

木材接着剤の動向と今後

富 田 文 一 郎

Trends and Future of Wood Adhesives

Bunichiro TOMITA

(平成11年 8 月30日受理)

は じ め に

木材接着剤に関する現状は、この10年殆ど大きな変化が無いようにも思えるが、接着剤を巡る社会情勢は大きな変換期を迎えていると言える。木材接着剤の動向は、製造される木質材料の動向と連動している。そのため世界の地域特性、特に使われる木質材料の種類や用途が大きく反映されてきた。木質材料の製造を木材資源の有効利用、材料開発の面からとらえた場合、この傾向は今後も継続すると考えられるが、最近では室内環境、リサイクル利用、廃棄処分等の面からも木質材料に対応が求められ、その主体が接着剤に向けられるようになっている。

本報では、北米、欧州の木質材料の生産動向と木材接着剤の生産動向の特徴を紹介し、我が国のそれらと比較することにより、今後の方向を探ることとする。また、資源、環境面から求められている研究開発について私見を述べさせていただくことにする。

1. 北米と欧州の木材接着剤生産とパネル系木質材料の生産の動向

表1に北米¹⁾、ヨーロッパ²⁾、我が国³⁾の1997年における主な木材接着剤の生産量を比較した。また、同様にパネル系木質材料の生産量^{1,2)}を表2にまとめた。これらの表を関連づけて概観することにする。

米国、カナダの特徴は、構造用合板・LVLならびにOSB/OWBの生産量が多く、とくにカナダではOSB/OWBの生産割合が高い。合板は、サザンパインとダグラスファーの針葉樹合板が主体であり、LVLは年間100万 m³ 程度生産されており増加傾向にある。また、OSB/OWBは、北米の構造用パネルの46%に達している。これらの生産にフェノール樹脂接着剤が大量に使用されている。OSB/OWBの生産には、約320千 tの接着剤(固形分)が使用されているが、その内訳は、液状フェノール樹脂が188千 t、粉体フェノール樹脂が87千 t、イソシアネート系(PMDI, ポリメリック MDI)が46千 tである。従って、北米で消費されているイソシアネート系接着剤の大部分はOSB/OWBに用いられていることになる。米国においてもアミノ系樹脂接着剤の生産量が全接着剤生産量の約69%に達

* 第20回木材接着研究会(平成11年10月14日、能代)において講演した。

** 木質環境研究部門客員教授(平指9~10年)(Division of Wood-Environment Science, Visiting Professor 1997-1998)

筑波大学農林工学系生物材料工学分野(Engineering of Bio-materials, Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba)

Keywords: wood adhesives, wood-based materials, production amount, research trends, research development, resource/environment aspect

表1 北米，欧州，日本における主な木材接着剤の消費量（1997年）

接 着 剤 の 種 類	接着剤消費量，1,000 t/年（比率，％）		
	北 米	欧 州	日 本
アミノ樹脂系	980 (59.3)	2,600 (87.2)	405 (68.0)
MUPF 共縮合系	—	200 (6.7)	—
フェノール樹脂系	567 (34.3)	160 (6.1)	24 (4.0)
イソシアネート系	50 (0.3)	22 (0.7)	12 (2.0)
ポリ酢酸ビニル樹脂系	47 (2.8)	—	154 (25.9)
レゾルシノール樹脂系	5 (0.3)	—	—
大豆・カゼンイン系	5 (0.3)	—	—
合計	1,654 (100)	2,982 (100)	595 (100)

注) —は不明を意味する。

表2 北米と西欧における主な木質系パネルの生産量（1997年）

種 類	生産量，1,000 m ³		
	米 国	カナダ	西 欧
合板，単板積層材	16,752	2,007	2,600
OSB/OWB	9,321	5,656	800
パーティクルボード	8,018	2,002	28,000
MDF	2,451	676	5,500
その他	7,974	1,047	1,600
合計	44,516	11,388	38,500

し，これらは主として内装用のパーティクルボードと MDF に使用されているが，これらの性能向上のため PMUF 共縮合樹脂系接着剤が使用されるようになっている。また，MDF の生産量は，増加傾向が続いている。

ヨーロッパでは，合板の生産量が少ない反面，内装用のパーティクルボードと MDF の生産量が北米に比較して圧倒的に多く，それらに使用されている接着剤はユリア樹脂系 (UF) やメラミン樹脂系 (MF)，メラミン・ユリア共縮合系 (MF) などのアミノ系樹脂接着剤である。フェノール樹脂 (PF) の使用量は少なく，アミノ系樹脂の使用量が全接着剤の87%に達しメラミンの使用量も多い。とくにメラミン・ユリア・フェノール (MUPF) 共縮合系接着剤が200千 t 使用されており，これらが統計的に分類されているのが特徴的である。我が国においても，メラミン・フェノール (MPF) 共縮合系接着剤が使用されているが，統計上では，メラミン含有量が多い場合は MF に，また，フェノールのそれが多い場合には PF に分類されている。また，イソシアネート系接着剤の使用量は，約22千 t であり，OSB とパーティクルボードのコアー用である。OSB については，現在構造用，外装用の生産が少ないが，将来は増加すると予測されている。

2. 我が国の木材接着剤生産と木質材料生産の動向

我が国の接着剤生産量の推移を，主な木材接着剤と全接着剤についてを図1³⁾に示した。全接着剤生産量は，1997年までは120万 t のオーダーを維持していたが，1998年に約13万 t の落込みを見せている。

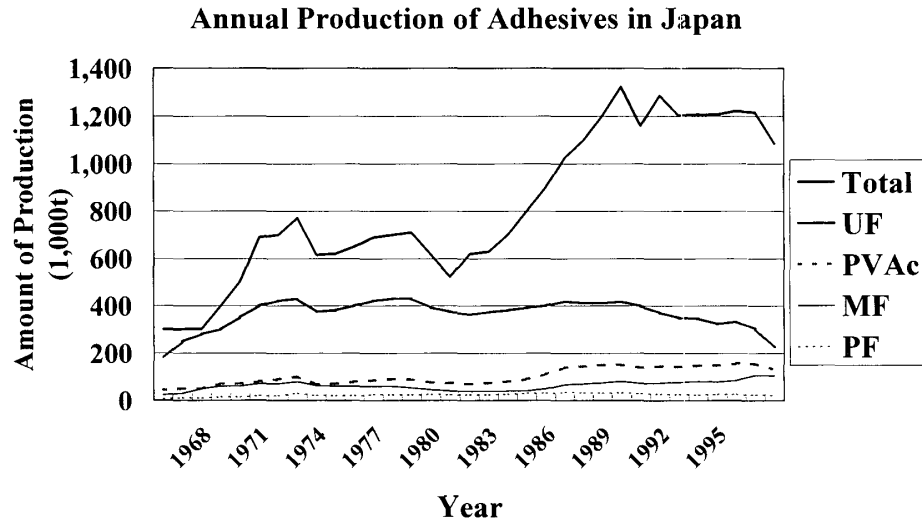


図1 我が国の接着剤生産量の推移

表3 我が国の普通合板需給量の推移 (単位：1,000 m²)

年次	国内生産	輸入量	輸入率, %
平成3	960,209	447,879	31.8
4	880,191	442,451	33.5
5	788,986	581,766	42.4
6	719,629	512,705	41.6
7	655,799	601,582	47.8
8	683,487	683,517	51.5
9	4,225,549 m ³	5,326,457 m ³	55.8

注) 平成9年度から合板の製造量の単位が m² から m³ に変更された。

これには経済不況の影響が反映し、殆ど全ての接着剤の生産量が落込んだことによっていると考えられるが、注目すべきは、この内の約9万tがユリア樹脂系接着剤による低下である。この理由としては、後述するように VOC に関連した室内環境問題が大きく影響しているものと考えられる。一方、メラミン樹脂系は、全アミノ系樹脂系接着剤の1/4から1/3程度となり、10万tの水準を維持している。針葉樹合板等に使用されている MPF 共縮合系接着剤は、統計上前述のような処置がとられている。

フェノール樹脂系接着剤の生産は、10年前に3万t強まで増加したが、現在では2万t強程度に止まっている。レゾルシノール樹脂 (RF) は、フェノール樹脂系に含まれているが現在1,000～1,500t程度の生産量と推定される。水性高分子-イソシアネート系接着剤も最近1万t程度の水準で推移している。

普通合板の国内生産量⁴⁾は、表3のように最近著しく減少し、輸入率が56%程度となっている。この傾向が VOC 問題と同時にユリア樹脂系接着剤の生産量の減少の原因となっている。一方、針葉樹合板の生産量は、表4のように普通合板のその38%であり、この5年間で2倍以上に増加し、今後も増加が予想される。従って、PMF 共縮合樹脂系接着剤またはフェノール樹脂系接着剤の需要の増加が予測される。一方、LVL の生産量については表5に示したが⁴⁾、1996年に広葉樹 LVL が急激に増加し、ここ5年間は12万 m³ 程度で推移しており、針葉樹 LVL の生産量も増加傾向を示していない。表6に集成材の生産量⁴⁾を示したが、造作用の生産が頭打ちとなっている反面、構造用の生産が今だ増加傾向に

表4 我が国の針葉樹合板生産量と輸入量 (単位: m³)

年次	国内生産	輸入量	輸入率, %
平成5	769,872	210,490	21.5
6	974,088	236,221	19.5
7	1,041,246	314,169	23.2
8	1,488,633	448,567	23.2
9	1,629,883	425,261	20.7

表5 我が国の LVL 工場と生産量の推移 (単位: m³)

年次	広葉樹 (工場数)	針葉樹 (工場数)	合計 (工場数)
平成4	77,716 (17)	50,640 (12)	128,346 (19)
5	78,282 (13)	47,027 (12)	125,309 (15)
6	79,015 (12)	57,017 (13)	136,032 (14)
7	61,441 (10)	58,073 (13)	119,514 (14)
8	121,682 (11)	45,768 (12)	167,449 (13)
9	77,931 (10)	48,695 (10)	126,626 (11)

表6 我が国の集成材の生産量の推移 (単位: 1,000 m³)

年次	造作用	構造用	合計
平成元	301.2	134.6	435.8
2	323.0	126.6	449.6
3	328.5	126.5	455.0
4	324.0	127.3	451.3
5	356.5	140.1	496.6
6	377.2	174.1	551.3
7	373.8	208.1	581.9
8	379.8	340.1	719.9
9	370.9	385.0	755.9

表7 我が国の繊維板とパーティクルボードの種類別生産量の推移
(単位: 1,000 m²)

年次	繊維板				パーティクルボード
	硬質板	中質板	軟質板	合計	
昭和63	47,693	23,198	50,449	121,250	85,594
平成元	45,297	25,847	50,549	121,720	84,886
2	43,979	28,183	51,843	123,960	79,616
3	40,355	30,446	53,138	123,939	80,262
4	38,023	26,680	55,826	120,529	77,553
5	38,593	38,375	60,284	137,252	84,330
6	35,403	37,873	61,430	134,711	86,601
7	36,131	39,426	61,654	137,211	87,353
8	35,354	50,126	60,484	145,969	88,816
9	35,248	52,380	58,554	146,182	83,298

あり、レゾルシノール樹脂系、水性高分子—イソシアネート系接着剤の需要増加が予測される。

ファイバーボードとパーティクルボードの生産量を表 7⁴⁾に示したが、ハードボードが減少傾向、インシュレーションボードとパーティクルボードが現状維持の傾向にある。MDF については、世界的な傾向と同様に増加傾向にある。現在、MDF に使用されている接着剤はアミノ樹脂系が主体であるが、VOC 問題からメラミンへの依存度が高くなると予測される。

3. 木質材料の開発動向と接着剤

北米での OSB の製造には、前述のようにフェノール樹脂系接着剤が主として使用されているが、PMDI も使用されている。しかし、熱板への付着の問題が相変わらず解決されておらず、コアー用に限られているようである。スチームインジェクションを熱圧工程に取り入れ含水率 6 % のストランドを 4 秒/mm (厚さ) のプレスタイムを達成している。フェノール樹脂でも高含水率木材を速く硬化させる方法として、レゾルシノールとグアニジンカーボネート等からなる架橋剤と組み合わせた二液型の接着剤が開発されている⁵⁾が、PMDI と同等の速硬化性がある。また、フェノール樹脂とワックスを混合した一液型接着剤が木材に対して 2 ~ 6 % の低添加率で用いられている。西欧で使用されている MUF では、通常の添加率は 9 ~ 11 % と高い。また、PMDI では、乾燥配合^{6,7)}と称する方法が開発されているが、これは回転式塗布機において小麦粉、澱粉、糖類と PMDI の混合物をストランドと混合するものである。

西欧では、タンニン含有量が 90 % 以上のタンニン系接着剤を用いてヨーロッパ規格の外装用のクラス 4 (marine) の OSB が開発されている²⁾。PMUF、PF、PMDI では、現在のところクラス 3 (exterior) までしか達成されていない。このタンニン接着剤は、パーティクルボード、MDF 等へも応用されつつある^{2,8)}。また、PF の速硬化性に関する要求が強く種々の改良が行われ、固形分を 60 % まで高めたものが開発されている。通常、190 ~ 195 °C で 10 ~ 12 秒/mm のプレスタイムを 6 秒程度まで短縮してもボード性能が維持できるとのことである。

麦、米のわら、大豆の茎、バガス、ケナフ^{1,9,10)}等のアグロファイバーからボードが実際に製造されるようになってきている。例えば、米国では、麦わらからパネルを製造している工場が 3 社あり、2000 年よりこれらのアグロファイバーを原料としてパーティクルボードを製造する予定の工場が 7 つあるとのことである。これらの原料の問題は、シリコン、ワックス分、ヘミセルロースの含有量が高いことにあり、一般に PMDI が接着性に優れている。ホルムアルデヒド系樹脂を用いる場合には、化学処理、蒸気処理、リファイニングが必要である¹¹⁾。

木工関係や一部の化粧用合板では、世界的に酢酸ビニル樹脂系エマルジョン (PVAc) が大量に使用されているが、最近では、フェノール樹脂架橋剤、イソシアネート架橋剤等¹²⁾を添加した種々の架橋型が開発されている。硬化促進のためアルミニウムやクロム塩が使用されるが、酸硬化型は、通常強酸性下 (pH 2 程度) で使用されているため木材の劣化を招くとされている。これに対処するため pH 3.5 程度に上げる方法が開発されている¹⁾。

4. 木材接着剤開発の動向

接着剤の改良や開発面では、触媒や添加剤を利用して反応性を高めて速硬化を期待する研究開発が行われている。例えば、化学修飾した 100 % 反応型のイソシアネート系ポリマーと有機金属触媒を用いた接着剤¹⁾、コロイダルシリカと硬化剤を組み合わせたエポキシ樹脂¹³⁾等があげられる。また、前述のように、フェノール樹脂では、8 ~ 15 % の高含水率の接着を狙った硬化促進剤として、カルバメート類、プロピレンカーボネート、グアニジンカーボネート、炭酸ナトリウム等が開発されている¹⁴⁾。

共重合型接着剤では、速硬化性とホルムアルデヒド捕捉を達成するため、PF にレゾルシノールを混

合する方法、PRF にオキサゾリジンを追加する方法¹⁵⁾、また高含水率用接着にアセトンとホルムアルデヒドを併用した PF が開発されている。生材のフィンガージョイントには、新しいタイプのウレタン樹脂や PRF と大豆から分離された純度の高い蛋白 (soya protein isolate, 水酸化ナトリウムで加水分解して製造する。) を組み合わせたハネムーン型接着剤が開発されている¹⁾。MUF 系では、硝酸クロミウムにレゾルシノールを混合した硬化剤が同様に生材のフィンガージョイント等¹⁶⁾に使用されている。また、soya protein isolate は、増粘剤と同時に硬化促進剤としてフェノール樹脂に用いられるようになっている。従来は、緩衝剤として用いられていた亜麻油などの天然油が表面活性剤として、北米で PF や PMDI 系接着剤を用いたパーティクルボード、MDF、合板、フィンガージョイント等の製造に多用されるようになってきていることも見逃せない¹⁾。

天然物利用面では、リグニンがフェノール樹脂の代替剤 (15~35% 程度)¹⁷⁻¹⁹⁾ やホルムアルデヒド補捉剤として用いられている。タンニン²⁰⁾は、前述のように、西欧では、開発が進み実用化されているが北米では殆ど利用されていない。カゼインは、大豆粉と混合してドアのスキンの接着に用いられている。この際、亜麻油が表面活性剤として利用することが行われている。大豆グルーと大豆変性カゼインは、少量ながら世界的に使用されているが、大豆粉や soya protein isolate と混合して用いられているが、前述のようにフィンガージョイント用の PRF 系や合板用の PF 系発泡促進剤等にも用いられている²⁰⁻²¹⁾。血粉は最近まであまり利用されていなかったが、北米では PF の発泡剤やピアノの音響板や高級家具用の MUF 系の添加剤として利用されている。後述するように、木質材料やアグロファイバーのリサイクル利用が重視される現在では、大豆、カゼイン、ニカワ等環境負荷の少ない天然物の利用が課題でもあり、世界的にこのような研究が進められている。

5. 室内環境、健康面における動向

VOC を主として発生する室内環境問題は、この10年間で最も解決すべきものとしてあげられてきた。ユリア樹脂系接着剤を使用した木質材料から放出するホルムアルデヒドの問題は、1980年代初頭から取り上げられてきたが、この10年で再び大きな社会問題となった。我が国では、合板が話題の中心であるが、西欧では MDF とパーティクルボードが中心である²²⁾。接着剤そのものは、基本的には製造時の配合 (F/U) の低下で改良されているが、これだけでは十分でない。ホルムアルデヒド補捉剤としては、ユリアそのもの、リグノスルホン酸塩、MF 樹脂等が用いられている²³⁾。アミン類やエチレンユリアとグルタルアルデヒドを併用する方法などが考えられているが、これらの薬品自体にも問題があり実用化されていない。ホルムアルデヒド補捉剤を接着剤に直接混合すると、ポットライフの縮小、架橋密度の低下、接着不良などの問題を併発するので²⁴⁾、最近では、単板等の木質材料への補捉剤による前処理や製造後に後処理を行う効果が認められ、壁紙や表面塗装に補捉剤を利用することが開発されている。樹皮や茶の成分であるカテキンは、ホルムアルデヒドと反応性が高いこと、また、木炭にホルムアルデヒド吸着能があることから、それらの利用開発が期待されている。一方、酸化チタン類は、紫外線存在下で有機物質を分解することが知られているが、これを利用して表面加工に用いようとするものが試みられているが、これと接触している木質部の分解を併発することから実用化には至っていない。

我が国では、非ホルムアルデヒド系として知られる水性高分子ーイソシアネート系接着剤を単独で使用して合板を製造することが数年前から工場現場で検討され、現在、熱板付着や堆積時の問題があるものの実用化段階を迎えている²⁵⁾。

6. 資源、環境面から見たこれからの課題

前章までに、接着剤の開発動向と木質材料のそれに関連づけて述べ、それぞれの分野における今後必

富田：木材接着剤の動向と今後

要な研究開発や課題をある程度示してきたが、環境面からの社会情勢が木材接着剤利用ひいては木質材料利用の行方を左右する可能性がある。

我々木材研究者は、森林から持続的に再生産できる木材を利用することが、資源面と地球環境面から重要であると常日頃訴えている。資源の活用面からは、とくに接着剤を使って廃材や低質材から合板やボード類等の木質材料を製造することが有用であると考えてきた。このことが、将来の地球環境から考えたとき果たして正当であるとの保証があるであろうか。ダイオキシンを主とする燃焼処分の排出物、高分子中の環境ホルモン等の問題が大きな社会問題となってきた現在、将来を身据えて材料製造を行うべき時代がきているとも言える。

木材利用の LCA（ライフサイクルアセスメント）が検討されるようになり、加工エネルギーが鉄やアルミニウム等の金属や他の材料と比べて遥かに少ないことだけで、木材や木質材料の優位性を唱えることは若干身勝手な結論と言える。現在、資源と環境面から、材料に求められていることとしては、1) 製造における環境負荷の低減、2) 使用中の環境負荷の低減、3) リサイクル利用の容易さ、4) 廃棄、とくに焼却処分等の安全性等があげられる。木材を加工せずそのまま柱や板材として用いる範疇では、確かに木材は、解説するまでも無く優位に位置することは明白である。しかし、一般に木質材料には、現在合成高分子が主体の接着剤が使用されている。この接着剤が、リサイクル利用や廃棄処分のネックとならないであろうか。一方、段階的に大形の木材や木質材料をいらなくなったら中型、小形の木質材料へ利用する、カスケード型木材利用法が提案されているが、これは接着剤、つまり化学物質を用いることなしには現時点では可能とならないであろう。

リサイクル利用のため接着された木質材料を解体して、さらに複合化し、その製品の性能を調べる研究も始められており、このような実験データの集積も必要であろう。しかし、合板を小片化して接着剤が混入していてもボードとして利用できる、さらに同様に段階を経て使用できない場合は、コンクリートに混入して用いればよいとするような、最終処分を次世代以降に委ねる発想は如何なものであろうか。いずれの材料も、使用できなくなったら地球上で安全に処分すべきであろう。この処分を怠ると地球上に環境破壊が起こることになる。接着剤自体を単独物質と見れば、その廃棄や処分を含めたシステムは構築できよう。また、前述のように木材自体をそのまま利用するシステムも構築できよう。問題は、木質材料には、これらが複合化して用いられ、その分離が困難なことである。従って、木質材料（複合材料）の LCA は木材のそれとは全くことにするものであることを認識すべきである。防腐処理木材や一般に言う WPC や化学処理木材についても同様であり、木質材料より状況はより深刻であろう。このような意味から、とくに接着剤が燃焼する際の排出物と木質材料のそれをデータベース化すること、また廃棄方法の確立が急務と思われる。

表 8 に現在使われている木材接着剤について、資源、環境面からの定性的評価を行った。ポイントシ

表 8 資源と環境面からの接着剤の定性的評価

接着剤の種類	評価項目 接着剤原料の優位性	接着剤製造エネルギー環境	木質材料の製造エネルギー	木質材料製造環境	使用環境	リサイクル性	廃棄の優位性 燃焼等	総合点	平均点
UF/MF	○	△	△	△	×	△	○	40	5.7
PF	×	×	×	△	○	×	×	15	2.1
RF	×	△	○	△	○	×	×	30	4.2
PMDI	×	×	○	×	○	×	△	25	3.5
蛋白、炭水化物系	○	○	△	○	○	○	○	65	9.3

注) ポイントシステムの評価は、○が10点、△が5点、×が0点として行った。

システムによる評価は、○を10点、△を5点、×を0点として行った。

評価項目は、材料性能等については考慮せず、接着剤原料の優位性（脱化石資源・再生産性）、接着剤の製造エネルギーと製造環境負荷、木質材料製造エネルギー、木質材料製造環境負荷、使用（室内）環境・安全性、リサイクル利用性、廃棄の優位性・安全性等の7項目とし、筆者の私見で評価した。結果は、天然系接着剤が最も有利であり、アミノ系樹脂がそれに続き、PF、RF、イソシアネート系は劣る。この傾向は、現在まで行われている耐久性や接着強度等の性能による評価の序列の全く逆になる。LCA 評価の面からは、それぞれの項目のについて詳細にわたる評価がなされるべきであるが、現時点では明確でない。しかしながら、この評価において天然系の優位性については、明らかであり異論がないところであろう。

今後の接着剤研究の基盤には、このような視点からのデータベース化が早急に望まれる。また、このようなソフト面の評価と性能評価の接点を何処に置くかも今後の課題と思われる。一般には、カゼイン、ニカワ等の蛋白系やデンプン等の炭水化物系天然物は接着剤としては耐水性に劣るとされているが、例えば、アイオノマーを狙った無機系架橋剤や環境負荷の少ない高反応性の天然物系架橋剤などで強化するような研究開発は不可能であろうか。

お わ り に

全般的な接着剤の動向を木質材料の開発動向と関連づけて解説したが、参考になるところが少しでもあれば幸いである。とくに、最後に資源・環境面から木材接着剤のあるべき姿を述べてたが、これはあくまでも私見的でかつ唐突であると思っているので、是非ご批判をいただきたい。なお、我々が現在行っている木材研究、木材接着剤研究が将来にわたり必要でないと主張しているわけではないことを誤解を避けるために付記しておく。

引 用 文 献

- 1) T. SELLERS JR.: Overview of Wood Adhesives in North America, International Contribution to Wood Adhesion Research, A.W. Christiansen and L.A. Pilato Ed., Forest Products Society, Madison, 31-47 (1999)
- 2) W. ROLL: New Development in European Wood Adhesives, International Contribution to Wood Adhesion Research, A.W. Christiansen and L.A. Pilato Ed., Forest Products Society, Madison, 52-59 (1999)
- 3) 通産省調査（接着剤）
- 4) 林産行政研究会：木材需給と木材工業の現況
- 5) U.S. Pat. 5, 763, 559 (1998)
- 6) U.S. Pat. 4, 944, 823 (1990)
- 7) J. EPPNER: Dow reveals resin application system for composites, *Panel World*, **39**(1), 12-13 (1998)
- 8) A. PIZZI: Advanced Wood Adhesives Technology, Marcel Dekker Inc., New York. (1994)
- 9) J.R. WATSON: Build your house of wood or straw, *WBPI*, **16**(6), 24-26 (1996)
- 10) T. SELLERS JR. *et al.*: Kenaf Properties, Process, and Products, Agric. and Biological engineering Dept., Mississippi State Univ., Miss. State, Miss. (1999)
- 11) R.E. MARKESSINI, E. ROFFAEL and L. RIGAL: Panels from annual plant fibers bonded with urea-formaldehyde resins, Proc/ 31st Intl Particleboard/ Composite Materials Symp. Washington State Univ. Pullman, Wash., 147-160 (1997)
- 12) G. BASSETT: Sticking with it, *Wood-Based Panels Intl.*, **16**(1), 59-60 (1996)
- 13) Gougeon Brothers, Inc.: WestSystem epoxy passes RINA boil test, *Epoxywork*, Spring issue (No. 7). Gougeon Brothers, Inc., Bay City, Mich. (1996)
- 14) J. McCARY: Green end retrofit at L-PLogansport is study in motion control, *Panel World*, **39**(2), 16-21, 38, 43 (1998)

- 15) U.S. Pat. 3, 705, 832 (1972)
- 16) U.S. Pat. 5, 674, 338 (1997)
- 17) C.M. CHEN: State-of-the-art report: Adhesives from renewable resources, *Holzforschung und Holzverwertung*, **4**, 58-60 (1996)
- 18) T. SELLERS JR.: Current lignin use in wood composite binders. Spring Newsletter of Cellulose, Paper and Textile Div., Amer. Chem. Soc., Washington D.C., 8-10 (1995)
- 19) J.T. WHITE: Wood adhesives and binders-What's the outlook, *Forest Prod. J.*, **45**(3), 21-28 (1995)
- 20) United Soybean Board: Chemicals from Soya, Vol. 1. USB, Midland, Mich., 1-4 (1995)
- 21) United Soybean Board: Soy-based foaming adhesives may change plywood industry, USB, Kansas City, Mo. Feedstock, **3**(1), 1 (1995)
- 22) R. MARGOSIAN: Indoor air quality and composite wood panels, *Wood Design and Building*, 2, 41-42 (1997)
- 23) U.S. Pat. 5, 618, 917 (1997)
- 24) 富田文一郎：ユリア系樹脂のホルムアルデヒド放散の機構と対策，第17回木材接着研究会講演要旨集（日本木材学会），東京，1-14（1996）
- 25) (株)日本木材保存協会：低ホルムアルデヒド放散合板製造システム技術の開発，環境適合木材製品製造システム技術の開発報告書（平成9年度），121-157（1998）