

第10回木質ボード・木質複合材料シンポジウム(II)完 「木質ボード・木質複合材料:この10年の歩みとこれからの10年」

(社)日本木材加工技術協会関西支部

パネル討論会(II) 「木質系材料の生産技術」

1. 木質材料製造技術の今後

これまでの木質材料の発展の経過をみると、軸材料では、集成材から LVL, OSL(配向性ストランドランバー) にいたるまで近年急速に開発が進んだ。これらは、資源の枯渇や高度な生産技術に対応するため、より小さい寸法をもつ要素に移行している。しかし、要素がある限界を越えて小さくなると、切り欠き欠陥となるバットジョイントが増えるために、これらを三次元的に分散しても、相互に影響を及ぼすようになり安定した強度が得られなくなる。したがって、今後繊維が繋がっている単板要素、たとえば小幅の単板廃材を縦継ぎ、幅はぎした簾状の単板をベースにしたスティックランバーなどの材料開発が必要になると思われる。もう一つの重要な方向は、複合系材料の開発である。木材/木材の複合系のほか、金属やプラスチックとの複合材料の開発が重要になろう。

平面材料では、合板や OSB のような構造用途のものや MDF やパーティクルボードのように表面平滑性や寸法安定性が重要な表面化粧用途のものに分化する方向に向かっている。今後は、機能に応じた材料開発がさらに進み、スティックプライのような構造材料、木材/木材複合系のほか、無機炭素、プラスチック、その他のリグノセルロース材料との各種複合パネルの開発が進むと考えられる。また、MDF の面内寸法安定性を高めるために、配向性付与の技術開発も重要である。

このような材料開発を可能にするのに重要と思われる生産技術を要約すると以下ようになる。

1) 成型技術: 連続成型(キャタピラ型, スチールベルト型), 大断面成型(蒸気噴射式, 高周波/マイクロ波加熱式), 曲面成型, 大断面・連続, 曲

面・連続

2) 複合技術: 木質・無機複合(セメントの急速硬化技術, 高耐熱性セメントの製造技術), コンポジットパネル(コンプライ, サンドイッチパネル, トライボード, 発泡プラスチック複合軽量パネル), コンポジットビーム(集成材/LVL, I ビーム, ウォーレントラス)

3) ファイバーコンポジット: 混抄技術, 農産および産業廃棄物の有効利用技術

成型技術のうち、連続成型には連続プレスが、大断面成型には蒸気噴射や電磁波加熱方式が実用化され、曲面成型も自動車産業に応用されている。今後は、LVL や OSL などの大断面連続生産のための蒸気噴射式連続プレスや電磁波加熱式連続プレスが待たれる。また、モーラムポール(中空円筒 LVL) 生産のための曲面連続生産技術も重要である。

複合技術では、炭酸ガスとの反応を利用したセメントの急速硬化技術や高圧水蒸気によるケイ酸カルシウム反応を用いた高耐熱性無機物との複合技術がとくに重要である。

構造用軸材では LVL, 化粧合板では MDF, 外壁材では木片セメント板の製造技術の発展が著しい。わが国のスギ材等植林木の有効利用を考えると、大量生産型のプラントよりもむしろ中小規模の生産(技術)プラントの開発が望まれる。多極分散型で、小ロット・多様な生産が可能なシステムであり、初期投資コストが小さいプラントの開発が必要であると思われる。

2. アグロベイスボード

木質資源の枯渇に伴い、農産廃棄物が注目されている。たとえば、とくに合板代替材料として、プラスチックや古紙による代替のほか、バナナやゴムの廃材あるいはケナフやバガスなどの農産廃

棄物の利用が考えられる。

わが国のパルプ生産量は年間1240万トンであるが、バガスやケナフなどの非木材を原料にするものは0.1%に過ぎず、木材への依存度が極めて高い。これを諸外国と比べると、たとえば、フランスでは0.9%、スペインでは7.8%に及んでいる。

農産廃棄物の総量を世界的視野からみると、ワタやヒマワリの種の生産量が2000万トンであるから、茎の排出量はそれ以上であることが予測される。アワやモロコシの生産量は1億トン程度、トウモロコシが6億トン、サトウキビでは14億トンに達する。サトウキビの絞りカスであるバガスの場合、水分を1/2とし、繊維分の豊富な外皮を利用するとすれば、5億トン程度を資源として見込むことができる。

農産廃棄物の利用で最も問題になるのは、その収穫が季節性を持ち、原料のストックが困難なことである。その点、中国東北地方で広大な栽培面積をもつコーリヤンの茎は、風通しを良くして乾燥さえしておけば、野ざらしでも長持ちし、腐らないので原料として使いやすい。

農産廃棄物のなかでも、特にバガスが木材の代替材として注目されている。その組成をみても、セルロース繊維が52%存在し、ヘミセルロースがやや多いものの、木材に比べて大差がない。ケイン・セパレータによって、表層ワックスと内部

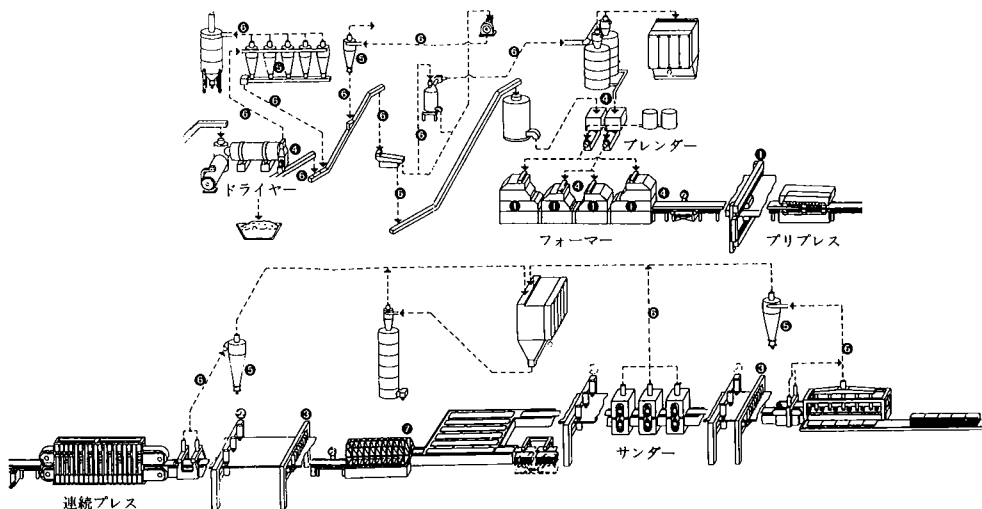
のピスを取り除き、繊維質の豊富な表皮部分をメキシコやジャマイカ、インド等で利用している。たとえば、インドではパルプとしての利用が、またメキシコではボードとしての利用が進められている。OSLやMDFへの利用は現在研究段階である。

農産廃棄物の形態は多様であり、その形態と用途に応じて利用することが重要である。たとえば、バガスは繊維が繋がっているの、ラインドの形態で利用すれば、構造用として繊維強度を活かせる。また、繊維質が表皮に集中している原料では、その複合構造を活かすことによって、単なる木材の代替材や補完材料としてではなく、新しい素材としての可能性が生まれてくると考えられる。

3. On-Line Measuring Systems for Quality Control and Process Optimizing for the Panel Industry and Spark Extinguishing System

ボードの生産システムの中に各種のオンライン測定システムを導入することによって、エネルギーと材料の最適化をはかり、安定した品質の製品を作ることが可能になる。第1図は、典型的なパーティクルボードの製造ラインに、各種測定制御機器の設置例を示している。

含水率計（図中の番号4）はドライヤー出口に



第1図 パーティクルボード製造ラインにおける各種測定制御機器の設置例

接触式のものが、フォーミングステーション分配ホッパーやフォーミングマット上での検出には赤外センサーが用いられている。

単位面積当り重量計(図中の番号1)は、フォーミングステーションとフォーミングベルトに位置している。非接触式センサーとして γ 線が使用される。すなわち、マットを透過した線量から吸収率を算出することにより、単位面積当り重量が計算される。

厚さ計(図中の番号2)は、プレス終了後ならびにサンダーのラインの前後に設置される。ここでは通常、測定精度が高く、壊れにくい接触型の厚さ計が用いられる。レーザーを用いた非接触式のセンサーを用いることもできる。

バンク検出器(図中の番号3)は、プレス終了後のラインに設置される。非接触式の超音波センサーを用いており、欠陥のあるボードには色をつけて識別する。また、プレス時間や温度の最適化にも役立てることができる。

密度計(図中の番号7)はパネルの冷却後に設置される。パネルエッジの数ヵ所にX線を照射することにより、パネルの厚さ方向の密度分布を測定する。

火花検知器(図中の番号6)は粉砕器、乾燥機、送風器、研磨ベルト等、フィルター装置に繋がる吸い込みダクトやサイロに繋がる空送システム内で生じた火花を検知し、自動的に消火するシステムである。装置は、火花から発せられる赤外線を検知する。ダクト内にゴミや材料が流れていてもこれに影響されない。消火器は、1本あるいは数本のノズルから成り、検知器から6~8m離れたダクト内壁に設置され、水が噴射される。消火作業は、生産を中断することなく行われ、水の量は極少量であるので、生産に影響しない。グレコン社は世界各地のラインに12,000台の火花検知器の納入実績を持っている。

詰まり検知器(図中の番号5)はサイクロンやシュート内の原料の詰まりを検知する装置である。

4. 窯業系ボードの生産技術の展開

窯業系ボードとは、木質フレークあるいはファイバーとセメントあるいはセメントに近いスラグ

との複合材料で、住宅の外装に使われるものの総称である。1975年頃から生産されはじめ、その後急激に増加して、1993年には約9,700万 m^2 に達している。この量は日本におけるパーティクルボードの生産量(7,700万 m^2)より多い。

この生産技術は、初めにエルメンドルフ社で特許が取得されたのち、ビゾン社で機械システムが開発された。わが国では、エンボス仕上げの精巧な化粧が施された乾式外壁材として、住宅に多く使用されている。このような例は諸外国でも見られない。いわば日本的な材料として独自の発展をとげ、生産量も世界で最も多い。

発展の過程で、種々の特色をもつ製法が開発されている。いま、原板の抄造法についてみると、次のように分類される。

1) 湿式法: 無機硬化材(セメント、珪砂その他)とパルプおよび水を混合し、抄造機で抄きあげてマットを造り、加圧→加熱→硬化→養生→乾燥する。抄造機には、多層巻き取り式(ハチェックマシン)、単層巻き取り式、長網一層式、ため抄き式などがある。この技術は、アスベストスレートの技術がベースになっている。ファイバーの混入率は5~10%で低く、一方水分が多いのでスプリングバックは小さいが、一般に深いエンボス加工は困難である。

2) 半乾式法: 無機硬化材と木材フレークを混合し、セメントの水和に必要な水分を添加したのち、フォーマーにおいてコール板上にマットを形成する。その後、プレス→硬化→養生→乾燥する。セメントの初期硬化が進むまで、クランプによって圧力を保ち、スプリングバックを防ぐ必要がある。クランプ時間は7~8時間に及び、その後の脱型、自然養生での2週間と合わせて生産上の大きな律速因子となっている。

3) 押し出し法: 無機硬化物とパルプおよび混合助材を水と混練し、押し出し機で押し出して成型したのち、硬化→養生→乾燥する。

その他、硬化・養生法も初期段階では、自然養生法が採用されていたが、生産の安定、品質の向上を図るために、現在では蒸気養生、オートクレープ養生が用いられるようになった。

各製法の特徴は、概略次の通りである。市販ポ

ードによるテストでは、湿式—常圧養生タイプの製品は比重がやや低く、寸法安定性が良い。ただし、耐凍性は半乾式のものより劣る。湿式—高圧養生の製品は、寸法安定性に優れている。半乾式の製品は、耐凍性に優れている。寸法安定性がやや劣り、比重が高い。表面加工性(エンボス加工)は半乾式の製品が優れ、湿式ではため抄きのものが良く、ハチェックタイプのもは、深いエンボス加工が難しい。半乾式法では、原料木材により硬化不良を起こすことがある。

各々の製法について、最近の技術開発の動きを見ると、以下のとおりである。

a) 湿式法では、エンボス加工の向上を図るため、一層抄き、ため抄きのラインが増加している。

b) 半乾式法では、寸法安定性の向上と軽量化を図るために、高圧蒸気養生が採用されつつある。

c) 半乾式法では長時間クランプと硬化阻害木材に対する対策として、アルミナセメントの使用や炭酸ガスとの反応を応用した技術が進展し、一部工業化されている。後者は、加圧時に炭酸ガスをマット内に噴射し、極めて短時間(数分)でセメントの初期硬化を進める技術であり、種々の研究が行われている。この他にも、たとえば、炭酸ガスを発生する無機物をセメントに混合し、蒸気を数秒間噴射して加熱し、炭酸ガスを発生させてセメントを初期硬化させる研究がなされている。

パネル討論会(III) 機械装置とプラント

1. 木質材料製造機械の今後

国産材の利用、とくにスギ一般材の利用が切実な問題になっている。外材が安く、豊富に輸入できる状況から、次第に輸入価格も上がり、輸出国における自然環境保全の問題も重要になりつつある。このため、将来的には地域の木材需要はその地域の林業で賄う、いわゆる「地域林業」の確立が重要になろう。ここでは主として国産材を原料にする木質材料の製造機械・システムの開発について論じる。

わが国の造林は柱材生産を目指してきたが、林業就労人口の急減や住宅工法の多様化によって、これまでの国産材供給体制が乱れ、需要の変化に

生産体制が合わなくなっている。木質建材の多くは装置産業的な生産形態に移行しつつあり、安くまとまった量の原木が必要である。スギ一般材や低質材の集材には、ヘリコプターや気球の利用は、採算性や生産性・安定性に問題があるので、三支点架空索道などと組み合わせた新しいシステムが必要である。歩留りや生産性から、単板とパーティクルの中間的な構成要素からなる材料、たとえばLVLやOSBが重要になると思われるので、供給量がまとまるところにはこれらの製造工場、量と安定性に問題がある地域では、移動可能なレンタル方式の加工システムの開発が必要になろう。

骨組み材料のうち、集成材は国産小径材を原料とするのは不利である。小幅板や製材廃材を幅剥ぎして、ラミナを高歩留りで、効率良く作るための機械システムの開発が必要である。製造の過程でグレーディング・仕分けのシステムを組み込むことやわが国の道路事情を考慮して施工現場での製造システムを確立することも重要である。

LVLは、国産材利用のために最も期待される材料である。小径木の単板化には、種々の専用レースの開発が進んでいる。いずれも外周駆動型であり、切削速度も相当速い。今後は、変形断面追従型レースなど、知能保有型でさらに歩留りの高いレースの開発が望まれる。スギ材のLVL化では単板の乾燥が問題である。心材部の含水率が高いうえ、壁孔(ピット)が閉鎖しているために非常に乾燥が難しい。貯水槽に浸けておく等、酵素を利用したピットの開孔技術の開発が試みられている。現状では、熱板乾燥が最も有望であろう。

LVLの成型では、製品の裁断歩留り、省力性、生産性、長尺物に対する要求などから、連続生産システムに移行すると考えられる。LVLの連続生産には断続プレスやキャタピラー型あるいはスチールベルト型の連続プレスが実用化されている。加えて、厚物への需要に対処する技術としては、高周波加熱型や蒸気噴射型の連続プレスが試作されている。幅方向の曲面成型を加えた円筒LVLは、集成材に比べて広い応用分野が期待される。

OSLの生産には、長く薄いストランドを調製するのに、ユニバーサルリングフレイカーが適している。米国では現在、バッチ型水蒸気噴射プレス

を用いて OSL を作っている。将来、LVL と同様に連続プレスに移行するものと思われる。

国産造林木を合板や木質ボード等、平面材料の原料に直接利用することは採算的に難しい。小規模プラントを開発し、山元の製材や LVL 工場に併設することが考えられるが、いずれにしても FA による高い装置産業化が必要になる。小径木は曲がりが多いので、短尺のレースが有効である。これを合板原料とするには縦継ぎが必要であり、単板のフィンガージョイントを効率良く行う装置が不可欠である。一方、ボード類では薄物と厚物に分化する傾向が認められる。面内寸法安定性を改善するには、OSB 同様に、パーティクルやファイバーを配向させることが効果的であり、高圧静電場を応用した技術の実用化が望ましい。また、配向を効果的に行うには、ファイバーとストランドの中間的な通直繊維束を作ることでも有効であろう。

2. LVL の生産機械の発展と今後

LVL の開発は、1970年代に米国とフィンランドでほぼ同時に始まった。フィンランドでは、メタセラ社とラウテ社が共同開発し、1976年に1号機を設置した。LVL は、欠点の分散が良く、品質が安定しているため、強度等級区分された製材や集成材と比べて強度特性が優れている。このため、建築の構造用材料のほかに、多くの用途開発が行われている。

北米における1993年のLVL消費量は800万 m^3 に達し、さらに2002年には2,400万 m^3 になることが予測されている。現在、主としてIビームや住宅用梁として使用されているが、今後構造用製材との代替が進むであろう。

単板ラインでは、玉切り、X-Yチャージャー、スピンドルレスレース、クリッパーの一連のシステムで高速・高精度・高歩留りの製造が可能になっている。乾燥ラインは、ヤニの浸出や含水率分布が大きい等、針葉樹独特の問題があり、厳密な工程管理が必要である。通常、ローラードライヤーにより含水率5%未満まで乾燥される。

レイアップラインでは、単板がスカーフされ、スプレッダーあるいはエクストルーダで糊付けされたのち、トラベルコンベアーが順次単板を運び

150mmずつずらしながら、単板を積層していく。レイアップストップにより、正確に速く仕組まれた単板は、必要に応じてプリプレスされる。

プレスラインは、要求される生産規模に応じて1段および2段システムがある。今後、需要の増加に伴ってより大きな生産ラインが要求され、2段あるいは高周波加熱型、また場合によっては多段システムの導入が増加すると思われる。1段ラインの能力は年差5,000~10,000 m^3 である。ホットプレスは入口に冷圧部があり、その長さは製品長さに影響しない。

3. OSB の生産機械の発展と今後

北米において OSB の生産が急増している。合板適木の減少のほかに、OSB が強度・剛性に優れ、品質が安定していることが主な理由である。

各国の規格をみると、米国 (ANSI) やカナダ (CSA) のそれは寸法安定性を或る程度犠牲にして大量低価格製品を目指しているのに対し、ヨーロッパの規格 (CEN) は寸法安定性を重視して、高品質製品の開発努力をしていることが伺える。第1表は合板、ウエファーボード、OSB の性能を比較したものである。高品質の OSB は合板と強度および寸法安定性の両面ではほとんど遜色がない。OSB は、ウエファーボードに比べても幅方向寸法に制約がないため、原料の選択範囲がさらに広い。OSB、ウエファーボード、合板の原木歩留りは各々 80-85%、70-75%、および 50-60% である。

製造工程はパーティクルボードとほぼ同様であるが、OSB 特有の工程管理も必要になる。原料調製は 0.6-1.2m の短材用にディスクフレイカー、2.5m 以上の長材にはユニバーサルリングフレイカーが用いられる。目的の長さ、厚さを有するストランドを効率良く調製することが求められる。ドライヤーはできるだけストランドを壊さないためにシングルパスが望ましい。

同じ理由から、接着剤の添加も低速回転でロングリテンションタイプのブレンダーが使用されている。接着剤は PF が主流であるが、MDI も使用されている。北米での添加量は粉末 PF の場合 2.5-3%、液体 PF の場合 4-5% である。高い寸法安定性を要求する欧州では UMF 接着剤を 9-11% 添加

第1表 各種構造用ボードの特性

ボードタイプ	プライウッド	プライウッド	ウエハーボード	OSB	OSB/Triply
	CDX	CTDX			
	South-pine 3-layer	Okume 5-layer	Aspen 3-layer	Aspen 3-layer	50% Pine 50% Poplar 3-layer
フレーク長 [mm]	—	—	75	75	80
フレーク幅 [mm]	—	—	15~60	5~40	5~30
フレーク厚 [mm]	—	—	0.75	0.75	0.65
接着剤	PF-liquid	PF-liquid	PF-powder	PF-liquid	MUPF-liquid
接着剤率(表面) [%]	—	—	2.4	5	12
接着剤率(コア層) [%]	—	—	2.5	5	10
パラフィン率(表面) [%]	—	—	1.5	1.5	1
パラフィン率(コア層) [%]	—	—	1.5	1.5	0.8
表層, コア層率			50:50	50:50	50:50
ボード厚さ [mm]	9.5	15	11.1	11.1	12
密度 [kg/m ³]	560	500	660	636	660
強度特性					
MOR \parallel [N/mm ²]	50	50	21.5	39	50
MOR \perp [N/mm ²]	15	35	21.5	16.2	23
MOE \parallel [N/mm ²]	8000	4500	3650	7000	7500
MOE \perp [N/mm ²]	1200	4000	3650	1850	3200
内部結合 [N/mm ²]	0.85	—	0.37	0.47	0.7
厚み膨張率(24時間) [%]	7.6	—	20 a	16 a	10 b
線膨張率 [%]	0.06	—	0.12	0.09	0.07

a) ASTM 1037-78によるサンプルサイズ 152×152mm

b) V313によるサンプルサイズ 100×100mm

している。フォーミング工程では、現状の生産機では最も優れたディスクオリエンターを、また、クロスオリエンターとしてトラベリング・グリッド・オリエンターを用い、3層構造のマットを形成する。この他、新しいタイプのポケットクロスオリエンターも開発されている。

ストランドの配向には、オリエンターをできるだけベルトに近付け、自由落下距離を小さくすることが望ましい。コールスクリーンを使ったシステムは、スクリーンを約2.5cm厚のバーで引っ張るために、スクリーンが平坦にならない。このため、少なくとも3.5cmの自由落下距離が必要となるが、プレス時に蒸気の排出を促進し、滑り止めのスクリーンパターンを付けるのに有効である。他方、ストランドの配向に対するベルトシステムの優位性は明らかである。このため、フォーミングラインはベルトで、プレスラインはスクリーンコールで行う、複合システム、コンビラインが開発され

ている。

熱圧は一般に多段プレスで行われ、8×24フィート、16段プレスでの生産能力はおよそ1,000m²/日である。

北米での生産量は5年間で29%成長し、93年には850万m²、95年には1,150万m²に達するものと予測されている。このようなOSBの生産の増加傾向が、今後は順次欧州やアジアに波及するものと期待される。

4. MDFの生産機械の発展と今後

これまでのMDFの発展の歴史を辿ると、1)より安く、2)より高い品質をもち、3)より多様な製品を、安定して作ることに集約される。今後も、これらの方向に発展が継続と予想される。

1)についてみると、原料問題ではこれまで使用しなかった原料、たとえばバガス・ゴムなどの農産廃棄物を使いこなすことが考えられる。日本

では、解体材も異物除去技術の進歩とともに、視野に入れなければならない原料である。スケールメリットも見逃せない要因である。10年前のディスク径の標準は42インチであり、150トンプラントが一般的なサイズであった。現在のそれは、44~48インチ、350トンプラントである。将来さらに大きなディスクへと移行していく傾向にある。FAによる無人化、省力化も重要な因子である。エネルギー収支では、サンダーダストから燃焼ガスを取り出して、ドライヤーでの乾燥、プレスでの加熱、解織のための蒸気ジェネレータ等すべてを賄うことが可能になり、場合によっては発電までしている。

2) についてみると、安定したファイバーを得るため、シャフトを短くしてオーバーハングを少なくし、リファイナー間隙を一定に保つ工夫をしている。また、蒸気をリボンフィーダースクリューの中を通して排出し、プリヒーターに戻すことにより、ファイバーの排出量を一定にして接着剤の添加率を一定に保つ。最近では、リファイナーに2回通すことにより、より均一のファイバーを得る試みもなされている。乾燥ラインでは2段ドライヤーで温度を低く抑え、プリキュアーを抑制する。サイクロンでの排気は、一旦水を通してホルマリンやダストの除去を行っている。フォーマーの前にダンプセパレーターを設け、レジンボール等の異物を除去する。

フォーマーでは、空気流を調整してファイバーを均一に分散し、ベルト下方からサクションをかけて、エアータマを取り除く。プリプレスで嵩を低く、圧縮する。熱圧成型には連続プレスが多く使用されている。厚さ精度が高いほか、プリキュアーが少なく、厚さ方向比重分布を自由に設定できるなど、利点が多い。

3) については、接着剤やレジンの種類、添加量を変えることで多様な品質をもつ製品ができるほか、厚物・薄物・軽量の製品、複合系の製品、自動車・ドア等のモールド製品も増えている。

5. NCルータ等木質ボード用二次加工機械の現状と将来

木材の二次加工のうち、切断、サンディング、

切削加工のうち、前二つは直線加工であり、高速ラインで量産が可能である。一方、切削加工はライン化が最も難しい。昭和43年に開発されたNCルータにより曲線切削が可能になったが、加工時間や形に制約が多かった。当初は木材素材を対象に表面の切れ肌を良くして、塗装・サンディングを簡略にすることが目的であった。最近では、木質ボードの加工、大面積や複雑な加工、と高速化への要求に対して機械の開発が進んでいる。

標準的なNCルータは1テーブル、4ヘッドのもので、同一の加工を4枚あるいは4種類の加工を行うことができる。その後、3,200mmまでの長尺を扱うことができるもの、切断・穴あけなど複合加工に適応するためのヘッドの増設、ワークの着脱時間を最小に抑えるためにテーブルを2台備えたパレットチェンジャー、大きなサイズとパレットチェンジャーの併用可能なツインテーブルなどが開発された。

多品種少量生産における自動化・無人化システムも発展している。MDFのスロットルマシンボードを例にとると、立体倉庫-2台のNCルータ+ロボット+トラバーサの組み合わせにより無人化システムが実現した。

超高速加工のための開発も進み、加工速度を4倍にすることに成功している。ヘッドの回転数を2~3倍にすることで、切削速度が毎分10mから40mに、また早送り速度も15mから40mになり、電子制御の開発による先読みでヘッドを速く動かすなどの工夫がされている。とくに、円弧加工が多い場合には時間短縮効果が大きい。

切削工具も重要な条件である。ボディの材質は、高速時の振動、チッピングを防ぐために、高速度鋼から超合金のものに、刃先はさらに超合金のものに、さらに超合金から切削速度が速く、寿命の長いダイヤモンドへと変わってきている。

木質ボードでは接着剤が硬く、あまり切削速度を高めると刃物の摩耗が激しい。刃先形状はストレート→ヘリカル→スパイラル→切削物を細かく砕き、抵抗を小さくするチップブレイカーへと移行している。

(文責 京都大学木質科学研究所 川井秀一)

(1994.6.8.受理)