

# 床素材の寸度安定化技術の検討

—熱板乾燥材と熱気乾燥材の吸・放湿特性—

中 島 厚 菅 谷 恵美子

## The Dimensional Stability of Floor Boards —The Moisture Absorbing and Releasing Functions of Hot-Pressed and Kiln-Dried Lumber—

Atsushi NAKAJIMA Emiko SUGAYA

Makanba, *Betula Maximowicziana*, floor boards, each being 2.7×9×50cm, were dried in the kiln-dry and in the hot-press. Then the boards were exposed to the moisture-absorbing environment whose temperature and relative humidity were 20°C and 85% respectively, and to the moisture-releasing environment whose temperature and relative humidity were 60°C and 11% respectively. Throughout each exposure process, the moisture content was varied between 4 % and 15 %, and the dimensional stability of the boards was examined. The results are summarized as follows :

- (1) Both in the absorption and in the desorption processes, the moisture changing rate of the hot-pressed boards was smaller than that of the kiln-dried ones : the absorption and the desorption of the former were 40 % and 11% smaller respectively in the second absorption and desorption processes.
- (2) The hot-pressed boards had a larger dimensional change in the thickness direction, but smaller in the width, than the kiln-dried ones.
- (3) No difference was recognized between the hot-pressed and the kiln-dried boards in warps such as twists, crooks, bows and cups.

*Keywords* : dimensional stability, moisture absorbing and releasing, dried lumber, hot-press  
寸度安定, 吸湿放湿, 乾燥材, 熱板

熱気乾燥と熱板乾燥によって得られたマカンバ材（厚さ2.7×幅9×長さ50cm）を、吸湿（温度20°C、相対湿度85%）と放湿（温度60°C、相対湿度11%）環境において、含水率を4～15%の間で変化させ、寸度安定性に関する比較試験を行った。得られた知見は以下に示すとおりである。

- (1) 熱板乾燥材は熱気乾燥材に比較すると、吸・放湿速度は緩やかで、吸放湿繰り返し2サイクルで、抗吸湿能は約40%、抗放湿能は11%であった。
- (2) 寸法の変化率は、熱板乾燥材の方が板厚方向で大きく、板幅方向で小さかった。
- (3) 材の狂い（ねじれ、縦ぞり、曲がり、幅ぞり）は、いずれも熱板乾燥による明確な差異は見いだせなかった。

## 1. はじめに

木材が吸湿と放湿する性質は、例えば湿気の多い室内の湿度調整に役立ち、快適な空間を生み出す利点などがある反面、収縮膨張や狂いを伴うという欠点ともなる。これに対処する方法としては、化学修飾法を筆頭に各種処理法<sup>1)</sup>が考えられているが、今回は熱板加熱法を用いて熱処理乾燥を行い、通常乾燥（蒸気式乾燥装置による熱気乾燥）によって得られる素材と比較しながら、吸放湿特性と寸度安定性についてその熱処理効果を把握するとともに、床素材生産過程への導入の可能性について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材料

実験に用いた供試材は、末口径40cm上、長さ2.4mのマカンバ原木から木取った厚さ2.7cm、幅9cmの製材で、第1図に示すように同じ1枚の製材品から熱気用（蒸気式乾燥装置で乾燥させるもの）2体と熱板用（熱板装置で乾燥させるもの）2体の計4体を50cm長さで木取った。これらを5枚の製材（No. 1～5）から同様に採取し、計20体を供試した。

### 2.2 乾燥条件

1枚の製材から木取った4体の試験材は、第1図に示すように、A,Bを熱気用、C,Dを熱板用とした。熱気用の乾燥スケジュールは、厚さ2.5cm用の一般的な含水率スケジュール（乾球温度：55～80℃、乾湿球温度差：4～28℃、コンディショニング1日）を適用し、仕上げ含水率8%を目標にして蒸気式乾燥装置で

乾燥を行った。

また熱板用試験材C,Dの熱圧縮条件は、熱板温度160℃、圧縮圧力6kgf/cm<sup>2</sup>で一定とし、C材については仕上げ含水率8%を目標に、D材については2%を目標に乾燥を行った。

### 2.3 吸・放湿試験の方法

乾燥終了後、熱気乾燥材については屋内に6日間放置後、四材面について1～2mm程度プレーナをかけ、直ちに試験材Aを放湿条件下に、試験材Bを吸湿条件下に置いた。熱板乾燥材については、急速乾燥を考慮して約12日間屋内に放置した後、同じく四材面プレーナをかけをして、試験材C、D材とも吸湿条件下に置いた。

吸湿条件の環境は、温度20℃、相対湿度85%、平衡含水率が約18%の恒温恒湿室を使用した。一方、放湿条件は温度60℃、相対湿度約11%、平衡含水率は約2.4%の恒温恒湿槽を使用した。

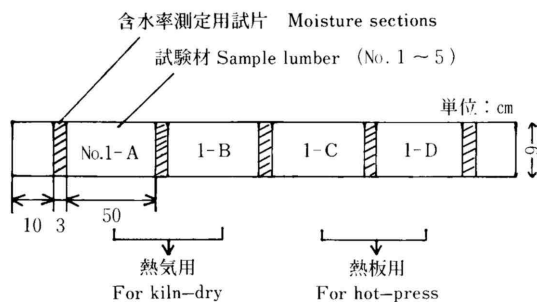
吸・放湿試験の開始・終了時および経過中の任意の時期には、各測定項目（2.4に説明）を測定した。吸放湿過程それぞれの終了判断は、吸湿条件下のものは供試材5体の含水率の平均値が15%、放湿条件下のものは4%とした。繰り返し回数は、試験材Aについては、放湿 吸湿 放湿とし、残りの試験材B,C,Dについては、吸湿 放湿 吸湿 放湿の2サイクルとした。

### 2.4 測定項目

熱気あるいは熱板乾燥前に第1図に示す位置から長さ3cmの試片を取り、全乾法によって含水率を求め、これより試験材の含水率を推定した。

また、試験材の中央において、厚さ、幅方向の寸法を、デジタルノギスを用い1/100mmまで測定した。

材の狂いについては、ねじれ、縦ぞり、曲がり、幅ぞりの測定を行った。ねじれは、デジタル水平器（ソー社製）を用いて、一定の材面について測定し、それら2台を長さ方向の両側材端部に幅方向と平行になるように置いて、1/100分単位で角度を読み、それぞれの値の差をねじれの指標値とした。縦ぞり・曲がりには、一定の材面についてそれぞれ厚さ・幅の寸法測定



第1図 試験材の木取り位置

Fig. 1. Sampling method of cutting and numbering ladders and moisture content sections

位置で、長さ方向スパン30cmのそり量（矢高）を、ダイヤルゲージで1/100mmまで読んだ。幅ぞりについては、表裏二材面について厚さ寸法測定位置で、幅方向スパン8cmのそり量（矢高）を、ダイヤルゲージで1/100mmまで測定した。

吸・放湿繰り返し試験終了後は、寸法測定位置を中心とした試験片を5cm長さで木取り、全乾状態にして含水率、および収縮量を求めた。また、その他に等間隔で試験片を計4片取り、全乾法にて含水率を求め、試験材の推定含水率を補正した。なお、測定した全てのデータは試験材5体の平均値として示した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 乾燥状況について

供試した試験材の初期含水率は、熱気乾燥用試験材A, Bがそれぞれ48.1, 48.9%で、熱板乾燥用試験材C, Dのそれは、それぞれ48.2, 49.6%とほぼ均一になっていた。熱気乾燥日数は7日間で、仕上がり含水率は試験材Aが7.7%、試験材Bが7.8%でNo.1～5においてほぼ同様の値であった。

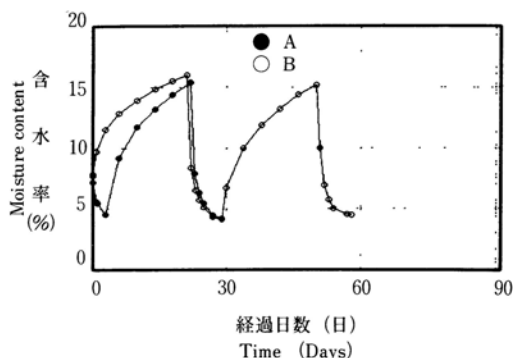
一方、熱板による乾燥時間は、目標の仕上がり含水率を8%とした試験材Cが90分、同じく2%を目標とした試験材Dは140分で、実際の仕上がり含水率はそれぞれ7.8, 2.5%となり、ほぼ目標値に到達させることができた。

乾燥開始時（生材）から乾燥終了を経て養生を終えるまで（プレーナがけ前）の厚さ寸法の変化は、熱気乾燥A材が27.25mmから25.59mmまで1.66mm収縮し、乾燥開始時の寸法を基準として収縮率を求めると6.09%になる。同様に、熱気乾燥B材では1.82mm収縮し収縮率が6.62%、熱板乾燥C材は3.65mm収縮し収縮率は13.40%、熱板乾燥D材は4.3mm収縮し15.72%の収縮率となった。得られた収縮率を単純に含水率の変化量で除して含水率1%あたりに換算すると、試験材A, B, C, Dはそれぞれ0.15, 0.16, 0.34, 0.35%となり、通常の熱気乾燥材に比較すると、熱板乾燥材の方が約2.2倍多く縮んだことになる。また同様に幅方向の寸法変化をみると、試験材A, B, C, Dの含水率1%

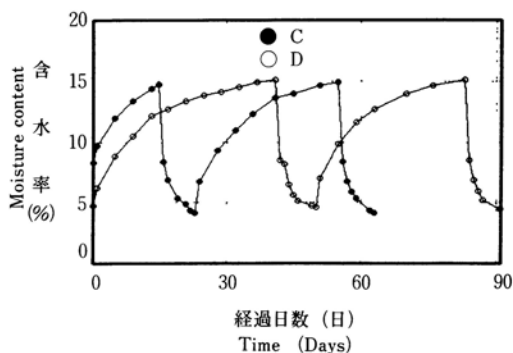
当たりの収縮率はそれぞれ0.16, 0.16, 0.04, 0.05%となり、厚さ方向の現象とは逆に、熱板乾燥材の方が約7割も収縮量が少ない。これらは熱圧縮処理法の特徴の一つとして以前から同様の報告<sup>2)</sup>があり、当然の結果ともいえる。処理後の乾燥材の吸・放湿過程における寸法変化については、以上の現象を踏まえて検討する必要があると思われる。

#### 3.2 含水率変動について

乾燥材の吸・放湿過程における含水率経過を第2, 3図に示す。プレーナがけ直後の平均含水率は、熱気乾燥A材が7.7%, B材が7.8%, 熱板乾燥C材が8.3%, D材が4.7%となった。熱気乾燥A, B材は、乾燥直後の含水率と6日間養生後のそれに差はなかった。熱板乾燥C材は乾燥直後の含水率が7.8%であったため、約12日間の養生によって含水率が0.5%増加した。ま



第2図 吸・放湿過程における含水率経過(熱気乾燥材)  
Fig. 2. Moisture content in process of absorption and desorption (Kiln-dried lumber)



第3図 吸・放湿過程における含水率経過(熱板乾燥材)  
Fig. 3. Moisture content in process of absorption and desorption (Hot-pressed lumber)

第1表 熱気乾燥材と熱板乾燥材の吸・放湿速度  
Table 1. Ad-/De-sorption rate of kiln-dried and hot-pressed lumber

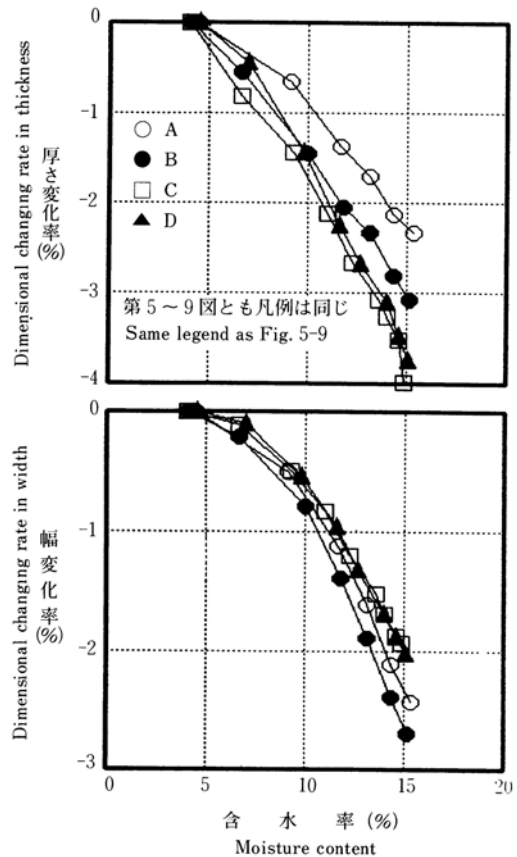
		熱気乾燥 Kiln-dry		熱板乾燥 Hot-press		B材に対する抗吸・放湿能(%) Moisture excluding efficiency for lumber B	
		A材	B材	C材	D材	C材	D材
1回目吸湿 First stage of absorption	含水率 Moisture content		7.8→16.0 %	8.3→14.7	4.7→15.1	6	31
	吸湿速度 Absorption rate		0.016 %/h	0.015	0.011		
1回目放湿 First stage of desorption	含水率 Moisture content	7.7→4.5	16.0→4.1	14.7→4.1	15.1→4.6	15	25
	放湿速度 Desorption rate	0.045	0.072	0.061	0.054		
2回目吸湿 Second stage of absorption	含水率 Moisture content	4.5→15.4	4.1→15.2	4.1→14.9	4.6→15.1	36	41
	吸湿速度 Absorption rate	0.024	0.022	0.014	0.013		
2回目放湿 Second stage of desorption	含水率 Moisture content	15.4→4.2	15.2→4.4	14.9→4.1	15.1→4.4	11	11
	放湿速度 Desorption rate	0.075	0.063	0.056	0.056		

たD材は、乾燥直後の含水率が2.5%であったため、同様に2.2%増えた。この違いは養生期間の差にもよるが、雰囲気中の平衡含水率値と材の含水率値との開きによる影響が主な要因であると考えられる。

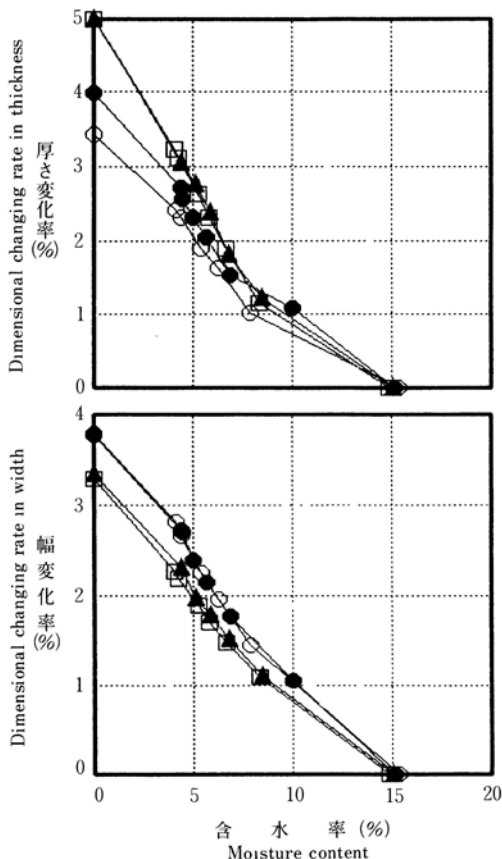
吸湿による含水率の増加割合、および放湿による減少割合については第1表に示すとおり、いずれも熱板乾燥材の方が熱気乾燥材より低い数値を示した。含水率変化域がほぼ一致する2回目の吸放湿過程において、熱気乾燥B材の吸・放湿速度(%/h)と熱板乾燥C、D材のそれを比較すると、含水率約4~15%の範囲では吸湿過程で36・41%の抗吸湿能が、放湿過程ではいずれも11%の抗放湿能が得られた。よって、熱板乾燥材は熱気乾燥材に比して、特に吸湿反応が鈍いと判断される。これらは熱圧処理による寸度安定性向上の主因と考えられ、セルロース結晶領域の増加やヘミセルロースの熱化学的変化などがその理由として挙げられる。特に、ペントースがフルフラールポリマーになり疎水化する<sup>3)</sup>ことに関連するものと思われるが、定量的な結論を導くにはさらに検討を要する。

### 3.3 寸法変化について

2回目の吸・放湿過程における含水率と厚さ・幅寸法変化率の関係について、第4、5図に示す。ここでいう寸法変化率とは、以下の式で求めたものである。



第4図 吸湿過程における含水率と寸法変化率の関係  
Fig. 4. Relation of moisture content to dimensional changing rate in process of absorption



第5図 放湿過程における含水率と寸法変化率の関係  
Fig. 5. Relation of moisture content to dimensional changing rate in process of desorption

$$\text{寸法変化率 (\%)} = \frac{(\text{変化前の寸法} - \text{変化後の寸法})}{\text{変化前の寸法}} \times 100$$

ただし、変化前の寸法とは、吸湿あるいは放湿環境に置いた最初の寸法を示し、変化後の寸法とは、それぞれの環境に放置し、経過中に測定した寸法を示す。なお、1回目の吸・放湿データでは傾向が見いだせなかったため省略した。

第4図に示す吸湿過程における関係では、含水率約15%に到達した時点で、厚さ寸法の変化率は熱板乾燥C、D材で約-4%を示すが、熱気乾燥A、B材では-2.3~-3%と変化は小さい。また、幅寸法の変化率は、厚さ変化率の傾向とは逆に、熱板乾燥C、D材は含水率15%時に-2%、熱気乾燥A、B材は約-2.3~-2.8%を示し、熱気乾燥材の方が大きな変化を示した。

一方、第5図に示す放湿過程においても、厚さ変化率は熱板乾燥材の方が大きく、逆に幅寸法の変化率では熱気乾燥材の方が大きい。

これら寸法変化の関係については第2表に示すとおりである。ただし表中に示す寸法変化率とは、吸・放湿過程の各段階で、上段に示す含水率範囲における含

第2表 熱気乾燥材と熱板乾燥材の寸法変化率  
Table 2. Dimensional changing rate of kiln-dried and hot-pressed lumber (%)

		熱気乾燥 (A材) Kiln-dry (A)		熱気乾燥 (B材) Kiln-dry (B)		熱板乾燥 (C材) Hot-press (C)		熱板乾燥 (D材) Hot-press (D)	
		厚さ Thickness	幅 Width	厚さ Thickness	幅 Width	厚さ Thickness	幅 Width	厚さ Thickness	幅 Width
1回目吸湿 First stage of absorption	含水率 Moisture content	7.8→16.0		8.3→14.7		4.7→15.1			
	寸法変化率 Changing rate	0.289		0.256		0.446	0.110	0.518	0.165
1回目放湿 First stage of desorption	含水率 Moisture content	7.7→4.5		16.0→4.1		14.7→4.1		15.1→4.6	
	寸法変化率 Changing rate	0.137	0.186	0.238	0.259	0.275	0.208	0.274	0.237
2回目吸湿 Second stage of absorption	含水率 Moisture content	4.5→15.4		4.1→15.2		4.1→14.9		4.6→15.1	
	寸法変化率 Changing rate	0.214	0.223	0.279	0.243	0.370	0.179	0.358	0.193
2回目放湿 Second stage of desorption	含水率 Moisture content	15.4→4.2		15.2→4.4		14.9→4.1		15.1→4.4	
	寸法変化率 Changing rate	0.215	0.251	0.250	0.251	0.299	0.209	0.283	0.215
平均収縮率 Shrinkage per 1% of m. c.		0.224	0.246	0.262	0.248	0.337	0.220	0.330	0.222

水率1%当たりの寸法変化率で表したものである。2回目の吸・放湿過程の変化率について熱気乾燥B材に対する熱板乾燥C, D材の比をみると、厚さについては吸湿でそれぞれ33, 28%, 放湿で20, 13%増加している。また、幅については吸湿でそれぞれ26, 21%, 放湿で17, 14%減少した。すなわち、熱圧処理により厚さ方向では寸度安定性が低下し、幅方向では向上する結果となった。特に、この傾向は仕上がり含水率を8%としたC材において顕著であった。また、2回目の放湿過程における含水率15%から全乾状態までの平均収縮率を求めると、第2表に示すとおり、寸法変化率と同様の傾向が得られた。

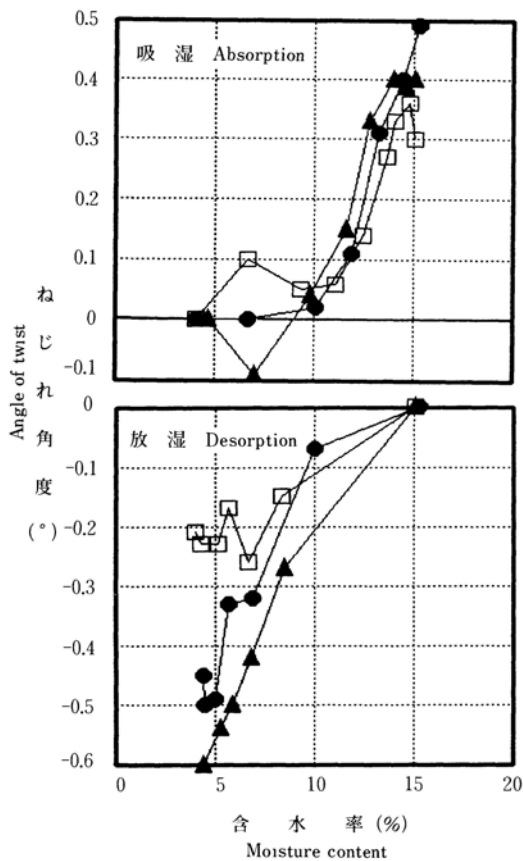
熱板処理によって得られた乾燥材は、厚さ方向に加圧されながら高温処理されるため、通常の熱気乾燥処理よりも材は軟化し、物性の変化によって厚さの戻り

(スプリングバック)が大きくなったものと考えられる。

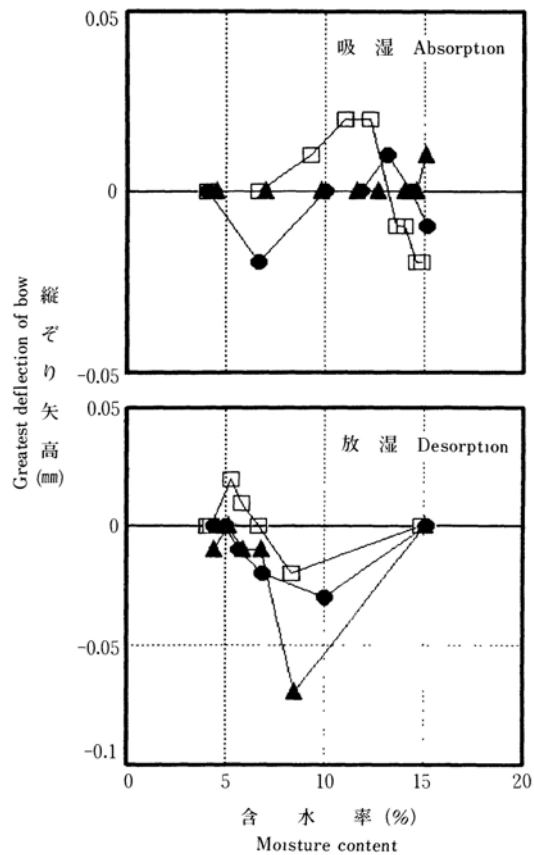
### 3.4 各種狂いの変化

#### 3.4.1 ねじれ

2回目の吸・放湿過程における含水率とねじれの関係を第6図に示す。なお、熱気乾燥A材については、乾燥終了後の放湿試験から開始したため、他の試験材との整合性がとれず、狂いに関する考察には含めないこととした。吸湿過程において、ねじれは3条件とも同様にプラス側（左旋回）に移行し、吸湿期間の後半（含水率10%以上）で急激に変化した。一方、放湿過程においては全てマイナス側（右旋回）に移行し、最も変化量の少ない条件は熱板乾燥C材で、大きかったのは熱板乾燥D材の $-0.54^{\circ}$ であった。また、放湿期間後半（含水率10%以下）で変化が顕著であった。し



第6図 吸・放湿過程における含水率とねじれの関係  
Fig. 6. Relation of moisture content to twist in process of absorption and desorption



第7図 吸・放湿過程における含水率と縦ぞりの関係  
Fig. 7. Relation of moisture content to bow in process of absorption and desorption

かしながら、各条件間で含水率とねじれ量の関係に明確な差異は認められない。

### 3.4.2 縦ぞり

2回目の吸・放湿過程での含水率と縦ぞりの関係について第7図に示す。どれも一定の傾向が認められず、熱気あるいは熱板乾燥とも、ほぼ同様の縦ぞりを生じる可能性が高いと考えられる。

### 3.4.3 曲がり

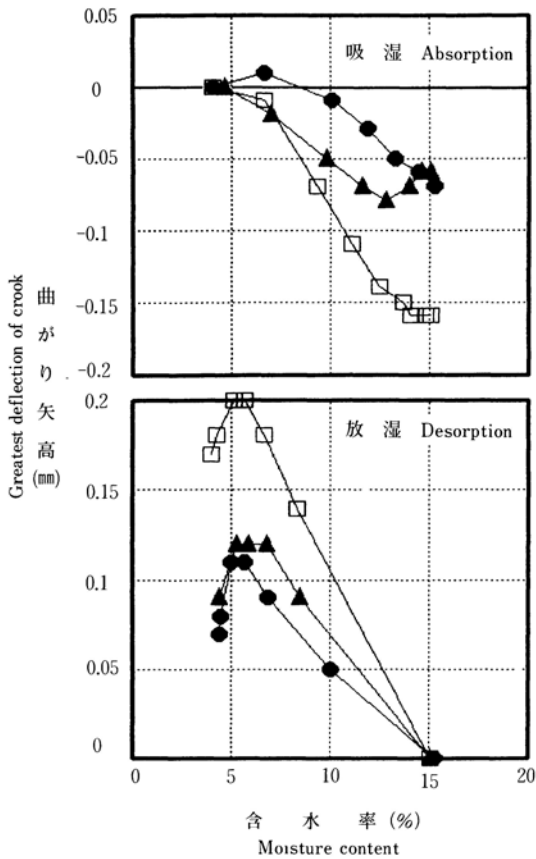
含水率と曲がりの関係について第8図に示す。矢高は吸湿過程において、各条件とも緩やかにマイナス側に推移した。最大変化量の少ないのは熱気乾燥B材で、大きいのは熱板乾燥C材である。一方、放湿過程では一様に含水率約6%まではプラス側に变化し、以降は減少傾向となった。最大変化量は熱板乾燥C材が0.2mmと若干大きい、その他B、D材は類似の傾向を示し

た。

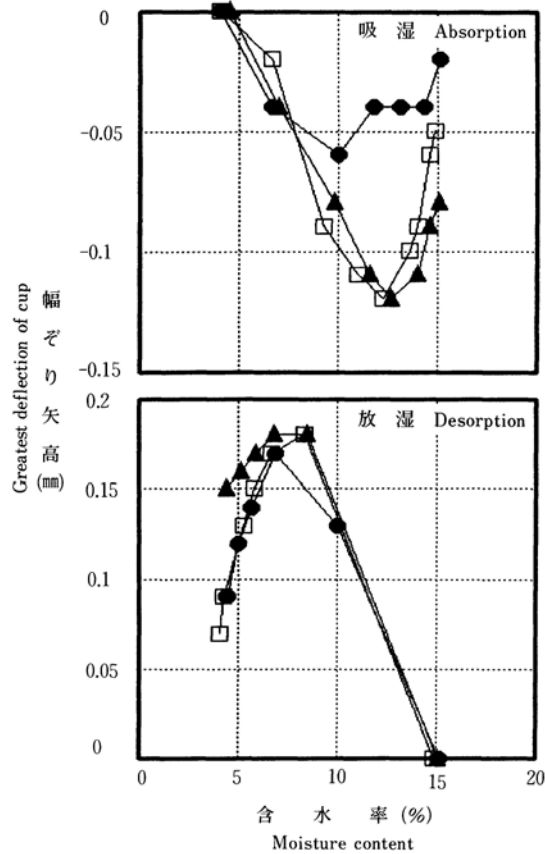
曲がりについては、熱板乾燥により仕上がり含水率8%とした条件が若干大きな狂い量となったが、含水率約2%に仕上げた熱板乾燥D材が、熱気乾燥B材と大差ないことから、さらに検討が必要と思われる。

### 3.4.4 幅ぞり

同様に含水率と幅ぞりの関係について第9図に示す。特異的な事柄としては、吸湿過程において含水率12~13%を境に、また放湿過程においては含水率7~8%を境に、それぞれ矢高変化の推移が逆転していることが上げられる。いずれもそれぞれの環境に放置してから含水率が約8%増減した付近であり、熱気、熱板の差異は顕著には認められない。放置開始時の矢高と逆転現象が発生した矢高の差、すなわち最大変化量は、吸湿過程における熱気乾燥B材が0.06mmと若干低



第8図 吸・放湿過程における含水率と曲がりの関係  
Fig. 8. Relation of moisture content to crook in process of absorption and desorption



第9図 吸・放湿過程における含水率と幅ぞりの関係  
Fig. 9. Relation of moisture content to cup in process of absorption and desorption

いが、放湿過程では全て0.17~0.18mmの範囲である。すなわち、幅ぞりに関しても他の狂い同様、熱板乾燥と熱気乾燥処理の間で明確な差異が認められなかった。

#### 4. まとめ

熱気乾燥と熱板（プレス）乾燥によって得られた乾燥材の吸・放湿特性と、寸度安定性に関する試験を行った結果、以下のとおりであった。

熱板乾燥材は、熱気乾燥材に比較すると吸・放湿速度は緩やかで、吸放湿繰り返し2サイクル目で抗吸湿能は約40%、抗放湿能は11%となった。特に、低含水率（約2%）まで乾燥した材料の方が吸湿能は若干低い。しかし、吸湿による膨張、放湿による収縮は、板厚方向で大きく、特に仕上がり含水率を高くした熱板乾燥材の寸法変化率は熱気乾燥条件に対し、吸湿で33%、放湿で20%増加した。逆に、板幅方向は吸湿で26%、放湿で17%減少し、寸度安定性が付与された。

材の狂いについては、いずれも熱板乾燥による差異

は見いだせなかった。

以上から、素材の熱板による熱圧処理法は板幅方向について寸度安定化が図られ、用途として木質フロア材を考えた場合、単層フローリングに適用できる可能性が高いと思われる。一方、板厚方向をフロア面として利用する場合については、吸・放湿能と膨張・収縮が相反する関係となり、通常の熱気乾燥による処理材との違いが明瞭には現れないものと考えられる。

#### 文 献

- 1) 日本木材学会研究分科会報告書：木材の科学と利用技術（寸法安定化）（1989）
- 2) 社団法人北海道林産技術普及協会：加速的技術開発支援事業成果報告書（1990）
- 3) 日本木材加工技術協会：木材工業，44（5），208 - 213（1989）

- 技術部 乾燥科 -  
（原稿受理 H6 . 1 . 27）