

# 太陽熱利用木材乾燥 (第1報)

—建築構造材の季節別乾燥特性—

中 篤 厚 千 葉 洋 市  
奈 良 直 哉

## The Solar-Drying of Lumber ( )

- The characteristics of solar - dried softwood lumber in each season —

Atsushi NAKAJIMA Yoichi CHIBA  
Naoya NARA

A green-house type of solar dryer was developed at this institute in 1983 as a simple method to dry lumber, and efforts have been made to popularize the method among related industries. The characteristics of wood dried in this way are different from season to season, so tests have been made to clarify the difference by comparing the characteristics of the softwood lumber, 10.5×10.5×365cm, dried in the solar method with those of the lumber dried naturally. The results are summarized as follows:

- (1) In summer, the solar drying was over twice as effective as the air drying. In winter, it took the solar drying one and a half to two months to dry the lumber from a green state to a 20-percent moisture content.
- (2) Quality reduction was seen in boxed-heart lumber, because it tended to suffer from checks and twists.
- (3) Whether the piling volume was normal, 11m<sup>3</sup>, or half that of the normal piling, 5.5m<sup>3</sup>, there was little difference in checks and drying time.
- (4) Excluding the money interest, the drying cost was 2,000 to 2,400 yen per cubic meters all through the year.

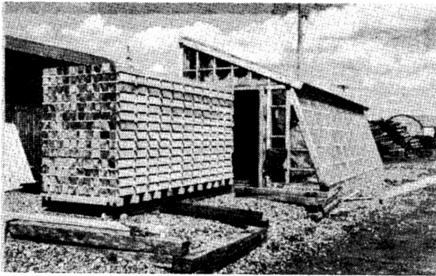
簡易木材乾燥装置として当場では1983年にグリーンハウスタイプソーラーシステムを開発し、業界への実用化をはかっている。このソーラードライヤーの乾燥特性は季節で異なり、建築構造材(10.5×10.5×365cm)を乾燥した場合のその特徴について、主に天然乾燥との比較により検討し、以下の結果を得た。

- (1) 天然乾燥に比した乾燥効率は夏季で約2倍以上である。冬季の場合は1.5~2カ月で含水率20%まで乾燥することができる。
- (2) 心持ち材は割れ・ねじれによる品質低下がある。
- (3) 収容材積を1/2とした場合でも、標準材積(11m<sup>3</sup>)と割れの状況・乾燥日数などはほぼ一致

する。  
 (4) 乾燥コスト(金利含めず)は通年で2,000~2,400円/m<sup>3</sup>となった。

### 1. はじめに

木材を乾燥する方法は大きく分けて2つある。すなわち、蒸気式I.F.型乾燥装置などを用いる人工乾燥と天然乾燥であるが、林産試型ソーラードライヤー(写真)による木材乾燥とは、天然乾燥の促進手段として無尽蔵の太陽エネルギーを利用する簡易木材乾燥システムとして位置付けることができる。その特徴は、天然乾燥日数の短縮、最終含水率の低下、建設・エネルギーコストの低減などである。今回は各季節別



林産試型ソーラードライヤーと供試材

に乾燥試験を行い、主に天然乾燥との比較を試みながら通年の乾燥特性及び装置特性について報告をする。

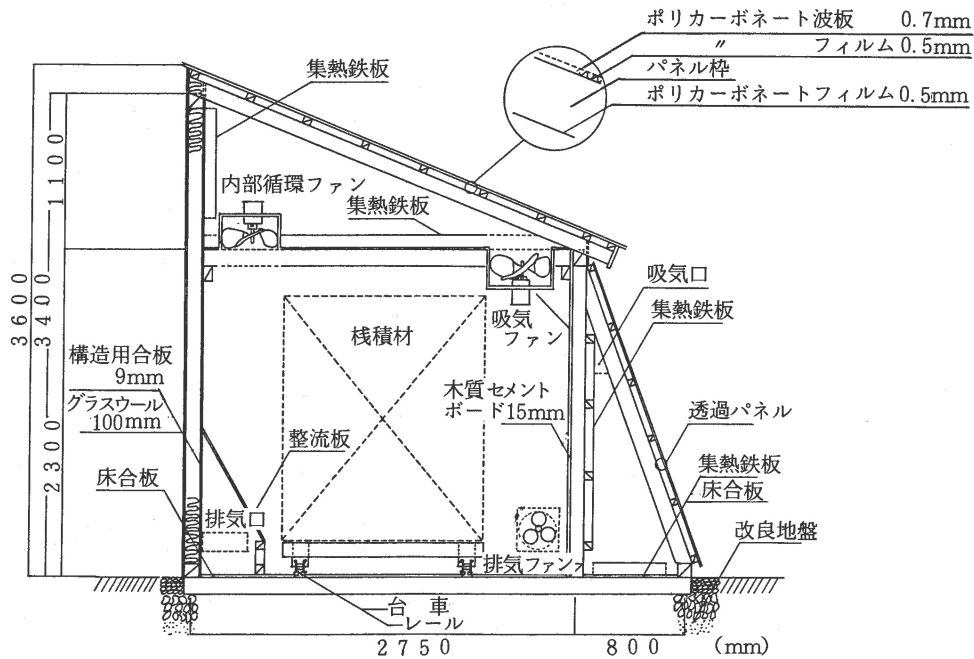
### 2. 装置の概要

ソーラードライヤーの寸法と各部の名称を第1図に示す。床面積は32m<sup>2</sup>で、構造材には乾燥木材を使用している。北面は構造用合板と100mm厚の断熱材で保温効果を高め、その他の太陽光線を受ける面はポリカーボネートフィルム透過体の2重層で、さらにその外面をポリカーボネート波板で覆っている。ただし、東西面は波板を使用していない。

強制吸気ファン2基、内部循環ファン6基を天井面に設置して空気集熱をさせ、東西面の排気ファンまたは自然排気口によって湿度を低下させている。

### 3. 実験方法

供試材はエゾ・トドマツ混み正角材(10.5×10.5×



第1図 ソーラードライヤー断面図

365cm)で、材積は約11m<sup>3</sup>（280本）である。

### 3.1 試験期間

試験のスタートは昭和60年5月17日（春）、8月7日（夏）、10月25日（秋）、昭和61年1月17日（冬）、各季節ごととし、さらに8月27日に収容材積を通常の2分の1、つまり5.5m<sup>3</sup>を供試し乾燥特性の比較を試みた。また比較のために、6月3日から同じくエゾ・トドマツ正角材4.3m<sup>3</sup>を天然乾燥した。

### 3.2 装置特性試験

ソーラードライヤー内の温湿度はC-C熱電対で、また外気の温湿度は毛髪自記温湿度計（7日巻）で連続的に測定した。なお、1月17日から2月10日までのソーラードライヤー内湿度は、センサーに水を使用しているため氷結が起こり測定を停止している。

### 3.3 乾燥特性試験

含水率については測定用サンプル材（材長1m）を各条件ごとに10本選び残積み幅方向に一直列に並べ、1日1回重量を測定し全乾法により平均値を求めた。また収縮率は心去り材の追証に近い接線方向の寸法を1/20mm精度のノギスで測定し、次式で求めた。

$$= (L_1 - L) / L_1 \times 100 (\%)$$

：収縮率，L<sub>1</sub>：生材時の長さ，L：測定時の長さ

水分傾斜については心去り材の木口から少なくとも100mm以上入った箇所から繊維方向に約20mmの試験片を取り、厚さを15等分した各々のスライス片の含水率を全乾法により求めた。同時にスライス前後の幅方向の伸縮をダイヤルゲージ付伸縮測定器（精度：1/100mm）で測定し歪量を次式で求めた。

$$= (d_2 - d_1) / d_1 \times 100 (\%)$$

：歪量，d<sub>1</sub>：スライス前の長さ，d<sub>2</sub>：スライス後の長さ

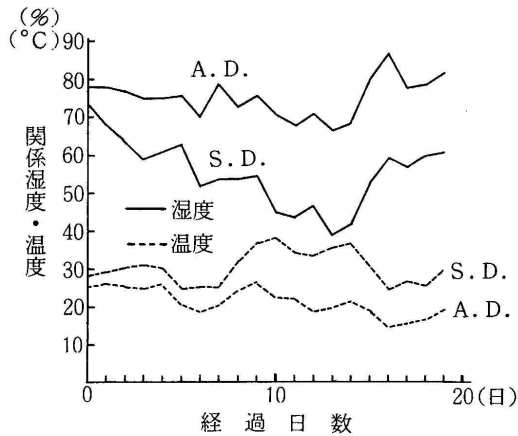
乾燥による損傷は、割れ・ねじれ・曲がりについて測定した。割れは木口割れと表面割れについて割れ本数・長さ・幅を、それぞれ心持ち・心去り材に分け全数測定した。割れ長さは1

mm単位で、幅については個々の割れの最大値をテーパゲージにより0.1mm単位で読み取った。ねじれ・曲がりについては、それぞれ材長3.6mに対する角度（傾斜計付水平器で1分単位まで）と中央部矢高（スケールで0.5mm単位まで）を心持ち・心去り材に分けて測定した。

## 4. 結果と考察

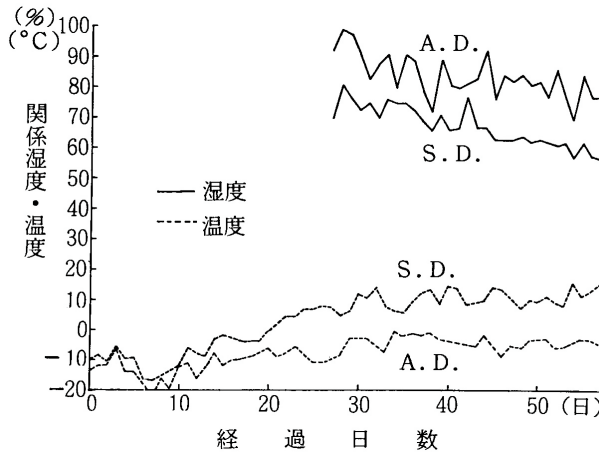
### 4.1 装置特性

夏季と冬季の温湿度経過図をそれぞれ第2、3図に示す。温湿度は1日の平均値である。図中のS・D・



第2図 温湿度経過（夏）

注）A・D・：天然乾燥 S・D・：ソーラードライヤー内  
（第3図以降同様）



第3図 温湿度経過（冬）

はソーラードライヤー内を、A・Dは天然乾燥つまり外気を示している。夏季のソーラードライヤー内の温度は外気より5 から17 の範囲で高く推移し、特に中期から末期にかけてその差が広がっている。乾燥初期は人工乾燥でいう昇温時間が長い、すなわち材温がまだ低くエネルギーを多量に必要とすることから、外気温との差が顕著には見られない。ソーラードライヤー内の全期間を通じての平均温度は30.7 であった。関係湿度は多少外気の影響を受けているが、含水率約20%に達する14日目まで相対的な低下が見られ、その後は外気の湿度に強く影響されている。冬季の全期間を通じての平均温度は3.5 と低く、乾燥は氷点下を上回る経過日数20日後つまり2月7日以降を主体に進

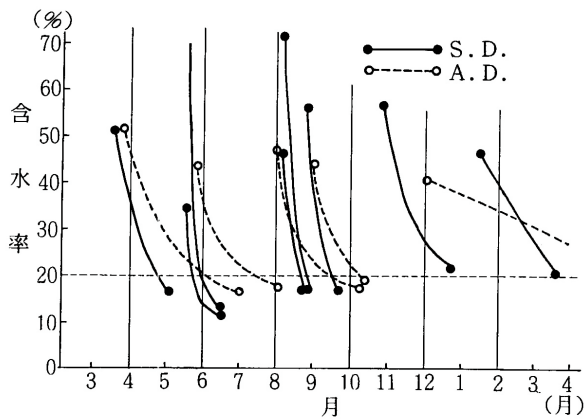
夏季においても、ソーラードライヤーによる供試材の乾燥は天然乾燥の約1/2の時間で進行し、その促進効果が明らかである。この図から旭川地域のソーラードライヤー1基分の年間処理材積を算出してみると、約165m<sup>3</sup>(15サイクル)となる。また第1表には6試験期間による乾燥例を示す。条件の良い(全天日射量4000kcal/m<sup>2</sup>day以上)期間では約2週間で乾燥(含水率20%まで)するが2000kcal/m<sup>2</sup>day以下では約2ヵ月の日数を費やした。特に冬季は、繊維飽和点からの乾燥が困難であるために人工乾燥前の予備乾燥として利用する方法が有効と考えられる。

次に、各条件別の乾燥で生じた割れとねじれ、そして曲がりの心去り・心持ち材別測定値を第2表に示す。

行したと思われる。冬季も夏季同様、乾燥中期から末期にかけて天然乾燥に対する優位性が見られる。

#### 4.2 乾燥特性

通年の乾燥経過を第4図に示す。天然乾燥は昭和55年のデータを使用している。この図によると、冬季つまり12月1日スタートの天然乾燥は他の条件に比べて乾燥速度が極端に小さく、建築用構造材に少なくとも要求される含水率20%にさえもこの期間では達成不可能である。しかしソーラードライヤーの場合約2ヵ月を要せばほぼ要求を満たす事ができる。同様に春から



第4図 乾燥経過

第1表 ソーラードライヤーの乾燥例(旭川)

乾燥開始日 (月/日)	含水率(%)		乾燥日数 (日)	平均温度 (°C)	平均湿度 (%)	平均全天日射量 (Kcal/m <sup>2</sup> ·D)	
	初期	末期					
5/17	97.6	13.5	27	30.3	44	5145	(5488)
	34.1	11.8		(9)	(27.1)		(46)
8/7	71.8	17.5	20	30.7	56	3951	(4489)
	45.4	16.4		(13)	(31.6)		(55)
8/28	55.8	17.4	23	28.6 (28)	56 (28)	3338	(3328)
10/27	55.9	22.3	53	6.1	72	1175	
1/17	45.4	21.6	56	3.5	68	1949	
3/18	50.4	17.0	42 (33)	16.5(14.7)	58 (63)	3169	(3207)

注) ( )内は含水率20%に低下した時点を基準にした値を示す。  
5月17日、8月7日開始の上下欄は初期含水率の違いによる区分。

木口割れ及び表面割れの割れ本数, 長さに関しては供試材1本(4材面)当たりの合計値を, 割れ幅は割れ1本の平均値を示す。木口割れは両木口の合計値である。なお, 割れ長さについては第5図にヒストグラムを示す。

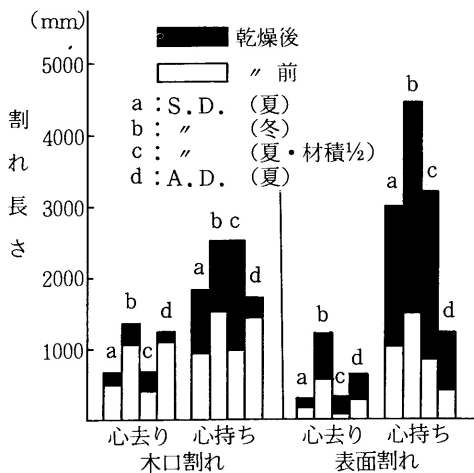
乾燥後の心持ち材の割れ長さを比較するとソーラードライヤーが天然乾燥よりいずれも長い結果となり, ソーラードライヤーは心持ち材を不得手としていることが明らかである。また冬季が夏季より, 割れ長さが大きい傾向になった。さらに材積を半分つまり5.5m<sup>3</sup>にした場合も心持ち材の木口割れを除いて11m<sup>3</sup>(夏季)にした条件とほぼ同じ割れ長さとなり, 収容材積が少ない場合でも割れに及ぼす影響は小さいと判断された。

以上述べてきた割れの試験条件による違いの理由として, 外周温湿度と含水率むら, 材内部の応力関係が考えられるので, 夏季における平均含水率19.3%時の水分傾斜・歪量を第6図に示した。明らかにソーラードライヤーによる乾燥材の含水率バラツキが大きく, 長期間(50日)を要した天乾材の水分分布が平均化され良い仕上がりとなっている。また歪量は内部の圧縮応力(+)が引張り応力(-)に, そして表層の引張り応力が圧縮応力に転換する時期のため複雑に変動し傾向が読みにくい, 若干天然乾燥の変動幅が小さい。これらは, 天然乾燥の割れ長さが短い原因の判断基準として理由づけられる。しかし, 第5図に示した割れ長さの違いが視覚的イメージ, 強度などに直接影響を

第2表 乾燥による損傷(エゾ・トドマツ正角材)

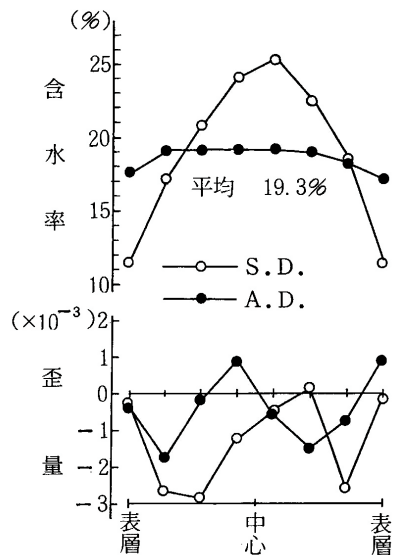
試験条件	供試材数(本)	含水率(%)	木口割れ 本数—幅—長さ	表面割れ 本数—幅—長さ	ねじれ (度/3600mm)	曲がり (mm/3600mm)
S.D. (夏)	250 30	17.0	3.5—0.21—153 9.0—0.49—890	1.5—0.49—117 8.6—1.4—2182	1°37' (1°23') 4°54' (3°26')	2.7 (1.9) 2.9 (2.0)
S.D. (冬)	216 34	21.6	6.2—0.23—295 12.4—0.4—988	7.4—0.51—650 22.4—0.64—2984	1°19' (1°05') 3°09' (2°31')	2.6 (1.7) 3.4 (1.8)
S.D. (夏・材積½)	128 10	17.4	9.1—0.25—248 17.0—0.55—1597	4.0—0.47—257 9.9—1.84—2393	2°03' (1°50') 4°46' (3°44')	2.6 (1.5) 2.4 (1.6)
A.D. (夏)	98 10	20.2	3.4—0.26—112 5.9—0.31—258	9.0—0.36—360 5.7—0.66—792	1°29' (1°22') 2°41' (1°46')	2.7 (2.0) 2.2 (1.6)

注) 上段は心去り材, 下段は心持ち材を示す。( )内は標準偏差値を示す。割れ幅・長さはmm単位。



第5図 割れのヒストグラム

[林産月刊 No.417 1986年 10月号]



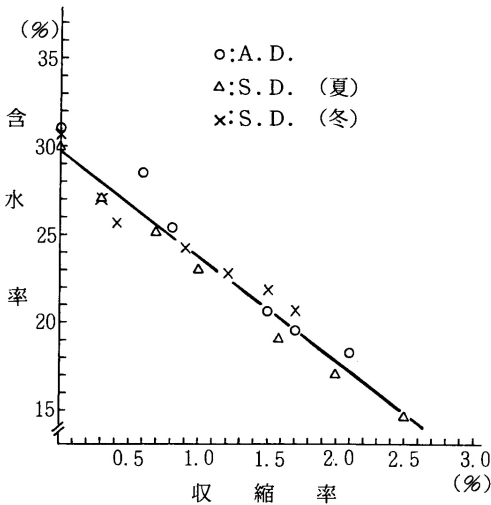
第6図 水分傾斜と歪量(夏)



及ぼすとは考えられず、いずれの条件も許容される割れ範囲である。

次に含水率と収縮率の関係を第7図に示す。いずれの条件もおおよそ1本の直線上にプロットされ、各条件による収縮率の違いは見いだせない。

乾燥によるねじれと曲がりに関し品等区分を試みた(第3表)。ねじれは狂いの制限値<sup>1)</sup>を参考に、材長3.6m、材幅10cm当たりのねじれ角からねじれ量を算出し、2mmと5mmを境界値として分類した。ここで言うねじれ量2mm、5mmとは、生材の断面寸法105mmを乾燥後(含水率20%)ねじれない正角材を仕上げる場合、おおよそそれぞれ102mm、100mmの断面寸法になる事を意味する。すなわち収縮により約2%縮み



第7図 収縮率経過

103mmとなり、正確にねじれない通直な材に仕上げるには更にそれぞれ1mm、3mm削らなければならないわけである。一般に生材と乾燥後の収縮・狂いによる寸法差は約5mmと予想されるので、このねじれ制限値は妥当な数値と思われる。また曲がりについては製材の日本農林規格のひき角類の曲がりの項に準じて、曲がり率として0.2%、0.5%に分類した。

ねじれ量5mm以下の出現率についてみると、心去り材の場合は棧積材積 $\frac{1}{2}$ のソーラードライヤーを除き約90%を超えているが、心持ち材は天然乾燥同様すべてほぼ50%以下である。また心去り材のねじれで棧積材積 $\frac{1}{2}$ のソーラードライヤーが他に比べ比較的大きかったのは、棧積み材積が少ないため材自重による狂いの抑制効果(圧縮圧力)が小さかったことによるものと思われる。曲がりに関しては97%以上が曲がり率0.2%以下となり、品等低下に及ぼす影響は少ない。

#### 4.3 経済特性

最後にソーラードライヤーの乾燥経費を試算してみる。第4表に算出基礎と年間経費を示す。1m<sup>3</sup>当たりの電力量は送風機の条件を一定にした場合、冬場は夏場に比べ当然乾燥日数に比例して高くなる。しかし乾燥速度に見合った送風機の条件を設定することにより通年で平均約730円/m<sup>3</sup>が可能であるとの見通しを得た。また建設費が約170万円(資材コスト)で耐用年数を8年とすれば原価償却費が1,150円/m<sup>3</sup>、そして人件費として棧積みにパート形式の作業員給与(製材所によってはひき立て後の一連の作業工程とし加味し

第3表 ねじれ・曲がりの品等区分

試験条件	供試材数 (本)	ねじれ量			曲がり率		
		~2mm	2~5	5mm~	~0.2%	0.2~0.5	0.5%~
S.D. (夏)	250	119 (47)	99 (40)	32 (13)	271	9	0
	30	6 (20)	5 (17)	19 (63)	(97)	(3)	(0)
S.D. (冬)	216	119 (55)	83 (38)	14 (7)	247	3	0
	34	9 (27)	11 (32)	14 (41)	(99)	(1)	(0)
S.D. (夏・材積 $\frac{1}{2}$ )	128	46 (36)	47 (37)	35 (27)	138	0	0
	10	1 (10)	4 (40)	5 (50)	(100)	(0)	(0)
A.D. (夏)	90	45 (50)	36 (40)	9 (10)	174	6	0
	90	16 (18)	18 (20)	56 (62)	(96)	(4)	(0)

注) 上段は心去り材、下段は心持ち材を示す。( )内は発生材数の百分率を示す。

第4表 コスト試算表

費用区分	年間経費 (万円)	算 出 基 礎
電力料	12.1	5,500kwh @22円 仕上がり含水率20% 年間処理材積165m <sup>3</sup> 15サイクル
栈積費	4.1	パート 450円/人・h 年間 90人・h
償却費	19.0	169万円×0.9÷8年 (施設建設資材費)
金利 雑費	16.9 0.5	169万円×0.1 金利を除く総計×0.02
合計	52.6	

注) 1m<sup>3</sup>当たりの乾燥経費には金利を含めずに計算した。357,000円/165m<sup>3</sup>約 2,200円となる。

ない場合もあり、確立していないのが現状)を加算するとトータルで約2,200円/m<sup>3</sup>の乾燥コストとなる。ただし、手造りを前提としているため金利は含めていない。

## 5. おわりに

省エネルギータイプの林産試型ソーラードライヤーは乾燥経費が安価であることなどから、乾燥材の用途と対象とする材種、そして生産サイクル数などの適切な把握により有効な乾燥手段になり得ることが明らかとなった。今後は天然乾燥の促進方法として関係業界への浸透をはかり、実用化を拡大してゆきたい。

## 文 献

- 1) 宮島 寛: ニュージーランドにおけるラジアータパインの育成と利用 (2), 林産試だより, 11 (1980)

- 木材部 乾燥科