

## 木材乾燥における太陽熱の利用（第2報）

野呂田 隆史 千葉 宗昭  
大山 幸夫\*

### 1. はじめに

木材の乾燥システムにローカルエネルギーである太陽エネルギーを利用する場合、その受熱方法として、パッシブとアクティブの両方が考えられる。

ところで、現在行われている木材乾燥は、地域的特性もあるが一般的には、天然乾燥と熱気乾燥の組み合わせである。しかし、北海道のような寒冷地においては、冬期間の天然乾燥が不可能に近い現状で、その生産システムに予備乾燥（簡易乾燥装置による）を考へることも必要である。

また、木材はその使用場所・目的に応じて、適正な含水率があり、乾燥方法においても様々な組み合わせ（天然乾燥・予備乾燥・熱気乾燥その他）を考へる必要がある。

第1報<sup>1)</sup>では、簡易乾燥装置として、太陽エネルギーをパッシブに利用するグリーンハウスタイプの乾燥装置と、吸気システムに簡易集熱器をアクティブに利用する太陽熱利用乾燥装置を製作し、一部吸気システム試験と冬期間の乾燥試験を行い報告した。その結果、吸気システムにおいて、簡易集熱器の有効性と冬期間の天然乾燥の促進装置としての可能性を見出すことが出来た。

今回は前回の結果より、吸気システムに簡易集熱器を利用したシステムで、その他の期間についても天然乾燥と同時に試験を行い、1年を通して比較検討したので報告する。

なお、この結果については第31回木材学会（昭和56年4月、府中市）で発表した。

### 2. 試験方法

樹種は4月開始がトドマツ、エゾマツであり、7月と10月開始がトドマツ、ミズナラである。

供試材寸法は厚さ3.0cm 幅15.0cm、長さ100cmである。

7月開始より、装置を多少改良し、南面と屋根に黒色ペイントを塗った合板の集熱板を取り付け、東西方向には簡単な整流板を設けた。

含水率経過測定用サンプルボードとして、板目・柾目木取り材を樹種ごとに2枚づつ用いた。その他に、水分傾斜・歪量の測定材も用意した。また、棧積前に欠点の少ない材を選び、狂い・割れの損傷測定材とした。

4月開始については、天然乾燥と同一含水率時の損傷比較をするため、含水率15%前後で太陽熱利用乾燥を終えている。10月開始については、送風機の間欠運転効果を見るため、乾燥初期は連続運転し、含水率が夜間・（午後5時から翌日午前9時まで）に低下しなくなった時期をもって、午前9時から午後5時まで運転する間欠運転とした。

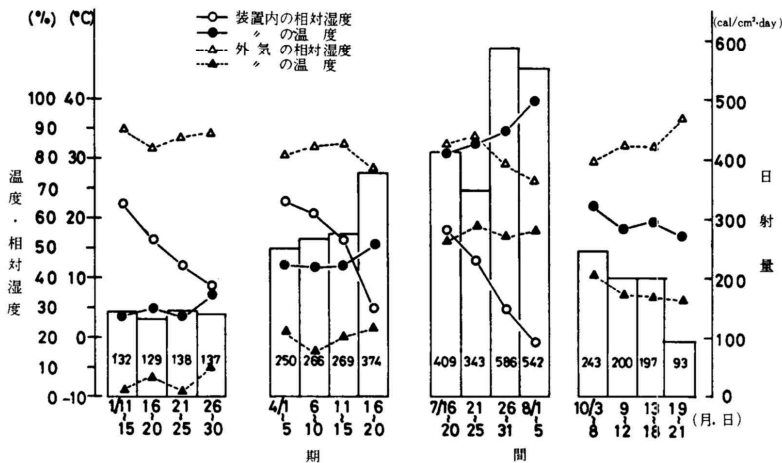
### 3. 結果と考察

#### 3.1 気象条件と装置内の温・湿度

旭川市における4回（1月<sup>1)</sup>、4月、7月、10月開始）の初期試験期間中の気象条件と装置内の温・湿度を5日間の平均で求めた結果を第1図に示す。

1月開始については、第1報でも一部報告しているが、日射量が平均で130cal/cm<sup>2</sup>・dayと多くはないが、装置内の平均温度がプラスになることと、冬期の大気中の絶対湿度がかなり低いという条件の中で、補助熱源なしでも、十分含水率20%までの乾燥は可能である。

4月開始は日射量の増加が外気温の上昇より早い時期に推移するため、装置内の温度上昇はかなり期待出来る状態であるが、外気の相対湿度が雪どけの影響に

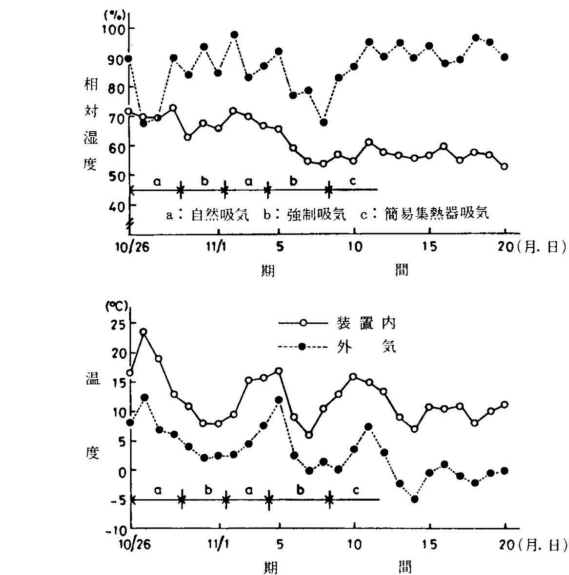


第1図 旭川地方の気象条件

より高く推移するので、装置内の相対湿度の低下は予想していたほどでない。

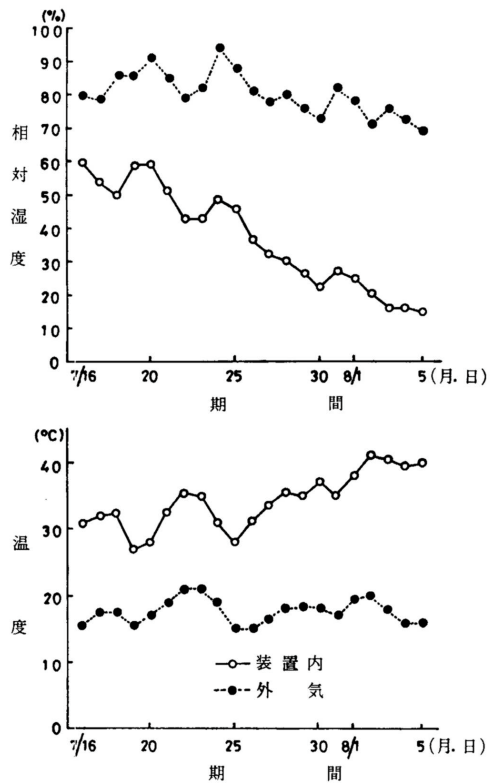
7月開始は棧積材の湿度コントロールにより、装置内湿度低下と含水率低下が同時に推移するので、乾燥初期の損傷の心配はないものと思われる。

10月開始は装置内の湿度測定が機械の故障で不可能であったが、日射量・外気温の低下により、乾燥末期の含水率低下を期待することが出来ないなど、気象条件として最も不利な時期である。

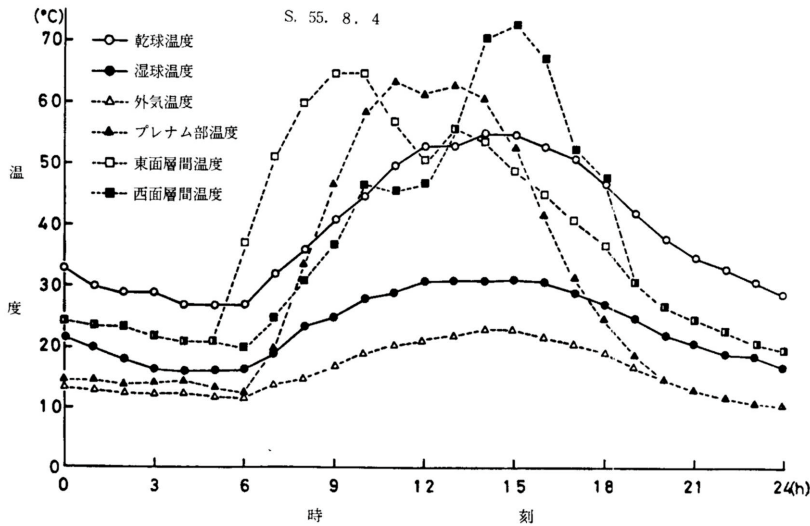


第2図 装置内と外気の温・湿度 (吸気試験別)

3.2 装置性能試験結果  
吸気システム別乾燥速度比では、簡易集熱器を用いた場合の方が、他の自然吸気、強制吸気より良い結果が得られている<sup>1)</sup>。第2図に吸気システム試験時の温・湿度を、第3図に7月開始の簡易集熱器を利用した場合の温・湿度を示す。aは送風機だけによる自然吸排気で、東西面の開口部を全開にしている。その時の吸排気量が少ないため、装置内は温室効果により温度は外気温よりかなり高くなるが、相対湿度の低下が見られないのが分かる。bは吸気口を全開にし、強制吸気を行っているので、外気の影響を直接受ける。この



第3図 装置内と外気の温・湿度 (簡易集熱器利用)



第4図 装置内・外の温度分布

場合、吸排気量が多いため、装置内の温度はあまり高くない。cは簡易集熱器を吸気口に連結させ、外気を直接乾燥装置に入れずに、一度外気を暖めてから吸気させるため、7月開始でも分かるように、装置内の温度は外気よりかなり高くなり、乾燥の進行に伴って、外気との温度差は広がり、相対湿度は徐々に低下するなど、外気的气象条件に大きく左右されないのが特徴である。

8月4日の24時間の装置内の温度分布を第4図に示す。この日は日照時間11.5時間、日射量565cal/cm<sup>2</sup> dayの快晴の日である。簡易集熱器の傾斜角度は南に向け45°である。乾燥末期なので、乾・湿球温度差がかなり大きい。夜間の装置内温度と外気温の差が約15あり、棧積材の蓄熱効果が大きいことが分かる。東西面の層間最大温度が約70で、プラスチック

ク2重壁面層の限界温度と思われるが、木材との接触部はそれ以上の温度になると思われる。簡易集熱器のプレナム部の最高温度は約60、装置内の最高乾球温度は約55であった。

簡易集熱器の推定集熱効率を第1表に示す。測定日は雲量0.5~1.0の範囲の日で、集熱効率はIEA方式

で直散分離し、受熱面全日射量を推定し、9時から15時までの平均で求めている。簡易集熱器は波状の黒色建築紙を集熱板として用いており、日射を受けると温度上昇するが、それにつれて対流、ふく射で失われるエネルギー量も増加する。そこで、もうこれ以上温度が上がらないという温度が臨界温度であり、木製簡易集熱器の場合、約90と思われる<sup>2)</sup>。この場合、空気流量は0であるため、集熱効率は0となる。一般的に空気流量を多くし、低温集熱すると集熱効率を上げることができるが、木材乾燥に利用する場合、空気流量は損傷の発生状態を見たうえで吸気量の関係で決めなければならない。今回の試験で平均集熱効率は、いずれの時期、傾斜角度においても約25%であった。

### 3.3 乾燥試験結果

30mm厚ミズナラ材の含水率40%以上のときの天然乾燥と、太陽熱利用乾燥の含水率低下速度(%/day)を比較した結果を第2表に示す。すべて天然乾燥より大きな含水率低下が見られ、乾燥初期からの促進効果がある。日射量、日照時間の違いはあるが、1日の含水率低下は冬期で、装置内の方が3~4倍、夏期で2倍と思われる。1月18日の太陽熱利用乾燥では1日2.9%の含水率低下があり、このことは7月18日の天然乾燥の3.3%に匹敵し、冬期の装置内乾燥が夏期の

第1表 推定集熱効率 (9時から15時の平均)

月・日	空気上昇温度 (°C)	水平面日射量 (cal/cm <sup>2</sup> ·h)	受熱面日射量 (cal/cm <sup>2</sup> ·h)	集熱量 (cal/cm <sup>2</sup> ·h)	集熱効率
7.13	32.4	65.0	61.3	14.7	0.24
8.8	30.8	58.9	59.2	14.2	0.24
9.9	32.7	52.5	60.7	15.1	0.25
10.4	20.1	33.0	37.8	9.3	0.25
11.9	26.3	28.2	47.0	12.1	0.26

注) 簡易集熱器の傾斜角度は7/13, 8/8, 9/9: 45°, 10/4, 11/9: 60°である。

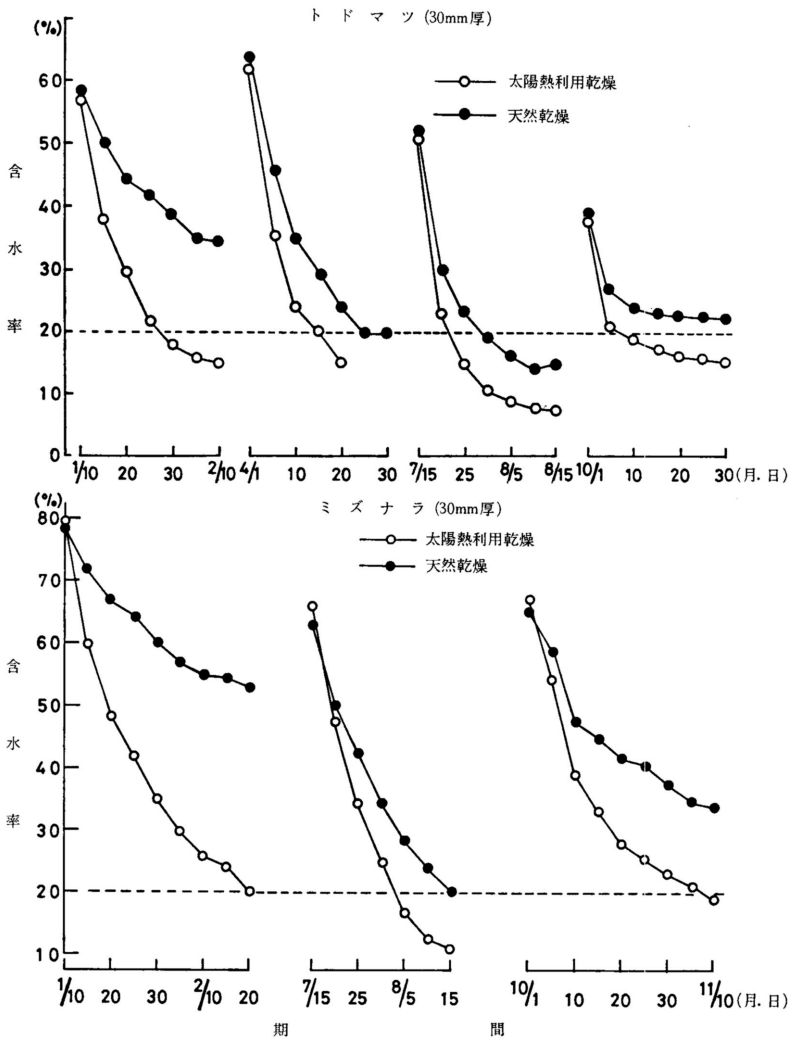
第2表 乾燥初期の含水率低下速度(%/日)  
(ミズナラ30mm厚)

月. 日	日照時間 (時間)	日射量 (cal/cm <sup>2</sup> ・日)	太陽熱利用乾燥 (S. D.) (%/日)	天然乾燥 (A. D.) (%/日)	A. D. S. D.
1.17	3.3	127	2.3	1.6	0.70
1.18	6.5	191	2.9	0.8	0.28
7.18	12.2	629	5.7	3.3	0.58
7.19	1.7	177	1.6	0	0
10. 3	8.8	296	5.4	3.6	0.67
10. 8	4.6	161	1.8	1.4	0.78

1月開始の場合、最も大きな促進効果があり、トドマツ厚板の含水率20%までの比較では、含水率低下速度でも述べたように、4月開始の装置内乾燥と7月開始の天然乾燥と同様な結果が得られ、冬期の天然乾燥促進装置として有効である。10月開始については、日射量を含む気象条件が悪くなるので、乾燥初期は速い含水率低下が見られるが、含水率30%以下では急に遅くなる。7月開始ではトドマツ、ミズナラ厚板で天然乾燥の最終含水率は15%前後であるが、ミズナラ厚板でさえも、装置内乾燥では30日程度で含水率10%以下を期待することが出来る。夏期においては人工乾燥に匹敵する含水率にまで下げることが出来る。

天然乾燥と同程度であることを示している。

トドマツ、ミズナラ厚板の期間別の太陽熱利用乾燥と天然乾燥の含水率経過を第5図に示す。



第5図 期間別含水率経過

簡易集熱器を吸気システムに利用して行ったトドマツ、ミズナラ厚物(一部エゾマツ厚板)の乾燥試験結果を第3表に示す。

含水率20%までの乾燥日数で装置内乾燥と天然乾燥を比較すると、冬期間、装置内では天然乾燥と比べて約3分の1から5分の1の日数で乾燥している。ミズナラ厚板の乾燥困難材についても、装置内では40日程で含水率20%まで乾燥する。夏期の気象条件の良い時は天然乾燥の約半分の日数で乾燥しており、この期間中は天然乾燥の日数の短縮は言うまでもなく、最低含水率が10%以下になることの方が大きな特徴となるであろう。

人工乾燥への予備乾燥として考える場合、いずれの時期においても、初期含水

第3表 太陽熱利用乾燥と天然乾燥の乾燥日数比較

樹種	開始日	初期含水率 (%)	太陽熱利用乾燥(日)			初期含水率	天然乾燥(日)	
			30%まで	20%まで	15%まで		30%まで	20%まで
トドマツ	S 55. 1. 10	49.3	7	18	30	62.3	58	104
ミズナラ		71.9	25	44	62	66.8	85	125
トドマツ	S 55. 4. 1	82.6	8	16	21	63.8	16	40
エゾマツ		82.3	9	17	21	115.8	23	40
トドマツ	S 55. 7. 15	54.6	4	8	11	51.7	5	14
ミズナラ		71.9	13	19	24	77.1	22	34
トドマツ	S 55. 10. 2	65.8	4	7	16	39.9	4	36
ミズナラ		67.3	16	39	60	65.3	82	—

注) 厚さはすべて30mm.

率の違いが含水率25%付近で解消されるため、この含水率がひとつの目安となるであろう。

太陽熱利用乾燥だけで考えると、含水率30%から20%まで10%低下に要する乾燥日数と含水率20%から15%まで5%低下する日数が同じ傾向にある。そのため含水率20%以下に乾燥するにはかなりの日数が必要になり、動力費から考えると不利な状態にもなりかねない。最終含水率では、3月から10月までの期間、装置内の含水率は10%以下を期待することが出来る。しかしその他の期間では含水率12~15%が限度であり、それ以下にするには補助熱源が必要である。

### 3.4 損傷

太陽熱利用乾燥と天然乾燥の損傷比較を第4表に示

第4表 太陽熱利用乾燥(S.D.)と天然乾燥(A.D.)の損傷比較(4月開始)

測定項目	トドマツ		エゾマツ	
	(S.D.)n=23	(A.D.)n=46	(S.D.)n=96	(A.D.)n=36
	平均(範囲)	平均(範囲)	平均(範囲)	平均(範囲)
割れ発生率 (%)	40	89	15	78
木口割れ				
発生率 (%)	39	80	14	75
割れ本数 (本/枚)	2.0	3.5	1.2	3.0
幅 (mm)	0.3 (0.1~1.6)	0.2 (0.1~1.3)	0.2 (0.1~1.6)	0.1 (0.1~0.6)
長さ (mm)	75 (15~325)	56 (13~312)	42 (18~74)	34 (10~93)
表面割れ				
発生率 (%)	10	43	3	14
割れ本数 (本/枚)	1.6	2.6	1.0	1.2
幅 (mm)	0.1 (0.1~0.2)	0.1 (0.1~0.2)	0.1 (0.1~0.1)	0.1 (0.1~0.2)
長さ (mm)	87 (25~285)	131 (13~570)	83 (60~128)	76 (25~184)
幅ぞり (mm/10cm)	0.52 (0.10~0.95)	0.85 (0.31~1.12)	0.51 (0.30~0.97)	0.54 (0.39~0.72)
縦ぞり (mm/100cm)	1.4 (1.0~2.0)	1.5 (1.0~2.0)	1.5 (1.0~2.0)	1.5 (0.5~2.0)
曲がり (mm/100cm)	0.3 (0~1.5)	0.3 (0~1.5)	0.3 (0~1.5)	0.6 (0~1.5)
ねじれ (度/100cm)	0.35 (0.07~0.63)	0.48 (0.07~0.80)	0.39 (0.12~0.67)	0.39 (0~1.52)
含水率 (%)	14.7	13.2	15.7	13.7

〔林産試月報 1981年8月〕

す。同一含水率時の損傷比較を見るため、4月開始のトドマツ、エゾマツ厚板は含水率15%前後で仕上げている。

割れについて見ると、割れ幅、長さは、天然乾燥と装置乾燥との差はあまり見られないが、割れ発生率は装置内乾燥の方がかなり小さくなっている。このことは含水率経過による収縮率で比較すると明らかに装置内の方が含水率20%までは小さいことによっても説明出来るであろう。

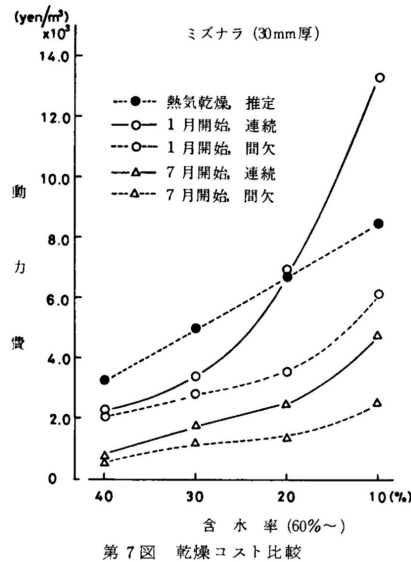
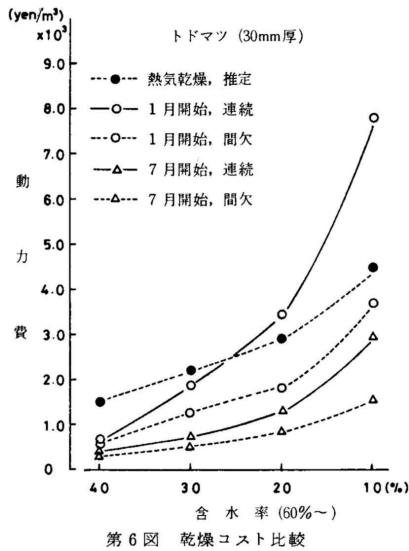
狂い量(幅ぞり・曲がり・弓ぞり、ねじれ)については、ほとんど変わらないと思われる。

これらのことは4月開始に限らず、すべての試験期間についても言え、広葉樹材であるミズナラ厚板でも対場熱利用乾燥の方が天然乾燥より良い結果が得られている。また、装置内は風雨にさらされていないので、材面の変色が極めて少ない。

### 4. 乾燥コスト

太陽熱利用乾燥装置による乾燥試験は単に天然乾燥の促進装置とするだけでなく、省エネルギーの点からも考える必要がある。そこで、熱気乾燥と装置内乾燥の動力費によるランニングコストを試算し比較した。

試算はトドマツ、ミズナラ厚板について行い、含水



率は60%から各含水率(40%, 30%, 20%, 10%)に低下するまでである。

1月, 7月開始のトドマツ厚板におけるランニングコストの比較を第6図に, ミズナラ厚板は第7図に示す。

図中の実線は連続運転による実働時間より求めている。点線は10月開始の間欠運転結果より推定して求めた。含水率10%まで達していない場合は, 含水率経過曲線から推定している。

熱気乾燥におけるエネルギー消費量は次の式より求めた<sup>3)</sup>。

$$Q[\text{cal}/\text{m}^3] = \frac{10.01 \times G \times (M_g - M_d) \times 590}{A \times B}$$

G : 容積密度数 (全乾重量/生材容積)

第5表 太陽熱利用乾燥と熱気乾燥の動力費の比較 (含水率60%から20%まで)

開始日	トドマツ			ミズナラ		
	乾燥 日数 (日)	連続運転 コスト (円/m³)	間欠運転 コスト (円/m³)	乾燥 日数 (日)	連続運転 コスト (円/m³)	間欠運転 コスト (円/m³)
1. 10	19	3420(1.21)	1710(0.60)	38	6840(1.04)	3420(0.52)
4. 1	16	2880(1.02)	1440(0.51)	—	—	—
7. 15	7	1260(0.44)	630(0.22)	14	2520(0.38)	1260(0.19)
10. 2	8	1440(0.51)	720(0.25)	38	6840(1.04)	3420(0.52)
K. D.	1	2835		7	6547	

注) K. D. は熱気乾燥, ( )内は熱気乾燥との比

トドマツ=0.40, ミズナラ=0.65

- Mg : 生材含水率 (60%)
- Md : 目的含水率 (40%, 30%, 20%, 10%)
- A : 乾燥効率 (0.5)
- B : ボイラー効率 (0.65)

コスト試算では電気代を20円/kWh, 石油代を75円/1とした。

トドマツ, ミズナラ厚板とも, 最も乾燥条件の良い7月開始は含水率10%まで連続運転しても, 熱気乾燥より有効である。しかし, その他の期間で, 現在の送風機能力での連続運転の省エネルギーのメリットは含水率20%と思われる。実際は10月開始のように間欠運転になるので, 目的含水率によっては省エネルギー効果が大きく, 安い乾燥材を供給することも可能であろう。

第5表にトドマツ・ミズナラ厚板における含水率60%から20%までの動力費を連続運転と間欠運転の場合について求め, 熱気乾燥の動力費との比較を示している。間欠運転にした場合, いずれの期間においても, 熱気乾燥の60%以下であり, さらに, 送風機能力の適正化によって, 消費電力を下げることも可能であ

り、吸排気量の適正化とともに今後の検討課題である。

### 5. おわりに

太陽熱利用乾燥の特徴として、吸気システムに簡易集熱器を利用した方法で、1年間、天然乾燥と含水率経過、損傷の発生について比較検討した。さらに、省エネルギーの点から熱気乾燥と動力費の試算比較も行った。

含水率経過については、いずれの時期においても、乾燥初期より促進効果が見られ、最終含水率についても、3月から10月までは天然乾燥では期待出来ない含水率10%以下も可能である。しかし、その他の期間では現在の装置に何らかの補助熱源を使わない限り、含水率12~15%が限度と思われる。

省エネルギーの点から、熱気乾燥と太陽熱利用乾燥の動力費試算比較では、含水率20%以下にしようとする現在の装置で、連続運転すると夏期を除いて不利であった。乾燥日数を含めた生産サイクルを考えると含水率20%程度までの予備乾燥としての位置づけが必要であろう。

### 文 献

- 1) 野呂田ほか2名：林産試月報，345，10（1980）
- 2) G. E. Sherwood and W. A. Gatz：F. P. L-0240（1979）
- 3) Skaar, Christen：Practical Application of Solar Energy to Wood Processing p. p. 29~32（1977）

— 木材部 乾燥科 —  
—\* 林産課 林業専門技術員 —  
（元木材部 乾燥科）  
（原稿受理 昭56.6.11）