分野：林業

国産材 CLT の製造コストを半減するための技術

試験研究計画名：国産材 CLT の製造コストを 1/2 にするための技術開発
地域戦略名　　：CLT 製造コストの削減による、地域産材の需要拡大
研究代表機関名：（研）森林研究・整備機構

地域の競争力強化に向けた技術体系開発のねらい：

これまで CLT の普及を図るために必要な規格・基準等の法的整備が進められてきましたが、実際の建築物への利用は緒についたばかりで、今後 CLT を欧米並みに普及させるためには、国産材 CLT に価格競争力をつけ、消費者ニーズに合わせた CLT 市場を拡大していくことが急務となっています。

そこで製造コストの削減に関わる技術的な課題を抽出しし、生産効率の向上と標準パネルによる量産化及び非構造用途開発や長寿命化による市場規模の拡大を目的として、高速接着操作技術の開発、製品仕様適正化技術の開発、耐久性付与技術の開発、流通コストの分析と製造コストシミュレーターの開発に取り組みました。そして、このシミュレーターを使って CLT 製造コストの要因分析を行うとともに、製造コストが半減するためのモデルを提案します（表１）。

表 1.　技術体系のねらいと概要

低コスト化への課題	対応する技術課題	得られる成果
歩留り・生産性向上省エネルギー	高速接着操作技術	生産効率の向上による低コスト化
少量多品種受注生産体制からの脱却	製品の標準仕様策定	標準パネル量産による低コスト化
市場規模の拡大	耐久性付与技術 非構造用途開発	ニーズに合わせた需要拡大→生産量増大による低コスト化
流通コスト・製造コスト要因分析	製造コストシミュレーターの開発	経営分析とフィードバックによる低コスト化

技術体系の紹介：

１．高速接着操作技術の開発

CLT の製造における接着工程の低コスト化を図るため、従来の 15㎜ に代る 6㎜ のフィンガージョイントを CLT に適用する技術を開発した結果、フィンガー加工時の消費エネルギーが半減しました（図 1）。また、積層接着時間の短縮と積層工程の自動化により生産効率の 10%向上を小型 CLT 試作機で実証しました（図 2）。さらにこの試作機は、非構造・内装用途で高付加価値の見込まれる薄物のパネル製造モデルとしても、地域材の有効活用を目指す山間部の事業者に対して提案しました。

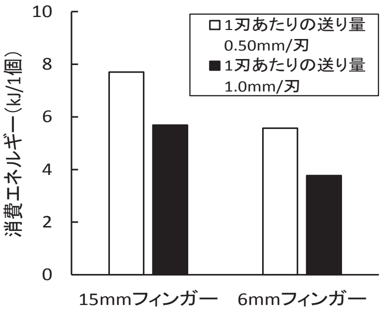


図 1. フィンガー加工時の消費エネルギー

図 2. CLT(1×2m)試作機

２．製品仕様の適正化技術の開発

CLT パネルの製造工程では、製品仕様（幅や長さ、ラミナの品質や構成）が変わるたびに製造装置の調整を行う必要があり、このことが生産効率を妨げる一因となっていました。そこで、同じ製造条件で、量産を可能とするために、CLT パネル工法において構造計算が最も簡易な仕様で設計できる戸建て住宅、共同住宅、事務所建築を対象に、その壁や床に標準的に使用できるパネルの製品仕様を明らかにするとともに、それら製品仕様のパネルを効率的に生産できるラインを提案します（表 2)。標準サイズの CLT パネルの安定供給が可能となることで工場の生産効率が良くなり､生産量の拡大につなげることができます。

表 2.　試設計した CLT の製造ラインの概要

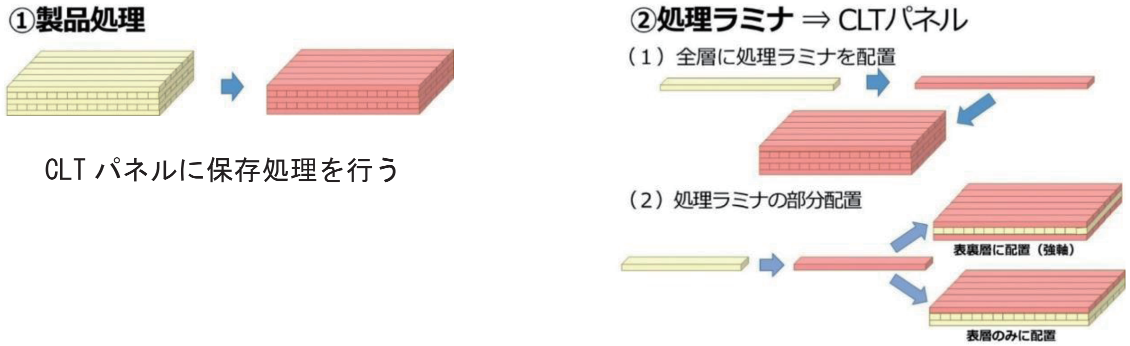
	ラインＡ	ラインＢ	ラインＣ
プレスサイズ	2m x 4m	3m x 9m	3m x 9m
プレス方式	冷圧	冷圧	高周波加熱
接着剤*	API	API	API、RF
作業員数（名）	11	9	13
年間生産量（m^3）	3,000	12,000	24,000
設備費（億円）	6.5	10.9	40.0
減価償却費（万円）	2.9	1.2	2.2

*API:水性高分子-イソシアネート系接着剤、RF：レゾルシノール 樹脂接着剤

３．CLT への耐久性付与技術の開発

CLT の防腐・防蟻耐久性を付与することによる市場拡大を目指して、製材等でこれまで実績のある加圧注入処理法を中心に CLT への適用を検討しました。CLT パネルに直接処理する方法（図 3 ①）や、ラミナを処理してから CLT を製造する方法（全層配置（図 3 ②（1））や表層等部分的配置（図 3 ②（2)））など、部材寸法等に応じた様々な製造技術を確立しました。そして、いずれの保存処理 CLT においてもシロアリや木材腐朽菌への抵抗性について、その評価法の開発と合わせて有効性を確認しました。

これらにより、高い耐久性が要求される土台、屋外等の部材や台湾、東南アジア等の蒸暑蒸暑地域への供給が可能となり、輸出も含めた需要拡大が期待できます。保存処理という高付加価値をつけることで、最終製品の価格は上がりますが、市場拡大により CLT 全体の需要が増え、工場の生産量が増えることによって製造コスト低減に寄与することができます。



CLT パネルに保存処理を行う

処理ラミナを配置して CLT パネルを製造

図 3.　製造実証した保存処理 CLT の例

４．流通コスト分析と CLT 製造コストシミュレーターの開発

山元の立木価格を向上させて原木の出材を促進するには、効率の高い事業体の育成や山土場から工場への直送等による伐出・流通コストの低減が必要であることを明らかにしました。ラミナコストの削減には、伐出・流通コスト低減による原木集荷や低価格の原木利用、10t 以上のトラックによる原木は 25

表 3.　輸送手段と距離による原木（左）とラミナ（右）の試算輸送コスト

原木輸送コスト　（円/m^3）

ﾄﾗｯｸｻｲｽﾞ	輸送距離（km）			
	25	50	75	100
4t	2, 049	3, 666	5, 284	6, 901
10t	1, 343	2, 406	3, 468	4, 530
ﾌﾙﾄﾚｰﾗｰ	1, 232	2, 193	3, 153	4, 114

ラミナ輸送コスト　（円/m^3）

ﾄﾗｯｸｻｲｽﾞ	輸送距離（km）			
	25	50	75	100
8t	1, 024	1, 833	2, 642	3, 450
13t	698	1, 249	1, 801	2, 352
ｾﾐﾄﾚｰﾗｰ	753	1, 340	1, 927	2, 514

km、ラミナは 50 kmまでの集荷とする必要があります（表 3）。

CLT の製造コスト評価を行うためのツールとして、CLT 製造コストシミュレーターを開発しました（図 4）。開発した新規技術等（プレス時間、フィンガーカット寸法、ラミナ厚さ、ラミナ単価、製造歩留り等）に係る変数を組み込み、Microsoft Excel 2010 ワークシート上に作成したコスト評価ソフトウェアです。製造コストや事業採算性についての詳細なシミュレーションが行えるように、入力条件として、工場の稼働、原材料、製造方法、販売単価、その他各種費目を設定しました。出力結果は「データ入力と出力」と「損益計算とキャッシュフロー」のワークシートに表示されます。評価指標は、CLT の製造原価および各種利益率（売上高総利益率、売上高営業利益率、売上高税引前当期利益率）の 10 年間平均値、税引前 IRR（Internal Rate of Return）、税引前 NPV（Net Present Value）、投資回収年を設定しました。IRR と NPV の評価期間は 10 年としました。

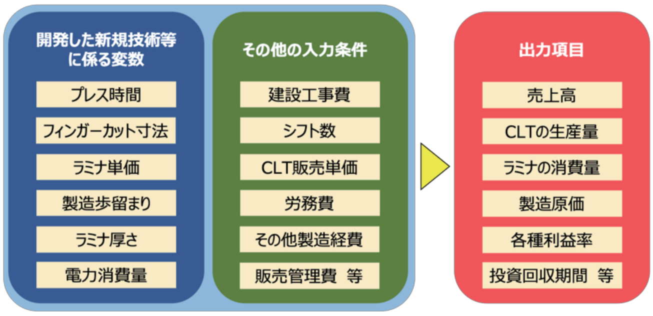


図 4.　CLT 製造コストシミュレーターの概要

技術体系の経済性は：

経営改善効果

現実的な CLT の生産規模、製造条件ならびに製品サイズについての機械メーカーと検討し、現実的な工場条件を決定しました。入手した中・大規模 CLT 工場の設計積算資料をもとに、CLT の製造原価・販売単価を試算しました。さらに新規技術等を盛り込んだ場合にコストに反映される改善内容を各開発技術別に検討して、数値を設定しました。これらの条件を入力して製造原価・販売単価を試算し、コスト削減額と新規技術等の寄与率を分析し、CLT の販売額が従来の 15 万円 /m^3 の半分となるモデルを提案しました（図 5）。寄与率分析の結果（図 6、表 4）から、コスト削減には量産ラインの導入は必要ですが、新規技術導入の効果も全体の 1/3 を占め、大きな効果があることが分かりました。なお、新規技術等を導入した場合においても、導入後の CLT 販売単価の 5 割以上を原材料費、さらにそのほとんどはラミナ費が占めることから、省力・高効率の板挽き製材工場を、ラミナ横持ちの流通コストを低減するために、できるだけ CLT 工場が近隣に立地していていることが重要であると考えられます。ラミナ製材工場においては、可能な範囲で、安価な丸太の使用割合を増加させ、原材料費を低減させることができ

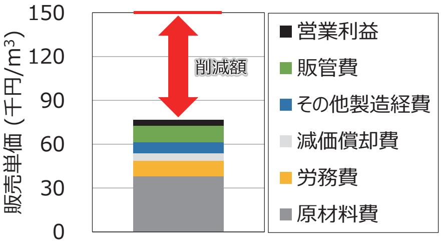


図 5. CLT 製造コスト半減モデルの提案

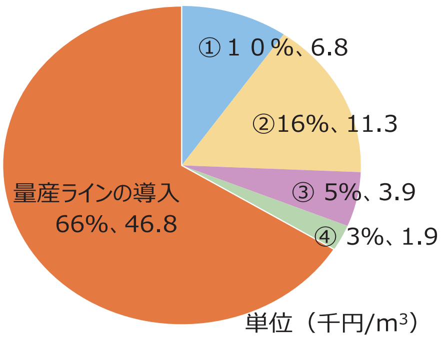


図 6. 削減額(図 5)に対する各技術開発成果の寄与率

れば、さらなるラミナ費の削減が期待されます。

本技術体系で開発されたコストシミュレーターの導入前においては、各事業者は CLT 製造に係るコスト試算、事業の採算性を独自に実施することは困難でしたが、導入によってこれが容易に試算でき、コストを効果的に低減させる因子も明らかであるため、事業化のための検討に大きく寄与します。

表 4. 削減額(図 5)に対する各技術開発成果の寄与率

	技術課題	技術導入による改善方策	寄与する項目
①	高速接着操作技術	・プレス回数：6→7 回 ・歩留り：70→71% ・電力費：1/1000 削減	生産効率の向上
②	製品の標準仕様策定	・充填率：40→50% ・標準サイズ品の普及による 2 交代制稼働	標準パネル量産による生産量拡大
③	耐久性付与技術	・保存処理 CLT の需要増による 2 交代制稼働	ニーズに合わせた需要増による生産量拡大
④	流通コストの分析	・ラミナ費：2.8→2.7 万円/m^3	原材料費の削減

経済的な波及効果

これまで中高層建築の構造材として木材を使うことは困難でしたが、国産材 CLT を供給できれば、鉄鋼やコンクリートなどの産業に流れていた資金が山村地域の林業・林産業に流れます。林業・林産業は、育林に始まり丸太生産、輸送、木製品の 1 次・2 次加工など非常に裾野の広い産業であり、地域の活力向上が期待できます。また、日本の人工林の資源量は豊富になり、これからの森林の健全な持続的経営にとって木材の適正な利活用が不可欠です。森林は温室効果ガスの吸収、生物多様性の保全、土砂災害の防止、水源のかん養、保健休養の場の提供など多くの公益的機能（経済価値）を有しており、国産材 CLT の活用はこれらの価値向上にも大いに貢献できます。

こんな経営、こんな地域におすすめ：

民間企業（既存の林産企業や異業種新規参入企業）あるいは地方創生を図る地方自治体などでの活用を想定しています。現在、供給力のある CLT 工場は西日本地域に局在しています。今後、東日本地域においても、CLT 製造コストシミュレーターを活用して事業性の検討を行い、その結果、新工場を稼働させることができれば、一層のコスト削減と普及促進を図ることができます。

技術導入にあたっての留意点：

CLT 製造コストシミュレーターは、地域材による CLT 製造の可能性を検討するための多くの情報を提供します。技術導入にあたっては、地域森林資源の状況、工場規模、稼働条件および原料ラミナの調達量・コスト等について現実的な設定をすることが大切です。

研究担当機関名：（研）森林研究・整備機構 森林総合研究所、（地独）道総研 林産試験場、
お問い合わせは：国産材 CLT 普及促進コンソーシアム事務局
（研）森林研究・整備機構　森林総合研究所内
E-mail　SEIZO_Cost_PJ@ml.affrc.go.jp
執筆分担（（研）森林研究・整備機構 森林総合研究所　塔村真一郎、
（地独）道総研 林産試験場・古俣寛隆）