

第9回木質ボード・木質複合材料シンポジウム(II)完

(社)日本木材加工技術協会関西支部

去る平成5年3月4日～5日、新大阪シティプラザにおいて開催された表記シンポジウムの後半部分（パネル討論会(2)および(3)）の概要を前号に引続き紹介する。

パネル討論会(2) 木質系軸材料の開発と製造システム

1. 米国・カナダで開発されたパララムおよびティンバーストランド

トラスジョイスト・マクミラン(株) 加藤忠氏

木質材料開発の歴史は比較的新しく、1950年代の合板の発展を契機に次々と新しい材料が登場している。たとえば、1960年代には集成材をはじめ、パーティクルボードやハードボードが、1970年代には単板積層材(LVL)や配向性ストランドボード(OSB)・ウェファーボードが開発されている。1980年代に入ると、幅20mm前後の単板を要素に用いたパララムが本格的に生産されるようになり、1990年代には300mmの長さをもつロングストランドを用いたティンバーストランドが開発されている。これらはいずれも木質資源の枯渇に対応して開発された材料であり、要素寸法が次第に小さくなり、低質材や小径材をより高度に有効利用するための技術開発が進められている。

パララムも単板を短冊状のストランドにすることにより、原料の選択範囲を拡げているが、同時に要素を小さくすることによって欠点を除去し、強く安定した長大材の供給を可能にしている。

パララムの製造にはグレーディングされたベイマツならびにサザンパイン単板を用いている。厚さ2.2～3.6mmの原料単板を乾燥したのち、幅13mmの短冊状ストランドに切削する。節など欠点の存在によって短くなったストランドを除去して、長さを609～2500mmに揃え、フェノール樹脂接着剤を浸せきあるいは噴霧塗布し、ストランドを配向させながらフォーミングする。上下二枚のスチールベルトを駆動して熱圧するタイプの連続プレスに原料を導入し、側面からも圧力を同時にかけながら2分間のマイクロ波加熱によって接着剤を硬化させる。マイクロ波や高周波などの電磁波による加熱方式では均一加熱を行うために精密な含水率管理が

必要不可欠であり、ここでは全工程で30箇所にわたり温度および水分等がプロセス制御によって管理されている。

現在、パララムの生産はカナダバンクーバーと米国ジョージア州にある2工場で行われている。バンクーバー工場では、断面寸法11"×14"の製品を年間30,000m³生産している。一方、ジョージア州の工場の製品断面寸法は11"×17"であり、年間生産量は60,000m³である。

パララムは柱、梁や垂木、まぐさなど構造用軸材料としてのほかに造作用にも利用されている。パララムの構造用材としての許容応力度は比重が若干高いものの、集成材やLVLと同等以上の値を示す。わが国でも大断面木造建築物や枠組壁工法建築物の構造部材として、認可を受けている。さらには、在来軸組工法建築物に対しても現在認可を申請中であり、製材に比べるとやや硬くて重い、溝加工や穴加工、ジョイント加工なども問題ないことが明らかにされている。

ティンバーストランドはアスペンを原料に、現在米国ミネソタ州で生産されている。製造工程の概要は以下の通りである。原木をディスクフレイカーで長さ300mm、幅25mm、厚さ0.7mmのストランドを製造する。乾燥の前後2回にわたり短いストランドを除去し、イソシアネート樹脂接着剤を噴霧塗布して配向させながらフォーミングしたのち、蒸気噴射プレスで熱圧成形する。蒸気噴射プレスは単段であり、幅2.5m、長さ11mの盤面寸法をもつ。蒸気によるマット全体への均一な熱エネルギーの供給によって、140mmまでの厚さをもつ材料を迅速に生産することができる。

ティンバーストランド(比重0.62～0.64)は、たとえばドア枠や窓枠材など、主として造作用軸材に利用されている。現在米国で構造用材としての認可を申請中であるが、SPF材同等、あるいはそれ以上の強度を持たせるために、LVL規格の1.8Eを目標に開発を継続している。構造用としても、まぐさやIビームとして梁やけた材としての利用が試みられている。

パララムは集成材やLVLに比べて資源的に有利であり、幅広で厚い部材や垂直部材に特性を発揮する。ティンバーストランドは資源的にはさらに有利な材料で

あるが、構造用途に用いるには強度の向上をはかることが必要である。いずれにしても、これら二つの製品は将来性が極めて高い材料であると言える。

2. LVL 製造用高周波プレスシステム

兼松(株) 濃沼寛政氏

山本ビニター(株) 山本康二氏

高周波(1~300MHz)誘電加熱は、木材等の誘電体中に存在する電気的双極子が電界の変化に応じて回転・衝突・振動・摩擦することによって生じる内部発熱を利用している。単位体積当たりの発熱量Pは次式で表わせる。

$$P = 5 / 9 \times 10^{-12} \cdot f \cdot E^2 \cdot \epsilon \cdot \tan \delta \quad [W/cm^3]$$

ここで、Eは電界の強さ(V・m)、fは周波数(Hz)、 ϵ は誘電率、 $\tan \delta$ は誘電体損失である。 ϵ および $\tan \delta$ は、温度や周波数によって変化する物質固有の値であり、これらの積を損失係数と呼ぶ。水は木材より損失係数が大きく、加熱されやすい。したがって、含水率が高いと木材全体としての加熱効率は高くなるが、それだけ出力が要求される。一方、接着剤も種類によって損失係数が異なり、酢酸ビニルやビニルウレタン系の値が大きいが、一般にいずれも木材よりも大きい値を示す。

上記の式より、損失係数が大きいほど、周波数が高いほど、また出力が大きいほど、発熱量が大きくなるのがわかる。一方、高周波の物質内部への到達距離は電力半減深度で表わし、周波数が低いほど、損失係数が小さいほど大きい。

高周波加熱とマイクロ波(300MHz~300GHz)加熱の特性を比較すると、上述の理由から、後者の場合、熱効率が高い反面伝達深度が浅く、定在波やホットスポットが発生しやすく、加熱の均一性に劣る。木材に対しては、マイクロ波加熱では数cm、高周波加熱では10数cm~20cm程度の厚さが目安となろう。一方、マイクロ波は導波管から一方的に発射されるために、材料形状の影響は小さいのに対し、高周波加熱では材料を電極ではさむために形状の制約を受ける。

日本では13、27および40MHzの高周波がISMバンドとして一般に使用されている。このうち、木材に対しては13MHzの周波数を用いることが多い。発熱効率は低下するが、厚い材料の加熱に対処しやすいためである。一般に、電力半減深度の約1/2くらいまで均一に加熱されると思われる。

厚さ3.2mm、板面450×450mm、含水率8~10%のラジアータパイン単板を12プライならびに36プライ積層し、高周波プレス(11kW、13MHz)およびホットプレス

(130℃)で加熱圧縮して材中央部の温度を光ファイバーセンサーで測定した。接着剤がユリア樹脂の場合、高周波プレスでは厚さ36mmおよび108mmのLVLの材中央部の温度はそれぞれ40~50秒および240~250秒の加熱時間で120℃前後に達している。フェノール樹脂の場合には損失係数がやや低く、スパークしやすい欠点があるので、接着剤自体の高周波加熱に対する適性を改善することも重要である。アルカリフェノール樹脂接着剤を使用する場合には、アークを防ぐために高周波の出力を落とし、間欠的に印加するなど温度上昇をやや緩慢にする工夫が必要である。

厚さ108mmのLVLに対して変性フェノール樹脂を適用した結果をみると、280秒の熱盤加熱では材表面数mmは110℃程度まで上昇するが、中央部の温度はほとんど変化していない。これに対して、高周波加熱の場合、ユリア樹脂に比べて温度上昇速度はやや遅いものの、材中央部で110℃までの温度上昇が観察される。高周波加熱に熱盤を併用した場合にはさらに温度上昇速度が速く、均一に効率良く加熱される。高周波加熱の場合、周縁からの放熱によって熱を奪われるので、材料が厚いときには熱盤加熱を併用することが重要になる。

「厚く、長いLVLを効率良く作るシステムの開発」を目指して、基礎的な研究を行い、高周波と単板ホットプレスを組み合わせたLVL製造ラインが開発された。その1号機が昨年3月国内に完成し、現在順調に稼働している。製品寸法は幅1.2m、最大長さ5.4m、厚さ170mmであり、プレス盤面寸法は1200×2700mmである。高周波発振器の出力は60kW、周波数は13.56MHzで設計されている。したがって、5.4mの製品を作る場合には、2回押しが必要となるが、プレスの組み合わせによってプリキュアを防ぐ工夫をしている。

単板含水率を10%以下にすることが、パンクやスパークを防ぐうえで大事である。プレスサイクルは製品厚さ170mm、ユリア樹脂を用いた場合には22分(高周波加熱+熱盤加熱14分、熱盤加熱7分、プレスの開閉・出し入れ1分)である。もう一基同じプレスを連結することによって、5.4mの長さが一回の熱圧操作で可能となり、月産1000m³(2直)の能力になる。高周波出力を500kWに高めることによって時間当たり9m³程度(年間2直、9m³×16hrs×300日=43200m³)の量産型プラントも可能になり、フェノール系接着剤にも十分対応することができる。

今回設計開発された製造ラインは、スカーフジョイントされた定尺単板ストックオートフィーダ→エキストラクタ型接着剤塗布器→バキューム方式自動単板積載装置によるレイアップ装置→単段高周波プレス→自

動取り出し→自動積み取り装置であり、接着剤の補給管理を含むオペレーターが1名、単板ストックと製品移送のフォークリフトマン1名の合計1直2名で運転している。プラント価格は概算1億5千万円である。

今後、厚さ200mm×幅1500mm×15~20m程度の大断面構造用 LVL プラントの実用化を目指して開発を進めていく予定である。

3. ラウテ社の高周波加熱式 LVL 製造システム

住友商事(株) 荻田健之氏

LVL は、小径木から大断面の材料ができるという資源・環境の側面と単板の積層によって欠点の分散がはかれるという材料工学的側面の両方から北米を中心に生産が急増している。日本でも、最近許容応力度が定められ、構造用材料として今後市場が急速に広がることが期待されている。

ラウテ社はこれまで、熱盤加熱プレスをベースにした LVL ラインをオーストラリア、フィンランド、日本、北米等の5社に納入している。使用樹種はオーストラリアではラジアータパイン、フィンランドではスプルース、北米ではダグラスファー、ヘムロック、およびサザンパイン等であり、いずれもフェノール樹脂接着剤を用いた構造用 LVL ラインである。現在、6番目のラインを米国ルイジアナ・パシフィック (LP) 社で建設中であるが、高周波加熱プレスを採用することによって、生産能力を格段に増強し、年産3~4万m³に達している。

ラウテ社は4年前より子会社であるカナダのデュランライト社と高周波発振器メーカーであり、これまでパーティクルボードやMDFの高周波加熱を手掛けてきたサーメックス社との共同でLVL用高周波加熱製造システムの開発を行ってきた。今回、その1号プラントを米国LP社に建設することになった。プレスの長さは20m、約600kWの出力を持つ。フェノール樹脂接着剤を用い、厚さ80mmのLVLを製造する予定であり、プリプレスは使用しない。厚いLVLを製造する場合には、材面全体に接着剤をなじませ、プリキュアを防ぐためにプリプレスを使用する。

含水率5%、厚さ3.2mmのダグラスファー単板を13プライ積層し、フェノール樹脂を塗布、高周波加熱プレスにより625×1270×39mmのLVLを製造し、構造用としての強度特性を検討した結果、曲げヤング率、曲げ強度およびせん断強度等の物性はほとんど差異が認められなかった。このときの高周波出力は55.2kW、実際には高周波加熱に熱盤加熱を併用しているが、圧縮時間は5~6分(印加時間4分)である。ホットプレス

では22分を要する。これが90mmの厚さになると、熱盤温度を相当高くしても60分以上を要するうえ、材表面が圧縮されやすくなり、高周波加熱の効果はさらに大きくなる。

含水率を2~5%に乾燥した単板をスカーフジョイントし、フェノール樹脂接着剤をカーテンフローコーターで塗布する。自動レイアップ装置で単板を堆積したのち、プリプレスし、長さを切断して高周波プレスで熱圧する。高周波加熱方式の場合、含水率を5%以下にすることが極めて大事であり、このため米国エリオットベイ社のオンライン全面接触式高精度含水率計を用いて含水率管理をしている。

高周波の周波数は3~6MHzであり、長く厚いLVLの生産には有利であるが、電波漏洩を防ぐために機械を完全にシールドする必要があり、プレス全体をフェラデーケージで覆っている。

今後、構造用LVLの生産は次第に高周波加熱方式に置き換えられていくものと考えられる。

特別講演 北米におけるフレックボード生産の現状

Mississippi State Univ. Prof. Terry Sellers Jr.

(内容省略)

パネル討論会(3) 機械装置とプラント

1. 木材接着におけるSRT・ツインフロー塗布システム

大鹿振興(株) 米原崇氏

集成材ラミナの接着では、レゾルシノール樹脂や水性高分子イソシアネート系接着剤のように主剤・硬化剤混合型のものが多い。これらの混合・塗布の自動化は省力化や生産性の向上につながるばかりでなく、接着性の安定化や労働環境の改善に極めて重要である。ここでは、最近開発された2液接着剤の混合・塗布自動システムを紹介したい。

システムは、主剤および硬化剤タンクをそれぞれ個別のラインで計量ポンプにつなぎ、一定配合比の糊液を混合したのち吐出する自動化ラインである。計量ポンプには、イ)シリンダーの容積比を制御するタイプ、ロ)ポンプの回転数によって吐出量を制御するタイプの2種類があり、いずれも脈動がなく、連続吐出することが大事である。混合ミキサーにはスクリュによる強制攪拌によるタイプのもの、攪拌しないスタティックミキサーによるものがある。

現在、SRTミキシングシステムとツインフローの2種類の2液自動計量混合吐出システムがある。前者は、開発者の名前を取ってSRTと呼んでおり、構造用集成材の製造ラインに多く使用されている。主剤であるレゾルシノールおよびスラリー状の硬化剤を計量ポンプ

により一定の配合比で送り、スタティックミキサーで混合したのち、グルーヘッドから糊液を線上に流出させて塗布する。従来のスプレッター方式のものに比べると、ラインスピードを最大180m/分まで速めることができ、リボン状に盛り上がった塗布方式のため、材内外への水分の吸収・飛散を防ぎ、堆積時間を長くすることが可能になる。例えば、30℃のもとで1時間の堆積時間を得るための塗布量は270~300g/m²である。吐出量はポンプの押しだし圧力で制御されているので、ラミナ幅、ラインスピードおよび吐出量で塗布量が決定される。ラインではタイマー付光電管をセンサーに用い、ラミナ先端がグルーヘッドにかかるのと吐出、後端にくると停止、カウンターと連動させて塗布/無塗布ラミナの組み合わせを制御する。サイドロールでラミナの幅決めをして塗布リボンのブレを防ぎ、目隠し用バーをスライドさせてノズル幅の調整をする。

一方、ツインフローはおもに水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤に利用されている。タンクには攪拌装置ならびに加温装置が付き、コンテナ直結型のものには搬送ポンプを取り付ける。容積制御のポジロードポンプによって2液を個別に計量したのち、強制攪拌型ミキサーで均一に混合し、ノズルからスプレッターに吐出する。集成材の自動連続製造ラインでは材の投入からプレス解圧まで、オペレーター1名で操作が可能である。

いずれのシステムでも、接着剤の洗浄は自動化され、ミキサー内の接着剤を溶剤（水）とエアを交互に吹いて除去する。これによって、接着剤のロスを最小限に留め、製造コストの上昇を抑制するとともに、環境汚染を防ぐ効果がある。システム本体の価格は吐出量により異なるが、SRTの場合1000万円前後、ツインフローの場合500万円程度である。

2. ビゾンプラントの最近の動向と改良型サンダーについて

ビゾン極東事務所コーノ(株) 河野通孝氏

木質資源・環境問題がクローズアップされ、木材の有効利用に対する認識の高まりとともに、木質ボードの需要が多様化し、用途・目的に応じたボードの製造が必要になってきている。

薄物パーティクルボード・MDF専用カレンダーロールプレスシステムの新しいタイプのは種々の改良が施されている。まず、メインヒーティングドラムは直径3mから4mへ、場合によっては5mになり、これに伴って生産量（幅1800mmの場合）もそれぞれ130, 185, および240m²/日に増加している。ドラム幅が長

くなると、たわみを生じる傾向があるが、ドラム表面を内側から圧力をかけて押し出し、凸型のシェル構造にしてこれを防ぐ工夫をしている。入口側のヒーティングロールもメインドラムの中心に力がかかるように従来のものより前に位置し、直径2mと大型になり、表面高度を高め、MDF製造に必要な高圧に対処している。このような改良によって、厚み精度も0.2mmから0.12~0.15mm程度まで改善されるものと期待している。さらに、薄物の場合には高周波予備加熱が生産性を上げるうえでも、ボードの性質を均一にするうえでも効果が大きい。スチールベルトは現在厚さ1.8mmのものをを用いている。ドラム径を大きくして高圧に対処すると同時に、ベルトの寿命を延ばすのに役立っている。疲労時に生じるヘアークラックを補修し、十分にメンテナンスを行えば300日/年稼働の場合で、ベルトの寿命は1~1.3年である。

このシステムは現在世界で23プラントが稼働しており、ドラム表面に含浸紙を置いてダイレクトラミネートやOSBとの組み合わせによるサンドウィッチパネルの製造も試みられている。

一方、Hydro-dyne連続プレスの最近の実績を紹介すると、スペインのパーティクルボードラインに納入されたものがある。プレス幅および長さは2100mmおよび16.4mであり、生産量は700m²/日である。ボード（密度630~670kg/m³）の厚さは主として4~19mmであり、薄物はキャビネット裏板に、厚物は家具主要部材に利用されている。米国ニューヨーク州でも2プラント稼働している。プレスの幅および長さはいずれも1500mmおよび26mであり、生産量は600m²/日である。主要なボード（密度680kg/m³）の厚さは12~16mmであり、アスペン・メープル・バーチの廃材ならびに丸太を原料にしている。これらは家具、壁パネル、キッチンキャビネットなどに使用されている。

Hydro-dyne連続プレスの特徴はダイレクトラミネートが可能であることであり、上述の3プラントも生産量の多くは含浸紙ダイレクトラミネート板を生産している。ボード以外にも、カナダでもエンボス加工を施した高圧メラミン含浸紙の製造に用いられている。米国では、飛行機の内壁用にガラス繊維にポリエステルを充填したFRPの製造に、またドイツおよび日本では銅はくをラミネートしたプリント基板の製造にも用いられている。

ワイドベルトサンダーもボードの加工に非常に重要な位置を占めるようになってきている。ビゾン社の改良型サンダーBSM IIは機能的、高精度、高耐久化が図られ、用途に応じて多様な組合せが可能になり、價格的にも

従来の25~30%コストダウンされている。サンダーはモーターの振動が被研削物に伝達すると誤差を生じるので、本体が堅牢であり、剛性を高くすることが大事である。BSM IIは本体に特殊なコンクリートを充填して剛性を高め、振動を吸収して高耐久化をはかり、各々の部品に狂いを生じさせない工夫をしている。また、ネジのゆるみによる誤差を回避するため、本体上部を支えるシャフトをネジ付シャフトから油圧シリンダーに替え、油圧装置によって位置制御を行っている。サンディングヘッドも剛性を持たせるために450mmの大径にし、直接振動が伝わらないように他方のローラーをベルトで駆動する方式を採用している。サンディングシューは三点で支持し、中央を持ち上げ、たわみを防いで完全にフラットに仕上げる工夫がされている。駆動用モーターは交流を採用し、周波数インバーターで回転数を制御している。また、入口フィードローラーは下側を駆動し、上側は押え付け用ラバースプリングが取り付けられ、上下均一に材料を入れていくためにセンタリングテーブルになっている。発生ノイズはプロテクトキャビン付きの場合80dB、無い場合100dB程度である。

3. 最近の自動車用木質部品の製造装置

太平設備機械(株) 渡辺仁司氏

自動車産業において木質系ボードはその優れた吸音性、吸湿性、保温性ならびに通気性が評価され、湿式ハードボードが製造されるようになるとすぐに内装部品に使用された。プラスチックも成形性の良さを活かして金属との組み合わせにより内装下地として普及したが、吸音性・吸振性に劣る欠点があった。

一方、古衣料を反毛化した繊維を樹脂接着剤で固める方式も古くから行われ、現在内装部品の主流になっている。この製品の特長は、軽く吸音性、吸湿性、保温性ならびに通気性に優れていることであるが、引張強度の割に曲げ強度・剛性が低く、高価格である点が欠点になっている。このため、最近ドアトリムなど高強度を要求する部材には、反毛原料に木質繊維を混入して形成板を製造するようになっている。さらに技術開発が進み、木質繊維のみを使用したダイレクトフォーミング方式も開発されている。ここでは、イ) 古着反毛の成形ライン、ロ) 反毛/木質繊維混抄原料の成形ライン、ハ) 木質繊維のみの成形ラインの概略を紹介したい。

イ) 樹脂接着反毛フェルトライン

古衣料、製縫裁断屑を選別し、綿を主体にした原料を100mm角に裁断し、金属等異物を除去したのち、ラグ

マシンで反毛化する。ラグマシンは1台当たりの能力が小さく、何回(6~8台)も通すことにより徐々に繊維化する。袋詰された反毛(ペールと呼ぶ)をフィードローラーとガーネットローラーを組み合わせた解繊機に2回通して、2次解繊時に粉末フェノール樹脂を添加する。十分に解繊された原料を上下2枚のフォーミングケージに吹き付けその間に原料を挟んで取り出し、マットにする。吹き付けたエアを吸引、循環して接着剤のロスを最小限にする。

ロ) 反毛/木質繊維混抄原料の成形ライン

必要な強度と成形プレス時の深絞りに対する適応性を得るために、木質繊維、テキスタイル繊維(反毛)、ジュート反毛、加熱により収縮するバインダー繊維、再生繊維などの各種繊維を、一定割合で均一混合し、粉末フェノールを20~30%添加する。2回にわたる解繊ののち、反毛フェルトラインの場合と同様の方式でマットを形成し、ネットコンベアー式のキュアリングオープンに導入する。

ハ) 木質繊維のみの成形ライン

木質繊維のみの成形の場合、予めマットを形成したのち成形する方法では原料の流れが悪く、深絞り部分に破れを生じる。そこで、成形の型に合わせて深絞り部位と平面的な部位でフォーミングマットの厚さを変える立体フォーミングを行い、直接成型するシステムが開発された。基本的な設計条件は、1)木質繊維100%で成形したドアトリムを全自動ラインで作る、2)プレスサイクルは1分以内、3)ドアの左右1組を同時にフォーミングし、同時プレスを行うことであった。

木質繊維の製造装置は通常のMDF工程とはほぼ同じであるが、現在稼働しているものは500kg/h程度のミニプラントである。木質繊維原料が均一に分散されながら落下するフォーミングボックスの下に、コンベアーに乗った積層ケースが循環する。積層ケースは、通常ラインのコール板に対応したものであり、底の部分が立体の箱になっている。ケースの下部から吸引し、機械的デストリビュータとの混用で均一にケースの高さ以上に余分にフォーミングする。吸引搬送機が成形されたマットを吸引してケースから取外し、プレス内の型の上に置き、熱圧する。

今後、これら成形技術が単に自動車部品の製造ばかりでなく、家具部材、ドア、さらには構造用建材の製造など、複合材料の特性を活かした分野へ幅広く応用されることを期待したい。

(文責 京都大学木質科学研究所 川井秀一)