

小径木を原料とするLVLの 生産技術の確立に関する研究

プロジェクトチーム

目 次

第1章 緒 論	1
1.1 LVL発展の経過	2
1.2 LVLの生産及び利用の現況	2
1.3 道内資源の活用とLVL	3
1.4 本研究の目的	6
第2章 LVLの製造システムに関する既往の研究	7
2.1 北米における研究	7
2.2 我が国における研究	10
第3章 小径木を原料とするLVLの製造システムの検討	12
3.1 製造システムの基本設計及びテストプラントの構成	12
3.1.1 製造システム開発の前提条件と設計の基本方針	12
3.1.2 製造システムの基本設計及び主要機械装置	15
3.1.3 テストプラントの構成	15
3.2 原材料の一般的加工特性の検討	23
3.2.1 はじめに	23
3.2.2 単板切削に関する検討	24
3.2.3 単板乾燥に関する検討	29
3.2.4 単板の積層接着に関する検討	33
3.2.5 まとめ	38
3.3 テストプラントによる単位工程の検討	39
3.3.1 はじめに	39
3.3.2 小径木専用レースによる単板切削	40
3.3.3 熱気乾燥から熱盤乾燥への移行	43
3.3.4 高周波積層接着に関する検討	46
3.3.5 まとめ	55
3.4 テストプラントによる生産運転	55
3.5 検討結果の総括、問題点及び今後の対応	57

第4章 製品の品質・性能	60
4.1 製品の強度性能	60
4.1.1 はじめに	60
4.1.2 単板の裏割れと強度性能	60
4.1.3 実大LVLの曲げ強度性能	63
4.1.4 まとめ	67
4.2 製品の吸水・吸湿性能	67
4.2.1 はじめに	67
4.2.2 吸水・吸湿及び膨潤試験	68
4.2.3 LVLの吸水性の改善	72
4.2.4 まとめ	76
第5章 実用規模プラントの設計とコスト試算	78
5.1 歩留まりの検討	78
5.1.1 テストプラントによる歩留まりの検討	78
5.1.2 道産カラマツ材の細り	81
5.2 プラントの設計例及びコスト試算	82
5.3 まとめ	92
第6章 本製造システムと既往システムの比較	94
第7章 結 論	102
文 献	107
Resume	113

第1章 緒 論

1.1 LVL発展の経過

我が国におけるLVLあるいは単板積層材に対する関心は、数年前から徐々に盛り上がりつつある。特にこの1~2年、合板製造工場の副業的生産から専門工場による本格的生産へと関係業界の積極的取り組みがみられるようになってきている。

用語としての「LVL」あるいは「単板積層材」は、全く同義語として用いられているようで、事実そのように考えても差支えないが、厳密には若干異った意味合いをもって用いられる場合もある。「LVL」は、後に述べるように、アメリカ・カナダ等に端を発した主として新しい製造システムの開発に重点を置いた研究の経過で命名され、その後我が国でも同様の研究が進展するにともない、この名称が用いられるようになった。一方、「単板積層材」は、我が国の合板メーカーが、在来の合板製品の1つのエクステンションとして用途開発を進めてきた経過があり、製品の市場進出にともない、日本農林規格が制定されるに当たって命名された名称である。このように、製品の名称としては同義語として扱われているが、製造プロセスの上では2つの異った流れが存在する。本研究は、一つの製造システムの開発について論ずるものであり、ここでは「LVL」を用いることにした。なお、アメリカ・カナダ等では、最近、製品の名称としてPLV (Parallel Laminated Veneer material) が、多く用いられているようである。

以上のように、我が国とアメリカ等では研究開発の発祥や経過に相違がみられるが、その後のそれぞれの発展状況を見ると、実用化の段階で複雑な展開を示している。ここでは、LVL (=単板平行ばり積層製品) に対する考え方について、原料、製造技術、用途開発等の面から、異った大きな2つの流れ、すなわち、

第1の流れ 主として広葉樹材または上質針葉樹材を用い、従来の合板製造技術の延長線上で生産される比較的小断面寸法の製品であり、家具用、造作用等の高付加価値材を指向するもの

第2の流れ 主として小径の針葉樹材等の有効利用を目的とし、合板とは別個の製造システムにより、比較的大断面、長尺寸法の構造用材を指向するものとして促え、その上で両国間における発展の経過を考えてみたい。

我が国においては、昭和30年代に既に広葉樹材、南方産材、あるいは良質針葉樹材を用いた家具、楽器用のカットサイズの製品が、「平行合板」などの名称により、合板業またはユーザー側の下請け企業などによって生産されていた。すなわち第1の流れといえる。昭和47年頃から、この小規模企業などにおける既存の流れの中に、大手合板工場数社が参入し、家具部材、建築造作用コア材、更に発展的には建築構造材への利用開発を目指して動き始めた。昭和49年頃から官民の研究機関による研究が活発化し、この流れが新しい展開を迎えることになる。昭和53年にはこれら開発製品が市場に出回るようになり、同年「単板積層材の日本農林規格」が制定された。この段階では、メーカーの生産体制と需要の見透しから、この規格は非構造用途のみに限定されていたが、昭和63年にいたって構造用途の製品についても日本農林規格が制定された。

しかし、広葉樹材の枯渇、南方産材の輸入量減少という資源事情の変化や製品の需給関係の変化から、針葉樹間伐材等を原料とした第2の流れに相当するものが派生してきた。すなわち、昭和54年頃より新しい発想の製造システムや利用技術の提案がなされるようになった。しかしながら、いずれも機械設備の検討あるいは製品性能把握の面でまだ十分とはいえず実用化には至っていない。とはいえ一部民間工場で、輸入針葉樹材、国産針葉樹間伐材等を原

料とする製品を、家具用、造作用として市場に流し始めている。また構造材への指向もみられることから、今後第1、第2の流れは、相互に影響しあって、複雑な展開をしてゆくものと思われる。

他方、アメリカ・カナダ等においては第1の流れは、我が国の合板業の事情との相違もあって、あまり顕著な展開はなかった。これら両国における研究は、将来の二次林材または造林木の供給の増加を見越した先駆的な開発に着手していることにその特徴がある。新しい製造プロセスのヒントともなるべき研究は、既に1950～1960年代に散見されるが、研究が急速に進展し、ある程度の成果が得られたのは1970年前後である。

これらはいずれも針葉樹材を原料とし、製品目標は構造用製材相当品であった。その後も研究が展開され、大規模な建築物の試作例もみられるようになったが、製造システムの実用化は考案された機械装置の製作が商業的に困難であり、アメリカにおける1社の企業化成功例を除くと、実用化に至っていない。

このような実用化の停滞の中で最近では現実的なバリエーションとして、既存の合板製造システムを利用した家具部材の開発等、第1の流れに相当するものへの応用が提案されつつある。第1、第2の流れ発生の時間的關係は我が国の場合と逆になっている。

以上、大筋において2つの流れがあるが、今後はこの流れが全く異った方向に向うものではなく、原料、製造システム、用途開発各面で相互に影響し合い多様な発展を示すものと思われる。また、製造条件と製品性能との関係、製品性能に応じた利用開発の可能性などについてはかなり明らかになりつつあり、今後実用化に当たっては、能率的な製造システムと商業的に供給可能な機械設備の開発が要点となろう。

1.2 LVLの生産及び利用の現況

我が国におけるLVLの製造工場¹⁾²⁾のほとんどは既存の合板工場で、原料も在来に準じ、機械設備もそのまま利用して生産を行っている。もっとも、最近2～3の工場では、在来の機械設備同様ではあるがLVL専用に設計したラインを設けるもの、輸入針葉樹材を原料とするもの、造林間伐材を原料として山元下請工場に製造させた単板の集荷体制を整えようと試みるものなど変化がみられるようになってきている。原料は南方産材が大部分で、一部北海道産広葉樹材、輸入針葉樹材(米材)、試みではあるが国産針葉樹造林木(間伐材)が用いられている。製品寸法は、厚さ9～85mm(合板機械設備を用いるので厚さ45mm以上は二次接着による)、幅45～1,250mm、長さ530～4,000mmと広範囲であるが、特に厚さについてみると9～40mm程度の薄物が多い。その用途は薄物が家具用材(引出し側板等)、化粧ばり造作材中芯用(なげし、鴨居等)など、厚物は住宅部材(階段セット、カウンター等)楽器用(ピアノ部材等)などとなっており、製品価格は6～12万円/m³程度となっている。

アメリカ・カナダにおけるLVL製造の現況は、情報の入手が困難であり詳細は不明である。1.1に述べた1971年頃からの開発の流れをくむ以外のもの、すなわち既存の合板設備による生産形態、あるいは下請け業的な生産形態は殆ど存在しなかったものと思われる。新しい開発の流れをくむものについては、若干の生産がなされているようである。アメリカにおいては、大手木材企業を含む3社が、商品名まで考えて生産を試みている³⁾が、そのうちの1社のみが継続的に生産を行っている唯一の成功例とされている⁴⁾。その生産規模は1978年時点で2工場4系列、年間47,000m³程度とされているが、さらに2系列増設の計画も報道されている。ダグラスファー単板を近隣合板工場より購入し、製品寸法は厚さ1¹/₂"を主体に³/₄～2¹/₂"、幅24"、長さ80"である⁵⁾。製品の多くは自社内のトラスやジョイストの部材に加工され、一部が足場板や建築用材として直売されている。カナダにおいては、パイロットプラ

ントを用いた商業的試験生産を行っているといわれるが⁶⁾、1973年時点で生産量は明らかにされておらず、その後の経過についても明らかではない。ダグラスファーを原料とし、製品寸法は1/2" x 48" x 40'である。これらは、注文により規定寸法に挽き割られてディメンジョンランバーとして用いられるが、カナダ製材規格のダグラスファーNo. 1としての使用が認められているという。

1.3 道内資源の活用とLVL

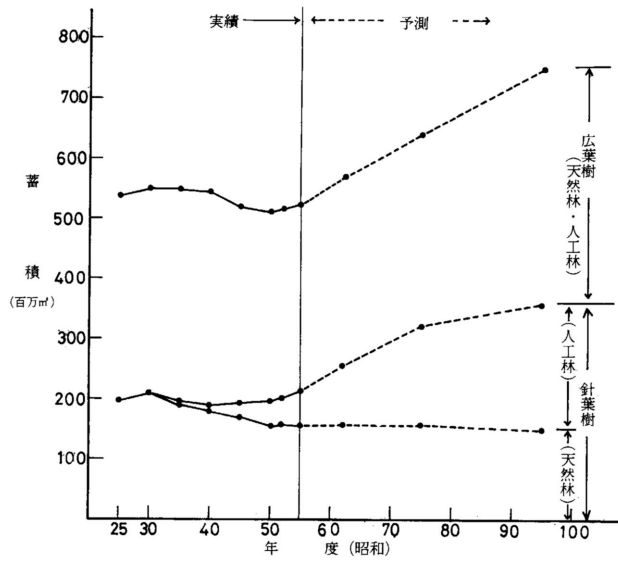
我が国の木材の需給関係を見ると、需要はここ数年1億~1億2000万 m^3 で停滞し、外材依存率が65~70%に達しているが、内外の諸事情もあって、外材輸入量、依存率ともに昭和54年から減少傾向を示している⁷⁾。需給の将来像としては、昭和55年閣議決定した農林水産省の予測によれば、昭和71年に総需要1億3,300万 m^3 に対し国内供給量5,800万 m^3 (51年度実績は3,800万 m^3)で外材依存率57%となっている。更に予測を昭和101年に展開し、供給量8,800万 m^3 としているが⁸⁾、そうならば大幅な自給率回復が達成され、これが実現されるなら、戦後実施されてきた人工造材の大きな成果といえよう。

北海道については、需要はここ数年、全国同様1,200万~1,450万 m^3 で維持し、昭和30年までであった外材依存率は27~40%となり、かつての森林王国の面影はないが、全国レベルと比較すれば、まだその片鱗は残しているといえよう。外材依存率も、全国同様昭和54年をピークに漸減傾向にある⁹⁾。

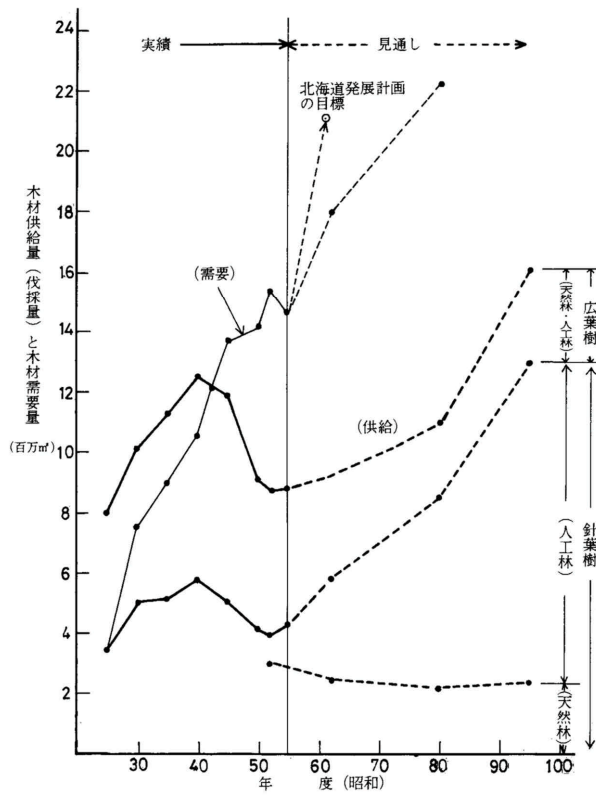
森林資源の状況を見ると、森林総面積は、昭和23年547万haと大差ないが、天然林が98万ha減に対し、人工林は114万ha増となっている。森林蓄積は、23年5億300万 m^3 、56年5億2,000万 m^3 とやはり大差ないが、その内訳は天然林7,000万 m^3 減、人工林6,000万 m^3 増であり¹⁰⁾、森林面積、蓄積ともにその内容は大きく様変わりし、今後の木材の供給は、人工林に大きく依せざるを得ない。問題は生産される人工林材の内容にあるが、それは今後の造林、撫育のあり方に支配されよう。

宮島¹¹⁾は、このような北海道の資源の有りようを分析し、主要造林樹種としてのカラマツとトドマツの優劣を論じ、カラマツからトドマツへの転換傾向にある新規造林に警鐘を発するとともに、品種改良による造林適木の開発、除間伐材等の適正な育林と併行して、間伐材を含む造林木及び低質天然林材の利用開発により、全生産材の利用体系の整備が必要であることを説いている。

さて、このような理想的な育成林業が行われたとして、北海道の木材需給の将来像はどのようになるだろうか。2~3の予測例はあるが、不確定要素を多く含むため結果はまちまちである。例えば昭和53年に策定された、北海道発展計画のベースとして試算されたもの¹²⁾などは、現時点で大幅なズレをみせているなど、予測値はあくまでも参考値として取り扱い得るに過ぎないが、ここでは、資料としては若干古い¹³⁾が、上記ズレなどを考慮した、比較的最近の例として、千広の試算例¹³⁾を参考とする。第1.1~第1.2図は、同試算例による将来像を、過去の推移と対比して作図してみたものである。森林資源の総量で見ると、昭和62年には、かつて森林王国を誇っていた昭和20年代のベースを回復し、21世紀には20%増にも達する。内容的には針葉樹50~60%の大幅増、広葉樹は未だ回復に至らないが、針・広を含め天然林資源としてみると、62年ごろから回復基調に移っており、人工林資源は戦後の40倍に達している。予測を更に延長すれば、針葉樹の主流は人工林材に移ることが、大勢としてくみとれる。木材需給面を見ると、供給は42年をピークに逐次減少の傾向にあったものが、62年には総量で52年対比106%、85年には126%、更に延長した時点で過去のピーク1,200万 m^3 をはるかに超えることを予測している。内容的には、85年で52年対比、針葉樹3倍(うち人工林11倍)、



第1.1図 北海道の森林資源の見通し(実績対比)



第1.2図 北海道の木材需給の見通し(実績対比)

広葉樹0.7倍という数字になっている。

その他の予測例も、数字には差はあるものの、森林総資源の回復傾向、木材供給量の漸増自給率の回復を示している。問題はその質的内容であろう。すなわち針葉樹については、1) 樹種の内訳比率 2) 人工林主伐木の形質(伐期・仕立て目標に関連)及び天然林材の形質(径級の低下傾向) 3) 間伐材比率の増大(人工林更新の安定まで)など、広葉樹についても、質・量の低下は免れず、また、現在の有用樹種が引き続き更新されるか否かは今後の育林技術にかかっている。

これらを考慮すると、木材業界としては、

- i) 量的に増大するが、内容が激変する針葉樹
 - ii) 相当期間減少をたどり、かつ低質化が予測される広葉樹
 - iii) 国際貿易環境の変化、供給内容の変化が予測される、補充材としての外材
- などに対応する必要があり、併せて今後の需要の変化をも考慮した、木材の利用の展開が求められている。

これらへの対応策として、かつて筆者は、「地場資源の活用」に関連して取りまとめた¹⁴⁾が、その要点は、これら木材を、その材種(国産・輸入、針・広葉樹、天然・人工林材)樹種、形質(形状、寸法、材質)等により、加工・利用上の役割分担の適正化、すなわち利用区分及び利用体系の確立にある。これらが適正に行われなければ、総需要の補充として扱うべき外材に、主客転倒その地位を奪われ、折角回復しつつある資源を再び失いかねない。

ここでは、木材の利用区分と利用体系の確立の一端を担うものとして、LVLの位置づけを考えてみたい。

間伐材等小径材の利用分野は、今後とも、パルプ・ボード用原料がその根幹となるが、これらは前述の事情からより小径材へ移行するとともに、一般製材、二次加工用材、合板等の原料用丸太も、より小径化に向わざるを得ず、それぞれ原料の変化に起因する生産の合理化が進められようが、そのため木材製品全般についてコスト高は避けられないであろう。このような傾向のなかで、パルプ・ボード用材と製材・合板用材との中間に相当する径級の丸太の適切な利用区分を見出すことが必要となって来るが、木材加工技術水準の現状から判断すると、より合理化された合板、集成材またはLVL等が一応の対象と考えられる。このうち集成材は、現製造システムは抜本的な改善がなされない限り、歩留まり及び労働生産性からコスト競争力の面で厳しく、また製品用途面でも現在の住宅用柱、造作材の市場は厳しく、大型構造用等新規市場開拓の必要な現状から、余り適当な利用分野といえない。合板は、最近の技術的進歩によって、歩留まり及び労働生産性の面で向上がみられるものの、大型ロータリーレースを基本において考える限り、原料は大径木に頼らざるを得ない。もちろん、小型レースを基本とする小径木利用システムへの展開は可能であろうが、生産製品が依然として現在の合板同様であるなら、今後予測される、東南アジア、北米等の製品輸出に対抗することは困難である。

このようなことから、前述3者のうちLVLへの利用が先行するものと考えられる。

LVLについては、既に多くの研究成果から明らかなように、材質の均一性、長大材の性能などの特性から、徐々に入手困難になりつつある無欠点長大の一般製材品(高価格製材品)の代替として市場に適合するのみならず、従来なかったような超長尺材、単板欠点部を完全除去して製造した高級化粧材等の利用開発に期待し得る。他材料との競合関係については、集成材とは、構造用、化粧用いずれについても異った用途分野を、また合板とも同様異った用途分野への展望が可能である。

このようなことから、LVLは、針葉樹人工林間伐材等については主として構造材、広葉

樹小径材等については主として高級家具，建築造作材原料としての利用区分がなされることにより，北海道資源の有効利用に貢献するものと考えられる。

1.4 本研究の目的

本研究は，既に述べてきたLVL発展の経過についての十分な認識の上に立って，さしせまりつつある道内資源事情に対応するものとして，針葉樹造林間伐材，未利用広葉樹材等を原料とするLVLの製造技術の実用化を目的とするものである。

まず，これら従来の合板製造上の未経験樹種に対して，単板切削，単板乾燥，単板接着等の基本的な製造条件を求めておく必要がある。しかしながら，実用化のためには，それだけでは不十分であって，各工程及びそれらを接続する工程について新たな発想に立った製造システム及び機械装置の開発が必要である。

本研究では，小径材を可能な限りの高収率で単板化する方法，寸法が小さいため膨大な枚数となる単板を能率良くアッセンブルする方法，及び長大で積層枚数の多いアッセンブリを効率よく接着する方法からなる製造システムを考案した。各工程の主要部分についてはプロトタイプとなる実用機械装置を導入して，それぞれの操作条件を検討した。それによって本システムによる製造技術の確立を図ると共に，製品の品質と性能の確認と，製品の用途開発の可能性について検討した。

本研究に用いた原料丸太は，主として道産カラマツ造林間伐材で，径級は14～24cm程度のものである。その他，針葉樹材として道産スギ，ニュージーランド産ラジアータパイン，広葉樹材としてシラカバ等も予備的に検討したが，これらはおおむね，全工程を通じて道産カラマツに比べ操作が容易であると判断されたので，主要対象樹種をカラマツに絞った。

以下，章を追って本研究の概要を述べる。

第1章は緒論で，本研究を実施した背景について述べている。

第2章はLVLの製造及び製造システムに関する米国及び我が国の既往の研究結果について述べ，併せてこれらの研究の実用化にあたっての問題点について述べている。

第3章は本研究の中心をなす，LVL製造システムに関する検討結果である。

3.1には，製造システムを開発するに，当たっての基本的考え方と，考案したシステムの概要を述べている。

3.2には，合板製造上の未経験樹種である針葉樹（道産カラマツ等）について，単板切削，単板乾燥，単板接着等の基本的製造条件の検討結果を示す。

3.3には，考案した製造システムに基づくテストプラントの導入により，単板切削，単板乾燥及び積層接着の主要工程について，実証検討した結果を示す。

3.4には，テストプラントにより連続生産運転を行った結果について，述べている。

3.5には，上記の検討結果の総括及び摘出した問題点と今後の対応について述べている。

第4章は，本製造システムによるLVL製品の品質・性能のうち，製品開発に当たって最も重要と考えられる，強度性能及び吸水・吸湿性能について述べている。

第5章は，本システムによる，実用化プラントの設計例を示し，これによるコストの試算例を併示している。

第6章は，本製造システムと既往の積層接着製造システムの比較を行い，製造システムとしての評価を試みている。

第7章は，全体を総合し結論を述べている。

第2章 LVLの製造システムに関する既往の研究

2.1 北米における研究

北米におけるLVLに関する研究のうち、具体的な製造システムの提案までなされているものとしては

アメリカのUSDA Forest Product Laboratory (以下, FPL) のPress - Lam Research Team

同, USDA Forest Service South Experimental Station の P. Koch

カナダの Department of the Environment Canadian Forest Service, Western Forest Product Laboratory の J. C. Bohlen

の一連の研究が、その中心的存在となっている。

これらの開発的な研究成果の発表は、奇しくも1972年前後に集中して、注目を浴びる形となったが、必ずしも突発的な技術開発あるいは偶然的な時間の一致によるものではない。これらの研究開発に特徴的かつ共通した技術的課題である。

- ・ラミナにする厚い単板の切削技術
- ・ラミナにする厚い単板または挽き板の、能率的な乾燥技術：熱盤乾燥等
- ・ラミナが厚いかまたは積層数が多く、従って積層厚の大きなアッセンブリの、熱硬化性樹脂接着剤による高速接着技術：ラミナの乾燥余熱の利用または接着面の予熱等
- ・ラミナ条件（ラミナの厚さ、品質、構成、縦接合等）及び製造諸条件と、製品の材質、性能との関係

などについて、長期にわたる多くの人々の研究が積み重ねられた結果といえる。

これらの既往の研究は膨大な数に上るが、特に前記三つの製造システムの開発には Luxford¹⁵⁾, Wieseuegel¹⁶⁾, Marra¹⁷⁾, Makean¹⁸⁾, Lutz¹⁹⁾, Malarkey²⁰⁾, Koch²¹⁾²²⁾²³⁾, Murphey²⁴⁾, Kimball²⁵⁾, Leicester²⁶⁾ら, Hittmeier²⁷⁾らの成果が大きな影響を及ぼしている。

これらの先駆的研究のうち内容が製造システムに及んでいるもの、先に述べた3つの中心的研究、及びその後展開された研究について、その技術的内容とシステムの実用化の程度の概要を、第2.1表に示す。

ロータリー単板の繊維方向を揃えて積層して製品化したという意味では、Luxford¹⁵⁾によるものがLVLの嚆矢といえよう。第2.1表に示すWieseuegel (1952)¹⁶⁾からKock (1964)²¹⁾に至る研究は、いずれも接着面の加熱及び連続的なアッセンブルを念頭に開発が進められたという点で特徴的である。この中でも、Wieseuegel¹⁶⁾及びMarra¹⁷⁾は、パイロットプラント的な試験生産を行い、試作品を市場に供与して実用化の検証を行った。Koch (1964)²¹⁾は、前記1972年の提案に先立って、高周波連続プレスによる多層積層方式を提案したが、これは一般の集成材のように接着面に垂直な荷重を受ける構造材料を提案した、いわゆる水平積層方式（以下、そうい）であり、以後発展する垂直積層方式と相違している。

FPLでは、Hann²⁸⁾らが行ったレッドオーク単板によるパレット用デッキボードの迅速生産方式の研究中に、同方式の応用展開を目的とする検討チームを1970年11月に発足させた。これが先述のPress - Lam Research Teamとなった。本チームによる6か月の研究成果は、チーム名²⁹⁾, Shaffer³⁰⁾, Moody³¹⁾, Jokerst³²⁾等によって報告されている。特に、Shaffer³⁰⁾は製造システム及び原価計算を通じ、同システム実用化の可能性を論じている。本システムでは、連続プレスドライヤー及び連続アッセンブラー等の生産用の機械装置を想定しているものの、それらの実用機は開発されなかった。結局、彼等は在来の合板用ホットプレスを利用した熱盤乾燥工程と、レゾルシノール樹脂接着剤を使用した冷圧連続プレスによる

第2.1表 北米におけるLVLの製造方法、システムに関する研究の概要

*) 研究筆頭者名 (発表年次)	1. 原料木材の種類 2. 接着剤** 3. 製品	提案された製造システムの概要	1. 実用化の段階 2. 提案製造システムの能力***
Luxford (1944)	15) 1. シトカスプレス、ロータリー単板、厚さ1/7"。 2. ユリア。 3. 2"厚のストック。	物性試験用の試作のみで製造システムの提案なし。 プロセスは、室温加圧20時間(5~40時間)。	1. 実用化の段階 2. 提案製造システムの能力*** 実験室規模の試作 (文献にみられる最初の試作のLVL)
Riesehuegel (1952) Tennessee Valley Yuthorthyのプロジェクト (1940~47)	16) 1. 広葉樹林除伐材からの木ずり状製材品、厚さ0.27"×幅3"×乱尺。 2. レゾルシノール系。 3. 広幅、長尺フローリング、厚さ25/32"×幅12"×エンドレス。	縦・横の接合を含む連続アッセンブルプレスにより直交3プライの研磨をする。中芯単板を予熱し、接着剤は表・裏単板の内側に塗布する。 連続プレスは、加熱プレートを電熱し、全体をカバーして蒸気加熱する。送り速度4m/分 接着剤硬化時間2分。	1. パイロットプラントにより試作品を製造し、市場に供する。 連続運転実績は延14,000feet。 数次にわたりプレスの改良。最終案は青写真。 火災により実験中断。
Warraら及びMcXeanら (1956及び1958)	17) 1. 針葉樹、1"厚の挽板。 18) 3. レゾルシノール系またはレゾルシノール系とフェノールの配合。 3. 2"×4"断面のスタッド。	輻射による接着面予熱及び5オープニングのロール製プレスにより2プライする。	1. パイロットプラントにより試作品を製造し、市場に供試する。 2. 9~12m ² 。
Walarkey (1963)	20) 同上	Warraらの方式を材長方向の連続プレス方式に改良する。	1. 機械の設計のみを提示。実用化の可能性ありとする。
Xoch (1964)	21) 1. サザンスライス単板厚さ15mm。 2. mixed waterproof adhesive 以外に特記なし。 3. 水平積層方式の染状製品。厚さ30" max×幅91/4"×エンドレス。	単板表面を鎖削し、フィンガージョイントによりエンドレス単板とする。 約60プライのラミナを、特殊なホッパー及び通路を経て接着剤塗布し、高周波連続プレスにより研磨する。	1. 提案のみ。具体的な機械製造については、概念図のみ。 2. 39m ² (歩止り14%)
Hannら (1971)	28) 1. レッドオーク、ロータリー単板。厚さ5/16"~7/16"。 2. 当面レゾルシノール。フェノール等も可能性あり。 3. 厚さ3/4"のパレット用デッキボード(2~3プライ)。	単板の熱乾燥を行いその余熱を利用、接着剤はリボン状にエクストルーダーにより塗布、コールドプレスにより2分間の冷圧を行う。全工程15分間の迅速生産方式。	1. 提案のみ。設備費及び原価計算の検討。 2. 94m ² (パレット2000枚分)。
Shafnerら (1972) FpL Press-Lam Research Teamのプロジェクト。 他にTeam名、Moodyら、Jokersの報告がある。	29) 30) 1. サザンスライス、ロータリー単板、厚さ1/2"~1/4"。 2. 当面レゾルシノール系。 理想プラントではフェノール 3. 厚さ1/2"のエンドレス製品。	Hannらの方法の展開。単板を熱乾燥し、余熱を保存したまま接着剤を塗布し適切なパットジョイント配列に仕組むことの可能な、連続アッセンブルプレス(冷圧)により 積層接着 。 適当な連続プレストライヤー及び連続アッセンブルプレスは未開発であるため、現時点の提案では、乾燥は8"×8"の24段ホットプレス、接着剤はフェノール接着剤の使用が不可能でレゾルシノール系、冷圧連続プレスによるセミバッチ方式。	1. 提案のみ。仮定設備に基づく原価計算。 2. 36~48m ² 。
Bohlen (1972)	33) 1. ダグラスファー、ロータリー単板、厚さ1/4"。 2. フェノール。	ホットプレスによる熱圧方式をとる。 6プライ(一工程の熱圧では20分を要す)を2プライ(2分)→4プライ(2分以下)→6プライ(2分以下)の3工程に分割し全工程6分以下となる。 提案1: Nentworthのパーティクルボード用コールドプレスによる完全連続方式。 提案2: 1段ホットプレス3基を直列に配置し、間欠連続方式とする。	1. 提案のみ。経剤性の略算。 2. 第1提案: 54m ² 。 第2提案: 第1提案の●能力。
Koch (1973)	34) 1. サザンバイン、ロータリー単板、厚さ1/4"。 2. フェノール(第1工程)及びレゾルシノール系(第2工程)。 3. 厚さ1/2"×幅4"×長さ32"の製品。	合板用の機械装置に大幅な変更を加えずに用いることにより、 第1工程: フェノール接着剤を用いホットプレスにより3プライする。 第2工程: 前記余熱を利用し、レゾルシノール系接着剤を用い、コールドプレスにより6プライに2次接着する。 の2工程方式。 機械装置の組合せは、4"×32"の1段コールドプレス4基を1ラインとする。	提案のみ。経済性の略算。 2. 72m ² 。
Harpole (1976~77)	43) 46) 47) FPL Press-Lam方式に同じ。 但し、原料はダグラスファー。	FPL-Press Lam方式の見直し。連続システムが開発された場合の有利性をコスト計算を行って、強調している。	1. 仮定設備に基づく原価計算。 2. 102m ² 。

Press-Lam Ressarch Team (1977)	35)	FPL Press-Lam 方式と同じ。但し、原料はダグラスファー及びサザンパイン。製品は多層(126プライ)積層を含む。	FPL Press-Lam 方式の見直し。単板乾燥は、ジェットドライヤーまたはローラードライヤーの使用、単板の縦ジョイントにフィンガージョイントの適用等、工程のバリエティとフレキシビリティの可能性及び多層積層など製品のバリエティの可能性を期待する。すなわち連続生産の開発が進まず、別途の方向への展開を考え始める。	可能性の検討。
Shafner (1977)	39)	FPL Press-Lam 方式と同じ。但し、原料は松利用広葉樹。製品は同じく構造用。	FPL Press-Lam 方式の見直し。合板用類似の機械設備、Hlesehugel方式の可能性の検討。	可能性の検討。
Youngquist (1978)	36) 37)	FPL Press-Lam 方式と同じ。但し、製品は長さ8'またはエンドレス。	FPL Press-Lam 方式を製品需要の少ない地域向けのプラントに変えて提案。 提案1: 合板用4"×8"の15段プレスを用いる方法。 提案2: 連続アッセンブルコンベアーを含む2段ホットプレスを用いる方法。 (但し、規模縮小は経済性低下につながる)	1. 提案のみ。設備費及び原価計算の検討。 2. 29m ² 。
Hooverら (1979)	50)	FPL Press-Lam 方式と同じ。 1. レッドオークロータリー単板、厚さ0.29"。 2. レゾルシノール系。 3. 家具材、厚さ7/8"×幅10"×長さ8'。	FPL Press-Lam 方式のバリエーションとして、広葉樹より家具部材の製造への適用を考える。 4.5' 8.8' のホットプレスにより積層接着する。 家具材の原料事情から経済的に充分ベイスする。	1. 提案のみ。設備費及び原価計算の検討。 2. 29m ² 。
Kunesh: 総税及び Blackman: 探訪記事 (1978) Truss joist社の製造システム	4) 5)	1. ダグラスファー、合板用 C.D. グレード単板 (一般合板工場製品)、厚さ1/8" ~ 1/16"。 2. フェノール。 3. 16プライ以上。 厚さ3/4" ~ 2 1/2"×幅24"×長さ80"。 足場板、トラックデッキ、ラチスまたは合板複合板の部材等。	内容詳細は未公開。 全長27mのcontinous rotally press (電熱プレート)により、厚さ1 1/2"の製品を送り速度1.26/分で生産しているという。	1. 1967年に研究開始。1972年ユージン(オレゴン州)に最初の工場設立。1978年ジャンクソンシスター(同)に第2工場設立。1978年時点で2工場5ライン稼働、実用化された唯一の例とされている。 2. 11~13m ²

* 文献

** 接着剤は、フェノール:フェノール樹脂接着剤、レゾルシノール系:フェノール、レゾルシノール樹脂接着剤、ユリア:ユリア樹脂接着剤

*** 生産能力は、1ライン、1シフト、1日の生産量で示した。f.b.m値から正味寸法材値に換算。

積層接着工程からなるセミバッチ生産方式を提案せざるを得なかった。

Bohlen (1972)³³⁾は、6プライを2 4 6プライの3工程に分割する方式を考案し、理想的プラント及び需要増大までの過渡的プラントの2案の提案を行っているが、いずれも提案に止り、機械装置設計上の諸問題についての検討もなされていない。

Koch (1973)³⁴⁾の提案は、6プライを、3プライの熱圧第一工程と、余熱を利用した二次接着により6プライとする第二工程からなる方式を提案している。この方式は既存の合板製造機械に余り大幅な改造を加えず、適当な配置を行うことにより実現可能と考えられるが、テストプラント等による実大材の生産は行われていないようである。

以上、北米における3つの代表的な研究成果は、乾燥、接着等の要素技術についての裏付けはあるものの、個々の機械装置及びこれらを総合した製造システムについては、テストプラント等による実証段階には至っていないものといえる。

1973年以降、以上の研究成果に刺戟を受けてLVLの研究は更に活発化するが、新たな発想に基く画期的な製造システムの開発はない。おおよそ前記の方式に準じた製造方法及び装置による生産を前提に、各工程の改良^{35)~38)}、原料変化への対応^{39)~41)}、歩留まりと経済性^{42)~50)}、製品の諸性能向上^{51)~52)}、製品の利用開発^{53)~60)}(実際の建築物・構造物等による実証を含む)が主体となってきている。

FPLのPress - Lamシステムについては、その後何度かの見直しが行われ、原料、製造工程、生産規模、製品内容等についてのバリエーションの提案がなされている。第2.1表に示す Harpol (1976~7)⁴³⁾⁴⁶⁾⁴⁷⁾ から Hoover (1979)⁵⁰⁾ に至る研究が該当する。これらの諸研究は、Press - Lamを発展させたというよりは、未開発の機械装置に代るものとしての在来のものへの活用、生産規模の縮小、原料及び製品の多様化への対処、市場性を考慮した高付加価値化など、より現実的な対応に向った。結果的には、単板の乾燥余熱利用を除き、現在我が国の合板工場などにおいて行われているLVL生産方式と大差ないものに近づいてきているといえよう。

以上、公開された研究成果としては、実用化に至った例がみられないが、既に1.2で述べたようにアメリカでは、Truss Joist社が実用化に成功し、商業ベースの2つの生産工場、計5系列の生産ラインが稼働しているという。その技術的内容の詳細は公開されていないので不明であるが、雑誌などに公表された内容⁴⁾⁵⁾を第2.1表の最終に付した。

2.2 我が国における研究

我が国における研究は、先にも触れたように、既に小規模ながら、「平行ばり単板積層製品」が存在しているという背景の中で、アメリカ、カナダ等の研究に触発された形で開始された。公表された報告では、有馬ら(1973)⁶¹⁾が実験室的に製造したLVLの機械的性質を調べたのが最初のものである。その後行われた研究も、そのほとんどが既存の合板工場における原料、工程、機械設備の延長線上での製造を前提としていた。研究内容も、製造工程の若干の改変、製造条件と製品性能、試作製品による用途開発等が主体である。アメリカなどにおける研究のような、未利用原料あるいは新製造システムの開発を指向する研究は極めて少なかったといえる。しかし、このような方向への展開の必要性が、最近に至って認識されだしたことは冒頭に述べたとおりである。

以下に我が国の研究の中から、製造方法、製造システムに関連したものについて述べる。

海老原ら(1975)⁶²⁾は、厚さ10mmのラワン単板を用い、単板の熱盤乾燥条件、及び乾燥余熱を利用した接着条件について、実験室的に検討を加えた。

山本ら(1975)⁶³⁾は、現在の合板製造設備を用いてLVLを量産する方式について検討した。すなわち、多段ホットプレスにより製造される厚さ38mm以内の一次接着品をコールドプレスで二次接着する方式である。一次接着品はホットプレスから取出されると表面温度が低下するが、その時点で接着剤を両面に塗布した単板と交互に所定厚に積重ねる。これをコールドプレスで圧縮すると、一次接着品に蓄えられた余熱で次第に接着層の温度が上昇し接着が完了する。この方法による製品は皆川ら(1977)⁶⁴⁾によって実用試験に供された。

大熊(1976)⁶⁵⁾は、長尺LVLを連続プレスによらず製造する方法として、長さ方向の端部単板を階段状にずらした長さ1.8m程度のユニットLVLを1段プレスで縦接合する方法を提案した。

佐々木ら(1978~1979)⁶⁶⁾⁶⁷⁾は、間伐材、根曲り材等の利用を目的としたLVLの製造システム“Movami III”の開発を行い報告した。原料及び製造方法についての新たな発想に基いたものとしては我が国で最初のものである。製造システムはA、B及びCの3部分に分割されている。Aは単板切削及び乾燥設備で日産3m³の乾燥単板を製造しうる。Bは単板のアクセスンブル及び積層接着設備で、コールドプレスとねじクランプにより日産6m³のLVLを製造する能力を有する。CはBで製造されたLVL原板を10.5cm角の化粧貼り柱に加工する設備である。A及びBはトラックなどに搭載され、林地を移動して生産を行うようになっている。設備費用はA系列2、B系列1で1.65億円と試算されている。

大熊(1980)⁶⁸⁾は、比較的薄いLVLを製造し、これを加工して中空の柱など角材とすることを提案しているが、特に製造システムは言及していない。

野崎ら(1981)⁶⁹⁾は、小径産広葉樹材から高級家具部材を得る目的で、比較的薄い面状のLVLを製造した。薄い面状LVLで問題となるのは狂いであるが、現在の合板製造設備に若干の改変を加える程度で実用的には許容される範囲にとどめる事に成功した。

大熊(1982)⁷⁰⁾は、小径木からのロータリー単板を基に進められて来た既往のLVL製造原理を応用し、平行積層だけでなく直交積層も含む構造用面材料LVBの製造システムの提案を行った。

また大熊(1982)⁷¹⁾は、間伐材等小径丸太をロータリー切削する場合、丸太のスピナウトを防止するため、スピンドルへ丸太を取り付ける方法あるいはスピンドルの回転力を丸太へ伝達する方法について再検討した。

佐々木(1983)⁷²⁾は、バックアップロールにより丸太のスピナウトを防止する機構の小径木用レースを開発し、その概要を述べるとともに、同レースを用いたLVLプラントの一例を想定し、製造工程の構成及び製造コストの試算を行っている。

第3章 小径木を原料とするLVLの製造システムの検討

3.1 製造システムの基本設計及びテストプラントの構成

3.1.1 製造システム開発の前提条件と設計の基本方針

本製造システムの開発を進めるに当たり、第1章に述べたような、急変する道内資源及び木材供給内容に対応する、木材の利用区分及び利用体系の確立の必要性和、その一端を担うものとしてのLVLの位置づけについての認識とを考え方基調に置くとともに、第2章に述べた米国及び我が国における研究と、その実用化へ向けての経過及び問題点とを分析し、これらを考慮に入れて、開発の前提条件及び基本方針を設定した。以下、その要点を示す。

(1) 原料丸太

原料は、造林除間伐材を主とする針葉樹小径材、及び製材・合板用として未利用の樹種を含む広葉樹の小径・偏心・曲り等いわゆる低質材を対象とする。径級は、パルプ・ボード用材と一般製材・合板用材との中間領域を考える。基本的には、3.65m材で末口径8~14cm程度、単板切削時の調木長さにもよるが、ロータリーレース（以下、レースという）にかかる直径は、8~20cm、平均14cm程度を想定する。しかしながら、単板切削工程における能率、歩留まり等は、製造システム全体に大きく影響するので、レースの大きさ・方式の選定、関連する単板寸法の決定などに若干の自由度を持たせるため、原料丸太の範囲は、上記想定範囲より若干上位に拡大を許す。

(2) 製品設計

製品に要する条件として、合板、集成材等でない付加特性を有すること、構造用材への利用は勿論、化粧用途への利用も含む多様な展開の可能性を持つことの2点を設定した。

以上の要求条件から、製品は寸法範囲が広く、板状からブロック状まで自由寸法のものが容易に得られること、従って長大寸法も可能であること、LVLの特徴であるグレーラインを、製品の表面、側面いずれにも求めうることなどが二次的な条件となり、製品イメージとして、断面寸法50cm×50cm程度、長さは、3.65~7.20mまたは7.2~20.0m程度が誘導され、大凡その製品目標となった。

(3) 製造システム設計の基本方針

前2項に示した、原料及び製品設計に基づき、製造システム設計の方針として、次の諸条件を設定した。

生産歩留まりの向上 高歩留まりレースの開発、単板寸法の決定、単板損傷の防止、その他の歩減り要因の排除等、工程中の歩留まり向上に留意する。

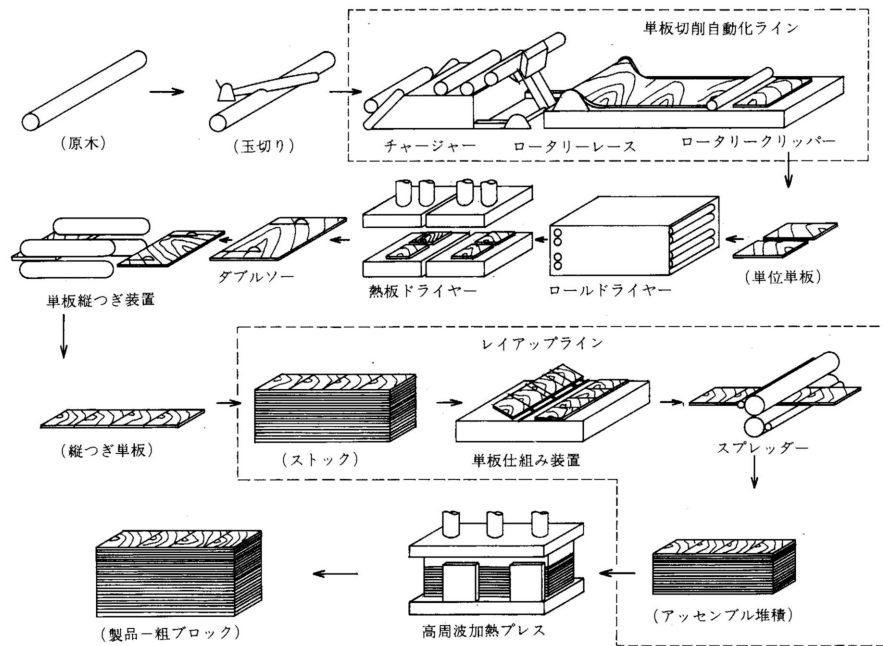
高能率化 特に単板の切削から裁断までの工程、及び乾燥単板の仕組みから接着剤塗布、アッセンブルまでの工程について、それぞれ連動ラインを構成する自動化機械装置の開発を行い、あわせて自動化に対応するための工程の単純化、単板寸法の統一、単板の割れ・狂いの防止等に留意する。

多品種生産方式の工夫 量産を犠牲にすることなく、多様の寸法の製品の生産が可能な方式とする。具体的には高周波加熱接着を利用して、大型ブロック内に同時に多種の厚さの製品をアッセンブルする接着方式を検討し、専用プレスの開発と該方式採用のための前工程のシステムを工夫する。

3.1.2 製造システムの基本設計及び主要機械装置

3.1.1に述べた基本概念に基づき、考案、設計した製造システムの概要を、概念図として第3.1図に示す。以下、工程を追って略述する。

(1) 前処理



第3.1図 小径材を原料とするLVLの製造システムの概念図

図示されていないが、針葉樹では節の硬いもの、広葉樹では重硬な材質のものについては、煮沸または蒸煮など、切削のための前処理が必要な場合がある。

(2) 調木

調木寸法は、原料丸太の径級と、レースの選択に関連する。使用レースの寸法（刃渡り長さmmで示す）と対象原料丸太の径級の関係は、300mmレース：8～14cm、600mmレース：14～18cm、1100mmレース：18～24cm程度が想定される。原木処理本数が多いので、自動化及び付属する設備として、材積などの自動計測・集計装置等が必要となろう。

(3) 単板切削自動化ライン

レースは、能率、歩留まり等を考慮して外周駆動供用方式とする。予測される膨大な丸太処座本数及び単板処理枚数に対応して、調木材の供給、単板切削、単板裁断の一連の工程を連動させ、定尺及び乱尺単板を所定の位置に堆積するまで、極力無人操作とする。その他乱尺単板を定尺化する生単板横はぎ装置、廃単板・剥き芯等の二次処理装置などが必要である。

(4) 単板乾燥

単板乾燥工程に、熱盤乾燥を取り入れる。樹心近くの材、偏心材等から切削される単板は、乾燥による割れ、狂い、カール等の欠点が発生しやすく、次工程以後の障害となる。熱盤乾燥が、単板の割れ、狂いの防止に有効であることは、既に野崎ら⁷³⁾によって確かめられている。

熱盤ドライヤーについては既に多くの方式が考案されているが、設計、製作が最も容易と考えられる1段プレス方式とした。送りはチェーン送りとしたが、熱盤に設けたチェーン溝に接触する部分の乾燥が不十分となる。このため熱盤装置を2セクション以上で構成し、チェーン走行溝をずらして配置するなどの対策が必要となった。将来的にはスチールベルト送りを検討する必要がある。

熱盤ドライヤーは、設置面積が大きく、設備投資額も大きくなることから、全乾燥工程を

これによることは、熱効率の有利性を考慮しても、なお経済的に困難である。本システムでは、乾燥前半を通常の合板製造用のロールドライヤーに分担させ、最も単板に狂いの発生しやすい乾燥後半に熱盤ドライヤーを適用する併用方式とした。

(5) 調板

引続く、仕組み、接着剤塗布、アッセンブルの工程の自動化への条件として、縦つぎにより仕組み単板を一体化しておくことが必要である。

縦つぎに先立ち、ダブルソーにより単板の長さ方向を切りそろえるが、縦方向の寸法の長い仕組み単板にとって、裁断の平行精度は重要となる。

LVL構成単板の縦つぎで、最も簡単でかつ、経済的な方式はバットジョイントである。バットジョイントによる縦つぎ装置には、一般の合板心板用横はぎ装置（接着糸を用いる方法、あるいはホットメルト木口接着を併用する方法等）を一部改造して転用した。高周波接着時の、単板縦接合部からのアーク障害を防止するため、縦つぎ単板の幅方向の整形裁断が必要である。

(6) レイアップライン（仕組み、接着剤塗布、堆積）

バットジョイントにより一体化された取り扱いの難しい仕組み単板を、いかに自動的にアッセンブル、堆積するかは重要な問題であり、単板の仕組み、接着剤塗布、堆積の3工程を一つのレイアップラインに構成して自動化を図った。

単板の仕組み工程は、取り扱い上不安定な単板を、確実に損傷なく搬送すること、接着剤塗布機まで仕組み順位を保証すること、単板の表、裏の任意の仕組みが可能な単板反転機構を持つことなどに留意した。

接着剤塗布工程は、1アッセンブリ内に多種の厚みの積層製品を仕組めるよう、塗布・無塗布の単板を任意の順に、アッセンブリ内に送り込めるよう工夫した。塗布機は、単板縦接合部の損傷を考慮すれば、北米の合板にみられるフローコーター方式が、作業の単純化、洗浄等保守の容易性など有利な面もある。しかし、日本の事情は、フェーノル樹脂が低廉で増量不要、かつ塗布量の節減を余り考慮する必要のない北米と異なる。本方式では面粗さ・ケバ立ち・ジョイント部の浮上り等の接着剤のカスレ・欠膠等の出やすい諸条件を考慮して、比較的少ない塗布量で、しかも高速送りで確実な塗布を行うため、幅広い操作条件の設定が可能な、ロールプレッターを用いることにした。

単板堆積工程は、縦接合部強度の弱い単板の、取り扱いに留意し、高周波接着工程でのアークの原因となる堆積側面の単板の不整を防ぐため幅方向の精度を高めるよう配慮した。

(7) 接着工程

厚物ブロックの接着については、ホットプレスは不適當である。ねじクランプまたはねじクランプとコールドプレスの組み合わせによる方式は、作業性と能率の面で採用し難い。硬化速度の速い接着剤を用いる冷圧連続プレス方式も考えられるが、接着剤コストが大きく影響するLVLでは、價格的に採算困難である。現時点でのプレス機械及び接着剤に関する技術水準から、厚物LVLの接着には高周波加熱接着が優位と考えられる。

本製造システムにおいては、積層厚の厚い大型のブロックにアッセンブルしているので、高周波による接着層選択加熱方式とした。しかしながら、本アッセンブリは積層厚のみならず幅方向も広い。積層幅の広いアッセンブリに対し、接着層加熱方式をとることは問題があるとされ、その幅の限界は15～20cmとする説もあるが、以下に述べるような方法によって解決した。

高周波装置において、共振器及び共振器に結合する回路に考案を加えて高周波電界の均一化を図り、同調装置に自動追尾式を採用することにより、高周波効率の上昇を図る。

一般的に行われている、極板の片側を地絡する閉回路方式をとらず、平行回路方式をとることにより、大型プレス機構による高周波電界への影響を避け、同軸ケーブルと同様の効果による、大型材料の均一加熱を図る。

被加熱体を適当な区分に分けて順次段階的に加熱してゆくことにより、加熱の均一化を図ると共に小容量発振装置の使用を可能にする。

極板の幅（本装置では高さ）を、極板間隔（加熱幅）に対して十分にとり、高周波電界の均一性を確保する。この場合、極板の高さが被加熱体の高さを超える分について、被加熱体上下に相当寸法の絶縁体ダミーを介して加圧加熱する。

被加熱体の極板対向面（単板の側面）を正しく整えることにより、部分的な加熱を避け、加熱の均一性を図る。

(8) 製品の裁断、仕上げ

図示されていないが、接着終了の粗ブロックは、バンドソー、プレーナー、サンダー等の組み合わせにより、最終製品に仕上げる。

3.1.3 テストプラントの構成

本製造システムの基本となるべき主要機械装置について、プロトタイプの開発と試作機の導入を行い、既存の合板製造機械設備と組み合わせて、テストプラントを構成した。このテストプラントによって、それぞれの機械装置の性能の確認、各工程の操作条件の検討、さらに全工程の運転状況を通じ、製造システム全体について、実用化への問題点を検索した。

テストプラントを構成する主要機械、装置はつぎのとおりである。

単板切削自動化ライン

- ・スイングチャージャー
- ・ロータリーレース
- ・ロータリークリッパー
- ・連動制御装置

ロールドライヤー（既存の合板製造用）

熱盤ドライヤー

単板ダブルサイザー

早板縦つき機（既存の合板製造用単板横はぎ機、多少の改造）

レイアップライン

- ・単板仕組み装置
- ・接着剤塗布機
- ・アッセンブル堆積装置

高周波プレス

これらの主要機械装置の仕様を第3.1表に示すと共に

単板切削自動化ラインの配置図

ログチャージャー全体図

ロータリーレース全体図

ロータリーレースの刃口と外周駆動ドライブロールの関係図

熱盤ドライヤー全体図

熱盤ドライヤーの搬送チェーン部詳細図

レイアップライン配置図

レイアップライン作動説明図

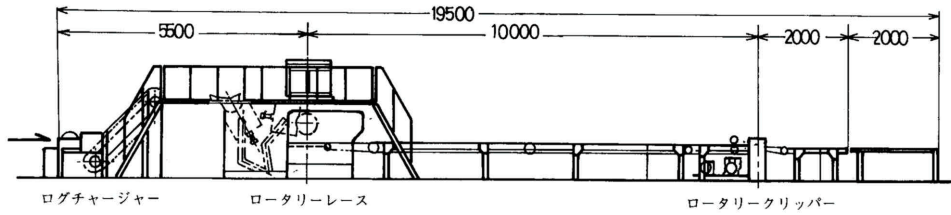
高周波プレス全体図

第3.1表 主要機器装置の仕様

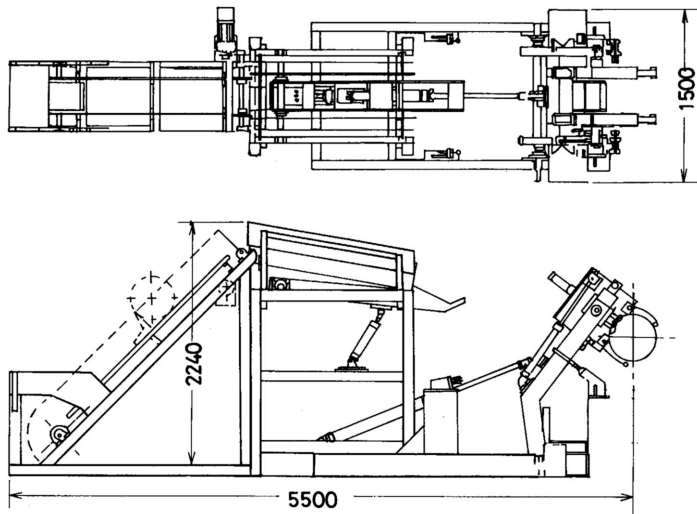
3点自動心出し方式スイングチャージャー	120～350mm 480～500mm 傾斜台及びゼネバ駆動装置付
チャージし得る原木径	120～350mm
チャージし得る原木長	480～500mm
その他	
外周駆動方式ロータリーレース	
切削原木最大長	600mm
切削原木最小長	480mm
切削原木最大径	350mm
主軸径	小：50mm、大：150mm ダブルスピンドル
切削速度	最大35m/min
歩出範囲	2～6mm
ドライブロール径・ピッチ・刀数	120mm・9.5mm・40枚
ドライブロール間隔	40mmピッチ 14枚
ロータリークリッパー	
切断し得る単板の切断幅	600mm
切断し得る単板の長さ	520mm
切断し得る最大厚さ	6mm
送り速度	ロータリーレースに同調
ロールドライヤー	
送風方式	横循環方式
加熱方式	蒸気加熱方式
乾燥温度	最高150
単板送り装置	ロールピッチ 上段 180mm 中段 150mm 下段 金網
単板送り速度	0.25～4.50m/min.
加熱部長さ	12.6m
有効幅	3.3m
蒸気加熱方式熱盤ドライヤー	
熱盤寸法	幅：1150mm 長さ：3000mm
段数	1段
単板送り装置	チェン式間欠送り方式
蒸気圧力	最大7kg ¹ /cm ²
その他	息抜き時間・回数 任意設定
ホットメルト式単板縦継ぎ機（ベニヤエンジグルア）	
有効幅	500mm
単板厚さ	1.8mm～5.0mm
送り速度	15～25m/min
ストリング装置	裏面2条
レイアップライン	
(1) 単板仕組み機	
単板仕組み	表裏任意反転方式
単枚搬送方法	平ベルト及びバキュームリングブロー式
送り速度	30～50m/min.
(2) 接着剤塗布用スプレッター	
型式	Z型（2ヘッド・無塗布ロール付）
ドクターロール径・長さ	140mm・600mm
塗布ロール径・長さ	195mm・600mm
塗布ロール溝・形	24本/25.4mm・山形
ゴム硬度	40
ドクターロール・塗布ロール周速比	1：5
無塗布用ロールゴム硬度	40
送り速度	単板仕組み機同調
(3) アッセンブル堆積機	
最大堆積高さ	700mm
最大堆積長さ	4000mm
最大堆積幅	500mm
送り装置	チェン及び塩ビローラー
送り速度	単板仕組み機に同調

LVL用高周波加熱プレス

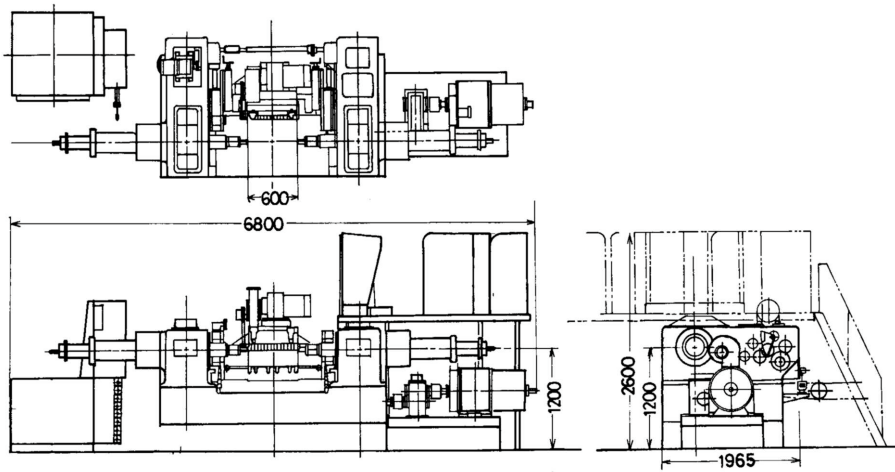
高周波出力	30KW
発振周波数	13.56MHz
高周波同調	自動同調
高周波加熱方向	接着層加熱（電極板は接着層に垂直）
電極板作動	油圧
電極板寸法	高さ：900mm 幅：760mm
電極板間隔	最小：100mm 最大：600mm
プレス加圧能力	最大：25000kg
圧縮用定盤	幅：500mm 長さ：3900mm
加工寸法	高さ：3～500mm 幅：100～500mm 長さ：2000～3800mm



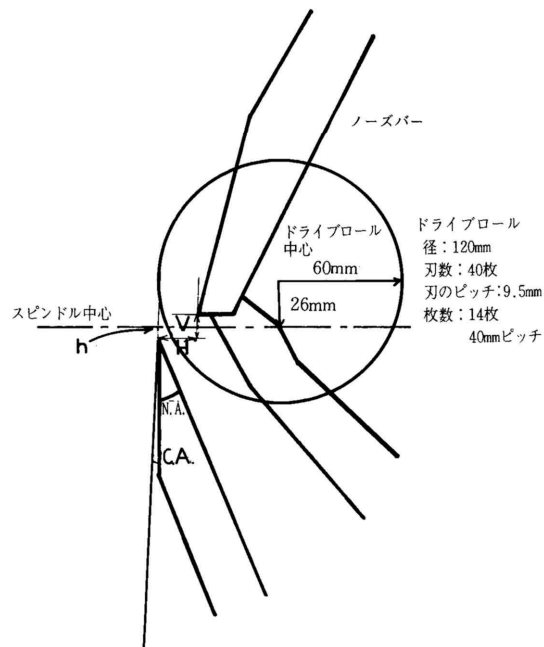
第3.2図 単板切削自動化ライン配置図



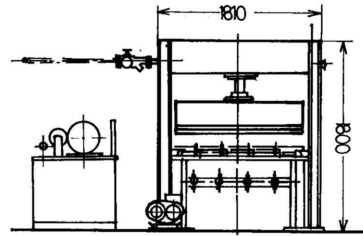
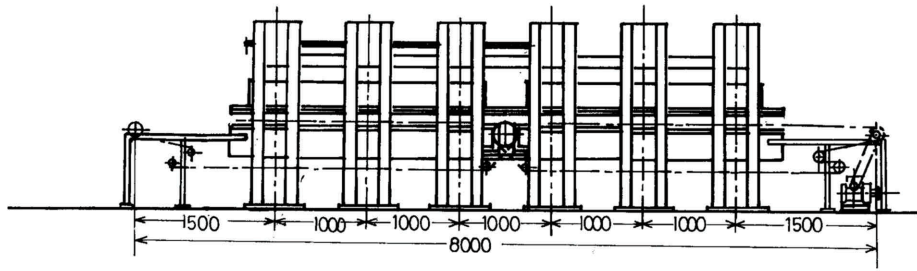
第3.3図 ログチャージャー全体図



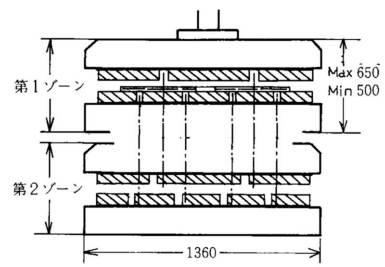
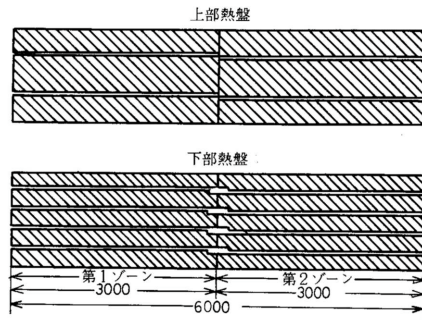
第3.4図 ロータリーテーブル全体図



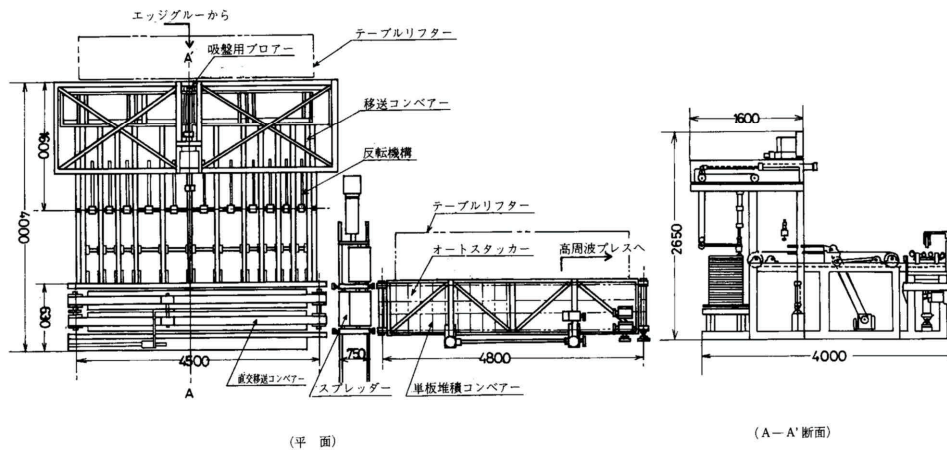
第3.5図 ロータリーテーブル刃口と外周駆動ドライブロールの関係図



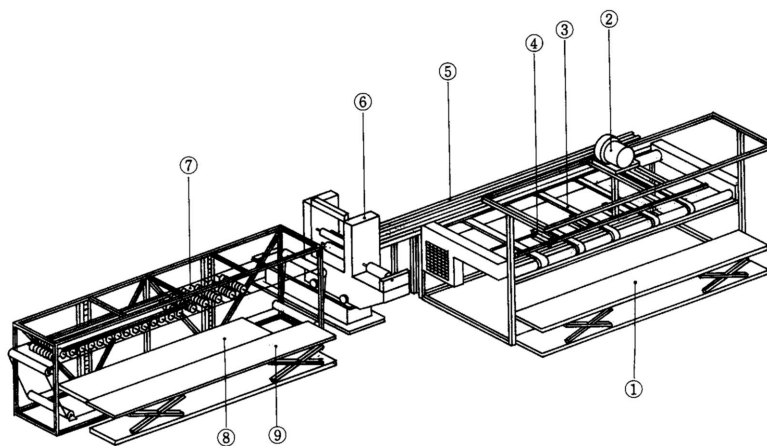
第3.6図 熱盤ドライヤー 全体図



第3.7図 熱盤ドライヤー搬送チェーン部詳細図

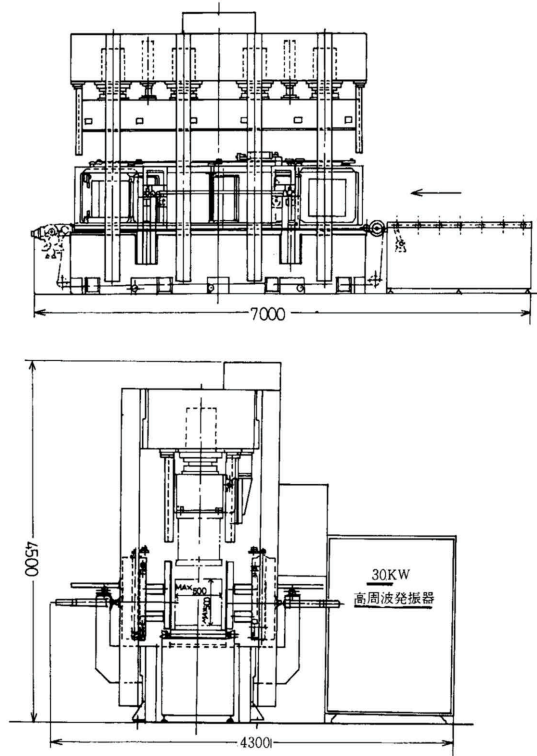


第3.8図 自動レイアップライン配置図

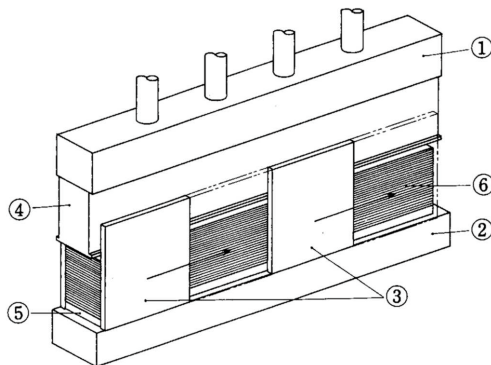


第3.9図 レイアップライン作動説明図

テーブルリフターには縦つぎ単板が堆積される。図示されていないが堆積単板の直上に位置して吸盤付き横移送装置が設けられている。は吸盤用ブロアーである。吸盤は多数配置されその位置はどの仕組み単板が来ても、縦つぎ単位単板が必ず2か所以上で吸上げられるよう計算配置されている。吸上げられた単板は単板移送コンベアーに乗せられるが、は単板をそのまま移送通過させることもできる上、その途中に設けられた単板反転機構によって反転させてから移送させることもできる。その選択は接着剤塗布後アッセンブル堆積されるべきブロック内の仕組み内容に応じ順番に従ってなされる。を通過した単板は直交移送コンベアーによって流れの方向を変えられスプレッダーに送られる。スプレッダーは2ヘッドで構成され一方のヘッドは上面塗布用、他方は無塗布単板の送り用となっており、仕組みに応じて左右に移動し塗布または無塗布の単板を任意の順にアッセンブルすることができる。単板堆積コンベアーはスプレッダーを経て送り込まれてきた単板をテーブルリフターの上に堆積する。仕組み単板は縦接合部で折れ曲りやすく(本文)移送に工夫を要するが、特にスプレッダー通過後これを受止めて定位置まで移送、堆積するのが最も難しい。コンベアーはチャージ部とディスチャージ部があり、チャージ部で単板を受止めて平らに移送し、定められた堆積位置に設けられたストッパーによって単板前前端部を制止された状態で、コンベアー自体はそのまま進行しながらディスチャージ部に移行し、単板を後端から静かに下ろしながら堆積してゆくような機構をとっている。また接着剤によって単板の非塗布面が汚染されないよう、あるいは高周波トラブル防止のため堆積ブロックの側面端部が正しく揃えられるよう、などの工夫がなされている。テーブルリフター上の堆積ブロックはテーブルリフターへ移され次工程の高周波加熱プレスへ送られる。



第3.10図 高周波プレス全体図



第3.11図 高周波プレス作動説明図

上部可動定盤 高周波電極（左右移動式） 下部ダミー
 下部固定定盤 かませ材（上部ダミー） 被加熱体

図示されていないが下部定盤には被加熱体をプレス長さ方向に入りさせるコンベアが組み込まれており、さらにその前後には送入、送出コンベアが接続されている。被加熱体が送入されると上部定盤が下降し所定圧が加えられる。

高周波電極は1～数組間隔をおいて配置し、材長方向に移動可能な機構を設け1か所で所定時間の加熱ののち、何回かの移動と加熱を繰り返し全長を終了する。単板の大きさは被加熱体の断面寸法と高周波出力に応じ均一な加熱を保証しうよう決定される。電極組数は電極の長さとはプレス全長の関係から何回の移動加熱を行うかにより決定される。本図では電極長さが全長の1/4強であり1回の移動でよい。高周波電界の均一確保のため電極高さは被加熱体高さよりかなり高くするため（本文）上部定盤に付設したかませ材（絶縁体 - 木材可）および下部定盤組み込みコンベアのベルトと定盤の間に厚い絶縁樹脂板のダミーを必要とする。

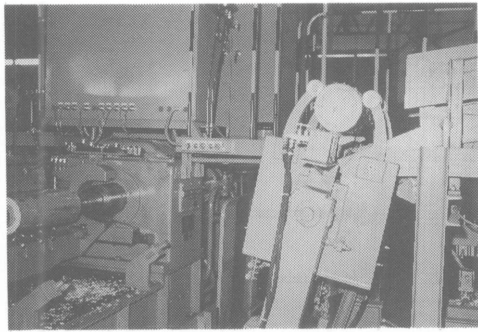


写真3.1 ログチャージャー

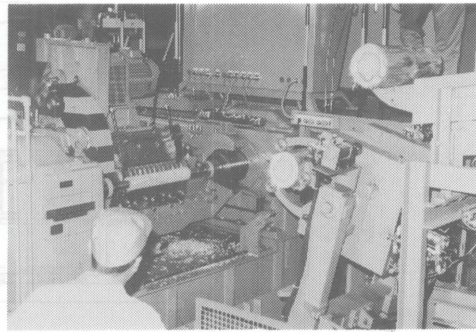


写真3.2 ローターレース
(外周駆動併用、ナイフ長600mm)

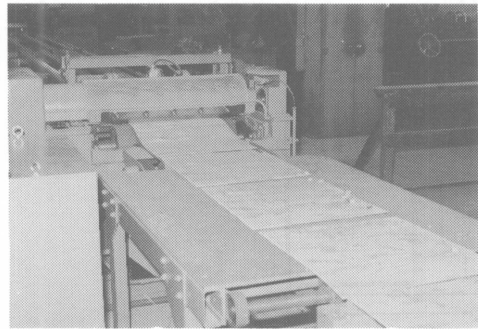


写真3.3 ロータークリッパー
(単板寸法、幅46cm×長52cm)

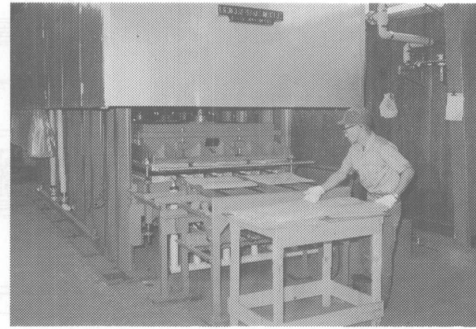


写真3.4 熱盤ドライヤー

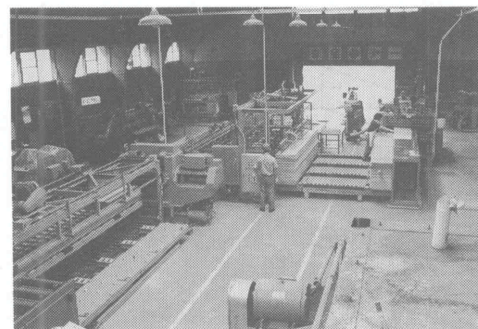


写真3.5 レイアップライン：全景

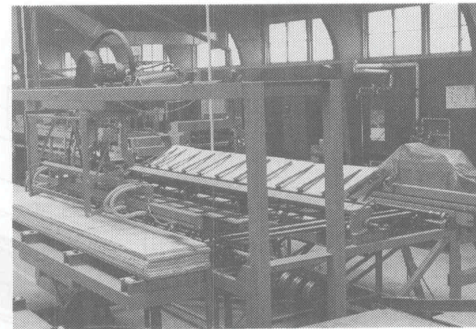


写真3.6 レイアップライン：単板仕組み機

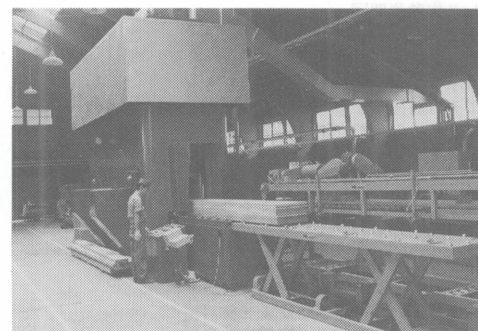


写真3.7 高周波プレス

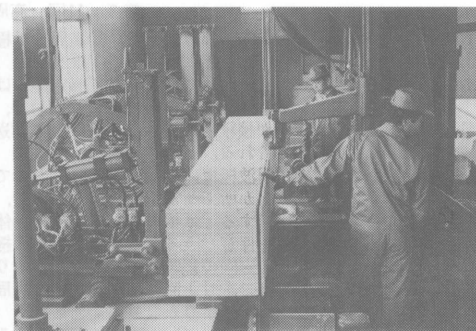


写真3.8 製材機による製品の挽き割り
(製品：高さ52.5cm×幅48cm×長3.713m)

高周波プレス作動説明図

を第3.2~3.11図に示す。

テストプラントを構成した状況を写真3.1~3.8に示す。

3.2 原料材の一般的加工特性の検討

3.2.1 はじめに

本研究におけるLVL製造システムの原料としては、造林針葉樹小径材や未利用樹種を含む広葉樹低質材等、かつて切削、乾燥、接着等の加工を経て利用されたことのないものを想定している。従って、これら未経験原料について、本製造システムに特に関連する問題点の検討に先立ち、上記、基本的な単位加工諸工程における、一般的な加工特性について検討しておく必要があった。テストプラント導入に先行し、対象となる可能性のある樹種数種について、既存の合板製造プラントにより、予備的に合板またはLVLの試作を行い、各樹種について、単板切削、単板乾燥、単板接着各工程についての問題点の大づかみを行った。針葉樹については道産カラマツ、道産トドマツ、ソ連産カラマツ、ソ連産オウシウアカマツ等について、合板としての加工利用の可能性を探る研究を実施し、問題点の抽出を行った。⁷⁴⁾⁷⁷⁾ 広葉樹では、シラカバ、サワシバ、アオダモについてLVLの試作を行い、一部の樹種に単板の割れ・狂い等材質に基因する問題点をみだが、おおむね各加工工程とも従来の広葉樹合板に適用されてきた加工条件によって差支えないことを確認した。その結果、加工上最も問題が多いと判断され、また今後LVL原料として最も重要な位置を占めると予測される道産カラマツに検討を絞ることにした。単板切削については、特に道産カラマツ材の単板面に年輪境界面ではなく離（以下目ばなれという）、逆目ぼれ、表面割れ等の欠点が認められた⁷⁴⁾。これは、針葉樹単板切削に適合する切削条件についての知見のないまま、取りあえずナイフの刃角を変える程度で、ほぼ従来のラウンなど南洋材に適用されてきた条件に準じたためであり、新に根本的な検討を行った。

針葉樹の単板切削に共通する問題点は、材質上の特徴が次の点で広葉樹と相違することに起因すると考えられる。

比重が軽い。

早・晩材の材質差が大きい。

辺・心材の材質差が大きく、また、その含水率差が極端に大きい場合がある。

節が多い。

比較的小径である。（特に南洋材と比べ）

このような特徴から、広葉樹と同一の切削条件では、単板品質面で前記のような問題点を生ずるとともに、切削操作面ではナイフの刃こぼれ、刃口の目詰まりを起しやすい。以上の点は、一般論として認識されているが、我が国においては針葉樹合板の生産はほとんど行われておらず、従って単板切削の研究も少なく、適正切削条件の解明がなされていない。針葉樹合板の生産の盛んな北米においては、もちろん多くの研究がなされており⁷⁸⁻⁹³⁾、これからの若干の知見は得られるが、製造方式、製品品質、製品用途等が、本研究の目的とするところと全く異なるので、実用上の参考にはならない。

このようなことから、単板切削についての検討は、まず、切削条件と単板品質の関係について、比較的影響の大きい因子を把握する試験を行い、ついでこれら因子について詳細の検討に入った。

熱気による単板乾燥については、先述のカラマツ材の合板適性に関する研究の結果、通常の熱気乾燥による単板の割れ及び反り、振れなどの発生が指摘され、別に行ったトドマツ材

においても多数の割れの発生をみた。また、未利用広葉樹などにも同様の割れ、狂いの発生がみられる。これらは、樹種固有の材質、造林木特有の材質、小径の偏心・曲りに起因すると考えられる。これらの単板の欠点は、高度の自動化が前提となっている本LVL製造システムでは、引き続き工程に重大な支障を生ずるとともに、製品性能への影響も考えられる。従って、割れ・狂いを防止することに重点を置いた乾燥方法が重要な課題となる。一方、熱盤乾燥は乾燥効率が高く、割れ・狂いの発生を抑制することが明らかにされているが、単板の厚さ方向の収縮、熱盤の汚せん、機械設備の高価格など実用上の問題点も多い。本システムへの採用にあたっては、通常の熱気乾燥との適切な組み合わせが必要である。条件として最も厳しいカラマツ単板を主体に、熱気・熱盤両乾燥それぞれについて乾燥特性を求め、工程設計の基礎資料とした。

単板接着性については、高樹脂分、高比重等最も問題があると考えられるカラマツについて、前記合板適性試験において、 η 、 η' 類接着性能が得られること、製造上特に大きな問題点がないことを確認している⁷⁴⁾。しかしながら、これらは比較的大径材より切削した薄い単板による結果である。本システムの単板は、厚さが比較的厚いこと、小径部分まで切削することなどから、表面性状の低下が予測される。従って供試単板には、面粗さの大きい下級グレードをとりあげ、単板面粗さ、塗布操作条件、塗布量相互の関連と、これらと接着性能との関連を検討し、ホットプレス加熱加圧を前提とする場合についての適正接着条件の範囲を求めた。

3.2.2 単板切削に関する検討

(1) 材料、装置及び試験方法

材長3.65m、末口径28~38cmの美瑛産カラマツ材を、長さ90cmに玉切して切削用調木材とした。

刃物長さ5フィートの合板用ロータリーレースを用い、ノーズバーの引上げ角度 $\tan^{-1} = 3/10$ 、逃げ角 0° 、刃先高さ $\pm 0\text{mm}$ （対主軸中心）、主軸回転数30rpmで厚さ2.5mmの単板を切削した。

まず、単板切削条件と単板品質との関係について、影響の大きい因子を把握するための試験を行った。従来の経験から単板品質に影響する要因として、原木の煮沸条件(a)、ナイフ刃角(b)、ノーズバー作用角(c)、刃口条件(d)をとりあげ、 $L_0(2^7)$ の直交配列表に割りつけ2回の反復試験をおこなった。また、ナイフ刃角と刃口条件(b×d)、ノーズバー角度と刃口条件(c×d)の交互作用を想定した。設定した切削条件を第3.2表に示す。

単板品質を評価する特性値として、厚さ不同、裏割れ(深さ、密度)、面粗さ、表面性状(逆目ぼれ、目ばなれ、表面割れ)を取り上げた。品質判定用の単板は、調木材の外周部および剥き芯に近い内周部でそれぞれ1周分採取した。厚さ不同については、平均厚さと標準偏差

第3.2表 切削条件

要因	第一水準	第二水準
a 煮沸条件	90℃ -24 hrs →60℃ -24 hrs	90℃ -24 hrs →20℃ -24 hrs
b ナイフ刃角	20° 30'	23°
c ノーズバー作用角	5°	12° 30'
d 刃口条件(水平距離)	95%	85%

註)b ナイフ刃角：研磨角

d 刃口条件：刃口水平距離は切削厚さに対する割合(%)
刃口垂直距離は水平距離の常に30%とした。

切削厚：2.50mm、逃げ角：0° 刃先高さ0(対主軸中心)

主軸回転数：30rpm

を求めた。裏割れの測定は、常法によった。面粗さは、触針式粗さ計によって単板面のプロファイルカーブをとり、最大粗さを求めた。表面性状については、肉眼観察によりA：良好なもの、B：使用可能なもの、C：使用不可能なものに等級分けをおこなった。

これらの特性値について、計量値についてはそのまま、計数値である単板性状については累積度数法により分散分析を行い各要因との関連をみた。

上述の試験の結果、単板品質への影響の明らかになった切削因子について、単板を利用するに当たって最も問題となる表面性状に重点を置き、更に詳細な検討をおこなった。

試験は第1段階として、他の条件を固定して「ナイフ刃角」、「ノーズバー作用角」、および「刃口条件」の影響を検討し、第2段階として「ナイフ刃角と刃口条件」及び「ナイフ刃角とノーズバー作用角」の影響を検討した。

切削条件の組み合わせは、第3.3表に示すように全部で20条件である。他の条件は煮沸を

第3.3表 切削試験条件の組合せ

試験番号	ナイフ刃角 ¹⁾	ノーズバー作用角	刃口条件		変化因子
			水平距離 ²⁾	バー引上げ角 ³⁾	
1	19°	5°	96	16°	切削角
2 ⁴⁾	20° 30′	5°	95	16°	
3	22°	5°	95	16°	
4	20° 30′	10°	95	16°	ノーズバー作用角
5 ⁴⁾	20° 30′	5°	95	16°	
6	20° 30′	3°	95	16°	
7	20° 30′	5°	90	13°	刃口条件
8	20° 30′	5°	90	16°	
9	20° 30′	5°	90	23°	
10	20° 30′	5°	95	13°	
11 ⁴⁾	20° 30′	5°	95	16°	
12	20° 30′	5°	95	23°	
23 ⁵⁾	20° 30′	5°	90	13°	切削角及びノーズバー作用角
24	20° 30′	3°	90	13°	
25 ⁶⁾	22°	5°	90	13°	
26	22°	3°	90	13°	
29 ⁵⁾	20° 30′	5°	90	13°	切削角及び刃口条件
30	20° 30′	5°	95	13°	
31 ⁶⁾	22°	5°	90	13°	
32	22°	5°	95	13°	

註1) 切削角は逃げ角0°であるからほぼ刃角に等しくなる。

2) 切削厚さに対する比(%)である。

3) 刃口垂直距離であるがノーズバーの引上げ角度として表わした。

4) 同一試験条件

5) 〃

6) 〃

60 ~ 24hrとしたほかは、先の条件と同じである。先の試験の結果、目ばなれ、表面割れをほとんど防ぐことが可能な切削条件を把握できたので、単板品質の評価は、逆目部分の切削状態および板面全体の切削状態についておこなった。切削状態のグレード分けは、先に同じくA, B, Cとした。

(2) 試験結果と考察

切削条件の単板品質への影響に関する分散分析の結果を第3.4表に示す。

単板品質のすべてに影響する因子として煮沸条件があげられ、表面性状全般についてはさらにノーズバー作用角が、逆目ばれと面粗さについてはナイフの刃角も影響を及ぼす。

単板の各品質項目についていずれも第1水準の方が適正となっている。これは、従来の広

第3.4表 分散分析表 (F検定)

要因及び交互作用	厚さ変動 (標準偏差)	面粗さ	表面性状			消費動力
			目ばなれ	逆目ほれ	表面割れ	
a 煮沸条件		10.0*	13.0**	23.2*	11.1*	75.9**
b ナイフ刃角		13.4*		23.2**		
c ノーズバー作用角			23.8**	23.2*	7.9*	
d 刃口条件						
b × d	*		**	**	*	
c × d						

註) **: 危険率1%で有意差あり

(数値は寄与率:%)

*: 危険率5%で有意差あり

葉樹の切削に適用されている条件と変りなく、針葉樹の場合も、適正切削条件として極端な条件差を必要とするものではないように思われる。

前項の試験結果から明らかになった切削条件因子について、単板の表面性状との関連を引き続き詳細に検討した。

他の条件を固定した場合のナイフ刃角、ノーズバー作用角、刃口条件、の影響を第3.12~3.15図に示す。なお第3.15図は、刃口条件を刃口水平距離とバー引上げ角度(刃口垂直距離)の影響別にまとめたものである。さらに第3.16図および第3.17図はナイフ刃角と刃口水平距離、ナイフ刃角とノーズバー作用角、との関連で各因子の影響をみたものである。結果を要約すると次のようになる。

ナイフ刃角の影響

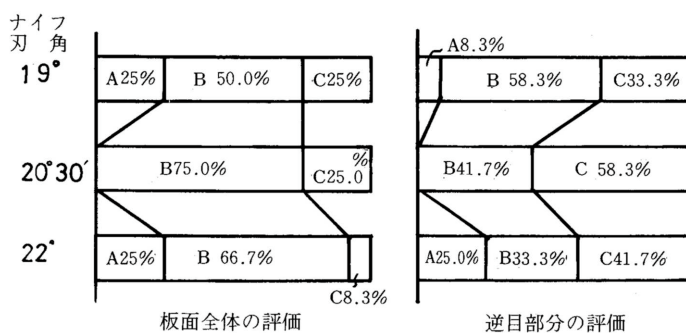
板面全体の評価では、22°が最適条件であるが、逆目部分のみの評価では、19°が最適条件といえよう。切削角としては19°の方が望ましいが、カラマツ材のような多節針葉樹材では、刃先の損耗が甚しく、板面全体では結果的に22°に劣ることになったと思われる。従ってカラマツ材のような場合には、いわゆるマイクロレベルの手法の効果が期待できよう。

ノーズバー作用角の影響

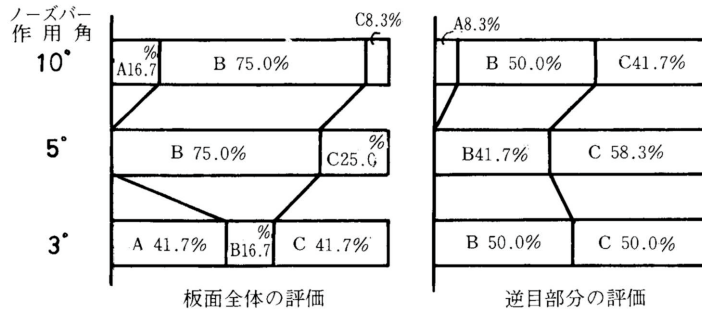
他の条件を固定した場合は、10°が最適条件であるが、刃口水平距離の影響もあり一概には言えない。

刃口条件の影響

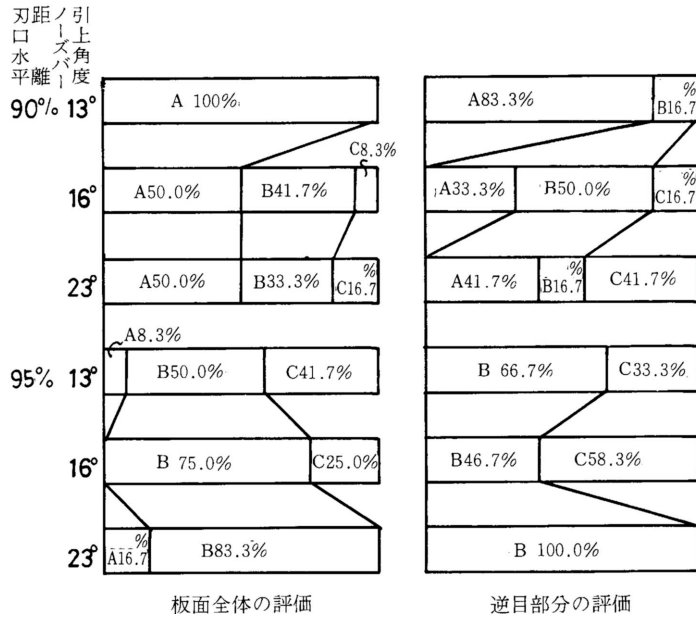
水平距離については、90%(対切削厚さ)の方が95%に比べ良好な条件である。ノーズバーの引き上げ角度については、水平距離との交互作用があるようで、一定傾向を見出し難いが、水平距離90%の場合、13°が適正であろう。



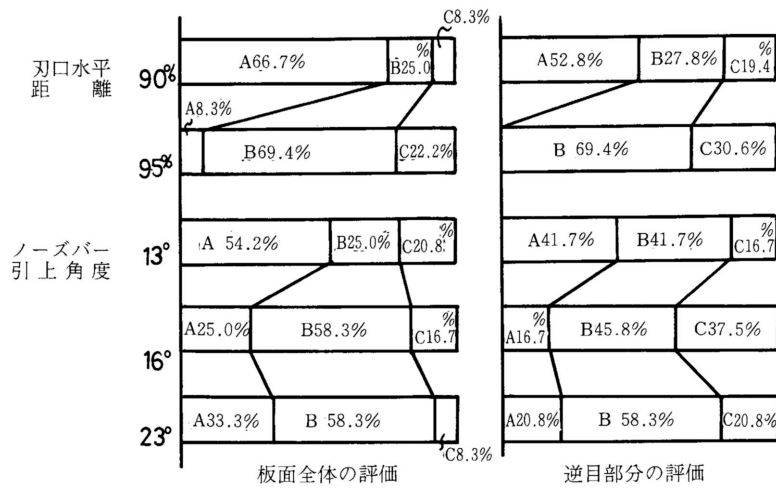
第3.12図 ナイフ刃角の影響



第3.13図 ノーズバー作用角の影響

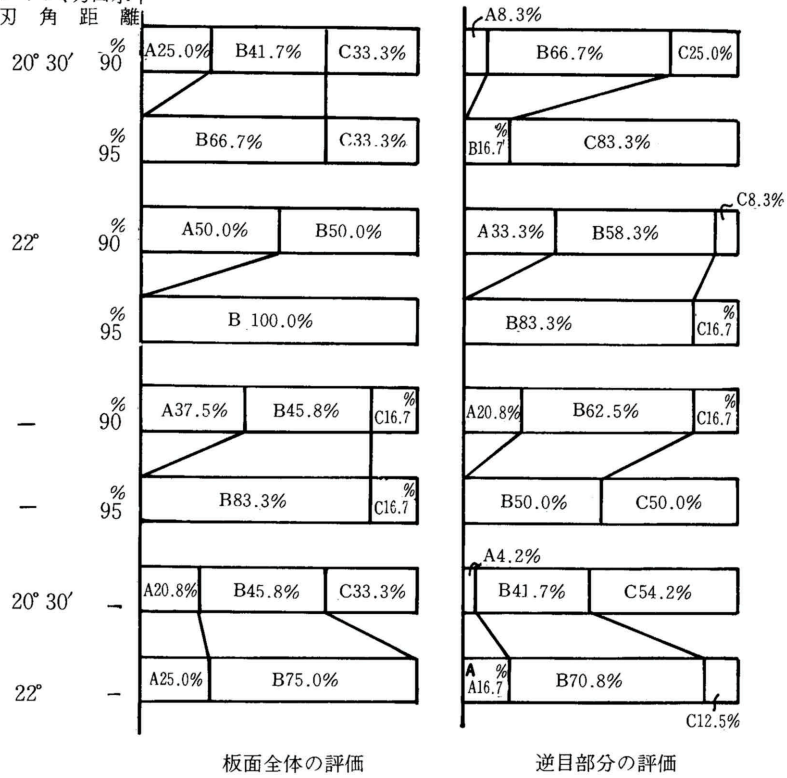


第3.14図 刃口条件の影響(1)

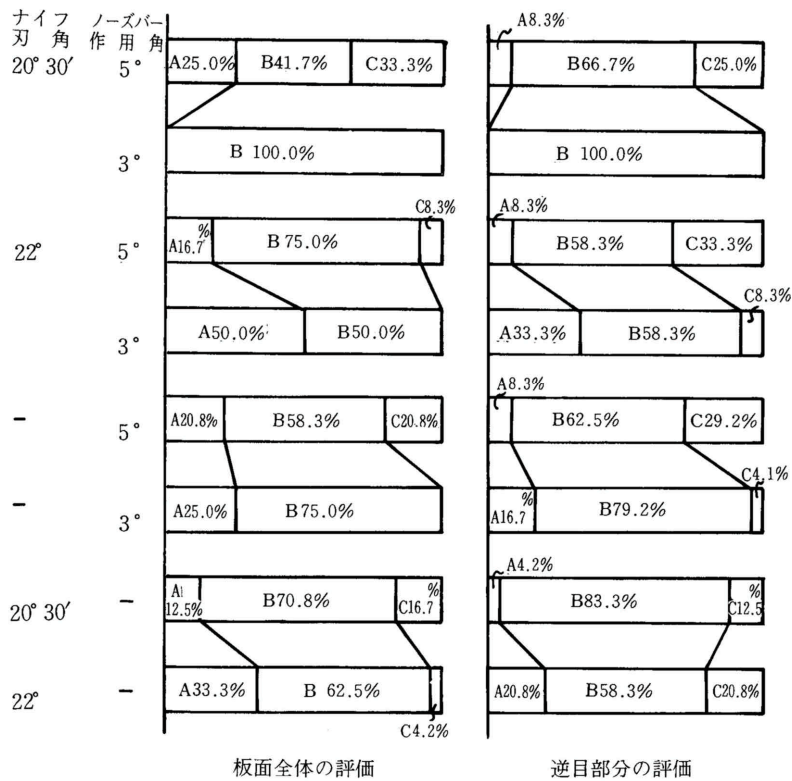


第3.15図 刃口条件の影響(2)

ナイフ、刃口水平
刃角距離



板面全体の評価 逆目部分の評価
第3.16図 ナイフ刃角及び刃口水平距離の影響



板面全体の評価 逆目部分の評価
第3.17図 ナイフ刃角及びノーズバー作用角の影響

第3.5表 針葉樹材と広葉樹材の適正切削条件の差異

条 件	針 葉 樹	広 葉 樹	理 由
煮 沸 条 件	60℃ -24 hrs	90℃ -24 hrs	針葉樹材にあつては、60～70℃が適温と考えられる。過度（90℃）になると、材の強度が低下し、ベンディングを生じやすく、「フクロ单板」あるいは「ビビリ」を生じ、使用不能の单板が発生する。
ナ イ フ 刃 角	22°（一応） マイクロベベルを含 め検討を要す	20° 30′	本来であれば針葉樹材であっても19°位の刃先が良好であるが、節等の欠点のために刃先の損傷が大きく、ために実用上は比較的刃角を大きくとる必要がある。従つて刃のメインベベルはある程度鋭角に、刃先の微小部分だけ鈍角にするマイクロベベルが有効であろう。
ノーズバー作用角	あまり差が認められない		刃口水平距離の影響が大きく、現在のところ3°位の小さい角度が良いのか、10°位が良いのか結論が出せない。
刃 口 水 平 距 離	90%	90～95%	針葉樹材にあつては早・晩材部の材質の差異によつて、刃口水平距離が大きくなると、刃のくい込み部の押えが利かなくなり、材面が極めて悪くなる。最低10%の圧縮は必要である。道材、ラワン材はそれ程シビアではない。
刃 口 垂 直 距 離	あまり差が認められない		それ程差がない。しかし条件としては水平距離の23%（引き上げ角13°）、刃角20°30′のときの、補角の二等分線の方向が良い。
そ の 他	ベンディング防止の必要がある。これには切削抵抗の減少をはかる方法と、機械的に防止をはかる方法とがあり、両面からのアプローチが必要である。 さらに刃口の詰まりに注意する必要がある。針葉樹材は広葉樹材に比較し、脆弱（接線方向）なため、切削屑が刃口に詰まり、切削に支障をきたすばかりでなく、歩留まりの低下を招く。針葉樹は広葉樹に比べ、設定条件の影響が鋭敏に出るようである。		

以上の試験結果を針葉樹材（カラマツ材）と広葉樹材（道材）の適正切削条件の差異として、第3.5表にまとめた。

3.2.3 単板乾燥に関する検討

(1) 材料、装置及び試験方法

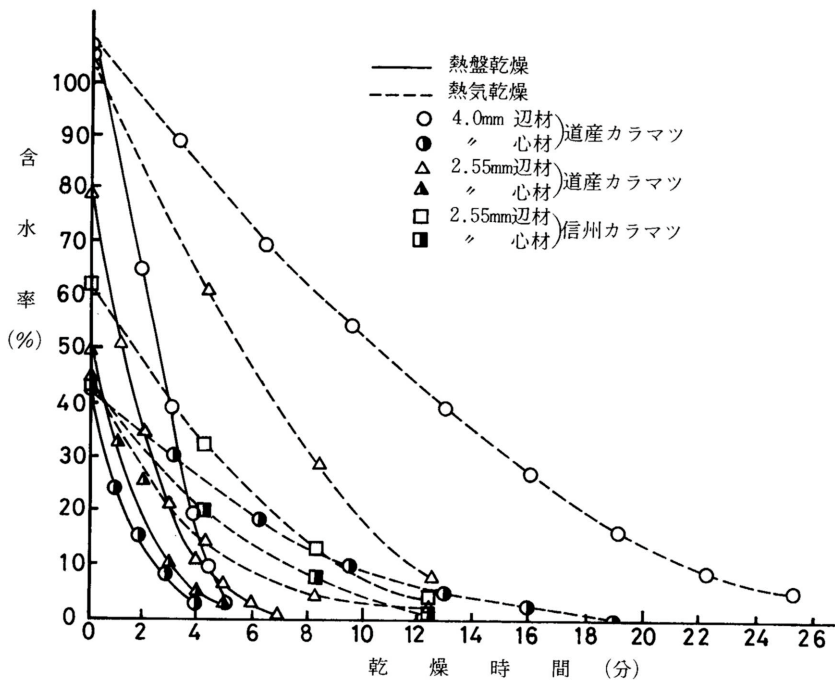
北海道産造林カラマツ材（以下道産カラマツという）、長野県産造林カラマツ材（以下信州カラマツという）及び一般合板用ラワン材から、常法により切削された単板（厚さ2.55mm×96cm×96cm）を用い、熱気乾燥を行つて両カラマツ単板の乾燥特性を、ラワン単板と比較するとともに、道産カラマツ単板（厚さ2.55mm及び4mm、105cm×96cm）については、熱気乾燥と熱盤乾燥の比較試験を行つた。

熱気乾燥は、ロールドライヤー（横循環式、幅3.3m×3段7セクション、クーリングなし）を用い、機内温度140℃、送り速度2.6m/分の条件で、単板重量が恒量に達するまで繰り返し通過させ、ドライヤー1回通過毎に、単板重量、幅寸法を測定した。厚さの測定は、生材時及び全乾時（重量が恒量に達した時点：以下同じ）に測定した。

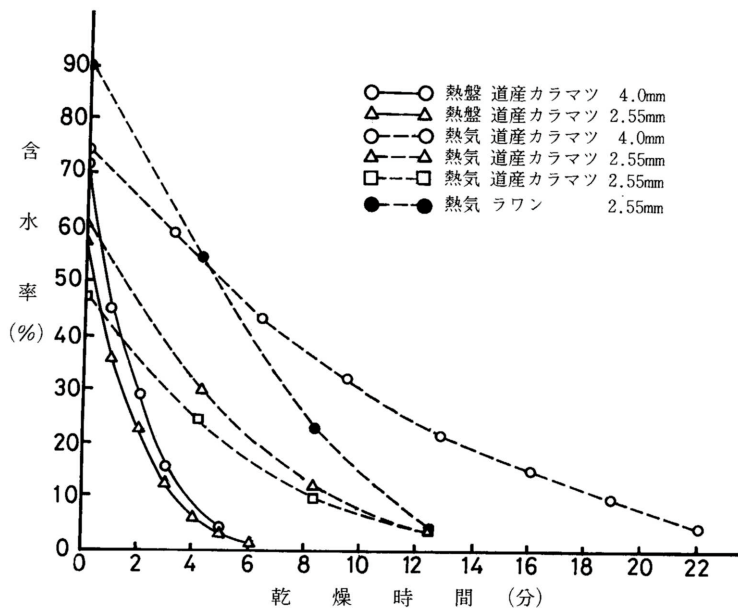
熱盤乾燥は、合板用ホットプレス（106cm×200cm×5段）の各段に、水蒸気を逃すための有孔鉄板（縦、横5cm間隔に直径4mmの貫通孔を設けた厚さ3mmの鉄板で、片面にはそれらの孔を結んで板縁面まで通して溝が切つてある）を、溝面が熱盤面に来るように装置して用いた。熱盤温度140℃、圧縮圧3kgf/cm²とし、1分毎に解圧する、いわゆる息抜き工程を設け、単板重量が恒量に達するまで繰り返し圧縮した。重量は解圧毎に測定し、幅及び厚さは、生材時及び全乾時に測定した。

(2) 試験結果及び考察

熱気及び熱盤乾燥による乾燥曲線を第3.18図及び第3.19図に、生材から全乾に至る幅方向



第3.18図 カラマツ単板の乾燥曲線(辺心材別)



第3.19図 カラマツ単板の乾燥曲線

第3.6表 幅方向の収縮率(%)

乾燥方式			熱盤乾燥		熱気乾燥	
単板厚			4.0mm	2.55mm	2.55mm	2.55mm(信)**
単板部位	辺材部		4.9	5.8	7.6	7.4
	心材部		4.2	4.7	5.2	6.3
	全平均		4.7	5.1	6.1	6.9

註) * 初期含水率から全乾までの収縮率

**信州造林カラマツ、他は全て道産造林カラマツ

第3.7表 厚さ方向の収縮率(%)

乾燥方式			熱盤乾燥		熱気乾燥	
単板厚			4.0mm	2.55mm	2.55mm	2.55mm(信)**
単板部位	辺材部		7.9	8.9	4.3	5.0
	心材部		6.8	7.2	4.1	4.5
	全平均		7.5	7.9	4.1	4.8

註) * 初期含水率から全乾までの収縮率

**信州造林カラマツ、他は全て道産造林カラマツ

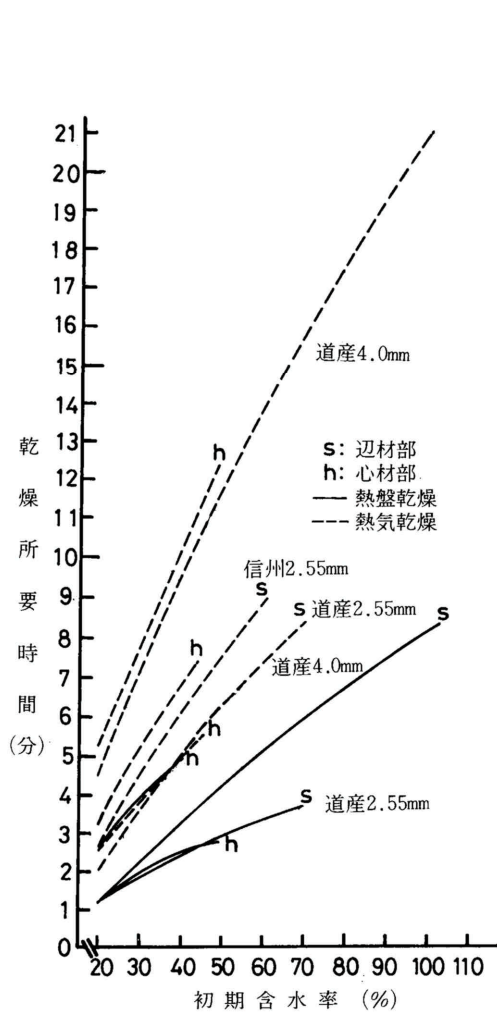
の収縮率を第3.6表に、厚さ方向の収縮率を第3.7表に示す。

乾燥曲線を基に任意の含水率から含水率10%に達するまでの乾燥所要時間を計算し、第3.20図及び第3.21図に示す。道産及び信州の両造林カラマツ単板の乾燥速度を比較すると信州カラマツの方が若干遅いが、余り大きな差はなく、ラワン単板と対比すると両者ともかなり乾燥速度が遅い。単板の収縮率は厚さ、幅両方向の収縮率何れも信州産の方が若干大きい値を示した。

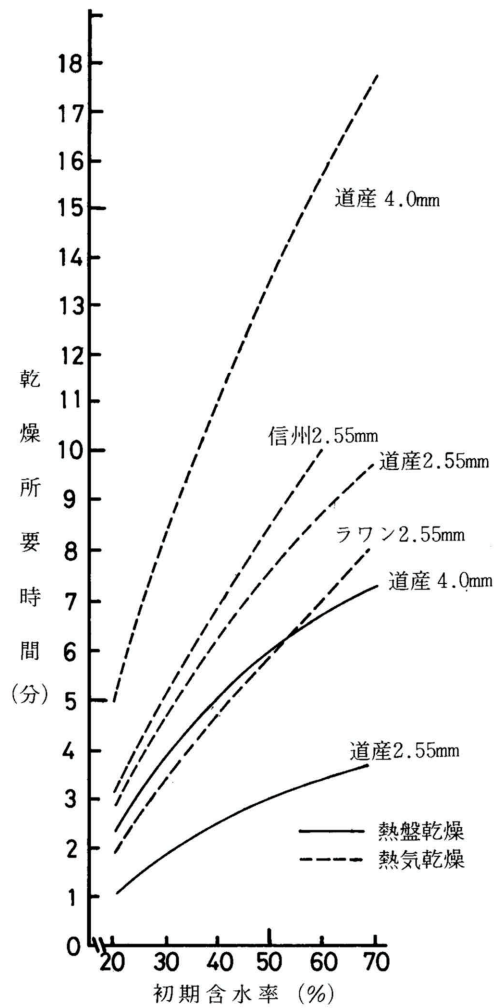
単板乾燥に用いられる一般的な温度である140℃における両乾燥方式を比較すると、熱盤乾燥は熱気乾燥に比べ、はるかに乾燥速度が早く、同一含水率範囲で、乾燥所要時間は、2.55mm、4mm単板ともにほぼ1/4に短縮される。乾燥による収縮率は、当然のことながら、幅方向は熱気方式が、厚さ方向は熱盤方向の方が大きい。体積収縮率に換算してみると、熱盤方式の方が若干大きいようである。乾燥収縮率と製品歩留まりとは密接な関係を有するが、最終的には単板寸法(切削、裁断)と製品寸法との関連で決まり、体積収縮率の大小がそのまま最終歩留まりに反映するとは限らない。同一単板内に辺心材が混在する場合、熱気乾燥による単板の性状は、辺・心材部の含水率及び収縮率の差や旋回木理等に起因する狂いの発生が大きく、また、そのため二次的に発生する割れも多い。従って、工程中の取り扱いが困難で、特にスプレッター通過時の支障が予測される。一方熱盤乾燥は、期待どおりの狂い抑制効果がみられた。但し、乾燥後数日間放置すると、若干の狂いの発生が認められるので、止むを得ずストックを持つ場合は、圧縮貯蔵などの対策を要する。

(3) 熱盤乾燥方式の経済性の推定

以上の結果から、乾燥能率、単板品質の両面で、熱盤乾燥の優位性は明らかである。問題は先にも述べたように、適切な熱盤ドライヤーが未開発のため、合板用ホットプレスベースまたは類似の機械施設の適用では、製品コスト面で却って不利となる可能性が大きい。仮定の生産規模を設定し、先に求めた第3.20~3.21図の結果を基に、ドライヤーを熱風式または熱盤式とした場合についてそれぞれ所要能力計算から仕様を仮定、これら仮定の各ドライヤーの価格を大まかに推定して1日当たりの減価償却費を求めた。さらに作業労務費、燃料費、諸経費等の推定も加えて乾燥コストを比較してみた。生産量は、3.1に述べた製品設計に基づいて積層接着系1ラインを想定し、かなり不確定ながら一応17m³/8時間とした。



第3.20図 カラマツ単板の乾燥所要時間(辺,心材別)



第3.21図 カラマツ単板の乾燥所要時間

これに必要な単板枚数(仮定寸法,幅48cm×長45cm)は,厚さ4mm単板で21,945枚,2.55mm単板で33,495枚となる。単板含水率は,辺材110%,心材40%,混入比率1:1とし,仕上り含水率を10%とすると,所要蒸発水分量は約5.1tonとなる。これらを蒸発するのに必要な蒸気量は,本乾燥試験に用いた,合板用の両機械について,既に現場的に実測されている経験値として,樹種,単板厚を問わず,単板水分1ton当たり,熱風乾燥については2.5ton,熱盤乾燥については1.5tonとした。従って本例では1日の蒸気消費量は,熱風の場合約13ton,熱盤の場合8tonとなる。乾燥所要時間は次のようになる。

		単板厚4mm	単板厚2.55mm (単位:分)
熱風乾燥	辺材	28	14
	心材	12	6
	平均	20	10
熱盤乾燥	辺材	6	3
	心材	3	2
	平均	4.5	2.5

所要時間、単板寸法及び枚数から、各ドライヤーの寸法、能力等を大まかに推定すると、ロールドライヤーは入口幅3.3m、3段として、全長25.5m=14セクション（単板厚4mm用）及び全長19.5m=11セクション（同2.55mm用）、熱盤ドライヤーは、熱盤幅1.1m、1セクション長さ3mとして全17セクション=6セクション3台（同4mm用）及び全15セクション=5セクション3台（同2.55mm用）と計算される。以上4種のドライヤーの価格を、それぞれ1台当たり39,700千円、37,700円、54,000千円、44,000千円程度と仮定し、償却費は90%を13年償却で計算、労務費は、両乾燥ラインとも、女性労務者4人8時間稼働、燃料費はそれぞれの所要蒸気量×蒸気単価11,000円/ton、諸経費は乾燥施設費の10%を計上するとして、1日（8時間）当たりの乾燥総費用は下記のとおりとなる。

（単位 円）

	4mm厚単板			2.55mm厚単板		
	熱気	熱盤	熱盤 - 熱気	熱気	熱盤	熱盤 - 熱気
償却費	9,816	40,549	+30,733	9,313	32,637	+23,324
労務費	24,000	36,000	+12,000	24,000	36,000	+12,000
燃料費	143,000	88,000	-55,000	143,000	88,000	-55,000
諸経費	14,179	58,751	+44,392	13,452	47,173	+33,721
合計	190,995	223,120	+32,125	189,765	203,810	+14,045
(m^3 当たり)	(11,235)	13,125	(+1,890)	(11,163)	(11,989)	(+826)

以上の結果から、最終的には熱盤乾燥がコスト高になることが予測されるが、その原因は熱盤ドライヤーの償却及びこれに関する諸経費が高く、燃料費における有利性を上回るためである。しかしながら、単板の狂い発生防止は必至の条件であり、乾燥工程後半の適当な区間に熱盤乾燥を適用する併用方式を、採用せざるを得ないと判断する。価格が安く保守保全の容易な熱盤ドライヤーの開発が望まれる。

3.2.4 単板の積層接着に関する検討

(1) 材料、装置及び試験方法

供試単板は、道産カラマツ材から常法により切削、熱気乾燥された、幅30cm×長さ40cm、厚さ6mmおよび4mmの単板である。単板は、乾燥後、肉眼により面粗さを観察して大・小の二種類に分類した。分類基準は3.2.2の単板切削試験における、板面全体および逆目部分の評価をおこなった際の基準「B以上」相当を「面粗さ小」、「C」相当を「面粗さ大」とした。

使用した接着剤は、ユリア樹脂及びフェノール樹脂接着剤で、その配合を第3.8表に示す。試験はスプレッターによる接着剤塗布試験と塗布量を変えたLVLの製造試験の2段階に分けておこなった。

スプレッターによる塗布試験はつぎのようにして実施した。

スプレッターは、4本ロールのZ型で、その仕様を第3.9表に示す。ドクターロールの絞り（ドクターロールと塗布ロールの間隔）及び塗布ロールの開き（上・下塗布ロール間隔）各3水準を組み合わせた9条件で、面粗さ大小2種類の6mm厚の単板に、2種類の接着剤を塗布した。スプレッターの絞りとり開きの組み合わせ条件を第3.10表に示す。各条件5枚の単板を供試した。

接着剤を塗布した単板は、まず塗布量を測定し、ついで肉眼により塗布状態の観察をおこない、単板の面粗さ別に、良好と思われる操作条件と、その時の塗布量を求めた。

塗布量を変えたLVLの製造試験はつぎのようにして行った。

第3.8表 接着剤及びその配合

ユリア樹脂接着剤 (大日本インキ HD-1180)	
樹脂	:100
小麦粉	: 20
水	: 15
硬化剤	: 1.5
粘度	13.5ポイズ/20℃
フェノール樹脂接着剤 (大日本インキ TD-683)	
樹脂	:100
小麦粉	: 10
粘度	5ポイズ/20℃

第3.9表 スプレッターの仕様

ロール長さ	50cm
ゴム硬度	35°
溝型	山型
溝深さ	0.25mm
溝の数	24山/in
塗布ロール周速	15.5m/分
ドクターロール周速	3m/分

第3.10表 接着剤塗布条件の組合わせ (スプレッターの絞りと開き)

(a)mm	(b)-tmm
0.1	-0.2
〃	-0.4
〃	-0.6
0.2	-0.2
〃	-0.4
〃	-0.6
0.3	-0.2
〃	-0.4
〃	-0.6

第3.11表LVLの製造条件

	ユリア樹脂接着剤	フェノール樹脂接着剤
塗付量	19, 24, 29g /30cm×30cm	25, 30, 35g /30cm×30cm
冷圧	10kg f/cm ² -1.5 hrs	10kg f/cm ² -1.5 hrs
熱圧	115℃ -8kg f/cm ² -8 min	135℃ -8kg f/cm ² -12 min
単板含水率	12.9%	5.9%

- (a) 絞り：ドクターロールとグルーロールの間隔
- (b) グルーロールの間隔
- t 単板の厚さ
- (b)-t 開き

LVLの製造は、実験用ホットプレスによる3プライ×30cm×30cmの積層接着を行った。面粗さにより2区分された4mm厚の単板に、上記試験に基づいて設定した3段階の塗布量を常法により塗布し、平行積層接着を行った。設定した塗布量およびホットプレスによるLVLの製造条件を第3.11表に示す。

接着性能の判定は、合板のJASに示す類、類の浸せきはく離試験及び引張りせん断試験に準じて行った。供試片数は各条件10片及び20片である。

(2) 試験結果及び考察

スプレッターによる塗布試験の結果を第3.12表(1)～(2)に示す。

肉眼による塗布状態の観察では、カスレなし、多少のカスレあり、カスレありの3階級に分けて、すべての単板がカスレ無なる条件を、塗布工程における適正条件と判定した。判定状況を写真3.9(A), (B), (C)に示す。

ユリア樹脂接着剤の塗布については、面粗さの小さい単板でも、絞り値0.2mmが必要で、面粗さの大きい単板を考慮すれば0.3mmが必要となる。塗布量の増加が避けられないが、止むを得ない。開きは、絞り0.2mmについてみると開き値が小さくなる程塗布状態が良好となるので、塗布量抑制の意味からも小さくすることが望ましい。

フェノール樹脂接着剤の場合も同様の傾向にあるが、絞りを小さくした状態においてユリア樹脂接着剤に比べ塗布状態は若干良い。これは、同一粘度の状態では、フェノール樹脂接着剤の方が、粘弾性、曳糸性等が大きいので、ロールに対して抵抗が加わり、運転中の絞り値が設定値よりも大きくなるのが原因であると瀬戸ら⁹⁴⁾により説明されている。

塗布量に対する絞り及び開きの影響を第3.22図(1), (2)に示す。絞り値を大きくとれば、開き値に関係なく塗布量が増加するので、絞り値はなるべく小さくとりたい。同一の絞り値に

第3.12表 スプレッターの操作条件と接着剤の塗布状況

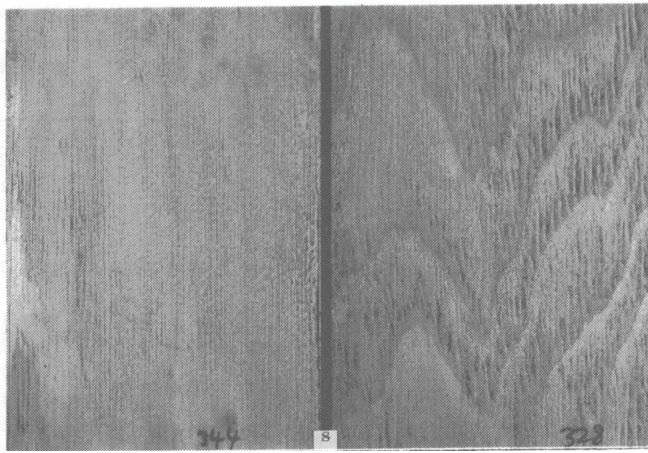
(ユリア樹脂接着剤)
(1)

項目 条件	肉眼による観察						塗布量 g/30×30cm ²						
	-0.2		-0.4		-0.6		-0.2		-0.4		-0.6		
(b)-t mm	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小	
(a) mm	0.1	×	△	×	△	△	△	18	16	22	16	20	21
		×	△	×	△	×	△	16	19	16	20	23	19
		×	×	×	△	×	○	15	13	23	21	22	23
		×	×	×	×	×	△	16	11	16	19	22	20
	平均値							16	15	19	20	21	21
0.2	×	△	×	○	△	○	33	29	26	28	33	28	
	×	○	△	○	△	○	31	29	26	26	30	33	
	×	△	○	○	△	○	34	31	33	36	29	27	
	×	○	△	○	○	○	29	29	29	29	29	31	
平均値							32	30	27	29	30	31	
0.3	○	○	○	○	○	○	40	42	41	36	33	30	
	○	○	○	○	○	○	41	41	43	30	35	27	
	○	○	○	○	○	○	40	34	32	34	39	31	
	○	○	○	○	○	○	41	35	36	33	37	30	
平均値							41	39	38	34	35	30	

(フェノール樹脂接着剤)
(2)

項目 条件	肉眼による観察						塗布量 g/30×30cm ²						
	-0.2		-0.4		-0.6		-0.2		-0.4		-0.6		
(b)-t mm	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小	
(a) mm	0.1	×	○	△	○	△	○	28	27	26	23	27	30
		×	○	×	△	○	△	26	23	23	24	25	32
		△	○	△	○	△	○	26	24	23	29	29	26
		×	○	△	○	×	○	29	23	26	25	21	30
	平均値							27	24	24	25	25	28
0.2	○	○	○	○	○	○	39	29	36	33	36	33	
	○	○	○	○	○	○	36	35	36	34	34	30	
	△	○	○	○	○	○	38	32	33	34	36	31	
	△	○	△	○	△	○	30	31	34	31	34	31	
平均値							36	32	35	32	35	31	
0.3	○	○	○	○	○	○	40	44	40	34	39	35	
	○	○	○	○	○	○	43	36	39	36	39	38	
	○	○	○	○	○	○	39	41	39	40	41	31	
	○	○	○	○	○	○	41	39	37	38	35	36	
平均値							44	41	40	35	36	36	
平均値							41	40	39	37	38	36	

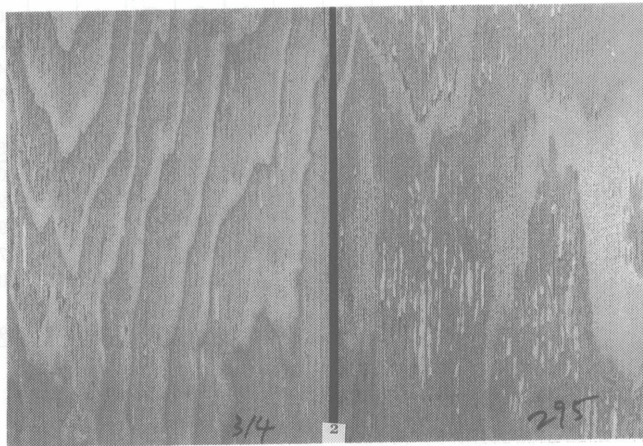
註) (a) : スプレッターの絞り ○ : カスレなし
 (b) : グルーロールの間隔 △ : 低度のカスレあり
 t : 単板の厚さ × : カスレあり



(A) カスレなし

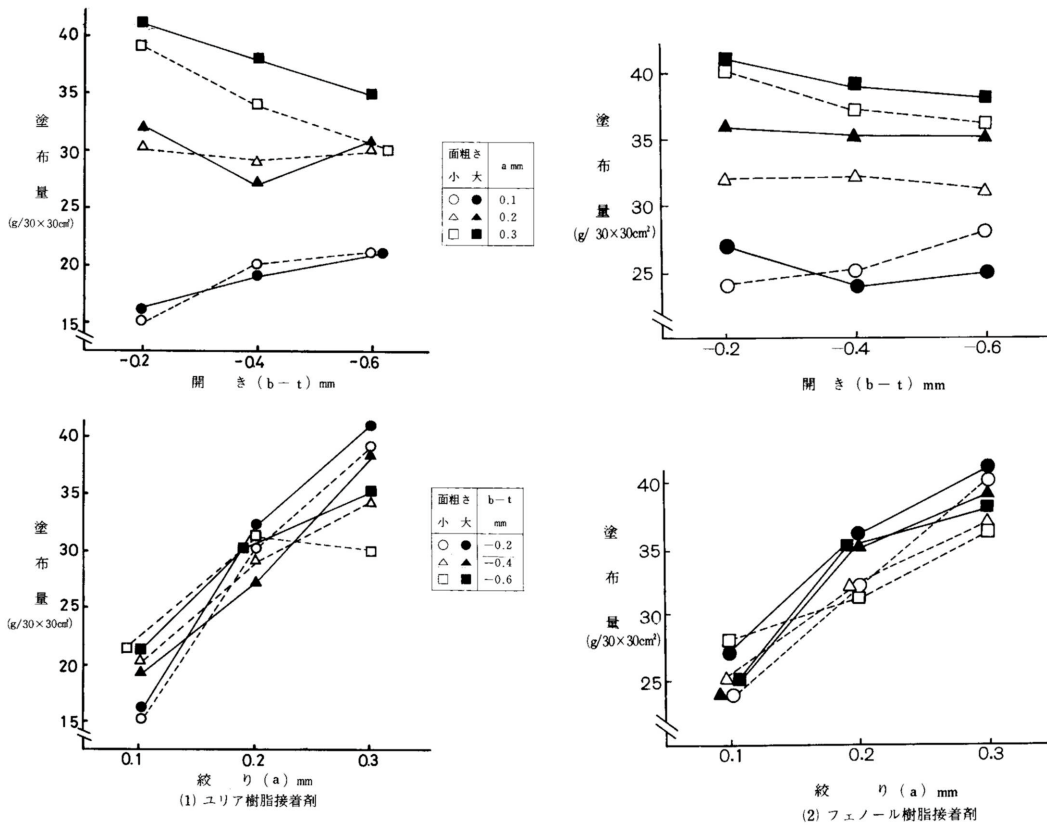


(B) 多少のカスレあり



(C) カスレあり ×

写真3・9 塗布状態の肉眼観察判定



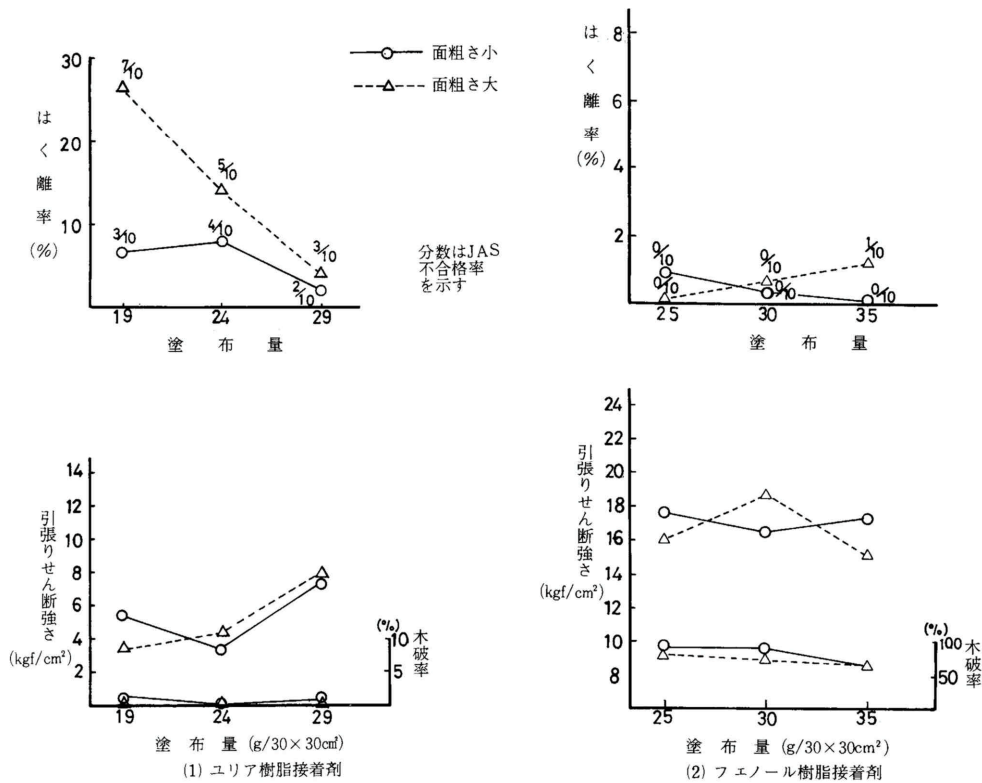
第3.22図 スプレッター操作条件と塗布量

おける、開きの影響をみると、絞り値の大きい状態で開き値を小さくとることにより塗布量は抑制される。この傾向は両接着剤について共通であるが、ユリア樹脂接着剤について著しく、フェノール樹脂接着剤についてはさほどではない。これは、先に述べたフェノール樹脂接着剤の特性から、糊液のスクイズアウトが抑えられるためと考えられる。絞りを小さくした場合、本試験結果では、この関係に逆転がみられるが、その理由は不明である。いずれにしても、前記塗布状態の観察結果とあわせ、面の粗い早板で絞りを大きくとらざるを得ない場合、開き値を小さくすることが、塗布量の過大を抑制するのに有効である。

以上を通じて、カラマツを主対象樹種として考えれば、面粗さの小さい単板のみが工程に供給されることを前提とすることは現実的ではないので、ユリア、フェノールとも絞り値 0.3mmまで広げ、開きを $t - 0.6\text{mm}$ 程度まで小さくするのが適正であり、この場合塗布量は $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 当たり両面塗布でユリア樹脂接着剤 30g、フェノール樹脂接着剤 36g程度と推定される。

塗布量を変えたLVLの製造試験結果を第3.23図(1)、(2)に示す。

ユリア樹脂接着剤を用いた場合、接着性能と単板面粗さ、塗布量の関係は明瞭で、面粗さが大きく塗布量の少ない条件で接着性能は劣る。特に面粗さの大きい単板では塗布量の影響は大きい。JAS相当の性能をうるためには $29\text{g}/30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 程度の塗布量は必要である。これに対し、フェノール樹脂接着剤を用いた場合は、各条件で余り差はない。すなわち本試験における条件範囲内であれば、面粗さが大きく塗布量が少ない場合でも、接着力値、木破率いずれも十分高く、合板でいえば 類に相当する性能を満たすことができるといえよう。こ



第3.23図 単版面粗さ，接着剤塗布量と接着性能

れは、フェノール樹脂接着剤を用いる場合の接着操作条件が、高温、長時間の圧縮となるため、接着剤の流動性が増し、単板の可塑性による凹凸部のつぶれを生じることにより、面粗さが大きくても塗布量の増加を必要としないためであると考えられる。本試験結果から、面粗さが大きい場合でも、塗布量25g/30cm×30cm程度でも十分な接着性能が得られるといえるが、類似性能を要求する用途を考慮すれば、余裕をみて30g/30cm×30cm程度を設定するのが妥当と考えられる。しかしながら、本研究対象システムでは、高周波による接着層の選択加熱を採用しており、接着層のみが急速に加熱される場合、面粗さ、塗布量、圧縮圧の影響は、本試験の場合に比べ大きい影響が考えられるので、これらについて詳細の検討が終了するまでは、安全側を選択する必要がある。

3.2.5 まとめ

本研究の対象であるLVL製造システムにおいては、その原料として、従来、単・合板としての利用未経験樹種を想定している。テストプラント導入に先行し、これら未経験樹種のうち、最も加工上の問題点が多いと予測されるカラマツについて、道産カラマツ材を用い、単板切削、単板乾燥及び積層接着の各工程について、一連の検討を行った。

単板切削に関しては、まず、単板切削条件と単板品質との関係について、影響の大きい因子を把握する試験を行い、次いで把握されたナイフ刃角、ノーズバー作用角、刃口条件の諸因子について更に詳細な検討を加え、単板切削の適正条件を求めた。得られた適正条件については、従来広葉樹の適正切削条件として挙げられているものと比較し、一覧表（第3.5表）にまとめた。

単板乾燥については、熱気乾燥及び熱盤乾燥試験を行って乾燥特性及び乾燥単板の性状を

比較した。その結果、乾燥効率及び乾燥単板の性状の両点において、熱盤乾燥の優位性を確認した。しかしながら、両乾燥方式による辺・心材別の乾燥所要時間の計算結果から、仮定の生産量について、仮定の両方式のドライヤーの所要能力及び機械設備価格の推定を試みた結果、全工程を熱盤によることは、機械設備価格が高価となる可能性から必ずしも経済的に有利ではなく、両乾燥方式併用の必要性が認められた。

積層接着については、本システムに想定する塗布機であるロールスプレッターを用い、予測される単板の面粗さ、塗布量、接着性能の3者の関連について検討した。すなわち、単板面粗さ2グレードについて、ユリア樹脂及びフェノール樹脂両接着剤を用い塗布試験を行い、塗布面の肉眼観察によって、塗布の適正条件及び適正量を見出した。またその結果、適正と考えられる塗布量を基準に、若干の範囲で塗布量を変えて、接着性能との関係を求め、テストプラントにおける当初の接着条件設定の基礎資料とした。

3.3 テストプラントによる単位工程の検討

3.3.1 はじめに

テストプラントによる本製造システム実用化の可能性の検証は、まず主要工程である単板切削、単板乾燥、高周波加熱接着のそれぞれについて導入主要機械により検討するとともに、全工程を通じての生産運転によりシステム全般にわたる問題点を探った。生産された製品は材質試験、強度試験、用途開発のための試作、試用に供した。

単板切削については、新たに原料として参入が予測される針葉樹の代表としてカラマツをとりあげ、既述のように一般的加工条件の検討を行った。本製造システムでは原料樹種の拡大と同時に、小径木の活用が要点であり、専用に設計試作したレースによって、従来に比べ、丸太の樹心部に近い部位までの切削が行われる。従って樹種特性としての樹心部付近の材質条件、丸太断面における切削位置の変化による単板の幾何学的形状、及び切削方式の相違による単板への外力作用等の物理的条件の変化が、単板品質に与える影響を検討する必要がある。

樹種については、針葉樹数種について検討したが、先の一般的加工条件の検討の延長として、特にカラマツについて詳細に検討した。レースは外周駆動併用方式であるが、外周駆動速度を、主軸による駆動周速より若干高速に設定し、主軸回転に対する制動作用を防止する機構となっており、駆動速度、駆動盤の爪の喰込み深さなど、単板への横引張り力を与えるこれら操作条件が、樹心近くの脆弱な単板に与える影響はかなり大きい。しかしながらこれらの操作条件は、機械設計上範囲が限定されるため、その設定は現場的に、最適条件と判断される状態に調整し、固定条件とした。切削条件としては、先に取上げた前処理条件、刃口条件により検討した。

単板の乾燥については、先に実施した熱気及び熱盤乾燥の比較試験から、乾燥の能率及び効率面からは、熱盤乾燥の全面採用が望ましい。しかしながら現在の合板機械製造技術の応用範囲内に限定するならば、目的に合致する熱盤ドライヤーは、同一処理能力の既存熱気乾燥ドライヤーに比べ、広大な設置面積と高価格が予測され、現実的に開発は困難と判断される。従って熱盤乾燥工程は、単板の狂い防止に狙いを絞り、熱盤ドライヤー施設を最小限に止めるため、熱気乾燥との合理的な組み合わせ方法を求める試験を実施した。

高周波積層接着は、本システムの重要な要素の一つであるが、最も検討課題が残されている部分である。

積層体の高周波加熱接着には、一般（特殊形状のものあるいは複雑な仕口などを除き）には、積層体の上下に平行に極板を配置し、被着体と接着剤を一体に加熱するいわゆる全体加

熱方式と、積層体の側面に極板を配置し、接着剤を選択加熱させるいわゆる接着層加熱方式がある。最近、接着剤の加熱硬化という面では、効率の良い後者の採用例が多く、本システムにおいても後者を採用している。

我が国の高周波接着に関する研究は、昭和20年以後活発化し、最近に至るまで多数の研究がなされているが、多くは全体加熱方式についてなされており、接着層加熱方式に及んでいるものは⁶⁵⁾数少ない。また、これら実験室的な研究成果を特定の工業生産現場へ直接適用することは困難で、現場的研究の方向づけを考える指針として評価しうるのみである。現場的な実験は限定された自社装置の範囲内で、限定された製品に対する製造条件を求め、あるいは品質を管理するための試験研究として、全く独自の考え方、方法で行われているのが実態である。これは、高周波装置の種類、容量によって、加熱条件に差が生じ、実験した機械によるデータが、直接そのまま他機種に適用し難い場合があるため、また、高周波接着の諸条件（例えば接着層の温度、被加熱体の形状寸法と温度上昇との関係、分布等）について、その詳細を直接補捉することが困難である、などの理由によるものと考えられる。従って、加熱または接着諸条件の的確な設定ができず、実験は限定条件下での評価に止まらざるをえない。

従って、本節の検討結果も、本装置を用い、本規模の形状寸法の積層接着を行う場合に限り、適用しうるものである。

高周波接着に関する工業生産現場的な問題として、接着剤の高周波適性及び適用樹種との関連が挙げられる。現在、ユリア樹脂及びフェノール変性レゾルシノール樹脂については、高周波適性の良好なものが見出されているが、問題はコストの安い耐水性（構造用）接着剤として最も期待されるフェノール樹脂接着剤に、同適性の良いものが見出されていないことであり、接着剤の開発が望まれている。適用樹種については、既に集成材等に利用されている一般的な材料、例えばスプルー、エゾマツ、トドマツ、ナラ、タモ等については、ユリア樹脂接着剤を用いての接着には重大な支障はないようで、例えばナラなどの高比重材について、加熱時の温度上昇が小さいなどの指摘もあるが、高周波印加時間の調節などで対処しうるようである。本研究でも次節で述べるように、併行して実施したテストプラントによる生産運転において、数種の樹種を用い、ユリア樹脂及びフェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤により、経済的安全側条件で、所要の性能の製品を安定的に得ており、本システム確立の可能性を確認している。

本節に述べる検討は、上記のように、一応の安定的生産が可能であることを前提とし、

現生産運転条件を一応安全側条件と考え、更に経済的条件を模索するものとして接着に関与すると考えられる3因子を取上げ、2条件について比較しその効果を求める。

本システムにおいては、高周波加熱の従来への通念からみて、製品の大きさが大きく特に接着層加熱方式における加熱深さ（極板の間隔）において前例がない。最も懸念される、被加熱体内部の部位による、加熱の偏りあるいはバラツキ、また、それらが接着性能の偏りあるいはバラツキに与える影響を確認する。

の2点について、概括的に把握するために行った試験結果であり、今後引き続き詳細な検討に先行する予備的な検討結果である。

3.3.2 小径木専用レースによる単板切削

(1) 材料及び試験方法

樹令18～25年、末口径15～22cm、長さ3.65mの美瑛産カラマツ間伐材から末口径16cmのものを選り、長さ50cmに調木したもの45本を供試材とした。

単板切削を行ったレースの刃口の状態は先に示した第3.5図のとおりである。

第3.13表 単板切削条件

前処理条件	無処理 60℃ -24 hrs 90℃ -24 hrs
水平距離	3.4mm (切削厚さの85%) 3.6mm (" 90%) 3.8mm (" 95%)
切削厚さ	4.0mm
垂直距離	1.2mm
ナイフ刃角	二段研ぎ、22° + 4°
逃げ角	0°
ナイフ刃先高さ	-0.4mm
切削速度	35m / min
外周駆動速度	38m / min

単板切削条件は、既述の一般的切削条件の検討結果を参考にし、さらに量産的条件下における、刃物の寿命、刃口づまり等を考慮して、ナイフ刃角22°、マイクロベベル4°に設定した。その他の切削条件は、比較的影響が大きいと考えられる前処理条件及び刃口条件（水平距離）について、それぞれ3水準をとり、第3.13表に示す9条件で、厚さ4mmの単板を、剥き芯径7cmまで切削した。

単板品質の判定は、厚さ精度、裏割れ、及び肉眼観察による単板の面粗さによっておこなった。それぞれの判定法については、以下に示すほかは、3.2.2項の方法に準じた。

厚さ精度については、各条件で切削された単板の剥き始めから剥き終わりまでを、10cm間隔で測定した。

裏割れについては、原木の外周部及び剥き芯直前の内周部から単板を採取し、密度及び深さを求めた。

単板の面粗さについては、上記採取位置と同一及び両者の中間位置から、46.5cm × 52cmの本システム用定尺単板を抜き出し、6人が肉眼観察によって、面粗さを小、中、大の三段階に分類した。6人の観察者の判定結果を条件別、判定者別に整理し、累積度数法による分散分析をおこなった。

(2) 試験結果及び考察

厚さ及び裏割れの測定結果を第3.14表、第3.15表に示した。

単板の面粗さについては、分散分析の結果を第3.16表に、それぞれの要因の効果グラフを第3.24～3.26図に示す。

水平距離を小さくとした方が、単板厚が薄くなることは、一般的にみられる傾向である。厚さ精度を示す標準偏差は、無処理 - 85%、ついで60 - 90%の条件が小さい。

裏割れについては、原木の内・外周部で顕著な差が認められなかったので、表の値は平均値で示した。裏割れ率は、原木前処理により減少する傾向が認められる。水平距離について

第3.14表 単板厚さ (mm)

前処理		水平距離		
		85%	90%	95%
無処理	平均厚さ	4.01	4.01	4.06
	標準偏差	0.115	0.138	0.142
60℃	平均厚さ	4.04	4.06	4.04
	標準偏差	0.126	0.120	0.156
90℃	平均厚さ	4.00	4.02	4.08
	標準偏差	0.156	0.153	0.157

第3.15表 カラマツ単板の裏割れ

前処理	水平距離	裏割れ密度 (本/cm)			裏割れ率 (%)		
		85 %	90 %	95 %	85 %	90 %	95 %
無	処理	4.1	4.0	3.6	76	76	82
	60 °C	3.5	4.3	3.6	69	61	73
	90 °C	4.4	3.6	3.1	61	73	75

第3.16表 分散分析表

要因	f	S	V	F ₀
前処理 (A)	4	52.80	13.20	14.33*
水平距離 (B)	4	21.54	5.39	5.87*
A × B	8	40.83	5.10	5.56*
R	10	43.66	4.37	4.76
E	1592	1461.17	0.918	
T	1618	1620		

註) * : 1 % の危険率で有意差あり

前処理条件	無	60°C	90°C
	A34% B38% C28%	A23 B51 C26	A12 B48 C40

第3.24図 前処理条件と単板面粗さ

刃口水平距離	85%	90%	95%
	A26 B45 C29	A24 B51 C25	A18 B41 C41

第3.25図 刃口水平距離と単板面粗さ

前処理条件	無	60°C	90°C
	A37 B29 C34	A21 B47 C34	A19 B61 C20

第3.26図 前処理条件、刃口水平距離と単板面粗さ

は、一般にいわれる圧縮の効果が認められる。両因子ともその影響は必ずしも顕著とはいえないが、針葉樹、特に造林カラマツのような材については、裏割れ深さの数値の計量的な意味は少なく、裏割れの程度の大まかな指標と考える方が良いでしょう。

各条件を通じて全体的にみると、裏割れ率は60~80%であり、単板厚が厚いことを考慮に入れても、既往のカラマツ単板の切削例に比べ、かなり大きいといえる。これは、間伐材であるための材質的なものと、単板切削が従来よりかなり小さい直径までおこなわれているためと考えられる。

しかし、本VLでは、従来の合板、平行張り合板のような表面性能への要求は余り考慮する必要がなく、引き続き乾燥、接着の工程に支障がないことが重要であって、この程度の裏割れ率は、実用上差支えないと判断しうる。但し、製品の構造用途を考える場合には重要な課題となるので、裏割れについては、第4章において別の観点で論ずる。裏割れ密度については、一般に裏割れ率と逆の相関があるとされているが、本例も同様の傾向を示している。

面粗さについては前処理条件、刃口水平距離、交互作用のすべての要因について有意差が認められた。前処理条件の影響を第3.24図によって見ると、無処理または60 °C の緩やかな処理が良く、90 °C の高温は良くない。これは、ポプラなど軽軟材にみられる傾向で⁹⁶⁾、供試材が若令木であるためと考えられる。

面粗さのみを取り上げて考えれば、コストのかかる前処理はむしろマイナスであるが、若令木といえども節の存在に変わりなく、ある程度の緩やかな前処理は必要であろう。

水平距離の影響を第3・25図によってみると、85%と90%がほぼ同等で、95%が最も悪い。この傾向は3・2・2試験結果と同様である。

交互作用を示す第3・26図をみると、面粗さが大きいC単板が最も少ないのは、前処理60、水平距離90%である。

厚さ精度、裏割れ、面粗さを指標として単板切削条件を検討したが、総合的に判断すると前処理60、水平距離90%が適正条件であることが判明した。なお、ナイフ刃角については、量産におけるトラブルを防ぐため安全側に大きくとっているが、ナイフの材質、刃先の研磨法の検討により、より鋭角化が可能であれば、一層の効果が期待しうる。

3.3.3 熱気乾燥から熱盤乾燥への移行

(1) 材料及び試験方法

道産カラマツ材をテストプラントのレースにより切削、裁断した4mm×52cm×46cmの標準寸法の単板を供試材とした。なお、供試材は辺材、心材に選別、区分されている。

熱気乾燥は、テストプラントのロールドライヤー（既述、一般的加工特性の検討に用いたものと同じ）により、温度140、1回のドライヤー通過時間3分10秒（4.3m/分）の条件で実施した。熱盤乾燥は、テストプラントの熱盤ドライヤーにより、熱盤温度150の条件で実施した。

試験は以下に述べるものからなっている。

テストプラント条件における乾燥特性試験

テストプラントの単板条件及び機械装置条件によるカラマツ単板の熱気及び熱盤乾燥特性を求めるため、以下に示す方法で実施した。

熱気乾燥は、単板を初期含水率時から、ロールドライヤーにより、前記乾燥速度で乾燥し、ドライヤー1通過ごとに重量を測定、恒量に達するまで繰り返した。厚さ、幅の収縮量は、恒量に達した時（ほぼ全乾状態と考えられる）に測定した。

熱盤乾燥は、単板を初期含水率時から、熱盤ドライヤーにより圧縮圧2kgf/cm²の条件で圧縮乾燥し、1分ごとに取り出して重量を測定した。厚さ、幅の収縮量は熱気乾燥に準じ測定した。

熱盤乾燥試験（圧縮圧の影響）

熱盤乾燥における圧縮圧が、乾燥速度、乾燥収縮率に与える影響をみるために実施した。圧縮圧は1, 2, 3kgf/cm²とし、測定は に準じた。

熱盤乾燥試験（息抜きの影響）

熱盤乾燥工程中の息抜き回数が、乾燥収縮率に与える影響をみるために実施した。息抜き回数の設定は、単板の初期含水率から全乾までの乾燥時間を の結果より推定し、1, 2, 3回の息抜き間隔を設定した。推定乾燥時間は、辺材360秒、心材180秒である。この結果、仕上り含水率は1~2.5%の範囲となった。収縮量の測定は前項に準じた。

移行乾燥試験（移行含水率の影響）

熱気乾燥から熱盤乾燥へ移行する（移行乾燥ということにする）時の単板含水率（移行含水率という）が、収縮率に与える影響をみるために、移行含水率を変えて乾燥試験をおこなった。単板は、収縮率が大きいと予測される辺材を用いた。

圧縮圧は2kgf/cm²（により、一応好ましい条件として仮定した）とし、移行含水率を15, 30, 60, 80（実測値82となった）%の条件を設定した。各移行含水率から全乾に至るまでの乾燥時間を推定し、3回の息抜きをして乾燥を終了させた。推定値に基づく各息抜

き間の乾燥時間は、移行含水率15%のとき30秒，以下30%：45秒，60%：60秒，82%：75秒である。この結果，仕上り含水率は1～2%となった。

移行乾燥試験（辺・心材単板の収縮率）

厚さ収縮のみを取り上げて，移行含水率および圧縮圧が，辺材及び心材別にどのように影響するかをみるために， に準じた方法で乾燥試験をおこなった。

圧縮圧は1，2，3kgf/cm²，移行含水率は，辺材：30，60（実際には61），80（同82）%，心材：20（同22），40%を設定，息抜き回数は乾燥終了までに3回である。

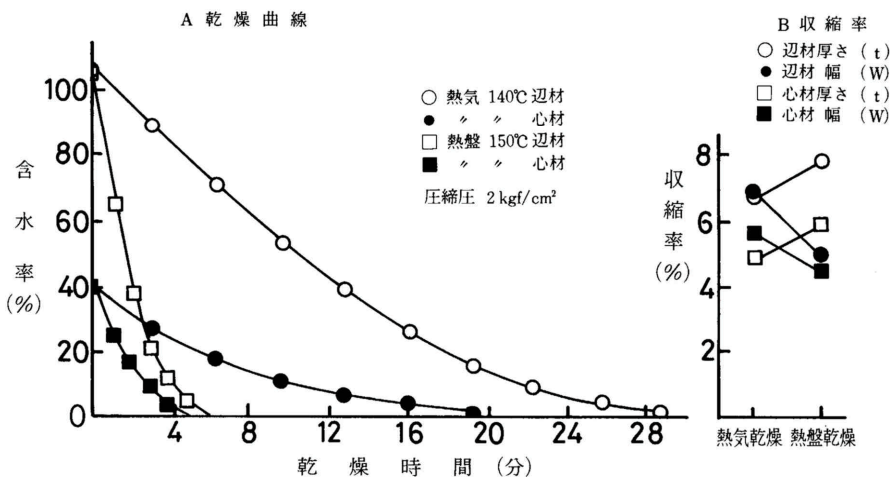
(2) 試験結果及び考察

テストプラント条件における乾燥特性試験

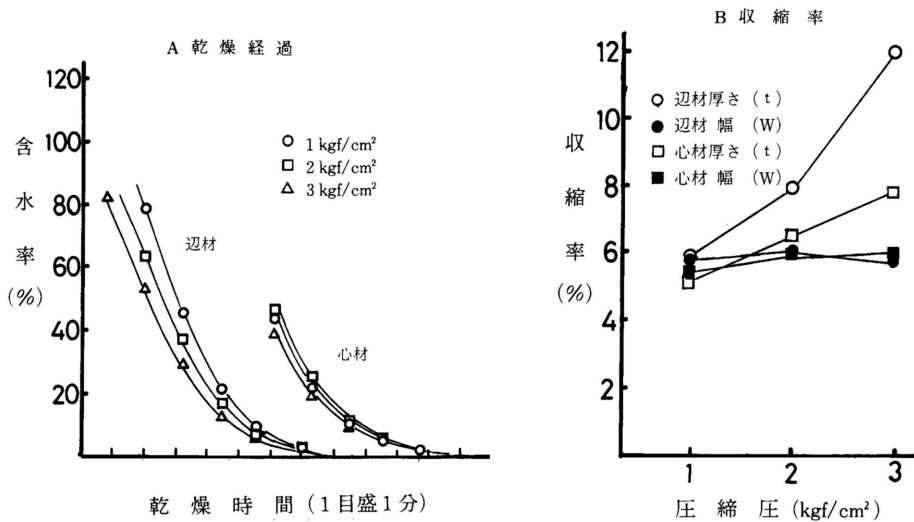
結果を第3.27図に示す。一般的加工特性として検討した結果と同様であることを確認した。

熱盤乾燥試験（圧縮圧の影響）

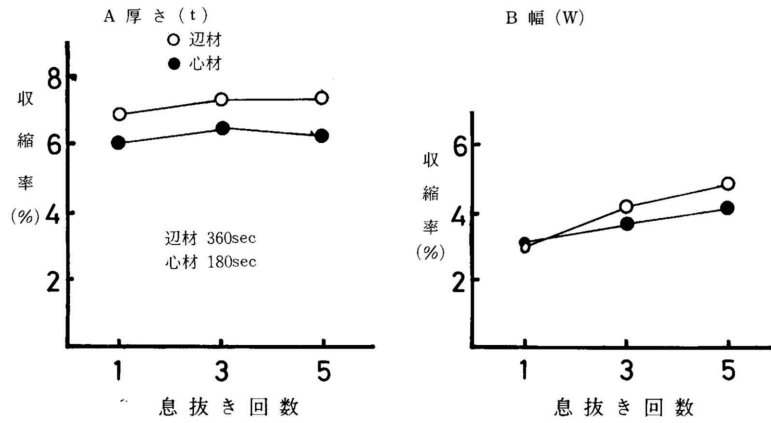
結果を第3.28図に示す。ある含水率から目的含水率までの乾燥所要時間は，圧縮圧を高



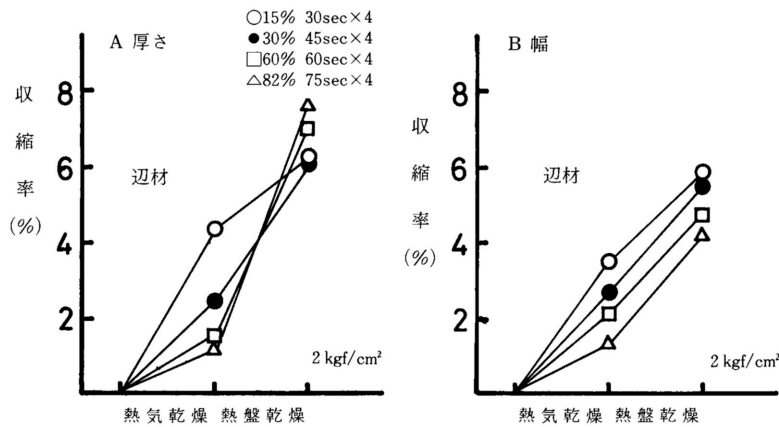
第3.27図 カラマツ単板の熱気乾燥及び熱盤乾燥における特性比較



第3.28図 カラマツ単板の熱盤乾燥における圧縮圧と乾燥特性



第3.29図 カラマツ単板の熱盤乾燥における息抜き回数と乾燥収縮率



第3.30図 カラマツ単板乾燥の移行含水率と乾燥収縮率

めると低下する。これは辺材において特に顕著にみられるが心材においても、1, 2kgf/cm²と3kgf/cm²の間に差がみられる。

幅収縮率 (w) は、圧縮圧に余り影響されない。厚さ収縮率 (t) は、圧縮圧が高まることにより増大する。この関係は、心材において直接的、辺材においては2kgf/cm²から3kgf/cm²へかけて、さらに収縮率が大きくなる。

熱盤乾燥試験 (息抜きの影響)

結果を第3.29図に示す。息抜き回数は厚さ収縮には余り影響しない。幅収縮は息抜き回数が増加すると大きくなるが、この効果は熱盤乾燥の目的の一つである割れ防止の効果にもなる。

従って息抜きについては、収縮率に与える影響について考慮するより、むしろ割れの状況の観察により決定すべきである。

熱盤乾燥試験 (移行含水率の影響)

結果を第3.30図に示す。移行含水率が高いほど、熱盤乾燥終了時の最終的な厚さ収縮率が大きい。同図Aで明らかなように、移行含水率が高い場合は、熱気乾燥 (R) による収縮が十分進行しないうちに熱盤乾燥 (P) に移り、収縮の大部分は熱盤乾燥時に、長時間

かけて進行する。逆に移行含水率が低い場合には、熱気乾燥によりある程度の収縮を終え、熱盤内では短時間で、最終的な収縮を終える。このことが、最終的な収縮率の差になって表われるものと考えられる。

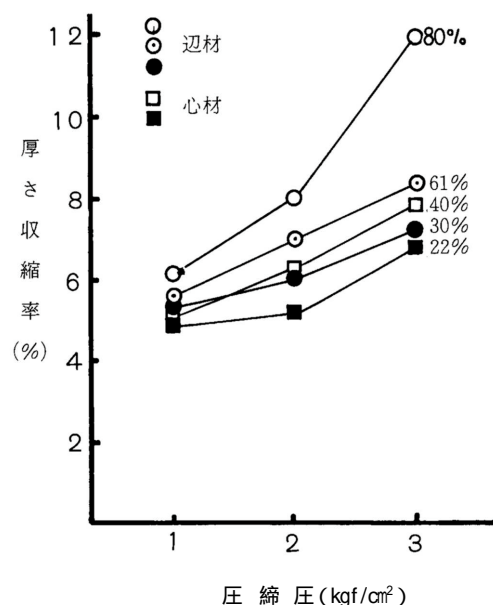
移行含水率15%、30%についてみると、最終的な収縮率はほぼ同等で、約6%である。この値は第3.27図Bに示す。辺材部の熱気乾燥による収縮率約6.7%に比べ、決して大きい値でない。このことは、移行含水率いかんにより、最終的な厚さ収縮を熱気乾燥程度に止めることが、可能であることを示す。

移行含水率15%では、既に厚さで4.3%、幅で3.5%の収縮が起っており、熱盤乾燥の主眼である、乾燥による割れ・狂いの防止の意義を失うが、25~30%で移行すれば、割れ・狂いを防止し、かつ厚さ収縮を押えることが可能である。

幅収縮の場合は、低含水率で移行するほど熱気乾燥による収縮が進んでおり、爾後の熱盤乾燥によっても、この差は保持されている。移行含水率が低いほど、幅収縮率は大きい。しかしながら移行含水率15%及び30%に対する収縮率5.5~5.8%は、第3.27図Bに示す熱気乾燥の値6.9%に比べ、むしろ小さい。

移行乾燥試験（辺・心材単板の収縮率）

結果を第3.31図に示す。

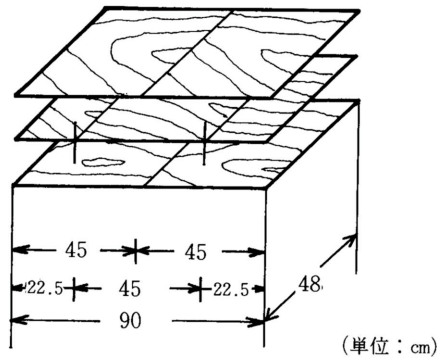


第3.31図 カラマツ単板の乾燥収縮率へ及ぼす移行含水率と圧縮圧の影響

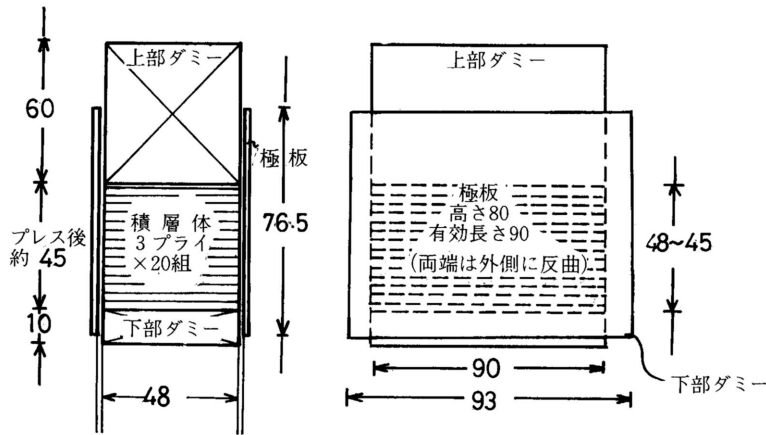
本図は、厚さ収縮率について、辺・心材の区別、圧縮圧、及び移行含水率との関係を探ったものである。既に述べた考察を裏付けている。

以上の結果から、熱気乾燥と熱盤乾燥の組み合わせについて、熱気乾燥により単板含水率25~30%まで乾燥し、熱盤乾燥に移るのが最適と考えられる。熱盤乾燥における圧力は2kgf/cm²以下、息抜き3回程度が望ましい。この場合、カラマツ辺材単板の収縮率は、厚さ方向6%で熱気乾燥と同等、幅方向5.5~6%で熱気乾燥よりむしろ少い。

3.3.4 高周波積層接着に関する検討



(A) 単板の仕組み



(B) 高周波加熱加圧法 (単位: cm)

第3.32図 高周波加熱接着試験方法

第3.17表 高周波接着条件と組合せ

試験条件	糊液塗布量 g/30×30cm ²	単板含水率 (%)	高周波条件 陽極電流×時間 amp*×分	比較因子
No.1	18	5	4.5 × 7	塗布量 単板含水率 高周波条件
No.2	14	5	4.5 × 7	
No.3	18	12	4.5 × 7	
No.4	18	5	2.25 × 14	

* 現在、積層体高さ10cm当たり ampを尺度としている。
1 amp/10cm, 0.5 amp/10cmの2水準をとった。

その他の条件

接着剤 大日本インキ HD-1180
糊液配合 接着剤:小麦粉:硬化剤
= 100:15 :1.5
高周波出力 30kw
発信周波数 13.56MHz
極板の大きさ 高さ80cm×有効長さ90cm

(1) 材料及び試験方法

供試単板は、道産カラマツ材を原料として、テストプラントで単板切削、乾燥を行い、試験の目的により調板、仕組みを経たものを用いた。

試験は、以下に述べるものからなっている。

高周波接着条件把握試験

単板は第3.32図(A)に示すような組み合わせで仕組み(本システムの単板の縦つぎ方法に準じた)、3プライLVLとなるように接着剤を塗布した。この3プライLVL40組を積み重ねたブロックを1積層接着単位として、第3.17表に示す接着条件の組み合わせにより、

高周波加熱接着をおこなった。加熱の方法を第3.32図(B)に示す

1単位40枚の3プライLVLのうち、下から2, 20, 39枚目のものについて、中層単板のほぼ中央上面に、70 ~ 125 に反応するサーモラベル(105 まで5 刻み、以上は10 刻み)を0.01mm(厚)のポリエチレンフィルムを介して、接着剤塗布後に挿入した。加熱終了後に取り出して、接着層付近の最終到達温度を測定し、積層体内位置の上・中・下段に加熱の偏りがどうかを検討した。

接着性能の評価は、40枚の3プライLVLのうち下から1, 2*, 19, 20*, 39*, 40番目(*にはサーモラベルを挿入した)を抜き出して、試験片を採取し、浸せきはく離試験及び引張りせん断試験によりおこなった。

浸せきはくり試験は、単板積層材の日本農材規格97)(以下、日本農林規格についてはJASと略記する)に準じ、75mm×75mmの試験片を各LVLより5片あて採取した。処理は70 - 2時間浸せき、60 - 22時間乾燥ののち、JASに基づく合否の判定のほか、次式によりはく離率を求めた。

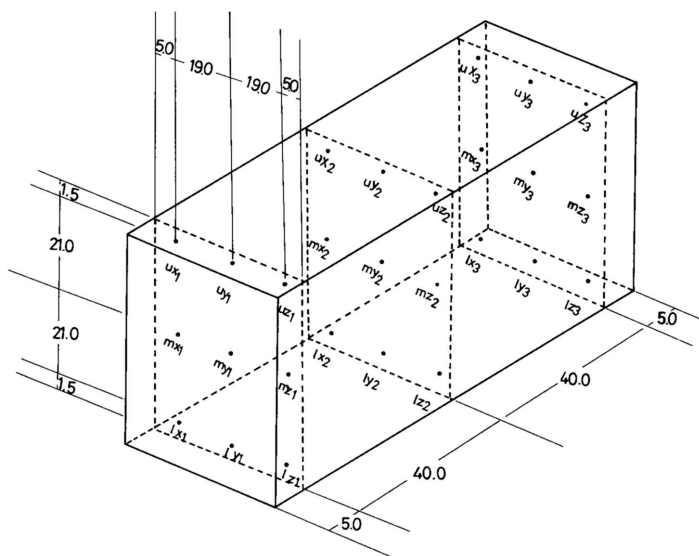
$$\text{はく離率} = \frac{\text{試験片1片の合計はく離長さ}}{\text{試験片1片の全接着層長さ}} \times 100$$

引張りせん断試験は、普通合板のJAS98)のA型試験片と同形のものを用い、60 - 3時間浸せきののち、引張りせん断強度を求め、併せて木破率を測定した。試験片の採取数は浸せきはく離試験と同様である。

接着性能の評価に引張りせん断強度を加えたのは、予備的な試験の結果・引張りせん断強度値が最も鋭敏に接着条件の差の影響を受けることを確認したためである。

加熱単位内の温度分布測定試験

テストプラントにおける標準アッセンブリは、4mm厚単板120~140プライ、粗ブロック寸法は高さ(極板の幅)45~52.5cm×幅(極板の対向間隔)48cm×長さ3.71mであるが、80cm×有効90cm(製品高さ方向×長さ方向)の極板により5回にわたり分割加熱される。従って、高周波加熱単位は、45~52.5cm×48cm×90cmとなる。単位内の高さ、幅、長さ各方向3点あて、計27点の加熱温度分布を、と同様にサーモラベルによって測定した。すなわち、3プライLVL40枚を1単位とした積層体を加熱単位として、サーモラベルを下

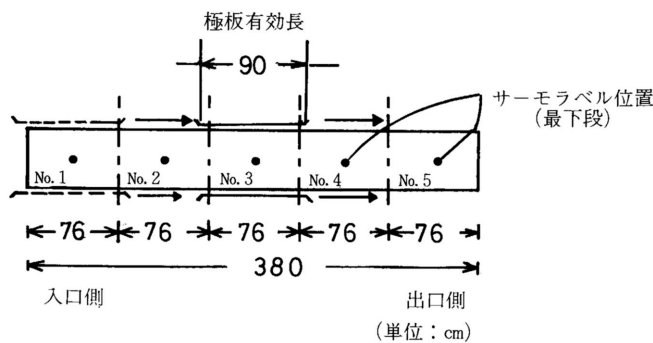


第3.33図 高周波加熱単位内のサーモラベルの配置

から2, 20, 39番目の3プライLVLの接着層に, 第3. 33図に示す位置全27点に挿入し, 加熱単位内の高さ, 幅, 長さ方向(高周波極板間の高さ, 間隔, 長さ方向: 以下同じ)の部位による最高到達速度のバラツキ及び偏りを検討した。また, 下から1, 3, 4, 5, 18, 19, 21, 22, 36, 37, 38, 40番目のLVLのサーモラベル挿入相当位置より, 浸せきはく離試験用および引張りせん断試験用試験片各3片あてを採取し, それぞれ試験をおこなって, 部位による偏り及びそれらと最高到達温度との相関を求めた。高周波接着条件は, 第3. 17表のNo. 2の条件とした。

また, 加熱単位内27点の温度分布測定に先立ち, アルコール棒状温度計を用いて接着層温度の上昇経過及び最高温度とサーモラベル検知温度との関係を求める試験を行った。すなわち, アッセンブリ木口面6か所(左・右・上・中・下)に, 接着層をほぼ中心に含むように明けた小孔(直径9mm, 深さ10cm)にアルコール棒状温度計を挿入し, 加熱開始から1分毎に内部温度を測定した。また, アッセンブリの両木口各1か所(幅方向中心線上, 上面より約10cmの接着層内, 木口面よりの深さ約10cmの位置)にサーモラベルを埋め込んで, 最高温度を検知し, 両法による測定値を比較した。

材長方向分割加熱試験



第3. 34図 積層体長さ方向の分割加熱

第3. 18表 高周波接着条件と部位別最高温度・接着性能

試験番号 記号	部位	最高 温度 (℃)	引張りせん断試験			はく離試験	
			強さ (kg~/cm ²)	標準偏差	木破率 (%)	はく離率 (%)	JAS不合格数 (ヶ)
1 18-5-4.5	上	100	7.85	1.68	12	4.8	3/10
	中	105	7.32	1.50	9	2.4	1/10
	下	95	7.76	1.73	15	1.9	2/10
	平均	100	7.64	1.63	12	3.0	6/30
2 14-5-4.5	上	103	6.68	1.52	10	8.5	5/10
	中	110	5.01	1.06	4	12.8	7/10
	下	98	4.77	1.37	1	8.3	5/10
	平均	104	5.48	1.57	5	9.9	17/30
3 18-12-4.5	上	95	10.17	3.21	23	3.4	2/10
	中	95	10.63	1.85	20	1.1	0/10
	下	95	8.43	1.30	4	0.9	0/10
	平均	95	9.68	2.33	15	1.8	2/30
4 18-5-2.25	上	100	8.06	1.72	7	1.4	0/5
	中	115	7.61	1.34	3	1.2	0/5
	下	95	8.55	1.78	13	1.0	0/5
	平均	103	8.08	1.64	7	1.2	0/15

註) 記号は、塗布量-単板含水率-陽極電流を表わす

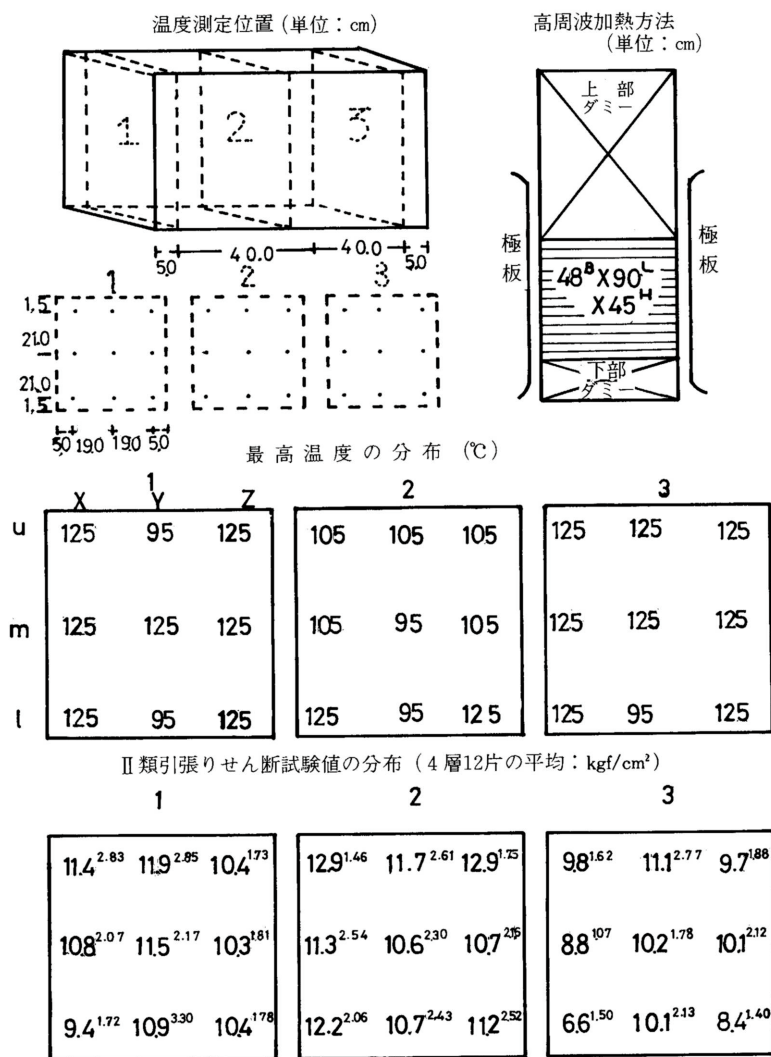
長さ3.7mのブロックを、長さ方向に5分割加熱した場合の、分割部位による接着性能および加熱温度の偏りを、つぎの方法で検討した。縦接合した4mm×48cm×3.7mの調板済み単板を、3プライ構成40組にアッセンブリし、高周波プレスにより5分割加熱をおこなった。接着条件は と同一である。分割寸法、位置を第3.34図に示す。積層最下段LVLの各分割中央部に、 と同様にサーモラベルを埋め込み測定をおこなった。最下段に設定したのは、接着剤塗布後の経過時間が長く、接着条件として最も不利な部位で試験するためである。接着性能試験については、 に準じた。

(2) 結果及び考察

接着条件把握試験の結果を一覧表にまとめ第3.18表に、加熱単位内の温度分布測定試験結果を第3.35図に、材長方向分割加熱試験結果を第3.19表に示す。

これらの結果全体を通じ、総合的に検討、考察を加えたい。

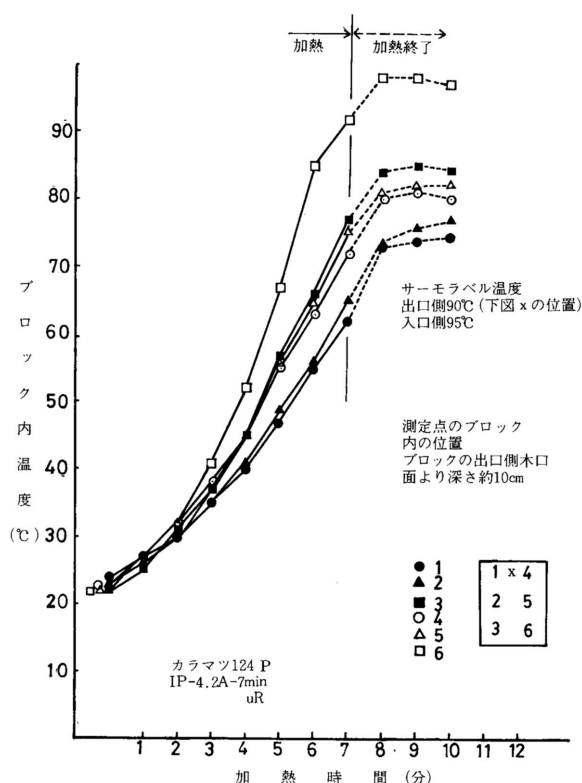
高周波加熱による内部の温度上昇



第3.35図 高周波加熱単位内の最高温度分布及び接着性能

第3.19表 分割加熱の分割部位別最高温度・接着性能

部 位	最高温度 (℃)	引張りせん断試験			はく離試験	
		強 さ (kg f/cm ²)	標準偏差	木 破 率 (%)	はく離率 (%)	JAS 不合格数 (ヶ)
№1 (入口)	95	10.5	2.22	36	2.9	2 / 10
№2	95	9.3	1.21	8	3.2	1 / 10
№3	95	9.7	1.38	8	4.6	2 / 10
№4	95	10.3	1.58	24	4.8	3 / 10
№5 (出口)	95	9.6	1.33	9	3.9	3 / 10



第3.36図 高周波加熱接着時の内部温度上昇経過
(コリア樹脂接着剤)

内部温度の測定

アルコール棒状温度計により、アッセンブリ内の温度上昇を求めた結果を第3.36図に示す。温度計による指示は加熱終了後も上昇を続け、2分程度で最高温度に達した後平衡に達している。到達最高温度は測定部位によるバラツキが認められるが、そのほとんどがサーモラベル検知温度より低い値を示している。数回実施した測定のいずれも、ほぼ同様の結果を示した。

温度計による指示が、高周波加熱終了後も上昇を続けているのは、温度計が、接着層温度ではなく、単板温度に近い値を測定していることを示している。すなわち、加熱終了と同時に接着層温度の上昇も停止し、その後はより低温の単板への熱伝導により、接着層自体の温度低下が始まるが、単板温度は逆に上昇を続けるためであり、滝らは⁹⁹⁾、温度計の測端部と接着層の接触状況から、かなり注意して温度計を接着層内挿入したと

しても、接着層そのものの温度の検出は困難であり、また温度感知の応答速度からみても急激に上昇する接着層温度の最高点の捕そくは困難であって、結果的に単板温度に近い値を測定していることになる。一方、サーモラベルによる温度検知は、接着層との接触状況、温度検知の応答速度の点から、接着層の到達最高温度を検知しているものと思われる。温度計による指示温度とサーモラベルによる検知温度の差は、このような原因によって生ずるものと思われる。但しサーモラベルによる温度検知は、金属板などに貼布された場合には、温度上昇によって鮮やかに変色して明快な温度区分を示すことを確認したが、単板積層体内に埋め込まれた場合は発色が不鮮明で、感知温度を判定するのが困難な例も少なくなかった。これは、発熱体である接着剤と、熱の不良導体でありかつ表面に凹凸のある単板との界面の不安定な状態が影響するものと思われる。しかしながら ± 1 単位刻み(5 または10 刻み)程度の精度は得られている。

高周波接着条件と加熱による温度上昇

第3.18表から、接着条件が温度上昇に及ぼす影響を検討した。

接着剤塗布量の影響はみられない。

単板含水率5%と12%の場合を比較すると、12%の方が上・中・下平均温度で約8低い。高周波による全体加熱と含水率の関係について滝ら100)、及び山本は101)、¹⁾「木材の含水率が高いと、水分の蒸発に電力が奪われる」という見方をして、接着不良を起しやすい原因としている。しかし、この場合含水率が高いというのは、気乾または17~18%以上を指しているようで、本実験の場合に適用できるかについては若干疑問が残る。

陽極電流の影響をみるため、テストプラントの通常の運転条件である陽極電流4.5amp(作業標準として、堆積高さ10cm当たり1ampを目途としている)と、その半分である2.25ampについて、同一のamp-時だけ印加して比較したが、最高到達温度には差がなかった。

一般に、高周波接着については、あまり急激な温度上昇は好ましくない。特にユリア樹脂接着剤の場合など、発泡現象が生じたり、局所的な電力の集中のため、アークを発生することがあり、接着不良を起すことが指摘⁰¹⁾されている。接着層加熱方式については、さらに影響が大きいものと判断される。

アッセンブリ内の温度のパラツキ及び偏り

加熱単位内の温度分布を第3.35図についてみると、大よそ次の傾向が認められる。

極板の長さ方向(アッセンブリの長さ方向)の中央が低い。特に極板の高さ方向の上・中部、極板面に近い所でその傾向が強い。長さ方向での一方への偏りは認められない。

極板間隔方向の位置(アッセンブリの幅方向)では、極板に近い所が高く、中央部は平均で17 程度低い。高さ方向の中、上部にその傾向が強い。どちらかの極板の一方側への偏りは認められない。

高さ方向の上・中・下の差は、極板の長さ方向、極板間隔方向により複雑な様相を呈し、傾向はつかみ難い。

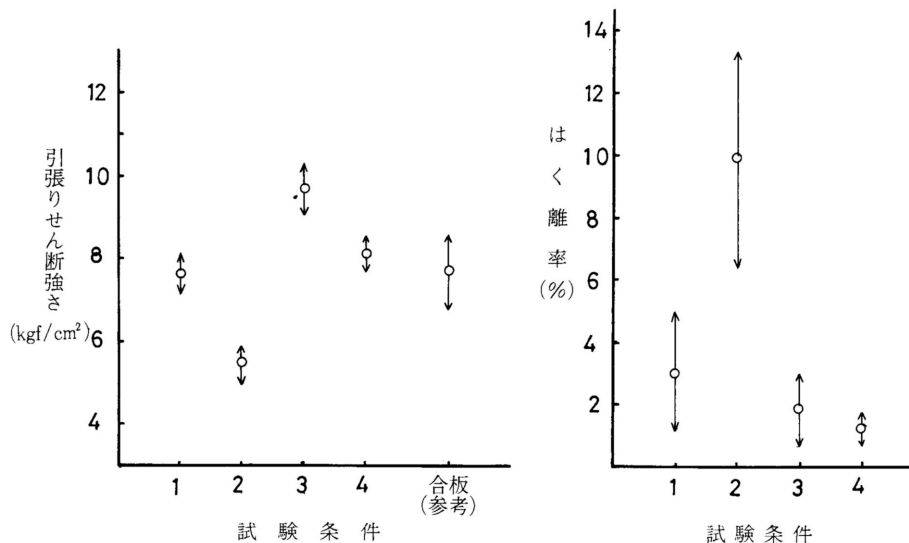
以上の結果のうち、極板間隔方向で、一方側への偏りのないことは、3・1・2に述べたように高周波装置に平行回路方式をとっているための特徴であり、一般の閉回路方式では、地絡極板側への温度低下がみられる。加熱単位内の接着層到達温度は、95~125の範囲内で全体にバラツキがあり、部位による若干の偏りが認められるものの、著しいものではない。このことから、高周波印加は、一応の均質(偏りのない)加熱がなされていると判断してよいと思われる。

なお、材長方向分割加熱による、分割各部位の内部温度への影響は認められなかった。

高周波加熱による接着性能

高周波接着条件と接着性能

第3.18表に示すように、各接着条件によって得られた試験体の接着性能を、引張りせん断力値、同木破率及び浸せきはく離率、同JAS（単板積層材）不合格数によって評価した。またこれら各接着条件別の引張りせん断力値およびはく離率の平均を、95%信頼限界幅を付して第3.37図に示す。引張りせん断試験結果では、試験条件No.1, No.4がほぼ同等、No.2が劣り、No.3が上位にある。高谷ら¹⁰²⁾が行ったホットプレスによる3プライ合板（接着条件は本試験とほぼ同じ）に関する試験から、引張りせん断力値の1例、 $x=7.65$, $\sigma=1.995$, $n=20$ を図内に付した。信頼限界幅はいずれも合板より小さく、高周波接着によってもホットプレスと同等の安定性が得られることを示している。



第3.37図 高周波接着条件と接着性能

浸せきはく離率で見ると、同様No.2が劣るがNo.1, No.3, No.4は同等とみられ、平均値の差の検定によっても、有意差が認められない。本試験結果をJASの抜き取り検査に当てはめてみると、No.2は完全に不合格レベル、No.1は再検査、No.3は合格限度、No.4は完全に合格レベルとみられる。

個々の接着条件について若干ふれてみる。

塗布量は明らかに接着性能に影響を与えており、単板含水率5%、陽極電流4.5ampの標準条件で、30cm×30cm当たり塗布量14gでは不十分、18g以上を必要とする。

No.1及びNo.3のはく離率JAS不合格数をみると、塗布量18g/30cm×30cm、陽極電流4.5ampの標準条件で、使用単板の含水率5%、12%ともに、接着性能は再検査水準であるが、12%の方が良好で、合格水準に近い。

一般に低含水率材の接着は、表面の濡れの状態、あるいは接着剤の過浸透により、接着不良を生ずる場合が認められる。カラマツ挽き板熱盤乾燥材についての松本ら¹⁰³⁾の報告にも、本試験結果と同様の結果がみられる。

高谷ら¹⁰²⁾は先に述べた報告で、単板含水率0, 5, 12%, 接着剤塗布後の堆積時間15,

30分の組み合わせ条件で接着性能を測定した結果、低含水率になるにつれ引張りせん断強度が低下することを確認している。

このように接着性能の面から含水率12%の方が有利であるが、含水率が高いと加熱時に発生する蒸気が極板、積層体側面、などに水滴となって付着しアークを発生する。その他含水率のバラツキを減少させる点でも低含水率単板が有利で、現在のテストプラント試験生産では、5%の条件を設定している。

本システムでは3.1.2項に述べたように、プレスに配置する極板の組み数を変えることにより、プレスサイクルの調節が可能で、生産規模に応じて最も有利な加熱条件とプレスサイクルの組み合わせが選択できる。急激な加熱によって多少発泡が生じて塗布量でカバーする方が有利であるか、緩和な加熱による方が有利であるかをみるために、現在の作業標準である4.5amp（積層高さ10cm当たり1ampと暫定している）7分間と、その1/2である2.25amp14分間を比較した。

加熱による温度上昇は、予期されたような差が認められず、ほぼ同等であったが、接着性能についても、引張りせん断試験、浸せきはく離試験の両結果について、有意差が認められなかった。

アッセンブリ内の接着性能のバラツキ及び偏り

加熱単位内、すなわち1対の極板によって加熱される部分内の接着性能のバラツキを第3.35図についてみると、おおよそ次の傾向が認められる。

極板間隔方向の位置（アッセンブリの幅方向）による接着力のちがいは、材長方向によって複雑な様相を呈し、一定の傾向はつかみ難い。

極板の長さ方向（アッセンブリの長さ方向）の中央部の接着力が若干低い。

高さ方向上・中・下の差はほとんどない。

全体としてみて、加熱単位内での接着力のバラツキは合板の例と比べてみてもそれほど大きくなく、実用上差し支えない程度であると判断される。

アッセンブリ全長を分割加熱することの接着性能への影響は、第3.19表に示すように、特に問題はない。単位加熱時間7分として、極板移動時間を含め、アッセンブリがプレスに挿入され、第1回の加熱が開始されてから第5回の加熱が開始されるまでの間、第1分割部位と第5分割部位は、30分間以上の冷圧時間の差が存在するが、接着性能への影響はみられない。

(3) 本システムの最適接着条件

高周波実大装置を用いた検討の結果、カラマツ材に対するユリア樹脂接着剤による標準寸法ブロックの最適接着条件を、つぎのように設定した。

接着剤塗布量 18g/30×30cm²（片面）

単板含水率 5%

高周波条件 陽極電流 4.5amp（堆積高さ10cm当たり1amp）

加熱時間 7分前後

アフターキュアは加熱時間と同一以上

スギ、ラジアータパイン、シラカバに対する接着条件もほぼ同一の条件で、所定の性能が得られた。

カラマツ材に対する、フェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤についての検討を、2～3の接着剤例について実施した。1例を第3.20表に示す。接着剤塗布量は、ユリア樹脂接着剤と同量の18g/30×30cm²とした。サーモラベルによる内部温度は、ユリアに比べ低く、80～105 の範囲に止ったが、接着性能は、合板 類相当の、引張りせん断試験・浸せきはく

第3.20表 フェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤による高周波加熱LVLの製造

樹種	カラマツ
アッセンブリ	4mm×3 プライ 40枚、幅48cm×長90cm
接着条件	接着剤：大鹿レジン D41 配合 接着剤：硬化剤：充填剤=100：15：15 塗布量 18g/30×30cm ² 圧力 14kgf/cm ² 高周波陽極電流-時間 4.5 amp-7分

接着性能試験結果

部位	最高温度 (℃)	引張りせん断試験			はく離試験	
		強さ (kgf/cm ²)	標準偏差	木破率 (%)	はく離率 (%)	JAS 不合格数 (ヶ)
上	90	14.1	2.40	87	3.8	3/10
中	105	15.6	2.07	97	1.5	1/10
下	80	14.1	2.90	90	0.8	1/10
平均		14.6	2.53	91	2.0	5/30

離試験の何れにも良好な結果を示している。

3.3.5 まとめ

テストプラントを構成する主要機械設備により、本システムの主要工程について検討し、つぎのような結果を得た。

小径木専用レースにより、末口径14～18cmのカラマツの切削試験をおこない、丸太前処理は60 前後の煮沸、ナイフ刃角は節を考慮して22°及び刃先ベベルの適用、刃口設定は水平距離90%、などが主要条件であることをみつけた。レースの外周駆動は剥き芯の細径化のため必要である。

熱気乾燥と熱盤乾燥の組み合わせ乾燥方式を検討した結果、乾燥前段を熱気乾燥により25～30%まで行った後、熱盤乾燥に移行することが最も経済的で、単板の品質も改善されることを確認した。

高周波接着については、既往の試験結果が皆無であり、検討すべき課題が多いが、取りあえずテストプラント稼働により、一定水準の製品化が可能な暫定適正条件を求めた。単板含水率、接着剤塗布量、高周波陽極電流を要因に取り上げ、ユリア樹脂接着剤及びフェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤について検討した結果、単板含水率5%、塗布量18g/30×30cm²、陽極電流4.5amp（標準アッセンブリについて）が適正であることをみつけた。この条件は、カラマツ及び取り上げた他樹種に適用可能である。また、高周波加熱を受ける積層体内部の部位による偏りまたはバラツキを、内部の温度上昇と接着性能のそれぞれについて検討し、両者とも部位差が認められるものの、それぞれの傾向は一致しないこと、認められる偏り及びバラツキは、引張りせん断試験による接着力値で、ホットプレスによる合板製造時のバラツキと大差なく、実用上は差支えない程度であることを確認した。

3.4 テストプラントによる生産運転

テストプラントの導入後、単位機械装置の調整試験運転の後、既に述べた各工程試験による検討を終え、全工程を通しての生産運転を実施した。対象樹種は、道産カラマツを主体に、シラカバ、道産スギ、本州スギ、ラジアータパインなどについても、ユリア樹脂接着剤及びフェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤を用い、合計約80m³の製品を製造し、材質試験、

強度試験，用途開発のための試作，及び建築，家具製造等の現場への適用に供した。

原木の前処理（煮沸など）は，ラジアータパインを除く上記各樹種について必要と認められた。

切削に当たり調木寸法は，長さ50cmとした。小径材であるため節の数は多いが，節径の大きいものがないため切削前に除去などの処理の必要はなく，節のための能率阻害はなかった。

単板の切削は，剥き出し厚4mm，罫引き寸法46cm，単板裁断寸法52cmとした。本レースは取りあえず定速切削方式であり，経常運転では35m/分で切削したが，直径14～22cmの調木材を平均1分間1本のペースで処理できた。定速切削のまま切削速度を更に上げることは，剥き芯近くの切削回転速度の上昇のため危険と判断された。切削径が細くなるにつれ切削速度を低速化するように可変式とすれば，平均切削速度45m/分程度は可能となり，切削能率は更に向上するものと考えられる。調木材のチャージング，ドッキング，スピンドルの前進・後退など一連の動作のスピードアップ及び剥き芯除去の自動化などによって，更に能率の向上が期待できる。外周駆動併用は，剥き芯の細径化を図るためには不可欠であることが証明された。単板表面には，外周駆動輪の刃の跡が残り，単板表面を化粧面として用いるにはオーバーレイなどが必要であるが，本方式では止むを得ない。外周駆動輪にゴムロールを用いるなど，レースの工夫もなされているが，目的の製品により選択を要しよう。切削された単板の品質については，既に述べた工程試験の結果を適用した連続生産運転下でも特に問題はなかった。カラマツ，スギについては，伐採後相当の日時を経過し，保管が十分でなく，切削時に既に乾燥状態のものは，前処理時間を延長しても，良質の単板がえられないことが判明した。剥き芯径は，スピンドル径5cmに対し7cmとしたが，これは先に述べた剥き芯部近くにおける高速切削状態下での，ナイフ喰込み防止のため余裕をみたためである。先述のようにレース仕様の工夫により，若干この余裕を減ずることは可能であろうが，得られる単板の品質を考慮すれば，この点に関しては改善の効果は少ないように思われる。

単板乾燥は，先述の検討の結果を適用し，熱風式ロールドライヤーにより含水率25～30%まで，熱盤ドライヤーにより5%までの乾燥を作業標準とした。

ロールドライヤーは，熱風温度140℃とした。カラマツ単板の初期含水率は，辺材と心材で大幅に異なり，同一のロットで処理しえない。乾燥後，ストック段階で辺材と心材が完全に分離されることは，次工程以下の操作に影響を与えるので，操業上の工夫を要する。

熱盤ドライヤーは，カラマツの場合熱盤温度150℃で，40秒熱圧ごとに息抜きを行い，2サイクルで次セクションの熱盤に移動，同様の繰り返し合計4サイクルで乾燥を終了するので，通過時間は計4分となる。本方式による乾燥能力のアップのためには，熱盤温度の上昇，セクションの増加のほか，単板より発生する蒸気の脱出孔を持つて板を使用することなどが考えられる。

他樹種の乾燥も，ほぼ同様の作業標準の適用で問題はなかった。

ロールドライヤーにより前段の乾燥をおこなうことにより，熱盤ドライヤーで常に問題となる熱盤面の汚せんは，全く認められず併用乾燥の大きな利点となった。

調板工程において，単位単板の裁断寸法は幅48cm×長さ45cmとし，単板縦つぎ機により，裏面2条の接着系及び端面4点のホットメルト木口接着を行った。縦接合信頼度は若干不足で，レイアップ時の障害となるものが数パーセント見られたが，本縦つぎ機は既存の合板用単板横はぎ機をそのまま利用したもので，接合箇所，配置など90cm幅用に設置されており，適当ではない。専用の仕様により，表面側に更に2本の接着系を配置すればさらに高い信頼度がえられるものと推定しうる。

単位単板は81/4枚縦つぎされて仕組まれる。仕組み単板長さは3.713mとなり，隣接単板間

のバットジョイントは、11cm離れ単板厚に対し、十分分散されることになる。

レイアップ装置は、所期のとおり極めて順調に作動した。幅方向の積み上げ精度を上げ、積み上げ側面の凹凸を極力減少させているが、単板縦接合後に両側面切断整形を行うことが、更に有効と考えられる。スプレッターの送り速度50m/分、ライン全体の平均速度25m/分の能力が実証された。

接着については、当初、標準のアッセンブリは4mm厚の単板で140プライ、粗ブロック寸法、高さ52.5cm×幅48cm×長さ3.713m、整形寸法、52.5cm×46cm×3.65mを想定した。接着操作条件は、カラマツの場合、単板含水率5%、接着剤塗布量18g/30×30cm²：片面（ユリア樹脂接着剤およびフェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤）、高周波陽極電流4.5ampを標準条件として設定した。

既述の工程試験及び経常的に実施した抜き取り検査の結果、ユリア樹脂接着剤による耐水接着性がやや低水準であることを確認し、高周波容量の不足及び塗布量不十分と判断されたのでアッセンブリを120プライとし、製品高さを45cmとするとともに塗布量を20g/30×30cm²とした。フェノール変性レゾルシノール接着剤についても、同様アッセンブリを120プライとし、接着剤塗布量は逆に14g/30×30cm²と減じた。以上の結果、ユリア、レゾルシノールいずれの場合についても、抜き取り検査において、安定した接着性能を示すようになった。

他の樹種についても、ほぼ同様の操作条件により、カラマツをやや上回る水準の接着性能を得ている。

3.5 検討結果の総括、問題点及び今後の対応

本システムの基本概念に基き、工程設計をおこなった。

本システムの対象となる原料丸太は、針葉樹造林間伐材、未利用広葉樹材等、材質・形状・寸法等の理由から、従来、切削・乾燥・接着等の加工経験のない樹種を想定しているため、テストプラント導入に先立って、製造システムに関する問題点以外前の、これら単位加工工程についての一般的加工特性の検討を行った。

単板切削については、最も未知要素の多い針葉樹切削についてカラマツを用いて検討し、広葉樹切削との相違点を明らかにし、針葉樹についての適正条件を求めた。

単板乾燥については、本システムに想定する単板が、原料の関係から反り・狂いを生じやすく、形状寸法が小さく、膨大な取り扱い枚数になるため、対応する自動化の障害となるのを防ぐ目的で、熱盤乾燥の導入を図った。最も狂いの予測されるカラマツ単板について、熱気乾燥、熱盤乾燥それぞれの乾燥特性を求め、他樹種との比較もおこなった。これらの結果、熱盤乾燥単独ではなく、熱気乾燥との併用方式を選定した。既往の高周波接着に関する研究結果が、実験に使用された高周波装置に限定され、生産現場への適用が困難であることから、高周波接着に関する検討は直接実用機によることとした。基本的事項としての検討は、針葉樹あるいは広葉樹においても、曲り・節等に影響される逆目材原料のため、単板の表面性状が低下することが予測されるので、粗面単板の接着について検討した。単板自体の接着性について、若干の難度のあるカラマツを用い、ロールスプレッターにより、面粗さの程度を変え、操作条件、塗布量および接着性能相互の関係を求め、テストプラントの塗布操作条件判定の基礎とした。

システムの基本計画に上記検討結果を配慮して、テストプラントを設計し機械施設を導入した。主要機械施設は

単板切削自動化ライン

原木チャージャー

小径木用レース（外周駆動付き）

ロータリークリッパー

同制御装置

ロールドライバー（従来型合板用ロールドライバー：既存設備の利用）

熱盤ドライバー

単板縦つき機（従来型単板横はぎ機：既存設備の改造利用）

レイアップライン

単板仕組み装置

スプレッター

アッセンブル堆積装置

高周波プレス

である。

まずテストプラントにより、主要工程である単板切削、単板乾燥、高周波加熱接着の操作条件の検討を、最も問題を多く含む樹種として、カラマツを主体に、2～3の樹種について実施した。

単板切削については、切削上問題の多いカラマツ小径材について重点的に試験した結果、合板製造を目的とした針葉樹大径材の切削条件がほぼそのまま適用しうることを確認した。

単板乾燥については、カラマツ単板により、熱気乾燥と熱盤乾燥の組み合わせ乾燥を検討し、単板含水率25～30%で熱気乾燥から熱盤乾燥へ移行する方法が、経済的に最適であり、単板品質も良好であることを明らかにした。

高周波加熱接着に関しては、カラマツ単板を用い、ユリア樹脂およびフェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤によって、合板でいう類および類性能に相当する製品水準をうるための単板含水率、接着剤塗布量、高周波陽極電流の水準を決定した。また、高周波加熱による積層体内部の温度上昇および接着性能について、偏りまたはバラツキの有無を測定した結果、両者とも内部部位による顕著な偏りや大きなバラツキはみられず、全体を通じてみた場合、実用上差支えない範囲であることを確認した。

なお、接着については、今後、低価格かつ良好な高周波適性をもつ接着剤の開発を含め、接着諸条件についての詳細な検討が必要である。上記各工程についての検討は、カラマツ以外の2～3の樹種についても併せて実施したが、ほぼ同様の結果を得ている。

ついで、テストプラントによる生産運転試験を、主としてカラマツ材により、ユリア樹脂接着剤及びフェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤を用いて実施した。製品生産量は合計約80m³である。

生産運転試験は、前記テストプラントによる、各工程の操作条件検討結果に基づいておこない、特に大きな障害もなく、所期性能の製品を安定的にうることができた。

以上の検討結果から問題点を摘出し、今後の対応を整理し、以下に述べる。

単板切削工程

煮沸など前処理は、カラマツなどの節による刃物の欠け、摩耗が著しいものについては必要であるが、ラジアータパイン等、その必要のないものもある。前処理工程の省略または簡略化（例えば蒸煮など）が、コストダウンに有効である。

小径木の単板切削において、外周駆動方式の効果は、樹心近くまで切削し、かつ良質の単板をつるためには、不可欠であることを確認したが、現在、同方式のレースは高価であることが難点である。切削技術そのものは、小径材であっても、一般の切削原則によって特に問題はない。しかし、樹心部近くから切削された単板は、他の部位より得られた単板と較べて

材質的に劣り、原料単板として混合使用されると製品の材質のバラツキの原因となる。これら単板をどのように仕組むか、(無作為に工程に流す、作為的にランダム化の工程を設ける、単板を仕分けて製品にグレードを設ける、など) 工程管理と製品管理との関連において検討が必要である。またこれらに対する考慮のうえで、剥き芯径の決定 = レースの決定 (切削しうる寸法、外周駆動の要否、能率、価格等) = 対象原木径級の決定が、関連する重要課題となる。

単板乾燥工程

本システムでは、乾燥前段をロールドライヤーによることにしたが、カラマツのように辺材・心材両単板の初期含水率の差が大きく、両者を同一ロットで処理することが適当でない場合がある。原木天乾などの効果、切削単板の乾燥前の仕分け、あるいは混合乾燥後の未乾燥単板のリドライシステムなど、いずれが適切であるか検討を要する。仕分けた単板の次工程への移行については、辺材・心材の材質差・色調差も加わり、切削における同様に工程管理と製品管理との関連で課題となる。

熱盤ドライヤーの採用は、単板品質の向上と、本製造システムの要点である自動化の面で、一応の成果をみているが、より能率的かつローコストな機構の機種開発に本格的に取り組む必要がある。今回の導入機では過大の投資となり、特に比較的小規模な工場を想定する場合には、生産上のネックになる恐れがある。テンダライジングなど、別途の処理によって、熱盤ドライヤーそのものの省略が可能であるか否かも再度検討に値する。

調板工程

本システムで採用した単板縦接合方式は、接合の確実性、次工程移行における単板の搬送・取り扱い上の作業性、ジョイント部の製品強度性能(特殊用途を除く)に及ぼす影響などについて、問題ないと判断される。しかし、本方式では、接合面の微細なすき間を完全に防止することは不可能であろう。グルーラインを意匠的に用いるような製品、高度の構造強度を要する製品等については、スカーフ、フィンガー等の接合法の適用あるいは製品に対しての補修技術などの対応が必要となろう。

高周波接着工程

現在までの検討結果は、テストプラントにより一応の水準の製品を、安定的に生産するための暫定標準を得た段階であり、更に詳細な検討により経済的最適条件を求めることが必要である。また、低価格で高周波適性の良好な接着剤、特に合板でいう特・類相当の耐水性接着剤の開発が急がれる。これらを通じての問題点として、既に述べたように、高周波加熱接着の実験的検討方法に多くの課題と問題点があり、その面での基本的な検討が望まれる。

第4章 製品の品質・性能

4.1 製品の強度性能

4.1.1 はじめに

本製造システムによるLVLは製品寸法の自由度を広範囲にとることにより、用途の多様性を一つの狙いとしている。用途開発の方向については次章に述べるが、従来の木質材料に比べ大断面、長尺の材料を製造できるという特長を生かすためには、構造的利用が重要となる。

北米におけるLVLの開発の状況をみると、その製造システムについては、既述のように、特殊例（例えばトラスジョイント社における）を除き、まだ完成されたものとは言い難いが、想定される製品について、構造用途上必要な諸強度性能については多くの研究成果が発表されており、実際に大型建築構造物^{(33) (53) (56)}、橋梁^{(55) (58)}などへの適用が試みられ、実用化の可能性が強調されている。

我が国においても、LVLの各種強度性能に関し、近年多くの研究成果が公表されているが、実用化に当たっては、建築関係法体系へ組み込まれることが前提であり、そのためには、それぞれの研究が集約整理され、この前提を満たす方向に向けられなければならない。第1章に述べたように、我が国のLVLの生産量は漸増の傾向にあるものの、造作用に限定されており、開発当初に予想された構造用途への進出が遅れている。日本住宅・木材技術センターの分析⁽¹⁰⁴⁾によれば、その理由として、構造用途への利用の試みが少ない 法的整備が遅れている 造作用の需要に限定される 高能率製造プラントの設備投資を抑える コストダウンがなされない 構造用途への開発がゆきづまるという悪循環を指摘している。

本項では、本システムの特徴である低質小径木利用により生ずる問題点に絞り、製品の強度性能への影響とその対応について論ずる。

まず、切削された単板の性質の中で、製品の強度性能への影響の予測される、裏割れについて検討した。裏割れ発生に影響する因子として

- ・ 材質差（辺心材によるもの、早晚材によるもの）
- ・ 切削径

の2点の影響が大きいと考えられる。

特に切削径が小さくなると単板の表面の裏面と長さ比が大きくなり、カール単板を平直化することにより裏割れが大きくなることになる。これは、従来の裏割れの指標である裏割れ率、裏割れ密度だけでなく、その形態の変化を伴うことになる。そこで材質差（特に辺・心材差）と切削径に注目して切削をおこない、裏割れを測定した。ついで、その単板を積層した小試験体（無欠点小LVL）の強度試験から、裏割れが材料強度に与える影響を、挽き板による積層体と比較検討した。

これらの検討結果から、辺・心材で曲げ強度に大きな差があることが判明したので、実大材において、辺・心材別に曲げ強度性を調べ、両材の混合により、強度性能がどのように変化するか、一般の欠点を持つ製材との強度比較を実施した。

4.1.2 単板の裏割れと強度性能

(1) 材料及び試験方法

供試原木は、テストプラントによる一連の製造試験に用いたと同一の美瑛産のカラマツ丸太より、偏心の少ない、直径20cm前後（年輪数18～22）のもの4本を選んで用いた。

単板の切削は、切削厚4mmとし、同一調木材についてスピンドルの中心から、)5～6cm

の心材部，)9~10cmの辺材部，及び同一原木の別の調木材から，)第4.1図に示すように，末口径22cmの原木を1/4円に分割しスピンドル中心からの距離5~6cmの辺材部，のように区分して採材した。

単板)，)，)は比較因子として

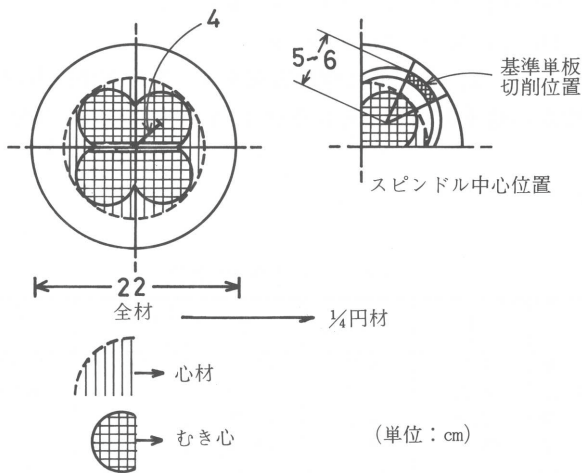
)と) 辺・心材と材質差があり，それぞれの切削径も異なる。

)と) 切削径は等しいが，辺・心材と材質差がある。

)と) 辺材であって，切削径が異なる。

の関係を検討する。

)では第4.1図に明らかなように，スピンドル中心位置と，原木の中心が約4cmずれており，両中心を結んだ線に対し，大きな角度まで切削すると，年輪方向に対する切り込み角度が，実際の小径木を切削する場合とは相違する。従ってなるべく小角度範囲内から試験片を採取することが望ましいが，限度がある。今回の試験では，必要な単板長さを予測して，原木中心とスピンドル中心を結ぶ片側20°までの範囲を試験体として採取した。切削の状態を写真4.1~4.2に示す。



第4.1図 1/4円材の単板切削位置



写真4.1 1/4円柱材の採材 - 試験条件 及び

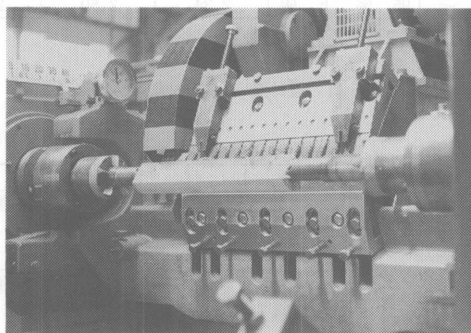


写真4.2 1/4円材の切削状況

1/4円調木材は24本作製し、原木中心位置をにらみ、18本について切削した。単板は各材、内・中・外層から3本抜き取り、1/3を裏割れ測定用、他を強度試験用とした。それぞれの単板は無節の部分を選んだ。通常に切削した()、()については、6本の調木材より、材1本当たり2枚宛抜き取り、裏割れ測定及び強度試験に用いた。裏割れ測定は常法によった。

素材積層に用いる挽き板は、丸太を髓を通して幅10cmの板に挽き、人工乾燥後、樹皮側から単板厚と同一の4mm厚で切片を切り出し、無欠点部分より220mm長さの板を採取した。髓からの距離により、()心材及び()辺材とした。

上記無欠点単板および挽き板を積層接着し、曲げ試験に供した。接着には、酢ビ系接着剤を用い、接着剤による補強効果を最小限に止めるようにした。

単板の積層は3プライとし()12体、()10体、()12体作製したが、接着面の粗さにより接着不良を生じたものがあり、試験体はそれぞれ11、7、9体となった。挽き板の積層は3プライとし、各原木、辺・心材2体宛合計16体である。

単板積層の場合、なるべく裏割れ本数が多く入るよう積層幅を広くとつたため、挽き板の積層幅との差を生じた。各試験体寸法は、

挽き板積層材 200(L) × 8(T) × 12(R) 単位：mm

LVL 250(L) × 10(T) × 12(R)

である。ここに(R)、(T)は、便宜的に積層方向をR、接着面平行方向をTとした。

曲げ試験は、LR面から荷重を加え、それぞれ1/h=20として、3点荷重による曲げをおこなった。

(2) 結果及び考察

第4.1表 カラマツ単板の裏割れ

項目	試験条件	I	II	III	I・II プール	I・III プール	I・II・III プール
裏割れ率 (%)	平均値	71.15	58.73	71.53	64.94	71.29	
	標準偏差	6.34	8.77	6.50	9.87	6.94	
	最大値	82.50	70.20	82.60			
	最小値	63.70	44.50	58.30			
	変動係数(%)	8.9	14.9	9.1	15.2	9.7	
	95%上限	83.57	75.91	84.17	84.30	85.21	
95%下限	59.72	41.54	58.69	45.50	58.00		
裏割れ密度 (本/cm)	平均値	3.23	3.80	3.33	3.52	3.28	3.45
	標準偏差	0.453	0.663	0.423	0.635	0.433	0.529
	最大値	3.60	4.80	4.60			
	最小値	2.40	3.00	2.80			
	変動係数	14.0	17.4	12.7	18.0	13.1	15.5
	95%上限	4.12	5.10	4.15	4.76	4.15	4.44
95%下限	2.34	2.50	2.50	2.28	2.46	2.37	

註) 試験条件 I 心材部 通常切削
II 辺材部 ◯
III 辺材部 1/4円材切削

第4.2表 裏割れの要因分析

項目	要因	φ	t
裏割れ率	材質と切削径 I : II	10	2.557*
	切削径 II : III	21	3.567*
	材質 I : III	21	0.086
裏割れ密度	材質と切削径 I : II	10	1.577
	切削径 II : III	21	1.906
	材質 I : III	21	1.337

注) * 危険率5%で有意差あり

3種の単板の裏割れ率及び密度を第4.1表に示す。裏割れ率及び密度について、それぞれ、平均値の差に関し、t検定をおこなった結果を、第4.2表に示す。

裏割れ率については、危険率5%で、i)とii)及びii)とiii)に有意差が認められているが、i)とiii)では有意差が認められない。この結果は、切削径が小さくなるにつれて、深い裏割れが入りやすいことを示しており、辺・心材による差異は認められない。

裏割れ密度について、3者の間に有意差は認められない。

裏割れ率は切削径が小さくなると増加するようにも思えるが、他の因子の影響も考えられいまだこの点に触れた報告例はない。ここでは一応その傾向は認められるものの顕著とはいえず、本試験範囲で単板品質として論ずるなら、問題となるような大きな差ではないと思われる。従って、単板の裏割れは辺・心材の差及び切削径にかかわらず、裏割れ率で60~70%、密度で3~4本/cm程度とみるのが妥当であろう。

裏割れによる強度低下を明確に知るため、強度試験の結果をはりせい15cmの曲げ強さにASTM¹⁰⁵⁾の補正係数 $\{F = (5/h)^{1/9}\}$ を用いて換算した。その結果を第4.3表に示す。辺・心材を込みにした挽き板積層材の強度は、曲げ強さ及びヤング係数とも木材工業ハンドブック¹⁰⁶⁾に示されている平均値と下限値はほぼ等しい。挽き板積層材及びLVLの辺・心材による平均強度値の低下割合はほぼ等しく、心材部は辺材部に対して、曲げ強さで75%前後、ヤング係数で62%前後である。挽き板積層材とLVLの強度差は辺・心材でほぼ等しく、LVLは挽き板積層材に対して、曲げ強さで85%前後、ヤング係数で95%前後になっている。強度に対する裏割れの影響は、曲げ強さを15%前後、ヤング係数を5%前後低下させていると考えられる。

第4.3表 挽き板積層材とLVLの曲げ強度

		曲げ強さ (kg f/cm ²)			ヤング係数 (tonf/cm ²)		
		挽き板 A	L V L B	B/A	挽き板 A	L V L B	B/A
辺材	平均値	850	726	0.854	117	109	0.932
①	最大値	1001	847		141	140	
	最小値	698	579		97	80	
心材	平均値	630	525	0.833	72	69	0.958
②	最大値	759	651		89	89	
	最小値	500	399		59	59	
①/②	平均値	0.741	0.754		0.615	0.633	
全体	平均値	740	629	0.846	95	89	0.945

註) 曲げ強さは ASTMの補正係数ではりせい5cmに換算した値

4.1.3 実大LVLの曲げ強度性能

(1) 材料及び試験方法

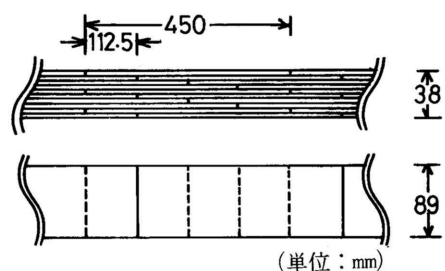
試験体は、テストプラントで常法によって切削された単板から、内周部(心材)より3枚、最外周部を除いた外周部より2~4枚(心材が含まれるものを徐く)を抜き取り、辺心材部の構成比を以下のように5種類とし、10プライ積層した。

心材: 1.0 0.7 0.5 0.3 0

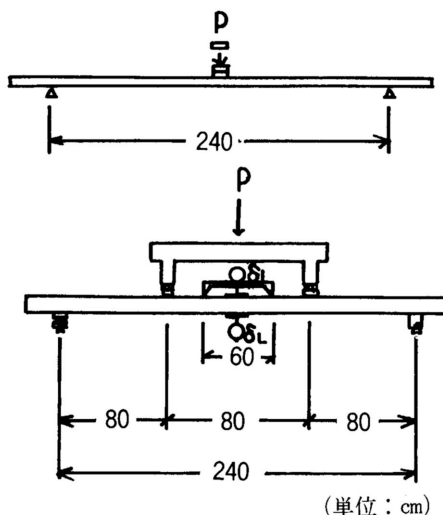
辺材: 0 0.3 0.5 0.7 1.0

辺心材単板はランダムに配置し、積層接着剤はユリア樹脂接着剤を用いた。

試験体の形状を第4.2図に示す。パットジョイント(以下B.J.という)は3層おきで、隣接するB.J.の距離は11.25cmである。断面寸法を204材と予定したが、単材の乾燥及び圧縮に



第4.2図 カラマツLVL実大試験体の積層方法



第4.3図 LVL実大材の曲げ試験方法

第4.4表 カラマツLVL実大材の曲げ試験結果

配合比 辺材：心材	項目	平均値	標準偏差	変動係数 (%)	最大値	最小値	95% 下限値
全体	比重 γ	0.535	0.016	3.0	0.568	0.513	
	曲げ強さ σ kg f/cm ²	356	88	24.6	537	229	184
	曲げヤング率 Ee tonf/cm ²	111.0	15.2	13.7	144.6	87.8	81.1
	Eedge $\%$	110.4	13.1	11.9	134.2	87.7	84.7
	Eflat $\%$	105.7	12.0	11.7	127.6	85.8	81.5
1 : 0	比重 γ	0.551	0.011	2.0	0.568	0.528	
	曲げ強さ σ kg f/cm ²	467	42	8.9	537	399	386
	曲げヤング率 Ee tonf/cm ²	127.3	8.6	6.9	144.6	116.0	110.5
	Eedge $\%$	124.6	5.5	4.6	134.2	114.6	114.8
	Eflat $\%$	120.0	4.6	4.0	127.6	108.3	111.0
比例限比 pp/p	0.762			0.879	0.700		
7 : 3	比重 γ	0.527	0.002	0.3	0.529	0.525	
	曲げ強さ σ kg f/cm ²	357	21	6.6	379	319	316
	曲げヤング率 Ee tonf/cm ²	115.6	4.6	4.4	121.6	109.6	106.6
	Eedge $\%$	113.8	2.4	2.3	116.8	109.6	108.1
	Eflat $\%$	101.0	2.1	2.0	104.1	98.4	96.9
比例限比 pp/p	0.800			0.853	0.766		
5 : 5	比重 γ	0.546	0.002	0.4	0.549	0.543	
	曲げ強さ σ kg f/cm ²	344	25	8.3	363	295	295
	曲げヤング率 Ee tonf/cm ²	118.7	2.9	2.7	122.1	114.4	113.0
	Eedge $\%$	116.2	1.9	1.8	118.0	112.7	112.4
	Eflat $\%$	113.4	2.3	2.3	116.5	111.0	108.9
比例限比 pp/p	0.840			0.894	0.776		
3 : 7	比重 γ	0.517	0.003	0.6	0.521	0.514	
	曲げ強さ σ kg f/cm ²	298	11	4.2	312	278	276
	曲げヤング率 Ee tonf/cm ²	99.4	4.8	5.4	107.3	94.5	90.0
	Eedge $\%$	101.2	3.6	3.9	105.8	95.9	94.1
	Eflat $\%$	92.5	3.1	3.7	96.0	87.3	86.4
比例限比 pp/p	0.883			0.949	0.860		
0 : 1	比重 γ	0.525	0.012	2.3	0.565	0.513	
	曲げ強さ σ kg f/cm ²	272	27	10.4	326	229	217
	曲げヤング率 Ee tonf/cm ²	94.9	3.6	3.9	100.2	87.8	87.8
	Eedge $\%$	96.3	4.6	5.0	102.5	87.7	87.7
	Eflat $\%$	95.0	4.8	5.2	101.7	88.8	85.6
比例限比 pp/p	0.944			0.988	0.888		

Ee：モーメント一定区間のエッジワイズのたわみ Eedge, Eflat：全スパン間のたわみ

よる目減りにより、積層厚方向の寸法が若干小さめである。

曲げ試験は、水平方向（平使い）で重錘法により剛性試験をおこない、その後垂直方向（縦使い）で3等分点2点荷重方式で破壊試験をおこなった。第4.3図に方法を示す。試験体数は、辺材及び心材のみ各15体、辺・心材混合のもの各5体あてとした。

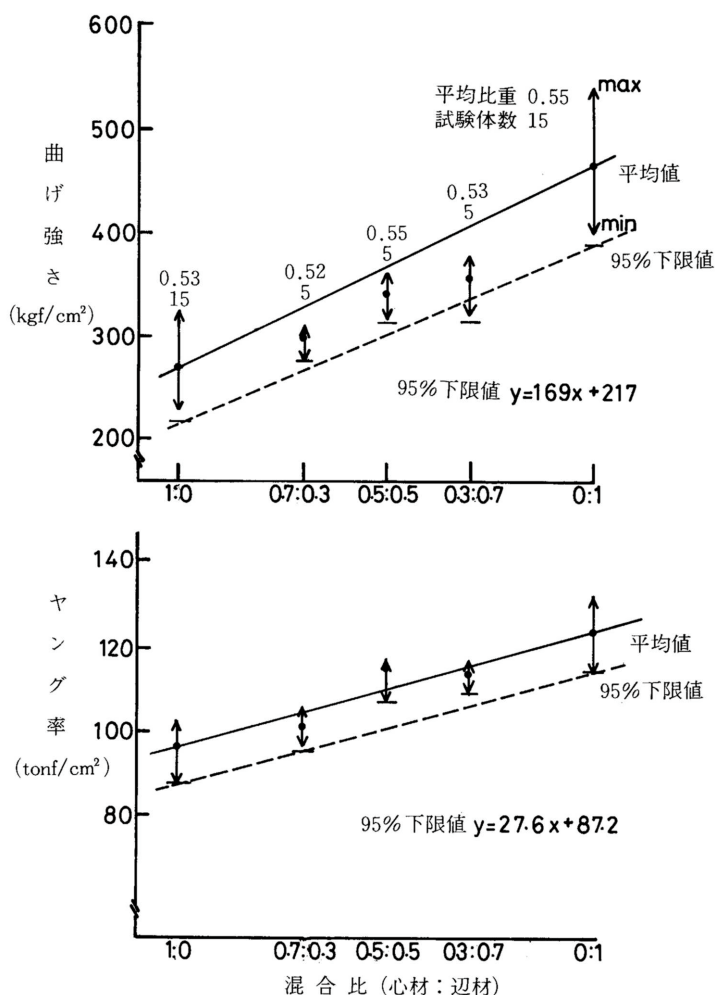
(2) 結果及び考察

曲げ試験結果をまとめて、第4.4表に示す。

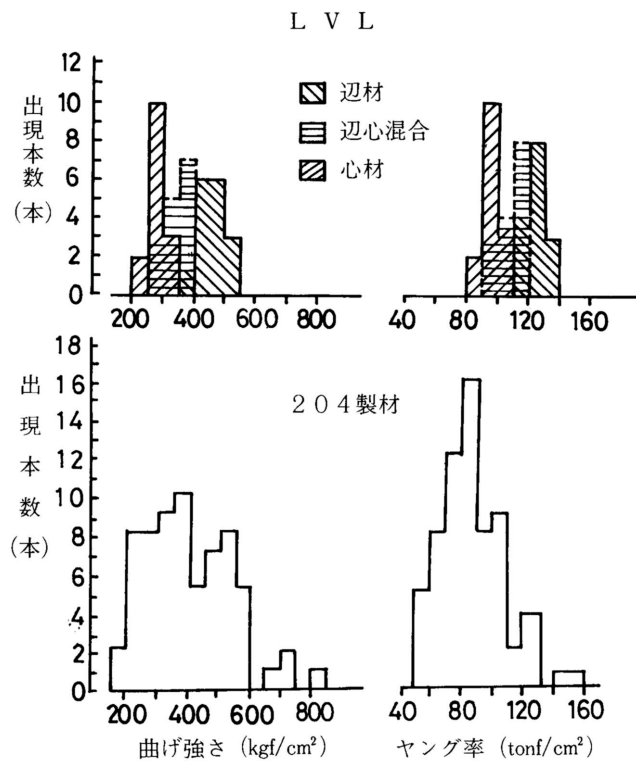
曲げ破壊の形態は、荷重点間でB・J.が3層ある所から、隣接するB・J.につながる形で破壊した。辺材のみの場合は、多少ねばりを持った通常の曲げ破壊に近い形態で破壊したが、心材のみの場合はねばりのないぜい性破壊の様相を呈した。しかし、どちらの試験体についても、ねばりは少ない材料といえよう。特に心材のみでは、荷重-たわみ曲線が直線域のうちに破壊した。

辺・心材の混合比別の性能を第4.4図に示す。

曲げ強さ及びヤング率は、辺材の割合が増すにつれて、直線的に高くなる傾向が認められる。心材のみの場合と辺材のみの場合を比較すると、平均で曲げ強さ1.7倍、ヤング率1.3倍程度を示す。各混合比を一緒にした場合の曲げ強さ全体をみるとかなり広範囲の分布を示すが、各混合比別にみた場合の分布は、変動係数4.2～10.1と小さく、材料管理によってバラ



第4.4図 辺心材、混合比とLVL曲げ強さ及びヤング率(実大材)



第4.5図 カラマツ204製材とLVLの強度分布

ツキの少ない製品をうる可能性を示す。

製材との比較及び許容応力度に関して考察を試みた。カラマツの204材（気乾）とLVLの強度分布を第4.5図に示す。カラマツ製材の値は倉田107)らのデータを引用した。

製材の場合は、強度性能に与える節の影響が大きく、強度分布は、無欠点に近い強いものが多少存在するが、それらを除いてもかなり広範囲に分布し、曲げ強さ180～600kgf/cm²、ヤング率50～160tonf/cm²である。これに対しLVLの場合は、節が分散されるためバラツキが小さくなっている。試験体全体をみると、曲げ強さは200～550kgf/cm²で、製材全体のバラツキの内に入っており、ヤング率は製材に比較して、全体的に大きいことが認められる。辺材のみ、混合、心材のみを分けて見ると、その分布範囲は小さくなり、最大値は決して大きくはないが、材料性能を考える上で非常に有利である。

枠組壁工法用製材の日本農林規格⁽⁸⁾を用いて、実大LVLで得られた強度性能が、どの程度の所に位置するかを検討してみた。

中小径カラマツ材は、既存のデータでは、日本農林規格のS のS - P - F樹種群としたほうが良いという考え方もあるが、ここではHem - Tam樹種群として検討してみた。Hem - Tam樹種群の短期曲げ許容応力度sfbとヤング率Edは、つぎのようになっている。

甲種枠組材について

特級 sfb = 260kgf/cm², Ed = 100tonf/cm²

1級	220 "	100 "
2級	180 "	90 "
3級	100 "	80 "

95%下限値を用いて許容応力度を求めた。通常の製材，集成材等では，比例限度値（破壊値の％に相当）を用いているが，LVLの比例限度と破壊強度との比は非常に高く（0.75～0.98），ねばりがないもろい破壊を示すため，ここでは比例限度を用いず，破壊値の下限値の％を採用した。その結果はつぎのとおりである。

辺：心	sfb kgf/cm	Ed tonf/cm ²
1.0：0	257	114
0.7：0.3	213	109
0.5：0.5	197	112
0.3：0.7	180	94
0：1.0	145	88

ここで示された値から，辺材のみの場合特級なみ，心材が混合された場合は，混合比によるが，1～2級，心材のみの場合は3級に位置づけるのが妥当であろう。

LVLは製材の特級から3級の範囲に入り，それぞれの等級に必要な性能値を，辺・心材の分離という製造工程中の一過程の中で，自由に計画的に造り出すことが可能な材料であることを示唆している。

4.1.4 まとめ

LVL製品の構造用途への利用開発を目的とした，強度性能に関する研究は，全国的に組織的な検討段階にあるが，ここでは，本製造システムの特徴である，小径木利用によって生ずる問題点に絞り，製造条件が製品性能に与える影響と，それらへの対応について，検討を加えた。

小径材から切削された単板の性質の中で，製品の強度性能への影響の予測される，辺・心材の材質差及び裏割れについて検討した。

裏割れに影響する因子として，辺・心材の材質差及び切削径を取り上げて切削試験をおこない，裏割れ率について，辺・心材の材質自体に基づく差はなく，切削径が小さくなるにつれ増大の傾向を認めたと，その差は顕著とは言い難い。

LVLの曲げ強度性能を挽き板積層材と比べると単板の裏割れによる低減によって，曲げ強さで85%，ヤング率で95%程度であるが，切削条件の差に基づく裏割れ率の差は，強度には余り影響が認められない。

心材によるLVLは，当然辺材によるものに比べ，強度性能の低下がみられるが，低減については素材とほぼ同等で，曲げ強さで，平均的に辺材は心材の約1.4倍程度となっている。

更に辺・心材の混合比を変えた，実大のLVLについて強度試験をおこなった。

曲げ強さ，ヤング率ともに，混合比に対応し，直線的な変化がみられ，材料管理による製品管理の可能性を示す。

実大LVLの強度性能を，製材品と比較すると，曲げ強さは製材とほぼ同一で，ヤング率は大きい。曲げ性能について，枠組壁工法用製材の日本農林規格により，強度性能を評価してみると，SIのHem - Tam樹種群としての評価は，辺材のみで甲種枠組材1～2級，心材のみで同3級に位置づけされる。

4.2 製品の吸水・吸湿性能

4.2.1 はじめに

LVLの特性を生かした利用開発に当たって，製品に要求される性能は，前項の構造用材

料としての性能と並んで、外装用材料としての性能は不可欠の要件である。従って、外装用材として適正な材料設計および施工基準を確立するために、製品の吸水・吸湿性能を把握し、必要に応じ二次加工による性能改善をはかることが必要である。

特に本製造システムによるLVLは、単板の裏割れ、プレス圧縮による単板の圧密、バットジョイントの頻度などが大きく影響し、素材に比べ吸水・吸湿性の増大と、付随して膨潤の増大が予測され、それらへの対応について十分検討しておく必要がある。

そこで本節では、まず単一材とLVLの吸水量、吸湿量及び膨潤量の大きさを比較し、吸水および膨潤のメカニズムについて、多少の検討を加えた。

その結果、本システムによるLVLは、素材に比べ、吸水性及び膨潤性がかなり大きいことが判明したので、これらに対する改善方法として

- ・ LVL基材にWPC化処理を施す
- ・ 表面処理として、塗装（未処理及びWPC化したLVL基材に対し）を行う

の2種類についてその効果を検討した。

4.2.2 吸水・吸湿及び膨潤試験

(1) 試験体及び試験方法

LVLの試験体は、テストプラントにより、常法で製造されたカラマツLVLを用いた。

辺・心材の分離はおこなわず、混合比は、辺材：心材=6～4：4～6の範囲である。

単一材試験体は、心材部で完全な柁目面が採取出来るものを用いた。

試験は全面吸湿試験、各面吸水試験、最大膨潤試験及び大形ブロックによる吸水試験をおこなった。

- ・ 全面吸湿試験

JIS Z2105に準じておこなった。温度 20 ± 1 ，湿度 $65\% \pm 5\%R.H.$ の恒温恒湿室内に放置し、恒量に達した後、温度 40 ± 1 ，湿度 $90\% \pm 2\%R.H.$ の恒温恒湿槽に入れて、恒量に達した時の重量及び寸法を測定し、その後全乾重量を測定した。

- ・ 各面吸水試験

JIS Z2104に準じておこなった。

最大膨潤試験

全面吸湿試験と同一の試験体を、全面開放で 20 ± 1 の水に入れて、膨潤が最大になるまで随時、重量及び寸法を測定し、膨潤が最大に達した後、全乾重量及び寸法を測定した。

全面吸湿試験、各面吸水試験はLVLのみ（接着剤はユリア樹脂接着剤、フェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤）、最大膨潤試験はLVL（フェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤）及び単一材についておこなった。試験体は各10体あてである。

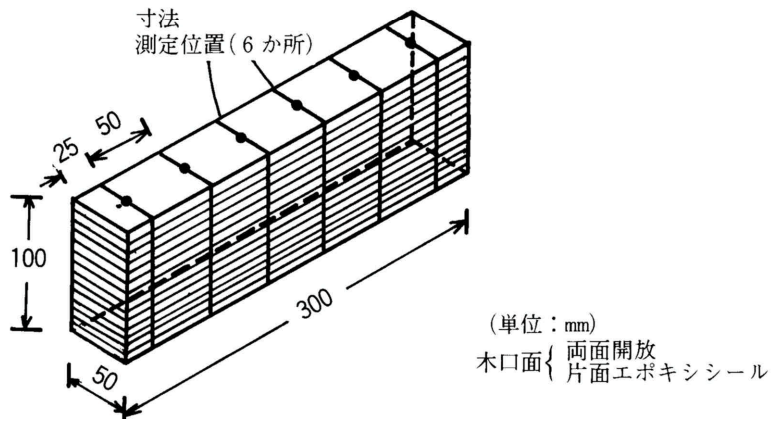
大型ブロックによる吸水試験

実用サイズの寸法を考慮して $100(R) \times 50(T) \times 300(L)$ mmの試験体寸法で、 20 ± 1 の水に入れ、第4.6図に示す位置6個所の寸法と重量を、一定時まで随時測定し、その後全乾重量を求めた。測定時間は単一材で240時間、LVLで14時間である。LVLはユリア樹脂接着剤のものについて実施した。試験体は、木口片面をエポキシ樹脂でシールしたものと、両面開放のもの2通り、試験体は各5体とした。

(2) 試験結果及び考察

各面吸水量及び含水率1%当たりの膨潤率(R, T)の結果を第4.5表に示す。ここでカラマツ素材の値は、木材工業ハンドブック⁽¹⁰⁶⁾より引用した。

LVLの各面吸水量をみると、フェノール変性レゾルシノール樹脂とユリア樹脂の両接着剤の差はほとんど認められず、各面とも吸水量にかなりのバラツキがみられる。LVL吸水



第4・6図 大型ブロック吸水試験体及び寸法測定方法

第4.5表 カラマツLVLの各面吸水試験結果

	各面吸水量 (g)			1%当り膨潤率		比重	初期含水率 (%)
	木口	柁	板	β_T (%)	β_R (%)		
レゾ	平均値	0.963	0.137	0.086	0.26	0.28	0.50
	最大値	1.222	0.188	0.100	0.35	0.38	0.54
	最小値	0.732	0.094	0.077	0.21	0.23	0.46
ユリア	平均値	0.890	0.139	0.073	0.27	0.38	0.54
	最大値	1.174	0.206	0.099	0.30	0.44	0.57
	最小値	0.698	0.073	0.052	0.28	0.34	0.49
単一材*		0.148	0.039	0.042	0.28	0.18	0.56

註) * : 木材工業ハンドブックの値を引用

量を単一材と比べると、平均値でみた場合、木口面で6倍強、R面で3.5倍強、T面で2倍弱を示し、非常に大きいといえる。

木口面では、水分の侵入に対し、裏割れが直接関与していると考えられ、特に水分を吸収してゆく過程で、裏割れの解放、立ちあがりが見られる。

R面及びT面を比較してみると、R面では目ぼれやケバ立ち、バットジョイントなどが、吸水量の増加に関連していると考えられ、一方T面では、接着層が水の侵入を防止すると考えられる。

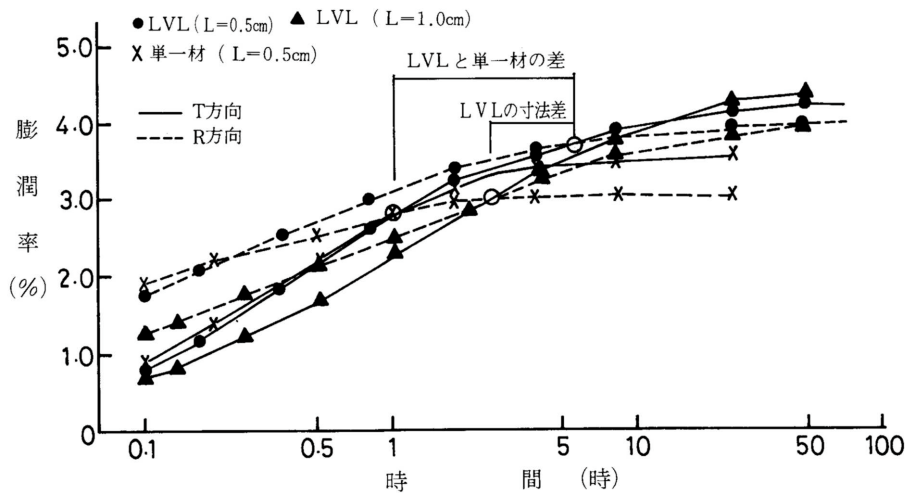
これらの点から、単一材に対し特にR面吸水が大きくなることは妥当であろう。

LVLの含水率1%当たりの寸法変化率は、T方向で単一材なみであり、接着剤による差は認められない。一方R方向では、単一材に対しフェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤で1.5倍強、ユリヤ樹脂接着剤で2倍強の寸法変化率を示している。

単一材と比較した場合、裏割れにより材内の吸着表面が多くなり、1%当たりの体積膨潤率が大きくなるものと考えられる。吸着による膨潤の異方性は、単一材と異って、接着剤で拘束されるT方向より、スプリングバックなどによりR方向の膨潤が大きくなるものと考えられる。

R方向における接着剤間の差は、その耐水性の差によるT方向の拘束への保障とも考えられるが、接着剤の裏割れに対する浸透性の差も考えられ、その原因については本試験結果では解析しえず、推定に止る。吸・脱水の繰り返しを与えることにより、接着剤による差の原因は解明されよう。

初期含水率9~10%から、一定時間吸水させ、含水率を増加させてゆく過程において、R



第4.7図 最大膨潤試験における試験体膨潤経過

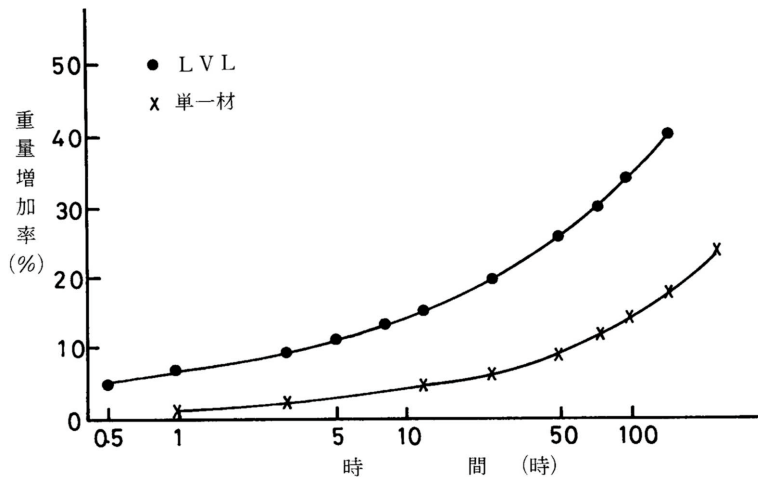
方向とT方向の膨潤曲線を第4.7図に示す。単一材，LVLともに，吸水初期でR方向の膨潤率が大きく，時間の経過とともにT方向との差がなくなり，長時間でその関係が逆転している。試験体が大きくなると，逆転する時間が短時間側に移動している。

単一材については，T方向の膨潤は3時間まではLVLと同一の形態を示し，膨潤率はその後，LVLより小さい値で平衡に達している。一方R方向では，極く短時間側（測定直後）から，LVLとは異なる膨潤形態を示し，膨潤率が平衡に達する時間が短い。

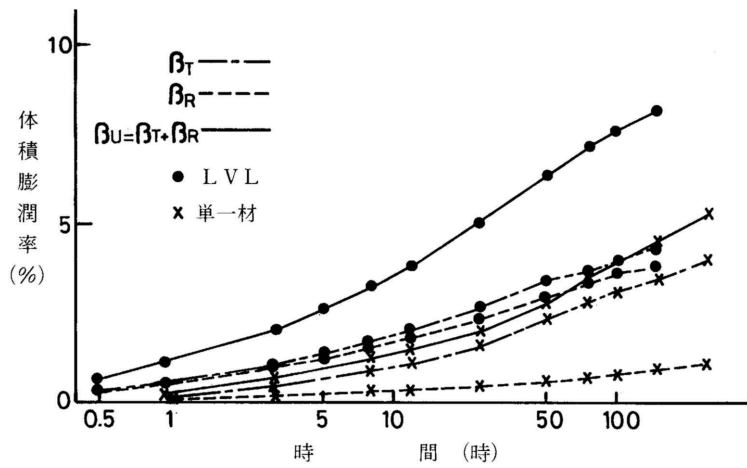
LVLにおけるR及びT方向の膨潤率の逆転現象が，単一材より長時間側で起ることは，裏割れ，スプリングバックなどで説明できる。すなわち，吸水初期の水分が裏割れ部分に侵入し，吸着されてゆく過程で，単板が圧縮された方向，R方向を押し上げるように作用してゆき，同時にT方向では通常の膨潤をしてゆくと考えられる。従って吸水初期において，R方向でより大きい膨潤を示すことになる。

試験体が長くなると（0.5 1.0cm），逆転時間が短時間側に移動しているが，この点は吸水面（木口面）からの，測定点の距離の差によって生じたものと考えることが可能である。

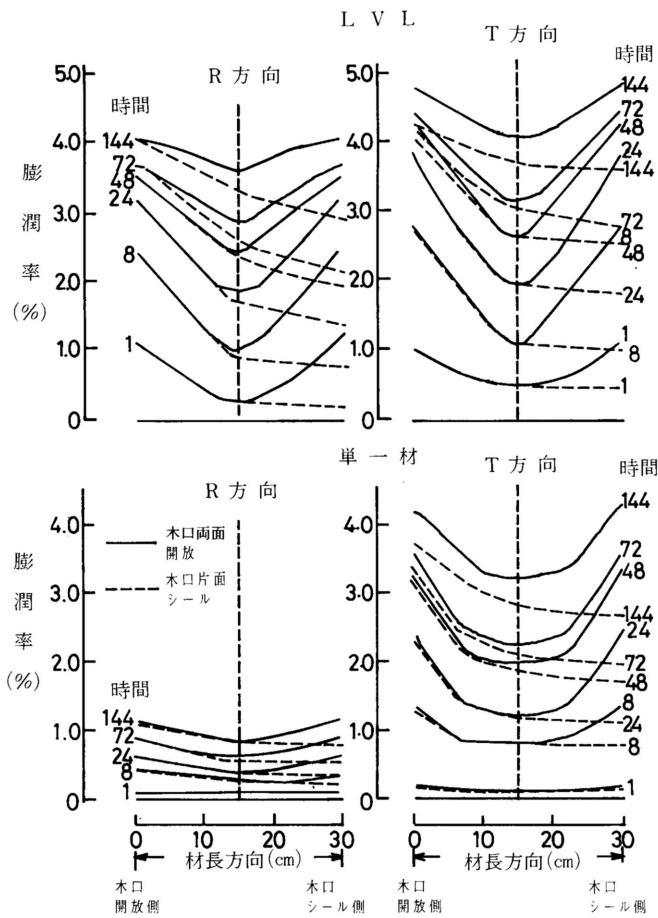
大型ブロック試験体における，単一材及びLVL（木口面は両面開放）の重量増加率及び



第4.8図 大型ブロックの重量増加率経過



第4.9図 大型ブロックの体積膨潤率経過



第4.10図 大型ブロック材内の寸法増加率分布

体積膨潤率の関係を第4.8～9図に、材内の膨潤率の分布を第4.10図に示す。体積膨潤率は、試験体の平均値を採用した。

重量増加率をみると、LVLは単一材に比べて、短時間側において大きな増加率を示し、時間の経過とともに、その相対的差異は小さくなり、144時間後における重量増加率は、単一材の約2.3倍になっている。

膨潤率の差は、方向性について顕著な傾向を示し、LVLは単一材に比べ体積膨張率では約1.8倍であるが、特にR方向の膨潤率は4倍弱と重量増加率における差より更に大きい。

TとR方向の膨潤率の比が小試験体の場合と異なっているのは、試験体断面の差によるものと思われる。すなわち、小試験体断面は、T：R=1：1であるのに、本ブロック断面は1：2であり、その効果が考えられる。

単一材をみると、R方向の膨潤率は、T方向に比較して1/4程度になっているが、LVLではR方向とT方向の差は少ない。

第4.10図は材内の膨潤率を示したものであるが、実線で示したものは木口両面開放、破線は片面シールしたものである。エポキシ樹脂でシールしたため、シール側の木口面サイドで、多少の寸法変化に対する抵抗があると考えられるが、2つの線の差異が、木口吸水に原因する差と考えられる。時間が経つにつれて、実線と破線との関係に、ある傾向がみられる。すなわち、単一材のR（柁目）面では変形が小さく明瞭ではないが、他のものについては、中央部で両面開放と片面開放との間に膨潤率の差が認められる。このことは、L方向に長い部材を考える場合、ある時間で木口吸水による膨潤が、どの程度の距離まで生じているのかの、一つの目安になるものと判断される。

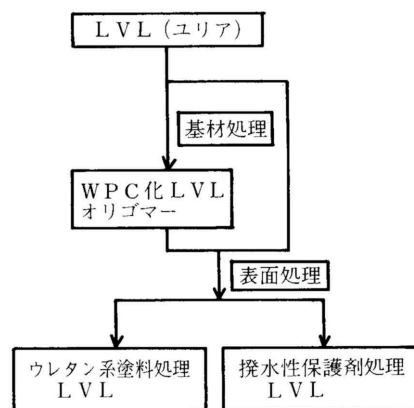
また、膨潤率の材内分布の型をみると、LVLでは、V型を示し、時間経過とともにVの傾斜が緩やかになってゆくが、単一材はU型を示し、かなり長時間同型を保持している。このことは、LVLが単一材に比べ、木口面より吸収される水の、材内への浸透が良く、同時に吸着されてゆく速度が大きいことを示している。

4.2.3 LVLの吸水性の改善

(1) 試験体及び試験方法

試験体は4.2.2項の大型ブロックによる吸水試験に用いたものと同一のものを用いた。LVLの無処理のものと、WPC化したものの2種類を基材とし（以下無処理基材、WPC基材という）、表面処理は、無処理、撥水剤塗布および塗装の3条件とした。

基材処理のフローを第4.11図に示す。



第4.11図 耐水性向上の処理条件

WPC化は、下記条件の溶液を、10～20mmHgで2時間減圧処理により注入した。

オリゴマー配合比 M8030/M5700 = 7/3

溶液配合比 オリゴマー：アセトン = 25：75の溶液に対し、過酸化ベンゾイル0.3%添加

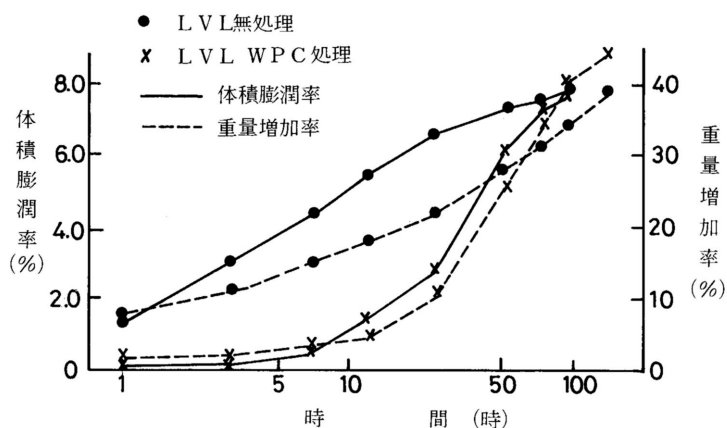
注入後、2～3日室内に放置し、溶液を除去した後、加熱重合をおこなった。WPC基材の重量増加率は20～35%の範囲内にあり、平均28%であった。

表面処理は、両基材に対して、撥水剤としてガードラック・オレンジを、ウレタン系塗装としてEPコートをそれぞれ2回塗りをおこなった。

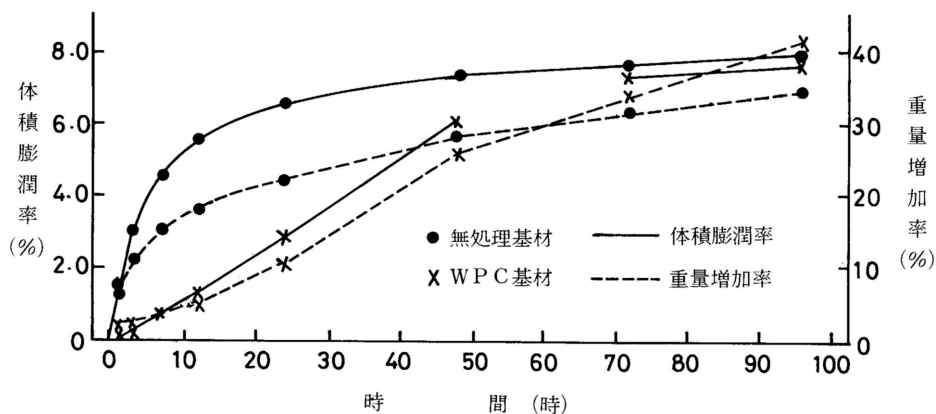
(2) 試験結果及び考察

無処理基材及びWPC基材の体積膨潤率及び重量増加率の、吸水時間に対する関係を第4.12図に示す。体積膨潤率は試験体の平均値を採用した。(a)は時間軸を対数で、(b)は実数で表したものである。

両図において、対数軸による(a)では、基材及び表面処理、無処理の吸水特性の差を明確に読みとることができる。しかしながら、10時間以降に体積膨潤率及び重量増加率の急激な上昇がみられ、時間に対してのそれらの上昇傾向が明確につかめないため、実数軸による(b)によって、基材間の比較を試みる。



(a) 時間軸：対数



(b) 時間軸：実数

第4.12図 LVL無処理基材及びWPC基材の重量増加率及び体積膨潤率

WPC基材の特徴は、無処理基材に比べて吸水初期の体積及び重量増加率が非常に小さく、10時間前後より直線的に上昇すること、重量増加率は無処理基材のものより大きくなるが、体積膨張率は小さい。しかし、96時間程度の長期になると、寸法変化にほとんど差がない。

これらのことは、吸水初期においては、WPC化により水分の侵入が抑制されていると同時に、寸法変化率が吸水量に比べ小さく、吸着速度が無処理基材に比べ小さくなっていることを示しており、寸法安定性が向上しているといえる。しかし、その限界を超えると、無処理基材のものと余り変らなくなることをも示している。今回WPC化に用いたオリゴマーが最適のものであるが否かを判断することは困難で、他のモノマーを用いることにより、膨潤性及び重量増加率に対する抵抗性を、より長時間維持させることは、可能であるかも知れない。この点については、今後検討を要する課題である。

しかしながら、いずれにしても、吸水および膨潤のメカニズムは、無処理基材と異なり、寸法の安定性が、より長時間の吸水に対して可能であることは重要である。

つぎに、表面処理について検討してみる。

無処理基材の場合、3つの表面条件について、吸水時間と重量増加率の関係を、第4.13図に示す。3者とも重量増加率曲線の形はよく似ているが、無処理、撥水剤、ウレタン系塗料処理の順で、重量増加率が抑制されてゆく形になっている。

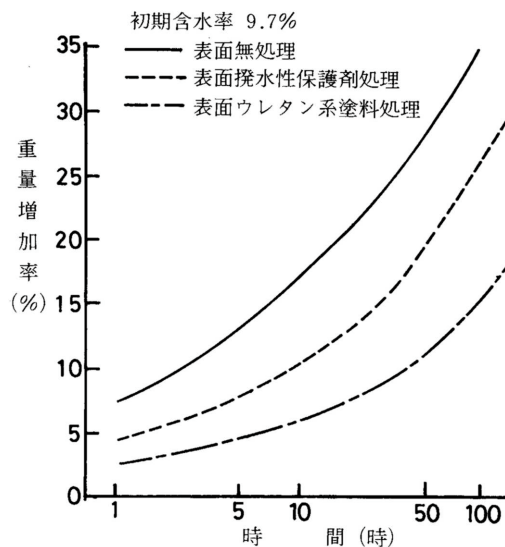
WPC基材の場合も同様の傾向が認められた。

また、無処理基材、WPC基材の両者について、体積膨潤率に関して同様の傾向が認められた。そこでそれらのうち、重量増加率の関係曲線について、短時間側で曲線の形が良く一致する点で重ね合せを試みた。その結果を第4.14図に示す。

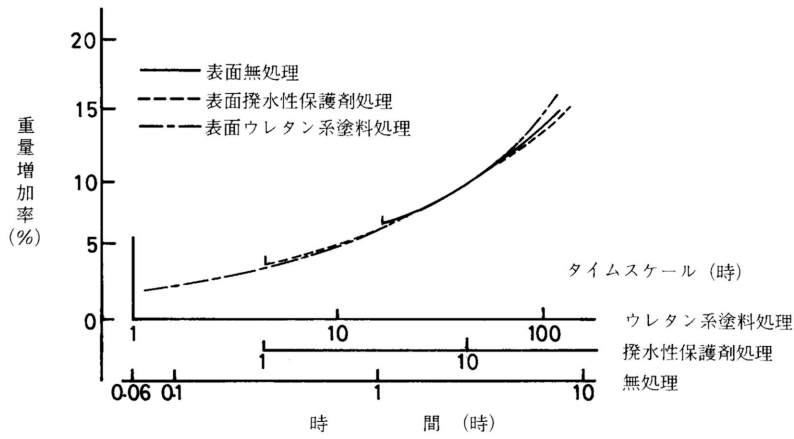
a), b) 各図の曲線は、いずれも長時間側では多少のズレが生じているが、短時間側では良好な一致をみている。

第4.15図も、同様の重ね合わせを、体積膨潤率についておこなったものである。一致度は重量増加率よりも更に良い。

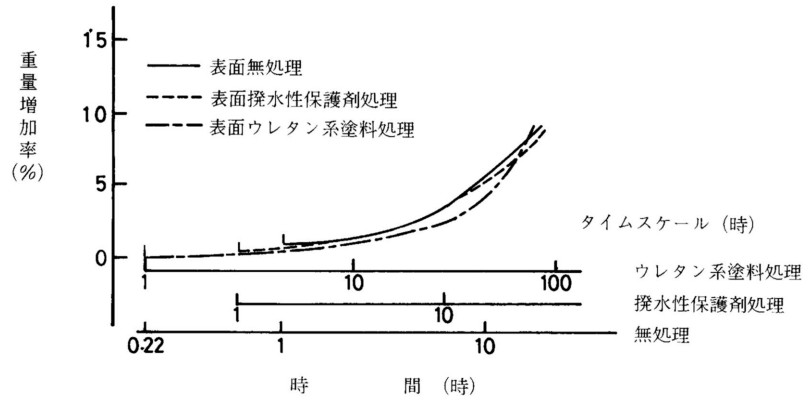
これらの図において、時間軸をそれぞれの基材の無処理にとると、第4.14図では各曲線の重ね合せの起点、第4.15図では(無) (撥) (ウ)、の位置関係は、表面無処理を基準とした、各種



第4.13図 LVL無処理基材の重量増加率

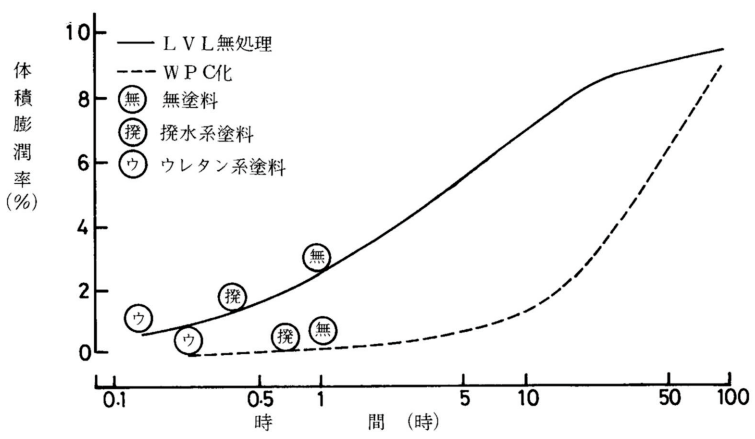


(a) 無処理基材

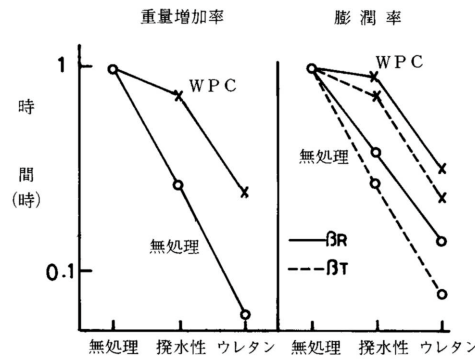


(b) WPC 基材

第4.14図 表面処理別重量増加曲線の重ね合わせ



第4.15図 表面処理別体積膨潤率曲線の重ね合わせ



第4.16図 表面処理による時間加速化

表面処理の時間効果（時間シフト量）を示す。

表面処理によるこれらの時間効果の関係を、更に第4.16図に示す。横軸は処理方法、縦軸は表面無処理材のタイムスケールである。処理による時間効果は、時間シフト量の大小すなわち、図の直線の下向度によって現される。

重量増加率および膨潤（寸法増加）率でみると、WPC基材は無処理基材に比べ、ともに時間シフト量が小さい。

重量増加率について、撥水剤とウレタン系塗料をみると、ウレタン系塗料の方が大きな効果が認められる。撥水剤は、材内の表面に吸着した形で塗膜の形成も極く薄い、ウレタン系塗料は、材表面をコーティングする形となるため、当然考えうる結果である。特にWPC基材のものについては、WPC処理そのものが、どちらかといえば撥水剤と同種の効果を持つものと考えられ、撥水剤による効果は、無処理基材のものに比べ、非常に小さいことが認められる。

寸法に対する効果についても、重量増加率に対する効果と同様の傾向を示している。積層方向（ R ）と接着層平行方向（ T ）を比較してみると、 T 方向でより大きい効果が認められる。撥水剤処理、塗膜処理をおこなった場合でも、吸水をおそくする効果が存在するだけで、吸水のメカニズムを変える効果までは考えられない。従って5.2.2に述べたように、 R 方向の寸法変化が、 T 方向の寸法変化より、短時間側で起る点から判断して、初期吸水が抑制された状態では、 R 方向に比べ、より早く膨潤が生じてくると考えられる。このことは、初期膨潤を抑制する効果が、 R 面より T 面でより大きくなることを示しており、第4.17図の結果は妥当であると考えられる。

LVLの耐水性を向上させる処理として、LVL基材のWPC化処理と、無処理基材及びWPC基材に対する表面処理とを試みたが、WPC化は吸水及び膨潤のメカニズムを改善し、最適なモノマーなどを見出せば、かなり大きな期待が持たれる。一方、表面処理は、単に吸水速度を遅らせるのみで、LVLの吸水性に対し本質的な改善にはならないが、メンテナンスを十分おこなうことにより、水分に対してかなり有効な手段になりうると判断される。

4.2.4 まとめ

テストプラントにより、常法で生産されたカラマツLVLについて、小試片による全面吸湿試験、各面吸水試験、最大膨潤試験、及び大型ブロック（100×50×300mm）の吸水試験をおこない、つぎのような結果を得た。

LVLの各面吸水量は、単一材に比べ木口面6倍、R面2倍と非常に大きい、接着剤による差は認められない。対単一材倍率で、木口面が大きい原因は主として裏割れに

より、R、T面の倍率の開きは、単板面の性状、バットジョイントなどによる吸水の増大と、接着層による水のR方向への浸透防止によるものと考えられる。

LVLの含水率1%当たりの寸法変化率は、T方向は単一材なみで、接着剤による差はなく、R方向はフェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤の場合単一材の1.5倍、ユリア樹脂接着剤の場合2倍を示す。体積膨潤が単一材より大きいのは、裏割れによる吸着表面積の増大、膨潤の異方性については、接着剤によるT方向の拘束が原因と考えられる。

吸水の時間経過に伴う膨潤曲線は、単一材、LVLともに吸水初期にR方向の膨潤が大きく、時間の経過とともにその差が減少、最終的に逆転する。LVLと単一材、R・T方向、試験体寸法などによる膨潤曲線の形態、逆転時間の相違は、前記LVL製造上の諸要因から説明可能であり、妥当な相違であった。

大型ブロックによる吸水試験による重量増加率は、LVLと単一材では異った経過を示すが、最終的にLVLは単一材の約2.3倍となった。膨潤率は両者、各方向でその傾向に顕著な差があるが、体積膨潤率でLVLは単一材の1.8倍、寸法変化率では特に差の大きいR方向で単一材の4倍となっている。T方向とR方向の膨潤率の比は単一材で1/4、LVLでは差はない。

このようにLVLは単一材に比べ、吸水性及び膨潤性に特異な差がみられ、その絶対値も大きい。これらの値を減少させ、耐水性向上の材質改善を図る方法として

- ・ LVL基材のWPC化
- ・ 無処理基材とWPC基材について、撥水剤、ウレタン塗料による表面処理

の2方法を試みその効果を検討した。その結果はつぎの通り。

WPC基材は無処理基材に比べ、初期の重量増加率は非常に小さく、10時間前後から急激に直線的に上昇すること、重量増加率は無処理基材より大きくなるが、体積膨潤率は初期に小さく、最終的に両者の寸法変化に差がみられないこと、などの特徴がある。これらのことは、WPC化により、基材内部への水分の侵入が抑制されていると同時に、寸法変化率が吸水量に比べて小さく、吸着速度が無処理基材に比べて小さくなっていることを示し、WPC処理が、吸水及び膨潤のメカニズムに変化を与えているといえる。注入する樹脂の選定により、更に吸水及び膨潤に対する抵抗性を、長時間維持させる可能性があるかと判断される。

表面処理については、無処理基材、WPC基材いずれの場合も、表面無処理、撥水剤処理、ウレタン塗装の順に、重量増加率、体積膨潤率への抑制効果が強くなるが、吸水時間に対する3者の増加曲線の形態はそれぞれについて非常によく似ており、時間軸をシフトさせることにより、重ね合わせるとかなりよく一致する。すなわち、これら表面処理の効果は、吸水をおくらせるだけであって、吸水のメカニズムに作用するには至らない。しかしながら、表面処理については、その後のメンテナンスにより、効果を保持することが可能である。

基材のWPC化と塗装の組み合わせを選定することによって、目的、用途に適応した材質改善が可能であり、今後の検討の進展が望まれる。

第5章 実用規模プラントの設計とコスト試算

5.1 歩留まりの検討

5.1.1 テストプラントによる歩留まりの検討

供試原木には、樹齢18～25年の美瑛産カラマツ間伐木から造材した、長さ3.65m、末口径14、16、18、20cm各3本宛、計12本を用いた。上記末口径は工場受入れ寸法（取引寸法）を示し、「素材の日本農林規格⁽⁹⁾」（以下、JASという）を適用している。

原木は長さ50cmに調木し、テストプラントの小径木用レースにより単板切削を行った。歩出し厚4mm、罫引き寸法46cm、裁断寸法52cmとし、剥き始め及び剥き終りの所定厚に達していない部分は除外したが、その他の単板の欠点では、特に著しいもの以外除かなかった。調木材ごとに定尺単板及び小幅単板の延べ長さを求め、これに単板厚（歩出し寸法）を乗じて生単板材積とした。また、原木受入れ時のJASによる材積及び調木実材積（各調木材の末口最小径の実測値を0.5cmに括約し、この値を直径とする円筒形の材積の合計）を求めた。これらから、末口径群ごとに受入材積及び調木実材積に対する、単板歩留まり（生単板歩留まり）を計算した。

生単板歩留まりの結果を第5.1表に示す。調木実材積に対する歩留まりについて、単板及び廃材の内訳を第5.1図に示す。

第5.1表 丸太径級と生単板歩留まり (%)

末口径級群 (受入れ、JAS) cm	14	16	18	20
対受入れ材積 %	63.6	67.6	65.3	70.4
対調木実材積 %	60.4	63.9	69.2	73.1
調木実材積/受入れ材積	1.05	1.06	0.94	0.96

注：3.65m材より長さ50cmに調木、各径級 3本21玉

原木径	ワンピース単板	小 幅 単 板 、 剥 き 芯	上 剝 毛 引 層	歩留	
14cm	60.4	5.1	17.8	10.9	5.8
16cm	63.9	9.1	13.7	7.3	6.0
18cm	69.2	11.0	15.1	12.1	6.2
20cm	73.1	7.7	3.3	9.6	6.3

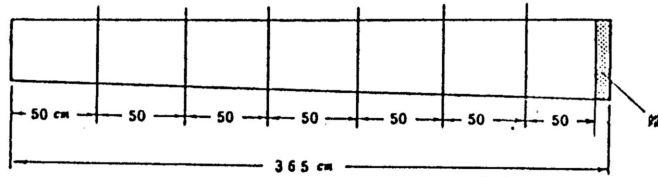
(%)

第5.1図 生単板歩留まりと廃材の内訳

第5.1表の結果をみると、調木実材積と受け入れのJAS材積に4～6%の出石または減石が生ずるため、対実・JAS両材積歩留まり間に、±5%前後の開きが認められる。コスト計算資料としては、受け入れ材積に対する歩留まりが基礎となるが、本表のままでは出石、減石に一定の傾向が認められないので、通則的な歩留まり値の推定には不十分である。そこで、出石、減石を生じた要因を分析してみる。

第5.2表に分析表を示す。末口径は、実測値は0.5cm、JAS値は2cmに括約している。実測値はJAS括約範囲の中央値より上位を示すものが多いように思われるが、供試本数が少ないため、寸検にともなう一般的な傾向が否か判然としない。受け入れ直径は、正しく測定すると値が、1径級上位に属すべきものが1本みられるが、この程度の測定ミスは常時起こりうるものと推定され、前記実測値の偏りとあわせ考えると、受け入れに関する諸条件は、むしろ出石要

第5.2表 切削用調木材の出石・減石への要因
切削用調木材の採取法



D _{1R}	14			16			18			20		
D ₁	14	14	14	16	16	18	18	18	18	20	20	20
D _M	15.0	15.5		17.5	18.0	18.5	18.0	19.0	19.0	20.0	22.0	22.0
V _{1R}												
V ₁		100			100			100			100	
V _M		100			109			100			100	
V _M		122			127			108			117	
V _{8m}		109			110			98			100	
V _{7m}		105			106			94			96	
V ₁ - V _{1R}		0			9			0			0	
V _M - V ₁		22			18			8			17	
V _{3m} - V _M		-13			-17			-10			-17	
V _{7m} - V _{3m}		-4			-4			-4			-4	
V _{1R} - V _{1R}		5			6			-6			-4	

D_{1R} 受入れ末口径 (JAS)

D₁ 正しい末口径 (受入れ後正確に測り直す : JAS)

D_M 末口径実測値 (0.5cm括約)

V_{1R} 受入れ材積

V₁ 正しい材積

V_M 末口径実測値による末口自乗法材積

V_{8m} 切削用調木材7玉と端材の実測材積合計

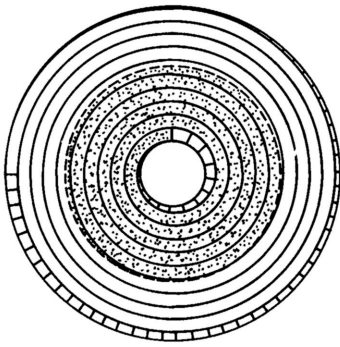
V_{7m} 切削用調木材7玉の実測材積合計

因のように思われる。表中、 $V_{7m} - V_{1R}$ は出石・減石を、下記はその要因を示す。

- $V_J - V_{JR}$ 原木の測定ミスによるもの
- $V_M - V_J$ 末口径実測値とJAS値 (括約値) の差によるもの
- $V_{8M} - V_M$ 原木の細りによるもの
- $V_{7M} - V_{8M}$ 調木時の端材によるもの

これらの要因のうち、原木の細りについてみると、すべて減石要因となっている。本供試材の細りの実測値は、材長1m当たり、直径14cm材：0.83cm (最小0.67～最大1.10)，16cm材：0.77cm (0.53～1.00)，18cm材0.97cm (0.87～1.07)，20cm材0.77cm (0.40～1.13)である。本試験における調木等の条件下で、細りによる出石・減石が0となる条件を、径級別に幾何学的に計算してみると、直径14cm材：1.53cm，16cm材：1.78cm，18cm材：1.85cm，20cm材：2.14cmとなり、本値以下の細りでは出石を生じない。後に示す道産カラマツの細りに関する調査結果から、小径木を用いる限り、細りによる出石はありえないことが明確である。また本例については、JASにおける末口径測定の括約法が大きな出石要因となっていることは明らかである。

次に、調木材1本当りについて、実際に得られた単板収量 (単板延べ長さを実測値) と、先述の単板採取条件から幾何学的に求めた単板収量計算値を比較してみる。計算方法を第



- 廃棄する単板
- 辺材単板
- 心材単板
- 辺材・心材混合単板

玉切り材 (i) の形状を末口短径を直径とする円筒形とし切削曲線を図のように仮定し、これを極座標 (r, θ) で表現すると

$$r = \frac{1}{2} D_i - \frac{t}{\pi} \theta \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 D_i = 玉切り材 (i) の末口径
 t = 切削単板厚

切削される単板のうち厚さ t 未満の部位 (図における 部) を捨て去った有効単板長 l_i は、2点

$$\left. \begin{aligned} P_1 (r_1, \theta_1) \text{ ただし、 } r_1 &= \frac{D_i}{2} \\ P_2 (r_2, \theta_2) \text{ ただし、 } r_2 &= \frac{d}{2} + t \end{aligned} \right\} \dots \dots (2)$$

の範囲内の曲線 (1) の全長である。

$$l_i = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sqrt{r^2 + \left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2} d\theta \dots \dots \dots (3)$$

(1)より、 $\frac{dr}{d\theta} = -\frac{t}{\pi}$, $d\theta = -\frac{2\pi}{t} dr$ であるから
 $u = \frac{t}{2\pi}$ とおいて解くと l_i は次のようになる。

$$\begin{aligned} l_i &= -\frac{1}{u} \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{r^2 + u^2} dr \\ &= -\frac{1}{2u} [r \sqrt{r^2 + u^2} \\ &\quad + u^2 \log(r + \sqrt{r^2 + u^2})] \Big|_{r_1}^{r_2} \dots \dots (4) \end{aligned}$$

したがって、玉切り材を円柱と仮定した場合の歩留まり A_T を求めると次のようになる。

$$A_T = t l_i B_T / \left(\frac{1}{4} D_i^2 \pi L\right) \times 100 \dots \dots (5)$$

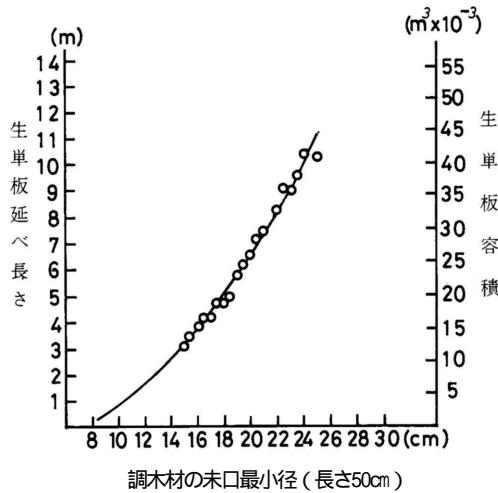
ここに、 B_T = 切削単板幅
 L = 玉切り長

長尺原木の細り率 β を考慮した全体の歩留まり A_o は次のようにあらわすことができる。

$$\begin{aligned} A_o &= \frac{L_o/L}{\sum_{i=1}^n (t l_i B_T)} / \frac{L_o/L}{\sum_{i=1}^n \left\{ (D_o + \beta(i-1))^2 \pi L \right\}} \\ &\quad \times 100 \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

ここに、 D_o = 原木の JAS 径級
 L_o = 原木長

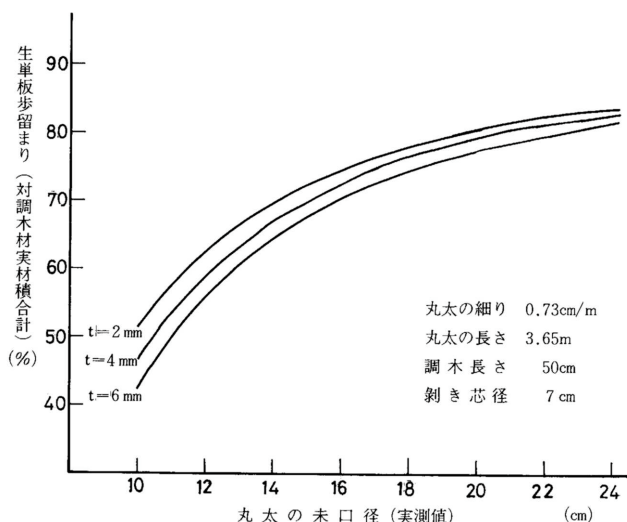
第5.2図 巻き出し線図



第5.3図 調木材からの単板収量

5.2図に示す。単枚収量実測値は、全調木材について実測値径0.5cmごとに区分し、区分ごとに平均値を求めた。実測値を曲線で、計算値を○印で第5.3図に示す。極めて精度良く合致している。単板採取条件に示した外周部単板の廃棄は、計算上は一周分であるが、実際には更に半周分以上廃棄している反面、調木材の末口径は、最小径値をとっているため、その分小幅単板が増えるなどで、相殺されるものと考えられる。このことは、丸太の末口径、長さ、細り及び採取方法から、丸太実材積に対する歩留まりをほぼ正確に推定しうることを示す。

そのような推定を行った1例を第5.4図に示す。本例は、丸太の細り0.73cm/m程度 (道産カラマツとしては、一般的な値) の原木で、造材長さ3.65mのものを、長さ50cmに調木して切削する場合について、径級別、単板厚別に生単板歩留まり値を推定している。例えば、末口径17cm (実測値) の丸太からは、単板厚4mmなら74.9%、6mmなら73.1%の生単板歩留まり



第5.4図 丸太の未口径(実測値)と生単板歩留まり(推定計算値)

りが推定される。

なお、先に示したテストプラントの運転条件では、単板の厚さ減り、製品の裁断ロスを見込んだ生単板からの収率は、

単板厚	2mm	4mm	6mm
厚さ減りにより	0.9375	0.9375	0.9210
幅の裁断ロスにより	0.9617	0.9617	0.9617
長さの裁断ロスにより	0.8846	0.8846	0.8846
合計	0.7975	0.7975	0.7835

である。従って上記例の製品歩留まりは、4mm厚単板製品59.7%、6mm厚単板製品57.3%となる。また、未口径(実測値)17cmの丸太は、JASでいう18cmの原木を代表すると考えると、受入れ材積JAS材積)に対する歩留まりは、4mm厚単板製品57.9%、6mm厚単板製品55.6%と推定しうる。

以上を通じ、受け入れ材積と実測材積の関係について、工場設立を予定する現地において、原木取引習慣の調査または取引ルールの設定、産地丸太の細りの調査などを実施すれば、上記に準じた計算により、受け入れ材積に対する歩留まりの推定は可能である。

5.1.2 道産カラマツ材の細り

5.1.1の結果は、原料丸太の細りが、単板歩留まりに大きな影響を与えることを示している。そこで、実際に道産カラマツ材をLVL原料とする場合、入荷する原木の細りは大よそどの程度の分布範囲になるか、推定を行ってみる。川口¹¹⁰⁾らは、富良野、新得、東川、東旭川、士別、幾寅、津別、浦幌の8地区のカラマツ丸太について、細りの調査を行っている。丸太の径級は、胸高直径16~62cm、地上高30cmから伐採を行って、元口から1mおきに直径を測定している。ここではこれらの測定値を基に、これら立木を3.7mに玉切り造材した場合を想定し、造材後の玉番別、未口径別に、細りを整理し第5.3表に示す。

本表の結果から、丸太の未口径を14~18cm、20~24cm、26~30cmの3階級に区分し、1~3番玉について、工場入荷原木の細りを推定整理してみると、下記ようになる。

第5.3表 道産カラマツ造林丸太の細り

(単位: mm/m)

玉番 末口径cm	1	2	3	4	5
14	5.1(4.7~5.7)	7.3(5.0~11.0)	10.8(5.5~13.8)	9.0(6.3~14.5)	18.2(10.0~18.8)
16	5.1(3.0~7.0)	6.4(4.0~8.3)	7.9(5.8~9.3)	7.7(5.3~9.0)	18.9(8.0~28.8)
18	9.0(6.0~19.3)	7.7(4.8~12.0)	9.1(5.5~13.8)	7.5(7.0~8.0)	22.5(17.0~28.8)
20	6.6(4.0~9.7)	6.4(4.8~12.3)	6.3(4.5~8.0)		
22	5.5(2.3~9.3)	8.6(6.0~11.0)	7.5(6.5~8.5)	20.5(18.5~21.0)	
24	5.9(4.0~8.0)	7.3(4.5~10.0)			21.7(7.0~26.3)
26	8.5(6.0~12.3)			25.2(17.8~32.8)	
28	4.3		13.3		
30			18.3(13.3~18.3)		

注1: 造材長さ3.65m

注2: 数値は、平均値(最小値~最大値)

末口径 (cm)	細り (単位cm/m)
14~18	0.33~0.73~1.38
20~24	0.23~0.71~1.38
26~30	0.40~1.04~1.83

(第5.3表の1~3番玉の数値を径級群別に加重平均した)

5.2 プラントの設計例及びコスト試算

LVLプラントの設計例と、コスト試算、及び合板・集成材とのコスト比較を行った。結果を⁽¹¹¹⁾⁽¹¹²⁾を第5.5図、第5.4~5.5表に示す。本例は使用原木の径級、単板切削厚等の条件を固定している。したがって、実際に予測されるこれら条件の多様な組み合わせについて、生産能力、歩留まり、設備投資額、製造コスト等がどのように変化するかについての把握が困難である。ここでは、これら条件の範囲を拡大し、若干の設計例を示すとともにコストへの影響を検討した。

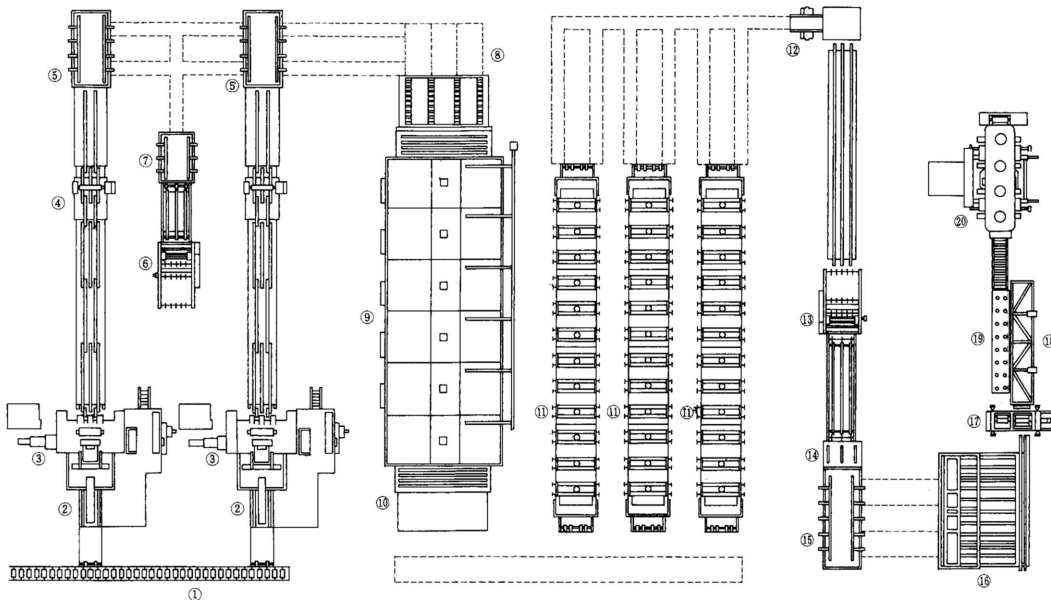
生産規模は、既報の設計例と同じく1 shift 日産16.74m³(年間生産規模は3 shift で約15,000m³となる)とした。これは高周波プレスのプレスサイクル22分(2回の分割加熱12分+冷却5分+搬出入等操作5分)によって、1 shift 19プレスの設定から決まる固定条件である。設計例として取り上げたプラントのタイプは、

- A 600mm外周駆動併用レースにより、原料丸太は直径14~18cm程度とする。
- B 1,100mm外周駆動併用レースにより、原料丸太は直径20~24cm程度とする。
- C 1,100mm普通レースにより、原料丸太は直径24~30cm程度とする。

の3タイプとした。Aタイプの工場は、単板切削厚2, 4, 6mmにより製造を行うA₂, A₄, A₆の3例, Bタイプ工場は、単板厚4, 6mmのB₄, B₆の2例, Cタイプ工場もB同様の単板厚であるC₄, C₆の2例, 合計7生産例について、機械装置の仕様決定、設備費積算及びコスト計算を行った。

コスト計算は以下の手順によった。

まず歩留まりの推定は次のように行った。すなわち、Aタイプ工場の原料丸太は、長さ3.65m, B, Cタイプ工場では2mに玉切り造材されたものを購入するとして、前者は長さ50cm7本、後者は長さ95cm 2本に調木し切削を行うことにする。つぎに、各タイプの工場の原料丸太を代表する平均的な丸太(以下、代表丸太という)を設定するが本例ではA: 16cm, B: 22cm, C: 28cm(以下、受け入れ末口径)とする。これらの代表丸太の細りは、各径級について5.1.2に示した最小~平均~最大の3階級の範囲内にあるとした。代表丸太の実測



機械装置の名称	機械装置の主な仕様	数量	所要動力 (kW)	推定価格 (千円)
ライブローラー		1	4.7	1,000
原木チャージャー		2	1.5	20,000
ロータリーレース	1100mmサイドドライブ・ダブルスピンドル式, ~ の連動制御つき	2	77.4	109,600
ロータリークリッパー	1100mm	2	15.0	18,000
スタッカー	辺心材積み分け2連式	2	6.4	12,900
生単板横はぎ装置	1100mm有寸クリッパー, テンダライザー, 内部連動制御つき	1式	15.0	30,000
スタッカー	付属			
オートフィーダー	3連式	1	6.6	6,000
ロールドライヤー	幅2000mm 3段7セクション	1	25.2	45,000
オートアウトフィーダー	幅1100mm 長さ3000mm 3連式	1	6.6	6,000
熱盤ドライヤー	幅1100mm 長さ1200mm (3000mm×4)	3	90.0	150,000
ダブルサイザー		1	3.0	1,700
単板縦つき装置	~ 連動制御装置つき	1式	11.0	12,000
トリプルソー		1	2.25	1,700
スタッカー		1	3.2	2,500
単板仕組み装置	内部連動制御つき	1式	6.35	8,000
スプレッター		1	1.5	2,600
アッセンブルスタッカー	取り出し装置つき	1	5.2	4,000
テーブルリフター		1	3.2	1,000
高周波加熱接着プレス	インフィードアウトフィードつき 高周波出力40kW×2	1	45.0 (134.5 [*])	39,000
所要動力, 金額の合計			329.1 (134.0 [*])	470,100

* () 内は高周波電気容量kVA

このプラントには主工場および主機械施設のほかに、副次的なその他機械装置（バーカー、原木切断装置、ナイフ研磨機、諸工程の運搬搬送装置、廃材・集塵・廃水処理諸装置等）、補助施設（ボイラー：3ton, 受電設備：650kVA 蒸気・電気・空気・給配水管施設等）、車両等（ショベル、フォークリフト）等、建物等（工場：27m×45m, ボイラー室, 事務所, 倉庫等建物延1,745㎡, 煮沸槽機械基礎等）が付随し、総電気容量および総投資額は次のようになる。

	電気容量 KVA	推定金額 千円
主機械装置	463.1	470.100
その他機械装置	85.8	29.600
補助施設	57.5	122.830
車両等		9.900
建物等		249.400
合計	606.4	881.830

第5.5図 LVL製造システムによるプラント化の一例 (15,000m³/年)

3Shift 稼働の場合必要工場運転員 54名 (男49, 女5), 年間原木消費約25,000m³, 製品生産量(粗ブロック) 15,000m³の規模となる。

製品単位材積当たりの製造原価は64,380円/m³, 総原価は 80,498円/m³となっている。なおこの総原価は、投資金額全額を借入れによるとして計算しており、うち4億円を自己資金とした場合は、77,844円/m³と計算される。

予想される製品の市場価格は、企業の販売方法などによってかなり異なってくるが、仮に利益10%, 流通経費60%を見込んで設定してみると、製品価格136,847円/m³または132,374円/m³となる。これは粗ブロック製品についてであって、実際には若干の加工費が付加されよう。

このプラントの生産品売上げ高は年間13億円前後の規模ということになる。

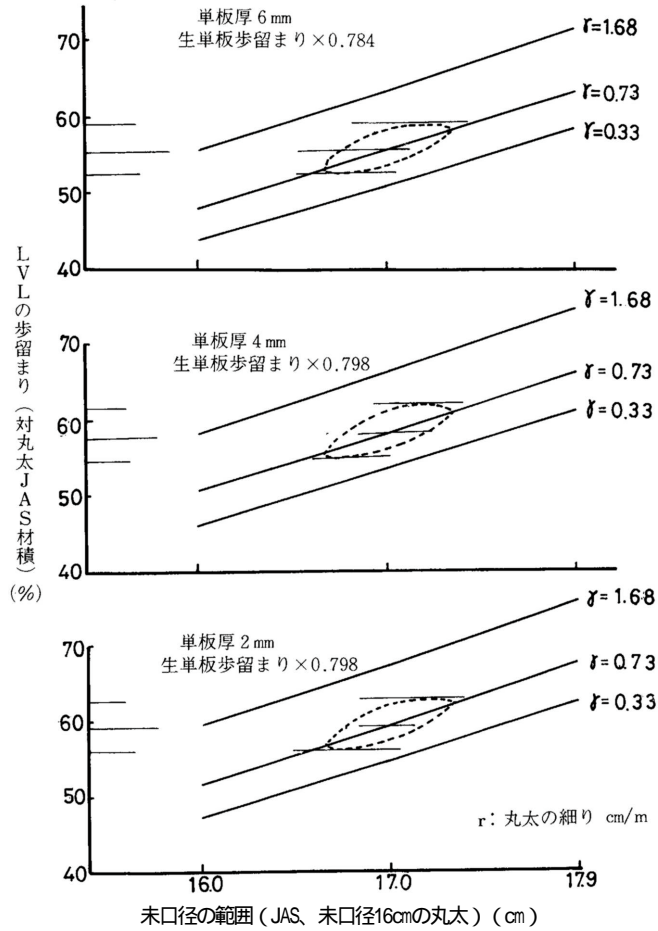
第5.4表 想定プラントによるLVL製造原価

科 目	金 額 (千円)	構 成 比		摘 要
		製 造	全 体	
原 材 料 費	569,199	60.0	48.0	
原 木	458,460			84.9m ² ×300日 @18,000
接 着 剤	101,400	20.4	16.3	696ton @150,000
副 資 材	6,339			430円/m ² (製品14,742m ²)
労 務 費	193,500			3,500円×49名、2,000円×5名
福 利 厚 生 費	19,350			4,000円×3名
消 耗 資 材 費	4,500			
減 価 償 却 費	68,236	7.2	5.8	建物0.9/20 車輛0.9/6
電 力 量	32,807	3.5	2.8	設備機材0.9/10
修 繕 料	32,779	3.5	2.8	
保 険 料	4,409			設備車輛 4% 建物 3%
そ の 他 経 費	24,312	2.6	2.8	
製 造 原 価 計	949,092	100.0	80.0	原材料労務費外経費の15%
管 理 費 販 売 費	237,605		20.0	(総費用の20%とすると)
支 払 利 息	117,878		9.9	長期 881,830千円×9.5%
公 課 金	13,227		2.9	短期 1,152,593千円 135/365
人 件 費	35,000		2.5	×8.0%
支 払 運 賃	30,000		3.5	
そ の 他 費	41,500			
総 費 用	1,186,697		100.0	

第5.5表 LVL製造原価及び合板、集成材との対比 (単位：金額円/m²、構成比%)

区 分	普通合板(ラワン合板) 12mm×90cm×180cm		集成材(構造用柱心材) 10.5cm×10.5cm×4.0m		LVL 52.5cm×45.0cm×3.65m	
	金 額	構 成 比	金 額	構 成 比	金 額	構 成 比
調 査 企 業	2社		8社			
調 査 期 間	S.55.6~56.6		S.54			
原 木 消 費 (月)	10,177m ³		挽き板 508m ³ (原木換算 1.16m ³)		2,122m ³	
製 品 生 産 (月)	7,017m ³ (360,978枚)		360m ³		1,229m ³	
人 員	330~360人 (変則二直)		29人 (一直)		54人 (三直)	
稼 働	1日 24時間 年間 294日		1日 8時間 年間 300日		1日 24時間 年間 300日	
売上金額(円)	491,925千円		46,000千円		推定 108,780千円(LVL粗ブロック)	
主 原 材 料 費	50,436	69.6	97,100	74.4	31,099	48.3
調 原 材 料 費	6,661	9.2	4,600	3.5	7,512	11.7
労 務 費	8,367	11.5	15,100	11.6	14,438	22.4
工 場 経 費	7,057	9.7	13,700	10.5	11,331	17.6
計	72,521	100.0	130,500	100.0	64,380	100.0

直径範囲3階級(末口径16cmならば16~17~18cm)及び丸太の細り3階級の組み合わせ9通りについて、先の第5.4図と同様の計算によって、単板収量及び単板の対JAS及び対調木実材積歩留まりを求め、続いて前述の製品厚さ減り及び裁断ロスに対する係数を乗じて、製品歩留まりを求めた。Aタイプ工場の代表丸太である末口径16cmの丸太についての計算結果を1例として第5.6図に示す。同図から同一の受け入れ直径寸法丸太であっても、歩留まり値は、実測直径値の上下限によって15%、丸太の細りの範囲内で12%程度の差は十分起こりうることが読みとれる。しかしながら、このことは1本1本の丸太についてみた場合のことで、多数の丸太を測定すれば、実測直径値は括約の中央値(あるいは、5.1.1の結果によれば上位に偏った値かも知れない)、丸太の細りについては平均値(第5.5図では=0.73)に収れんするものと思われる。ここでは確たる根拠に基づくものではないが、歩留まり値の収れん範囲を実測直径の中央値と細りの平均値の交点を中心とし、それぞれの範囲の1/3を囲む、点



第5.6図 歩留まり予測の一例

第5.6表 工場タイプ別・生産方式プラント設計の基準条件

原木消費量 27~36m³ (1 shift)

製品生産量 16.74m³ (1 shift)

製品粗ブロック: 積層方向52.5cm×幅46.0cm×長3.65m

人 員 男子15~20人 女子7~10人 (1 shift)

工場タイプ	A			B		C		
原料	14~18			20~24		26~30		
丸太	14~20			20~26		26~32		
条件	平均 17			23		29		
	平均細り* (cm/m)			0.71		1.04		
切削	50			95		95		
条件	7			9		13		
生産方式	A ₂	A ₄	A ₆	B ₄	B ₆	C ₄	C ₆	
单板	剥き出し厚(mm)	2	4	7	4	7	4	7
条件	プライ数(プライ)	280	140	95	140	95	140	95
	枚数(枚)	43,890	21,945	14,891	5,489	3,724	5,489	3,724
	延長(m)	22,822	11,141	7,743	5,489	3,724	5,489	3,724
所要	推定歩留まり*(%)	59.2±3	59.9±3	55.6±3	55.3±3	53.5±3	51.8±3	50.1±3
原木	所要原木数**(m ³)	28.27	28.92	30.13	30.26	31.31	32.34	33.40
量本	丸太本数**(本)	304	311	324	312	323	206	213
数等	調木本数**(本)	2,128	2,177	2,268	624	646	412	426

* 推定歩留まり中央値は、丸太の平均細りの時の値である。

** 所要原木量、丸太本数等は、推定歩留まり中央値の時の値である。

線で示す楕円形の内部にあると仮定して、その後の推定を進めることにする。歩留まり値の範囲でいえば、中心点の歩留まり値（以下、歩留まり代表値という）±3%程度となる。

一方、生産数量から必要単板数量を計算すると、定尺仕組み単板（縦接合ずみ）にして、厚さ2, 4, 6mmそれぞれ5,320, 2,260, 1,805枚が必要枚数である。

以上、A, B, Cタイプ各工場、生産各例について設計の基本条件をまとめると、第5.6表のとおりである。ここに示される原料丸太の本数、調木材本数、単板厚、単板枚数、推定含水率等から、主要機械装置の能力、仕様、寸法、台数等を導いた。

第5.7表 工場設計例

－ Aタイプ －

600mm外周駆動併用レースによる、原料丸太は末口径14～18cm程度

() 内はドライヤーのみ3 Shiftの場合を示す。

生産例 A2: 原料単板厚 2 mm の場合

	主 機 械 装 置	主 仕 様	数量	所要動力(KW)	価 格(千円)
1	ライブローラー	L=600mm	1	4.70	1,000
2	原本チャージャー	L=600mm	3	2.25	18,000
3	ロータリーレース	L=600mm	3	87.00	120,000
4	ロータリークリッパー		3	22.50	21,000
5	スタッカー	600mm×裁断 1,100mm	3	9.60	15,000
6	生単板横はぎ装置	同上組込み	1式	15.00	30,000
7	スタッカー	3連式			
8	オートインフィーダー	3.3m×3段×10セクション(4セクション)	1	6.60	6,000
9	ロールドライヤー		1	43.00(27.50)	55,000(30,000)
10	オートアウトフィーダー	幅1.1m×3m×4セクション(1.1m×3m×3セクション)	1	6.60	6,000
11	熱盤ドライヤー		4(2)	52.10(25.70)	160,000(70,000)
12	ダブルサイザー	幅 110mm	3	9.00	8,100
13	単板縦つき装置	幅 1,100mm	3	33.00	36,000
14	トリプルソー		3	6.75	5,100
15	スタッカー		3	9.60	7,500
16	単板仕組装置		1式	6.35	8,000
17	スプレッター		1	1.50	2,600
18	アセンブルスタッカー		1	5.20	4,000
19	テーブルリフター		1	3.20	1,000
20	高周波プレス		1	134.00	39,000
	計			457.95(416.05)	543,300(428,300)

生産例 A4: 原料単板厚 4 mm の場合の仕様変更

4	ロータリークリッパー	L=600mm	3	22.50	24,000
5	スタッカー		3	9.60	18,000
9	ロールドライヤー	3.3m×3段×11セクション(4セクション)	1	46.75(27.50)	60,000(30,000)
12	ダブルサイザー		2	6.00	5,400
13	単板縦つき装置	幅 1,100mm	2	22.000	24,000
14	トリプルソー		2	4.50	5,400
15	スタッカー		2	7.50	5,400
	計			118.85(99.60)	540,000(425,400)

生産例 A6: 原料単板厚 6 mm の場合の仕様変更

4	ロータリークリッパー	L=600mm	3	22.50	24,000
5	スタッカー		3	9.60	13,000
9	ロールドライヤー	3.3m×3段×12セクション(4セクション)	1	50.50(27.50)	65,000(30,000)
12	ダブルサイザー		1	3.00	2,700
13	単板縦つき装置	幅 1,100mm	1	11.00	12,000
14	トリプルソー		1	2.25	1,700
15	スタッカー		1	3.75	2,500
	計			102.60(79.00)	524,500(409,500)

- Bタイプ -

1,100mm外周駆動併用レースによる、原料丸太は末口径20~24cm程度

()内はドライヤーのみ3 Shiftの場合を示す。

生産例B4：原料単板4mmの場合

	主 機 械 装 置	主 仕 様	数 量	所 要 動 力 (KW)	価 格 (千円)
1	ライブローラー		1	4.70	1,000
2	原木チャージャー	1, =1,100mm	1	3.75	8,000
3	ロータリーレース	L=1,100mm	1	45.00	55,000
4	ロータリークリッパー	L=1,100mm 3段トレー付	1	11.25	15,000
5	スタッカー		1	5.50	7,000
6	生単板横はぎ装置	1,100mm×裁断 1,100mm	1式	15.00	30,000
7	スタッカー	同上組込み			
8	オートインフィーダー	3連式	1	6.60	6,000
9	ロールドライヤー	3.3m×3段×10セクション(4セクション)	1	46.75(27.50)	55,000(30,000)
10	オートアウトフィーダー		1	6.60	6,000
11	熱盤ドライヤー	幅1.1m×3m×4セクション($\frac{1.1m \times 3m}{\times 3 \text{セクション}}$)	4(2)	52.10(25.70)	160,000(70,000)
12	ダブルサイザー		2	6.00	6,000
13	単板縦つき装置		2	22.00	24,000
14	トリプルソー		2	4.50	5,400
15	スタッカー		2	7.50	5,000
16	単板仕組装置		1式	6.35	8,000
17	スプレッター		1	1.50	2,600
18	アッセンブルスタッカー		1	5.20	4,000
19	テーブルリフター		1	3.20	1,000
20	高周波プレス		1	134.00	39,000
	計			387.50(341.85)	438,000(323,000)

生産例B6：原料単板厚6mmの場合の仕様変更

9	ロールドライヤー	3.3m×3段×12セクション(4セクション)	1	50.50(27.50)	65,000(30,000)
12	ダブルサイザー		1	3.00	3,000
13	単板縦つき装置		1	11.00	12,000
14	トリプルソー		1	3.00	2,700
15	スタッカー		1	3.75	2,500
	計			71.25(48.25)	427,800(312,800)

- Cタイプ -

1,100mm普通レースによる、原木丸太は末口径26~30cm程度

() 内はドライヤーのみ3 Shiftの場合を示す。

生産例C4：原料単板厚4mmの場合

	主 機 械 装 置	主 仕 様	数量	所要動力(KW)	価 格(千円)
1	ライブローラー		1	4.70	1,000
2	原木チャージャー	L=1,100mm	1	3.75	8,000
3	ロータリーレース	L=1,100mm	1	39.50	50,000
4	ロータリークリッパー	3段トレイ付	1	11.25	15,000
5	スタッカー		1	5.50	7,000
6	生単板横はぎ装置	1,100mm×裁断1,100mm	1式	15.00	30,000
7	スタッカー	同上組込			
8	オートインフィード	3連式	1	6.60	6,000
9	ロールドライヤー	幅3.3m,3段,10セクション(4セクション)	1	46.75(27.50)	55,000(30,000)
10	オートアウトフィード		1	6.60	6,000
11	熱盤ドライヤー	幅1.1m×3m×4セクション($\frac{1.1 \times 3m}{\times 3 \text{セクション}}$)	4(2)	52.10(27.50)	160,000(70,000)
12	ダブルサイザー		2	6.00	6,000
13	単板縦つき装置		2	22.00	24,000
14	トリプルソー		2	4.50	5,400
15	スタッカー		2	7.50	5,000
16	単板仕組装置		1式	6.35	8,000
17	スプレッター		1	1.50	2,600
18	アセンブルスタッカー		1	5.20	4,000
19	テーブルリフター		1	3.20	1,000
20	高周波プレス		1	134.00	39,000
	計			382.00(336.35)	433,000(318,000)

生産例C6：原料単板厚6mmの場合

9	ロールドライヤー	3.3m×3段×12セクション(4セクション)	1	50.50(27.50)	65,000(30,000)
12	ダブルサイザー		1	3.00	3,000
13	単板縦つき装置		1	11.00	12,000
14	トリプルソー		1式	3.00	2,500
15	スタッカー		1	3.75	2,500
	計			71.25(48.25)	423,800(308,000)

第5.8表 工場タイプ・生産例別製造原価及びコスト

- 1 Shift操業 5,022m²/年の場合 -

工場タイプ、生産例		A ₂	A ₁	A ₆	B ₁	B ₆	C ₁	C ₆
原	木 径 (cm)	14~18	14~18	14~18	20~24	20~24	26~30	26~30
	玉 切 り 長 (cm)	50	50	50	100	100	100	100
	歩 留 ま り (%)	59.2	57.9	55.6	55.3	53.5	51.8	50.1
	単 板 厚 (mm)	2	4	6	4	6	4	6
原	木 量 (m ³)	8,481	8,676	9,039	9,078	9,393	9,702	10,020
	単 価 (円)	12,000	12,000	12,000	15,000	15,000	20,000	20,000
	金 額 (千円)	101,772	104,112	108,468	136,170	140,895	194,040	200,400
	クコスト (円/m ²)	20,265	20,731	21,598	27,114	28,056	38,638	39,904
接	着 材 料 費 (千円)	80,136	47,182	35,144	46,197	34,295	46,197	34,295
	クコスト (円/m ²)	15,957	9,395	6,199	9,199	6,829	9,199	6,829
設	備 費 (千円)							
	建 物	249,400	249,400	249,400	249,400	249,400	249,400	249,400
	車 輛	9,900	9,900	9,900	9,900	9,900	9,900	9,900
	主 要 機 械	543,300	54,400	524,500	43,800	427,800	433,000	422,800
	そ の 他 機 械	152,430	152,430	152,430	152,430	152,430	152,430	152,430
	他	955,030	952,130	936,230	849,730	839,530	844,730	834,530
減	価 償 却 費 (千円)	76,067	75,806	74,375	66,590	65,672	66,140	65,222
	クコスト (円/m ²)	15,147	15,095	14,810	13,260	13,077	13,170	12,988
作	業 員 (人)							
	男 (3,750千円/年)	20	18	16	17	15	17	15
	女 (2,000〃)	10	10	10	7	7	7	7
	職 長 (4,000〃)	1	1	1	1	1	1	1
	計 (人)	31	29	29	25	23	25	23
	(千円)	94,000	87,000	80,000	77,500	70,500	77,500	70,500
	クコスト (円/m ²)	18,718	17,324	15,930	15,432	14,038	15,432	14,038
そ	の 他 製 造 経 費 (千円)	114,642	113,401	111,156	100,278	98,147	99,952	98,079
	クコスト (円/m ²)	22,828	22,581	22,134	19,968	19,543	19,903	19,530
製	造 原 価 合 計	466,617	427,501	409,143	426,735	409,509	483,829	468,496
	クコスト 合 計 (円/m ²)	92,915	85,126	81,470	84,973	81,543	96,342	93,289

備 考

接 着 材 料 費 内 訳		18						
接 着 剤、ユリア								
塗 布 量 g/(30×30)cm ²	15	18	20	18	20	18	20	
日 額 (円)	251,018	147,747	109,505	147,747	109,505	147,747	109,505	
ホ ッ ト メ ル ト 接 着 剤 (kg)	17.0	11.0	9.4	5.5	4.7	5.5	4.7	
日 額 (円)	10,200	6,600	5,640	3,300	2,820	3,300	2,820	
接 着 糸 (m)	39,300	19,300	13,300	19,700	13,300	19,700	13,700	
日 額 (円)	5,900	2,900	2,900	2,950	2,000	2,950	2,950	

接着剤配合比 樹脂 100、充てん剤10、硬化剤 2
 材料価格 樹脂 180円/kg、充てん剤60円/kg、硬化剤90円/kg
 ホットメルト接着剤 600円/kg、接着糸0.15円/m

- 3 Shift操業、15,066m³/年の場合 -

工場タイプ、生産例		A ₂	A ₄	A ₆	B ₄	B ₆	C ₄	C ₆
原	木 径 (cm)	14~18	14~18	14~18	20~24	20~24	26~30	26~30
	玉 切 り 長 (cm)	50	50	50	100	100	100	100
	歩 留 ま り (%)	59.2	57.9	55.7	55.3	51.8	50.1	50.1
	単 板 厚 (mm)	2	4	6	4	6	6	6
原	木 量 (m ³)				15,000			
	単 価 (円)	12,000	12,000	12,000		15,000	20,000	20,000
	金 額 (千円)	305,316	312,336	325,404	408,510	422,685	582,120	601,200
	〃 コ ス ト (円/m ³)	20,265	20,731	21,599	27,115	28,056	38,638	39,904
接	着 材 料 費 (千円)	240,408	141,560	105,281	138,592	102,886	138,592	102,886
	〃 コ ス ト (円/m ³)	15,957	9,396	6,988	9,199	6,199	9,199	6,829
設	備 費 (千円)	249,400						
	建 物	9,900	249,400	249,400	249,400	249,400	249,400	249,400
	車 輛	543,300	9,900	9,900	9,900	9,900	9,900	9,900
	主 要 機 械	152,430	540,400	524,500	438,000	427,800	433,000	422,800
	そ の 他 機 械	955,030	152,430	152,430	152,430	152,430	152,430	152,432
	計		952,130	936,230	849,730	839,530	844,730	834,530
減	価 償 却 費 (千円)	76,067	75,806	74,375	66,590	65,672	66,140	65,222
	〃 コ ス ト (円/m ³)	5,049	5,032	4,937	4,420	4,359	4,390	4,329
作	業 員 (人)							
	男 (3,750千円/年)	80	74	68	65	59	65	59
	女 (2,000〃)	10	10	10	7	7	7	7
	職 長 (4,000〃)	1	1	1	1	1	1	1
	計 (人)	91	85	79	73	67	73	67
	(千円)	304,000	283,000	262,000	245,500	224,500	245,500	224,500
	〃 コ ス ト (円/m ³)	20,178	18,784	17,390	16,295	14,901	16,295	14,901
そ	の 他 製 造 経 費 (千円)	214,784	211,128	206,468	182,775	178,251	182,472	178,184
	〃 コ ス ト (円/m ³)	14,256	14,013	13,704	12,131	11,831	12,111	11,827
製	造 原 価 合 計	1,140,575	1,023,830	973,528	1,041,967	993,994	1,214,824	1,171,992
	〃 コ ス ト 合 計 (円/m ³)	75,705	67,956	64,618	69,160	65,976	80,633	77,790

備 考

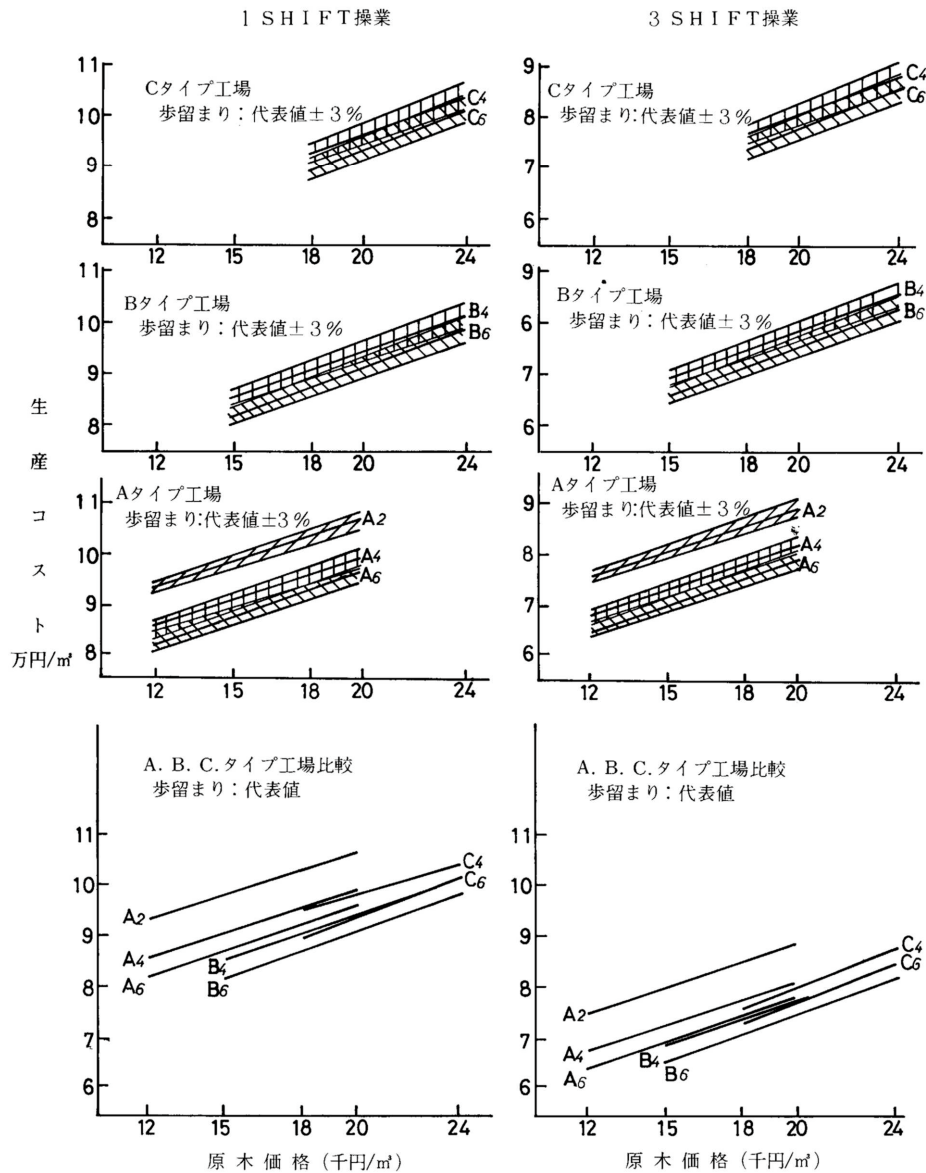
- 1) 燃料費 1 Shiftの場合補助燃料(重油)費5,236千円が必要であるが、3 Shiftでは木屑専焼により燃料費は0である。
- 2) 接着材料費は第5.8表(1)に準ず。

第5.9表 原木価格と製造コストの関係

$$y = \text{mix} + \text{ni} \quad (y: \text{製造コスト 円/m}^3 \quad \text{mi}: \text{係数})$$

$$(x: \text{原木価格 円/m}^3 \quad \text{ni}: \text{係数})$$

操業度	工場タイプ	原料 単板厚 歩留まり	2 mm			4 mm			6 mm		
			-3%	代表値	+3%	-3%	代表値	+3%	-3%	代表値	+3%
1 Shift	A	mi	11.779	1.689	1.608	1.882	1.728	1.642	1.901	1.800	1.707
		ni	72,586			64,395			59,872		
	B	mi				1.808	1.808	1.715	1.980	1.870	1.770
		ni				57,858			53,385		
	C	mi				1.932	1.932	1.825	2.123	1.995	1.883
		ni				57,702			53,382		
3 Shift	A	mi	1.779	1.689	1.608	1.728	1.728	1.642	1.901	1.880	1.707
		ni	55,420			47,225			43,021		
	B	mi				1.808	1.808	1.715	1.980	1.870	1.770
		ni				42,045			37,886		
	C	mi				1.932	1.932	1.825	2.123	1.995	1.883
		ni				41,996			37,887		



第5.7図 原木価格と生産コストの関係

コスト計算はこれら各タイプの工場例、生産例について、歩留まりは先述の歩留まり代表値 $\pm 3\%$ の範囲、原木価格は丸太の径級に応じ12,000~24,000円/m³の範囲、操業状態は1shift 及び3shift として行った。間接費については特に計算しなかったが、既試算例、第5.4表により推定しうる。以下、年間製造原価を「製造原価」といい、これを生産量で除した単位当たり原価を「生産コスト」または「コスト」という。

A, B, C各タイプの主要機械装置仕様、寸法、所要動力、台数、推定価格、設備投資額等を第5.7表に示す。各タイプ工場の単板切削厚さのちがいによる若干の仕様変更も同時に示した。総設備投資額は、Aタイプ9.5億円、B, Cタイプは余り差がなく8.4億円程度となった。これら工場のレイアウト等については、先に示した第5.5図と基本的に変わらない。

コスト計算結果は、費目別内訳の1例(歩留まりは前記代表値、原木価格は設定範囲内の

低価格値)を第5.8表に示す。

また、工場タイプ別7生産例,2操業度について、歩留まりをパラメータとして製造コストと原木価格の関係を求めた。但し、各生産例,操業度について、歩留まり及び原木価格以外は固定条件とした。得られた関係式は

$$y = m_i x + n_i$$

X:原木価格 円/m³
y:製造コスト 円/m³

m_i, n_i:工場タイプ,切削単板厚,歩留まり(原木形状による)により定まる定数となる。m_i, n_iの数値を第5.9表に,上記の関係を第5.7図に示す。

5.3 まとめ

本製造システムで道産カラマツ材を原料とし,LVLを製造する場合の生産コストの試算を行った。各種設定条件は,北海道において現在LVL工場を設立するならば,ほぼ域内にあると考えられる範囲に設定した。検討の結果つぎのことがいえる。

(1)A,B,C工場タイプの差

A工場は,小径木専用レースにより,歩留まり向上と原木価格の低減が見込めるものの,減価償却費,労務費,諸経費,またわずかながら単板縦接合材料費によるコスト上昇は避けられない。B工場は,原木径級,価格とも中間的となるが,外周駆動レースにより,歩留まりについてもA,Cの中間に位置する。C工場は,比較的大径材を用いることによって,作業能率を上げ,設備投資の節減を図っているが,原木価格の上昇と,普通レースを用いることにより,歩留まりはむしろ低下,設備節減も効果は余り期待し得ない。

このようなことから,同一価格(径級に関係なく)の原木を使用するならば,当然のことながら,生産コストA>C>Bとなる。原木価格一定条件下でも,A,B,C間のコストの差は,各条件それぞれの範囲によって異なるが,操業度による影響が比較的大きく,その他各条件を通じ,おおよそつぎの程度となる。

1shiftの場合(円/m ³)		3shiftの場合(円/m ³)	
AB間	5,000~6,000	4mm	3,000~4,000
		6mm	4,000~5,000
BC間	2,000~3,000		2,000~3,000
CA間	3,000~4,000		1,000~2,000

A,B,C間のコストの差は,各工場間における原木価格条件差を考慮に入れて,はじめで意味が生ずる。そこで,製品価格として,仮りに合板,集成材との価格競争力を持つ値として80,000~90,000円/m³の生産コストを目標とすると仮定して,そのための各工場の要求原木価格を求めてみると,おおよそつぎのようになる。

操業度	生産コスト(円/m ³)	要求原木価格(円/m ³)					
		A ₄	A ₆	B ₄	B ₆	C ₄	C ₆
1Shift	90,000	14,883	16,738	17,758	19,580	16,741	18,303
	80,000	9,068	11,820	12,233	14,232	11,560	13,309
3shift	90,000	24,759	26,103	26,527	27,863	24,848	26,120

80,000 18,971 20,547 20,997 22,516 19,672 21,107

以上を、道産カラマツ丸太の市場調査価格¹¹³⁾ (昭和58年10, 11月)

(8~13cm 10,500~11,500円/m³: 参考)

14~18cm 12,300~13,300円/m³

20~24cm 14,000~15,100 "

26cm~ 18,000~ " (実取引なく、全くの推定)

と対比してみると、1shift稼働の場合、全タイプの工場が80,000円/m³の生産コストを達成することが困難であるが、90,000円/m³ならばA, B両タイプの工場が達成でき、Cタイプの工場は依然困難である。すなわち、小径木用の単板切削を考慮しない在来の合板工場なみの生産方式では、価格競争力を持ち得ないことが歴然と示されている。また3shift稼働によれば、80,000円/m³程度の生産コストは、全タイプの工場がクリヤー可能である。

(2) 生産条件因子の生産コストへの影響

1) 原木価格の影響

原木価格1,000円/m³の増減について、生産コストは大よそ次のように増減する。

	1shiftの場合 (円/m ³)	3shiftの場合 (円/m ³)
A工場	1,700~1,800	
B工場	1,800~1,900	ほぼ左に同じ
C工場	1,900~2,000	

2) 歩留まり

歩留まり %のとき、歩留まり1%の増減につき、大よそ / (: 原木価格, 円/m³) の生産コストの増減となる。

3) 原料単板厚の影響

単板厚が薄い程、生産コストは増加する。特に2~4mm間にその差が著しく、4~6mm間ではその差はやや少ない。これは、原木費 2mm : 4mm = 1 : 1.02, 4mm : 6mm = 1 : 1.04 に対し、接着剤費 2mm : 4mm = 1 : 0.59, 4mm : 6mm = 1 : 0.75であって、生産例間の費目別原価比において、原木費比よりも接着剤比の方が大きく、その影響度は、特に2~4mm間が大きいためである。原価絶対値は接着剤費より原木費の方が大きいにも関わらず、この程度の重みの差では、切削厚の減少による歩留まり向上は、接着剤使用量の増加による費用増をカバーし得ないことを物語る。ただし、4~6mm間の差は、4mmの場合乾燥費の低減もあるので、本例より更に小径の材を原料とするなど、技術的、経済的条件がやや変ることにより、逆転の可能性は十分考えられる。

4) 操業度の影響

3shift稼働では、償却費・諸経費の低減により、生産コストは80~85%に低減しうる。

第6章 本製造システムと既往システムの比較

本研究は、小径材を原料とするLVLの製造システムの実用化を目的とした技術開発及び開発技術の実験的検討を課題とするものであり、各章の検討内容を要約すると下記のとおりである。

- 第3章 小径木の単板積層製品製造原料としての一般加工特性の検討及び開発したLVL製造技術に基づくテストプラントによる各単位工程及び連続生産工程の技術的検討
- 第4章 製品の強度及び耐水・湿性能の把握と材質改良の可能性、材料としての利用範囲の検討
- 第5章 工場設計例と種々の条件下における製造コストの検討

以上それぞれの検討結果については、章ごとに考察を加え、問題点及び今後対応すべき点を取りまとめているが、ここではこれらを総合し製造システム全体の評価について考察を加えてみたい。

製造システムの開発に当たっては、原料丸太及び製品について、開発目的に沿うための前提条件を設け、これに基づいて開発の基本方針として

- ・生産歩留まりの向上
- ・高能率化
- ・多品種生産方式

の3点を設定(3.1.1)した。これら3方針のうち生産歩留まりについては5.1の、高能率化については3.4の検討結果から、それぞれ個々には所期の水準を達成し得たと判断して差支えないであろう。しかしながら、生産歩留まりと生産能率、生産能率と所要投資額、これらそれぞれと生産コスト等は複雑に影響し合うと考えられるので、これらを一体につかまえるとともに、近縁システムである合板、集成材のほか、北米で提案されているシステムと比較対照してみる。また、多品種大量生産についても、3.3を通じ所期の目的を達成したと判断しうが、なお本製造システムの特徴ともいえる点について若干の補足を試み、さらに全検討結果を通じ北米提案のシステムとの比較を行ってみたい。

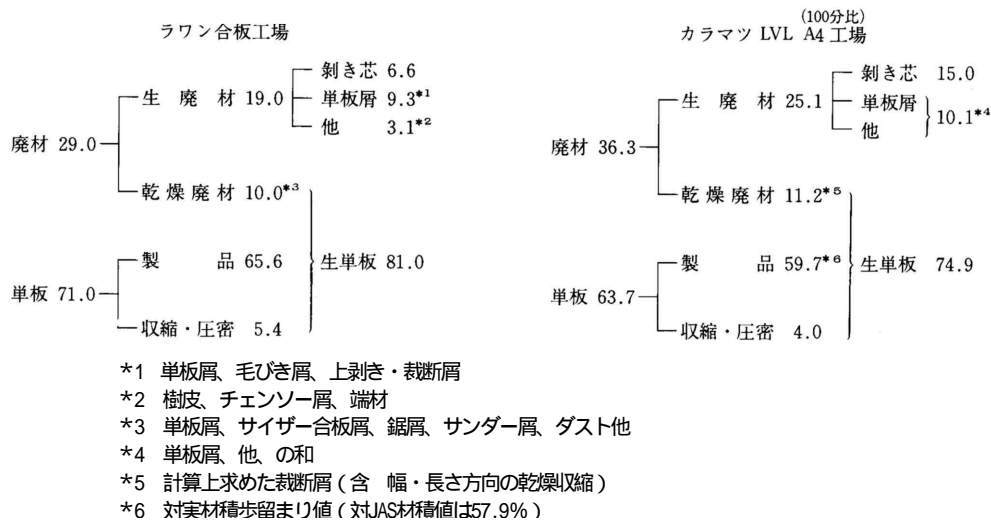
(1) 歩留まり

本製造システムにより道産のカラマツを原料とした場合と、現在の我が国のラワン合板及び針葉樹集成材の実態調査例との対比を試みて、先に第5.5表に示してある。該例によればラワン普通合板工場の歩留まり69.0%に対し、本製造システムでは57.9%と絶対値はかなり低い。このことは原木条件の相違から当然の結果である。製品1m³当たりの原木費を比較してみると、合板50,436円/m³、LVL31,099円/m³となって、本製造システムにおける価値歩留まりは高く、最終製品コストにおいても原木費以外のコストアップ部分を大きく吸収しうることを示している。

では、既に生産が行われている、合板工業ベースのLVLと比較して、どのように評価しうるであろうか。比較を行うには、それぞれの歩留まりの内容を分析してみる。

昭和54年に実施された合板工場廃材調査結果(113)によれば、全国77工場の年間原木消費量と合板生産量から求めた歩留まり値は65.6%となっている。この値は、第5.5表の69.5%に比べやや低い。同表は12mm厚合板のみの値であることを考慮するとほぼ一致しており、現在のラワン合板工場の実態を代表しているものと考えてよい。この調査では、年間廃材排出量を工程別、形態別10種に分けて求めている。これらの結果を整理し、第5.6表のLVL A工場と比較できるようにまとめなおしてみると下記ようになる。

この表のラワン合板工場の例から、現合板工場ベースのLVLの歩留まりの限界を探って



みる。歩留まり向上要因は、製品寸法が合板寸法に近い(現状はそうなっている)とすれば、トリミング廃材を主体とする乾燥廃材については不変と考えてよい。生廃材のうち剥き芯についてみると、本比率値6.6%は、現在のラワン工場の原料丸太径級及び切削設備からみて

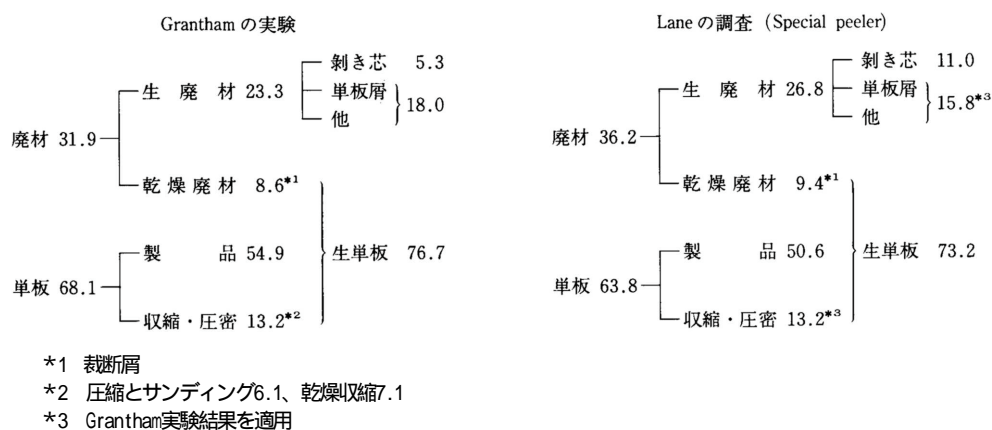
第6.1表 北米のLVL製造システムの歩留まり試算例

製造システム	歩留まり算出の根拠	歩留まり (%)
Bohlen	33) 単板切削試験より推定 ダグラスファー製材用丸太 #2 ◎40~53D 19本 ○2.42ℓ、15d	LVL 62* チップ 33 鋸屑 5
	34) 単板切削試験、LVL製造試験 サザンパイン丸太 ◎28~43D×5.18L 9本 ○2.42ℓ、16d 9玉	LVL 59.6*
Press-lam ²⁹⁾	30) 単板切削試験より推定 サザンパイン丸太 ○30~46D×1.21ℓ、16~18d 49玉	生単板 LVL 48.0~78.0 av. 66.6 60.0
〃	35) 単板切削試験より推定 針・広4樹種 ○30~71D×1.21ℓ、20d 26玉	生単板 ダグラスファー LVL 65.5(30~51D) 51~71D、20d ……56.0 75.0(51~71D) 〃 10d ……75.0 68.0(av.)
〃	35) Granthamの合板製造試験より引用推定 ダグラスファ、合板用丸太 ○56~102D×2.42ℓ、16D 75玉	合板 LVL 54.9 67.0
〃	45) Lancの単板工場実態調査より引用推定	乾燥単板 合板 LVL
	35) ダグラスファー丸太 ○2.42ℓ	
	46) ◎Special peeler 46~58D 66本 180玉……	……66.0 55.5* 50.6 65.9* 60.9
	47) ◎No2 Saw mill 90~140D 482本 1563玉……	……59.1 54.2* 50.7 64.7* 60.1
	◎No3 Saw mill 15~145D 185本 770玉……	……48.4 46.6* 42.9 56.3* 50.4
	(参考) 116) Woodfinの単板工場実態調査) ○2.42ℓ →1.21ℓ	乾燥単板
	○ダグラスファー 25~150D 2802玉…	……58.1
	○レッド・ホワイトファー 18~117D 1269玉…	……56.9
	○ウェスタンヘムロック 30~114D 727玉…	……44.3
	○ボンテロザパイン 15~51D 698玉…	……45.7

◎：丸太、○：切削用調木材、D：丸太直径、ℓ：切削用調木長さ、d：剥き芯径
 *：歩留まり値は剥き芯より製材した2"×4"材を含む(無印は含まない)

過大であり、原因はラワンなどの脆芯のため、切削可能最小径まで切削していないためと考えられる。単板切削に、本LVL製造システムのように外周駆動レースを用いた場合、脆芯部単板の品質面からの使用の可否は別として、例えば丸太の平均直径100cm、剥芯径13cmとすると、剥芯比率は1.6%となって、約5%の歩留まり向上が望める。また、現在生廃材としている単板状の廃材の1/2が利用可能となったと仮定すると、約5%の向上により、全歩留まりは76%となる。この程度が歩留まりの限度に近いと考えてよいであろう。以上から合板工場ベースのラワンLVL及び本製造システムによるA工場のカラマツLVLの、製品1m³当たり原木費を比較すると、47,292円及び30,151円となって本製造システムにおける歩留まりは、かなりの優位性をもつといえる。

では、北米において提案されている諸システムと比較してどのようになっているであろうか。これら諸システムにおける歩留まりは、第6.1表に示すように試算されている。合板、LVLなどの単板積層製品の歩留まりは、慣例として剥き芯から製材される2"×4"材を含んで示すのが一般的のようであり、本表も大部分はそうになっている。各システムとも大きな差はなく、全体を通じこれらLVLの歩留まりは、直径30～70cm程度の針葉樹丸太を原料とした場合、推定値60～65%としている。我が国の例にならって主製品のみ歩留まりに換算してみると55～60%となる。一方、北米における合板の歩留まりについては、同表のGranthamの合板製造試験¹⁴⁾、Lane¹⁵⁾の単板工場調査例の2例を用いて、先の我が国のラワン合板とLVLの比較例にならって整理してみると下表のようになる。



Woodfinの調査例¹⁶⁾(ダグラスファーについて)もLaneの調査例とほぼ同一であり、この程度が北米のダグラスファー合板工場の実態と考えてよい。以上北米においては、直径30～70cm程度のダグラスファーを原料と考えた場合、現合板工業レベルで50%、提案されている諸システムで55～60%程度ということになる。Woodfinの調査例にあるように、他の未利用または小径の原料を用いるとすれば、さらに10～15%の歩留まり減となろう。

本製造システムと北米の諸提案システムの歩留まりを比較してみる。原料丸太の価格などについては、双方の事情の差が大きいので、製造コストに関する価値歩留まりについては言及を避けたい。歩留まり値自体もその内訳をA₄工場と直接対比できるよう整理はできないが、A₄工場の歩留まり値59.4%は、両者の原料丸太径級の差(剥き芯比率で4%の差がみられる)を考慮すると、大幅に高い値を示すといえる。この差は、生単板以後のロスの少いこと、製造工程中の圧密の少いことに起因している。

(2) 生産性

本製造システムは、原料として小径木を対象としているため、単位時間当たりの原木処理本数、単板処理枚数の増大や、廃材排出率の増加などから、生産能率面で不利となる点は避けられない。これらをカバーするため、生産工程の自動化と省力化に徹するとともに、極力工程の単純化を行って設備投資に係る負担の軽減を図った。上記の効果を、生産能率及び投資効率の両面から、ラワン合板及び針葉樹集成材と対比してみると、第6.2表のようになる。

第6.2表 本製造システムと合板、集成材の生産性比較

項目	合板	集成材	LVL _{A4}	LVL _{B6}
日間生産量 (m ³)	286.4	14.4	50.2	50.2
稼働回数、稼働時間 (Shift、時間)	3, 24	1, 8	3, 24	3, 24
年間稼働日数 (日)	294	300	300	300
人員 (人)	330	29	85	67
製造コスト (円/m ³)	72,521	130,521	67,956	65,942
総コスト (%)	78,978	143,555*	84,074	82,060
出荷価格 (%)	70,833	127,000	92,481**	90,266**
年間出荷額 (百万円)	5,964	552	1,393	1,360
設備投資額 (除土地) (%)	1,800	390	952	894
1日1人当りの生産性				
生産量 (m ³)	0.868	0.497	0.591	0.749
生産金額 (円)	61,483	63,119	54,656	67,609
設備投資の効率				
1 Shift生産量当たり設備投資額 (千円/m ³)	18,885	27,083	56,892	53,426
設備投資額比 (合板を1とする)				
同一生産量当たり	1	1.44	3.10	2.83
同一生産金額当たり	1	0.80	2.30	2.23
年間出荷額/設備投資額	3.31	1.40	1.46	1.52

* 推定値であり製造コストの110%とした

** 期待値であり総コストの110%とした

本表は、合板、集成材については第5.5表の数値を、LVLについては5.2、5.3で検討したA₄及びB₆工場例の数値を基にしている。考察に当たっては、合板、集成材について調査後の業態の変化があるので、若干の推計を加えている。

生産能率は、1人当たり生産量及び生産金額を求めた。1人当たり生産量は合板 > LVL > 集成材となっており、LVLは、ラワン合板より低い。また、A₄、B₆の差は原料条件によるものであり、その差は大きい。1人当たり生産金額に触れる前に、同値算出基礎となるそれぞれの出荷価格について検討してみる。合板、集成材については、調査時点においていずれも生産コストを大幅に下回っており正常な企業運営状態ではないが、原因は当時の景気低迷にある。現状も景気については回復がみられず出荷価格は横ばいであるが、なお多くの企業が好業績とはいえないまでも存立していることは、出荷価格に見合う製造コストを達成する合理化がなされているとみてよい。コストダウンの要因は、生産歩留まりの向上と稼働人員の減少（設備投資の効果を含む）である。そこで現時点では、1人当たり生産量も、生産金額も、本表数値より若干上回るとみてよく、1人当たり生産量については、LVLと合板との差はより大きく、集成材との差はより少いとみなければならない。合板、集成材の出荷価格は実状であるが、LVLについては、総コストプラス10%の出荷期待価格値である。しかしながら、合板工場をベースとする現在のLVL価格は第6.3表のようになっており、本期期待価格は控え目であっても決して過大な値とはいえないであろう。このような点を考慮に入れると、LVL工場の1人当たりの生産金額は、合板、集成材に比べかえって高い値を示すB₆工場例はもとより、1人当たり生産量に限界のあるA₄工場例においても遜色のない結果

第6.3表 現在のLVLの出荷価格

LVLの種類	樹種	価格(円/㎡)	備考
家具用フラッシュ芯材 (防虫処理材)	ラワン	80,000~90,000	ジョンコン製材品と競合価格になる。(ラワン製材品市況110,000円/㎡として)
家具用上級芯材 単板厚薄く節等を除いたもの 縁面加工加能のもの	ラワン	110,000	
同上	メラピー	150,000	
家具用内部造作用板材 引出し側板等側面木口 貼り不要の品質のもの	メラピー アガチス	130,000	
建築造作材用中芯 なげし、回り縁、ドア枠 敷居、鴨居など	エリマ	100,000	集成材による中芯材(市況10,000~120,000円/㎡として)と競合になる。
同上	針葉樹	120,000	

を期待し得るといえる。

つぎに、設備投資の効率についてみる。先ず本調査例程度の合板及び集成材工場に必要な設備投資額を推定してみる。合板工場については主要機械設備10.5億円、補助施設(ボイラー、受電設備等)2.5億円、車輛等0.2億円、建物等5.0億円として約18.0億程度、集成材工場については、主要機械設備(乾燥装置含む)2.4億円、補助施設0.3億円、建物等1.2億円として約3.9億円と推定し得る。設備投資の生産性への効果を見るため、それぞれの設備投資/1 Shift生産量を計算、合板の値を1とする比を求めて、生産量能力当たりの設備投資額を比較した。またこれらの値を、合板を1とするそれぞれの出荷価格比で際して生産金額能力当たりの設備投資額を比較した。表値に明らかのように、LVLの設備投資額は、同一生産能力(生産量)当たり、合板の約3倍、集成材の約2倍となり、先に述べた1人当たりの生産能力の較差に比べ大幅の差を示しており、生産能率をカバーするための設備投資により、償却費負担の増大は止むを得ないことを示している。同一生産能力(生産金額)当たりの設備投資額についても、対合板、集成材の比率値の大小が逆転するものの同様のことが

第6.4表 北米のLVL製造システムの生産性

項目	セミバッチ(72)	連続式(77)	小規模(78)	小規模2(78)	家具用(78)
	プロトタイプ 現実案	理想案 機械装置は仮 定のもの	過渡期用、開 発途上国用の 案 合板用設備に よる	同 左	広葉樹合板 工場利用
日間生産量 (㎡)					
稼働回数、稼働時間 (Shift時間)	3, 24	2, 16	3, 24	3, 24	変則2, -
年間稼働日数 (日)	250	250	260	260	325
人員 (人)	57*	122	91	48	61
設備投資額 (百万円)	277	2,277	351	321	376
1人1日当たり生産量 (㎡)	0.830	1,668	0.322	0.11	0.402
同一生産量たり投資額比 (日本の合板を1とする)	0.29	0.59	0.63	3.19	1.22

* 製造コストより逆算推定

いえる。また、年間出荷額/設備投資額により求めた投資の回転を現わす数値は、当然生産能力（金額）当たりの投資額と逆の関係になるが、LVL工場においても1.0以上となっており、常識を超えた過大な投資ではないといつてよいであろう。

なお、北米で提案されているLVL製造システムの代表例としてFPLのPress-Lamシステムについて、同様の整理を行うと第6.4表ようになる。

生産金額については、原木量、木材製品価格等我が国との市場の差が大きいのので省略した。Press-Lam以外のシステムは具体的な設備投資内容が示されていないので省略した。当初案のセミバッチ式は、いまだ設備投資に対する認識が甘く、過小に見積っているように思われる。第2の連続式は1Shift生産量、1人当たり生産量等何れも我が国の合板工場を上回り、設備投資金額も少くすむ理想的な案であるが、残念ながら機械などについてはhypotheticalであると断われている。小規模プラントについては第2案は人員、設備投資額の割りに余りにも非能率的であり、第1案あたりが現実的な案のように思える。家具用プラントについては高品質、高付加価値製品生産が前提であろう。

(3) 多品種生産方式

本製造システムによれば、50cm×50cm×任意長のブロックが1プレスで積層成型される。このこもは、3.1.2のレイアップラインに述べた仕組み機構により、複数枚の任意厚×幅50cm×任意長の水平積層型製品が1アッセンブリで積層しうることを示す。一般に合板、集成材等積層接着製品の製造では、製品厚を変えることはラミナ厚を変えることを含め、全工程の切替、調整を必要とするが、本システムでは仕組機のボタン操作のみで任意の順に任意の厚さの製品を送り出すことができる。このことは単に生産寸法の自由度のみならず、製品寸法による価格差を僅少に止めることができ特に長大材生産に有利である。さらに、50cm×50cm断面の製品を写真3.8に示すように挽き割ることにより、任意厚×幅50cm×任意長の垂直積層型の製品が得られる。従って、製品寸法については、表示された生産能力を全く保持したまま自由寸法の製品を生産しうるシステムであるといつて差し支えない。この特徴は既往の積層製品製造システムのみならず、北米で提案されているLVL製造諸システムに比べ優れた点といえよう。製品用途の多様化に適応しうることはもとより、特に構造用材製造システムとしては、北米提案方式に比べ適応能力が大きい。北米においては構造用材の製品断面の基準寸法が単純化されており、殆んどが1辺1 $\frac{1}{2}$ "のディメンションランバーである。従ってヘビータンバーのようなものは、提案された諸システムでも一応対応可能ではあるが、むしろ他製品によるのが経済的であろう。一方、我が国では構造用材として多様な断面の製材品を活用しており、製品寸法と荷重方式の選択の自由な本製造システムは、特に大きな意味をもつものである。

(4) 北米提案諸システムとの比較

本製造システムと北米で提案されている諸システムについて、前3項に歩留まり、生産性、製品の態様ついて個々に比較を行ったが、補足的にシステム全体として比較評価を試みる。北米で提案されている諸システムを代表し、Press-Lamシステム設計の基本方針をみると、

ロータリーレースによる厚単板の切削

単板の熱盤乾燥（単板の可塑化により厚さむら、面荒れの許容度を上げる）

乾燥余熱を保持した単板の加圧接着（接着の高速化とエネルギーコスト低減）

単板アッセンブルを兼ねた簡易な縦つぎ

連続またはセミバッチによるエンドレス積層

などが設定され、Bohlen, Kochのシステムも、単板乾燥、アッセンブル、接着等の方法に若干の相違はあるものの、単板乾燥余熱利用による高速接着、エンドレスまたは長尺製品製

造など全体的にみておおむね共通した方針を採用している。その結果これらシステム及び製品の特徴として、ほぼ共通して

- 未利用材（小径，湾曲，短材）利用の可能性
- 高い生産性
- 樹心部除去による製品強度性能上の有利性（製材に比べ）
- 節，欠点の分散化による材質の均一化と最低強度の上昇
- 製品寸法（長さ，幅）の任意性
- 薬剤処理の容易性

などを挙げている。

本製造システム設計の基本方針及び特徴は既述のとおりであり，ここに北米諸提案のもの比べると，項目的には共通点が認められるが，各項目の内容は，考え方にかかなりの相違が認められる。主な相違点を挙げ以下に示す。

原料丸太，単板切削に関する相違及び製品性能への影響

原木事情の差から，同じく未利用材利用といっても対象丸太径級には較差がある。北米においては一般に行われる単板切削と同様，剥き芯からユーティリティ級の製材を採材する前提を崩していない。このことにより，樹心部近くが除かれ，製品の強度性能が安定するとしている。本製造システムでは敢て樹心部近くまで切削することにより，製品歩留まりは格段に向上する。カラマツ小径材による実験結果（4.1.3）からは，未成熟材部＝心材部とみて大きな誤りはなく，心材混入率と製品強度の関係が明らかであることから，製品の強度設計は可能である。また多品種生産可能な方針であることから，辺・心単板の選別により用途に応じた製品の分別生産が可能である。

熱盤乾燥方式採用目的の相違

Press - Lamにおける採用目的は前記のように単板の可塑性であるが，本製造システムでの採用目的は生産能率向上を目的とし，小径材の細径切削に対応するものである。本システムにおける熱盤ドライヤーも，設備コストの高額化の点で必ずしも完成度の高いものとはいえないが，全システムの中で一応経済ベースを満足している。Press - Lamにおいては未開発であることが明記され，現段階では合板用多段プレスと余熱利用のためのthermal - hold - ingbox（thermal storageともいっている）を組み合わせた方式を取らざるを得ない状況にある。次工程のアッセンブラー付連続コールドプレスと併せ，全システムの連続化が出来れば経済ベースになるとして，コスト計算等をhypothetical Press - Lam facilityについて論じている。

単板の余熱利用方式と高周波接着方式

press - Lam，Koch，Bohlenいずれのシステムも，前工程で単板に付加され，保有する余熱を接着剤硬化に利用することで，接着時間の短縮とエネルギーコストの低減をはかっている。しかしながらKochのシステム以外は，連続アッセンブラーが未開発であるため実用化システムとしては未完成である。実用化例としてTruss Joist社の例があるが，購入単板を原料とし単板余熱利用は行っていない。本製造システムは高周波加熱接着によっているが，接着層加熱型方式をとっているため，全体加熱方式に比べ消費電力は低減される。直接エネルギーコストの計算はしていないが，製造コストの試算結果ではコスト中の燃料費＋電力費は合板工業における値と大差はない。

連続生産とセミバッチ生産

北米提案の諸システムは連続生産を指向しているものの，熱盤ドライヤー，連続アッセンブラー部分が実質上未完成である。Truss Joist社のシステムでは，単板余熱を利用した高

速接着ではないので、連続プレスを送り速度が比較的低いですが、連続生産方式を完成している。ただし原料単板は8'長さを使用しており、小径材利用等の短尺単板を用いる場合には、縦接合部の形成頻度などからみて、かなり装置化は困難と思われる。本システムでは単板が短尺であること、1アッセンプリの積層数の多いことから連続化を当面見送り、仕組み単板を1枚化して、縦接合の確実性と避距の正確性、アッセンプリにおける単板表裏の組み合わせ自由度の確保を図った。従ってエンドレスの製品を得ることはできないが、高周波プレスの機構から、プレス本体を変えることなく、レイアップラインを長尺化するだけで、長さ20m程度までの製品を得ることが可能であり、製品長さについてはほぼ構造材としての要求範囲を満足しうる。この点Kochのシステムまたは在来の合板製造システムを利用したバリエーションなどではプレス本体の長さ（Kochの例示では32'）に支配されざるを得ないので、このことは本製造システムの主要な特徴といえよう。

以上を総括し、本製造システムは、小径材等を利用するLVL製造システムとして所期の目的条件を満足するものと判断し得る。

第7章 結 論

北海道の森林資源は、戦後実施された諸施策の試行錯誤を経てようやく回復基調にある。しかしその内容は、質量ともに大きく様変わりし、今後の木材供給は人工林材に大きく依存せざるを得ない。またそのためには適正な造林、除間伐等の撫育が行われなければならないが、併行して間伐材を含む造林木及び未利用天然林材等の利用開発を行い、輸入材を含む全木材需要に対し、利用区分と利用体系の整備が必要である。中でもパルプ・ボード用材と、一般製材・二次加工用材、合板用材等との中間に相当する径級の丸太の適切な利用区分を見出すことが最も困難であり且つ重要であろう。木材加工技術水準の現状から、これら中間径級材の加工利用に最適のものの一つとしてLVLを取り上げ、その製造技術の確立と製造システムの実用化を目的とする開発研究を実施した。

製造システムの開発に当たって、原料は、造林間伐、未利用広葉樹等の小径木を対象とすること、製品は、合板、集成材等でない付加特性を有し、一構造用から化粧用に到る多様な用途への展開の可能性を考慮することを前提条件とした。これに基づいて、生産歩留まりの向上、高能率化、多品種かつ量産性を損なわない生産方式の工夫、の3点を設計の基本方針とした。その結果

外周駆動併用レースの導入により小径木の切削

単板切削自動化ラインによる単板処理の高能率化

熱気乾燥、熱盤乾燥併用による単板欠点の矯正と自動化への対応

単板縦接合を含む調枚方式による、単板ジョイントの避距規制

レイアップラインによる単板アッセンブリの精度向上と能率化

高周波加熱方式による厚いアッセンブリ接着の高能率化と多品種生産への対応

などを特徴とする製造システムを考案するとともに、各工程の主要部分についてプロトタイプの機械装置を開発し、パイロットプラントを設置して実用化の検証を行った。製造システム概念図を第3.1図に、個々の機械装置を第3.2~3.11図に示す。

供試原料として、今後北海道の主要資源と目されるカラマツ造林木を主体に一連の試験を、他樹種についても部分的な試作試験を行った。カラマツは加工未経験樹種であるので単板切削、単板乾燥、積層接着等の一般的加工特性を、合板製造用の機器を用いて検討し前記機械装置開発の資料とした。また、開発したパイロットプラントの連続生産運転の結果を基に数例の実用規模のプラント設計及び想定しうる諸条件を与えて製造コストの試算を行い、企業化に当たっての採算性について検討した。さらに、テストプラントによる生産製品について、強度性能、吸水・吸湿性能を明らかにした。

以上の検討の結果を結論としてとりまとめる。

(1) 道産カラマツの加工特性

単板切削に当たっては、節などによるナイフ刃先の損傷を防ぐため煮沸等による丸太の前処理が必要である。しかし、過度になると材の軟化のため切削面が荒れるなどの影響があり、60 程度が適温である。ナイフ刃角は刃先の摩耗、刃口づまりなどの防止のため広葉樹へ適用される角度より大きい22°程度が安全で、さらに刃先のベベル等を考慮する必要がある。刃口条件は、刃先の食い込みを防止し、材面の荒れを防ぐため水平距離を90%以下とし圧縮を大きくとる必要がある。詳細は表3.6に示す。

単板乾燥について熱気乾燥及び熱盤乾燥の比較試験を行った。乾燥速度、乾燥効率、単板品質等すべての面で熱盤乾燥の優位性は明らかである。しかしながら、合板用熱気式ロールドライヤーと、本製造システム用に設計した熱盤ドライヤーによる乾燥コストを比較してみ

ると、熱盤ドライヤーの想定価格が高額となるため、熱盤乾燥の方がコスト高にならざるを得ない。小径木を原料とする本製造システムでは、単板の反り・狂いを極力抑制することが必須条件であるので、熱盤乾燥を除外することは考えられず、最も経済的な方法として、乾燥前半を熱気乾燥、後半を熱盤乾燥による併用方式を採用せざるを得ないと判断した。

単板の積層接着については、合板用ホットプレスにより熱圧した場合、ユリア樹脂接着剤、フェノール樹脂接着剤いずれも十分な塗布量であれば、それぞれ合板の日本農林規格に定める類、類相当の接着力を得ることができる。本製造システムでは、塗布装置としてドクターロール付ロールスプレッターを採用している。このスプレッターを用いて、通常の切削条件で得られるカラマツ単板の面粗さ3段階に対し、スプレッターの塗布量調整機構の設定条件と塗布量の関係、塗布量と接着性能の関係を実験的に求めた。スプレッターの適正仕様、調整機構の適正設定条件の詳細は3.2.4に示す。合板用ホットプレスによる熱圧接着の場合、接着剤塗布量はカラマツ単板の面粗さの大きいものを標準として、ユリア樹脂接着剤29g/30cm×30cm、フェノール樹脂接着剤30g/30cm×30cm程度が妥当と判断した。高周波加熱接着については、テストプラント導入後改めて検討した。

(2) テストプラントによる単位工程の検討

単板切削装置として、外周駆動併用の小径木用レースを導入した。仕様は第3.1表に示す。適正切削条件は前項の一般的加工特性の検討により求めた条件とほぼ一致した。外周駆動装置は有効に作動し、剥き芯径7cmまで正常に切削し得た。小径木切削には外周駆動方式採用が必要であることも確認した。

単板の熱気乾燥、熱盤乾燥の併用方式について、乾燥進行のどの段階で移行すべきかについて、移行時の含水率を変えて検討した。移行含水率が高い程、単板の最終厚さ収縮率は大きい。移行含水率が30%以下ならば最終的な収縮率はほぼ同等で、辺材の場合約6%程度である。従って、厚さ減りによる歩留まり低減を少なくするためには30%以下で移行するのが望ましい。移行含水率は低い方が経済的であるが、余り低ければ所期の狂い防止の目的を達成できない。移行含水率は25～30%が適正と判断した。熱盤乾燥条件は、熱盤温度150、圧力2kgf/cm²、息抜き回数3回程度が適正である。

単板の積層接着には、高周波接着剤加熱方式の油圧プレスを導入した。仕様は第3.1表に示す。カラマツ単板及びユリア樹脂接着剤を用い、単板含水率、接着剤塗布量、高周波印加条件が製品の接着性能に与える影響を検討し、適正条件を求めた。単板含水率は5及び12%の2条件のうち5%の方が適正と予測されたが、逆の結果が得られた。しかし、全単板の含水率のバラツキ、加熱中の水蒸気発生に起因する諸障害を考慮すると、低目の方が安全であろう。高周波印加条件は、設定された範囲内で急速加熱、緩和な加熱の間に差がみられなかった。糊液塗布量は明らかに多い方が良好な結果を示した。これらの結果から、単板含水率12%以下、塗布量18g/30cm×30cm、高周波陽極電流1amp/積層高さ10cm、加熱時間7分、アフターキュア7分が最適と判断したが、この結果の適用は本装置に限定されるものである。また、積層高さ45cm×幅48cm(極板間隔方向)×長さ80cmの加熱単位内部の最終到達温度及び接着性能の偏りとバラツキを検討した。温度は部位による偏りが認められ、バラツキも95～125の範囲にある。引張りせん断試験による接着性能をみると、極板長さ方向中央部にやや高い傾向がみられるものの大きな偏りはなく、バラツキも部位別3片の平均値で6.6～12.9kgf/cm²の範囲内にある。上記、全測定値から求めた標準偏差は、合板の接着力試験における引張りせん断試験値の標準偏差と比べやや小さく、バラツキはほぼ同等程度といえる。部位による到達温度と引張りせん断力値との相関はない。アッセンブリの分割加熱において、5分程度すなわち加熱までの冷圧時間に最大30分程度の差が存在しても、接着性能への影響

はみられない。フェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤についても検討を加え、ほぼ同様の接着条件が適用しうることを確認した。

(3) テストプラントによる生産運転

前項各主要工程試験による検討結果を基に、全工程を通しての生産運転による検討を行った。対象樹種は道産カラマツを主体に、道・本州産スギ、シラカバ、ラジアータパインなど、接着剤はユリア樹脂及びフェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤を用い、合計約80m³の製品を製造した。

単板切削には直径12～22cm、長さ50cmの丸太を用いた。単板切削ラインのスピードは35m/minとしたが、丸太処理本数は平均1分1本のペースで処理しうる。切削速度制御機構を整備することにより平均切削速度45m/min程度まで上げることが可能と判断される。1台1Shiftの処理能力は14cm径の丸太で約5m³が期待しうる。単板乾燥は熱気、熱盤の併用について、工程試験の結果を準用して問題はなかった。熱盤乾燥で常に問題となる熱盤面の汚れが、皆無となる副次的な利点もあった。調板工程及びレイアップ装置は所期のとおり順調に作動した。ラインの平均スピードは25m/minであった。このスピードは、次工程の高周波プレスの能力を40kw×2とパワーアップした場合の1Shift生産能力である19プレス16.74m³に対しても十分である。接着については、標準アッセンブリ4mm厚単板120プライ、粗ブロック寸法、高さ52.5cm×幅48cm×長さ3.173mとし、工程試験の接着条件を適用したが、検討の結果高周波容量が若干不足と判断されたので、本装置による場合120プライを標準とした。塗布量18g/30cm×30cmは、ユリア樹脂接着剤の場合は不足、フェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤の場合やや過剰であり、それぞれ20g及び14gとして安定的な製品を得ることができた。全工程を通じ、問題点を摘出すれば下記のとおりである。

原木の煮沸等前処理はコストアップ要因となる。簡易処理法または機械装置、刃物等により対処できないか。

成熟・未成熟材部、辺・心材部等材質、含水率の異った単板を生産工程の流れの中でいかに処理するかは、単板乾燥工程の管理上の問題及び製品管理と関連する全工程管理上の最重要課題である。

低価格の熱盤ドライヤーの開発

化粧用高級製品を対象とする場合の、隙間のない完全な縦接合方法

フェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤に代る低価格の特・類性能相当の高周波加熱用接着剤の開発

(4) 製品の強度性能と吸水・吸湿性能

本製造システムの原料となる道産カラマツ材を直径20cm程度以下の小径木と想定すると、小径木から切削された単板を用いることにより製品強度性能は次のような影響を与えることが判明した。

単板の裏割れに基因する強度低減を、同一材部を用いた挽き板積層材とLVLの比較によって求めると、曲げ強さで15%、曲げヤング率で5%程度である。なお、単板の裏割れは、辺・心材の差及び切削径の差によって大きく影響を受けず、裏割れ率60～70%、裏割れ密度3～4本/cm程度である。

心材によるLVLは辺材によるLVLに比べ強度が低く、その割合は挽き板積層材とほぼ同等で、曲げ強さで75%、曲げヤング率で62%程度である。

・204材寸法の実大LVLの曲げ強度性能は、大よそつぎのとおりである。

曲げ破壊は最外層BJから隣接BJへつながる形で生じる。辺材製品は多少ねばりの持った破壊型を示すが心材製品は、脆性破壊の様相を示す。

辺・心材混合比と強度性能は直線関係を示す。心材製品と辺材製品の強度性能は、後者が曲げ強さで1.7倍、曲げヤング率で1.3倍程度を示す。

強度性能を製材品と比較すると、曲げ強さはほぼ同等、曲げヤング率は大きい。枠組壁工法用製材の日本農林規格により評価してみると、辺材のみで甲種枠組材1～2級、心材のみで同3級に位置づけられる。

・LVLの吸水・吸湿性能は次のとおりである。

各面吸水量は単一材に比べ木口面6倍、R面2倍と大きい。接着剤による差は認められない。含水率1%当たりの寸法変比率は、T方向は単一材のみで接着剤による差はなく、R方向はフェノール変性レゾルシノール樹脂接着剤の場合単一材の1.5程度、ウリア樹脂接着剤の場合2倍である。

大型ブロック（100R×50T×300L：mm）の吸水による重量増加率は、最終的に単一材の2.3倍程度、体積膨潤率は単一材の1.8倍、寸法変化率はR方向が単一材との差が大きく4倍である。T方向とR方向の寸法変化率の比は、単一材が約1/4、LVLでは差がない。

上記のようにLVLは、単一材に比べ吸水性及び膨潤性に特異な差がみられ絶対値も大きい。撥水剤、塗料等による表面処理または基材のWPC化、あるいは両者の組み合わせなどにより、目的、用途に適応した吸水・吸湿性の改善が可能である。

(5) 実用規模プラントの設計とコスト試算

実用規模のプラントとして一応考える3タイプ

A 600mm外周駆動併用レースにより、原料丸太は直径14～18cm程度とする。

B 1100mm外周駆動併用レースにより、原料丸太は直径20～24cmとする。

C 1100mm普通レースにより、原料丸太は直径24～30cm程度とする。

を想定し、単板切削厚2, 4, 6mmとするA₂, A₄, A₆, B₄, B₆, C₄, C₆の7生産例について、機械装置の仕様決定、設備費積算及び原木の形質、価格等に対応する生産コストの試算を行った。生産コストは、原木価格、歩留まり、切削単板厚、操業度により大幅に変化するが、仮りに類似製品である合板、集成材との価格競争力を持つ80,000～90,000円/m³の生産コストを目標とするとすれば、道産カラマツ原料を現市場価格で入手可能とする場合、A, B工場は1Shift稼働でも可能性が高く、3shift稼働によれば全タイプの工場が目標達成の可能性を有する。

(6) 製造システムとしての評価

本製造システムの開発に当たっての基本的な考え方に基づいて、開発の前提条件と基本方針を設定した。既に述べて来た前項までの結論を総合すれば、本製造システムはこれらの前提条件と基本方針をほぼ満足する結果となっており、その意味での評価では一応合格水準にあるといえる。製造システムとしての評価因子として歩留まり、生産性、製品用途の多様性を取り上げ、類似産業である現在の我が国の合板、集成材、既成LVLあるいは、北米で開発提案されているLVLなどと比較すると次のようなことがいえる。

歩留まりは、未口径14cm程度の小径材を用いても、55%以上の歩留まり値が得られる。この値は30cm以上の中径材を対象とする北米提案のLVL製造システムより高い値である。大径材を用いる我が国のラワン合板に比べれば、もちろん絶対値は及ばないが、丸太価格を考慮に入れた価格歩留まりは十分に高い。

小径木であることにより高能率生産には限界があるものの、工程の単純化と自動化により相応の成果を得た。1人1日当たりの生産量の1例0.749m³は、我が国の合板工場には及ばないが、集成材よりはかなり生産性が良い。また北米提案の理想案とされるも

の（機械装置未開発）は我が国の合板の2倍以上を試算しているが、現実案として出されているいずれの例も本製造システムの値に比べ低い。1人1日当たりの生産金額は、LVLの販売価格90,000円/m³とすれば、合板、集成材を上回ることになる。同一の生産能力当たりの設備投資額の比は、生産量ベースで合板の2.8倍、集成材の2.0倍、生産金額ベースでは合板の2.2倍、集成材の2.8倍程度となる。

製品の多様性については、同一コストで自由寸法の製品が得られる本製造システムに最優位性がある。適用樹種も多様に選ぶことが可能で、製品用途の可能性も大きい。

プロジェクトチームのメンバーの氏名を以下に記す。

小倉 高規（元北海道立林産試験場副場長）
倉田 久敬
野崎 兼司
高谷 典良
田口 崇
森泉 周
真田 康弘（元北海道立林産試験場合板試験科研究職員）
菅野 弘一

プロジェクトリーダー

文 献

- 1) 財団法人合板検査会：検査統計 昭和58年 (1983)
- 2) 財団法人合板検査会：検査資料 昭和57年2月 (未公開資料)
- 3) Harpole G.B. 1976. Assessing a continuous process to produce press-Lam Lumber. *Forest Prod. J.* **26**(8) : 51-56
- 4) Kunesh R. H. 1978. Micro = Lam: Structural laminated lumber. *Forest Prod. J.* **28**(5) : 41-44
- 5) Blackman T. 1978. Stretching the resource: veneer laminated into structural "lumber". *Forest Industries* **105**(11) : 66-67
- 6) Bohlen J.C. 1973. Dimension lumber from lamination of thick rotary-peeled wood veneer. *Proceedings of IUFRO Div. 5 meeting, Cape Town and Pretoria, Sep. and Oct., 1973*
- 7) 林野庁：木材需給表, 昭和57年度 (1983)
- 8) 農林水産省：「森林資源に関する基本計画」並びに「重要な林産物の需要及び供給に関する長期の見通し」(昭和55年5月23日閣議決定) (1980)
- 9) 北海道：昭和58年度木材需給見通し 58. 3. 10 (1983)
- 10) 北海道林務部林政課：北海道林業統計 昭和57年度 (1983)
- 11) 宮島 寛：北海道の林業と木材工業, 木材工業 **38**(4) (1983)
- 12) 北海道林務部：木材需給関連指標 (部内資料) (1977)
- 13) 千廣俊幸：北海道における道産材の供給態様からみた林産工業の課題, 北海道新林材新聞社創立35周年記念林業・林産ゼミナール資料 (1979)
- 14) 地場資源活用調査懇話会：木材資源の有効利用について, 地場資源活用調査報告書 昭和56年3月 旭川市商工部 (1981)
- 15) Luxford, R. F. 1944. Strength of glued-laminated sitka spruce made up of rotary cut veneers. USDA Forest Service, FPL Rep. 1512. *Forest Prod. Lab. Madison, Wis.*
- 16) Wiesehuegel E. G. 1952. Laminated lumber from low-grade hardwoods by the continuous glue press process. *Journal of FPRS*: 269-273
- 17) Marra, G. G. 1956. Development of a method for rapid laminating of lumber without the use of high frequency heat. *Forest Prod. J.* **6**(3) : 97-104
- 18) McKean, H. B., and J. W. Smith. 1958. Pirot planting laminated 2 by 4's. *Forest Prod. J.* **8**(8) : 19-23
- 19) Lutz, J. F., H. H. Haskell, and R. H. McAlister 1962. Slice-wood — a promising new wood product. *Forest Prod. J.* **12**(5) : 218-227
- 20) Malarkey, N. 1963. Continuous lamination of lumber. *Forest Prod. J.* **13**(2) : 68-69
- 21) Koch, P. 1964. Beams from bolt wood: a feasibility study. *Forest Prod. J.* **14**(11) : 497-500.
- 22) Koch, P. 1967. Super-strength beams laminated from rotary-cut southern pine veneer. *Forest prod. J.* **17**(6) : 42-48.
- 23) Koch, P., and G. E. Woodson. 1968. Laminating butt-jointed, log-run southern pine veneers into long beams of uniform high strength. *Forest Prod. J.* **18**(10) : 45-51.
- 24) Murphey, W. K., C. L. Drasher, and D. V. Woodruff 1967. Mechanized properties of small laminated beams utilizing slice wood. *Forest Prod. J.* **17**(3) : 37-40.
- 25) Kimball, K. E. 1968. Accelerated method of drying and thin-sawed Loblolly pine. *Forest Prod. J.* **18**(1) : 31-38.
- 26) Leicester, R. H., and P. C. Bunker. 1969. Fracture at butt joints in laminated pine. *Forest*

- Prod. J. **19**(2) : 59-60.
- 27) Hittmeier, M. E., G. L. Comstock, and R. A. Hann. 1968. Press drying nine species of wood. Forest Prod. J. **18**(9) : 91-96
 - 28) Hann, R. A., R. W. Jokerst, R. S. Kurtenacker, C. C. Peters, and J. L. Tchernitz. 1971. Rapid production of pallet deckboards from low-grade logs. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 154. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
 - 29) FPL Press-Lam Research Team. 1972. FPL Press-Lam process: Fast, efficient conversion of logs into structural products. Forest Prod. J. **22**(1) : 11-18
 - 30) Schaffer, E. L., R. W. Jokerst, R. C. Moody, C. C. Peters, J. L. Tschernitz, and J. J. Zahn. 1972. Feasibility of producing a highyield laminated structural product—General summary. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 175. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
 - 31) Moody, R. C., and C. C. Peters. 1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product: Strength properties of rotary knife-cut laminated southern pine. USDA Forest. Service Res. Pap. FPL. 178. Forest Prod.Lab., Madison, Wis.
 - 32) Jokerst, R. W. 1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product: Residual heat of drying accelerates adhesives cure. USDA Forest. Service, Res. Pap. FPL 179. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
 - 33) Bohlen, J. C. 1972. LVL laminated veneer lumber — development and economics. Forest Prod. J. **22**(1) : 18-26.
 - 34) Koch, P. 1973. Structural lumber laminated from 1/4-inch rotary-peeled Southern pine veneer. Forest Prod. J. **23**(7) : 17-25.
 - 35) FPL Press-Lam Research Team. 1977. Press-Lam: Progress in technical development of laminated veneer structural products. USDA Forest Service, Res. Pap. 279. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
 - 36) Youngquist, J. A., F. J. Fronczak, and R. L. Youngs. 1978. Small-scale mills options for producing parallel laminated veneer material. Proceedings of the 8 th World Forestry Congress, FID- II /21- 8, Jakarta 16-28 Oct. 1978.
 - 37) Youngquist, J. A., F. J. Fronczak, D. J. Severt, and R. L. Youngs. 1978. Further options for small-scale mills. Supplement to the above.
 - 38) Casilla R. C., and S. Chow. 1979. Press-time reduction by preheating and strength improvement by finger-jointing laminated veneer lumber. Forest Prod. J. **29**(1) : 30-34.
 - 39) Schaffer, E. L., and R. C. Moody. 1977. Stress-graded hardwood lumber by Press-Lam production. Forest Prod. J. **27**(2) : 26-31.
 - 40) Eckelman, C. A., R. W. Jokerst, W. L. Hoover, and J. A. Youngquist. 1979. Utilization of red oak Press-Lam as upholstered furniture framestock. Forest prod. J. **29**(5) : 30-40.
 - 41) Stump J. P., L. A. Smith, and R. L. Gray 1981. Laminated veneer lumber made from plantation grown conifers. Forest Prod. J. **31**(4).
 - 42) Schaffer, E. L., and J. L. Tschernitz. 1973. Press-Lam: Economic viability of log-to-product system. Proc. IUFRO, Sect. V. For. Prod. Capetown/Pretoria, Union of South Africa.
 - 43) Harpole, G. B. 1976. Yield comparison: Press-Lam vs. sawn lumber and plywood. Forest Industries **103**(10) : 42-43.
 - 44) University of Washington, College of Forest Resources, Physical Science and Engineering Division. AR-10. 1976. The production and marketing feasibility of parallel-laminated

- veneer-type products. Seattle, Wash.
- 45) Koch, P. C. 1976. Laminated lumber may be more profitable than sawn lumber. *Forest Industries* **103**(6) : 42-44.
 - 46) Harpole, G. B. 1976. Assessing a continuous process to produce Press-Lam lumber. *Forest prod. J.* **26**(8) : 51-56.
 - 47) Harpole, G. B., and L. W. Aubry. 1977. Economic feasibility of process for highyield laminated structural products. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 285. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
 - 48) Youngquist, J. A., 1978. Production and marketing opportunities for parallel-laminated veneer products. Proceedings of the 7th Plywood Clinic, Portland, Oreg., March 1978.
 - 49) Youngquist, J. A., and B. S. Bryant. 1979. Production and marketing feasibility of parallel laminated veneer products. *Forest Prod. J.* **29**(8) : 45-48.
 - 50) Hoover, W. L., C. A. Eckelman, R. W. Jokerst, and J. A. Youngquist. 1979. Economic feasibility of red oak Press-Lam for upholstered furniture framestock. *Forest Prod. J.* **29**(11) : 21-25.
 - 51) Casilla, R. C., and S. Chow. 1979. Veneer finger jointing for laminated veneer lumber. Dept. Environment, Canadian Forestry Service, Western Forest Prod. Lab. Vancouver, B. C.
 - 52) Casilla, R. C., S. Chow., and G. E. Troughton. 1980. Effect of gluing conditions on veneer finger joint bond quality for laminated veneer lumber. *Forest Prod. J.* **33**(6) : 39-41.
 - 53) Nelson, S. A. 1972. Structural applications of MICRO-LAM lumber. *Civ. Eng.* 42(7) : 57.
 - 54) Kurtenacker, R. 1975. How pallets with laminated red oak deckboards performed in use. UADA Forest Service, Gen. Tech. Rep. FPL-4. Forest. Prod. Lab., Madison, Wis.
 - 55) Hot off the press — a USFS bridge. 1976. *Forest Prod. J.* **26**(9) : 77
 - 56) Nelson, S. A. 1976. University of Idaho studium: a MICRO-LAM application. Conf. Pap. An. Soc. Civ. Eng. USA [2800] : 21
 - 57) Youngquist, J. A., F. Brey, and J. Jung. 1977. Structural feasibility of parallel-laminated veneer crossarms. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 303. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
 - 58) Youngquist, J. A., D. S. Gromala, R. W. Jokerst, R. C. Moody, and J. L. Tschernitz. 1978. The design, fabrication, testing, and installation of a Press Lam bridge. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 332. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
 - 59) Youngquist, J. A., D. S. Gromala, R. W. Jokerst, R. C. Moody, and J. L. Tschernitz. 1978. Design, performance, and installation of a Press-Lam basement beam in a factory-built house. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 316. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
 - 60) Tschernitz, J. L., E. L. Schaffer, R. c. Moody, R. W. Jokerst, D. S. Gromala, C. C. Peters, and W. T. Henry. 1979. Hardwood Press-Lam crossties: Processing and performance. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 313. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
 - 61) 有馬孝禮, 大熊幹章: 単板積層材の製造と材質に関する研究 (第1報) —— 2, 3の機械的性質について ——, 木材工業 **28** [6] (1973)
 - 62) 海老原徹, 大熊幹章: 単板積層材 (LVL) の製造と材質に関する研究 (第2報) —— 熱板乾燥余熱による単板の接着 ——, 木材工業 **30** [8] (1975)
 - 63) 山本安一, 樋口晃司: 単板積層材に関する研究 (第1報) 多段ホットプレスを使用する

- 単板積層材の製造について 永大産業(株) 中央研究所報告, No. 1. (1975)
- 64) 皆川 保: 単板積層材の木質構造への応用. 木材工業 **32** [9] (1977)
- 65) 大熊幹章: 構造用の LVL の製造と利用についての 2, 3 の新しいところみ. AWCOM [25] (1976)
- 66) 佐々木光: 間伐材及び林地廃材の利用, とくに LVL 化について 木材工業 **33** [6] (1978)
- 67) 佐々木光, 井上章一, 間瀬和久, 加藤昭二: MOVAMIL —— その意義とシステム概要. 木工機械 No.91 (1978)
- 68) 大熊幹章: 構造用 LVL の利用開発の方向をさぐる (その 2). 木材工業 **35** [3] (1980)
- 69) 野崎兼司, 高谷典良, 田口 崇: 単板積層材の製造試験 (第 2 報). 林産試験場月報. No. **280** (1980)
- 70) 大熊幹章: 間伐材等小径木から製造される合板に替わる構造用板材料 LVB について. 木工機械 No.109 (1981)
- 71) 大熊幹章: 間伐小径丸太の新しい切削方法. 昭和56年度科学研究費補助金 (試験研究 2) 研究成果報告 (1982)
- 72) 佐々木光, 加藤昭二, 田之内寅雄: バックアップ・ロール駆動レースの開発と間伐材小径木 LVL 化プラントへの活用. 木材工業 **38** [10] (1983)
- 73) 野崎兼司, 吉田弥明: 単板の熱板乾燥. 林産試験場月報 No. **277** (1975)
- 74) 小倉高規, 野崎兼司, 吉田弥明, 田口 崇: 道産およびソ連産カラマツによる合板製造試験(1)・(2). 林産試験場月報 No. **198**, No. **199** (1970)
- 75) 吉田弥明, 田口 崇, 野崎兼司, 小倉高規: カラマツ材の単板切削試験. 林産試験場月報 No. **246** (1974)
- 76) 田口 崇, 野崎兼司, 吉田弥明, 小倉高規: ソ連産カラマツ及びヨーロッパアカマツによる合板製造試験. 日本木材学会北海道支部講演集 第 6 号 (1975)
- 77) 試験部合板試験科: 新得産カラマツによる合板製造試験. 林産試験場月報 No. **235** (1973)
- 78) Lutz, J. F., and R. A. Patzer. 1966. Effects of horizontal roller ber openings on quality of rotary-out southern pine and yellow poplar. *Forest Prod. J.* **16**(10) : 15.
- 79) Lutz, J. F. 1967. Research at Forest Products Laboratory reveals that heating southern pine bolts improves veneer quality. *Playwood and Panel* **7**(9) : 20-28
- 80) Feihl, O. 1968. Design and performance of roller pressure bar for veneer lathes. Can. Dept. of Forest and Rural Development publication 1225.
- 81) Peters, C. C., R. R. Zenk, and A. Mergen. 1968. Effects of roller-bar compression and restraint in slicing wood 1 -in. thick. *Forest Prod. J.* **18**(1) : 25.
- 82) Peters, C. C., A. F. Mergen, and H. R. Panzer. 1969. Slicing wood 1 -inch thick: Four types of pressure bars. *Forest Prod. J.* **19**(7) : 47.
- 83) Peters, C. C., A. F. Mergen, and H. R. Panzer. 1969. Effect of cutting speed during thick slicing of wood. *Forest Prod. J.* **19**(1) : 37.
- 84) Polka, C. C., and B. Holmes. 1973. Effect of log diameter and clearance angle on 0.75 inch-thick Douglas-fir veneer. *Forest Prod. J.* **23**(7).
- 85) Lutz, J. F. 1974. Techniques for peeling, slicing, drying veneer. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 228. Forest Prod. Lab. Madison, Wis.
- 86) Peters, C. C. 1975. Rotary cutting: A practical method for kerfless cutting of wood thicker than 1/4 inch. *Forest Prod.* **26**(6) : 54-56.

- 87) Lutz, J. F. 1976. Spin-out of veneer blocks during rotary cutting of veneer. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 278, Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
- 88) Hancock, W. V. 1977. Improvements in veneer yields through better peeling techniques. Modern Plywood Techniques: Proceedings of the Fifth Plywood Clinic, March 1977.
- 89) Walser, D. C., and T. A. McLauchlan. 1977. A new development in veneer peeling. Slide presentation at the 31st Annual Meeting of the Forest Products Research Society, July 1977, Denver, Colo.
- 90) Fahey, T. D. 1978. Veneer recovery at a high-speed core lath. Forest Prod. J. **28**(4): 19-20.
- 91) Frank, F. J. 1979. Preventing veneer bolt spinout. Proceedings of the Seventh Plywood Clinic, Portland, Oreg., March 1979.
- 92) Hailey, J. R. T., and R. M. Knudson. 1980. Optimizing veneer yield and quality: a comparison of industrial and laboratory lathes. Forest Prod. J. **30**(4)
- 93) Judd, J. 1981. FPL develops PBR: an improved veneer peeling technology. Forest Prod. J. **31**(4)
- 94) 瀬戸健一郎, 野崎兼司, 高橋政治, 新岡輝一: スプレッターによる接着剤塗布試験 3. 林産試験場月報 No.156 (1965)
- 95) 半井勇三, 渡辺俊毅, 竹原 弘, 稲村吉則: 高周波による集成材の接着性に関する研究. 木材工業 **27**(7) (1972)
- 96) 高谷典良, 小倉高規, 野崎兼司, 田口 崇: イタリア系改良ポプラ合板の製造試験. 北海道立林産試験場月報 No.222 (1972)
- 97) 単板積層材の日本農林規格: 昭和53. 8. 8農林水産省告示第106号
- 98) 普通合板の日本農林規格: 昭和39. 4. 11農林省告示第383号. 第6次改正, 昭和58. 9. 8農林水産省告示第1635号.
- 99) 滝 欽二, 原 満: 南洋材の高周波接着に関する研究 (第2報) —— 高周波加熱における木材内部温度上昇 ——. 木材工業 **34**(8) (1979)
- 100) 滝 欽二, 船間 勉: 南洋材の高周波接着に関する研究 [I] 常温接着の比較. 静大農研報 23(5) (1973)
- 101) 山本 孝: 高周波による木材加工に関する研究. 東大演報 No.41 (1951)
- 102) 高谷 典良, 田口 崇: 未発表資料.
- 103) 松本 聡, 宮島 寛: カラマツ材のプレス乾燥. 日本木材学会北海道支部講演集 第12号 (1980)
- 104) 構造用 LVL 需要開発委員会: 技術開発推進事業報告書「構造用 LVL 需要開発」. 昭和56年3月 (財)日本住宅木材技術センター (1981)
- 105) ASTM D 2915. Standard method for evaluating properties for grades of structural lumber. American Society for Testing and Materials.
- 106) 改訂3版木材工業ハンドブック編集委員会編集: 木材工業ハンドブック. 丸善(株) (1982)
- 107) 倉田久敬, 山本 宏, 長原芳男, 高橋政治, 川口信隆: 道産針葉樹材による枠組壁工法構造用製材の品質と強度性能. 林産試研報 第67号 (1978)
- 108) 枠組壁工法構造用製材の日本農林規格: 昭和49. 7. 8農林省告示第600号. 第3次改正, 昭和56. 12. 23農林省告示第1914号.
- 109) 素材の日本農林規格: 昭和42. 12. 8農林省告示第1841号.
- 110) 川口信隆: 未発表資料
- 111) 小倉高規: 新開発の林産試型 LVL 製造システム. 木材の研究と普及 北海道林産技術

普及協会 29(10) (198塗)

- 112) 小倉高規：カラマツ小径材による LVL の製造システムについて (I), (II). 木材工業 **36**(12), **37**(1) (1982, 1983)
- 113) 久田卓興, 筒本卓造：合板製造のためのエネルギーと資材(1). 木材工業 **36**(9) (1987)
- 114) Grantham, J. B., and G. H. Atherton. 1959. Heating Douglas-fir veneer blocks — does it pay? Oreg. Forest Prod. Res. Cent. Bull. 9. Corvallis, Oreg.
- 115) Lane, P. H., R. O. Woodfin, J. W. Henley, and M. E. Plank. 1973. Veneer recovery from old-growth coast Douglas-fir. USDA Forest Service, Res. Pap. PNW-162.
- 116) Woodfin, R. O. 1973. Wood losses in plywood production — Four species. Forest Prod. J. **23**(9) : 98-106.