

2. 3 銘建工業(株)

2. 3. 1 建築物の仕様一覧

事業名		大規模な建築物を想定した大量生産、大量輸送に対するCLTパネル生産の低コスト化等実証事業		
実施者 (担当者)		銘建工業株式会社		
建築物の概要	用途	—		
	建設地	—		
	構造・工法	—		
	階数	—		
	高さ (m)	—		
	軒高 (m)	—		
	敷地面積 (㎡)	—		
	建築面積 (㎡)	—		
	延べ面積 (㎡)	—		
	階別面積	1階	—	
	2階	—		
	3階	—		
CLTの仕様	CLT採用部位		—	
	CLT使用量 (㎡)		加工前製品量 1106.5402 m ³	
	JAS製品	寸法	90mm厚, 120mm厚	
		ラミナ構成	3層3プライ, 3層3プライ+1プライ	
		強度区分	Mx60A相当	
		樹種	スギ	
	nonJAS製品	寸法	90mm厚	
		ラミナ構成	3層3プライ	
		強度区分	強度なし	
		樹種	スギ	
	寸法	—		
	ラミナ構成	—		
	強度区分	—		
	樹種	—		
木材	主な使用部位 (CLT以外の構造材)		—	
	木材使用量 (㎡) ※構造材、羽柄材、下地材、仕上材等とし、CLT以外とする		—	
仕上	主な外部仕上	屋根	—	
		外壁	—	
		開口部	—	
	主な内部仕上	界壁	—	
		間仕切り壁	—	
		床	—	
	天井	—		
構造	構造計算ルート		—	
	接合方法		—	
	最大スパン		—	
	問題点・課題とその解決策		—	
耐火	防火上の地域区分		—	
	耐火建築物等の要件		—	
	本建築物の耐火仕様		—	
	問題点・課題とその解決策		—	
温熱	建築物省エネ法の該当有無		—	
	温熱環境確保に関する課題と解決策		—	
	主な断熱仕様 (断熱材の種類・厚さ)	屋根 (又は天井)	—	
		外壁	—	
床		—		
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		—	
	建て方における課題と解決策		—	
	給排水・電気配線設置上の工夫		—	
	劣化対策		—	
工程	設計期間		—	
	施工期間		—	
		CLT躯体施工期間	—	
	竣工 (予定) 年月日		—	
体制	発注者		銘建工業株式会社	
	設計者 (複数の場合はそれぞれ役割を記載)		—	
	構造設計者		—	
	施工者		—	
	CLT供給者	銘建工業株式会社		
	ラミナ供給者	株式会社くまもと製材		

2. 3. 2 実証事業の概要

実証事業名：大規模な建築物を想定した大量生産、大量輸送に対する CLT パネル生産の低コスト化等実証事業

建築主等／協議会運営者：銘建工業（株）

1. 実証した建築物の概要

用途	該当せず（以下「－」と表記）		
建設地	－		
構造・工法	－		
階数	－		
高さ（m）	－	軒高（m）	－
敷地面積（㎡）	－	建築面積（㎡）	－
階別面積	1階	－	延べ面積（㎡） －
	2階	－	
	3階	－	
CLT 採用部位	－		
CLT 使用量（m ³ ）	加工前製品量 1106.5402 m ³		
CLT を除く木材使用量（m ³ ）	－		
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）	
	JAS 製品	90mm 厚/3 層 3 プライ/Mx60A 相当/スギ 120mm 厚/3 層 3 プライ+1 プライ/Mx60A 相当/スギ	
	nonJAS 製品	90mm 厚/3 層 3 プライ/強度なし/スギ	
設計期間	－		
施工期間	－		
CLT 躯体施工期間	－		
竣工（予定）年月日	－		

2. 実証事業の目的と設定した課題

CLT 工法普及の課題として、CLT 工法は他工法と比較して施工面積当たりのコストが高価な事が一因となっている。大規模イベント等に於いて、CLT を活用した建築物を建築する計画があり、本実証事業では大量の CLT を製造・供給するに当たって、CLT の低コスト・安定供給に向けた実証を目的とした。又、今回の実証事業により発生した不適合材より CLT を製造し、未活用材を有効利用した新たな市場の開発も同様に目的とした。設定した課題は以下の通りである。

(1) CLT の生産性向上と生産コスト評価

・原木確保

サンプリング試験体から打撃調査を実施し、不適合原木比率の割り出し、未選別出荷の一般材と比較した場合とのコスト、及び集材における掛かり増し工程を比較検討する。

・輸送効率

上記選別出荷の有無による輸送効率のコストへの影響を比較検証する。

・ラミナ歩留/CLT 生産性

選別出荷丸太からラミナを製材し、選別の有無による適正ラミナ出現率の比較検討、及び選別有無による CLT 製造歩留とコストへの影響を比較検証する。

(2) 低炭素化への貢献度

上記内容から、一連の作業に係る炭素消費の比較検証を実施。

(3) 不適合材の活用

不適合ラミナと選別により不適合となった原木より製材したラミナを使用して、CLT を製造し、未活用材 CLT の用途開発とチップ等に使用される場合との価格差について比較検討する。

3. 協議会構成員

(グランドデザイン)	: 銘建工業(株) (協議会運営者)
(調査)	: 熊本県森林組合連合会、(株)環境管理センター、銘建工業 (株)
(原木供給)	: 熊本県森林組合連合会
(製材)	: (株)くまもと製材
(CLT 製造)	: 銘建工業 (株) CLT 工場

4. 課題解決の方法と実施工程

(1) CLT の生産性向上と生産コスト評価

市場から仕入れた原木を用いて、簡易測定型強度測定器にてより分けた E70 以上、E70 未満、強度測定を行わない無選別の 3 グループから CLT を製造した。製造工程の各段階においての歩留まりをグループごとに比較することで強度測定による生産性の向上を検証した。得られた結果を基に、製造費に置き換えた費用効果を求め、また強度測定に掛かった工数と見比べることで、原木の強度選別による生産コストの評価を行った。

(2) 低炭素化への貢献度

製材から CLT 製造に至るまでの炭素消費量を調査し、得られた消費量を基に強度選別効果による CLT の生産性の向上に伴う炭素消費量削減効果を検証した。

(3) 不適合材の活用

CLT の JAS 製品に適さなかった材料(不適合材)、および製材時に生じた丸みつきの側板(未利用材)を用いて、JAS 規格範囲外の CLT を製造した(以下、未利用材 CLT)。合わせて木材チップに利用される場合との価格差について検証した。

<協議会の開催>

2022年 9月 : 第1回開催、問題点洗い出し
10月 : 第2回開催、確認作業
12月 : 第3回を開催、各段階での進捗確認
2023年 1月 : 第4回開催、各段階での進捗確認

<性能確認>

2023年 2月～5月 : 原木強度測定及び仕分け
5月～10月 : 製材
6月～10月 : ラミナの輸送（熊本～岡山）
8月～12月 : CLT 製造
8月 : (株)くまもと製材における製造時の電力使用量・炭素消費量調査
12月 : データ取りまとめ

5. 得られた実証データ等の詳細

設定した課題において次の結果が得られた。

(1) CLT の生産性向上と生産コスト評価

本事業で、原木の強度測定により歩留まりが約10%改善し、製品単価では5%ほど（5千円程）下げられる可能性があることが分かった。課題としては、個別性が高いこと、強度測定方法の省力化が必要であること、CLT に適さない原木の扱いは未検討であること、管理上の作業性を考慮することがあげられた。

(2) 低炭素化への貢献度

原木の強度測定による CLT の生産性向上に伴って、製材から CLT 製造に至るまでの炭素消費量は7%程度削減できることが分かった。

(3) 不適合材の活用

未利用材 CLT については、曲がりや反り、および欠点を有するラミナを使用しても問題なく製造できた。不適合材等で未利用材 CLT を製造した場合、原材料あたりの製品価格が上がり、将来的には CLT の JAS 製品の価格が下げられる可能性があることが分かった。

6. 本実証により得られた成果

本成果は、大規模イベントや建築物の計画の際に、CLT の材料調達段階からコストを検討する場合の参考となる。CLT の普及と低コスト化につながるように、今後も企業努力を怠ることなく、取り組む所存である。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等



写真 1. 原木の強度測定及び仕分けの様子



写真 2. 製造した未利用材 CLT

2. 3. 3 成果物

大規模な建築物を想定した大量生産、大量輸送に対する
CLT パネル生産の低コスト化等実証事業

成果報告

銘建工業株式会社

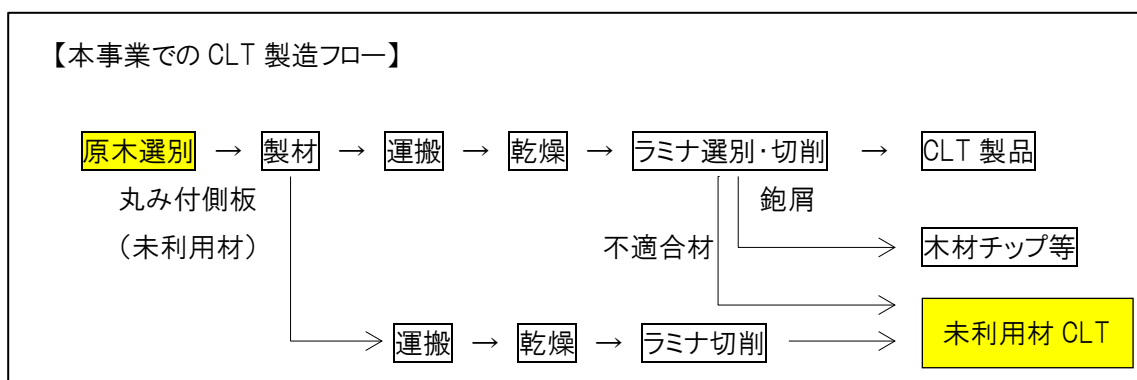
1. 調査概要

本事業では、CLT の生産性向上及び低コスト化を目的とし、原木段階での強度選別による CLT 製品の生産性向上を検証した。

合わせて、生産性の向上によるコスト削減効果および製造時における温室効果ガス(GHG)排出量削減効果を検証した。

また、CLT の製造に至るまでに生じた、CLT 製品には適合しない材(以下、不適合材)を使用して未利用材 CLT を製造し、新たな市場の開発に向けて検討を行った。

本事業で実施した CLT 製造フローを下記に記す。



2. CLT の生産性向上と生産コスト評価

2-(1) 調査対象及びグループ

本事業の調査対象として、3 つのグループを設定し比較した。使用した原木および、設定したグループ、製造した CLT の強度等を下記にまとめる。

樹種： スギ

丸太原木寸法： 末口口径 24 上

丸太原木産地： 球磨地域周辺 宮崎県(5割)、熊本県(3割)、鹿児島県(2割)

強度測定方法： 簡易型構造用集成材・原木強度測定機((株)エーティーエー社製 HG-2020sp)による縦振動法

対象グループ： 【E70 以上】

上記測定による曲げヤング係数が 5.9GPa 以上の原木と、原木から製材された材

【E70 未満】

上記測定による曲げヤング係数が 5.9GPa 未満の原木と、原木から製材された材

【無選別】

強度測定を伴わない原木と、原木から製材された材

CLT 用ラミナ： M60A(同一等級構成(S60)、異等級構成(Mx60)の外層に使用できるラミナ)

M30B(異等級構成(Mx60)の内層に使用できるラミナ)

CLT の強度： 異等級構成 Mx60、同一等級構成 S60(試算のみ)

(Mx60-3-3)

M60A
M30B
M60A

(S60)

M60A
M60A
M60A

図 2-1. 異等級構成(Mx60-3-3)と CLT の同一等級構成(S60)の構成例



写真 2-1. 原木の強度測定及び仕分けの様子

2-(2) 原木段階での強度選別による CLT 製品の生産性向上の検証

原木の強度選別を行った結果、宮崎県、熊本県、鹿児島県にて集材した原木の内、82%が E70 以上、18%が E70 未満であった。

表 2-1. 原木の強度測定本数と E70 以上の出現率

	仕分数(本)	E70 以上の出現率
宮崎県	2,151	82.6%
熊本県	966	80.4%
鹿児島県	839	82.2%
合計	3,956	82.0%

強度選別した原木から製材した GRN ラミナは CLT 工場へ移送した。ラミナは CLT 工場にて乾燥させたのち、目視選別・強度測定によって M60A、M30B、不適合材に仕分けた。また、無選別材と合わせて各グループのラミナの歩留まりを算出した。

CLT 工場へ納材されたラミナの内、CLT 製品に使用可能な材料の直行率(M60A 及び M30B の出現率)は、E70 以上で 88.0%、無選別材で 79.7%となり、8.3 ポイント向上した。M60A の出現率は、E70 以上で 84.6%、無選別材平均で 73.3%となり、11.3 ポイント向上した。E70 以上では不適合材の出現率が低く、全グループの不適合材の多くは曲がりや反りに該当した。

CLT 製品 1m³ を製造するために必要な GRN ラミナ原材料は、CLT の構成によって異なるため、異等級構成と同一等級構成の場合で必要量を算出した。強度はスギで主に生産される Mx60、S60 を対象とした。異等級構成の内、外層比率が最も高い構成は 3 層 3 プライ(外層比率 66%)である。本実証で得られた M60A の出現率はいずれも外層の構成比率以上の数値であったため、異等級構成に使用するラミナは直行率で算出し、M60A の構成比が 100%である同一等級構成については M60A の出現率を基に算出した。

算出の結果、CLT 製品 1m³ を製造するために必要な原材料について、無選別材と比較して E70 以上は異等級構成で約 10%削減できた。同様に同一等級構成では約 13%削減できた。

表 2-2. 乾燥ラミナを CLT 製品用ラミナへ仕分けた時の出現率

	仕分数 (枚)	CLT 製品用 M60A(枚)	CLT 製品用 M30B(枚)	不適合材 (枚)	M60A 出現率	M30B 出現率	直行率※ (M60A,30B)	不適合材 出現率
E70 以上	19,322	16,344	658	2,320	84.6%	3.4%	88.0%	12.0%
E70 未満	4,533	3,169	287	1,077	69.9%	6.3%	76.2%	23.8%
無選別	70,560	51,714	4,536	14,310	73.3%	6.4%	79.7%	20.3%
合計	94,415	71,227	5,481	17,707	75.4%	5.8%	81.2%	18.8%

・※直行率：欠点除去などを不要とし、そのまま CLT 製品に使用できるラミナの割合、M60A と M30B が該当する
 ・不適合材の内容：曲がり・反り(8 割)、高含水率(1 割)、その他割れ、欠け、腐れ、入り皮、虫食い(1 割)

表 2-3. 製造した CLT の明細

強度構成	厚さ	幅	長さ	枚数	総材積
Mx60-3-3	90mm	2.6m、2.9m、	8m、10m、12m	279	731m ³
Mx60-3-3+1※	120mm	2.9m	10m、12m	53	207m ³

・※ Mx60-3-3+1:3 層 3 プライ構成の外側に 1 層を増し貼りした構成
 ・接着剤は使用環境 B を使用

表 2-4. CLT 製品 1m³ を製造するために必要な原材料

【異等級構成 Mx60-3-3 (M60A 構成比 66%)】

	直行率	GRN 材歩留 [※]	GRN 材換算(m ³)	原木歩留	原木換算(m ³)
E70 以上	88.0%	65.5%	1.5267	42.2%	3.6178
E70 未満	76.2%	57.7%	1.7331		4.1069
無選別	79.7%	59.3%	1.6863		3.9960

【同一等級構成 S60-3-3 (M60A 構成比 100%)】

	M60A 出現率	GRN 材歩留 [※]	GRN 材換算(m ³)	原木歩留	原木換算(m ³)
E70 以上	84.6%	62.9%	1.5898	42.2%	3.7673
E70 未満	69.9%	52.0%	1.9231		4.5561
無選別	73.3%	54.5%	1.8349		4.3481

・※GRN 材歩留:(CLT 製造歩留 0.744)×異等級構成:(直行率)、又は同一等級構成:(M60A の出現率)
 ・原木からの歩留まりは、グループ間で差が見られなかったため、くまもと製材の年間実績の数値を用いて算出

2-(3) 生産コスト評価

原木段階での強度測定による歩留まりの改善の結果を基に、掛かり増し工数およびコストを評価した。掛かり増し工数としては、原木の強度測定並びに仕分け作業の工程の追加がある。削減工数としては、製材から輸送、乾燥、CLT 製造に至るすべての工程における歩留まり改善による生産効率の向上を指標として評価した。

【掛かり増し工数】：原木の強度測定、仕分け作業

原木の仕分け作業は、簡易型構造用製材・原木強度測定器 HG-200sp(エーティーエ社製)を用いて熊本県森林組合連合会により実施した。本測定器は、見かけの比重をあらかじめ設定することで、木口の打撃により感知した周波数から強度を測定し結果が表示されるため、簡易に、敏速に多くの原木強度が測定仕分けできる。また測定したデータは記録し保存することができる。原木がはい積みの状態でも測定が可能だが、3~5 段目より下に位置する原木の測定結果に誤差が生じる可能性があったため、本調査ではりん木の上に広げた状態で測定し仕分けを行った。作業は 4 名 1 組として、フォークリフト操作 1 名、測定器操作 1 名、移動補助 2 名で行った。

測定の掛かり増し工数について、上記体制により 8 時間作業で 545 本測定でき、1 本あたりの掛かり増し費用は 220 円ほどであった。材積に換算した費用は長さ 3m の原木で 945 円/m³、4m で 678 円/m³ ほどであった。なおフォークリフト重機費、測定器費用、土場の使用料等の諸経費は含めていない。

表 2-5. 強度測定に係る作業工数と費用

	4名1日8h あたりの 測定本数・m3	4名1日8h あたりの工賃	掛かり増し 費用	CLT 製品 1m3 当たり	
				原木歩留 ^{※2}	作業費 ^{※3}
実測本数	545本	120,000円 (30千円/ 人)	220円/本	27.6%	-
原木材積 ^{※1} 長さ・3mの場合	127m3		945円/m3		3,424円/m3
原木材積 ^{※1} 長さ・4mの場合	177m3		678円/m3		2,457円/m3

・4 人工/日:フォークリフト操作 1 名、測定器操作 1 名、移動補助 2 名

・※1 原木材積は本調査にて測定した 1 本あたりの平均材積に実測本数をかけて算出

3m 材:強度選別を行った原木(E70 以上および E70 未満) 1 本あたりの平均材積 0.2330m3

4m 材:無選別材 1 本あたりの平均材積 0.3242m3

なお実際に測定した原木は 3m であるが、長さにより測定効率が変わらないと仮定して、4m の場合を算出。

・※2 CLT 製品 1m3 当たりの原木歩留:(CLT 製造歩留 0.744) × (E70 以上の原木から得られたラミナの直行率 0.880) × (原木歩留 0.422) で計算

・※3 CLT 製品 1m3 当たりの作業費:(掛かり増し費用)/(CLT 製品 1m3 当たりの原木歩留)で計算

【削減工数】：生産効率の向上によるコスト削減

前述の検証により、スギ原木の強度選別を行ったことにより、CLT 製品 1m3 を製造するために必要な GRN ラミナ原材料は、異等級構成(Mx60)で 10%、同一等級構成(S60)で 13%削減できた。

CLT の製造コストにおける原材料費の割合を 80%とし、CLT の製品単価を 110 千円(銘建工業の場合、2023 年時)とした場合では、製品単価における材料費価格は 88 千円となる。単純に材料費が 1 割減(約▲9 千円)となる場合、製品単価は 101 千円となる。現状は同一等級構成と異等級構成の製品単価に差はないが、仮に、同一等級構成のみの大量生産時には、よりコスト削減効果が見込める。

一方で、仕分けることにより材料が少量多種となれば管理手間がかかりコスト削減効果は薄くなるため、大量に扱うことによりコストを最小限に抑える工夫が必要である。

【評価】

一連の結果により、スギ原木段階で E70 以上の強度仕分けを行い、E70 以上の原木から製造されたラミナを用いて Mx60 または S60 の CLT を製造した場合、掛かり増し工数から削減工数を引くと製品単価では 5%ほど(5 千円程)下げられる可能性があることが分かった。

表 2-6. 原木の強度測定による生産効率の向上に伴う CLT 製品 1m³ 当たりのコスト比較

	掛かり増し費用	削減費用	強度測定による効果
原木長さ・3m の場合	3,424 円/m ³	8,800 円/m ³	▲5,376 円/m ³
原木長さ・4m の場合	2,457 円/m ³		▲6,343 円/m ³
3m,4m の平均	2,941 円/m ³		▲5,859 円/m ³

また、本調査の課題としては以下の点で留意が必要である

○調査対象の個別性

本調査は 1 事例であって、産地や集材された原木により結果が大きく異なる可能性が高い

○E70 未満の原木の扱い

本調査では原木を購入後に測定し、下位の強度の原木に対しても調査を行ったが、購入前の原木にて強度仕分けを行い、E70 以上の原木のみを仕入れることができれば最も効果的である。そのためには材料供給側の理解が必要である。また、差別化により E70 以上の原木価格が上昇してしまうと、コスト削減効果は薄まる。

○原木の強度測定手間

本調査では人手による測定であったが、製材ラインに強度測定を組み込んだ場合、さらなる効率化が見込める。

3. CLT の低コスト化による低炭素化への貢献度調査（株式会社環境管理センター）

CLT の低コスト化の検討とあわせて、CLT 製造の条件を変更した場合における温室効果ガス(GHG) 排出量の変化を把握するため、各条件のライフサイクル GHG 排出量を算定した。

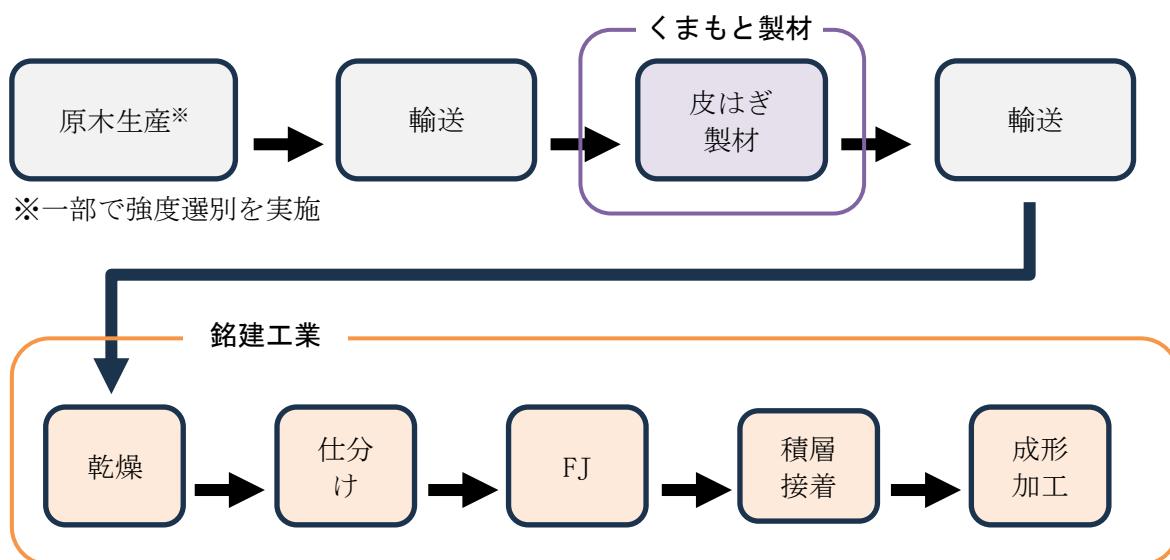
3-(1) 算定方法

①算定対象範囲

算定対象範囲のフローを図 3-1 に示す。

算定対象範囲は、原木生産から CLT-マザーボード(MB)の製造までの範囲とした。

CLT-MB の製造に使用する原木の一部は、原木の状態強度測定を行い、強度区分を選別して製造に使用することで、製造時の歩留まり向上を図った。



※一部で強度選別を実施

図 3-1. 算定範囲のフロー

②算定条件

算定条件を表 3-1 に示す。

算定は、「E70 以上 Mx60-3-3」、「無選別 Mx60-3-3」、「E70 以上 S60」、「無選別 S60」の 4条件について行った。比較対象は、原木の段階で強度選別をした場合の GHG 排出量の差を確認するため、「E70 以上 Mx60-3-3」と「無選別 Mx60-3-3」との比較、「E70 以上 S60」と「無選別 S60」との比較を行うこととした。

表 3-1. 算定条件

条件	条件詳細	比較
1. E70 以上 Mx60-3-3	原木の強度選別で E70 以上の原木を使用し、Mx60-3-3 の CLT を製造した場合	●
2. 無選別 Mx60-3-3	強度選別を行っていない原木を使用し、Mx60-3-3 の CLT を製造した場合	●
3. E70 以上 S60	原木の強度選別で E70 以上の原木を使用し、S60 の CLT を製造した場合	□
4. 無選別 S60	強度選別を行っていない原木を使用し、S60 の CLT を製造した場合	□

備考)比較欄に●又は□を記載したものとを比較対象とした。

③機能単位

今回の試験条件においては、強度選別の有無により製造する CLT の強度等には影響はないため、算定の機能単位は、CLT-MB 1m³ 当たりとした。

3-(2) 活動量及び原単位の設定

①各試験条件における歩留まりの差

今回の試験では、原木の段階で強度選別を行うことにより、ラミナ製材後の直行率(欠点除去などを不要とし、そのまま CLT 製品に使用できるラミナの割合。M60A と M30B のラミナが該当する。)が向上することが期待された。また、同一等級構成の S60 を製造する場合は、原木の強度選別を行うことにより M60A ラミナの出現率が向上し、歩留まりが向上することが期待された。

各試験条件における歩留まりの差を表 3-2 に示す。

Mx60-3-3 の CLT-MB の製造においては、E70 以上のものを選別した場合と無選別の場合では、選別した場合に直行率が 8%程度向上した。

S60 の CLT-MB の製造においては、E70 以上のものを選別した場合と無選別の場合では、選別した場合に M60A のラミナの出現率が 11%程度向上した。

表 3-2. 各試験条件における歩留まりの差

種別	項目	原木	GRN ラミナ	M60A 出現	直行	KD ラミナ	FJ・ 積層 接着 ・成形	CLT- MB
E70 以上 Mx60-3-3	CLT-MB1m3 当たり材積(m3)	3.62	1.53	-	1.34	1.17	1.04	1.00
	歩留まり	-	42.2%※	-	88.0%	86.8%	88.7%	96.6%
無選別 Mx60-3-3	CLT-MB1m3 当たり材積(m3)	4.00	1.69	-	1.34	1.17	1.04	1.00
	歩留まり	-	42.2%※	-	79.7%	86.8%	88.7%	96.6%
E70 以上 S60	CLT-MB1m3 当たり材積(m3)	3.77	1.59	1.34	-	1.17	1.04	1.00
	歩留まり	-	42.2%※	84.6%	-	86.8%	88.7%	96.6%
無選別 S60	CLT-MB1m3 当たり材積(m3)	4.35	1.83	1.34	-	1.17	1.04	1.00
	歩留まり	-	42.2%※	73.3%	-	86.8%	88.7%	96.6%

備考)歩留まりは四捨五入して示している。

※原木→GRN ラミナの歩留まりは、本試験の期間が短期間であったことから、過去に取得した年間データの 42.2%を使用した。

その他の歩留まりは、本試験期間中に把握したデータから算出した。

②活動量の設定

それぞれの算定条件における活動量を表 3-3～表 3-6 に示す。

表 3-3. E70 以上 Mx60-3-3 条件の活動量 (CLT-MB 1m3 製造当たり)

段階	項目	活動量	単位	備考
原木生産	原木	3.62	m ³	すぎ原木
輸送①	輸送(トレーラー)	262.37	tkm	生産地・原木市場→ くまもと製材 100km 圏内から集材
	輸送(15tトラック)	32.39	tkm	
製材	電力	104.3	kWh	※1、※2
	軽油	2.2	L	フォークリフト等、※1
	梱包材料	0.05	kg	※1
輸送②	輸送(15tトラック)	629.74	tkm	くまもと製材→銘建工業 640km
CLT 製造	軽油	0.5	L	場内輸送、※3
	電力(乾燥)	39.01	kWh	※3
	蒸気(乾燥)	854.70	Kg	※3
	電力(その他工程)	56.08	kWh	※3
	積層用接着剤	5.99	kg	※3
	FJ用接着剤	0.75	kg	※3

備考)活動量は四捨五入して示している。

※1 くまもと製材はラミナ以外の製品の製造も行っているため、エネルギーや資材の活動量は、年間使用量を製造製品の経済価値(売上)の割合で配分して算出した。

※2 年間使用電力量から乾燥に使用する電力量(推計)を差し引いて算出した。

※3 CLT 製造に関する活動量は、実際の電力使用量等を CLT 生産量で除して求めた既存データを使用した。

表 3-4. 無選別 Mx60-3-3 条件の活動量 (CLT-MB 1m3 製造当たり)

段階	項目	活動量	単位	備考
原木生産	原木	4.00	m ³	すぎ原木
輸送①	輸送(トレーラー)	289.69	tkm	生産地・原木市場→ くまもと製材
	輸送(15tトラック)	35.76	tkm	100km 圏内から集材
製材	電力	115.2	kWh	※1、※2
	軽油	2.4	L	フォークリフト等、※1
	梱包材料	0.06	kg	※1
輸送②	輸送(15tトラック)	695.32	tkm	くまもと製材→銘建工業 640km
CLT 製造	軽油	0.5	L	場内輸送、※3
	電力(乾燥)	39.01	kWh	※3
	蒸気(乾燥)	854.70	Kg	※3
	電力(その他工程)	56.08	kWh	※3
	積層用接着剤	5.99	kg	※3
	FJ用接着剤	0.75	kg	※3

備考)活動量は四捨五入して示している。

※1 くまもと製材はラミナ以外の製品の製造も行っているため、エネルギーや資材の活動量は、年間使用量を製造製品の経済価値(売上)の割合で配分して算出した。

※2 年間使用電力量から乾燥に使用する電力量(推計)を差し引いて算出した。

※3 CLT 製造に関する活動量は、実際の電力使用量等を CLT 生産量で除して求めた既存データを使用した。

表 3-5. E70 以上 S60 条件の活動量 (CLT-MB 1m3 製造当たり)

段階	項目	活動量	単位	備考
原木生産	原木	3.77	m ³	すぎ原木
輸送①	輸送(トレーラー)	272.91	tkm	生産地・原木市場→ くまもと製材
	輸送(15tトラック)	33.69	tkm	100km 圏内から集材
製材	電力	108.5	kWh	※1、※2
	軽油	2.3	L	フォークリフト等、※1
	梱包材料	0.05	kg	※1
輸送②	輸送(15tトラック)	655.05	tkm	くまもと製材→銘建工業 640km
CLT 製造	軽油	0.5	L	場内輸送、※3
	電力(乾燥)	39.01	kWh	※3
	蒸気(乾燥)	854.70	Kg	※3
	電力(その他工程)	56.08	kWh	※3
	積層用接着剤	5.99	kg	※3
	FJ用接着剤	0.75	kg	※3

備考)活動量は四捨五入して示している。

※1 くまもと製材はラミナ以外の製品の製造も行っているため、エネルギーや資材の活動量は、年間使用量を製造製品の経済価値(売上)の割合で配分して算出した。

※2 年間使用電力量から乾燥に使用する電力量(推計)を差し引いて算出した。

※3 CLT 製造に関する活動量は、実際の電力使用量等を CLT 生産量で除して求めた既存データを使用した。

表 3-6. 無選別 S60 条件の活動量 (CLT-MB 1m3 製造当たり)

段階	項目	活動量	単位	備考
原木生産	原木	4.35	m ³	すぎ原木
輸送①	輸送(トレーラー)	314.99	tkm	生産地・原木市場→ くまもと製材
	輸送(15tトラック)	38.89	tkm	100km 圏内から集材
製材	電力	125.3	kWh	※1、※2
	軽油	2.7	L	フォークリフト等、※1
	梱包材料	0.06	kg	※1
輸送②	輸送(15tトラック)	756.03	tkm	くまもと製材→銘建工業 640km
CLT 製造	軽油	0.5	L	場内輸送、※3
	電力(乾燥)	39.01	kWh	※3
	蒸気(乾燥)	854.70	Kg	※3
	電力(その他工程)	56.08	kWh	※3
	積層用接着剤	5.99	kg	※3
	FJ用接着剤	0.75	kg	※3

備考)活動量は四捨五入して示している。

※1 くまもと製材はラミナ以外の製品の製造も行っているため、エネルギーや資材の活動量は、年間使用量を製造製品の経済価値(売上)の割合で配分して算出した。

※2 年間使用電力量から乾燥に使用する電力量(推計)を差し引いて算出した。

※3 CLT 製造に関する活動量は、実際の電力使用量等を CLT 生産量で除して求めた既存データを使用した。

③ 原単位の設定

それぞれの算定条件における GHG 排出量の原単位を表 3-7 に示す。原単位は、既存文献及びイベントリデータベース IDEA(v3.1)に基づき設定した。

表 3-7. 算定に用いた原単位

段階	項目	IDEA 製品コード	IDEA 製品名
原木 生産	原木	すぎ原木 Katsuyuki Nakano, Naoki Shibahara, Toshifumi Nakai, Keisuke Shintani, Hiroataka Komata, Masahiro Iwaoka, Nobuaki Hattori: Greenhouse gas emissions from round wood production in Japan, Journal of Cleaner Production, 170, 1654-1664, 1 January 2018	
製材	電力	331131018pJPN	電力,日本平均,2018 年度
	軽油	171115801pJPN	軽油の燃焼エネルギー
	梱包材料	182111000pJPN	包装用軟質プラスチックフィルム (厚さ 0.2mm 未満で軟質のもの)
輸送	輸送(トレーラー)	441111254pJPN	トラック輸送サービス,20トン車,積載率_平均
	輸送 15tトラック	441111244pJPN	トラック輸送サービス,15トン車,積載率_平均
CLT 製造	軽油	171115801pJPN	軽油の燃焼エネルギー
	電力(乾燥)	331131018pJPN	電力,日本平均,2018 年度
	蒸気(乾燥)	120000801pJPN	廃木材の燃焼エネルギー
	電力(その他工程)	331131018pJPN	電力,日本平均,2018 年度
	積層用接着剤	169412204pJPN	水性高分子イソシアネート接着剤
	FJ用接着剤	169412204pJPN	水性高分子イソシアネート接着剤

3-(3) 算定結果

各算定条件の算定結果を表 3-8 及び図 3-2 に示す。また、算定結果の詳細を表 3-9 に示す。

CLT-MB 1m³ あたりの GHG 排出量は、原木の時点で選別を行い、E70 以上の原木を使用した場合の方が無選別より低い結果となった。

Mx60-3-3 の構成の CLT を製造する場合は無選別に比べて 7.4%減少し、S60 の構成の CLT を製造する場合は無選別に比べて 10.7%減少した。

GHG 排出量の削減の主な要因は、原木を選別することで直行率又は M60A ラミナの出現率が向上し歩留まりが改善することで、原木生産や製材、輸送に伴う GHG 排出量が減少したことによる。なお、CLT 製造に伴う GHG 排出量については、工場での工程はいずれの算定条件も同じであることから、全て同じ排出量を見込んでいる。

表 3-8. 各算定条件の算定結果

単位:kg-CO₂e/m³-CLT-MB

種別	原木生産	輸送① (生産地→ 製材所)	製材	輸送② (製材所→ CLT 工場)	CLT 製造	合計
E70 以上 Mx60-3-3	78.54	30.96	65.81	78.12	75.39	328.82
無選別 Mx60-3-3	86.72	34.19	72.66	86.25	75.39	355.22
E70 以上 S60	81.70	32.21	68.46	81.25	75.39	339.01
無選別 S60	94.29	37.17	79.01	93.78	75.39	379.65

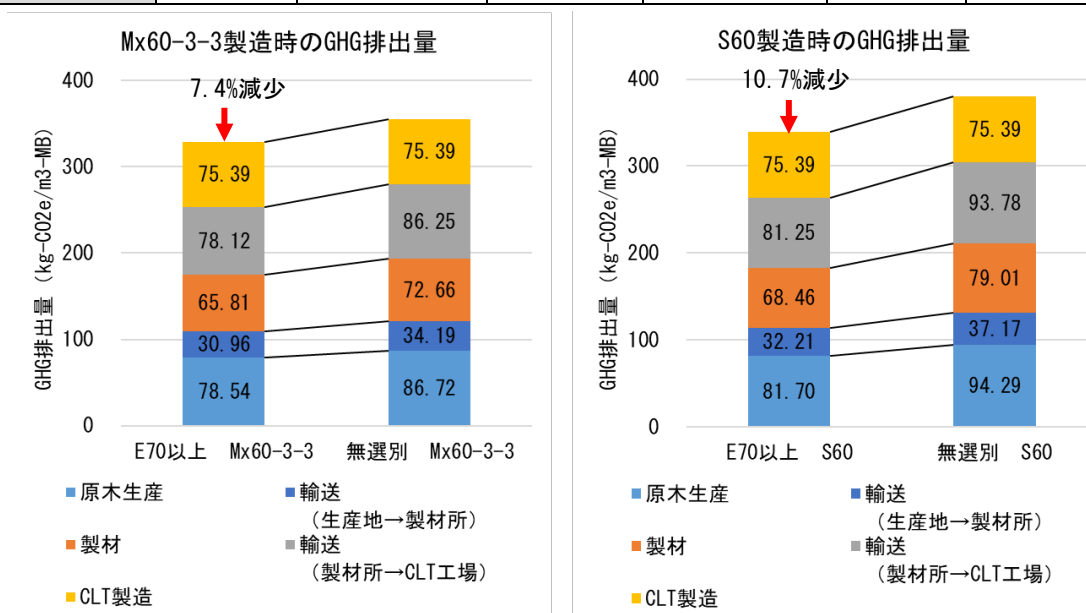


図 3-2. 各算定条件の算定結果

GHG 排出量が大きい工程は、製材所から CLT 工場への輸送と原木生産が同程度であり、次いで製材の電力の順に大きい結果となった。

表 3-9. 算定結果の詳細

単位:kg-CO2e/m3-CLT-MB

工程		項目	E70以上 Mx60-3-3	無選別 Mx60-3-3	E70以上 S60	無選別 S60
原木生産		原木	78.54	86.72	81.70	94.29
輸送①	輸送 (生産地→製材所)	輸送 (トレーラー)	26.94	29.75	28.03	32.35
	輸送 (生産地→製材所)	輸送 (15tトラック)	4.02	4.44	4.18	4.82
製材	製材・加工	電力 (製材工場棟)	59.01	65.16	61.38	70.84
		軽油 (リフト等)	6.63	7.32	6.90	7.96
		梱包材料	0.17	0.19	0.17	0.20
輸送②	輸送 (製材所→CLT工場)	輸送 (15tトラック)	78.12	86.25	81.25	93.78
CLT製造	CLT製造 (場内輸送)	軽油	1.50	1.50	1.50	1.50
		電力	22.07	22.07	22.07	22.07
	乾燥	蒸気	9.84	9.84	9.84	9.84
		電力	31.72	31.72	31.72	31.72
	CLT製造 (仕分け、FJ、積層接着、成形加工)	積層用接着剤	9.12	9.12	9.12	9.12
FJ用接着剤		1.15	1.15	1.15	1.15	

4. 未利用材 CLT の製造および低コスト化

4-(1) 不適合材等の CLT への利用

本事業での一連の検証にて、製材時に生じた丸み付きの側板(以下、未利用材)および不適合材を用いて CLT(以下、未利用材 CLT)を製造した。不適合材や未利用材を利用することで、原木からの歩留まりが上がり、木材チップと比較してより付加価値のある製品を生み出すことができる。それらを全体的に評価することで JAS 製品 CLT の低価格化につながる可能性を検証した。

4-(2) 未利用材 CLT の製造

未利用材 CLT には、側面の丸みが大きく、積層面の接着面積が極端に少ない材料を除き、材幅に対して接着面積の 2 分の 1 以上を保持しているラミナを用いた。その他の欠点(曲がり・反り、高含水率、割れ、欠け、虫食い、腐れ等)を持つラミナについては、製造ライン上での問題がなかったため、欠点除去等を行わずに使用した。



写真 4-1. 土木用 CLT

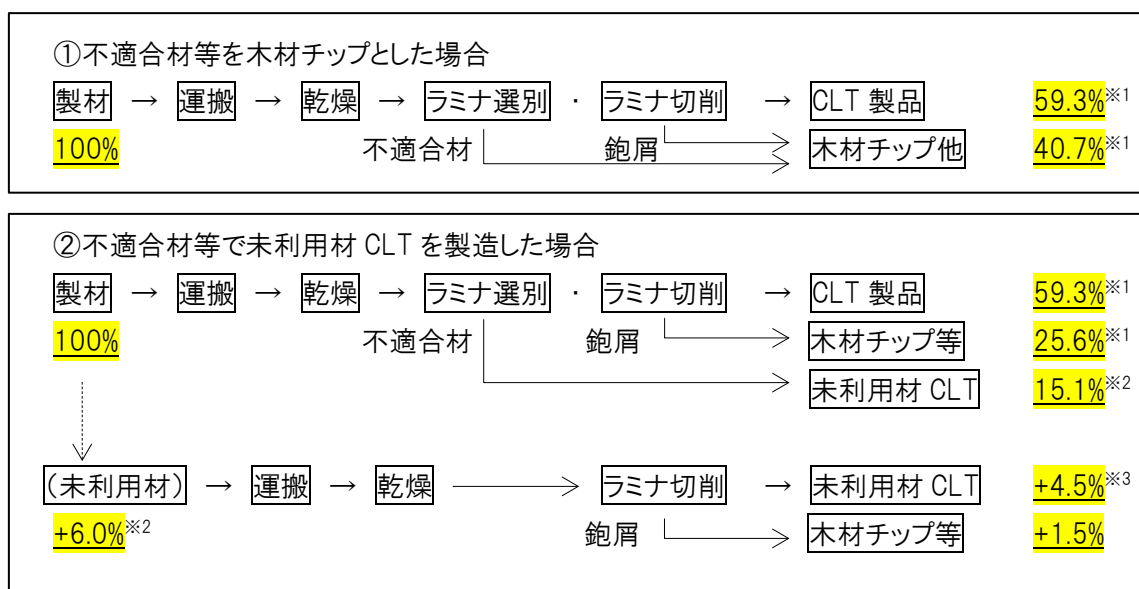
本事業にて製造した未利用材 CLT の特徴を以下にまとめる。

- ・nonJAS 製品
- ・不適合材及び未利用材を用いて製造
- ・強度等級なし
- ・目地に隙間(曲がり、欠けによる影響)、材面には節、虫食い、腐れ、割れ・欠け、丸み等を含む
- ・接着性能、強度等の性能は未検証
- ・補修、特に美観を目的としたものは行わない

4-(3) 未利用材 CLT を活用した低コスト化

一連の検証で得られたデータを基に、①不適合材等を木材チップとした場合、②不適合材等で未利用材 CLT を製造した場合の 2 パターンに分けて、得られる製品の量的割合を算出した。なお CLT 製品の量的割合は無選別材の異等級構成を製造した場合で計算した。

以下に製材からの製造フローと製品の量的割合を示す。①の場合、CLT 製品用に製材された GRN ラミナを 100%とした時、CLT 製品となる量的割合は 59.3%であり、残りの 40.7%は木材チップ等に加工すると仮定した。②の場合、不適合材から未利用材 CLT に使用された量的割合は 15.1%であった。また、CLT 製品用の GRN ラミナを 100%得る際に、6.0%の未利用材が生じた。未利用材については原材料の追加要素とし、その結果的、②では CLT 製品が 59.3%、未利用材 CLT が 19.6%、木材チップ等 27.1%が得られたと仮定した。



- ・※1 CLT 製品の量的割合は無選別材の異等級構成の場合で計算
- ・※2 木材チップ等の量的割合は、不適合材の出現率(0.188)に製造歩留まり(0.744)をかけて算出
- ・※3 未利用材から生じる未利用材 CLT の量的割合は、未利用材(0.059)に製造歩留まり(0.744)をかけて算出
- ・材料の乾燥収縮の影響は考慮せず、試算上は木材チップ等に含めた

続いて同量の GRN ラミナから得られる木材チップ及び未利用材 CLT について試算した。

木材チップ価格は、「農林水産省木材価格統計調査 2023 年 12 月」にて報告された 15,300 円/t を m3 単価に換算して用いた(5,814 円/m3)。未利用材 CLT はまだ市場が確立されていないことから、仮に 30,000 円/m3 として試算した。

試算の結果、①不適合材等を木材チップで利用した場合には、木材チップ価格として GRN ラミナ 1m3 あたり 67,596 円が得られた。一方で②不適合材等で未利用材 CLT を製造した場合、木材チップ価格と未利用材 CLT 価格を合わせて 72,686 円となり、①と比較して m3 あたり 5,090 円、率にして 107.5%に価格が上昇した。上昇した価格は将来的に製品価格へ反映することが可能である。また材料はより低質なものとなるため、材料価格をさらに下げられる可能性が残る。ただし、本試算では製造経費等を考慮していない。また未利用材 CLT の安定した需要が見込めることが条件である。

表 4-1. GRN ラミナ 1m3 より得られる製品価格

製品の種類		①不適合材等を 木材チップで利用	②不適合材等で 未利用材 CLT を製造※
CLT 製品	量的割合	59.3%	59.3%
	価格	65,230 円	65,230 円
木材チップ	量的割合	40.7%	27.1%
	価格	2,366 円	1,576 円
未利用材 CLT	量的割合	—	19.6%
	価格	—	5,880 円
価格合計		67,596 円	72,686 円
①と②の対比		100%	107.5%

・ CLT 製品単価：110 千円/m3、木材チップ単価：5.8 千円/m3、未利用材 CLT 単価：30 千円/m3 で試算

・ ※ ②については、GRN ラミナ 1m3 より得られる未利用材を含めた数値で試算

5. まとめ

本事業において、

- 強度選別を行った原木にて CLT を製造した場合、材料であるラミナの歩留まりが 10%程向上し、5%ほどコストが下がる
- 上記の場合、製造時の GHG 排出量削減効果は生産性の向上により 7.4%削減できる
- 不適合材等で未利用材 CLT 製造した場合、原材料 1m3 あたりの製品価格が上がり、将来的には CLT の JAS 製品の価格が下げられる

可能性があることが分かった。本事業の結果が CLT の普及と低コスト化につながるように、今後も企業努力を怠ることなく取り組む所存である。

以上