

# 低質未利用広葉樹材の有効利用（第2報）

- ミズナラ・カンバの乾燥技術 -

中 篤 厚 千 葉 洋 市  
奈 良 直 哉

## Utilization of Pulpwood as Lamina for Laminated Wood ( )

- Techniques for drying white-oak and birch -

Atsushi NAKAJIMA Yoichi CHIBA  
Naoya NARA

Kiln-drying tests were performed with pulpwood lumber to find conditions suitable for drying it. Press-drying was found to be effective for preventing such deformations as twists, bows and cups, but not for preventing crooks. It was found, however, that crooks could be made shorter by reducing the distance between one sticker and another. The United Stacker of our own developing was expected to be helpful in stacking stickers, and in the experiments reported in this paper, the time needed to stack 2.5m<sup>3</sup> of lumber with the device was shortened by 10-30 percent.

低質未利用樹の板材乾燥試験を行い、その最適乾燥条件を確認した。圧縮乾燥はミズナラ・カンバ材ともにねじれ、縦ぞり、幅ぞりといった狂いに有効であるが、曲がりに対しては顕著な効果は見られなかった。ただし、積木間隔を短くすることにより曲がりに対しその抑制効果が確認された。また、現場開発製品である積木パレットを使用することによって、積積み降ろし作業の能率向上が期待され、今回の試験では2.5m<sup>3</sup>の板材で1~3割の時間短縮が図られた。

### 1. はじめに

前報ではパルプ・チップ原木の調査結果とこれらの材料を集成ブロック化する際の作業工程となる製材・乾燥・加工の各作業性についての概要報告を行った。本報は、前報での人工乾燥特性を具体的に解析するため、圧縮条件・積木間隔条件を設定し、省資源化の可能性、作業能率（積積み降ろし）等について検討を行った。なお、今回は北海道の広葉樹の中でも森林蓄積割合が最も大きいミズナラ・カンバ類について報告する。

### 2. 検討事項

#### 2.1 圧縮条件

実験で用いた人工乾燥装置は、蒸気式I.F.型乾燥装置であり、圧縮装置（油圧式）をこれに付設している。これは収容された積積み材を油圧によって上部から自動的に圧縮する仕組みで、従来方式の重量物載荷方式より作業が大幅に軽減される。

設定圧力値は総荷重が6トン・12トンになる様、ゲージを調整しているが、積木の単位面積当たりに換算す

れば、それぞれ約2.5kgf/cm<sup>2</sup>・5kgf/cm<sup>2</sup>となる。またさらに非圧縮条件を加え3条件とし、それぞれ乾燥後に割れ、ねじれ、曲がり、縦ぞり、幅ぞり等を測定し損傷比較を行い、製品歩留まり向上のための最適圧力条件を検討する。

### 2.2 積木間隔

一般に集成材用原板を乾燥する場合の積木間隔は、板厚に応じ約40～60cm程度にしているが、狂い抑制効果は間隔の短い方が大きい。ただし、狂いの種類によっては積木間隔の効果が顕著に現れず、圧縮力の影響を受けやすいものもある。そのため最適条件の組み合わせを各狂いごとに把握するためには、初期段階として抑制の影響度が、圧縮力と積木間隔条件のうちいずれが大きいか判別しなければならない。

そこで今回は、前述した圧縮圧力値と積積み間隔を2種類（40・11cm）設定した条件とを組み合わせ、狂い量の比較を試みた。この組み合わせ試験の条件設定を第1表に示す。なお各条件とも乾球・湿球温度は標準スケジュール（第2表）で行った。また積木間隔条件11cmは、前報<sup>1)</sup>でも紹介している通称積木パレットを使用したもので、これは作業効率の向上や積木が高さ方向に整然と並ぶために、狂い・割れ防止効果への期待が大きい。

### 2.3 作業効率

積積み作業は乾燥工程の中でも作業労力のウェートが大きく、また乾燥後の品質をも決定しかねない因子として、ある面では大変重要な位置を占めている。そのため慎重な対応が要求されると同時に、作業内容を簡便にし生産効率向上をはかる意味では積積み自動化などは今後の研究課題とも言える。将来的にはこの自動積積み機が登場し、乾燥材の均質化、流通体制への即応性、経営合理化などの諸問題に効果を与える技術である事は明白であるが、普及するまでには研究期間を含めて時間がかかりそうである。そこで、当面の課題に対処するため前報で紹介した積木パレットを当場で考案し、作業効率の検討を行うこととする。特に今回の実験では、供試材が乱尺乱幅のため作業内容も複雑となり、従来の原板使用に比べ作業時間比が大きく

第1表 試験条件の組み合わせ

| 条件 | 試験条件                   |                  | 条件比較の組み合わせ                              |
|----|------------------------|------------------|---|
|    | 圧縮条件                   | 積木条件             |   |
| 1  | 非圧縮                    | 40cm間隔           | ○圧縮条件比較<br>条件1と条件2<br>条件2と条件4<br>(ミズナラ) |
| 2  | 2.5kgf/cm <sup>2</sup> | 40cm間隔           |   |
| 3  | 2.5kgf/cm <sup>2</sup> | 11cm間隔           | 条件3と条件4<br>(カンバ)<br>○積木条件比較<br>条件2と条件3  |
| 4  | 5.0kgf/cm <sup>2</sup> | 40cm間隔<br>(ナラ)   |   |
|    |                        | 11cm間隔<br>(カンバ類) |   |

注) 圧縮条件は積木単位面積にかかる圧力値 (kgf/cm<sup>2</sup>)。積木条件の11cm間隔は積木パレット使用。

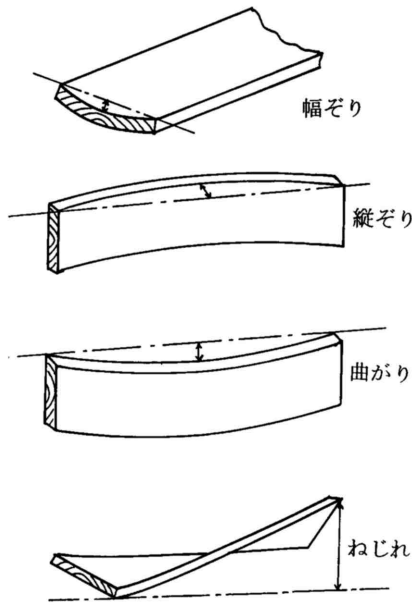
第2表 乾燥スケジュール（厚さ27mm）

| スケジュール<br>(°C) | ミズナラ     |            | カンバ      |            |    |
|----------------|----------|------------|----------|------------|----|
|                | 標準       |            | 標準       |            |    |
|                | 乾球<br>温度 | 乾湿球<br>温度差 | 乾球<br>温度 | 乾湿球<br>温度差 |    |
| 含水率 (%)        |          |            |          |            |    |
| 生              | 40       | 45         | 3        | 55         | 4  |
| 40             | 35       | 45         | 4        | 55         | 6  |
| 35             | 30       | 45         | 6        | 55         | 9  |
| 30             | 25       | 50         | 11       | 60         | 14 |
| 25             | 20       | 55         | 20       | 65         | 20 |
| 20             | 15       | 60         | 28       | 70         | 28 |
| 15             | 8        | 80         | 28       | 80         | 28 |
| イコーライジング       |          | 80         | 16       | 80         | 16 |
| コンディショニング      |          | 80         | 7        | 80         | 7  |

なる事が予想されるため、作業時間を効率比較値とした。なお、作業にかかわる人数は2名とし、個人差を考慮して人員は変化させないで行った。

### 3. 損傷の測定方法

目標含水率を約8%と定め乾燥終了後約1日圧縮状態を維持し、その後、試験材の損傷を測定する。損傷は、割れ、ねじれ、曲がり、縦ぞり、幅ぞり（第1図）で各項目ごとの測定方法は次のとおりである。なお、各条件の試験材は積積みの高さ方向から3段おきに抽出し、その中から幅・長さが同じものを選定して狂いの比較を行っている。また収縮量についての検討も行った。



第1図 各種の狂い

a) 割れ

木口から材面に伸びた木口割れと、材面に生じた表面割れについて、割れ幅（平均的な位置）と、長さ・そして割れ数を測定した。

b) ねじれ

各材の両木口付近に水準器を置き、その差を読み取りねじれ角度とした。この

際左右旋回により方向が異なるねじれが出現するが、絶対量として方向性は無視した。

c) 曲がり及び縦ぞり

曲がり（縦ぞり）は、各材長のほぼ中間点を板幅方向（厚さ方向）の最大矢高と定め、スケールを用いて0.5mm単位で読み取った。

d) 幅ぞり

ダイヤルゲージ付き矢高測定器（精度1/100mm）により、幅寸法が12～16cmの

板目板のものを板幅10cm当たりの最大矢高として求めた。

4. 実験結果

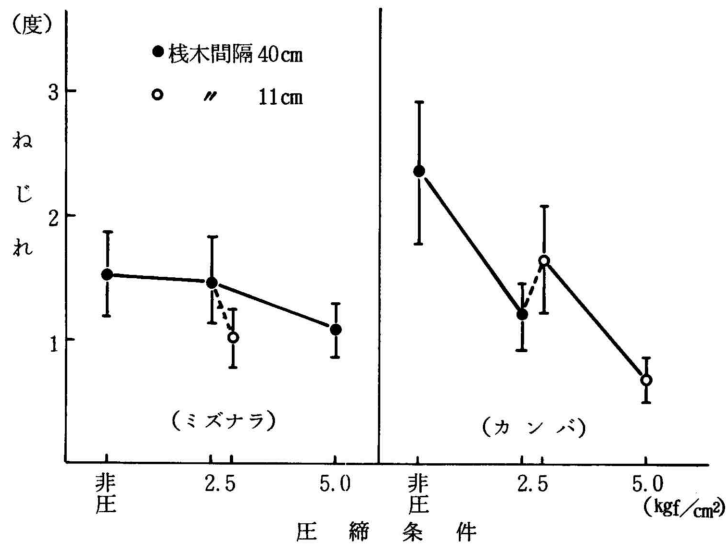
4.1 狂いの抑制

a) ねじれ

ねじれの平均値とその信頼区間（信頼限界95%）を圧縮条件別に示す（第2図）。圧縮条件の単位であるkgf/cm<sup>2</sup>は、栈木接触面積当たりの圧縮力値を表し、2.5kgf/cm<sup>2</sup>は総荷重約6トン、栈木接触面積約2400cm<sup>2</sup>から得られた数値である。また栈木間隔の違いによる狂いの比較を破線（圧縮条件は両樹種とも2.5kgf/cm<sup>2</sup>）で示した。

ミズナラのねじれを一番よく抑制できた条件は圧縮力2.5kgf/cm<sup>2</sup>で栈木間隔を11cmとしたもので、栈木間隔40cmだけで比較した場合に最も抑制効果の高い5.0kgf/cm<sup>2</sup>と大差はない。傾向としては当然とは思うが、圧縮力が大きく栈木間隔の短い条件が有効と認められる。しかし狂い量はいずれもほぼ1～2度範囲に収まり、加工段階においてもあまり問題となる狂い量ではない。

カバ材では圧縮条件による差が顕著で、圧縮力5.0kgf/cm<sup>2</sup>栈木間隔11cmの組み合わせがねじれ1度以下



第2図 ねじれの抑制効果（信頼限界95%）

となり好結果が得られている。非圧縮ではやはり2~3度と比較的大きい狂い量となった。また、棧木間隔40cmの方が11cmより狂い量が少ない結果となったが、これは後半でも述べるが両者の分散分析を行った結果、有位差が認められず、この条件範囲ではねじれ量に差がないと言える。

b) 縦ぞり

第3図に圧縮・棧木間隔条件による縦ぞりの抑制効果を示す。

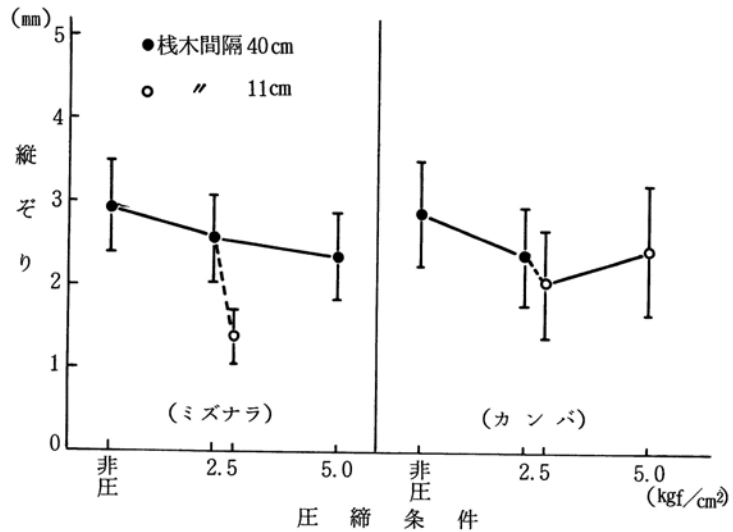
ミズナラの縦ぞり平均は非圧縮で約3mm, 2.5kgf/cm<sup>2</sup>で約2.5mm, 5.0kgf/cm<sup>2</sup>で約2.3mmとなり、効果は十分認められるが、棧木間隔を11cmとした条件が約1.3mmとなり圧縮条件以上に好結果が得られた。棧木間隔は縦ぞり抑制に及ぼす影響度が大きいと思われた。

カンパ類では圧縮条件5.0kg/cm<sup>2</sup>で比較的大きい狂い量となり、棧木間隔40cmで圧縮力2.5kgf/cm<sup>2</sup>とした条件とほぼ同結果が得られている。しかし、非圧縮

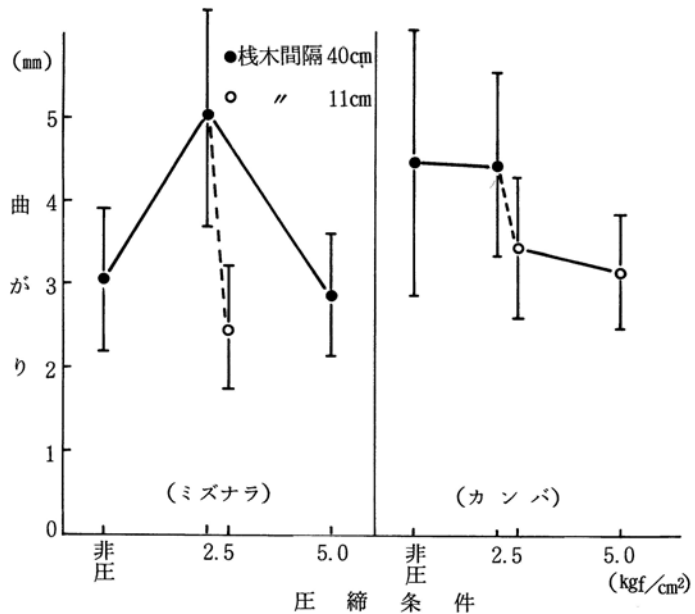
条件に比べればいずれも低い値と言え、圧縮による抑制効果は十分に期待される。また、棧木間隔においても若干ではあるが11cmで低い値を示している。

c) 曲がり

第4図に曲がりの抑制効果を示すが、ミズナラ・カンパ類とも信頼区間が大きく測定値にバラツキがあるため、条件比較はこの図からは不可能である。ただ



第3図 縦ぞりの抑制効果 (信頼限界95%)



第4図 曲がりの抑制効果 (信頼限界95%)

し、ミズナラの棧木間隔条件で分散分析の結果、危険率5%で有意差が認められている。しかし、全体的に両樹種とも曲がりに関しては本実験による条件の範囲内では、有効な抑制効果は得られなかった。

d) 幅ぞり

次に幅ぞりの抑制効果を第5図に示す。

ここでは圧縮条件2.5kgf/cm<sup>2</sup>・棧木間隔11cmが両樹

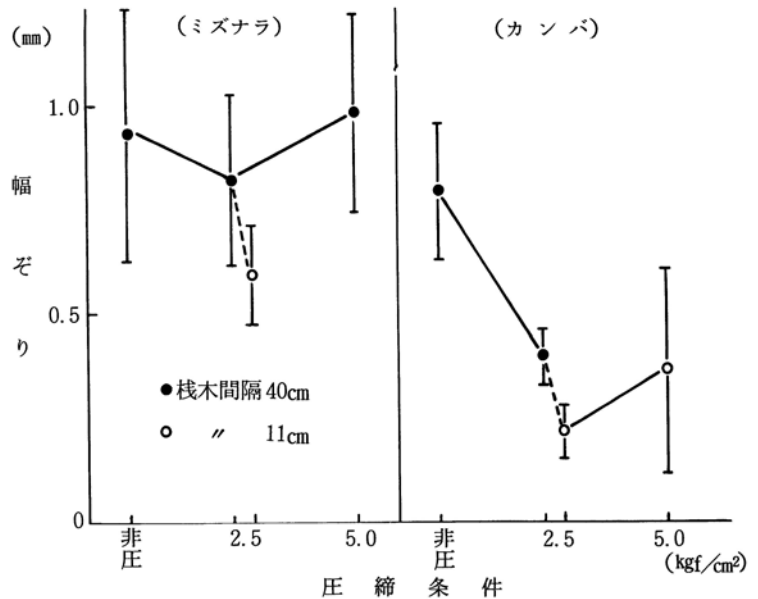
種ともに有効であることが認められる。ただし圧縮条件5.0kgf/cm<sup>2</sup>の場合、いずれも2.5kgf/cm<sup>2</sup>に比べ大きな値となっているが、これは抽出データのバラツキが比較的大きかったことや材質的欠点が他の条件に比べ顕著だったことなどが原因でこのような傾向を示したものと考えられる。また、棧木間隔11cmでは40cmに比べいずれも小さい狂い量となっているが、分散分析の結果、両者間に有意差は得られず、棧木間隔が幅ぞりに影響を及ぼしたとは言い難い。

以上、各狂い量の平均値と圧縮・棧木間隔条件を比較してきたが、次に分散分析を行い狂いに対する各条件の影響度を検討した。結果を第3表に示す。

ミズナラの場合、圧縮条件を比較して各狂いに差があったのは、ねじれ、縦ぞり、幅ぞりであった。また、棧木間隔条件で差があったのは、ねじれ、曲がり、縦ぞりである。すなわち、圧縮条件による曲がりの抑制、棧木間隔条件による幅ぞりの抑制は、今回の設定条件ではあまり効果が期待されないとと言える。

カンバ類の場合、圧縮条件で差が認められる狂いは、ねじれ、縦ぞり、幅ぞり、棧木間隔では、縦ぞりのみであった。

両樹種に共通することは、曲がり抑制は今回の条件設定では認められず、材幅方向の動きに対する固定には、今回の圧縮力より以上の締めつけを必要とする事が予想された。また幅ぞりは、棧木間隔の影響があまり期待されていないために、圧縮条件の方が有効に作用すると考えられる。また樹種別で有意差に微妙な差が生じているが、これは供試材寸法の違いが影響しているのか、あるいは低質木のために材質的欠点が偏ってしまったためなのか明確でないが、今後は以上の不



第5図 幅ぞりの抑制効果（信頼限界95%）

第3表 圧縮・棧木条件別の狂い抑制効果の比較  
樹種：ミズナラ

| 因子   |  | ねじれ | 曲がり | 縦ぞり | 幅ぞり |
|------|--|-----|-----|-----|-----|
| 圧縮   | 非圧縮と2.5kgf/cm <sup>2</sup>                     | -   | -   | **  | *   |
|      | 2.5kgf/cm <sup>2</sup> と5.0kgf/cm <sup>2</sup> | *   | -   | -   | *   |
| 棧木間隔 |  | **  | *   | **  | -   |

樹種：カンバ

| 因子   |  | ねじれ | 曲がり | 縦ぞり | 幅ぞり |
|------|--|-----|-----|-----|-----|
| 圧縮   | 非圧縮と2.5kgf/cm <sup>2</sup>                     | **  | -   | *   | **  |
|      | 2.5kgf/cm <sup>2</sup> と5.0kgf/cm <sup>2</sup> | **  | -   | *   | -   |
| 棧木間隔 |  | -   | -   | *   | -   |

注) \*は危険率5%で、\*\*は危険率1%で有意  
棧木間隔条件は、40cmと11cm（棧木パレット）

確定要素を含めない実験を試みる必要があると思われる。

この表より、歩留まり向上のための最適条件を決定するには、特にめだつた狂い（歩留まりを大きく低下させると思われる狂い）を選定し、その狂いから有意差のある条件を組み合わせ必要最小限の処置で乾燥を

第4表 条件別割れ比較（ミズナラ）

| 条件 | 割れ長さ<br>(mm) | 割れ幅<br>(mm) | 発生<br>材率<br>(%) | 割れ1本<br>の平均長<br>さ(mm) | 割れ1本<br>の平均幅<br>(mm) |
|----|--------------|-------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| 1  | 17,947       | 157.8       | 59              | 49.3                  | 0.43                 |
|    | 23,396       | 99.4        | 39              | 96.3                  | 0.41                 |
| 2  | 17,201       | 124.6       | 40              | 74.3                  | 0.54                 |
|    | 20,429       | 91.8        | 23              | 110.8                 | 0.50                 |
| 3  | 15,991       | 115.8       | 40              | 56.9                  | 0.41                 |
|    | 16,373       | 85.1        | 29              | 89.5                  | 0.47                 |
| 4  | 21,026       | 214.1       | 61              | 46.6                  | 0.47                 |
|    | 12,966       | 109.5       | 42              | 62.4                  | 0.53                 |

注) 上段は木口割れ, 下段は表面割れ。  
割れ長さ, 割れ幅は平均材積0.475m<sup>3</sup>当たりの  
平均値。

第5表 条件別割れ比較（カンバ）

| 条件 | 割れ長さ<br>(mm) | 割れ幅<br>(mm) | 発生<br>材率<br>(%) | 割れ1本<br>の平均長<br>さ(mm) | 割れ1本<br>の平均幅<br>(mm) |
|----|--------------|-------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| 1  | 9,664        | 59.2        | 45              | 50.9                  | 0.31                 |
|    | 13,307       | 47.3        | 27              | 103.0                 | 0.37                 |
| 2  | 15,062       | 108.2       | 45              | 42.3                  | 0.30                 |
|    | 11,119       | 63.4        | 25              | 76.7                  | 0.44                 |
| 3  | 9,440        | 62.6        | 32              | 63.9                  | 0.42                 |
|    | 24,010       | 46.2        | 29              | 174.3                 | 0.34                 |
| 4  | 4,802        | 27.1        | 27              | 34.9                  | 0.20                 |
|    | 7,341        | 40.5        | 20              | 103.5                 | 0.57                 |

注) 上段は木口割れ, 下段は表面割れ。  
割れ長さ, 割れ幅は平均材積0.392m<sup>3</sup>当たりの  
平均値。

行う方法が考えられる。たとえば、ミズナラの縦ざり  
が顕著の場合、有意差が認められるのは圧縮条件が非  
圧縮と2.5kgf/cm<sup>2</sup>そして棧木間隔といずれも危険率1  
%で高度に差があるため、圧縮力は2.5kgf/cm<sup>2</sup>程度を  
上限とし、棧木間隔は11cm程度を下領域として設定す  
る条件が適当と思われる。ただし、圧縮と棧木間隔条  
件との交互作用については考察されていないので、今  
後は両条件の組み合わせによって、狂い抑制の最適方  
法について検討する必要がある。

#### 4.2 割れ

各条件別（非圧縮・圧縮圧力2.5kgf/cm<sup>2</sup>・5.0kgf/  
cm<sup>2</sup>）の木口・表面割れにおける比較データを第4、  
5表に示す。この表は今回の供試材が乱尺乱幅のため、  
各条件ごとに算出した平均材積当たりに換算を行い、  
割れ長さ・幅についての総量を示している。一般に非  
圧縮に比べ圧縮乾燥は、収縮の異方性にとまなう材の  
変形を拘束しながら乾燥するため、繊維方向に直角な  
方向での引っ張り強度以上の表面応力の増加が予想さ  
れ割れが増加する可能性がある。しかし、低質材のため  
節・あて部などの材質の欠点周辺での割れが顕著な  
ために、材質の影響が大きく、データのバラツキが大  
きかった。

ミズナラ材の場合、圧縮力が大きく棧木間隔40cmに  
設定した条件4で、木口・表面割れともに発生材率が  
若干大きい傾向となった。

次に、カンバ類の条件別割れ比較を行うと、割れ発  
生材率から条件4、すなわち、圧縮力5.0kgf/cm<sup>2</sup>・  
棧木パレット使用の条件で比較的好結果が得られた。  
ミズナラ材では圧縮条件による違いが見い出せなかつ  
たことから、むしろ棧木間隔と高さ方向の棧木並びの  
正確さが、割れを防止する要因となっているものと推  
定される。すなわち、棧積み高さ方向の棧木接触位置  
が直線的となり、その接触位置では上下方向から材を  
確実に拘束するために、隣りの棧木位置で割れの進行が  
止まり、割れ長さの減少となったものとする。これは  
特に割れの入りやすい木口部で顕著な効果が表れて  
いる。さらに表面割れは、1本の割れ長さが103.5mm  
と非圧縮条件（条件1）とほぼ等しいが、割れ発生材  
率が20%で一番低い条件になった。しかし条件3であ  
る棧木パレット使用・圧縮力2.5kgf/cm<sup>2</sup>においては、  
1本の表面割れ長さが比較的顕著に現れ、データのバ  
ラツキが大きいは言っても、棧木パレット使用によ  
る効果は認められなかった。この点は圧縮力と棧木間  
隔、あるいは供試材の材質の偏りからきた影響か判断  
がむずかしいので、今後は圧縮力と割れの関係を理論  
的に解明する必要があると考える。

#### 4.3 作業効率

同材積を従来方式（棧木間隔40cm）である棧木を1  
本ごとに並べる方法と棧木パレット（1段に2パレ  
ット使用）を用いた棧積み・降ろしする場合の作業時間

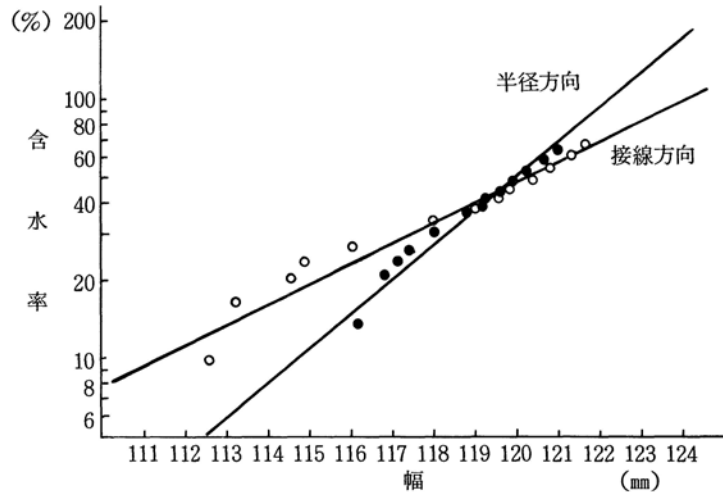
比を求めた結果、棧積みで0.87、降ろしで0.72となり、いずれも棧木パレット使用で作業性の向上が顕著に期待できる。特に今回の様に材の長さ・幅が一定しない場合、定尺材に比べ作業員の労力負担が大きいことから実用性が高い。なお、実大規模乾燥装置の場合、棧木の耐久性を考慮し、棧木、角パイプ及び平鋼を使って製作すれば、その資材費は約2000円/1体（寸法：幅1750mm、長さ1815mm・棧木を含む）と試算される。

#### 4.4 収縮量

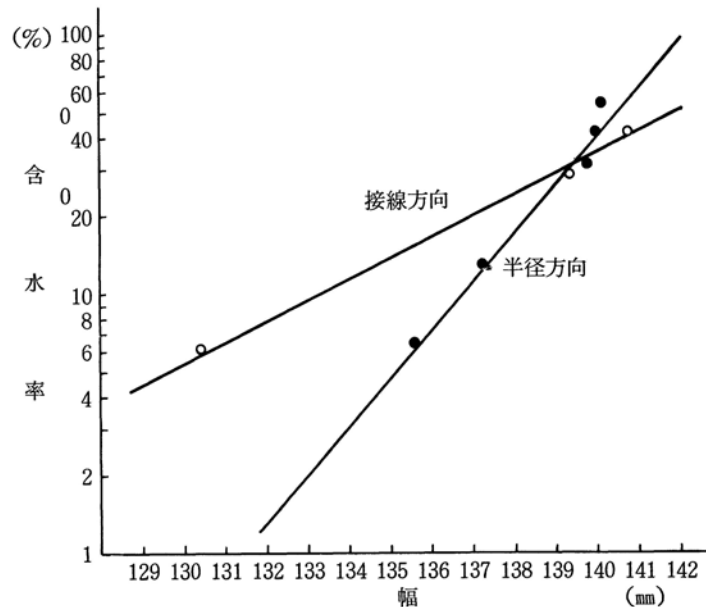
最後に、今回試験で供試した厚さ28mmの寸法変化を第6図（ミズナラ）、第7図（カンバ）に示す。たとえば含水率70%から仕上がり8%までの収縮量はナラ材の場合、半径方向約1.6mm、接線方向約4.0mm、カンバ類の場合はそれぞれ約1.5mm、2.7mmとなるのでこの値を考慮してあらかじめ製品寸法から挽き立て寸法を決定しなければならない。生材寸法を基準に含水率8%までの収縮量を百分率で表せば、ミズナラ材の接線・半径方向がそれぞれ15.4%、6.6%、カンバ類が8.9%、4.3%とミズナラ材の接線方向で大きな収縮傾向となった。

#### 5. まとめ

1) 圧縮乾燥はミズナラ・カンバ類ともに、ねじれ・



第6図 幅方向の収縮量（ミズナラ板目板）  
注）幅120mm基準



第7図 幅方向の収縮量（カンバ板目板）  
注）幅139mm基準

縦ぞり・幅ぞりに対し有効であるが、曲がりは棧木の単位面積当たり約5kgf/cm<sup>2</sup>（総荷重12トン）の圧縮圧力範囲内では非圧縮条件との差は認められない。

2) ミズナラ材の場合、棧木にかかる単位面積当たり2.5kgf/cm<sup>2</sup>と5kgf/cm<sup>2</sup>の圧縮圧力の違いでは、ねじれ・幅ぞりの抑制効果に差が現れた。非圧縮と

2. 5kgf/cm<sup>2</sup>の圧縮圧力では、縦ぞりで高い抑制効果となった。
- 3) カンバ類の場合、非圧縮条件と栈木単位面積当たり2.5kgf/cm<sup>2</sup>の圧縮圧力条件の違いでは、ねじれ・幅ぞりに高度な狂い抑制効果の違いが現れ、2.5kgf/cm<sup>2</sup>と5kgf/cm<sup>2</sup>の間では、ねじれ（危険率1%）・縦ぞり（危険率5%）で有意差が認められた。
- 4) 栈木間隔を40cmから11cm（栈木パレット）にした結果、ミズナラ材の場合、ねじれ・曲がり・縦ぞりの抑制に差が認められたが、カンバ類の場合は、縦ぞりのみに有意差（危険率5%）が現れた。幅ぞりは両樹種ともに効果が見られないが、平均値比較ではいずれも0.2mm程度の抑制量が認められる。
- 5) 板厚28mmを基準に含水率8%時の接線・半径方向の収縮率を求めた結果、ミズナラ材がそれぞれ15.4%、6.6%、カンバ類が8.9%、4.3%となった。

- 6) 作業時間は栈木パレット使用によって従来の作業方法に比べ約1~3割短縮できた。

以上より低質未利用広葉樹の乾燥は、適正な処理技術を適用することにより他の製品に劣らない製品開発の可能性は十分に認められ、今後は製材・加工部門を含め経済評価を加えた上で、新たな用途開発・生産ラインの確立等を行う必要があると考える。同時に、資源の有効利用という本来の目的を逸脱しない方向で素材の価値観を変えてゆく基盤作りは、関連企業の最重要課題として取り上げられてゆくべきであろう。

#### 文 献

- 1) 窪田純一ほか2名：林産試験場報，1，2，1（1987）

—木材部 乾燥科—

（原稿受理 昭62. 10. 20）