

季節	材種	供試材数 (本)	木口割れ			表面割れ			割れ等級比率(%)			
			発生率 (%)	本数 (本)	長さ (mm)	発生率 (%)	本数 (本)	長さ (mm)	特等	1等	2等	等外
冬季	正角材(心去り)	15	40	1.0	63	20	3.3	405	93	7	0	0
	正角材(心持ち)		100	4.8	2173	100	12.0	5427	0	0	27	73
	平割材		7	1.0	80	0	0	0	100	0	0	0
夏季	正角材(心去り)	15	27	1.3	328	7	2.0	470	67	33	0	0
	平割材		20	1.3	298	27	1.0	353	80	20	0	0

注) 割れ発生率は供試材数に対する割れ発生材の本数比率  
割れ本数、長さは割れ発生材1本当たりの平均値

ねじれは、いずれの材とも発生が小さかった。

これらの材について、正角材では柱材(10.5 cm角)、平割材は敷居・鴨居材として修正挽きした結果、大部分の材は所定の寸法に仕上げることができた。なお、曲りが大きい正角材の場合は、寸切れによる歩減りなどを考慮し、3 mの長さに採材して修正挽きすることで所定の寸法の材が得られた。

イ 割れ

乾燥による割れの発生及び品等区分を表一5に示した。

割れは、全ての心持ち材に発生し、その割れ長さの平均は7,600 mmとなり、材の品質を著しく低下させていた。その損傷程度は、天然乾燥によって発生するものとあまり変わらないものと考えられる。したがって、品質優位を要求する心持ち材を乾燥する場合は、この点を十分に勘案して乾燥する必要がある。

心去り材、平割材については、夏季乾燥において割れ発生が大きい傾向がみられた。これは装置内の高温による影響が考えられる。冬季乾燥では、割れ発生量が僅少であった。

現行JASの割れの項に準じて等級格付けした場合、心持ち材では27%が2等材で、他は等外であった。心去り材は冬季が93%、夏季が67%、平割材ではそれぞれ100%、80%が特等であった。

表一6 乾燥経費

季節	材種	乾燥日数 (日)	積算電力量 (Kwh)	乾燥経費 (円/m <sup>3</sup> )
冬季	正角材	66	545	3,170
	平割材	43	355	2,210
夏季	正角材	21	209	1,343
	平割材	9	92	571

注) 電力費(従電灯乙)は、1 Kwh 当たり18円で試算した。

## (5) 乾燥経費

太陽熱利用乾燥の直接経費は、送風機の電力費のみである。材種別の収容材積規模に応じて算出した場合の経費を表-6に示した。

本装置は、正角材で70本、平割材で110本が収容可能である。

これを含水率20%に達するまでの期間の電力量から乾燥経費を求めると、冬季の乾燥では、正角材で3,170円/ $m^3$ 、平割材2,210円/ $m^3$ 、夏季の乾燥では、正角材で1,350円/ $m^3$ 、平割材で580円/ $m^3$ と試算された。

冬季の乾燥日数は、前報<sup>1)</sup>の装置より短縮されたものの経費はやや割高となった。

本県における建築材の乾燥は、除湿式乾燥装置による乾燥がコスト的に有利で、そのエネルギー経費は4,000円～5,000円/ $m^3$ (50石規模)を要すると言われているので、この装置による乾燥経費はかなり割安である。

## 5 ま と め

今回の試験において、太陽熱利用乾燥装置は、改造前の装置より乾燥日数が短縮でき、また、乾燥経費が安価なことから建築材の乾燥に十分利用できることが確認できた。さらに、乾燥促進の効果が大きいことから人工乾燥の予備乾燥に利用するのでコストの軽減が図られるので有利な乾燥法である。

今後は、さらに乾燥特性・装置の効果を明らかにするため季節別に乾燥試験を行ない、最終的には太陽熱利用乾燥装置の利用普及に役立てたい。

## 6 引用文献

- 1) 岩手県林業試験場成果報告 第22号, P63~68, (1989). 中野正志・東野 正・佐々木通光:  
太陽熱を利用した針葉樹建築材の天然乾燥の促進(第1報)―夏期及び冬期の乾燥効果―
- 2) ウッディエイジ 第32巻 372号, P28~38, (1984). 北海道林産技術普及協会:林産試型,  
ソーラードライヤー施工マニュアル