

太陽熱利用木材乾燥 (第2報)

- 送風方法の適正化と乾燥日数の推定について -

中 厚 千 葉 洋 市
 良 直 哉

The Solar - Drying of Lumber ()

- Adjusting the air-sending method and estimating the solar-drying time -

Atsushi NAKAJIMA Yoichi CHIBA
Naoya NARA

Experiments were performed to clarify the conditions available throughout the year for sending the air properly so that the solar energy might be used efficiently to promote the economical drying of softwood lumber. The experiments also aimed to find out by estimating the time required for the solar drying from the global radiation exactly where in the whole process of drying the solar energy should be employed. The results are summarized as follows:

- (1) In Type B in Fig. 2, which was an improved version of Type A, the air flow in the box-type collector was more effective for drying than in Type A.
- (2) When the temperature inside the dryer was less than 30, more effective drying was recognized with the ventilator for forcing the air flow turned off or working at intervals.
- (3) When the temperature inside the dryer was 20 or 30, the drying from a moisture content of 50% to 30% was speeded up according as the air flow became greater. However, since the effect of the air flow upon the drying was very little when the temperature was less than 10, it was found desirable that the ventilator should work on and off at a temperature like that to save the electric power.
- (4) The forced air-flow should be continued in the initial period of drying so that relatively low humidity might be kept to prevent mildews from growing on the lumber. However, during the period of the low global solar radiation when the temperature rise inside the dryer was small, the air flow should be either natural or none at all to keep the heat loss at a minimum level.
- (5) When the air flow was performed in the manners stated above, the power consumption per day was approximately 9.6kWh during the period of the most unfavorable solar radiation, and 25 kWh when the radiation was most favorable.
- (6) The final moisture content of the softwood lumber, dried with this solar dry-

ing system, should be approximately 17 to 20 percent M.C.

(7) The solar - drying time estimated upon the basis of the global solar radiation was in approximate agreement with the values observed in the past experiments, and it was found that the time required for drying the lumber in the period of the low global solar radiation should be less than two months.

太陽エネルギーを有効に利用し、かつ経済的に乾燥効率を高めるため、四季を通した適正な送風条件について建築用構造材を対象として検討を行った。また日射量より乾燥日数を推定し、乾燥装置としての位置付けを明確にした。以下にこれらの結果を示す。

(1) 三角型コレクターの風の流れは、改良型(タイプB)が若干ではあるが集熱効率の向上が認められた。

(2) 装置内温度が約30℃を下降した時点で、強制吸気ファンは停止(間欠運転)状態が有効である。

(3) 装置内温度が20, 30℃の時の乾燥速度(含水率50%から30%まで)は風量の増加に従い大きくなるが、約10℃以下の低温域では風景の影響が小さいことから、送風機(内部循環)の稼働時間を間欠運転により短縮し、省エネルギー化をはかる必要がある。

(4) 強制排気は乾燥初期に連続とし低湿化によりカビの抑制をはかり、温度上昇が小さい低日射量条件には自然排気あるいは排気口を完全な閉の状態とし熱損失を最小限にすべきである。

(5) 以上のような送風を実行した場合の消費電力量は1日当たり、最も条件の悪い低日射量時期で約9.6kWh、条件の良い高日射量時期では約25kWhとなる。

(6) 当装置で建築用構造材を乾燥する場合、仕上がり含水率の目標値は17~20%が妥当と思われる。

(7) 水平面全天日射量から乾燥日数を推定した結果、過去の実験による実測値とほぼ一致した。これより、低日射量期間の乾燥日数は最大2ヵ月間を限度とすべきであることが認められた。

1. はじめに

昭和58年に建設した林産試験型ソーラードライヤー(収容材積約11m³)による乾燥試験をエゾ・トドマツ建築用構造材を供試して四季別に行った¹⁾。その結果乾燥期間の平均全天日射量が約4000kcal/m²・day以上である春季から夏季にかけて乾燥速度は天然乾燥の2倍以上の効率となった。また秋~冬季にかけては、日数が1~2ヵ月と長期間を要しながらも天然乾燥と比較した結果、簡易促進方法として当装置が位置付けられることが明らかとなった。

この装置は特に高緯度地帯においては希薄な太陽エネルギーを利用し、吸気システムには簡易集熱方式(パッシブ型ソーラーシステム)を採用したので非常に地域特性・日射量の影響を受けやすく、計画生産は困難である。このような背景からある社では、当装置に簡易熱源(温風)を組み合わせて乾燥効率が低下する時期を乗り切ろうとするなどの工夫が加えられ実用

機として稼働している現状もある。しかし、当装置はエネルギー収支の見地から集熱性能の把握がそれに付随していないので、ソーラードライヤーを有効利用するための乾燥技術が十分とはいえない。

そこで今回の報告は、希薄な太陽エネルギーを最大限に活用するために、熱媒体である空気を効率良く移送する適正な送風方法を見いだすこと、また集熱量(日射量)と乾燥速度の相関を明らかにし、計画生産の確立を目的とするものである。

2. 試験方法

供試材は昭和59年度の四季別試験同様、建築用構造材エゾ・トドマツ材(10.5×10.5×365cm)を用いた。試験数は昭和60年3月18日、7月16日開始日の2回である。その他、昨年度の乾燥試験データ¹⁾を引用し主に四季を通した乾燥速度推定を行った。また気象データ(日射量・外気温)は、旭川地方気象観測所の値を

用いている。測定項目はコレクター・乾燥装置内温度、風速、電力量値である。

検討項目は次の3点である。

(1) 既存装置での風の流れは適切かどうか、従来型とタイプの違う経路を作り、三角型コレクターと装置内温度との関係から2つのタイプの集熱特性を明らかにし、受熱したソーラーエネルギーの有効利用をはかる。

(2) 風量と装置内温度・乾燥速度の関係を把握し、送風方式(内部循環6基, 強制吸気2基, 強制排気2基)の適正条件を検討する。

(3) 乾燥速度は材表面の蒸気圧と空気蒸気圧の差に比例して大きくなるが、昨年のデータから当装置の含水率減少率が乾燥時期により異なった傾向を示すため、ここでは気象観測値である全天日射量より乾燥日数の推定を行い、適正な活用方法を明確にする。

3. 測定及び計算

A. 集熱量: Q

三角型集熱室・天井部集熱室内の空気上昇温度と空気重量速度を用い次式から集熱量を算出した²⁾。

$$Q = G C_a T \quad G = 3600 r q s$$

C_a : 空気比熱 (Kcal/kg) T : 空気上昇温度 ()

r : 空気比重 (kg/m³) q : 空気出口の測定平均

風速 (m/s) s : 空気出口の断面積 (m²)

B. 傾斜面全天日射量: I_p

旭川地方観測所から得られた全天日射量から、その日の時刻別の水平面全天日射量を求め、さらにIEAの方法³⁾によって傾斜面(20°, 70°)全天日射量に換算を行った。すなわち、

$$I_p = \cos \beta I_{ND} + \frac{1 + \cos \epsilon}{2} I_{HS} + \rho \frac{1 - \cos \epsilon}{2} I_H$$

I_H : 時刻別水平面全天日射量 (kcal / m² · h)

I_{ND} : 法線面直達日射量 (")

I_{HS} : 水平面天空日射量 (")

: 傾斜面への入射角 : 傾斜角

: 地面の反射率

から求められる。

これで各時刻別の I_p が得られるが、最後に午前・午後を含め合計し傾斜面への日積算日射量を算出した。

C. 含水率

10本の含水率測定用サンプル材(長さ1m)を入口の棧積み幅方向に並べ、1日1回重量を測定し乾燥終了後105 で全乾にして重量法によりそれぞれの含水率を求め平均値を算出した。

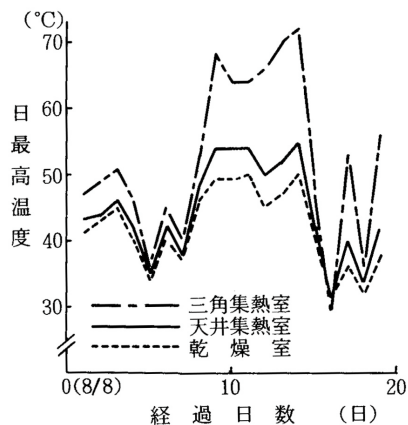
D. 温湿度

C-C熱電対を用いて連続的に記録を行った。平均外気温度については日射量同様、気象観測所の値を参考にした。

4. 実験結果

A. 集熱効率の向上

三角型コレクター、天井部コレクター、乾燥装置それぞれの日最高気温の関係を第1図に示す。これは昭和59年夏季に行った実験データである。風は三角型コレクターから天井部コレクターそして乾燥室へ流れており、天井部コレクターと乾燥室は内部循環ファン(6基)、強制吸気ファン(2基)によって内部循環されている。しかし、三角型コレクターは外気と天井部コレクターとの開放系となっているために、日最高温度は他の2室に比べ特に日射量の多い中期が高い傾向となる。一方、天井部コレクターと乾燥室はほぼ近似した値を示し強制対流による送風効果が顕著である

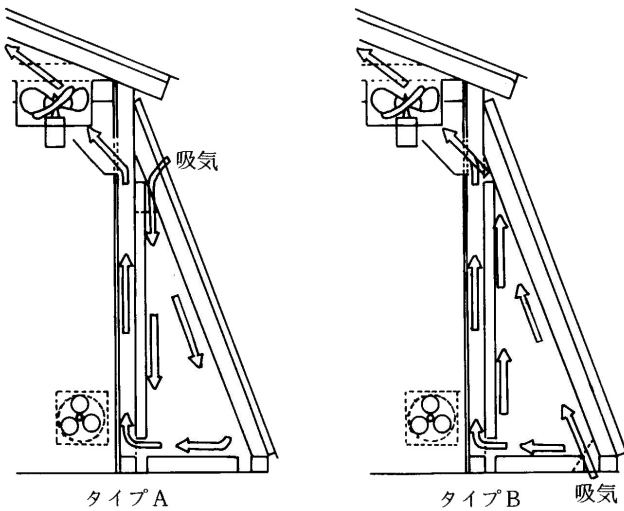


第1図 各室の日最高温度経過

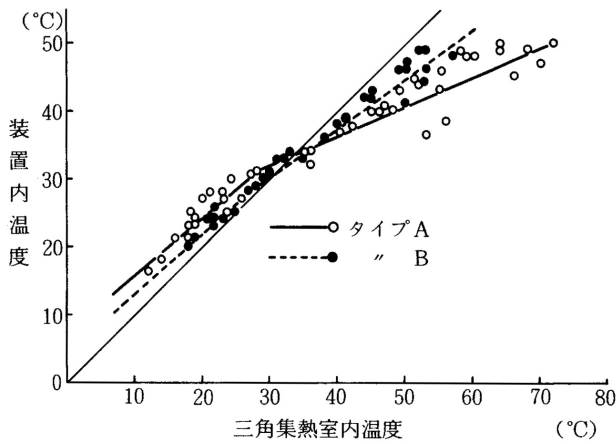
と思われる。

そこで、三角型コレクター内の熱対流をさらに高めるために60年7月16日から第2図に示すタイプBの経路によって実験を試みた。またタイプAは昭和59年に

実験を行った従来型を示している。第3図は風の流れの違いによる三角型コレクター内と装置内の関係を最高・最低温度についてプロットしたものである。夜間は集熱室からの放熱により装置内の方の温度が高い



第2図 三角集熱室の風の流れ



第3図 集熱方式の違いによる集熱温度比較

が、日中においては装置内温度約33℃を境に三角型コレクター内温度が高くなった。これは風の経路の違う2タイプに共通しているが、タイプAがよりその傾向が強く、タイプAはBに比べ装置内と集熱室との温度差が大きい。すなわち日射量を同じと仮定した場合の集熱効率はその1次回帰直線が図に示すX=Y軸に近似するタイプBが高いと思われる。実際に条件のほぼ類似する日と比較した結果、第1表に示すように若干集熱効率の向上が得られ、タイプBは改良型コレクターと判断された。

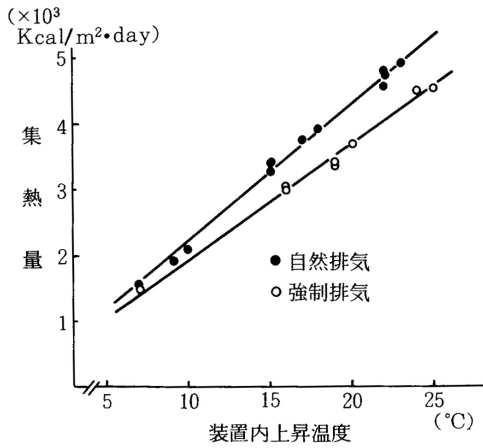
また日中は連続的に熱の強制対流を行う必要があるが、装置内温度が約30℃を下降した時点で三角型コレクター内の強制吸気は省エネルギーの意味において停止状態が有効である。ただし、この停止状態でも内部循環は行われているので強制吸気ファンは負圧力の影響を受け微小ながら回転し外気を吸入していることになる。

排気ファン作動時と停止時(自然排気)における集熱量については第4図に示す様な違いが見られ、低湿化のための強制排気は熱損失をとまなうことが証明された。そこで、強制排気は高湿度条件で乾燥の進行が妨げられると同時にカビの発育しやすい乾燥初期に連続運転を行う以外は、乾燥速度や省エネルギー

第1表 三角集熱室の集熱特性比較表

	月.日.	平均外気温 (°C)	空気上昇温度 (°C)	水平面全天日射量 (Kcal/m ² ・day)	受熱面日射量 (Kcal/m ² ・day)	集熱量 (Kcal/m ² ・day)	集熱効率 (%)
タイプA	8.9	26	26	4460	3040	872	28.7
タイプB	7.26	26	28	4630	3010	939	31.2

注) 受熱面傾斜角度は、70°。

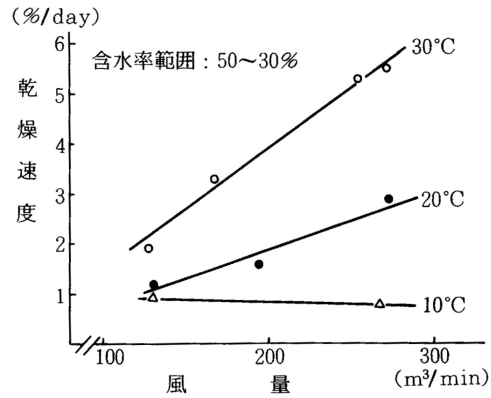


第4図 排気方法による集熱量比較

ギー効果などの影響を考慮すると極力自然排気にすることが適正と思われる。また温度上昇の期待できない冬季には全期間を自然排気、あるいは中期以降に排気口を閉の状態にするなどして熱損失を抑える対策が必要となる。

B. 送風機の適正運転について

人工乾燥の場合、風量は栈木厚や必要風速あるいは栈積み量などによって決定され、乾燥中は常時送風するのが一般的である。当装置は受熱日射量の影響が大きく装置内温度が比較的低温度レベルで変動するために、蒸発速度も一定しない。すなわち風量がある時期には過大となる状況が生じると考えられる。そこで、温度レベル(10, 20, 30)をパラメータとして風量と乾燥速度の関係についてプロットし第5図を得た。なお、この図は比較的風量に乾燥速度が影響を受けやすいと考えられる繊維飽和点以上の含水率(50~30%)域での比較を試みている。また風量とは送風機の1日の稼働時間から総風量を算出し、1日単位の相対量値で示した。ここで、20, 30については風量272m³/minを最大に蒸発速度は増大するが、10ではむしろ若干低下傾向となって現れている。このことから、日射量が低下し乾燥期間中の平均温度が約10以下となる季節は夜間の送風は行わず、また外気取り入れのための強制吸気ファンは全期間稼働させないな



第5図 風量と乾燥速度の関係

どの処置により、消費電力を極力抑え希薄な太陽エネルギーの最大利用を計るべきである。過去のデータによれば平均温度10以下となる月は旭川地区の場合、11月から2月まで約4ヵ月間となる。その他の月に關しては集熱効率の向上について述べたように内部循環は連続とし、強制吸気は夜間(装置内温度が約30以下)停止とする条件が有効と言える。

また強制排気については第4図で示される様なエネルギー損失が生じるため、低温となる秋から冬季にかけて停止とし、この時期以外では相対湿度が乾燥速度遅滞あるいはカビの発育を促進させていると判断される乾燥初期には稼働させる必要があると思われる。強制的に排気を行わない時は自然排気口からの排湿とする。

以上の送風機操作によって消費される1日の電力量を第2表に示す。これより通年での電力料金を乾燥日数に乗じて算出するとおおよそ700~1,000円/m³の範囲となる。すなわち前年度算出した乾燥コスト⁴⁾(償却費、労務費、雑費等を含む)約2,000~2,400円/m³は受当値と言える。なお、間欠運転はA.M.7:00スタートの日中10時間を稼働タイム条件とした。

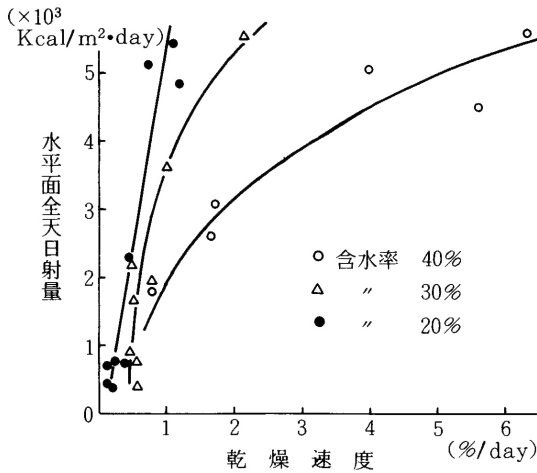
C. 乾燥日数の推定

各含水率域(20, 30, 40%)での乾燥速度と水平面全天日射量の間係を第6図に示す。この時の送風量は一定の約296m³/minである。乾燥速度は当然ながら高含水率時で速く、しかも日射量の増加に従って加速

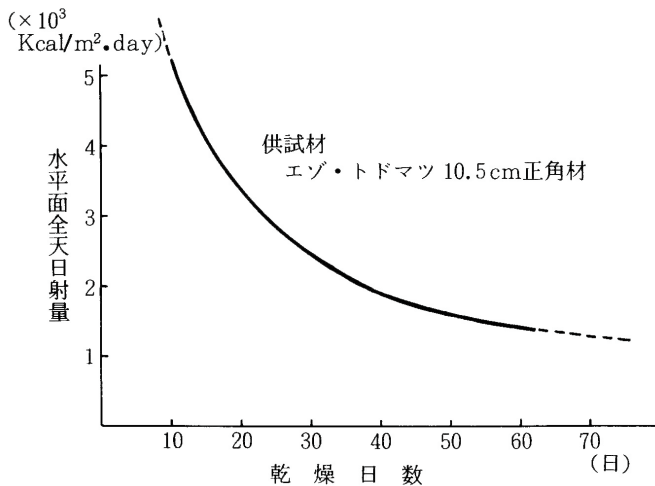
第2表 送風条件と消費電力量

時期	強制吸気 (2基)	内部循環 (6基)	強制排気 (2基)	電力量 (kWh/day)
春～夏季 (乾燥初期)	間欠	連続	連続	約 26.4
春～夏季 (乾燥中・ 末期)	間欠	連続	停止	約 24.3
秋～冬季	停止	間欠	停止	約 9.6
冬～春季 夏～秋季	間欠	間欠	停止	約 12.7

注) 間欠運転は日中の10時間稼働



第6図 含水率別の日射量と乾燥速度の関係



第7図 日射量と乾燥日数の関係

化されている。当装置は建築用構造材の簡易促進乾燥として特徴づけられているが、この図から含水率20%での乾燥速度は1日当たりほぼ1%未満となり装置能力としてはほぼ限界に近い値としてとらえることができる。したがって、経済性から考えて仕上がり含水率18~20%は妥当な目標値と言える。

次に、含水率50%から20%までの乾燥日数を期間中の平均全天日射量から推定するため、材表面蒸気圧差を用いて相互の関係を調べた。この結果、乾燥速度と蒸気圧差、平均水平面全天日射量と蒸気圧差はいずれも正の相関が認められたため、乾燥日数(D)と平均水平面全天日射量()との関係を次の実験式として求めた(第7図)。

$$= 41713.5 \cdot D^{-0.8269}$$

この推定日数は、ほぼ過去の実験による実測値¹⁾と一致した。この図によれば、乾燥は平均水平面全天日射量的1400kcal/m²·dayで約2カ月を要し、含水率20%以下の乾燥材をこれ以下の低日射量条件で仕上げる場合、低含水率域での乾燥の進行は期待できず末期は不経済な状況が生じる。これは前述した含水率別乾燥速度比較からも容易に判断される。このため旭川地区の場合、秋から冬季にかけては2カ月を最大乾燥日数として当装置は利用されるべきであろう。

5. まとめ

今回はソーラードライヤーを有効に利用するために、主に乾燥速度と風量あるいは日射量などの関係から四季を通じた林産試型ソーラードライヤーの適正稼働条件について検討を行った。その結果、以下の条件事項が得られた。

1. 三角型コレクターでの風の流れは従来型(タイプA)を改良(タイプB)する事によって、若干ではあるが集熱効率の向上が認められた。
2. 装置内温度約30以下は、強制吸気ファンは停止状態(間欠運転)が有効である。

3. 装置内温度20, 30の時の乾燥速度(含水率50%から30%まで)は風量の増加に従い大きくなるが、約10以下の低温度域では風量の影響は小さいため、送風機の稼働時間を間欠運転により短くし、電力量の節約をこころがける。

4. 強制排気は乾燥初期に連続としカビの抑制・低湿化をはかり、温度上昇が小さい低日射量条件には自然排気あるいは排気を行わず熱損失を抑える。

5. 以上の様な送風をこころがけた場合の消費電力量は1日当たり、日射量条件の最も悪い時期で約9.6kW、良い時期では約25kWとなる。

6. 建築用構造材を当装置で乾燥する場合、仕上がり含水率の目標値は約17~20%が妥当値であると思われる。

7. 水平面全天日射量から乾燥日数を推定した結果、過去の実験による実測値とほぼ一致した。これよ

り低日射量時期の乾燥日数は2カ月を限度とすべきである。

文 献

- 1) 中島 厚ほか2名: 太陽熱利用木材乾燥(第1報), 林産誌月報, 417, 1(1986)
- 2) 掘部隆雄ほか3名: ソーラードライヤーシステムに関する基礎的研究, 三重大学農学部学術報告, 59(1979)
- 3) 日本太陽エネルギー学会編: 太陽エネルギーの基礎と応用(オーム社)1978
- 4) 北海道立林産試験場: 年報 昭和59年度

- 木材部 乾燥科 -
(原稿受理 昭61.8.20)