

林産廃材の利用に関する研究（第一報）

木材パーティクルの配向成形について

浜田良三・前田悦子*

Studies on the utilization of forest residues (I)

On the orientation molding of wood particles.

Ryozo HAMADA and Etuko MAEDA*

Synopsis

For the purpose of obtaining fundamental information on the profitable utilization of forest residues, experiment on the wood particle molding was carried out. Urea, Melamine-urea and phenol resins were synthesized as the binder for particles prepared from forest residues. Two types of particleboards, conventional board and orientation board, were prepared by hot pressing and extrusion molding, and the later was overlaid with lauan veneers (Composite plywood). The effects of orientation of particles on bending properties and dimensional stability of boards or panels were tested in various board density and resin content. From the results of experiments, it was clarified that composite plywood composed of oriented particleboard core and veneer face has good strength properties and dimensional stability, and could be available in substitution for plywood.

I 結 言

森林資源の保存と利用合理化を計るために、間伐材、損傷材、枝条材、工場廃材などの林産残廃材の活用対策が重要になってきた。パーティクルボード、ファイバーボード、集成材、LVL、チップなどはこのような背景のもので発展した省資源型製品といえよう。これに対して代表的な木材製品である合板は、優良南洋材を原料とし、製品歩止りが低い、など資源対策の面から改善すべき問題点が多い。

本研究は合板製法の合理化対策の一環（農林水産業特別試験研究）として行なうもので、合板の製造工程にパーティクルボードの成形技術を導入し、廃材の資源化を計ることを目的とした。すなわち、廃

材をパーティクル化し、エクストルージョン法パーティクルボードの製造原理を応用して方向性ボードを成形し、これを心材とする合板を製造することを試みた。この研究の実用化を計るためには今後製造装置上からの検討が必要だが、本報告では実験室で試作した実験用金型を用いての基礎的実験についての結果を述べる。

II 実験材料と方法

木材 針葉樹及び広葉樹からつくられたスプリンター状のパーティクル（写真1）をボード原料に用いた。製造は日本ノボパン工業株式会社に依頼した。また、合板用単板には、厚さ1mmのラワン単板

* 農芸化学科、天然高分子研究室（Lab. of Natural High Polymer, Dept. of Agricultural Chemistry, Kiriko Univ., Higashiosaka, Osaka, 577, Japan）



Plate 1. Wood particles used in this experiment.

を用いた。

結合用樹脂 ユリア樹脂、メラミン・ユリア共縮合樹脂及びフェノール樹脂の3種類を合成した。蛇管冷却器及び攪拌器を付した三つ口フラスコを用いて、次の処方および反応条件により、それぞれの樹脂中間体（初期縮合物）を合成した。

ユリア樹脂 尿素1モル、ホルムアルデヒド1.8モルの比で尿素とホルマリンの混合液をつくり、アンモニア水及びリン酸ナトリウムの少量を添加してpHを8.0に調整する。85℃の湯浴中で約90～120分間反応させて、Table 1及び2（後述）に示す性状の樹脂水溶液を得た。

メラミン・ユリア共縮合樹脂 メラミン1モル、尿素1モル、ホルムアルデヒド6モルの混合液をつくり、炭酸ナトリウムの少量を添加してpHを8.0に調整し、ユリア樹脂と同様の条件で加熱反応させて、Table 1に示す樹脂水溶液を得た。

フェノール樹脂 フェノール1モル、ホルムアルデヒド1.5モルの混合液に少量の水酸化ナトリウムを添加してpHを10に調整し、80℃の温浴中で90～120分間反応させて、Table 1に示す性質の樹脂水溶液を得た。

パーティクルボードの成形 パーティクルへの結合剤塗付は、回転ドラム式塗付機を用いた。この装置は中心軸を水平にして回転する塩ビ製ドラム（内径70cm、長さ60cm）にパーティクルを入れて上部から落下させ、結合剤を側面よりスプレーする方式のものである。この方式では、パーティクルに付着しない結合剤粒子があるために、結合剤添加量（含脂率）は、スプレー前後のパーティクルの重量差により算出した。

パーティクルの成形は、次の2種類の方式、すなわち、平板プレス法及びエクストルージョン法によって行なった。

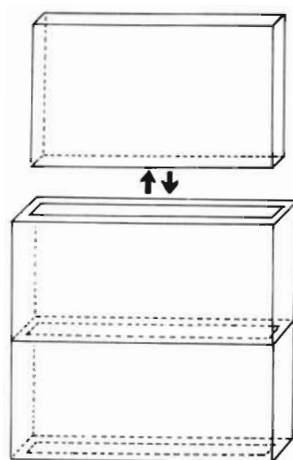


Fig. 1 Apparatus for orientation molding of particle-board.

平板プレス法によるボードは、結合剤を塗付したパーティクルの所定量を秤量した後、木製のフォーミングボックスに均一に散布してパーティクルのマットを作成（マットフォーメーション）し、ホットプレスで寸法15×15×(1～0.6)cmのボードに成形した。熱圧条件はユリア及びメラミン・ユリア共縮合樹脂では140℃、フェノール樹脂では160℃で初期圧40 kg/cm²、時間6～10分で成形した。

方向性パーティクルボードはFig. 1の金型を用いて、エクストルージョン成形法に準じた方法で成形した。すなわちパーティクルの金型上部より一定量ずつ投入し、投入とプッシャー加圧を交互に繰り返して金型下部にパーティクルを送りこみ、金型の側面より加熱して平板プレス法と同じ温度・時間条件で成形した。Fig. 2のA及びBは、平板プレス法およびエクストルージョン法で成形されたボードについて、パーティクル配向状態を示したものである。

複合板の製造 前述の方法で成形した配向性パーティクルボードを心板に用い、その両面に繊維方向を直交させて単板を接着して合板を作成した。このさい接着剤は単板側に塗付し、パーティクル結合剤と同系の樹脂を用いて、ホットプレスで接着した。

ボードの物性測定 成形したボード類を関係湿度60%のデシケーター中に約3週間放置して、平衡含水率（約10%）に調湿してから、下記の諸試験を

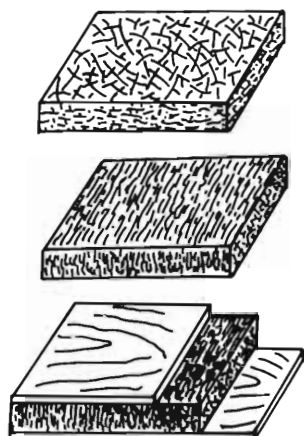


Fig. 2 The appearance of specimens prepared in this experiment.

- A : Conventional particleboard
 B : Orientated particleboard
 C : Composite plywood

行なった。

曲げ試験 $2 \times 15 \text{ cm}$ の試験片を作成し、万能強度試験機を用いて中点荷重方式により破壊荷重 P (kg) を測定し、次式により曲げ強さ (σ_b) を算出した。

$$\sigma_b = 3 \cdot p \cdot \ell / 2 \cdot b \cdot h^2 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

ここで ℓ はスパン距離、 b は試験片巾、 h は試験片厚さである。

吸水膨潤試験 $3 \times 3 \text{ cm}$ の試験片を水中（深さ 3 cm ）に所定時間浸漬し、重量変化から吸水率、厚さ及び板面寸法の変化から、それぞれの寸法変化率を求めた。

パーティクル結合力試験 $2 \times 2 \text{ cm}$ の試験片を作成し、エポキシ樹脂を用いてその両面に木材ブロック ($2 \times 3 \times 1 \text{ cm}$) を接着し、クロスラップ型接着試験に準じた方法で、接着面に垂直方向に引張荷重をかけて、パーティクルボード内部の剝離抵抗 (kg/cm^2) を測定した。

乾湿繰返し促進試験 $3 \times 3 \text{ cm}$ の試験片を用いて、温水浸漬 (60°C , 24 hr) と乾燥 (60°C , 24 hr) を1サイクルとする促進暴露試験を行ない、飽水及び乾燥時の寸法変化（試験片の厚さと長さ）を追跡した。

Ⅲ 結果と考察

1. **結合用樹脂の特性** Table 1 にⅡで述べた合成条件で調整された3種類の結合用樹脂の性質を示した。各樹脂の硬化特性では、ユリア樹脂及びメラミン・ユリア共縮合樹脂が 100°C で速硬化性であるのに対し、フェノール樹脂は硬化に 135°C 以上の高温を要した。一般にパーティクルボードの内部温度は、水の蒸発エネルギーのために 100°C 以上に上昇されにくいから、フェノール系樹脂の硬化温度低下についての検討が今後必要と思われる。

3種類の樹脂のパーティクル結合力は、常態（乾燥時）ではアミノ系樹脂がフェノール樹脂よりも結合力が大きく、その他の物性（後述）においても安定した諸性質が認められた。しかし、耐水性におい

Table 1. Properties of three kinds of resins for this experiment.

Resin	Resin content (%)	pH	Viscosity at 25°C (cp)	Gelation time (min)	Internal bond strength (kg/cm)	
					dry (Initial)	wet (After soaking)
Urea	45.0	6.8	180	30 sec (100°C) (NHCL 1%)	11.5	6.3 (soaked in 35°C water, 2 hrs.)
Melamineurea	52.0	7.0	145	50 sec (100°C) (NHCL 1%)	10.5	7.3 (soaked in 70°C water, 2 hrs.)
Phenol	49.0	11.2	220	14.5 min. (135°C)	9.6	7.0 (soaked in boiling water, 2 hrs.)

ては、Table 1の試験結果からも明らかなように、ユリア樹脂は非耐水性、メラミン・ユリア共縮合樹脂

は耐温水性、フェノール樹脂は耐煮沸性、であることがわかる。

Table 2. Results of plywood shear tests for three kinds of resins

Resin	Ingredient of adhesives			Pressing condition	Bonding properties		
	resin	corn starch	20% NHCL		Test condition	Shear strength (kg/cm ²)	Wood failure (%)
Urea	100	20	5	120°C, 4 min.	Immersed in water at 60°C for 3 hrs	13.4 (10.8 - 15.2)	70
Melamine-urea	100	15	5	120°C, 4 min.	Immersed in boiling water for 4 hrs	12.4 (9.0 - 13.9)	55
Phenol	100	wood flour 15		150°C, 5 min.	Immersed in boiling water for 24 hrs	13.2 (11.0 - 14.3)	50

Table 2は、合成した3種類の結合用樹脂の接着性をさらに明らかにするために、合板型試験片を用いて接着試験を行なった結果を示した。試験条件はJAS合板規格に従ったもので、ユリア樹脂はⅡ類規格の温水浸漬に耐え、メラミン・ユリア共縮合樹脂はⅠ類規格の煮沸繰返し試験に耐え、フェノール樹脂は特類規格の煮沸連続浸漬に耐える、ことがわかる。なお本実験に供したメラミン・ユリア共縮合樹脂は、メラミンとユリアのモル比を1対1に合成したものであるが、この樹脂の耐久性がモル比によって変化することが種々の文献¹⁻²⁾によって明らかにされている。なお、これらの樹脂のパーティクルボード用結合剤としての諸性質については、次項以下で述べる。

2. ボード成形条件と物性の関係 Fig. 3はユリア樹脂およびフェノール樹脂を結合剤に用いて方向性パーティクルボードを成形し、加熱時間とボード物性(曲げ強さおよび内部結合力)との関係から成形時間をもとめた実験結果を示す。成形温度はユリア樹脂では140°C、フェノール樹脂では160°Cを採用したが、強度の最大値に到達するのにユリア樹脂で4~5分、フェノール樹脂では5~6分を要した。この実験は厚さ6mm、ボード密度6.5、含脂率8%のボードを、ユリア樹脂に対しては加熱温度140°C、フェノール樹脂に対しては160°Cの加熱で成形したものであるが、金型の熱容量による影響のためにホットプレス成形に比べてやや長時間のプレスタイムを要した。また、曲げ強度が最大値に到達する成形時間と内部結合力における成形時間とは約1分の差

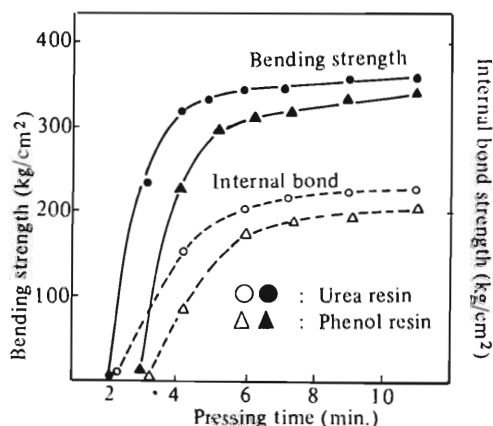


Fig. 3 Bending strength and internal bond of boards as a function of pressing time.

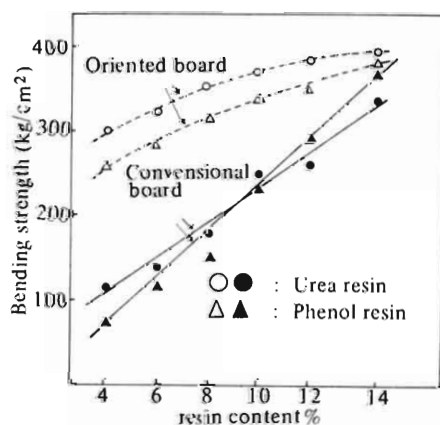


Fig. 4 Relationship between resin content and bending strength of particleboard.

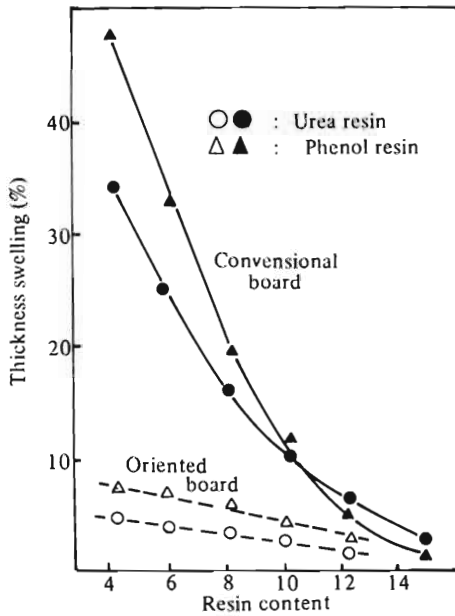


Fig. 5 Relationship between resin content and thickness expansion of particleboard.

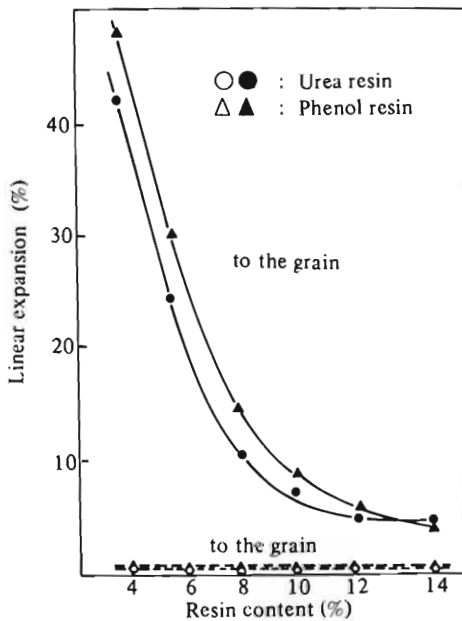


Fig. 6 Dimensional change of oriented particleboard in various resin contents.

が認められた。

Fig. 4 は平板プレス法ボードおよび方向性ボードを製造するにさいしての結合剤添加量（含脂率）の影響をボードの曲げ強さとの関係から検討した実験

結果を示す。ただし成形はいずれのボードに対してもFig. 3と同じ条件で行なった。方向性パーティクルボードは平板プレス法ボードに比らべて曲げ強さが大きく、とくに低含脂率領域においても高い強度を示すことに注目したい。この原因は、①パーティクルによる強度支持効率が高いこと、②パーティクルが平行方向に接着されるために、接着力および有効接着面積が大きいこと、などによるのであろう。

Fig. 5およびFig. 6はFig. 4と同様の実験を“含脂率と寸法安定性との関係”についてもとめたもので、方向性パーティクルボードは平板プレス法ボードに比較して、厚さ方向への寸法変化が小さく、板面での膨張の異方向性が大きい特性が明確に認められる。この実験結果は両者のボードにおけるパーティクルの配列、および成形機構上の相違からみて当然のことと思われる。

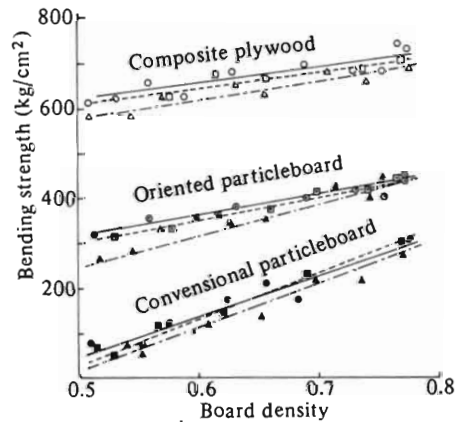


Fig. 7 Relationship between board density and bending strength of particleboard and composite plywood.

○: Urea resin □: Melamine-urea resin △: Phenol resin

Fig. 7は構成の異なる3種類のボード類、すなわき平板プレス法パーティクルボード、方向性パーティクルボードおよび方向性パーティクルボードを芯材とする複合合板の力学的性質の相違を、それぞれのボードの比重-曲げ強さの関係で測定した実験結果を示す。ただし、各ボードとも含脂率8%、厚さ6mmのものを用い、成形はユリア樹脂に対しては140℃、5分、フェノール樹脂に対しては160℃、6分の条件で行ない、複合合板の表面単板の接着には心材（方向性パーティクルボード）と同系の接着剤を用いた。また複合合板は方向性パーティクルボードの両面に厚さ1mmの単板を接着したために、厚さ8mmの合板として供試した。単板をオーバーレイした複

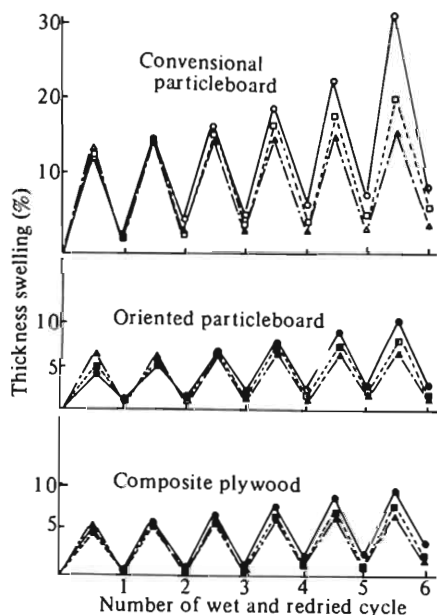


Fig. 8 Thickness change of three kinds of boards during accelated weathering tests.

○: Urea resin □: Melamine-urea resin △: Phenol resin

合合板の強度が最も大きく、一般合板に匹敵する強度が認められた。

Fig. 8 および Fig. 9 は、平板プレス法パーティクルボード、方向性パーティクルボード、および複合合板の3種類のボードの寸法安定性を、乾湿繰返しによる促進暴露試験によって行なった実験結果を示す。複合合板は、厚さ膨潤率が一般パーティクルボードよりも小さく (Fig. 8)、板面方向の寸法変化 (Fig. 9) においても良好な寸法安定性が認められ

る。方向性パーティクルボードは厚さ方向への寸法変化が比較的小さいことが特長だが、板面での膨張率の異方性が大きく、しかもこれらの膨潤は永久ヒズミとなって、もとの寸法には復元しない (Fig. 9)。しかし、方向性パーティクルボードを芯材とする複合合板では、心板と表・裏面板との直交構成による複合効果が顕著に現われ、一般合板と同様の直交異方原理によって良好な寸法安定効果が現われるものと思われる。

なお、Fig. 3～Fig. 9の諸実験の結果からわかるように、結合剤によるボード物性への影響は、常態ではアミノ系樹脂 (ユリアおよびメラミンユリア)の方がフェノール樹脂よりもやや良好な力学的性質を示した。この原因は供試したフェノール樹脂が強アルカリ性であるために木材の膨潤が促進⁷⁾されたこと、および樹脂の木材への浸透によって接着効果が妨げられたこと、等によるものと思われる。しかし、Fig. 8～Fig. 9からわかるように、やや苛酷な条件で暴露された場合には、フェノール、メラミンユリア、ユリアの順に耐候性が優れており、この傾向は既報文献³⁻⁶⁾の例とほぼ同じであった。

3. 複合合板の物性評価 Table 3に、前述の方法で製造した複合合板と一般合板との性質の比較を示した。この実験に供した合板は、複合合板と同じ接着剤 (フェノール樹脂およびユリア樹脂)を用い、心板単板の厚さ3.5mm、添え板の厚さ1.5mm、表・裏面板の厚さ1mmによる5-plyの構成で製造した。複合合板が一般合板に匹敵する高い曲げ強さを示したが、この原因は単板接着のさいの接着剤によってパーティクルボードコアの表面層が補強されたこと、および合板に比較してやや高密度のボードを供試し

Table 3. Some physical and mechanical properties of conventional plywood and laboratory produced composite plywood

Panel	Binder and Adhesive	Resin content (%) and Resin spread (g/30×30 cm)	Board density	Properties of panels					
				Initial		After weathering test*			
				Bending strength (kg/cm ²)	Internal bond (kg/cm ²)	Bending strength (kg/cm ²)	Internal bond (kg/cm ²)	Thick-expansion (%)	Length expansion (%)
Composite plywood	Urea	8	0.65	625	11.5	245	4.5	0.48	0.34
	Phenol	8	0.67	610	9.7	350	8.0	0.52	0.28
Conventional plywood	Urea	35	0.52	510	13.8	310	5.6	0.44	0.20
	Phenol	30	0.56	520	12.6	440	12.2	0.42	0.18

* for urea resin soaked in 70°C water for 2 hrs
for phenol resin soaked in boiling water for 2 hrs

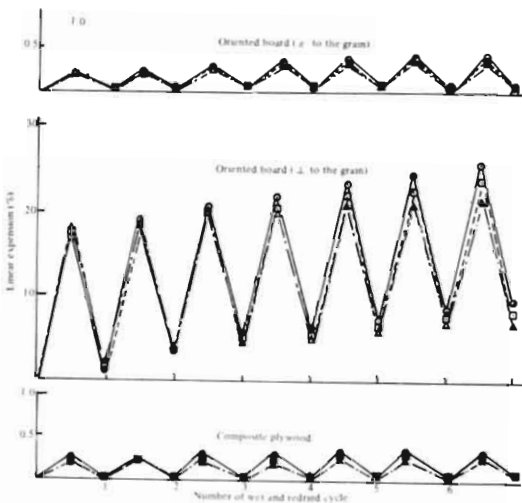


Fig. 9 Dimensional change of three kinds of boards during accelerated wethering tests.

○: Urea resin □: Melamine-urea resin △: Phenol resin

たことなどによるものと考えられる。しかし、Table 3 から明らかなように、乾燥状態においては両者が類似した曲げ性質と寸法安定性を有しており、曲げヤング率においては複合合板の方が高い値を示す傾向が認められた。複合合板と一般合板における大きな相違点は、耐候性試験後および湿潤時においてかなり顕著な強度低下が認められることで、とくにユリア樹脂を結合剤とするボードにおいてこの傾向が著しい。しかし、注目すべき傾向はフェノール樹脂を結合剤とする複合合板では耐候性試験による強度低下が比較的小さいことで、この傾向はFig. 8～9における寸法安定性の実験においても明瞭に認められた。

なお、H. B. MCKEAN⁸⁾は、針葉樹廃材の利用を目的とする複合合板の開発状況を紹介し、これらのボードでは曲げ強さが合板と同程度、曲げ弾性率では合板より優れることを述べている。

IV 要 約

林産廃材からつくられたストランド状パーティク

ルに、ユリア樹脂、メラミンユリア共縮合樹脂、およびフェノール樹脂を添加してエクストルージョン方式によるボードを成形し、これを芯板とする複合合板の製造研究を行なった。

パーティクルの成形には、本研究用に試作した金型を用い、エクストルージョン法ボードと同形態のパーティクル配列の方向性ボードを作成した。比重および含脂率の異なる種々のボードを成形し、成形条件とボード物性の関係を測定した結果、例えば、比重0.6～0.7のユリア製ボード（含脂率8%）は、芯板用単板と類似した異方性を有し、繊維平行向での曲げ強さ380～400 kg/cm²、線膨張率0.3～0.5%（24 hr水中浸漬）を示した。

次に上記のパーティクルボードを芯板に用い、その両面に厚さ1 mmの単板を繊維を直交させて接着し、3-plyの複合合板を作成し、一般合板との物性比較、および耐候性試験を行なった。合板との物性比較の結果から、試作された複合合板は合板とほぼ同等の曲げ強さを有するが、湿潤時の強度低下が合板よりやや大きいことが認められた。複合合板の耐候性が結合剤によって影響されると思われるので、3種類の結合剤からつくられた種々の複合合板について、乾燥-湿潤の繰返しによる促進劣化試験を行ない、その結果フェノール樹脂製のボードが最も良好な耐候性を有することが明らかにされた。

引用文献

- (1) R. E. KREIBICH: *Adhesives Age*, 19(1)27 (1976)
- (2) W. CLAD: *Proceeding of the IUFRO Conference on Wood Gluing*, Sept. 22~23. (1975)
- (3) G. N. ROSENBERG: 32(3)92 (1978)
- (4) 堀岡邦典: 31(4)144 (1976)
- (5) J. T. RICE: *Forest Prod. J.*, 28(4)21 (1978)
- (6) W. F. LEHMANN: *Forest Prod. J.*, 24(1)19 (1974)
- (7) A. SCHNEIDER: *Holz Roh-Werkstoff*, 31(11) (1973)
- (8) H. B. MCKEAN: *Forest Prod. J.*, 25(9)63 (1975)

(昭和53年10月16日受理)