

令和5年度 森林・林業・木材産業グリーン成長総合対策補助金等  
建築用木材供給・利用強化対策のうち  
CLT・LVL等の建築物への利用環境整備事業のうち  
CLT・LVL等を活用した建築物の低コスト化・検証等事業

# CLTの土木利活用技術の 経済・環境評価と評価体系の検討 事業報告書

令和6(2024)年3月

一般社団法人日本 CLT 協会



# 目 次

第1章 事業内容.....	1
1.1 事業概要.....	2
1.2 事業の背景と目的.....	2
1.3 実施体制.....	2
1.4 事業計画.....	5
1.5 実施工程.....	6
第2章 土木分野における CLT の利用技術・生産技術の経済評価.....	9
2.1 防雪柵のビジネスモデル.....	10
2.2 プラットフォームのビジネスモデル.....	35
2.3 CLT 敷板の経済波及効果.....	55
第3章 土木分野における CLT の利用技術・生産技術の環境評価.....	59
3.1 地盤補強.....	60
3.2 CLT 敷板.....	68
3.3 土木用 CLT(銘建工業株式会社).....	74
3.4 土木用 CLT(秋田県立大学木材高度加工研究所).....	81
3.5 土木用 CLT(岡山県農林水産総合センター森林研究所).....	87
第4章 総括.....	93
4.1 事業成果概要.....	94
4.2 今後の展望.....	103





# 第1章

## 事業内容

## 1.1 事業概要

本事業の概要を以下に示す。

事業名称	: 林野庁 令和5年度 森林・林業・木材産業グリーン成長総合対策補助金等(建築用木材供給・利用強化対策のうち CLT・LVL 等の建築物への利用環境整備事業のうち CLT・LVL 等を活用した建築物の低コスト化・検証等事業) CLT の土木利用技術の経済・環境評価と評価体系の検討
発注主体	: 一般社団法人 日本 CLT 協会
事業実施期間	: 令和5年5月から令和6年3月31日

## 1.2 事業の背景と目的

日本では国土の約 7 割を森林が占めている。森林は、国土の保全、地球温暖化の緩和、生物多様性の保全など、多面的な機能を有しており、これらの機能を将来にわたって維持することが重要である。そのためには、森林を適切に整備していくことが必要であり、林業を産業として成立させるために植林・育成・伐採のサイクルを持続可能なものとするのが求められる。伐採された木材の需要を創出する技術の一つとして CLT があり、積極的な活用が期待されている。

CLT の幅広く積極的な活用に向けて、平成 28 年 6 月に「CLT 活用促進に関する関係省庁連絡会議」(以下、関係省庁連絡会議)が設置され、国を挙げて CLT の普及に取り組む連携体制が構築された。関係省庁連絡会議では、令和 3 年 3 月に CLT の更なる利用拡大に向けた「CLT の普及に向けた新ロードマップ～更なる利用拡大に向けて～」を策定した。この新ロードマップでは、令和 6 年度末までに年間 50 万 m<sup>3</sup> の CLT 生産体制を目指す等の数値目標が掲げられ、そのための新たな施策の一つとして、「土木分野で活用可能な製品の開発指針」が盛り込まれた。

このような背景のもと、土木分野に適応する CLT の生産技術や、土木分野における CLT 利用技術の開発が進められている。開発された技術の普及促進のためには、技術導入による効果を定量的に把握し、その優位性を数字で示すことが重要である。そこで本事業では、土木分野での CLT 利用による経済的な影響について調査を行うとともに、CLT を土木用途で利用する際の、原料調達・生産・流通・廃棄・リサイクルまでのライフサイクルにおける環境負荷を定量的に算出することを通じて、生産技術開発、利用技術開発の方向性を示すことを目的とする。

## 1.3 実施体制

一般社団法人日本 CLT 協会内に委員会を設置し、委員長、副委員長に土木工学、木材工学における学識経験者を迎え、さらに、各技術部門におけるわが国の第一人者に技術顧問を委任した。委員は、土木工学、木材工学、環境工学等の幅広い分野の有識者から選任した。

さらに、委員会の下部組織として WG を設定し、委員会より環境政策、環境影響評価の専門家である委員を主査に配置した。WG を構成する WG 委員は、環境保全学、木質科学、環境工学、木材工学 等の専門家に委任した(表 1.3-1)。

また、本事業における経済評価および環境評価の対象とした、土木分野での CLT の生産技術、利用技術については、同時期に進められた別の事業※(詳細は 1.4 で説明)と連携を図った。

そこで、委員会には、両事業間の調整や情報伝達、共同研究体制の責任者として、連携主査を配置した。また、両事業の各 WG で検討する技術的な内容について統括するため、統括主査を配置した。

※令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうち  
CLT 建築実証支援事業  
「CLT 土木利活用技術の開発と土木分野に適応する CLT 製造技術の検証」

委員長 :原 忠	国立大学法人高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門 教授
副委員長 :原田 真樹	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 企画部 研究情報科(基礎試験 主査兼務)
研究主査 :吉田 雅穂	独立行政法人国立高等専門学校機構 福井工業高等専門学校 環境都市工学科 教授(地盤補強 利用技術担当)
:池田 穰	株式会社安藤・間 技術研究所 環境研究部 (敷板・防雪柵 利用技術担当)
:今井 良	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場性能部 構造・環境グループ 主査(生産技術担当)

参考) 本事業が評価対象とした技術の開発を進めている「CLT 土木利活用技術の開発と土木分野に適応する CLT 製造技術の検証」について

当該事業は、CLT の土木利用について、技術開発のポイントを以下の3点としている。(図 1.3-1)

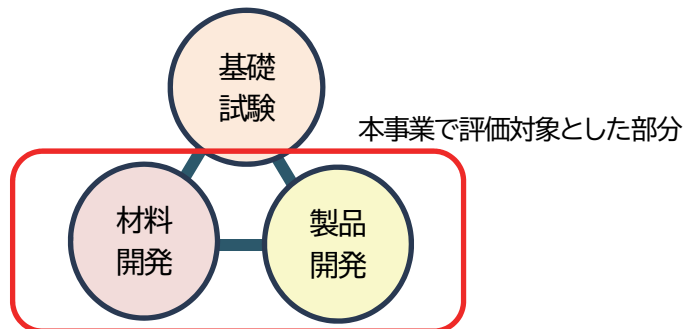


図 1.3-1 技術開発の3つのポイント

- |  |      |
|--|------|
| ①土木分野で CLT を用いる際に確認しておくべき CLT の基本性能のデータ整備    | 基礎試験 |
| ②土木分野適応型(土木用)CLT における必要性能の検証と生産技術の開発         | 材料開発 |
| ③社会実装が期待できる CLT の土木利用技術の選択と利用技術(設計・施工・管理)の確立 | 製品開発 |

当該事業では、土木分野で CLT を用いる際の耐久性等の検証(基礎試験)を行いつつ、建築分野で利用されてきた CLT の概念にこだわらず、土木分野での要求性能に適合する CLT の材料開発を目指す「生産技術開発」と、CLT の「土木利用技術の開発」を、三本柱として開発を進めていた。

本事業では、当該事業で開発されている材料と製品を対象として、経済評価・環境評価を試み、地球環境への還元効果、市場ニーズ、材料としての適性、利用技術としての競争力などを検証した。

令和5年度 CLT の土木利活用技術の経済・環境評価と評価体系の検討 委員会  
(以下「土木 CLT 評価委員会」という)

【委員会】(以下 敬称略・順不同にて氏名・所属を記載)

委員長	原 忠	国立大学法人高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門 教授
副委員長	原田 真樹	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 企画部研究情報科
顧問	有馬 孝禮	国立大学法人東京大学 名誉教授
顧問	濱田 政則	学校法人早稲田大学 名誉教授
顧問	服部 順昭	国立大学法人東京農工大学 名誉教授
統括主査	沼田 淳紀	国立大学法人高知大学 客員教授
連携主査	木村 礼夫	株式会社ジェイアール総研エンジニアリング 営業部 部長
委員	吉田 雅穂	独立行政法人国立高等専門学校機構 福井工業高等専門学校 環境都市工学科 教授
委員	今井 良	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場性能部 主査
委員	池田 穰	株式会社安藤・間 建設本部 技術研究所 先端・環境研究部 主任研究員
委員	村野 昭人	学校法人東洋大学 理工学部 都市環境デザイン学科 教授

【行政】

行政	土居 隆行	林野庁 林政部木材産業課木材製品技術 室長
行政	福島 純	林野庁 林政部木材産業課木材製品技術室 建築用木材班 課長補佐
行政	増井 僚	林野庁 林政部木材産業課木材製品技術室 建築用木材班建築用担当専門職

【事務局】

事務局	平原 章雄	木構造振興株式会社 常務取締役
事務局	原田 浩司	木構造振興株式会社 客員研究員
事務局	坂部 芳平	一般社団法人日本 CLT 協会 専務理事
事務局	上田 摩耶子	一般社団法人日本 CLT 協会
協力委員	溝渕 木綿子	一般社団法人日本 CLT 協会土木技術開発室(合同会社建設木材工学研究所)
協力委員	狩野 れいな	一般社団法人日本 CLT 協会土木技術開発室(合同会社建設木材工学研究所)

表 1.3-1 WG メンバー(敬称略)

役職	所属機関	名前
主査	学校法人東洋大学	村野 昭人
委員	株式会社安藤・間	池田 穰
委員	国立大学法人東京農工大学	加用 千裕
委員	株式会社ジェイアール総研エンジニアリング	木村 礼夫
委員	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所	外崎 真理雄
委員	国立大学法人高知大学	沼田 淳紀
委員	銘建工業株式会社	渡部 博

## 1.4 事業計画

本事業では、下記の2項目について調査・分析を行った。

- (1) CLT の土木利用技術の経済評価
- (2) CLT の土木利用技術・生産技術の環境評価

(1)では、CLT 土木利用技術である防雪柵、プラットフォームについて、既存技術との比較から導入を目指すべきターゲットを想定するとともに、各技術の違いを要素ごとに整理した。また、CLT 敷板を製造することによる経済波及効果を分析した。(2)では、CLT を用いた水平地盤補強技術、CLT 敷板、土木用 CLT の生産技術を対象として、GHG 排出量の評価を行った。

(1)経済評価の詳しい内容は2章で、(2)環境評価の詳しい内容は3章で報告する。

いずれの評価においても、木構造振興株式会社が発注主体となった「令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうち CLT 建築実証支援事業」における「CLT 土木活用技術の開発と土木分野に適応する CLT 製造技術の検証」事業(以下「土木 CLT 技術開発事業」という)と連携を図り、開発した CLT の生産技術、ならびに土木利用技術を対象としている。

本事業と土木 CLT 技術開発事業の連携関係のイメージを図 1.4-1 に示す。

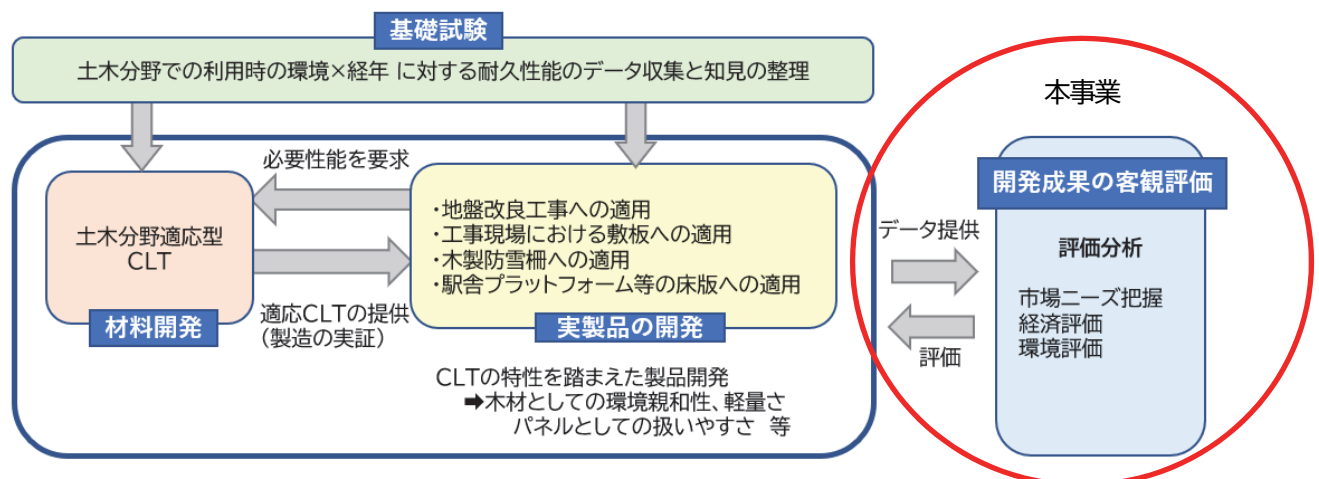


図 1.4-1 本事業と土木 CLT 技術開発事業との連携イメージ

本事業で取り扱う開発テーマについて、具体的な実施項目およびねらいを 表 1.4-1 に示す。

表 1.4-1 本事業で取り扱う開発テーマの概要

開発テーマ	具体的な実施項目	ねらい(目指す到達点、数値目標等)
<b>経済評価</b> ①CLT土木利用技術の ビジネスモデルの検討・ 市場参入に向けた課題の整理	・ビジネスモデルに求められる要素の整理、 ビジネスモデルの具体化 ・技術の普及に向けた課題の抽出、 課題に対する解決策のプロダクト化の検討	・CLT土木利用技術の ビジネスモデルの5W1Hの整理 ・技術の普及に向けた対策の具体化
<b>経済評価</b> ②CLT土木利用技術の 経済波及効果の分析	・産業関連表を用いた、 CLT敷板製造による経済波及効果を把握	・CLT利用による直接・間接的な経済効果の把握
<b>環境評価</b> ①土木用CLTの生産技術の評価	・乾燥方法・圧縮方法などを变化させた 土木用CLTのLCA	・土木用CLTの性能を考慮した環境評価
<b>環境評価</b> ②CLT土木利用技術の評価	・水平地盤補強工法やCLT敷板のLCA	・CLT利用技術のLCCO <sub>2</sub> の把握、 各技術の特性・耐用年数の把握

## 1.5 実施工程

令和5年6月28日の第1回委員会に先立って、WGを設置し、6月16日に第1回のWG会合を開催して事業を開始した。本事業の実施工程の概要を 図 1.5-1 に示すとともに、工程の詳細を以下に示す。

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
委員会	●			●				●			
WG	●			●			●		成果概要作成	報告書作成	
経済評価 ①ビジネスモデルの検討・市場参入に向けた課題の整理		← 対象製品の選定					ヒアリング調査			とりまとめ	→
経済評価 ②経済波及効果の分析		← データ収集・分析					とりまとめ				
環境評価 ①土木用CLTの生産技術の評価		← 評価対象の選定					データ収集		分析	とりまとめ	→
環境評価 ②CLT土木利用技術の評価			← 水平地盤補強工法			敷板		分析	とりまとめ	→	

図 1.5-1 年度内の実施工程

令和5年(2023年)

- 6月16日 第1回評価分析 WG
- 6月26日 環境評価 打ち合わせ
- 6月28日 第1回 CLT 土木利用技術評価・分析委員会
- 9月21日 第2回評価分析 WG
- 9月25日 第2回 CLT 土木利用技術評価・分析委員会
- 11月19日 岡山県真庭市での土木用 CLT 製造防雪柵・木製防護柵施工現場の視察
- 12月11・12日 北海道網走市・中標津町・別海町などでの CLT 防雪柵・木製防護柵施工現場の視察
- 12月15日 第3回評価分析 WG
- 12月20日 環境評価 打ち合わせ
- 12月27日 環境評価 打ち合わせ

令和6年(2024年)

- 1月29日 第3回 CLT 土木利用技術評価・分析委員会
- 2月15日 環境評価打ち合わせ
- 3月6日 令和5年度実施 CLT 関連林野庁事業成果報告会で報告





## 第2章

# 土木分野における CLT の 利用技術・生産技術の経済評価

## 2.1 防雪柵のビジネスモデル

### 2.1.1 既存製品の情報整理と検討

#### (1) 昨年度の既存製品の市場調査結果の確認

防雪柵は、防雪板で柵の前後の風速や風の流れを制御し、道路への吹き溜まり防止や視程障害の緩和を図る目的で設置される、吹き溜まり防止施設のひとつである。

#### (a) 防雪柵の型式

防雪柵には、主に以下の型式がある。

##### 【吹き溜め式 (図 2.1-1)】

道路の風上に吹き溜め柵を設置して風速を弱め、柵の前後(風上側、川下側)に飛雪を堆積させることにより、道路への飛雪の吹き込みと吹き溜まりを防止するもの。

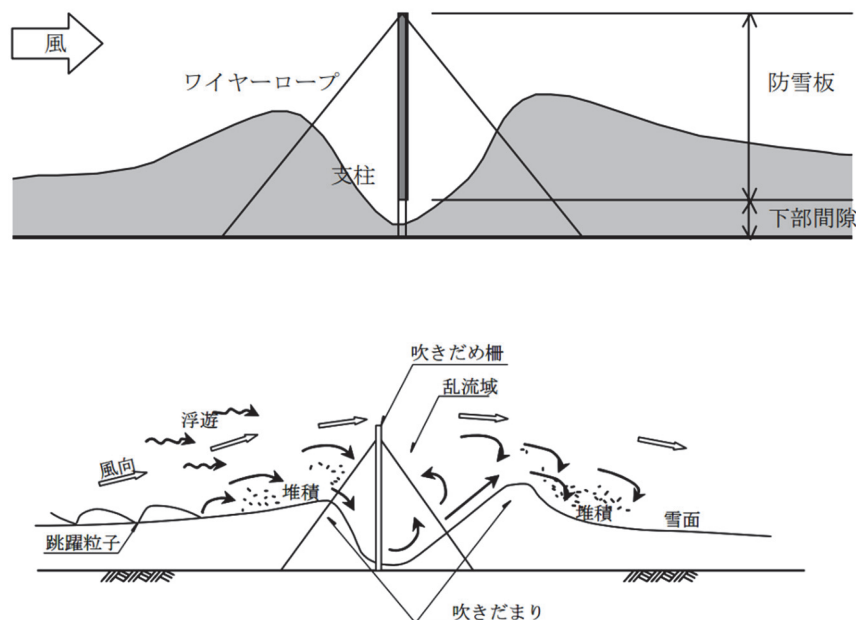


図 2.1-1 吹き溜め柵の構造(上)と柵前後における飛雪の吹き溜まり状況(下)

##### 【吹き払い式 (図 2.1-2)】

防雪板で風を制御し、柵の下部空隙から加速されて吹き抜ける強い風で道路の路側や路面の雪を吹き払うことによって、視程障害を緩和するもの。

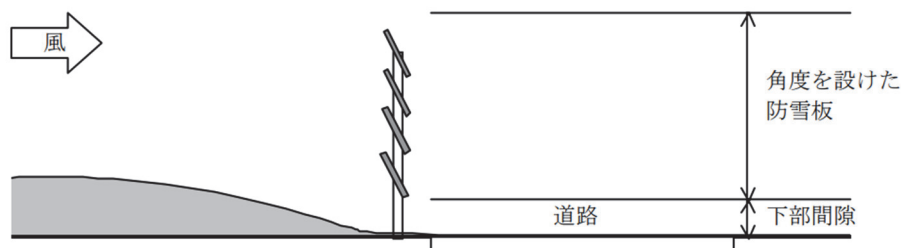


図 2.1-2 吹き払い柵の構造

【吹き止め式（図 2.1-3）】

吹き止め式は吹き溜め式に似ているが、風上側に雪を多く捕捉しかつ風上の防雪容量を大きくするために、柵の空隙率を小さく柵高を大きく、更に下部間隙をゼロにした構造の防雪柵である。吹き止め柵は風上側に飛雪を堆積させる特徴があり、その分風下側の吹き溜まり雪丘は小さくなる。道路敷地に設置できることから道路上の防風効果も期待できる。吹き止め柵は防雪と防風効果が相乗的に働き、高い視程障害緩和効果を持つ。

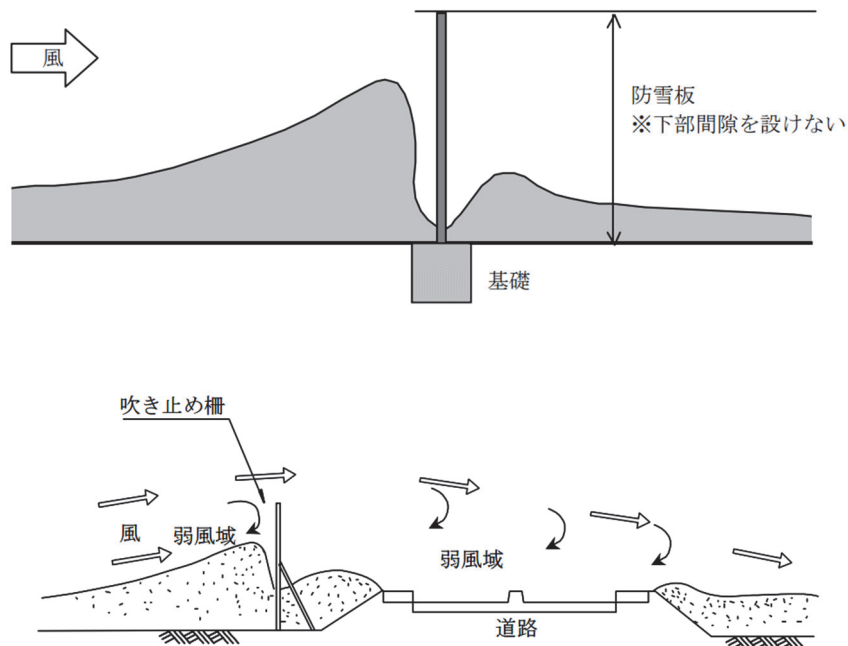


図 2.1-3 吹き止め柵の構造(上)と吹き止め式の防雪機構(下)

防雪柵の形式選定にあたっては、表 2.1-1 に示す通り防雪目的に応じた施設を基本とし、気象条件、道路構造、立地条件、環境条件、コストを総合的に判断して最適な形式が選定される。

表 2.1-1 防雪目的に応じた防雪柵の型式

防雪目的	防雪柵の型式		
	吹き溜め式	吹き払い式	吹き止め式
吹き溜まり対策	○	×	○
視程障害対策	△	○	○

○:適している △:検討を要する ×:適さない

また、吹き止め式を改良した「高性能防雪柵」も製品化されている。

高性能防雪柵は、一般的な吹き止め式よりもさらに効果範囲を向上させ、路肩近くに設置することができるよう改良されたもので、メーカー各社で開発されており、メーカーごとに形は異なる。

例として、メーカー最大手の理研興業株式会社の高性能防雪柵は、支柱が直立部と忍び返し部と誘導板部にて構成され、直立部には空隙のない無孔板、忍び返し部、誘導板部には %空隙された有孔板を使用しており、上部がくの字型になっているのが特徴である。

評価対象となる事業において、防雪柵の利用技術開発を理研興業株式会社を中心となって進めていることから、本事業で対象とする防雪柵は、理研興業株式会社の高性能防雪柵の仕様(図 2.1-4)を元にして、材料に CLT を使用する仕様となっている。

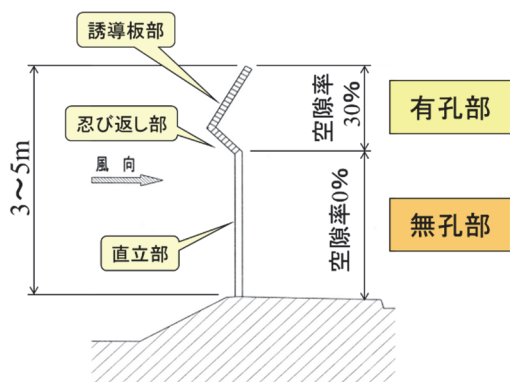


図 2.1-4 高性能防雪柵(理研興業株式会社) 概要

### (b)防雪柵に使用する素材

現在、既存の防雪柵は鋼製が主流となっている。この他、半割丸太等を使用した木製や、景観を配慮したポリカーボネート製の防雪柵もみられるが、市場規模は鋼製と比較すると僅少である。

ポリカーボネート製品については、透明なポリカーボネート板(以下「ポリカ板」という)を利用することで、日陰対策や凍結対策に有効とされている。しかし、収縮や強度の面で鋼製より性能が劣ることもあり、現在はほとんど使われていない状況である。

木材については、平成 13 年 1 月に施行された「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」に基づき、国土交通省が「環境物品等の調達の推進に関する基本方針」を定め、公共工事の資材として間伐材を積極的に使用していく方針が示されており、防雪柵もその例外ではない。事例数は少ないが、地域材の半割丸太等を使用した木製防雪柵などが、各地で設置されている。例えば北海道では地元のカラマツを利用した防雪柵が開発されており、荷重がかかる柱には鋼材を使用し、防雪板の部分にカラマツの半割丸太が利用されている。

木製防雪柵は、周囲の自然環境に調和すること、天然資材としての外観的親しみ・ぬくもりがあることなどの景観上の利点を持つ。一方で、腐朽・劣化が早いこと、材料の強さに均一性がないことなどの弱点もあり、現状では、実証実験としての設置や、地域からの要望がある箇所への設置など、木製防雪柵が実際に採用される条件は限定的といえる。



写真 2.1-1 ポリカーボネート製防雪柵(左)、木製防雪柵(右)

### (c)市場規模

防雪柵の市場規模(年間発注量)は、北海道・東北・北陸を合わせた全国で、概ね延長 50 km と推定される。

CLT 製防雪柵は前述のとおり吹き止め式に限定されることから、吹き止め式のみを対象とすると、市場規模(年間発注量)は全国でおおよそ延長 20 km、売上実績はおおよそ 15 億円前後と推計される。

なお、防雪柵の発注量の大半は新設によるものだが、新設道路の量が減るにつれ、中長期的には防雪柵の新設量も先細りになると予想される。一方、設置から 30 年以上経過した防雪柵は劣化が進行しているうえ、現在の要求性能に見合わないものも多く、リニューアルの需要が増えつつある。現在の発注量のうち 20%~30% はリニューアルによるものだが、この割合は今後増加していく可能性がある。

防雪柵(吹き止め式)の市場規模推移を 図 2.1-5 に示す。

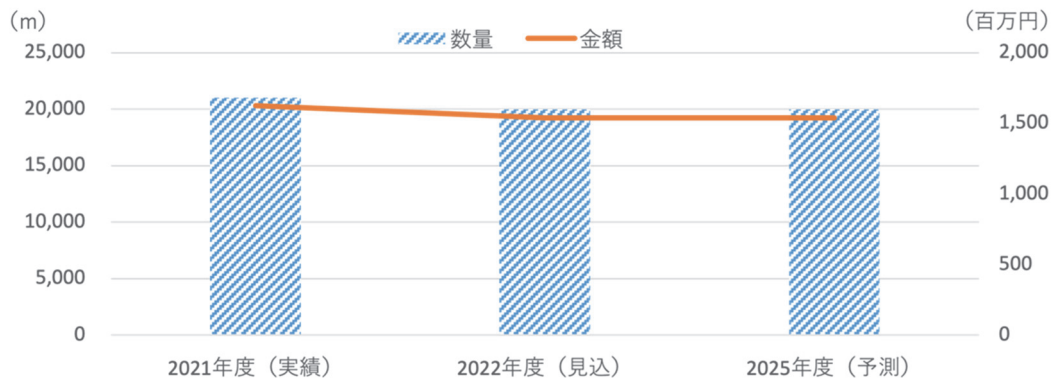


図 2.1-5 防雪柵(吹き止め式)の市場規模推移

### (2)顧客層とビジネスルート

#### (a)顧客層

防雪柵の発注量に対する発注者別の割合を 図 2.1-6 に示す。防雪柵の発注は、国道を管轄する国土交通省からの案件が多くを占める。この他、高速道路を管理する NEXCO 東日本(東日本高速道路(株))のほか、市町村等の地方自治体からも発注がある。ただし、国土交通省からは毎年コンスタントな発注があるものの、NEXCO 東日本や地方自治体からの発注は、雪害による事故の発生など突発的な要因の発生や、その年の予算状況に左右される場合も多く、発注量は年度によりばらつきがあるため、全国発注量に占める割合も年度により変化する。

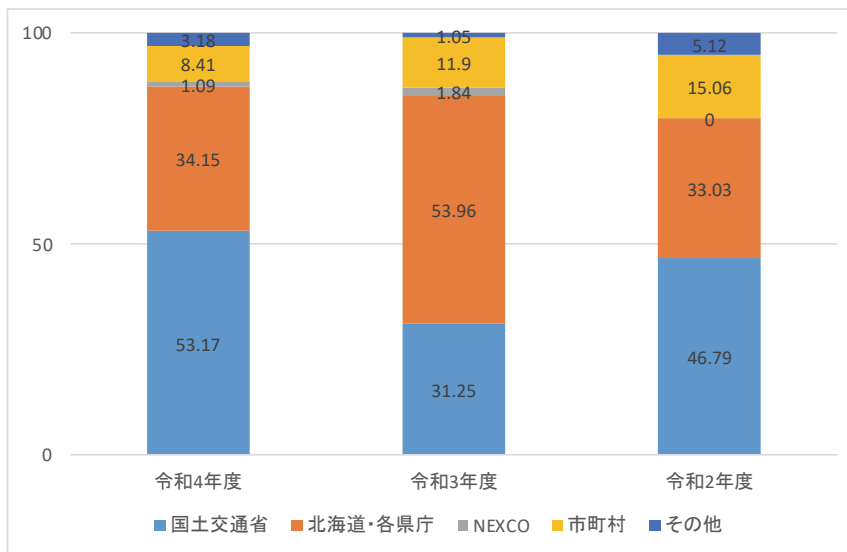


図 2.1-6 直近 3 年度の防雪柵の発注者割合

### (b)ビジネスルート

ビジネスルートについては、「①設計:発注者(国土交通省、NEXCO 東日本、市町村等)が防雪柵設置工事の設計をコンサル会社に発注」、「②工事発注:①の設計を元に発注者が防雪柵設置工事を発注」、「③工事受注:ゼネコン等の工事受注業者が設計書を元に防雪柵をメーカーに発注」、という流れ(図 2.1-7)になっている。防雪柵は設置する場所の条件に合わせてオーダーメイドで発注されるのが一般的で、発注者の意向を汲んだコンサル会社によって作成された工事設計を元に発注される。よって、採用される防雪柵の仕様は、発注者の意向とコンサル会社の設計内容によって決定されるのが一般的である。

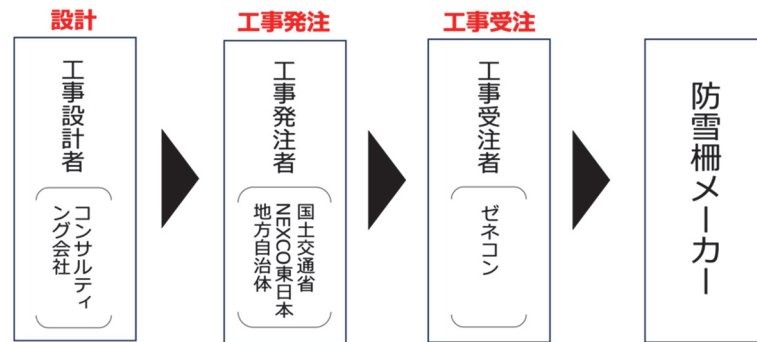


図 2.1-7 防雪柵のビジネスルート

### (3)市場と製品価格

#### (a)仕様

防雪柵は、風向き、風速、積雪量や地盤状況等の設置する場所の環境により、設置する柵の高さやスパン、形状が決定される。標準設計として、柵高  $H=3.0\text{ m}\sim 6.5\text{ m}$  程度、スパン長  $W=3.0\text{ m}\sim 4.0\text{ m}$ 、設計風速  $V=30.0\text{ m/s}\sim 50.0\text{ m/s}$  となり、これらを元に設置現場状況に合わせて設計条件を決定する。

鋼製防雪柵の耐用年数は、一般的には 30 年程度といわれているが、海岸沿いなどの塩害がある地域では、耐用年数がこれよりも下がると考えられる。

景観配慮や圧迫感軽減の観点から、夏季などの不要な時期には収納される場合が多い。しかし近年では、メンテナンスのコスト削減のため、夏季においても存置される場所が増加している。

#### (b)製品価格

防雪柵は、前述のとおり設置する場所の環境に応じてオーダーメイドで生産する形態となっているため、製品単価にはばらつきがあり、柵の種類や高さなどにより、5 万円～15 万円と価格帯も幅広い。

また、製品価格はほぼ材料費により決定するという。表 2.1-2 に理研興業株式会社からヒアリングした高性能防雪柵の材料費の内訳を一例として示す。これは、高性能防雪柵で柵高 3m の場合の材料費の一例である。

表 2.1-2 鋼製防雪柵の製品価格内訳(一例: 数値提供 理研興業株式会社)

名称	単重(kg)	数量	単価	合計
主柱	68.11	1	163,500	163,500
防雪板(無孔板)	11.2	7	13,400	93,800
防雪板(有孔板)	7.84	6	13,400	80,400
ボルト・ナット	0.05	52	190	9,880
アンカーボルト	7	2	16,100	32,200
				379,780
			mあたり	126,593



## 2.1.2 CLT 製品の仕様と性能

現在、材料に CLT を使用した CLT 防雪柵は製品化されたものがなく、製品開発が進められている段階である。以下、現在開発中の CLT 防雪柵について、その仕様や検証によって得られた結果を元にした性能を述べる。

### (1)CLT 製品の仕様

製品開発中の CLT 防雪柵は、吹き止め式を改良した高性能防雪柵の仕様を採用しており、支柱は鋼製で直立形状にし、上部は後付けの「くの字金具」を固定することで、鋼製の高性能防雪柵と同形状としている。直立部は鋼製の H 型鋼に CLT をはめ込み、忍び返し部、誘導板部には集成材を使用することで、あえて空隙が出来るよう設計している(図 2.1-8)。

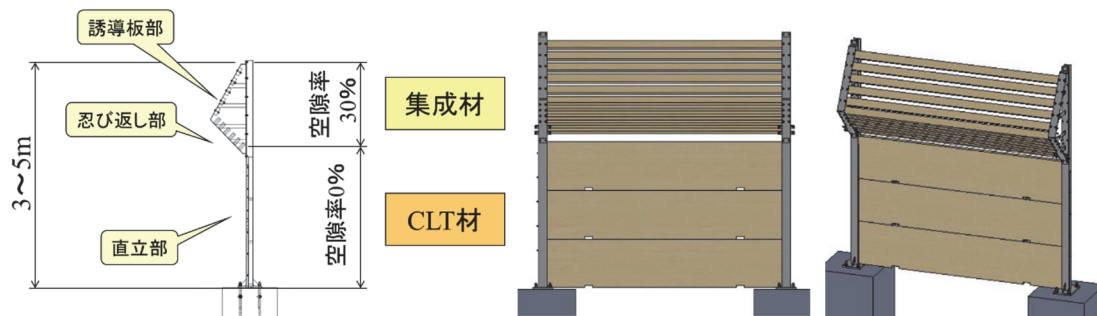


図 2.1-8 CLT 防雪柵の概要

CLT は木質の面材料ゆえの施工性の良さや、木質材料では不安視されがちな寸法安定性等の向上が期待されている一方で、着雪や腐朽などの懸念もあり、着雪や腐朽を防止する表面処理の検討や経年変化のモニタリングなど、現在も検証が続けられている。

また、防雪機能の要ともいえる上部工(屈曲部分)については、風が抜けることが重要で CLT ほどの強度は必要ないことから、集成材での最適な仕様(形状、使用材種、樹種、固定方法等)について検討中である。

鋼製の高性能防雪柵と同様、柵の高さやスパンは設置する場所の環境により決定されるため一概にはいえませんが、高さ 4 m に対して CLT4 枚を使用するのが一般的となっている。

#### 参考)CLT 防雪柵の実証実験

北海道東部に位置する中標津町において、2023 年 12 月に CLT 製の高性能防雪柵を設置し、表面処理や腐朽状況のモニタリングを目的とした実証実験を行なっている(写真 2.1-2)。同じ場所には 2003 (平成 15)年から 2004(平成 16)年にかけて設置された鋼製の高性能防雪柵もあり、CLT 防雪柵との比較を行う。

今後は、現地の気象データ(風向、風速、気温、積雪深)の計測や防雪効果の可視化実験等も実施し、CLT 防雪柵の防雪効果についても検証していく予定である。

設置箇所:北海道標津郡中標津町俵橋

主風向:北西、北北東

最積雪深:133 cm



写真 2.1-2 実証実験で設置された CLT 防雪柵と既存の高性能防雪柵(手前)



## (2)要求性能との適合性

### (a)強度

防雪柵は、道路構造令や地方整備局等が定める道路設計要領などを根拠に設計される。これらには、防雪柵の設計や施工に関する標準的な事項が定められており、防雪柵に必要な強度計算方法も示されている。防雪柵に必要な強度は、要領に記載された設計風速や風荷重などの数値を使って計算される。図 2.1-9,10 に設計風速の計算方法の例、風荷重の計算方法の例を示す。さらに、CLT 防雪柵が製品として採用されるには、直立部の防雪板に CLT を使用しても鋼製と同等以上の強度があることをこの強度計算により示す必要がある。図 2.1-11 に防雪板の強度計算方法の例を示す。

なお、前述の中標津町における実証実験で設置した CLT 防雪柵に対する強度計算では、結果として十分な強度が保たれていることが分かった。

また、設置条件によっては、実証実験時の柵高(3 m)よりも高い防雪柵が求められる場合もあり、高さを高くする分必要とされる強度も上がるが、CLT の厚みを厚くすることで強度を高めることも可能である。

以上のことから、CLT 防雪柵であっても強度は鋼製の高性能防雪柵と同等以上には保たれると考えられる。

1. 設計風速

防雪柵の設計風速は、下式により基本風速に水平長補正係数を乗じて求める。

$$V = V_T \cdot v_2 \dots\dots\dots (式3.5.1)$$

ここで、  $V$  : 当該地域における防雪柵の設計風速 (m/s)  
 $V_T$  : 基本風速 (m/s)  
 $v_2$  : 水平長補正係数 (1.21を基本とする)

基本風速は、設置箇所付近の観測地の再現期間30年に対する風速期待値を使用する。ただし、防雪柵が路側あるいは路側に近いところに位置し、万一の転倒が大きな事故や障害につながる場合、設計風速を50m/sとする。

図 2.1-9 設計風速の計算方法の例(一部抜粋)

2. 設計荷重

防雪柵の設計に当たっては、風荷重および雪荷重を考慮するものとする。

(1) 風荷重

風荷重は柵に直角で水平方向に作用した場合、その大きさは次に示す式で求めることとする。

$$P_w = C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V^2 \quad \text{..... (式3.5.2)}$$

ただし、 $P_w$  : 風圧力 (N/m<sup>2</sup>)  
 $C_d$  : 風圧係数 (1.2とする)  
 $\rho_a$  : 空気の密度 (kg/m<sup>3</sup> 通常1.23とする)  
 $V$  : 設計風速 (m/s)

防雪板に有孔板を用いる場合、防雪板全面にかかる風荷重を算出し、その荷重に空隙の割合を考慮して防雪板にかかる荷重を算出する。なお、一般的に用いられている空隙率30%の場合では、防雪板にかかる風荷重が減少する割合は20%程度であるため、空隙率を考慮すると、無孔板、有孔板に作用する風荷重は以下のようになる。

無孔板に作用する風荷重

$$P_{w1} = C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V^2 = 1.2 \times \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V^2 \\ = 0.6 \cdot \rho_a \cdot V^2 \quad (\text{N/m}^2)$$

有孔板に作用する風荷重 (空隙率30%の場合)

$$P_{w2} = 0.8 \cdot C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V^2 = 0.8 \times 1.2 \times \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V^2 \\ = 0.48 \cdot \rho_a \cdot V^2 \quad (\text{N/m}^2)$$

図 2.1-10 風荷重の計算方法の例(一部抜粋)

(1) 防雪板

防雪板の強度は、風荷重を作用させて計算する。計算は、風荷重を等分布荷重とみなして行う。

風圧の等分布荷重 $w_b$ は、

$$w_b = P_w \cdot B \quad (\text{N/m}) \quad \text{..... (式3.5.9)}$$

ここで、 $B$  : 防雪板幅 (m)

最大曲げモーメントは、等分布荷重が作用する支柱間で支えられた単純梁として計算する。

$$M_{\max} = \frac{w_b \cdot L^2}{8} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad \text{..... (式3.5.10)}$$

ここで、 $M_{\max}$  : 曲げモーメントの最大値 (N・m)

$w_b$  : 等分布荷重 (N/m)

$L$  : 支柱ピッチ (m)

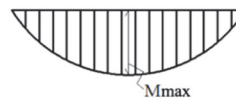
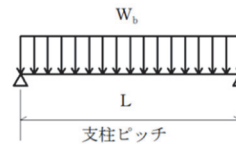


図3-5-2 防雪板に作用する曲げモーメント

図 2.1-11 防雪板の強度計算方法の例(一部抜粋)

## (b)耐久性

木質材料には腐朽の発生という懸念があり、これまで設置されてきた半割丸太等を材料とした木製防雪柵の耐用年数は約 15 年と言われており、鋼製防雪柵の耐用年数 30 年に比べて短い設定である。これまでの実証実験結果を見ると、設置から 15 年以上経った木製防雪柵には、確かに何らかの木材の割れや腐朽の進行が確認される。

### 参考) 木製防雪柵の設置状況(経過観察)

北海道野付郡別海町の町道において、平成 16 年度に半割丸太を材料とする木製防雪柵を設置(図 2.1-12)し、防腐処理の違い(無処理 / 防腐剤加圧注入処理 / 封孔剤塗布処理の 3 種類)による経年劣化の差を検証。

設置から 20 年近く経った現在、経年劣化により防腐処理の効果はなくなり、無処理と同じ表面状況(表面にコケなどが生え、腐朽が発生)となっている(写真 2.1-3)。

この結果から、木製防雪柵の耐用年数が約 15 年という想定は、妥当な年数と考えられる。



図 2.1-12 別海町町道に設置した木製防雪柵(平成 16 年度設置当時)



写真 2.1-3 現在の木製防雪柵の状況(左:無処理、中央:防腐剤加圧注入処理、右:封孔材塗布処理)

一方、CLT 防雪柵の耐朽性については、前述の中標津町における実証実験等でモニタリングが続けられている。

従来の半割丸太を材料とした木製防雪柵では、水分量の多い地際や木口面からの腐朽が速い。しかし CLT 防雪柵は、①腐朽の原因となる水分を浸透させないよう表面塗装によるコーティングを CLT に施していること、②半割丸太に比べ面材料である CLT は木口面積が少なく、かつ鋼製の支柱にカバーされて木口面が露出していないことなどから、従来の木製防雪柵よりも耐用年数は長くなると期待されている。

### (c)防雪効果

CLT 防雪柵の防雪効果については、模型環境での実証により、鋼製の高性能防雪柵と比較しても遜色ない防雪効果があるという結果が出ている。

以下、防雪効果を検証するために理研興業株式会社により実施された実験の結果を示す。CLT 防雪柵と鋼製の高性能防雪柵について、風洞実験装置を用いて、可視化実験及び PIV 解析と堆積実験により比較した。

可視化実験では、地吹雪を再現することができるため、現地の状況を目視により確認できる。従って、可視化実験により、現在の状況と対策後の状況をシミュレーションできる点が特徴である。

#### 【可視化実験の測定手順】

- ①活性白土を測定洞内に散布して、地吹雪の状況を再現
- ②シート状に照射したレーザー光線を横切る多数の粒子を、目視やビデオカメラで撮影して追跡（現地の状況を確認）
- ③対策前と対策後での状況を比較し、防雪効果を確認

PIV 解析とは、非接触で 2 次元断面中の速度分布を計測する手法である。可視化された計測空間から、画像処理により数多くの計測点で速度と方向を同時に算出するので、流速計よりも空間構造が把握しやすい点が特徴である。

#### 【PIV 解析の測定手順】

- ①活性白土を測定洞内に散布して、地吹雪の状況を再現
- ②シート状に照射したレーザー光線を横切る多数の粒子を、ハイスピードカメラで連続撮影して追跡
- ③撮影結果より、超高速演算にて粒子の速度と方向を同時に算出
- ④解析結果を粒子画像、ベクトル、流線、カラーコンタなどで出力し、防雪効果を確認

#### i)可視化実験及び PIV 解析の結果

CLT 防雪柵の場合、道路全体の雪の濃度が濃い部分は解消されており、柵を通過した流れは、流れの速い層流域を柵高以上の位置で形成し、忍び部の集成材スリット部から抜ける減風された流れを上方へ引き込んでいることが確認できた(写真 2.1-3)。この作用により道路上への吹き溜まりが軽減される。それに対し、鋼製の高性能防雪柵では同様の効果は見込めるものの、流線終端部で道路側に巻き込むような流れになっているため(写真 2.1-4)、CLT 防雪柵より効果範囲がやや劣ることが推測される。鋼製の高性能防雪柵の防雪効果範囲は性能として十分だが、効果範囲の広さで見れば CLT 防雪柵の方が優れていることが分かった。

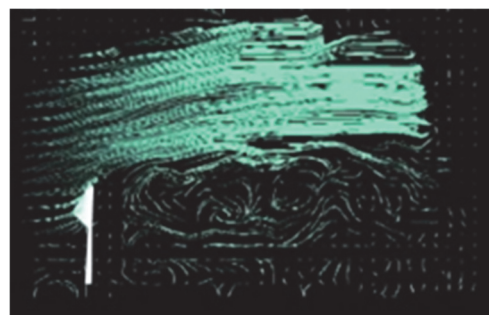
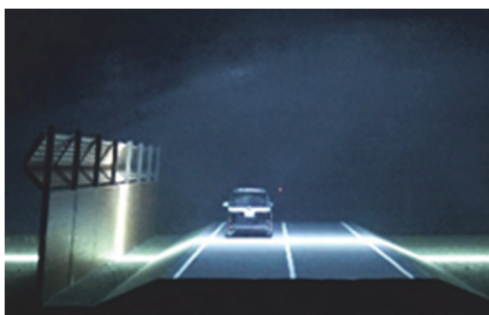


写真 2.1-3CLT 防雪柵の可視化実験(左:可視化実験の様子、右:PIV 解析による流線)



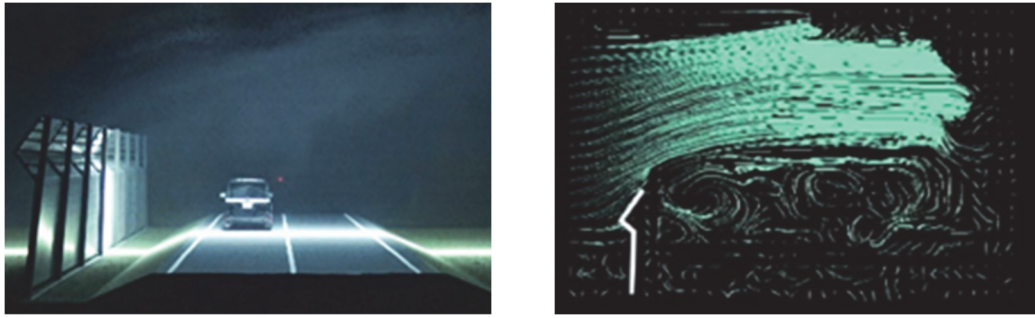


写真 2.1-4 CLT 防雪柵(鋼製防雪柵)の可視化実験(左:可視化実験の様子、右:PIV 解析による流線)

ii) 堆積実験

CLT 防雪柵、鋼製の高性能防雪柵ともに道路上における雪の堆積量に大きな差は無く、同程度の効果が得られている(図 2.1-13、12)。

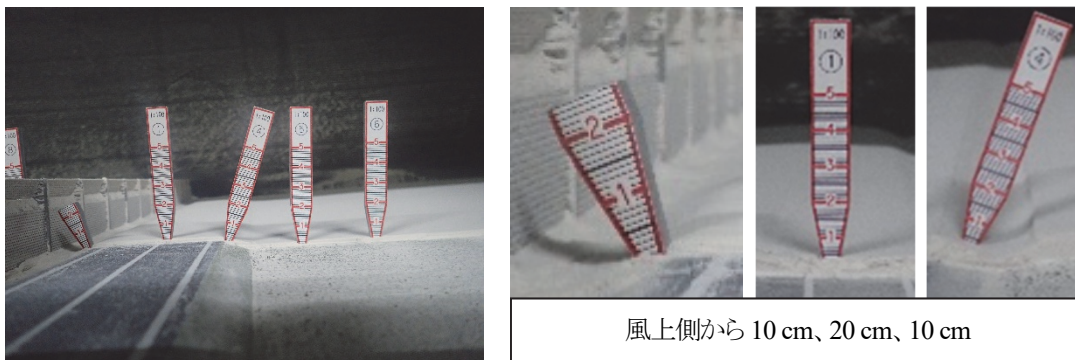


図 2.1-13 高性能防雪柵の堆積実験状況

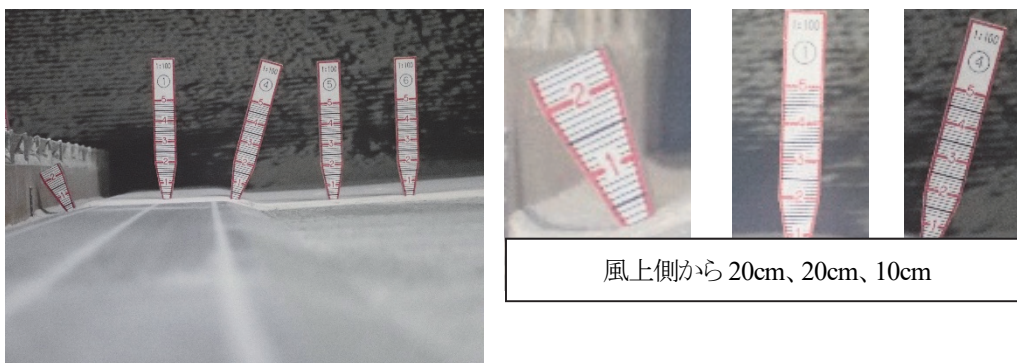


図 2.1-14 CLT 防雪柵の堆積実験状況

実験結果のまとめを 表 2.1-3 に示す。として、鋼製の高性能防雪柵は十分な防雪効果が得られているものの、解析にて流線終端部での道路側への巻き込みが見受けられた。それ以外では実験結果に相違が無く、CLT 防雪柵は鋼製の高性能防雪柵と同程度以上の防雪効果があると認められる。

表 2.1-3 風洞実験装置による実験結果まとめ

対策工 \ 評価項目	可視化実験	PIV 解析	堆積実験 (吹き溜まり)	総合評価
鋼製の高性能防雪柵	○	△	○	○
CLT 防雪柵	○	○	○	○

### (3)メンテナンス方法

CLT 防雪柵は木質の面材料である CLT を鋼製の H 型鋼に差し込む仕様となっているため、鋼製の高性能防雪柵に比べて使用するボルトの数が少ない。防雪柵はボルトの緩みや錆などを確認するため定期的な点検が行うが、ボルト数が少なくなることにより、点検時間や点検作業の負担軽減が期待できる。

また、防雪柵は景観配慮や圧迫感軽減の観点から、防雪対策が不要な夏季には収納される場合が多い。その収納方法は、収納しない自立式に加え、表 2.1-4 のようなものが挙げられる。

表 2.1-4 防雪柵の収納タイプまとめ

自立式	年間通して収納することのない型式。景観や畑地の日照を重視する箇所へは適さないが、価格は安価である。
自立式板水平可動型	防雪板が水平に可動することで、景観に配慮することが出来る型式。日照を重視する箇所へは適さない。
折畳式下部収納型	支柱を折り畳み、防雪板を下部に収納することで柵高を 1m 程度まで低くすることが出来る型式。景観や日照に配慮できるが、インシヤルコストや維持管理の費用が効果である。
折畳式下部収納型 (ウィンチ式)	前項と仕様は変わらないが、油圧装置を使用し支柱の折り畳みをし、ウィンチで防雪板を収納することが出来るため、省人化を図ることが可能である。

鋼製の高性能防雪柵は様々な収納方法が可能であるが、大きな面材料である CLT を使用した CLT 防雪柵は収納することが難しく、現状では自立式での製品開発が進められている。

ただし、CLT 防雪柵は収納できない一方で、表面にポリエステル系樹脂にてコーティング処理を施し、雪や雨、粉塵など腐朽に関わる影響を受けにくくしているため、基本的にはメンテナンスフリーになるよう設計されている。

また発注者へのヒアリングにより、近年ではメンテナンスのコスト削減のため、自立式を導入する場所も増加していることを確認している。

## 2.1.3 課題に対する解決策のプロダクト化

### (1)既存技術における課題整理

CLT 防雪柵のプロダクト化にあたっては、CLT 防雪柵が既存製品よりも優れている点や、既存製品がもつ課題を解決できる点を明確にすることが重要である。

ここでは、鋼製の高性能防雪柵(以下、「高性能防雪柵」とする。)と、半割丸太等の木材を使用した既存の木製防雪柵(以下、「木製防雪柵」とする。)の2つをCLT 防雪柵の競合製品になると考えられる既存技術と位置づけ、これらの課題を 表 2.1-5 のとおり整理する。

表 2.1-5 既存技術における課題整理

競合となる既存技術	既存技術の課題
高性能防雪柵	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塩害対策</li> </ul> <p>高性能防雪柵の耐用年数は30年で、耐候性に優れている。しかし、海岸付近など塩分を含む潮風が吹き付ける環境下では、塩分に起因する劣化や錆等の腐食が進行し、耐用年数が約半分の15年ほどに下がるといわれている。</p>
木製防雪柵	<ul style="list-style-type: none"> <li>・腐朽への対応</li> </ul> <p>木製防雪柵は、周囲の自然環境に調和すること、天然資材としての外観的親しみ・ぬくもりがあることなどの景観上の利点を持つ一方で、腐朽・劣化の懸念があること、材料の強さに均一性がないことなどの特性がある。</p> <p>特に、地際や水際は乾燥湿潤を繰り返す箇所であり、腐朽しやすいと考えられ、地上部は日照、降雨、雪、風等の気象条件の影響を受けやすい箇所に変色、ひび割れ等が進行しやすい。加圧注入処理などを行なったとしても、前述のとおり木製防雪柵の耐用年数は15年ほどと言われている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・夏季の収納の難しさ</li> </ul> <p>木製防雪柵は材料の特性上、収納が難しく、製品は自立式のみ限定されている。木製防雪柵には周囲の自然環境と調和し、木質材料ならではの外観的親しみやすさやぬくもりがある一方で、視界の圧迫感や農作物の日照確保など夏季の収納が必須な環境では不利になると考えられる。</p>

## (2)CLT 製品のメリット・デメリット

既存技術との比較も踏まえながら、CLT 製品のメリットとデメリットについて表 2.1-6 のとおり考察する。

表 2.1-6 CLT 製品のメリット・デメリット整理表

<p>メリット</p>	<p>① 塩害への耐候性 CLT 防雪柵に使用する CLT の表面にはポリエステル系樹脂にてコーティング処理を施し、雪や雨、粉塵などの腐朽に関わる影響を受けにくいよう対策を行っている。木質材料である CLT は鋼材のように塩分による劣化や錆等の発生につながらることがない。従って、海岸付近等の塩害が起きやすい場所においては、高性能防雪柵よりも高い耐候性を示す可能性がある。</p> <p>② 木製防雪柵よりも高い耐久性 前述のとおり、木製防雪柵は腐朽が速く、耐用年数が高性能防雪柵よりも短い。しかし、CLT 防雪柵については、木製防雪柵と同じ木質素材であるものの、水分を浸透させないコーティング処理や、腐朽が進みやすい木口面の露出がほとんど無いことから、木製防雪柵よりは耐久性が高く、耐用年数も長いといわれている。ただし、耐用年数 30 年の高性能防雪柵との比較は検証中である。</p> <p>③ 景観保持・環境配慮 木製防雪柵と同様、CLT 防雪柵には木質材料ならではの外観的親しみやすさやぬくもりがあり、優れた景観性能を発揮する。 また、国産木材で製造された CLT の使用は、森林環境整備の促進や伐採木材製品 (HWP: Harvested Wood Products) として炭素を固定することによる脱炭素化への貢献の他、鉄等の建築資材よりも製造・加工時のエネルギー消費が少ないなど、環境配慮の面で鋼製防雪柵よりも優れているといえる。 よって、景勝地等の景観保持が求められる場所や、国立公園等の自然調和や環境への配慮が重視される場所において、木製防雪柵と同様、CLT 防雪柵は有利と考えられる。</p> <p>④ 施工時間の短縮、メンテナンスの効率化 CLT 防雪柵は木質の面材料である CLT を鋼製の H 型鋼に差し込む仕様となっているため、高性能防雪柵に比べて使用するボルトの数が少ない。よって設置の際の施工性の向上や施工時間の短縮が期待できる。また、防雪柵はボルトの緩みや錆などを確認するため定期的な点検が行われているが、ボルト数が少なくなることにより、点検時間や点検作業の負担軽減も期待できる。</p>
<p>デメリット</p>	<p>① コストの高さ 防雪柵の製品価格はほぼ材料費により決定するといえるが、CLT 防雪柵は高性能防雪柵に比べ材料費が高くなる。</p> <p>② オフシーズン時(夏季)に収納できない CLT 防雪柵は木製の大きな面材料であるため収納が難しく、現状では製品は自立式のみに限られている。CLT 防雪柵には木製防雪柵と同様に、周囲の自然環境と調和し、木質材料ならではの外観的親しみやすさやぬくもりがある一方で、視界の圧迫感や農作物の日照確保など夏季の収納が必須な環境では不利になることが考えられる。</p>



CLT 防雪柵のデメリットのひとつであるコストの高さについては、防雪板の材料である CLT の単価が高いことが原因の一つとなっている。CLT は現在国内で 9 つの生産工場が稼働しているが生産量は年間 9 万 m<sup>3</sup> にとどまっており、鉄等の他の建築材料に比べコストが高くなるのが現状である。

表 2.1-7 に、理研興業株式会社からヒアリングした高性能防雪柵と CLT 防雪柵の材料費の内訳を一例として示す。いずれも柵高 3 m の想定で、高性能防雪柵は 1 m あたり 126,593 円であるのに対し、CLT 防雪柵は 1 m あたり 227,490 円と、約 1.8 倍の材料費となっていることが分かる。

なお、CLT 防雪柵における防雪板の単価の約半分は塗装代が占めているといい、CLT 防雪柵がまだ量産化されておらず、少数生産にとどまっていることで塗装代の単価も上がり、CLT 防雪柵の防雪板の単価が高くなる原因のひとつとなっている。

また、現在国内で生産されている CLT は建築向けにつくられているが、防雪柵に使用するにはオーバースペックである。よって中長期的には、CLT の土木需要の創出とともに土木向け CLT の生産も視野に入れ、量産体制の構築によるコスト低減を目指す必要がある。

表 2.1-7 高性能防雪柵と CLT 防雪柵の材料費比較

高性能防雪柵の材料費				
名称	単重(kg)	数量	単価	合計
主柱	68.11	1	163,500	163,500
防雪板(無孔板)	11.2	7	13,400	93,800
防雪板(有孔板)	7.84	6	13,400	80,400
ボルト・ナット	0.05	52	190	9,880
アンカーボルト	7	2	16,100	32,200
				379,780
mあたり				126,593
CLT 防雪柵の材料費				
名称	単重(kg)	数量	単価	合計
主柱	66.68	1	160,000	160,000
防雪板	36.25	3	93,500	280,500
防雪板(誘導部)	4.77	5	10,000	50,000
防雪板(忍び部)	4.77	6	10,000	60,000
くの字金具	17.29	2	39,300	78,600
木製防雪板固定ボルト(誘導部)	0.08	10	255	2,550
木製防雪板固定ボルト(忍び部)	0.12	12	330	3,960
防雪板固定金具	1.66	4	2,600	10,400
くの字金具固定ボルト	0.01	12	200	2,400
板固定金具固定ボルト	0.06	6	310	1,860
アンカーボルト	7	2	16,100	32,200
				682,470
mあたり				227,490

2.1.3(1)及び(2)で述べた防雪柵のメリット・デメリットを、既存技術である高性能防雪柵及び木製防雪柵と比較して表 2.1-8 のとおり整理した。CLT 防雪柵はコスト面では高性能防雪柵に劣るものの、環境配慮の面やメンテナンス性の良さでは優位になると考えられる。また、木質材料ゆえの塩害への強さは高性能防雪柵と比較すると確実に優れているとともに、同じ木質材料の木製防雪柵と比較しても耐久性が高いといえることから、海岸沿い等の塩害地域においては、特に優位性を発揮できる。

表 2.1-8 CLT 防雪柵と既存技術との比較

項目	CLT 防雪柵	既存技術		CLT 防雪柵と既存技術との比較
		木製 防雪柵	高性能 防雪柵 (鋼製)	
塩害	◎	○	△	鋼製よりも木製・CLT の方が塩害に強い。 腐朽が進みやすい木口面が露出していない CLT の方が、木製より耐久性も高いと考えられる。
耐久性	○	△	◎	鋼製の耐用年数 30 年に対し木製は 15 年程度。 CLT の耐用年数は検証中であるが、コーティング処理や木口面の露出の少なさから、木製よりも CLT の方が耐久性は高いと考えられる。
環境配慮	◎	◎	△	CLT・木製は脱炭素化への貢献や生産過程における環境負荷の低減等の面で、鋼製よりも優位である。
景観保持(収納)	○	○	○	CLT・木製は自然に調和する見目で景観保持に優れる一方、自立式のみに限定されるため、視界の圧迫感や農作物の日照確保など夏季の収納が求められる環境では鋼製よりも不利になる。
メンテナンス	○	△	△	CLT は鋼製・木製に比べボルト数が少なく、設置の際の施工時間の短縮、メンテナンスの効率化が期待できる。
コスト	△	△	○	CLT・木製は材料の安定供給や製品の量産体制が確立しておらず、鋼製に比べコストが高くなる。

### (3)CLT 製品の STP(セグメンテーション、ターゲティング、ポジショニング)

CLT 防雪柵の強みの明確化及び他製品との差別化のため、というフレームワークを用いて分析を行う。

#### (a)CLT 製品のセグメンテーション

セグメンテーションは、市場を細分化することである。

これまで述べてきたように、CLT 防雪柵は製品価格が高くなり、コスト削減を優先される一般的な設置環境下においては、鋼製防雪柵の方が優位になる。一方、海岸付近等の塩害が起きやすい場所や、景勝地・国立公

園等の景観保持や環境配慮が重視される場所では CLT 防雪柵が有利と考えられる。また、CLT 防雪柵は夏季のオフシーズン時に収納できないため、収納が必須かどうかで市場が限定される。以上のことから、セグメンテーションとしては「設置場所の環境的要件」と「オフシーズン時の収納」の観点から市場のマトリックスを設定した(図 2.1-15)。

		環境的要件	
		一般的な環境	環境配慮・塩害地域
オフシーズン時の収納	収納必須		
	収納不要		

図 2.1-15 防雪柵のセグメンテーション

(b)CLT 製品のターゲティング

ターゲティングは、セグメントした市場の中でどの市場を狙うか決めることである。

CLT 防雪柵は自立式のみで収納できないため、視界の圧迫感や農作物の日照確保などオフシーズン時の収納が必須な場所には向かず、CLT 防雪柵の市場となるのはオフシーズン時の収納が不要な場所である。

図 2.1-16 に防雪柵のターゲティングを示す。

		環境的要件	
		一般的な環境	環境配慮・塩害地域
オフシーズン時の収納	収納必須		
	収納不要	CLT	

図 2.1-16 防雪柵のターゲティング

(c)CLT 製品のポジショニング

ポジショニングは、ターゲティングした市場の中で、製品の立ち位置を決めることである。

収納不要な場所における CLT 防雪柵の競合製品と考えられるのは、高性能防雪柵と木製防雪柵である。先に述べたように、一般的な設置環境下では CLT 防雪柵はコスト面において高性能防雪柵よりも不利となるが、海岸付近等の塩害が起きやすい場所では耐久性の面で、景勝地・国立公園等では環境配慮や景観保持の面で有利になると考えられる。また、木製防雪柵も CLT 防雪柵と同様、塩害への耐候性があり環境配慮の面で鋼製防雪柵よりも有利ではあるものの、水分を浸透させないコーティング処理や、腐朽が進みやすい木口面の露出がほとんど無い分、CLT 防雪柵の方が木製防雪柵より耐久性が高いと考えられる。図 2.1-17 に防雪柵のポジショニングを示す。

これらの点から、CLT 防雪柵は、オフシーズン時に収納不要な場所、かつ海岸付近等の塩害が起きやすい場所や、景勝地・国立公園等の景観保持や環境配慮が重視される場所において、競合に対抗できると考えられる。

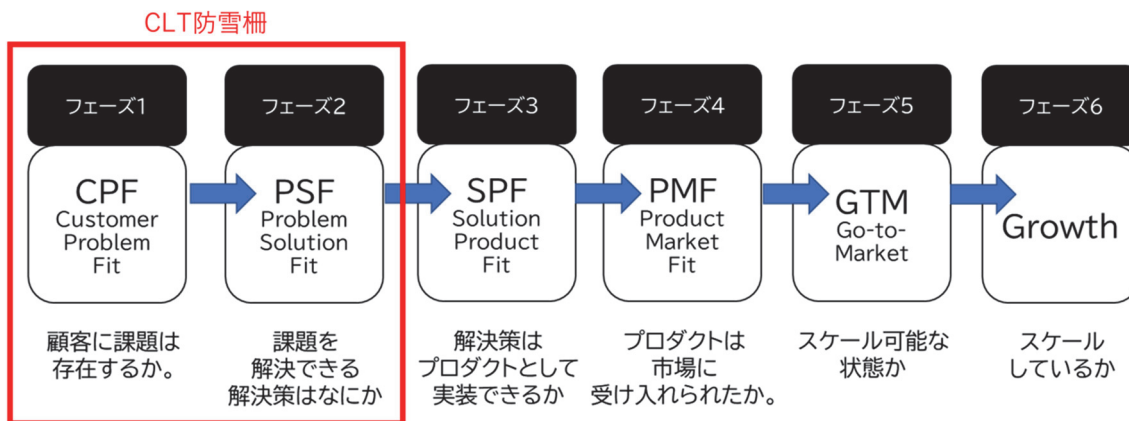
		環境的要件	
		一般的な環境	環境配慮・塩害地域
オフシーズン時の収納	収納必須	 鋼製防雪柵	
	収納不要	 鋼製防雪柵	 CLT防雪柵

図 2.1-17 防雪柵のポジショニング

(4)CLT 防雪柵の市場適合評価と指標

PMF とは、Product(製品)と Market(市場)が適合している状態を表したものであり、市場を満足することができる商品が、正しい市場にいることを意味し、図 2.1-18 に示す市場適合の 6 つのフェーズのうち、4 つ目に位置するフェーズである。

第4フェーズの PMF に至るまでには、顧客に課題が存在し(第 1 フェーズ)、課題の解決策を見出し(第2フェーズ)、その解決策をプロダクトに実装する(第 3 フェーズ)という段階がある。



(引用：栗原康太著「PMF の教科書」)

図 2.1-18 フィットジャーニーの 6 つのフェーズ

また、市場適合の6つのフェーズについては、「目標」「指標」「主な活動」に分類した上で、それぞれの具体的な施策が図 2.1-19 のとおり示されている。

	目標	指標	主な活動
CPF Customer Problem Fit	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バーニングニーズの発見と検証</li> <li>・創業チームの組成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・課題が存在していること</li> <li>・課題が解決するに値する切実な事柄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・顧客インタビュー</li> <li>・受託やPoCでの課題探索</li> <li>・創業チーム内での壁打ち</li> <li>・仮説の言説化/精緻化</li> </ul>
PSF Problem Solution Fit	<ul style="list-style-type: none"> <li>・課題に対する解決策の立案と検証</li> <li>・お金を払ってくれるかの検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱狂的な数名の顧客が存在すること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MVPの作成</li> <li>・営業資料、デモの作成</li> <li>・顧客インタビュー</li> <li>・営業</li> </ul>
SPF Solution Product Fit	<ul style="list-style-type: none"> <li>・課題に対する解決策をプロダクト化できるか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・契約の基本合意書の締結</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロトタイプ作成</li> <li>・共創パートナー顧客の発見</li> </ul>
PMF Product Market Fit	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロダクトが市場に受け入れられるかの検証</li> <li>・バリュープロポジションの明確化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NPS</li> <li>・シヨーン・エリステスト</li> <li>・リテンション</li> <li>・エンゲージメント</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロダクト開発</li> <li>・ローンチ</li> <li>・カスタマーサクセス</li> </ul>
GTM Go-to-Market	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ビジネスモデルの検証</li> <li>・スケラビリティの検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・売上、受注数、ユーザー数等の成長率</li> <li>・ユニットエコノミクス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・チャネルの発見/最適化</li> <li>・採用/育成方法の発見</li> </ul>
Growth	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計画通りの事業の成長</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・売上規模や顧客数</li> <li>・営業利益やEBITDA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・チャネルの拡張</li> <li>・セグメントの拡張</li> <li>・採用/育成</li> </ul>

CLT防雪柵

(引用：栗原康太著「PMFの教科書」)

図 2.1-19 フィットジャーニーの6つのフェーズ詳細

CLT 防雪柵は、現段階では第1フェーズの CPF(Customer Problem Fit)から第2フェーズの PSF へ移行している状態と考えられる。本調査においても、メーカーや顧客となる工事発注者等へのインタビューにおいて防雪柵についての課題(例: 鋼製防雪柵は塩害に弱い、木製防雪柵は腐朽が速い等)が存在していることを確認したとともに、チーム内での壁打ちを何度も行なってきた。また、PoC(Proof of Concept:概念実証)としては、先述の通り北海道の中標津町において実証実験を行っており、仮説の検証が直近の主な活動といえる。

さらに今後は、第2フェーズ(PSF)へ移るため、STP分析による市場ポジショニングを踏まえた上で既存技術や市場競合の課題を明確化し、熱狂的な数社の顧客の存在を確保すること、デモ製品による課題解決の実証を重ねていくことが、今後進めていくべきことと考えられる。

#### (5)PMFに向けた4C分析による考察

PMFに向けては、CLT 防雪柵が商品として成立した状態を作る必要がある。ここでは CLT 防雪柵について、一般的に活用されているマーケティングの4C(Customer Value, Cost, Convenience, Communication)のフォーマットをもとに考察する(表 2.1-9)。

表 2.1-9 CLT 防雪柵の 4C 分析

項目	分析
顧客価値 (Customer Value)	国立公園や景勝地等、景観や環境配慮を重視する場所での優位性は高い。塩害地域における耐久性も鋼製より優れている。
価格 (Cost)	コストは高い。CLT 工場が全国的に少なく量産体制が整っていないこと、土木利用に向く CLT も普及していないことから他の建材よりも価格が高くなることが課題。
利便性 (Convenience)	ボルト数が少ないため施工性はよく、メンテナンスの効率化も期待できる。 夏季収納はできないが、収納が必須でない場所においては景観を維持しながらも収納の手間を省くことができる。
コミュニケーション (Communication)	環境配慮や塩害への耐候性の観点でコスト以上の製品の強み・魅力を顧客に感じてもらう必要。 顧客(工事発注者)やコンサル会社(工事設計者)への売り込みが今後の大きなテーマ。

顧客価値、価格、利便性についてはここまで議論してきたが、コミュニケーションについては、4C 分析によって得られた観点である。コミュニケーションにおいては、これから出てくるセールス面での課題が列挙された。

CLT 防雪柵はコストが高いという課題があるが、脱炭素化への貢献等、社会情勢やニーズに沿うブランディングや製品ストーリー等によりコスト以上の魅力を示すことが重要である。

また、防雪柵は設置条件に合わせてオーダーメイドの仕様で発注されるのが一般的であり、顧客である発注者(国交省、地方自治体、NEXCO 東日本等)の意向と、コンサル会社の設計によって使用する防雪柵が決定される。よって、顧客やコンサル会社を対象とした的確なセールス展開が必要となる。

#### (6)NETIS 検討項目による評価

ここでは、国土交通省の新技術登録のデータベースである NETIS の検討項目(経済性、工程、品質、安全性、施工性、周辺環境への影響)を踏まえて考察する。

NETIS は、既存技術の設定が 1 つ以上必要である。本調査では、高性能防雪柵(鋼製)と木製防雪柵を既存技術として比較し、CLT 防雪柵の優位性や課題などの検討を行う(表 2.1-10)。項目欄は、実際に NETIS で使われている比較項目 6 種であり、向上、同等、低下の 3 段階で評価した。なお、「―」は比較が困難と判断したものである。

表 2.1-10 NETIS の 6 項目についての CLT 防雪柵と既存技術との比較

項目	高性能防雪柵(鋼製)との比較	木製防雪柵との比較
経済性	<b>低下</b> 鋼製に比べて CLT は高価になる。土木用 CLT の製品化や CLT 防雪柵の量産化が課題。	<b>同等</b> 半割丸太等の木製防雪柵と CLT 防雪柵でコストは大きく変わらない。
工程	- CLT 防雪柵は研究開発中であり量産体制が整っていない。今後量産とコスト低減をめざし工程の簡素化や供給体制を整える必要。	
品質	<b>同等</b> 模型実験により鋼製と同等以上の防雪効果が得られている。耐久性については暴露試験により検証中である。	<b>向上</b> 水分を浸透させないコーティング処理や木口面の露出の少なさにより CLT 防雪柵の方が耐久性が向上する。
安全性	<b>同等</b> 鋼製と同等の安全性は確保できている。車が衝突した時のショックは鋼製よりも和らぐ可能性がある。	<b>向上</b> 木製よりも耐久性が高いことから強度も保たれ、倒壊の危険性も減ると考えられる。
施工性	<b>向上</b> CLT 防雪柵は面材料である CLT を支柱に嵌め込む構造で、鋼製や木製よりボルトの数が少なく設置時の工数及び定期メンテナンス時の手間も減らすことができる。	
周辺環境への影響	<b>向上</b> 景観に調和し、木材の利用により森林整備の促進や脱炭素化に貢献。製造工程における環境負荷も少ない。	<b>同等</b> 木材を利用する観点から、同等。

以上、NETIS について比較を行った。ただし、実際の NETIS 申請においては、すべてエビデンスが必要となるため、内容には精査が必要となる。

## 2.1.4 ビジネスモデルの 5W1H

2.1.3で整理したマーケティング分析をもとに、CLT 防雪柵についての評価を5W1Hの項目で表2.1-11に示す。

表 2.1-11 CLT 防雪柵のビジネスモデルの 5W1H

	論点	評価
WHO	顧客対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工事発注者(国土交通省、NEXCO 東日本、市町村等) 景観保持や環境配慮の観点から、環境や情勢に応じる選択肢の一つとして CLT 防雪柵を認知してもらうことが重要。</li> <li>・工事設計者(コンサル会社) 景観保持や環境配慮の観点から、材料提案のつとして CLT 防雪柵を認知しておいてもらうことは重要。</li> </ul>
WHAT	製品とそれに付随する価値	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機能的価値 施工性の高さ、メンテナンスの効率化、塩害への耐候性などの機能面で価値を有する。</li> <li>・環境的価値 森林整備促進や炭素固定による脱炭素化への貢献、生産時のエネルギー消費の少なさ、景観保持の面で環境的な価値を有する。</li> </ul>
HOW	製品提供にいたるプロセス	<p style="text-align: center;">顧客(工事発注者)による工事発注 ↓ ゼネコン(工事受注者)により、工事発注時の設計を元に 防雪柵メーカーへ製品の見積と発注 ↓ 防雪柵メーカーでの製造 ↓ 納品</p>
WHEN	販売の期間/タイミング/ 製品提供へのタイムスケジュール	<p>防雪柵は基本的にオーダーメイドなので、販売期間やタイミングは、発注毎となる。</p> <p>材料となる CLT の納品は工場の稼働状況によるが、これまでの経験上では概ね 1.5-3 ヶ月程度を要する。この期間を考慮したうえで、CLT 防雪柵の発注から納品までに要する期間は 4 ヶ月程度と考えられる。</p>
WHY	顧客が製品を買う理由	<p>塩害地域やオフシーズン時の収納が必要ない場所において、景観保持・環境配慮の観点からコスト以上の価値を感じられる時に購入する。</p>
WHERE	販売するチャネル	<p>防雪柵は基本的にオーダーメイドなので、顧客(工事発注者)や工事設計者による選択肢としての認知と、そこから発注に繋げる販売戦略が重要。</p>



以下、各項目の詳細について記載する。

## WHO

顧客対象は、発注者である道路管理者(国土交通省、NEXCO 東日本、市町村等)、工事の設計を行うコンサル会社が主な対象となる。防雪柵は、設置条件に合わせてオーダーメイドで発注されるのが一般的で、発注者の意向を汲んだコンサル会社による工事設計を元に発注される。そのため、発注者とコンサル会社に CLT 防雪柵が採用する製品の選択肢のひとつとして認識されることが重要である。

## WHAT

製品とそれに付随する価値は、機能的価値と環境的価値の2つに整理した。機能的価値としては、鋼製防雪柵が腐食しやすい塩害地域においては、CLT 防雪柵が耐久性の高さを発揮する。高性能防雪柵に比べボルト数が少ない CLT 防雪柵は、設置時の施工性が高く、施工時間の短縮やメンテナンスの手間と時間低減にもつながる。

環境的価値としては、森林整備の促進や木材製品としての炭素固定による脱炭素化への貢献、製造・加工時のエネルギー消費の少なさなど環境配慮の面で価値を発揮する。また、木質材料ならではの外観の親しみやすさや景観とのなじみやすさは、国立公園や景勝地等の景観保持が重視される場所で価値を発揮する。

コストが高いことから経済的価値は低いといえるが、これらの CLT 防雪柵の機能面や環境面での強みを活かせる環境下において実績を積み重ねていくことにより、コスト以上の製品価値を示すことができると考えられる。

## HOW

製品提供に至るプロセスは、CLT 防雪柵が製品として工事現場に納品されるまでのプロセスについて示した。工事発注者の意向を反映してコンサル会社が作成した設計を元に工事発注がなされ、ゼネコンが工事を受注、設計に従ってゼネコンから防雪柵メーカーに発注、という流れになっている。

## WHEN

防雪柵は発注毎にオーダーメイドで製造するのが一般的であり、販売時期やタイミングは工事の発注内容に従うことになる。一般的に高性能防雪柵は発注から納品まで 3 ヶ月間程度を要するが、CLT 防雪柵の場合は、防雪板の原料となる CLT の納期も考慮する必要がある。現在 CLT 工場は全国に9箇所しかなく、CLT が納品されるまでのリードタイムは 1.5~3 ヶ月と言われており、CLT 防雪柵の発注から納品までの期間はおおよそ 4 ヶ月間程度と見られる。

## WHY

コストに見合う、またはコスト以上の製品価値がその製品に感じられる場合に顧客は製品を購入する。防雪柵の場合、設置する環境条件で効果を発揮する製品のうち、コストが低いものが選ばれるのが一般的である。しかし CLT 防雪柵の場合は高性能防雪柵よりもコストが高くなるのが現状である。

CLT 防雪柵は塩害地域やオフシーズン時に収納が必要ない場所と市場も限られているが、このような限定的な条件下でも、たとえば国立公園や景勝地などの景観が重視される環境や、脱炭素化やサステナブルな資源循環が重視される社会の情勢下において、CLT 防雪柵の景観保持や環境配慮などの強みを発揮する場合に、顧客からコスト以上の価値を見出され、購入につながると考えられる。

## WHERE

販売するチャネルについては、今後 CLT 防雪柵を販売していくにあたって、工事発注者と工事設計者への営業が重要である。WHO や WHY の項で示したとおり、防雪柵の発注には工事発注者や工事設計者の意向がおおいに影響する。そのため、高性能防雪柵と同等以上の機能と耐久性があることのエビデンスを実証実験等により確立しつつ、景観保持や環境配慮などの文脈で社会の情勢やニーズに沿った製品ストーリーをしっかりと顧客に示し、CLT 防雪柵が採用する製品の選択肢のひとつとなるよう認知を確立していくことがこれからは重要になる。

以上、CLT 防雪柵についての 5W1H 分析を行った。

CLT 防雪柵はまだ製品化されておらず、耐久性など実証中のデータもある。製品化に向けて、短期的には、5W1H の項目でまとめたように CLT 防雪柵が製品の選択肢のひとつとなるよう、実証と実績を重ねていくことが重要である。また現状では、防雪板の原料となる CLT が建築用の仕様でしか生産されておらず、防雪柵にはオーバースペックかつ高コストであることが課題であり、中長期的には、CLT の土木利用の需要を増やしていくとともに、土木用の CLT の安定供給を目指し、コスト低下につなげていくことも見据える必要があるだろう。

#### 参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所:道路吹雪対策マニュアル(平成 23 年改訂版), 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所, 2011
- 2) 理研興業株式会社:高性能防雪柵 誘導板付忍返柵(ポリカタイプ), 入手先 <[https://www.rikenkogyo.co.jp/products/products\\_48.php](https://www.rikenkogyo.co.jp/products/products_48.php)> (参照 2024.3.8)
- 3) (株)富士経済:土木利用分野における木材利用量の調査(2022 年)調査報告書, (株)富士経済,2023
- 4) 栗原康太:新規事業を成功させる PMF の教科書 良い市場を見つけ、ニーズを満たす製品・サービスで勝ち続ける, 翔泳社,2022

## 2.2 プラットフォームのビジネスモデル

### 2.2.1 既存市場および製品の情報整理

#### (1) 昨年度の既存市場に関する調査結果の確認

2022年度、(株)富士経済による「土木分野における木材利用量に関する調査」において、プラットフォームに関する市場調査も実施された。

鉄道駅のストック数量は、JR、民鉄/公営を合計して、約10,000カ所であり、長期傾向としては、バブル期までが急増、その後微増となっており、直近はほぼ横ばい状態とのこと。また、国内のプラットフォーム総面積は、25,500,000㎡と推計(1ホーム平均1500㎡、1駅あたりホーム数1.7)されている。

全体の傾向としては、都市圏での新たな路線開拓、地方を含めた新幹線開発によって駅数が増加している反面、過疎地での廃線による大規模な廃駅(2018年三江線35駅、2021年日高線24駅など)が起こっている。

プラットフォームへの木製板状部材の利用については、合板、CLT、LVBを含めた全ての種類の木材において、ほとんど利用されていない。その理由としては、長期に設置した場合には腐朽の恐れがあり、取り替え工事の頻度が高まることでのコストアップが指摘されている。

なお、プラットフォームの改修工事は、鉄道事業者による届出が不要であることから公的機関は把握していない。よって、工事規模の総計について把握できず、プラットフォーム改修工事の市場規模は現時点では判明していないことは今後の課題である。

#### (2) ビジネスルート、市場分類

プラットフォームは、表2.2-1に分類する通り、本設工事(設置期間:数年から数十年)と仮設工事(設置期間:数ヶ月から数年)に分類される。本設工事とは完成品として半永続的に設置されるものであり、仮設工事とはホーム拡張やホームドアの設置工事などの際に仮設的にホームを設置するものである。

各工事の主体については、鉄道事業者が事業主体となり、大きな工事ではゼネコンが元請となって工事を行うが、小さな修繕工事(最近ではホームドア設置工事などが該当)などは鉄道事業者の子会社が実施することが多い。また、資材の保有者については、本設工事では鉄道事業者だが、仮設工事においてはリース会社の場合も多い。

図2.2-1にCLTプラットフォームの流通上のビジネスルートを示す。

表 2.2-1 本設工事と仮設工事の工事請負事業者及び資材保有者

	工事請負事業者	資材保有者
本設工事	一般的なゼネコン、鉄道専用ゼネコン	鉄道事業者
仮設工事	グループ関連施工会社	リース会社、鉄道事業者

#### ビジネスルート

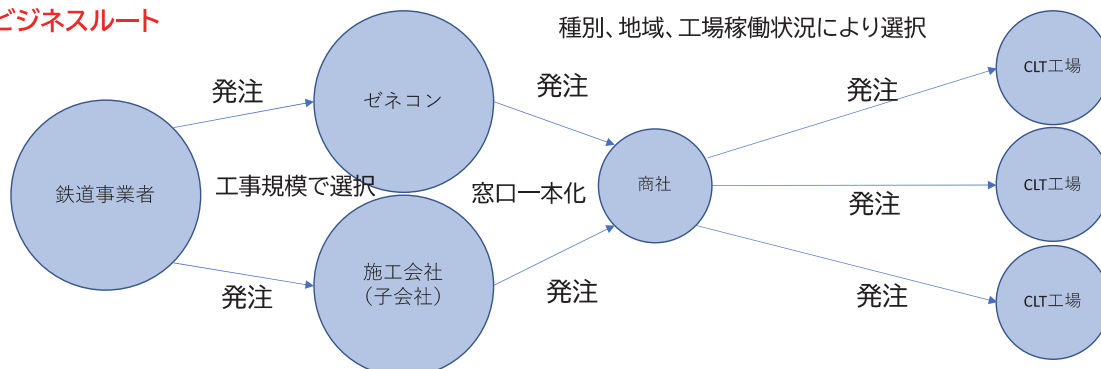


図 2.2-1 CLTプラットフォームのビジネスルート(流通)

### (3) ニーズおよび留意点

プラットフォームにおけるニーズとして、鉄道事業者からヒアリングした結果を以下に示す。

#### (a) 仮設/本設の資材の共通化

仮設と本設は設置期間が異なるため、現状では資材の種類や保有者が異なっており、二重のコストがかかっている。従って、鉄道事業者としては、仮設と本設の両方で使えるプラットフォームを望んでいる。

#### (b) プラットフォーム床版としての新たな要求性能

鉄道事業は様々なシーンがあり、改札内外、建屋内外などで、場所により法的基準が異なる状況が生まれる。場所によっては、消防法において難燃性を求められる場合がある。また、一般的に歩行者の安全を確保するため、防滑性が求められる。こうした点を踏まえると、CLT プラットフォームには、これまでの建築用 CLT では求められなかった「床版としての新たな要求性能」が存在する。

### (4) 競合資材

プラットフォームにおける競合資材(既存技術)としては、仮設工事では合板+ゴムマット、ノンスリップ合板、コネクショondeッキ、本設工事では RC、PC、EPS などが普及している。

ここでは、特に CLT 製品の競合となるような仮設工事で使われている競合資材について紹介する。

#### (a) ゴムマット+合板

合板の上にゴムマットを敷いたもので、非常に普及している。ゴムマットによる防滑性を高めている。一方で、テープの剥がれ、ゴムマットの劣化、たわみやばたつきなど、課題も多い。

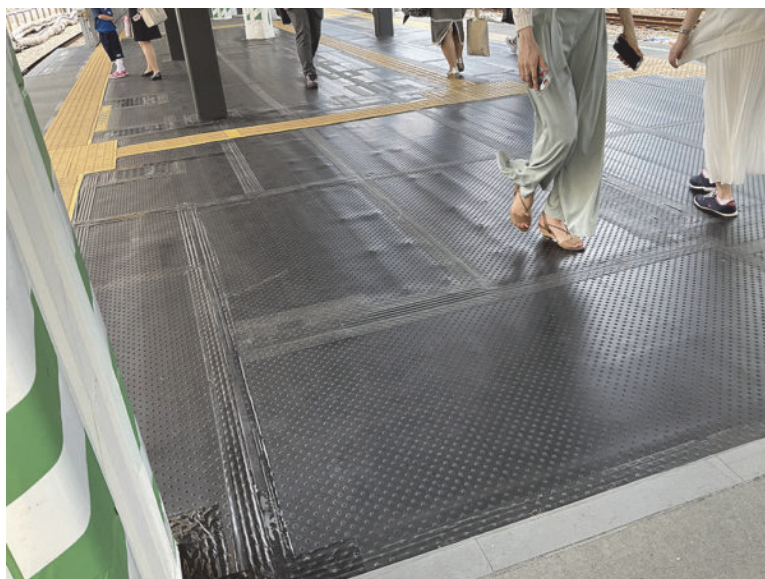


写真 2.2-1 駅のプラットフォームで使われるゴムマット(こうじばんウェブサイトより抜粋)

[https://www.koujiban.jp/hint.html/ground-protection-mats\\_various-methods/](https://www.koujiban.jp/hint.html/ground-protection-mats_various-methods/)

#### (b) ノンスリップ塗装合板

合板に防滑性を高めた塗料を塗布した資材であり、以下の特徴を有している。

- ゴムマットのように波を打つことがない。
- 塗装材にゴム成分を含むので歩行時のクッション性、消音性が高い。
- 厚み 24mm を使うと、根太に直張りが可能であり工期短縮につながる。
- 難燃性にも優れており、消防法対応も進んでいる。



一方で、端部の剥がれ、塗料の摩耗などがあり、補修や交換は必要である。また、比較的、資材として価格が高い。



写真 2.2-2 波打つゴムマット



写真 2.2-3 ノンスリップ塗装合板(JR 渋谷駅 山手線)(ダイアックス(株)ウェブサイトより抜粋)

### (c)コネクションデッキ(仮覆工板)

上記の合板がもつ課題に対して開発されたのが「コネクションデッキ(NISSO:日綜産業)」である。下述するように、合板についての課題解決と合わせ、施工性、デザイン性も非常に高い。



写真 2.2-4 コネクションデッキ(日綜産業 ウェブサイトより抜粋)

参考) 既存技術であるコネクションデッキの技術情報

CLT プラットフォームに求められる要求性能の推考のため、既存技術であるコネクションデッキについて、製品サイズ、従来製品に対する課題解決のポイント、製品の特徴を確認する。

(以下の写真や文章は、メーカーウェブサイトより抜粋、編集)

-製品サイズ-

重さ:57kg/枚

サイズ: 幅 500mm×厚さ 50mm×長さ 2500mm

(長さは他に 1100, 1300, 2000mm あり)

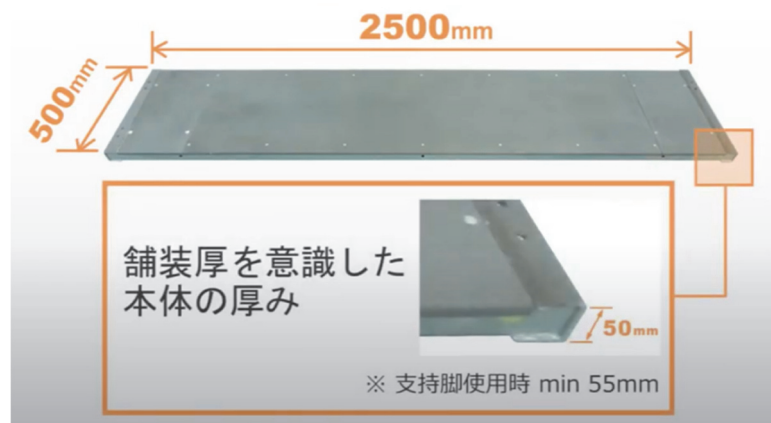


図 2.2-2 製品サイズイメージ

-従来製品に対する課題解決-

①テープの剥がれ

既存製品はガムテームなどが必要なものがあり、ガムテープが剥がれることも多いが、コネクションデッキにはガムテームは不要。



図 2.2-3 テープの剥がれイメージ

## ②ゴムマットの劣化

太陽光により、ゴムマットが劣化して波打つことがある。コネクショondeッキでは、劣化による波打ちを回避できる。

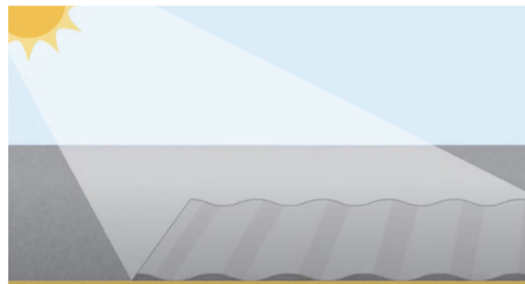


図 2.2-4 ゴムマットの劣化イメージ

## ③滑り止め

滑らず、滑らなすぎない塗料を塗布。本設としても使えるレベルであり、防滑性の指標である CSR 値を管理している。

## ④固定

仮設材は撤去、復旧が繰り返し行われるが、ビスで留める製品の場合には端部に穴が多く開き、ビスで止められるところがなくなることがある。コネクショondeッキの場合には、ビスを使わないため、ビス跡の懸念がない。

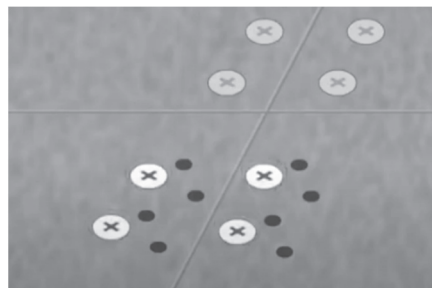


図 2.2-5 ビス跡が残ってしまうイメージ

## ⑤たわみとバタつき

木製の製品では、たわみや端部のバタつきが起こるが、コネクショondeッキはたわみがほぼなく、バタつきが起こらない。

(CLT では、たわみや端部のバタつきは固定方法次第で起こると考えられるため、コネクショondeッキと同程度の製品仕様や固定方法の検討が必要と考えられる。)

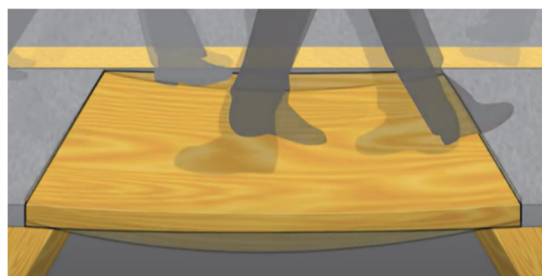


図 2.2-6 合板の場合のたわみイメージ

-コネクションデッキの優位点-

①高さ調整機能

鉄道事業者にとっては、不陸調整や高さ調整をどのように行うかは必要な論点。コネクションデッキは、マイナスイドライバーで上下の調整が可能。



写真 2.2-4 マイナスイドライバーによる上部からの高さ調整

②固定機能

デッキの固定をデッキ上から行えることは、作業性の観点から非常に重要。コネクションデッキは、デッキ上から固定金具を活用すれば簡単に行える。



写真 2.2-5 デッキ上からの固定金具による固定

③連結機能

コネクションデッキと合わせて連結材も準備されており、連続したフラットな状態を実現することが可能。(製品ラインナップとして、できる限りの対応を行っていると考えられる。)

④施工面

コネクションデッキは、施工時においても作業量の削減や、廃材の大幅削減(レンタル利用)等の優位点がある。

⑤滑り止め・絶縁機能

コネクションデッキは、美観に優れた滑り止め・絶縁機能を有している。



## (5)事業者へのヒアリングによる CLT プラットフォームの検証

コネクションデッキに対する評価の他、CLT をプラットフォームに利用することへの留意点や不安点、CLT の用途可能性などについて、鉄道事業者へヒアリングを行った。下記に鉄道事業者へのヒアリング結果を記す。

### 【調査概要】

調査手法 :ヒアリング

調査対象事業者 :北海道旅客鉄道株式会社(以下「JR 北海道」という)

#### 1)コネクションデッキに対する評価

- ・コネクションデッキは高価であり、JR北海道としては、ほぼ使用していない。
- ・他社(南海電気鉄道株式会社 等)での利用実績を確認しており、高評価を得ていると理解している。

#### 2)CLTをプラットフォーム工事に使うことに対する留意点や不安点など

- ・プラットフォームは気を遣うところなので、ハードルは高そうに感じる。
- ・ホーム先端は滑り止め加工が必要。滑り止め加工や塗料が塗れるか、剥がれないかなどの暴露試験結果は知りたい。
- ・冬季は、除雪用のロータリーによって傷つかないか心配。
- ・線路の中心とホームの端部は、ホームと列車との接触を防止するため、1485-1495mmと決められている。CLTの場合、端部が剥がれてくるという不安がある。  
(春に凍結が緩むことで線路が動いてしまうこともあり、プラットフォームの制限は、かなり厳しい。)
- ・JR北海道におけるプラットフォームの仮設工事規模が縮小中。地方は木板張りホームがそれなりの数があるが、駅の廃止が進んでいる。

#### 3)駅構内の歩行用仮設通路での可能性

- ・駅構内の歩行用通路の仮設材には、適しているように考えられる。
- ・既存技術は、東日本旅客鉄道株式会社で採用している100角鋼管+24mmノンスリップ合板を載せる方法などがある。
- ・資材および施工コストでこれより下げられれば、可能性がある。
- ・同面積のCLT(t=90mm、MX60-3-3:スギ)の採用と既存技術を比較した場合、CLTの方が安価であり、CLTを使った方が安い可能性がある。
- ・副次的効果として、既存技術の厚さ124mmに対して、CLT90mmを採用すれば、床版として薄くなり、スロープサイズも落とせるのでさらにコストダウンの可能性はある。
- ・消防の指示により、難燃性証明が必要になるため、難燃シートを全体に張る等の仕様検討が必要になる。
- ・下側からの冷気を抑えるため、既存技術では断熱材の吹き付けが必要になるが、CLTは断熱性が高く、不要になる可能性がある。

### 【調査結果に対する考察】

上記で歩行用仮設通路における CLT プラットフォームの採用という、新しい可能性を見出すことができた。

また、ヒアリングにおいて下線を記した部分で、線路の中心とホームとの距離の規定について確認しているが、これはホームと列車との接触を懸念している。CLT 床版の場合、コンクリート床版や鋼板等に比べて、接触時の車両側へのダメージが少ないことが利点となることも想定される。(名古屋鉄道株式会社の名古屋駅で、接触時の衝撃防止の観点で、ホーム端部に木材を設置している事例がある。)

今後もこうした事業者ヒアリングを重ねることで、CLT プラットフォームの優位点、あるいは留意点や課題等を抽出し、CLT プラットフォームのビジネスモデル構築の基礎資料としていく必要がある。

## 2.2.2 CLT プラットフォームの仕様と性能

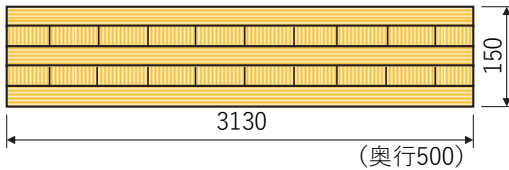
### (1) CLT プラットフォームの仕様

プラットフォーム CLT 床板における仕様は以下のとおりとする。

- ・材質 : 針葉樹(スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツなど)
- ・積層構造 : 3層以上とする。
- ・固定処置 : 歩行時のずれ防止, 列車通過時の風圧による浮上り防止の処置を施す。
- ・表面処理 : 耐候性, 耐水性の保護塗装を施す。

標準的なプラットフォーム CLT 床板の仕様を 表 2.2-2 および 図 2.2-6~8 に示す。

表 2.2-2 標準的なプラットフォーム CLT 床板の材料設計値

			
樹種構成			ヒノキ
強度・構成			Mx90-5-5
曲げ強度	Fb	(N/mm <sup>2</sup> )	13.23
せん断強度	Fs	(N/mm <sup>2</sup> )	1.20
せん断応力度分布係数	$\beta$	—	1.40
曲げ弾性係数	E	(N/mm <sup>2</sup> )	7080
せん断弾性係数	G	(N/mm <sup>2</sup> )	28.1
重量	W	(kN/m <sup>2</sup> )	0.75

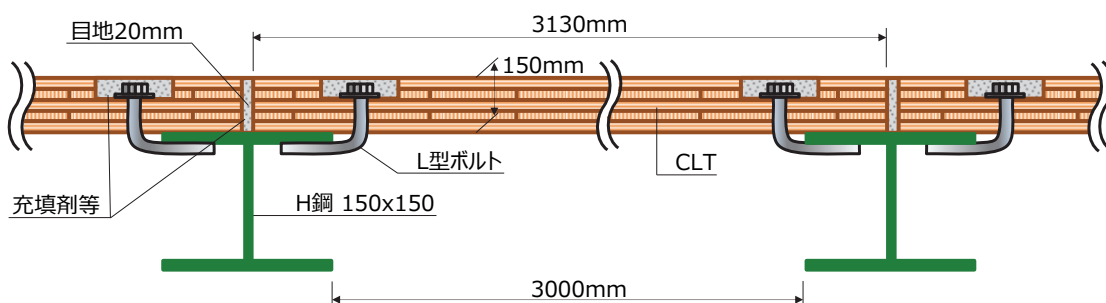


図 2.2-6 標準的なプラットフォーム CLT 床板の断面図

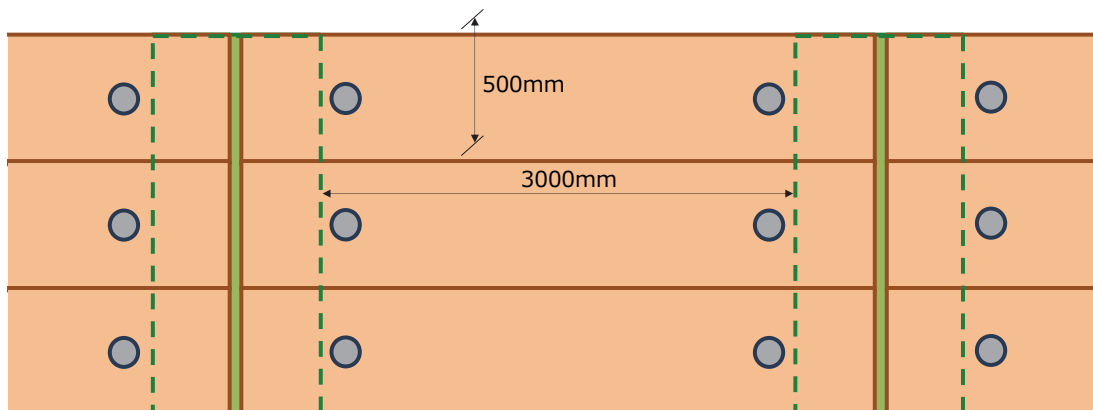


図 2.2-7 標準的なプラットフォーム CLT 床板の平面図

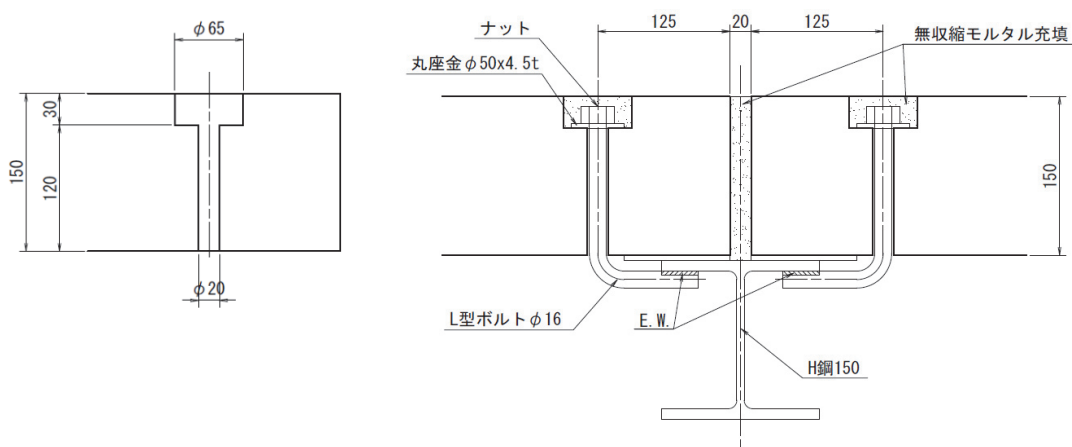


図 2.2-8 ボルト固定部詳細図

## (2)要求性能との適合性

一般的なプラットフォームにおける要求性能については、鉄道事業者によって技術基準の有無はそれぞれ異なる。たとえば JR 東日本は基準を持っており、JR 北海道は基準を持っていないなどである。

ただし、いずれも鉄道跨線橋設計指針(鉄道総合技術研究所, 1987)を準用しており、例えば鉛直たわみについては、跨線橋の要求性能である群集荷重  $5 \text{ kN/m}^2$  に対する支間長の  $1/500$  以下を満足するという数値を準用している。また、電車とホーム床版との接触を回避するため、線路の中心からプラットフォーム端部まで  $1485 \text{ mm}$  -  $1495 \text{ mm}$  を確保するように定められている。これにより、プラットフォーム端部の変形や破損が起りやすい素材は使いにくいという側面もあるが、一方で木質材料等の接触時に電車側へのダメージが少ない材料の利点も見出すことは可能である。

本報告書では、CLT プラットフォームにおける要求性能を以下として定める。

- ・耐荷重性能 : 自重および群衆荷重 ( $5.00 \text{ kN/m}^2$ ) に耐えられるものとする。
- ・変形性能 :  $L/500$  以下とする。仮設として使用する場合は、 $L/400$  以下とする。
- ・耐滑性 : 滑り抵抗係数  $C.S.R=0.4$  以上とする。
- (・耐久性 : 今後、検討が必要)
- (・耐火性 : 今後、検討が必要)

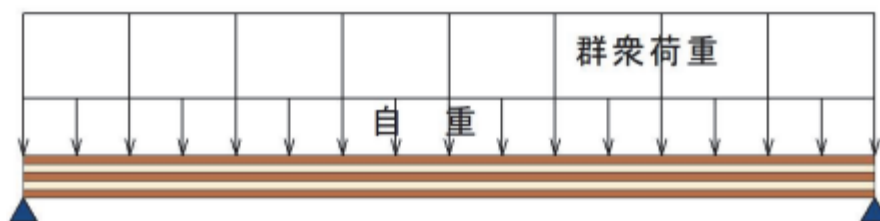


図 2.2-9 CLT 床板の検討モデル図

標準的なプラットフォーム CLT 床板の要求性能に対する適合結果を 表 2.2-3、4 に示す。

表 2.2-3 標準的なプラットフォーム CLT 床板の要求性能に対する検討結果

荷重		断面力		応力・たわみ			モデル
自重	群衆	Mmax	Smax	$\sigma_m$	$\sigma_s$	$\delta$	
kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN・m	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	
0.75	5.00	6.47	8.63	1.73	0.06	5.19	単純梁

表 2.2-4 標準的なプラットフォーム CLT 床板の要求性能に対する適合結果

検討項目	検討結果	許容値	判定
曲げ応力 (N/mm <sup>2</sup> )	1.73	4.85	OK
せん断応力(N/mm <sup>2</sup> )	0.06	0.44	OK
たわみ (mm)	5.19	6.00 (L/500)	OK

線路中心部から端部までの距離基準については、プラットフォームも同様に対象となる。

### (3)プラットフォームのメンテナンス方法

プラットフォームの点検は、鉄道事業者が目視で行っている。頻度は各社異なるが、定期検査は二年に一度行われている。点検項目は、剥がれ、欠損など、お客様の安全性を確保することが最優先であり、異常発見時は早急に補修や交換を行う。

#### (a)既存技術

本設のプラットフォームに使われている資材としてはコンクリート製となっており、最近では、事前に形がつけられて現場施工されるプレキャスト板(以下:PC 板)が RC とともに普及している。コンクリート製プラットフォームは基本的にはメンテナンスフリー(なし)と認識されている。



写真 2.2-6 プレキャスト板(ケイコン(株)サイト) 穴あきプレキャスト板(ベルテクス(株)サイトより引用)

仮設工事については、ゴムマット+合板の場合にはゴムの剥がれや破損が発生したり、ノンスリップ合板でも塗料が剥がれるなど、本設工事よりも注意が必要と考えられる。

例えば JR 北海道では、毎年春に全駅のプラットフォーム点検を行なっているとのこと。その点検項目は、以下であり、随時補修を行っている。

- ・線路中央からの距離(1,485 mm から 10 mm 以内)
- ・プラットフォーム高さ 920 mm
- ・プラットフォームを目視で点検(剥がれ、滑りなどの確認)

特に、木の板張りの駅の場合(写真 2.2-7)には、毎年何枚かの駅で交換を行なっている。また、冬季に土が凍結することで線路が移動する場合には、線路の補修も必要となる。



写真 2.2-7 板張りの駅事例 (北海道板張りホーム駅全集ウェブサイトより引用)

#### (b)CLT プラットフォームにした場合の想定

CLT をプラットフォームに採用する場合も、点検する項目は同様である。

コンクリート製より表面の剥がれや欠損は起こりやすいと考えられる。たとえば、ホーム中央からの距離基準については、端部が欠けている場合には補修が必要となる。また、木部が欠けていたり、死に節があつて詰め物や塗料で埋めていたけど外れてしまったりした場合に補修が必要となる。

また、板張りのホームと比較した場合、「CLT の方が壊れにくく、メンテナンス機会も減るのではないか」と鉄道事業者からのコメントもあり、コンクリート製品への置き換えと比べ、板張りホームへの CLT の置き換えは導入ハードルが低いと考えられる。

以下に、メンテナンス方法についてまとめた。

・保護処理:

適切な防水処理や木材保護剤を使用し、床板を保護する。

・排水処理:

CLT 床板の表面に水が貯まらないように、勾配を設けるなど排水できる構造とする。

・損傷の修理:

床板に損傷がある場合、歩行者のつまずきや転倒の原因になるため、穴や割れ等については適宜修復する。

・床板の入れ替え:

CLT 床板の劣化損傷が激しい場合は、新しい床板部材の入れ替えを検討する。

CLT 床板の入れ替えは、ボルト連結孔部のモルタルを小型のハンマーや鑿(チゼル)を使用して取り除き、L型ボルトを取り外す対応や、既存の CLT 床板を適宜切断することで対応する。

なお、CLT の耐用年数の目安を 表 2.2-5 に示す。耐用年数を目安に保護塗装のやり替え等を検討する。

表 2.2-5 CLT の耐用年数の目安

処理方法	処理なし	防腐・防蟻処理加工	被覆処理
耐用年数	5 年	10 年以上	15 年以上

CLT プラットフォームのメンテナンス方法については、「設計者のための CLT 屋外使用ガイドライン 2020 年 2 月」(一般社団法人日本 CLT 協会)を参照し、CLT 床板を長寿命かつ安全に使用するための適切なメンテナンスを行う。

## 2.2.3 課題に対する解決策のプロダクト化

### (1) 既存技術における課題整理

#### (a) 仮設工事

プラットフォームのスラブについて、仮設工事の既存技術としては 2.2.1 でも述べたように、1) 合板+ゴムマット、2) ノンスリップ合板、3) コネクションデッキに分類できる。それぞれの課題について、表 2.2-6 に整理した。

合板系はたわみ、剥がれや欠損などが課題であり、コネクションデッキはそれらを解決してきた。ただ、全てを通じてスパンが飛ばせないこと、またノンスリップ合板やコネクションデッキは値段が高いことが重要な課題となっている。

表 2.2-6 仮設工事資材における課題整理

資材	課題
1) 合板+ゴムマット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・滑り止め加工したシールや塗料が剥がれる。</li> <li>・日光や風雨による劣化がおこりやすい。</li> <li>・スパンが飛ばせない(根太が必要)</li> <li>・景観はよくない。</li> </ul>
2) ノンスリップ合板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・剥がれに強いが、剥がれることもある。</li> <li>・単体では強度は弱い。</li> <li>・スパンが飛ばせない(根太が必要)</li> <li>・値段が高い。</li> </ul>
3) コネクションデッキ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スパンが飛ばせない(根太的構造が必要)</li> <li>・値段が極めて高い。</li> </ul>

値段については、鉄道事業者(JR 北海道)にヒアリングを行い、イニシャルコストその他の特徴等を調査した結果、各仕様(構法)について、以下のデータを得た。

- ・合板+ゴムマット : 床面積あたり単価 1.4-1.5 万円/m<sup>2</sup>(材料費、工費込み、足場別途)
- ・ノンスリップ合板 : 厚さ24 mmと薄く、根太や角鋼管の上に敷設するなど必要であり、経済性、施工性も課題がある。断熱性が低く、場合によっては下側に断熱材の吹き付けが必要となる。値段も比較的高価である。

(例えば、2024年春施工予定のJR北海道札幌駅コンコース仮設用通路で、CLTを使用すると想定して比較検証した結果、CLTの方が材料・施工ともに安価になる可能性があることがわかった。)

- ・コネクションデッキ : 資材購入ではなくリース(3年間)で、材料費のみで10万円/m<sup>2</sup>を大きく超える金額イメージであり、CLTと比較して高くなると考えられる。

なお、CLT の面積単価は、厚さ 90 mm で 11 万円/m<sup>3</sup> の場合、塗料なしであれば 1 万円/m<sup>2</sup>程度と仮定している。

#### (b) 本設工事

本設工事においてはコンクリート製が主流であり、RC 工法や PC(プレキャスト)工法などで建設される。これらは、強度が非常に強く、長期の耐久性を持ち、メンテナンスがほぼ不要となる。

一方で、本設工事におけるコンクリート利用についての課題としては、軽量化があげられる。例えば、以前の電車から最新の電車のドア位置が上がったこと、あるいは支持地盤の沈下への対応で、ホームのかさ上げ工事が必要になる場合がある。ホームのかさ上げ工事では、ホーム床版を支持する基礎構造への負担を軽減するための軽量化が必要になる。また、立地により、施工時にクレーンが使用できない場合においても、コンクリートのような重量物が使えず、軽量化が必要となる。



このような状況において、現在の本設工事の主流は、穴あきPC板である。穴あきPC板は、縦方向に数個の中空孔を有し、PC鋼線によってプレストレスを与えたコンクリートパネルである。穴あきにより軽量化もはかられており、さらにプレストレスの効果で、パネル厚さが薄くても長大スパンに耐えられる特長を有しており、コストも安い(概ね1.2万円/m<sup>2</sup>程度)。(整品名として、スパンクリートが有名である。)



写真 2.2-8 穴あきPC板の施工事例(坂口建設ウェブサイトより抜粋)

## (2) CLT 製品の STP(セグメンテーション、ターゲティング、ポジショニング)

### (a)セグメンテーション

セグメンテーションは、市場を細分化することである。これまで述べてきたように、プラットフォーム工事には仮設工事と本設工事に分類され、それぞれに既存技術はあるものの、景観に配慮が必要な局面、乗降者数が少なくハイスpekである必要のない駅などもある。また、本設工事においては、軽量化された資材が必要な桁式構造のプラットフォーム市場もあると考えられる。こうした点から、セグメンテーションとしては乗降者数と構造(桁式と盛土式)の観点からマトリックスを設定した(図 2.2-10)。

### 仮設工事

		乗降者数	
		多い	少ない
構造	桁式		
	盛土式		

### 本設工事

		乗降者数	
		多い	少ない
構造	桁式		
	盛土式		

図 2.2-10 プラットフォーム工事のセグメンテーション



## (b) ターゲティング

ターゲティングは、セグメントした市場の中でどの市場を狙うか決めることである。

仮設工事では、特に乗降者数少×盛土式構造の市場が主要ターゲットになると考える。CLT の特徴としては、強度が強く、たわみが僅少であるため床板利用に能力を発揮することはできるものの、盛土式では敷板同様にたわみなどは考慮する必要がなく、採用しやすいと考えられるためである。また、実績が少ないため、乗降者数の少ない駅がターゲットと考える。ただし、桁式構造でもターゲットになり得ると考える。

本設工事では、仮設工事同様に乗降者数が少ない駅において、盛土式構造が主要ターゲットとなると考えらる。また、軽量化が必要、施行時間の短縮、クレーンが使えないシーンなどが具体的な適合市場と考えられ、桁式構造でも利用することができる(図 2.2-11)。

### 仮設工事

		乗降者数	
		多い	少ない
構造	桁式		
	盛土式		

### 本設工事

		乗降者数	
		多い	少ない
構造	桁式		
	盛土式		

図 2.2-11 プラットフォーム工事のターゲティング

## (c) ポジショニング

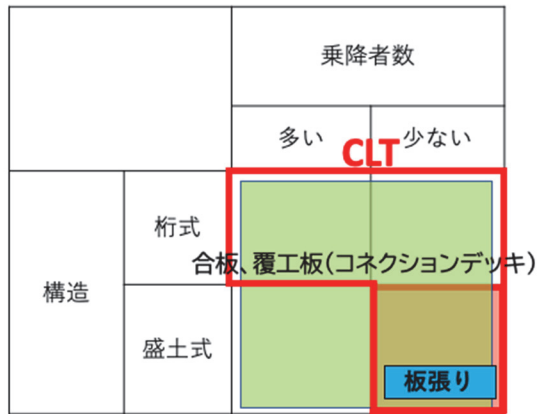
ポジショニングは、②ターゲティングした市場の中で、製品の立ち位置を決めることである。

仮設工事の全てのセグメントにおいて、これまで合板が最も使われてきた。最近では、コネクションデッキが合板に代わって急激に広がっている。コネクションデッキと合板の併用という場合もあり、主はコネクションデッキ、切り欠きが必要な柱のそばなどに合板を使うようなシーンである。また、桁式だけでなく盛土式ホームにおいても、H 鋼を敷いてその上にコネクションデッキが設置されているとのこと。乗降者数が少ない駅では、稀に板張りの駅もある。

こうした状況の中、CLT プラットフォームの競合は、盛土式ホームでの合板およびコネクションデッキと考える。乗降者数が少ない中、経済的に見合わなかったり、コネクションデッキの調達に間に合わないこともある。また、コネクションデッキは 2,500 mm スパンしか飛ばせないが、CLT は 5,000 mm まで飛ばせる場合があり、桁式構造ではこうした観点でも競合に対抗できると考える。

本設工事では、全ての市場で鉄筋コンクリートが主流となっている。桁式構造の場合には、穴あきスパンクリート(PC)も利用されている。盛土式構造でもコンクリート床板は使われており、ここが競合となる。CLT が利用されるシーンとしては、軽量化が必要な工事、経済性が求められる工事になると考えられる(図 2.2-12)。

## 仮設工事



## 本設工事

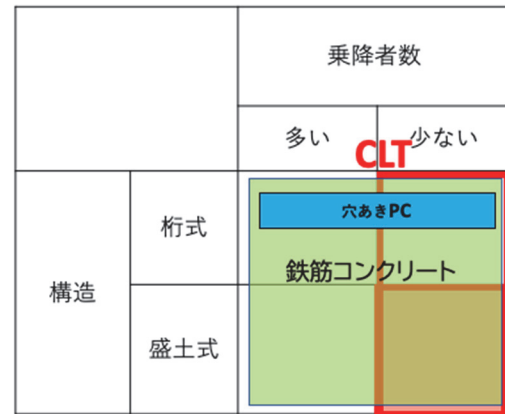


図 2.2-12 プラットフォーム工事のポジショニング

### (3) CLT プラットフォームの市場適合評価と指標

「CLT を用いた土木利用技術の環境・経済評価とその分析 事業報告書(2022)」では、マーケティングフォーマット「PMF」を利用し、CLTmat の市場適合の方策を検討した。改めて PMF とは、Product (製品) と Market (市場) が適合している状態を表したものであり、市場を満足することができる商品が、正しい市場にいることを意味する。

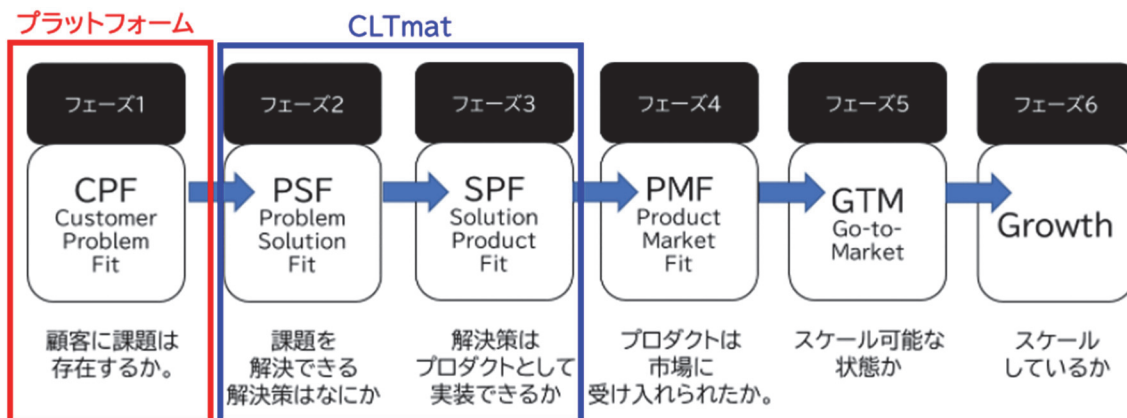


図 2.2-13 フィットジャーニーの6つのフェーズ(「PMFの教科書」より)

PMF は、図 2.2-13 のように市場適合の4つ目のフェーズであり、CLTmat はこのフェーズにおいては2から3へ移行しつつあると「CLT を用いた土木利用技術の環境・経済評価とその分析 事業報告書(2022)」では考察されている。

PMF に至るには、この6つのフェーズにおいて、「目標」「指標」「主な活動」に分類した上で、それぞれの具体的な施策が示されている。このうち、PMF の目標にバリュープロポジション(自社が提供でき、競合他社が提供できず、顧客が求める独自の価値)の明確化が挙げられており、CLT プラットフォームもこれを追求していく必要がある。

表 2.2-7 フィットジャーニーの 6 つのフェーズ詳細(「PMF の教科書」より)

	目標	指標	主な活動	
CPF Customer Problem Fit	・バーニングニーズの発見と検証 ・創業チームの組成	・課題が存在していること ・課題が解決するに値する切実な事柄	・顧客インタビュー ・受託やPoCでの課題探索 ・創業チーム内での壁打ち ・仮説の言説化/精緻化	プラットフォーム
PSF Problem Solution Fit	・課題に対する解決策の立案と検証 ・お金を払ってくれるかの検証	・熱狂的な数名の顧客が存在すること。	・MVPの作成 ・営業資料、デモの作成 ・顧客インタビュー ・営業	CLTmat
SPF Solution Product Fit	・課題に対する解決策をプロダクト化できるか。	・契約の基本合意書の締結	・プロトタイプ作成 ・共創パートナー顧客の発見	
PMF Product Market Fit	・プロダクトが市場に受け入れられるかの検証 ・バリュープロポジションの明確化	・NPS ・シヨーン・エリステスト ・リテンション ・エンゲージメント	・プロダクト開発 ・ローンチ ・カスタマーサクセス	
GTM Go-to-Market	・ビジネスモデルの検証 ・スケラビリティの検証	・売上、受注数、ユーザー数等の成長率 ・ユニットエコノミクス	・チャネルの発見/最適化 ・採用/育成方法の発見	
Growth	・計画通りの事業の成長	・売上規模や顧客数 ・営業利益やEBITDA	・チャネルの拡張 ・セグメントの拡張 ・採用/育成	

CLT プラットフォームは、現段階では第1フェーズである CPF(Customer Problem Fit)の状態と考えられる。本調査においても、鉄道事業者へのインタビュー(特にプラットフォームにおいての課題が存在していることの確認)とともに、チーム内での壁打ちを何度も行なっている。また、PoC(Proof of Concept:概念実証)としては京都府での暴露試験を行っており、仮説の検証が直近の主な活動といえる。

第2フェーズ(PSF)へ移るためには、上記の市場ポジショニングを踏まえた上で、既存技術や市場競合の課題の明確化(例:コネクションデッキの価格が非常に高い、仮設と本設が異なる資材が必要等)とともに、熱狂的な数社の顧客の存在、そして実際のデモ製品の作成を行なっていく必要があると考えられる。

#### (4)PMF へ向けて 4C 分析による考察

PMF に向けては、CLTmatと同様に、商品として成立した状態を作る必要がある。CLT プラットフォームについても、一般的に活用されているマーケティングの 4C(Customer Value, Cost, Convenience, Communication)のフォーマットをもとに 表 2.2-8 のように考察する。

表 2.2-8 マーケティング 4C 分析

項目	分析
顧客価値(Customer Value)	景観、LCA は価値高い。安全性(防滑性、難燃性が必要な場合もあり塗料の開発必要)は今後の技術的課題。
価格(Cost)	競合と考えられる合板系とは組み合わせによって安価となる。コネクションデッキよりも安価。
利便性(Convenience)	合板+ゴムマット、合板+角鋼管と比べて、施工性はよいと考えられる。CLT 工場が全国的に少なく、また土木利用が普及していないことから、リードタイムが不安定かつ製品サイズの調整などに時間必要で現段階では利便性低い。関東に CLT 工場がないということも課題。
コミュニケーション(Communication)	営業マン、ブランディング、製品ストーリー、販売チャネル、広告・パブリシティなどは今後の大きなテーマ。

顧客価値、価格についてはここまで議論してきたが、利便性とコミュニケーションについては、4C 分析によって得られた観点である。利便性は、長期的な課題である供給体制の安定性欠如について指摘した。また、コミュニケーションにおいては、セールス面での課題が列挙された。CLTmat とは異なり、プラットフォームの場合、顧客は個人や小規模な事業者ではなく、鉄道事業者やゼネコンが対象となることから、セールス方法も CLTmat とは異なると考えられ、コンクリート製品やノンスリップ合板のようなセールス展開が必要となる。

#### (5) NETIS 検討項目における評価

国土交通省の新技術登録のデータベースである NETIS の検討項目（経済性、工程、品質、安全性、施工性、周辺環境への影響）を踏まえて考察する。NETIS は、公共工事での利用が中心であり、プラットフォームは民間事業である鉄道事業者が対象となることから、直接的には関連が薄いだが、評価項目は技術的な網羅がされており、また既存技術との比較が必須であることから、プラットフォームの評価にも適していると考えられる。

NETIS は、既存技術の設定が1つ必要である。本調査では、合板とコネクションデッキを既存技術として比較し、優位性や課題などの検討を行った（表 2.2-9）。項目欄は、実際に NETIS で使われている比較項目 6 種であり、向上、同等、低下の3段階で評価した。なお、「—」は、比較が困難と判断したものである。

表 2.2-9 NETIS の 6 項目についての既存技術との比較

項目	合板との比較	コネクションデッキとの比較
経済性	<b>向上</b> 一般的な合板は、CLT よりも安価と考えられる。ただし、ノンスリップ合板等は CLT に比較して高く、経済性で向上する場合もある。	<b>向上</b> 既存技術の費用が 10 万円/m <sup>2</sup> に対して、CLT は安価であり向上する。
工程	<b>向上</b> いずれもスパンが飛ばせず根太構造が必要であるため、根太不要の CLT は施工性が向上する。	
品質	<b>向上</b> たわみにくさは既存技術に比べて向上すると考えられる。	<b>低下</b> たわみにくさは既存技術に比べて低下すると考えられる。ただし、要求性能（基準値）への適合は可能。
安全性	<b>同等</b> 防滑性、難燃性では、技術開発が進んでいる合板も存在する。CLT も同様に進んでおり、同等と考えられる。	— コネクションデッキは特殊塗料による防滑性に優れている。CLT でも既存技術に劣らない塗料の開発は必須。要求性能（基準値）について、CSR 値（防滑性）や難燃性の設定が必要。
施工性	— 合板の施工性とはそれほど変わらないと考えられるが、CLT の方が重いとされるため、その点で施工性は低い。	— コネクションデッキは施工性に工夫がされており、プラットフォーム上部から作業可能であるなど、優れている。CLT は、コネクションデッキを参考としながら、施工性を上げる工夫が必要。
周辺環境への影響	<b>同等</b> 木材を利用する観点から、同等。温室効果ガスのライフサイクルは計測して比較する必要がある。	<b>向上</b> 温室効果ガスの抑制、森林環境の整備などの観点から向上。

以上、NETIS について比較を行った。ただし、実際の NETIS 申請においてはすべてエビデンスが必要となるため、内容には精査が必要となる。

## 2.2.4 ビジネスモデルの 5W1H による考察

2.2.3 で整理したマーケティング分析をもとに 5W1H の観点から考察する(表 2.2-10)。

表 2.2-10 ビジネスモデルの 5W1H

5W1H	論点	評価
WHO	顧客対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄道事業者 乗降客数の中一程度の駅、また桁式ホームが対象。軽量化、景観、経済性の面で、有利になる場合がある。</li> <li>・鉄道系ゼネコン、大手ゼネコン CO<sub>2</sub>削減、経済性などの観点から、材料提案の1つとして、CLT プラットフォームを認知しておいてもらうことは重要。</li> </ul>
WHAT	製品とそれに付随する価値	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機能的/経済的価値 軽量化、高さ、断熱性などの機能、および経済性の観点から価値を持つシーンがある。</li> <li>・環境的価値 LCA、森林整備、使用後のサーマルリサイクルなど、環境的な価値を有する。 ※景観的には塗料や防滑シートなどにより、“現し”利用がしづらいため、景観的価値は提供できないと考える。</li> </ul>
HOW	製品提供にいたるプロセス	<p style="text-align: center;">顧客による認知・検討 ↓ 見積(メーカーor 販売店)と発注 ↓ 製造 ↓ 納品</p>
WHEN	販売の期間/タイミング/ 製品提供へのタイムスケジュール	販売期間やタイミングは、常時可能である。 製品供給は、工場稼働状況によるが、これまでの経験上では概ね1.5-3ヶ月程度である。
WHY	顧客が製品を買う理由	市場に存在する認知された選択肢の中で、経済的、機能的に主眼を置いた論点から、保守的から挑戦的な選択の幅の中で購入する。 リピートや他社への紹介が重要。
WHERE	販売するチャネル	一般的な商材として、商社による販売が有力である。また、鉄道事業者にとっての認知が進めば、製品の指名購入(メーカーor 商社への発注)も想定される。

5W1H の項目ごとに論点をあげ、評価を示した。

WHO-顧客対象は、発注者である鉄道事業者、元請け施工業者となるゼネコンが主な対象となる。鉄道事業者が工事の資材を選択する際、決められた基準はない。同業他社からヒアリングしたり、営業活動によって認知したりするなど、幅広く資材の可能性を探っているのが実情である。よって、CLT についても営業活動や広報活動の中で認知が進み、施工実績をつくり、結果分析を行い再度利用されるようなサイクルを何度もつくることが重要と考える。

WHAT-製品とそれに付随する価値は、機能的/経済的価値と環境的価値の2つに整理した。機能的価値では、

CLT が既存技術と勝る機能と経済性を発揮できるシーンがある。実際に、JR 札幌駅での歩行用仮設通路工事(R6年月着工)では、機能と経済性で既存技術のノンスリップ合板と角パイプの組み合わせより CLT の方が優れていると発注者が判断し、採用された。一方、環境的価値で採用されるシーンは、顧客においては優先順位が最上位ではないことが多かったが、脱炭素の文脈において急速に注目度が高まっている。今後、既存技術との比較において、脱炭素化の数値化が明確になされ、認証制度などが進んだ場合には、環境的価値で選択されることが考えられる。

HOW-製品提供にいたるプロセスは、製品が届くプロセスについて示した。これは非常にシンプルであるが、CLT のマザーボード工場が全国に 9 か所しかなく、特に大規模工場は西日本に偏っていることから、関東や北日本での実施には運送費用が嵩む。ただし、マザーボード単価に対する運送費用は、1 万円/m<sup>3</sup> 程度であり、極めて大きい負担というわけではない。

WHEN-販売の期間/タイミング/製品提供へのタイムスケジュールは、注文のタイミングやリードタイムについて示した。大阪万博の影響のため、R5年度の段階ではリードタイムは3-4 ヶ月ほどと長くなっているが、2024 年夏以降は以前の 1.5-2 ヶ月程度に落ち着くとの見方もでている。いずれにしても、1.5-3 ヶ月のリードタイムは考慮しておく必要がある。

WHY-顧客が製品を買う理由は、経済的要因が最も大きい理由であり、市場におけるポジションについて示した。WHAT で議論したように、顧客にとってどのような価値があるのか、なぜ選択するのかについては、市場にある認知された選択肢の中で、経済的、機能的に主眼を置いた論点から、保守的から挑戦的な選択の幅の中で購入すると考えられる。顧客にとって、CLT は挑戦的な選択であり、その挑戦に価値があったことを実感してもらえるような製品提供がリピート、他社への紹介などへとつながる。

WHERE-販売するチャンネルは、今後の販売に関する流通について示した。他の従来製品が商社(メーカー兼任含む)による販売(リース)展開がされており、販売力を持つ商社による営業活動の本格化が必要となる。また、上記にあるように、他社による紹介も重要な間接的チャンネルであり、市場に浸透するにはこうした複層的な普及が必要となる。

以上、5W1H 分析を行った。今後、本調査をもとに、1つ1つの論点の精度を上げながら、事例を積み、販売/流通の PDCA サイクルを回し、よりよい製品づくりと販売展開へとつながっていくことが期待される。



## 2.3 CLT 敷板の経済波及効果

### 2.3.1 産業連関分析

経済評価においては、製造コストや事業の収支を評価するだけでなく、地域経済に与える影響を定量化することが重要である。そこで CLT 敷板と敷鉄板の製造を対象として、産業連関分析を用いて北海道への経済波及効果を比較した。分析においては、平成27年北海道産業連関表(105部門)を用いた。産業連関表の概念を図2.3-1に示す。産業連関表とは、物の流れを通じる産業間の相互依存関係を把握するために、特定の期間における産業間の経済取引額を一覧表にしたものである。産業連関表を縦に読むと、各産業における原材料等の費用構成(投入構成)が、横に読むと各産業において生産された財・サービスの販路構成(産出構成)を読み取ることができる。産業連関表から投入係数表を算出し、逆行列係数表を求めることで、最終需要に対する各産業部門の国内生産額を算出することが可能となる。

最終需要によって生じる生産額の増加分である直接効果、直接効果による各産業の誘発額である間接効果、そして直接効果及び間接効果において発生した雇用者所得によって、新たに消費された誘発額である2次波及効果を算出し、それらを合計して総合効果とした(図2.3-2)。

		内生部門					外生部門				輸 入 C	生 産 額 A+B-C
		中間需要					最終需要					
需 要 部 門 (買 い 手)	供 給 部 門 (売 り 手)	1	2	3	...	計	消 費	固 定 資 本 形 成 費	在 庫 出 庫	輸 出	計	B
				農 業	鉱 業	製 造 業		A				
		林 業										
		漁 業										
		...										
		計				D						
		1	2	3	...							
		...										
		計				E						
		生産額				D+E						

注: 産業連関表では、各部門とも、「 $A+B-C=D+E$ 」となるように作表している。

図 2.3-1 産業連関表の概念(出典:総務省 HP)

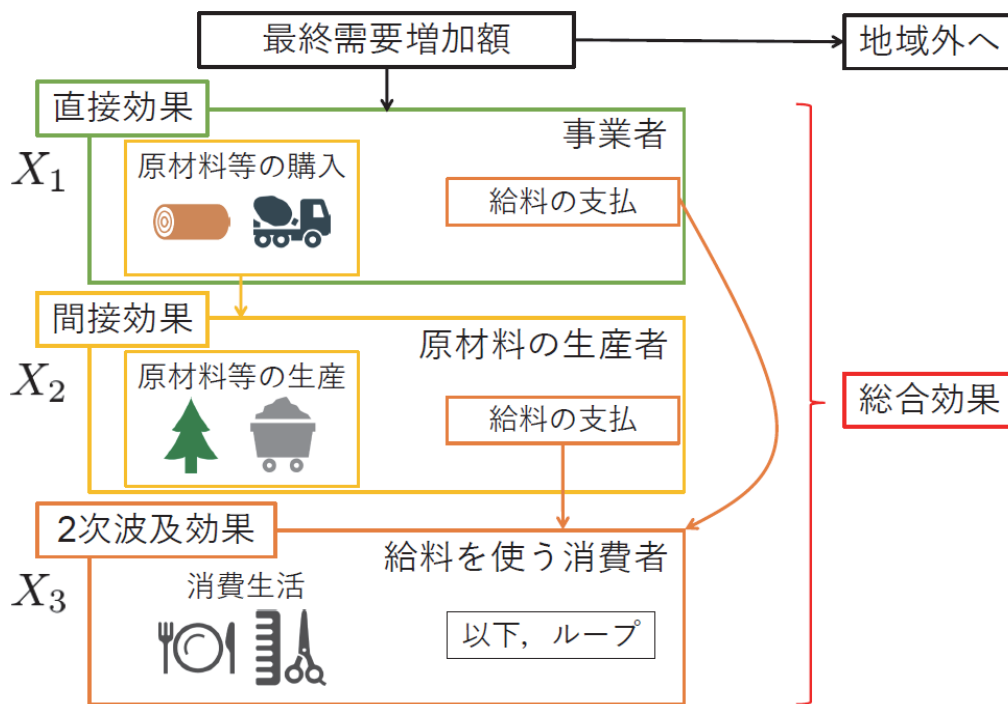


図 2.3-2 経済波及効果の内訳

CLT 敷板の原料調達や加工を全て北海道で行った場合(ケース①)、現状の道内林業および木材・木製品自給率で CLT 敷板を製造した場合(ケース②)、敷鉄板を製造した場合(ケース③)について、地域経済波及効果を分析した。各ケースにおける具体的な設定を 表 2.3-1 に示す。分析の詳細については、参考文献<sup>1)</sup>を参照されたい。

表 2.3-1 地域経済波及効果の分析におけるケース設定

ケース	原料生産地	加工場所	価格（加工場所からの運搬費等を含む購入価格）	大きさ（mm）	使用面積（㎡）	備考
①100%北海道産 CLT	北海道		180,000円/㎡	1,200×6,200×90 (3層3プライ CLT)	372	100%北海道産
②現状道内自給率でのCLT	北海道+岡山県		180,000円/㎡（北海道）、98,000円/㎡（岡山県）		372	現状の北海道の林業自給率94%、木材・木製品自給率49%で仮定
③敷鉄板	北海道+道外（現状）		180,000円/枚	1,500×6,000×22	378	

### 2.3.2 分析の結果

敷板製造に伴う地域経済波及効果を 表 2.3-2 に、波及効果倍率(=生産誘発額/最終需要増加額)を 図 2.3-3 に示す。CLT を北海道外で製造するとしたケース②の波及効果倍率は 1.02 となり、敷鉄板の 1.09 を下回るが、CLT の原料調達・加工を全て道内で行うと仮定したケース①の場合には、波及効果倍率が 1.91 となり、敷鉄板を大きく上回る結果となった。これより、CLT 利用が地域経済に与える影響を高めるためには、CLT の原材料を地域内で調達し、さらに地域内で CLT を製造することが重要であることが示唆された。

なお、今回の分析は原材料の生産から、材料輸送、製造段階までを対象としており、運用や廃棄、リサイクル利用等については対象としていないため、それらの段階を含めたライフサイクル全体での分析を行うことが求めら



れる。その際には、リースか買い取りかといった販売方法の違い、転用回数の違い、産業廃棄物として処理するか燃料利用を行うかといった廃棄方法の違いなどによる違いを検証することが必要となる。

表 2.3-2 敷板製造に伴う地域経済波及効果

ケース		①100%北海道産 CLT (千円)	②現状道内自給率 でのCLT (千円)	③敷鉄板 (千円)
最終需要増加額 (F)		6,748	6,456	6,720
直接効果	生産誘発額	6,486	3,394	3,384
	粗付加価値誘発額	2,544	1,400	1,268
	雇用者所得誘発額	1,213	654	440
間接効果	生産誘発額	4,805	2,333	3,467
	粗付加価値誘発額	2,781	1,349	1,005
	雇用者所得誘発額	1,244	604	233
2次波及効果	生産誘発額	1,625	832	445
	粗付加価値誘発額	1,055	541	289
	雇用者所得誘発額	412	211	113
総合効果	生産誘発額 (T)	12,916	6,559	7,296
	粗付加価値誘発額	6,381	3,290	2,562
	雇用者所得誘発額	2,869	1,470	785
波及効果倍率 (T/F)		1.91	1.02	1.09

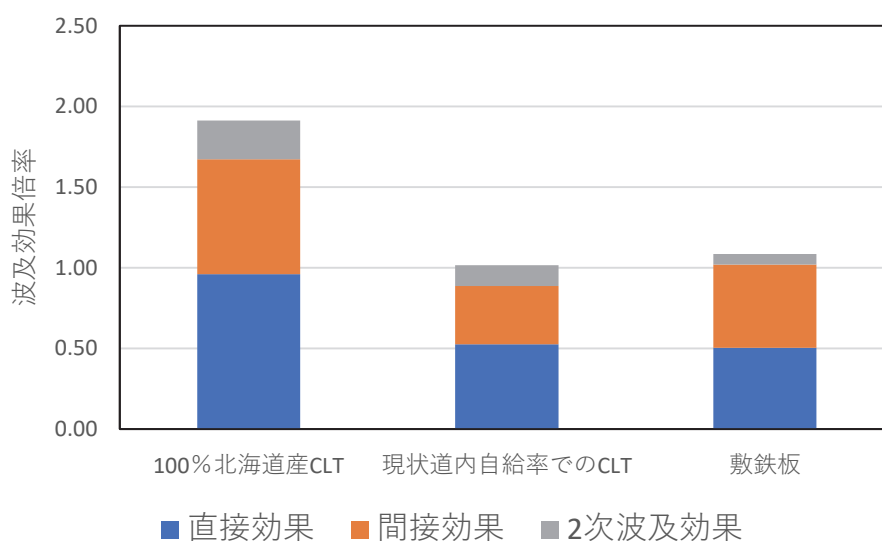


図 2.3-3 敷板製造による波及効果倍率

参考文献

- 1) 藤田智郁、井筒耕平、石川佳生、池田穰、加用千裕、村野昭人:北海道を対象とした Cross Laminated Timber の敷板利用による地域経済波及効果、土木学会木材工学研究発表会講演概要集 22、2023



## 第3章

# 土木分野における CLT の 利用技術・生産技術の環境評価

### 3.1 地盤補強

#### 3.1.1 算定方法

##### (1)調査範囲

##### (a)目的、算定対象及び算定範囲

CLT 土木開発・利用委員会の WG1 では、炭素貯蔵型の CLT 土木利用技術の検討を行っており、令和 3 年度には、CLT を軟弱地盤上の道路や宅地造成の盛土などの土構造物の基礎として利用する工法 (CLT 板状地盤補強工法、以下、「CLT 工法」という) の開発を目的とし、実証試験を実施している。また、今年度には、令和 3 年度に設置した CLT を撤去する実証試験を実施している。

本事業では、当該 CLT 工法を対象として、撤去による GHG 排出量を算定することを目的とした。算定範囲を図 3.1-1 に示す。

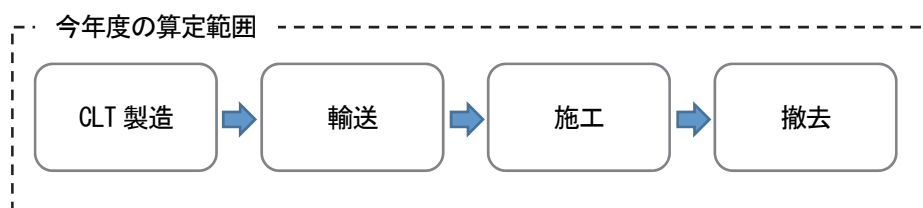


図 3.1-1 CLT 工法の算定範囲

##### (b)算定対象とした CLT 工法の詳細

算定対象とした CLT 工法 (実証試験) は、秋田県大潟村 (旧八郎潟) の軟弱地盤において、実際に CLT を敷設する施工を行い、施工性や盛土の沈下変形性、CLT の耐久性などを評価した。実証地において設けた 4 面の区画で、4CASE の実証が行われている。各 CASE において使用された CLT の概要を表 3.1-1 に、CLT の配置イメージを図 3.1-2~3 に、現地状況を写真 3.1-1~4 に、それぞれ示す。

いずれの CASE においても、原地盤を 0.50 m 掘り込み、原地盤から高さ 1 m の盛土が造成されている。CASE4 の無対策では、CLT を敷設せず直接砂を投入して盛土が造成されている。CASE3 は、基盤に直接 CLT を強軸方向が直行するように 2 段敷設し、その上に砂を投入して盛土が造成されている。CASE1 と CASE2 は、CLT の使用量を半分に減らすために、CASE3 で用いた CLT の幅を半分に、井桁状に 2 段敷設し、その上に砂を投入して盛土が造成されている。CASE1 は、CLT を単純に 2 段重ねているが、CASE2 は井桁の交点にピン (丸鋼) を打ち込んで、互いが滑らないよう固定されている。なお、CASE1 と CASE2 では、1 段目の CLT 敷設後に CLT 間に砂を投入し、締固めている。

表 3.1-1 使用された CLT 概要

条件	配置・固定有無	サイズ (m)	枚数
CASE 1	井桁状 (固定なし)	① 6.9 × 1.15 × 0.09	① 9 枚
		② 4.6 × 1.15 × 0.09	② 3 枚
CASE 2	井桁状 (固定あり)	① 6.9 × 1.15 × 0.09	① 9 枚
		② 4.6 × 1.15 × 0.09	② 3 枚
CASE 3	面状 (固定なし)	① 6.9 × 2.3 × 0.09	① 9 枚
		② 4.6 × 2.3 × 0.09	② 3 枚
CASE 4	無対策	—	—

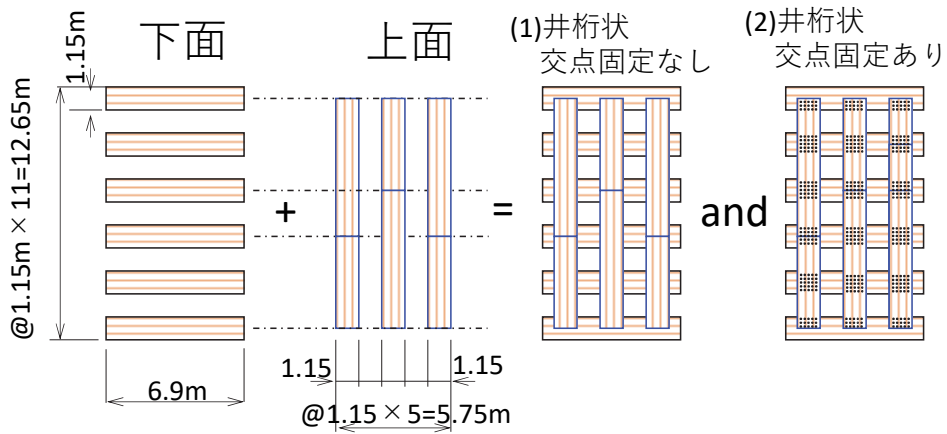


図 3.1-2 CLT の配置イメージ(CASE1、CASE2)

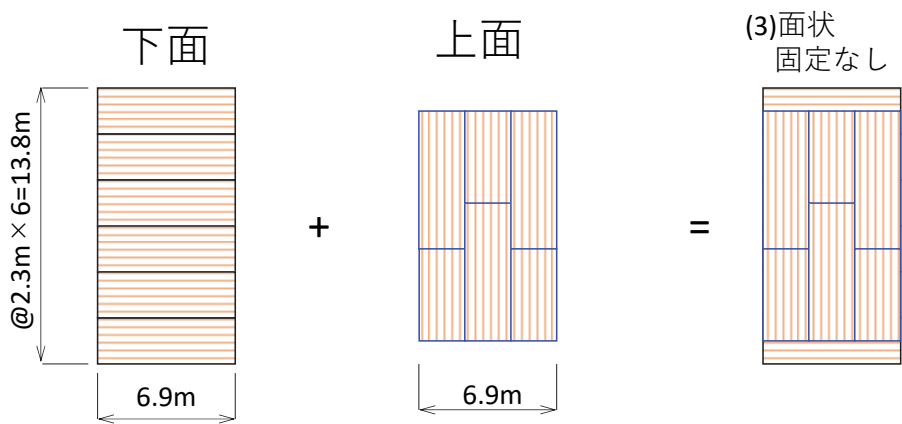


図 3.1-3 CLT の配置イメージ(CASE3)



写真 3.1-1 CASE1、CASE2



写真 3.1-2 CASE3



写真 3.1-3 CLT の吊り上げ、敷設



写真 3.1-4 丸鋼での固定(CASE2)

### (c)機能単位

本報告における土木用 CLT 工法は、軟弱地盤上の道路や宅地造成などの土構造物の基礎としての適用が想定されている。機能単位は、補強した軟弱地盤の載荷重 (kN/m<sup>2</sup>) 等を考慮した定量的な設定が望ましいが、耐荷重については実証試験中である。そのため、今年度の機能単位は、必要な載荷重は確保されているものと仮定して、改良工事面積 (m<sup>2</sup>) 当たりとした。各 CASE の工事規模を 表 3.1-2 に示す。

表 3.1-2 工事規模

条件	配置・固定有無	工事規模 (m <sup>2</sup> )	機能単位
CASE 1	井桁状(固定なし)	87.29	改良工事面積 (m <sup>2</sup> )
CASE 2	井桁状(固定あり)	87.29	
CASE 3	面状(固定なし)	95.22	
CASE 4	無対策	95.22	

### (d)比較対象

令和 3 年度では、CLT 工法のライフサイクル GHG 排出量を、一般の軟弱地盤補強工事におけるライフサイクル GHG 排出量と比較するために、軟弱地盤補強工事に一般的に用いられているセメント固化材を使用した中層混合処理 (以下、「セメント工法」という) を比較対象に設定した令和 3 年度は製造・輸送・施工段階までを対象とした評価を行い、CLT 工法とセメント工法を比較したが、セメント工法における撤去段階のデータが得られなかったため、今回は比較対象を設定しないこととした。

## (2)活動量及び原単位の設定

### (a)CLT 工法のフロー

算定対象である CLT 工法のフローを 図 3.1-4 に示す。

本実証試験では、CLT を岡山県真庭市で製造し、秋田県大潟村の実証試験現場までトレーラーで輸送したのち、クレーンを用いて敷設している。0.50 m の掘削や原地盤から高さ 1 m の盛土造成は、バックホウ等の重機を用いている。井桁状の CASE1 及び CASE2 における 1 段目の CLT 間に敷き詰める土は生コンホッパーに入れ、CLT 敷設用のクレーンで吊り上げて運搬しており、土の締固めにはタンパーを用いている。

また、CASE2 における CLT の固定は、ラグスクリューによる仮止めを行い、ドリルを用いて CLT を穿孔し、ハンマーを用いて丸鋼を打ち込んでいる。これらのうち、仮止め用ラグスクリューの製造及び輸送、仮止め用電動工具の電気使用量、丸鋼の輸送、穿孔用ドリルの電気使用量、締固め用タンパーの燃料使用量、仮設道路の整地や敷均しによる重機の燃料使用量については、全体への影響が軽微と判断しカットオフとした。カットオフ項目を 表 3.1-3 に示す。

撤去については、バックホウ及びホイールローダーを用いているが、CASE3 のみラフタークレーンを用いている。CASE2 における CLT 固定部の解体はチェーンソーを用いたが、その燃料使用量はカットオフとした。

算定に用いた活動量は、工事業者への聞き取り等によって収集した。

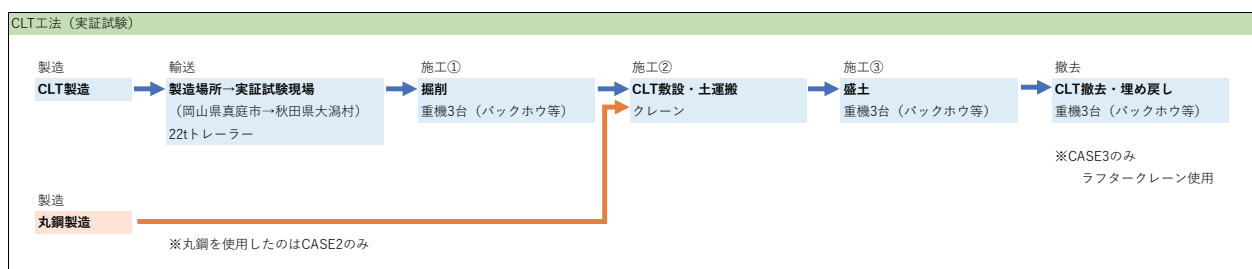


図 3.1-4 CLT 工法のフロー

表 3.1-3 カットオフ項目

分類	カットオフ項目
製造	仮止め用ラグスクリューの製造
輸送	丸鋼の輸送
	仮止め用ラグスクリューの輸送
施工	締固め機材の燃料使用量
	仮設道路の整地や敷均しによる重機の燃料使用量
	仮止め用電動工具の電気使用量
	穿孔ドリルの電気使用量
撤去	チェーンソーの燃料使用量

(b)活動量の設定

CLT 工法 (CASE1~4) 毎に活動量を設定した。設定した活動量を 表 3.1-4~表 3.1-7 に示す。

表 3.1-4 CLT 工法 (CASE1、井桁状固定なし) の活動量

段階	項目	活動量		単位	備考
		87.29 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> あたり		
製造	CLT	7.86	0.090	m <sup>3</sup>	6.9 m×1.15 m×0.09 m×9 枚 4.6 m×1.15 m×0.09 m×3 枚
	丸鋼	0	0	kg	使用なし。
輸送	CLT 輸送 (岡山県真庭市→秋田県大潟村)	3,308.8	37.9	tkm	CLT 比重 0.40 から重量を計算。 22 t トレーラー 1,053 km 輸送。 CLT 重量比で配分。
施工	重機の軽油 (掘削)	108.9	1.25	L	作業期間の重機 3 台の燃料使用量を区画の体積比で配分。
	重機の軽油 (CLT 敷設・土運搬) 注1)	43.8	0.50	L	クレーンの燃料使用量を CLT 及び土の運搬回数で配分 注1)。
	重機の軽油 (盛土)	78.3	0.90	L	作業期間の重機 3 台の燃料使用量を区画の体積比で配分。
撤去	重機の軽油 (CLT 撤去・埋め戻し)	264.0	3.02	L	重機 3 台の総燃料使用量から作業時間に基づき CASE4 使用分を除いた後、面積比により CASE1~3 で等分 注2)。

注 1) クレーンは同時並行で CLT と土を運搬していたため、燃料使用量 100 L を CLT 及び土の運搬回数で配分した。CASE1 は CLT を 12 枚 (回)、かつ、土を約 30 回、合計 42 回運搬していたと想定し、全体の運搬回数 96 回との比率により設定した。

注 2) ラフタークレーンは CASE3 のみ用いたが、作業都合によるものであるため、CASE1 及び CASE2 においても使用したものと仮定して設定した。また、燃料使用量が不明だったため、建設機械等損料表 (令和 5 年度版、一般社団法人日本建設機械施工協会) のラフタークレーンにおける 1 時間あたりの燃料消費量 15L/h に、作業時間 3.83 h を乗じて算出した。

表 3.1-5 CLT 工法(CASE2、井桁状固定あり)の活動量

段階	項目	活動量		単位	備考
		87.29 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> あたり		
製造	CLT	7.86	0.090	m <sup>3</sup>	6.9 m×1.15 m×0.09 m×9 枚 4.6 m×1.15 m×0.09 m×3 枚
	丸鋼	120.4	1.38	kg	直径 19 mm、長さ 150 mm、360 本。 材種 SR235、1 m あたり 2.23 kg。
輸送	CLT 輸送 (岡山県真庭市→秋田県大潟村)	3,308.8	37.9	tkm	CLT 比重 0.40 から重量を計算。 22 t トレーラー 1,053 km 輸送。 CLT 重量比で配分。
施工	重機の軽油(掘削)	108.9	1.25	L	作業期間の重機 3 台の燃料使用量を区 画の体積比で配分。
	重機の軽油(CLT 敷設・土運搬) 注1)	43.8	0.50	L	クレーンの燃料使用量を CLT 及び土の 運搬回数で配分 注1)。
	重機の軽油(盛土)	78.3	0.90	L	作業期間の重機 3 台の燃料使用量を区 画の体積比で配分。
撤去	重機の軽油(CLT 撤去・埋め戻し)	345.7	3.96	L	重機 3 台の総燃料使用量から作業時間 に基づき CASE4 使用分を除いた後、面 積比により CASE1~3 で等分 注2)。

注 1) クレーンは同時並行で CLT と土を運搬していたため、燃料使用量 100L を CLT 及び土の運搬回数で配分した。CASE2 は CLT を 12 枚(回)、かつ、土を約 30 回、合計 42 回運搬していたと想定し、全体の運搬回数 96 回との比率により設定した。

注 2) ラフタークレーンは CASE3 のみ用いたが、作業都合によるものであるため、CASE1 及び CASE2 においても使用したものと仮定して設定した。また、燃料使用量が不明だったため、建設機械等損料表(令和 5 年度版、一般社団法人日本建設機械施工協会)のラフタークレーンにおける 1 時間あたりの燃料消費量 15L/h に、作業時間 3.83 h を乗じて算出した。

表 3.1-6 CLT 工法(CASE3、面状固定なし)の活動量

段階	項目	活動量		単位	備考
		95.22 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> あたり		
製造	CLT	15.7	0.17	m <sup>3</sup>	6.9 m×2.3 m×0.09 m×9 枚 4.6 m×2.3 m×0.09 m×3 枚
	丸鋼	0	0	kg	使用なし。
輸送	CLT 輸送 (岡山県真庭市→秋田県大潟村)	6,617.6	69.5	tkm	CLT 比重 0.40 から重量を計算。 22 t トレーラー 1,053 km 輸送。 CLT 重量比で配分。
施工	重機の軽油(掘削)	118.8	1.25	L	作業期間の重機 3 台の燃料使用量を区 画の体積比で配分。
	重機の軽油(CLT 敷設・土運搬) 注1)	12.5	0.13	L	クレーンの燃料使用量を CLT の運搬回 数で配分。
	重機の軽油(盛土)	85.4	0.90	L	作業期間の重機 3 台の燃料使用量を区 画の体積比で配分。
撤去	重機の軽油(CLT 撤去・埋め戻し)	261.1	2.74	L	重機 3 台の総燃料使用量から作業時間 に基づき CASE4 使用分を除いた後、面 積比により CASE1~3 で等分 注2)。

注 1) クレーンは同時並行で CLT と土を運搬していたため、燃料使用量 100L を CLT 及び土の運搬回数で配分した。CASE3 は CLT を 12 枚(回)運搬していたと想定し、全体の運搬回数 96 回との比率により設定した。

注 2) ラフタークレーンは CASE3 のみ用いたが、作業都合によるものであるため、CASE1 及び CASE2 においても使用したものと仮定して設定した。また、燃料使用量が不明だったため、建設機械等損料表(令和 5 年度版、一般社団法人日本建設機械施工協会)のラフタークレーンにおける 1 時間あたりの燃料消費量 15L/h に、作業時間 3.83 h を乗じて算出した。



表 3.1-7 CLT 工法(CASE4、無対策)の活動量

段階	項目	活動量		単位	備考
		95.22 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> あたり		
製造	CLT	0	0	m <sup>3</sup>	使用なし。
	丸鋼	0	0	kg	使用なし。
輸送	CLT 輸送 (岡山県真庭市→秋田県大潟村)	0	0	tkm	使用なし。
施工	重機の軽油(掘削)	118.8	1.25	L	作業期間の重機 3 台の燃料使用量を区画の体積比で配分。
	重機の軽油(CLT 敷設・土運搬) <sup>注)</sup>	0	0	L	使用なし。
	重機の軽油(盛土)	85.4	0.90	L	作業期間の重機 3 台の燃料使用量を区画の体積比で配分。
撤去	重機の軽油(CLT 撤去・埋め戻し)	203.6	2.14	L	重機 3 台の総燃料使用量から作業時間に基づき配分。

(c)原単位の設定

活動量あたりの GHG 排出量の原単位は、インベントリデータベース IDEA (v3.1)から選定し、設定した。算定に用いた原単位を表 3.1-8 に示す。

表 3.1-8 算定に用いた原単位

段階	項目	IDEA 製品コード	根拠
製造	CLT	—	既存調査結果 <sup>1)</sup> のデータの一部をメーカー提供情報及び IDEAv3.1 に更新して使用
	丸鋼	222114000mJPN	IDEAv3.1 普通鋼小形棒鋼
輸送	CLT 輸送	441111253pJPN	IDEAv3.1 トラック輸送サービス 20t 車 積載率 50% <sup>注)</sup>
施工・撤去	軽油	171115801pJPN	IDEAv3.1 軽油の燃焼エネルギー

注) 積載率は実証試験の実績値から設定した。

### 3.1.2 算定状況の報告

改良工事面積 1 m<sup>2</sup>あたりの GHG 排出量の算定結果を表 3.1-9 及び図 3.1-5 に示す。

撤去に伴う GHG 排出量は、施工と同程度かそれよりも大きい結果となった。CASE4 は盛土の撤去のみだが、CASE1～3 は CLT の撤去があるために CASE4 より大きい値となった。

表 3.1-9 GHG 排出量算定結果

種別	GHG 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> )	(内訳)			
		製造	輸送	施工	撤去
CASE 1	41.7	19.5	4.6	7.9	9.7
CASE 2	43.2	20.9	4.6	7.9	9.7
CASE 3	60.7	35.7	8.5	6.8	9.7
CASE 4	12.8	0	0	6.4	6.4

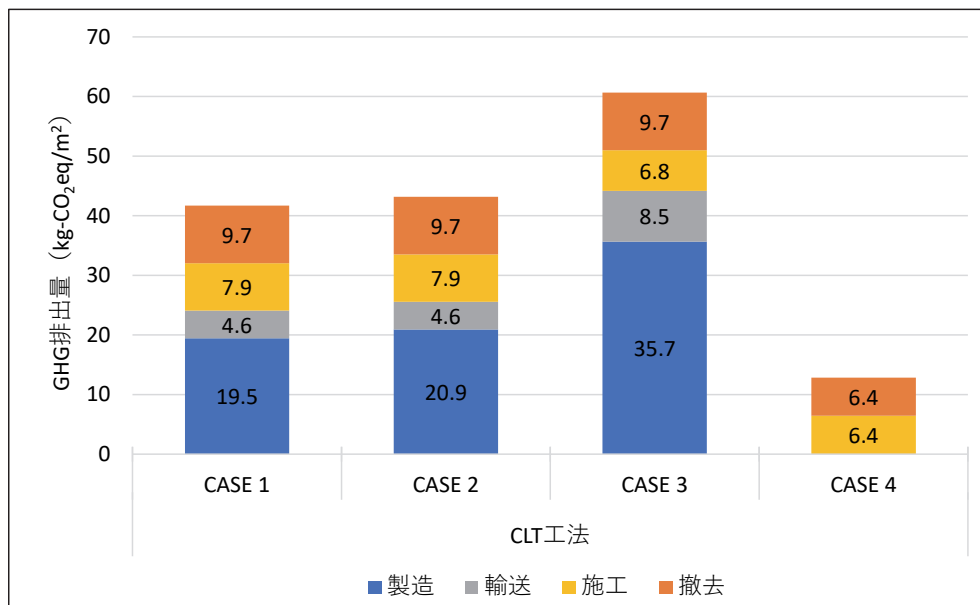


図 3.1-5 GHG 排出量算定結果

### 3.1.3 考察

今年度の実証試験に基づく算定結果では、本章で検討した CLT 工法の敷設・固定方法による比較では、撤去を考慮しても GHG 排出量は CLT 使用量による影響が大きく、面状に敷設した場合は井桁状の約 1.4~1.5 倍の GHG 排出量であった。そのため、ホットスポットである CLT 製造段階の GHG 排出量の低減の検討が求められる。

今回カットオフとなったが、CLT を固定した場合は解体時にチェーンソー等の重機が必要となるため、固定用ピン(丸鋼)の製造分による GHG 排出量が増加するだけでなく、撤去時の作業時間が増えることも含めて評価が必要である。

令和 3 年度事業では、炭素貯蔵型として長期にわたり撤去しないシナリオでの評価を行ったため、CLT 中に長期間貯蔵される炭素量に基づいた二酸化炭素吸収量および分解時の排出量を考慮した。炭素貯蔵型として想定しているのは、CLT を地下水位以深で採用することにより、長期間の耐用性を確保しようとするものである。具体的には、あくまで当時の仮定に基づく試算条件であるが、施工直後には CLT 中の全ての炭素量が貯蔵され、施工から 100~200 年後には CLT 中の半分の炭素量が分解により排出されるものとしていた。一方、今年度の算定では、撤去を前提としたため、貯蔵炭素量は二酸化炭素吸収量が二酸化炭素排出量と同量になると考え、どちらもゼロとして算定した。

撤去後の CLT の廃棄処理については劣化状況が予測できないため算定対象外としているが、産業廃棄物として処理されるケースや廃木材バイオマス燃料として使用されるケースが考えられる。後者の場合は熱利用による GHG 排出量の控除を算定に含める場合がある。

なお、今回はセメント工法との比較を行っていないが、セメント工法(中層混合処理法)の撤去では特殊な重機での破碎が必要になるため、CLT 工法と比べて燃料使用量が大きくなる可能性がある。また、撤去したセメントは産業廃棄物となるため、処分に伴う環境負荷やコストも増大する。まずはセメント工法を撤去した事例の確認が必要であるものの、セメント工法との比較が可能となれば、CLT 工法のメリットを明確にすることができると思われる。

## 3.2 CLT 敷板

### 3.2.1 算定方法

#### (1)調査範囲

##### (a)目的、算定対象及び算定範囲

CLT 土木開発・利用委員会の WG3 では、繰り返し利用・カスケード型利用を想定した CLT 土木利用技術の検討を行っており、CLT をダンプトラックの走行や重機の稼働を伴う工事現場の敷板として繰り返し利用する実証試験(工事)を実施している。そのデータ提供を受けて、本事業では当該工事の CLT 敷板利用を対象として、ライフサイクル GHG 排出量を算定することとした。

過年度は敷板の製造から施工、繰り返し使用による GHG 排出量を算定したが、CLT 敷板は使用によって割れや欠けが見られたことから、今年度は CLT の端部を鋼製のフレームで補強した CLT 敷板の試験を行った。端部補強した CLT は試験的に製造した段階であり、補強による繰り返し使用回数の増加等の効果については、まだ検討中であることから、今年度は端部補強した CLT の製造による GHG 排出量の算定を行った。今年度の算定範囲を図 3.2-1 に示す。

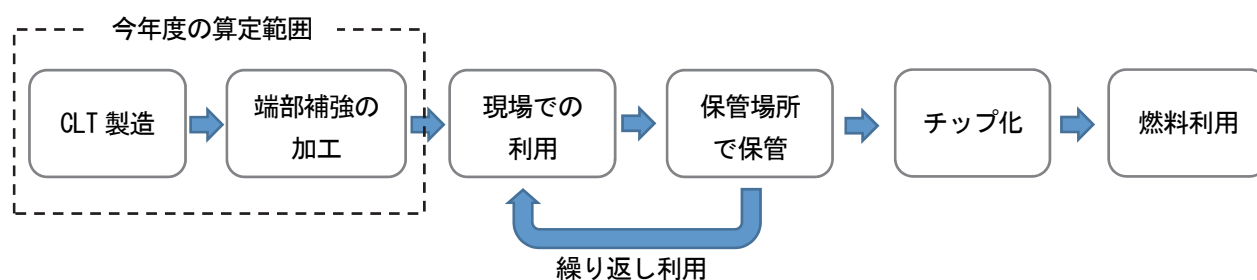


図 3.2-1 今年度の算定範囲

##### (b)算定対象とした CLT 敷板の詳細

算定対象とした CLT 敷板(端部補強)の詳細を表 3.2-1 に示す。また、端部補強した CLT 敷板の図面を図 3.2-2 に、補強の状況を写真 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 算定対象とした CLT 敷板(端部補強)の詳細

CLT 構成	CLT サイズ	枚数	補強フレーム
3 層 3 プライ(強軸)	2000 mm×3500 mm×90 mm	2 枚 (1 枚は予備)	L 字アングル <ul style="list-style-type: none"> <li>・規格:6×50×50 比重:7.85</li> <li>・2 m×2 本×2(両面)×2(組)=16 m</li> <li>・3.5 m×2 本×2(両面)×2(組)=28 m</li> </ul>

### CLTmat 鋼製フレーム図

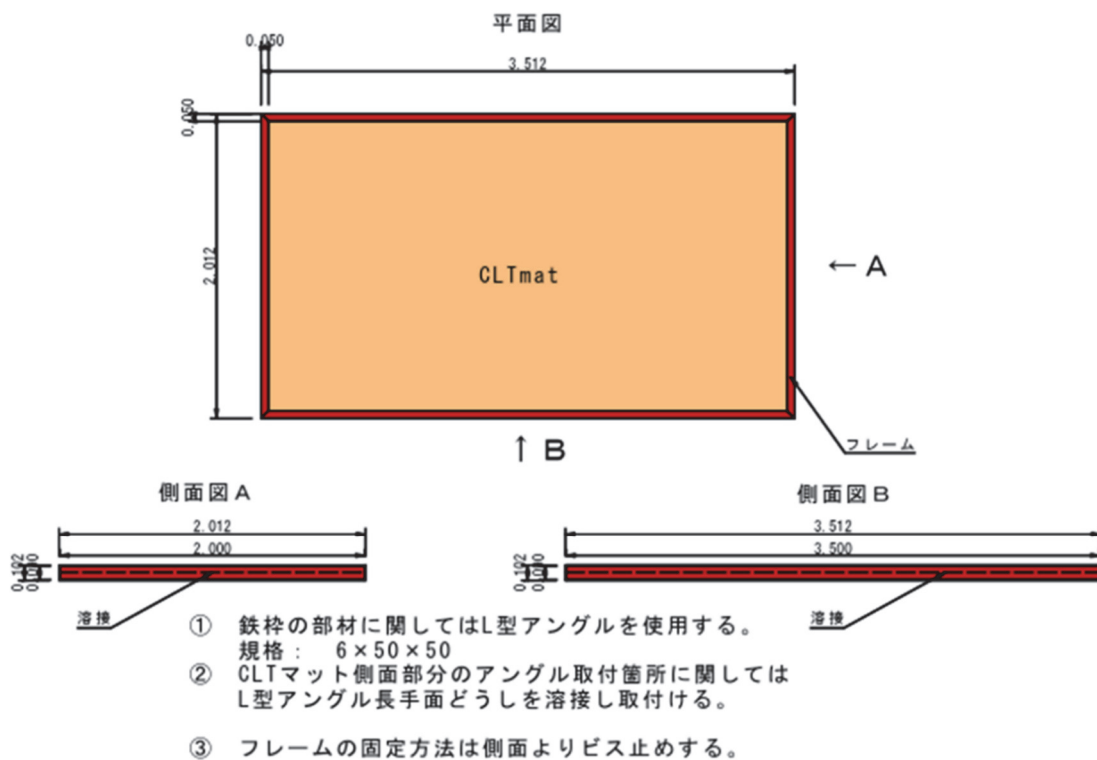


図 3.2-2 端部補強した CLT 敷板の図面



写真 3.2-1 端部補強した CLT 敷板

### (c)機能単位

機能単位は CLT 敷板の体積(m<sup>3</sup>) 当たりとした。なお、端部補強をした CLT は周囲の耐破損強度が増し、繰り返し使用回数が増加すると考えられるが、今年度の検討では機能の差について機能単位に含めず、考察することとした。

### (d)比較対象

今年度は CLT 敷板の使用による割れや欠けを減らし、繰り返し使用回数の増加を図るため、端部補強の試験を行った。そのため、比較対象は過年度の工事で使用した面取りや敷設のための吊り加工をした CLT 敷板とした。

比較対象とした CLT 敷板(面取り等)の詳細を 表 3.2-2 に示す。また、加工の状況を 写真 3.2-2 及び 写真 3.2-3 に示す。

なお、過年度の工事では、敷板に使用する CLT の検討のため、3 層 3 プライ以外にも、3 層 4 プライ、5 層 5 プライの CLT を試験に用いていた。ただし、昨年度以降は 3 層 3 プライの CLT を使用していることや、面取り等の加工における電力使用量等は CLT の構成による差は大きくないと考えられることから、全て 3 層 3 プライの CLT を使用したと仮定して算定を行った。

表 3.2-2 比較対象とした CLT 敷板(面取り等)の詳細

CLT の構成	CLT サイズ	枚数	加工
3 層 3 プライ	1,150 mm×5,995 mm×90 mm	54 枚	面取り 吊り加工



写真 3.2-2 面取り加工



写真 3.2-3 吊り加工

## (2)活動量及び原単位の設定

### (a)CLT の加工フロー

端部補強 CLT 敷板及び面取り等加工 CLT 敷板の加工フローを 図 3.2-3 に示す。

実際の加工をする際は、CLT 製造場所から加工場所への輸送による GHG 排出も生じるが、加工場所は使用場所によって異なる可能性があることや、CTL 敷板の製造に関する GHG 排出量の影響を適切に把握するため、今回は輸送による GHG 排出を含めずに算定を行った。

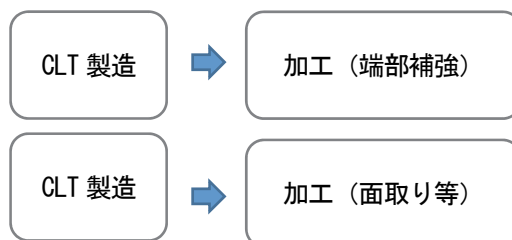


図 3.2-3 CLT の加工フロー

### (b)活動量の設定

算定対象とした CLT 敷板(端部補強)の活動量を 表 3.2-3 に示す。また、比較対象とした CLT 敷板(面取り等)の活動量を 表 3.2-4 に示す。

表 3.2-3 算定対象とした CLT 敷板(端部補強)の活動量

段階	項目	活動量	単位	備考
CLT 製造	CLT 3層3プライ 2枚	1.26	m <sup>3</sup>	2000 mm×3500 mm×90 mm
加工	電力	0.11	kWh	電動丸ノコ、電動インパクトドライバー
	鋼板	207.0	kg	L字アングル

表 3.2-4 比較対象とした CLT 敷板(面取り等)の活動量

段階	項目	活動量	単位	備考
CLT 製造	CLT 3層3プライ 54枚	33.51	m <sup>3</sup>	1,150 mm×5,995 mm×90 mm
加工	電力	17.15	kWh	電動丸ノコ、ジグソー、ドリル
	軽油	30.24	L	フォークリフト

### (c)原単位の設定

活動量当たりの GHG 排出量の原単位は、既存調査結果<sup>1)</sup>及びインベントリデータベース IDEA (v3.1) に基づき設定した。算定に用いた原単位を 表 3.2-5 に示す。

表 3.2-5 算定に用いた原単位

段階	項目	IDEA 製品コード	IDEA 製品名
CLT	CLT 製造	既存調査結果 <sup>1)</sup> のデータの一部をメーカー提供情報及び IDEA v3.1 に更新して使用	
加工	鋼板	222117000mJPN	普通鋼厚板 (厚さ 6 mm 以上) <sup>*</sup>
	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

※「普通鋼厚板」の原単位は、転炉法及び電炉法による粗鋼から製造される生産量の構成比から算出された原単位を使用した。



### 3.2.2 算定状況の報告

#### (1)算定結果

算定対象とした CLT 敷板(端部補強)の GHG 排出量と、比較対象とした CLT 敷板(面取り等)の GHG 排出量を 表 3.2-6 及び 図 3.2-4 に示す。

端部補強をした場合の GHG 排出量は 570.5 kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> であり、面取り等の場合の 219.2 kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> と比較して、160% 増加する結果となった。端部補強をする場合は、L 字アングル(鋼板)を使用するため、その分 GHG 排出量増加が増加した。

表 3.2-6 CLT 敷板(端部補強)と CLT 敷板(面取り等)の GHG 排出量算定結果

種別	GHG 排出量		
	1 m <sup>3</sup> 当たり	CLT 製造	加工
	kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	
CLT 敷板(端部補強)	570.5	216.2	354.3
CLT 敷板(面取り等)	219.2	216.2	3.0

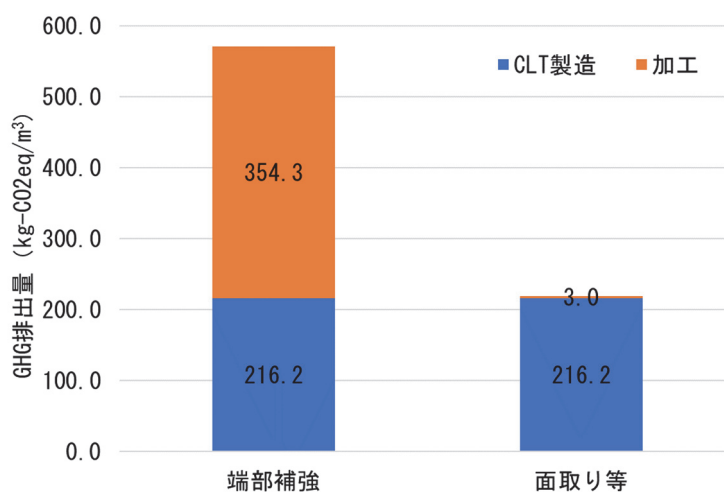


図 3.2-4 CLT 敷板(端部補強)と CLT 敷板(面取り等)の GHG 排出量算定結果

### 3.2.3 考察

算定の結果、端部補強をした場合の GHG 排出量は  $570.5 \text{ kg-CO}_2\text{eq/m}^3$  であり、面取り等の場合の  $219.2 \text{ kg-CO}_2\text{eq/m}^3$  と比較して、160%増加する結果となった。ただし、端部補強は CLT 敷板の繰り返し使用回数を増加させるためのものであり、端部補強をすることによって繰り返し使用回数が面取り等の場合の 2.6 倍になれば、製造時の GHG 排出量の増加分は相殺できることになると考えられる。また、2.6 倍以上の回数使用できれば製造に関する GHG 排出量を削減することができると考えられる。

一方で、端部補強をした場合は CLT 敷板の重量が増加するため、輸送、施工時の GHG 排出量が増加することが想定される。今後は、繰り返し回数の検討とあわせて輸送、施工時の GHG 排出量の比較も行うことが望ましい。

また、使用後の CLT 敷板をチップ化して燃料使用する場合、補強した L 字アングルを取り外す工程が必要になるため、ライフサイクル全体を考慮した上で加工方法を検討することが望ましい。

強度の関係から CLT 敷板は敷鉄板と併用される工事現場があるように、端部補強 CLT と通常の土木用 CLT を適切に組み合わせることで GHG 排出量の面でも最適化される場合も想定される。

### 3.3 土木用 CLT (銘建工業株式会社)

#### 3.3.1 算定方法

##### (1) 調査範囲

###### (a) 目的、算定対象及び算定範囲

CLT 土木開発・利用委員会の WG2 では、土木用 CLT の生産技術開発を目的とし、実証試験を実施している。

本事業では土木用 CLT が環境負荷的に見て、建築用 CLT より優れていることを検証するため、土木用 CLT を対象としてライフサイクル GHG 排出量を算定することとした。

算定範囲を 図 3.3-1 に示す。機能単位は土木用 CLT マザーボード 1 m<sup>3</sup> 当たりであり、丸太から CLT マザーボードの製造までを算定対象としている。

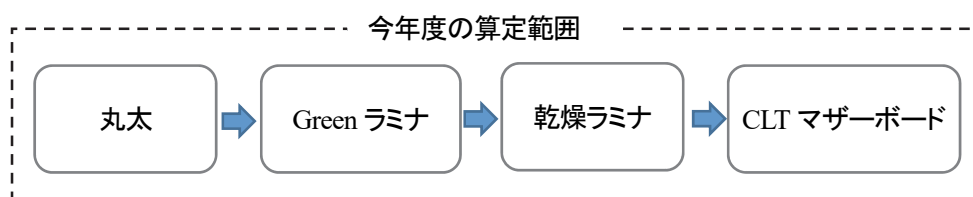


図 3.3-1 算定範囲

###### (b) 算定対象とした土木用 CLT の詳細

算定対象とした土木用 CLT は、CLT 製造工場(岡山県真庭市:銘建工業株式会社)で土木用に適していると提案された条件で製造試験が行われており、試験条件での接着性能等が検証されている。

従来の建築用 CLT は、「直交集成板の日本農林規格(JAS)」でラミナの品質が厳格に定められており、品質基準を満たさないラミナは安価で取引されたり、チップや燃料などに転用されたりしている。一方で、土木用 CLT は、JAS 規格を満たす必要性は無く、建築用に比べて表面品質や美観よりも機能が重視されるので、建築用に使われなかったラミナでの製造が可能になる。

そのため、今年度の実証試験では、人工乾燥を省略した天然乾燥ラミナを用いた CLT の製造条件において、GHG 排出量の算定を行った。

本条件では一般的な建築用 CLT の製造工程のうち、乾燥工程(人工乾燥)を省略して CLT が製造されている。また、天然乾燥材の使用に伴い、建築用 CLT 製造時とは異なる接着剤を用いて CLT の製造を行っている。なお、今年度の試験はあくまでテーブルテストであり、実際に現場で使用する土木用 CLT は製造されていないため、実ラインでの製造を想定して GHG 排出量の算定を行った。

土木用 CLT の試験条件を 表 3.3-1 に示す。また、各試験条件の土木用 CLT を 写真 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 土木用 CLT の試験条件

試験条件	天然乾燥材を使用した CLT
JAS 規格における ラミナの品質基準	適合しない
状態の分類	JAS 材に比べて高含水率(20%程度)
樹種	スギ
接着剤	ポリウレタン樹脂接着剤
幅はぎ接着	なし
層構成、等級	3層3プライ
ラミナ厚	30 mm
製品厚	90 mm(30 mm×3層)
含水率	20%程度
グレーティング	全数測定(一般製品と同じ条件)
製造工程	乾燥工程を省略



写真 3.3-1 天然乾燥材を用いた CLT(テーブルテスト試験体)

#### (c)機能単位

機能単位は CLT マザーボード 1 m<sup>3</sup>とした。土木用 CLT と建築用 CLT では、本来は機能の差があるが、今回の検討では比較優位性を検討することが目的ではなく、土木用 CLT 開発のための知見を収集することが目的であるため、機能の差は考慮していない。

#### (d)比較対象

土木用 CLT の比較対象は、現在、一般製品として製造されている建築用 CLT とした。

比較対象とした建築用 CLT は、土木用 CLT と同じく、CLT 製造工場(岡山県真庭市:銘建工業株式会社)で製造されているものとした。

(2)活動量及び原単位の設定

(a)土木用 CLT の製造フロー

算定対象である土木用 CLT の製造フローを 図 3.3-2 に、建築用 CLT の製造フローを 図 3.3-2 で示す。本実証試験を実施した CLT 製造工場(岡山県真庭市)では建築用 CLT が製造されている。本実証試験では、土木用 CLT はテーブルテストレベルで製造されているが、同じ製造ラインで製造を行っていると仮定して算定を行った。今回の試験条件では、天然乾燥材の使用に伴い、建築用 CLT 製造時とは異なる接着剤を用いて製造しており、建築用 CLT 製造時と同様の設備では接着剤を塗布できない。そのため、今回の試験では建築用 CLT 製造時と別の設備を用いて接着剤を塗布しており、その設備使用時における電力量を用いて算定する必要があるが、それを把握できなかったため、今回は建築用 CLT 製造時と同様の設備を使用していると仮定して GHG 排出量を算定している。

算定に用いた活動量は、製造工場への聞き取り等によって収集した。試験条件における丸太の投入量や輸送距離など、製造工場への聞き取り等で把握できない情報については、建築用 CLT と同様とした。

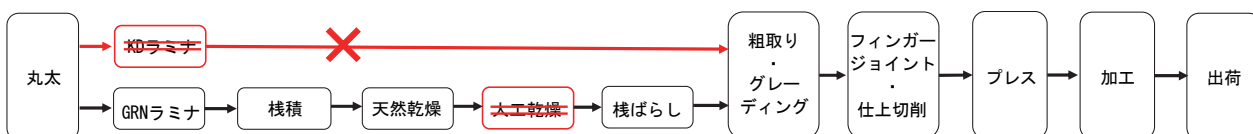


図 3.3-2 本実証事業の試験条件における土木用 CLT の製造フロー

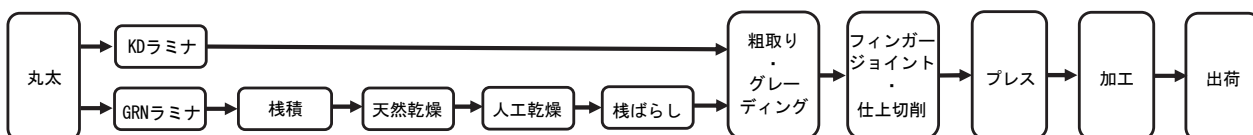


図 3.3-3 比較対象とした建築用 CLT における製造フロー

(b)活動量の設定

土木用 CLT の活動量は、建築用 CLT の活動量をベースとして設定した。製造工程毎の活動量を 表 3.3-2 に示す。

なお、活動量は機密情報に該当するため、詳細データについては、開示を控える。

表 3.3-2 製造工程毎の活動量

工程	項目	単位	備考
丸太製造	丸太	kg	建築用 CLT と同様
ラミナ製造	電力	kWh	建築用 CLT と同様
輸送	ラミナ輸送	tkm	建築用 CLT と同様
	場内輸送(軽油)	L	建築用 CLT と同様
乾燥	-	-	天然乾燥材を利用しているため、乾燥工程は実施していない
プレス	電力	kWh	建築用 CLT と同様
	積層用接着剤	kg	実証試験で得られたデータを使用
	フィンガージョイント用接着剤	kg	建築用 CLT と同様

### (c)原単位の設定

活動量当たりのGHG排出量の原単位は、文献値等<sup>2)</sup>及びインベントリデータベースIDEA(v3.1)から選定し、設定した。ただし、積層用接着剤の排出原単位については、今回の試験で使用した積層用接着剤の性状に合った排出原単位データが文献等及びインベントリデータベース IDEA(v3.1)より把握できなかったため、両方の値を用いて GHG 排出量の算定を行い、排出原単位による差を確認した。算定に用いた原単位を 表 3.3-3 に示す。

表 3.3-3 算定に用いた原単位

工程	項目	IDEA 製品コード	根拠
丸太製造	丸太	中野らの論文 <sup>2)</sup> より引用	
ラミナ製造(電力)	電力	331131018pJPN	電力, 日本平均, 2018 年度
輸送	ラミナ輸送	441111234pJPN	トラック輸送サービス, 10 トン車, 積載率_平均
	場内輸送(軽油)	171115801pJPN	軽油の燃焼エネルギー
プレス	積層用接着剤	169412204pJPN	水性高分子イソシアネート系接着剤
		欧州接着工業会の EPD より引用 <sup>3)</sup>	
	フィンガージョイント用接着剤	169412204pJPN	水性高分子イソシアネート接着剤

### 3.3.2 算定状況の報告

土木用 CLT の算定結果は、工程毎に土木用 CLT と建築用 CLT の GHG 排出量の差分割合で示した。算定結果を 表 3.3-4 及び 図 3.3-4 に示す。

土木用 CLT の GHG 排出量は、建築用 CLT の GHG 排出量より削減されていた。天然乾燥材を使用しているため、乾燥に係る負荷がなくなっており、GHG 排出量が大幅に削減されている。また、接着剤の変更により、その使用量が増加しており、GHG 排出量が大きくなっている。

なお、積層用接着剤の排出原単位について、インベントリデータベース IDEA(v3.1)を用いて算定した場合に比べて、EPD データを用いた場合のほうがプレス工程の GHG 排出量の増加割合が大きかった。

表 3.3-4 建築用 CLT をベースラインとした際の各条件における製造工程毎の GHG 排出量差分割合(排出原単位比較)

試験条件	各条件における工程毎の GHG 排出量差分割合(%)				
	丸太生産	ラミナ製造(電力)	輸送	乾燥	プレス
天然乾燥材を使用した CLT (IDEA)	0	0	0	-100	+2
天然乾燥材を使用した CLT (EPD)	0	0	0	-100	+10

建築用CLTをベースラインとした際の各試験条件における製造工程ごとの GHG排出量差分割合(排出原単位比較)

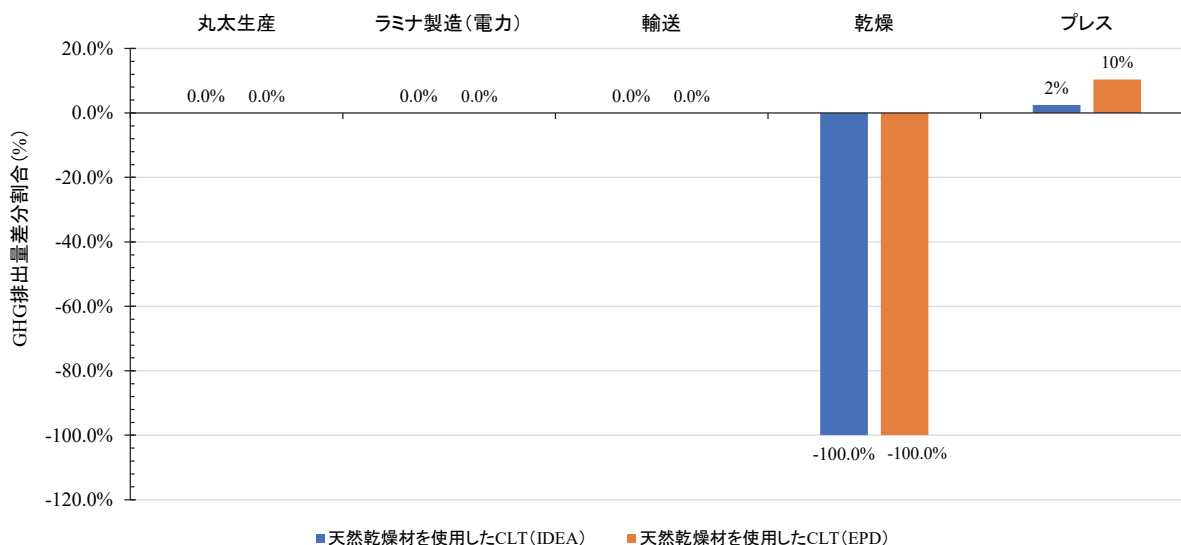


図 3.3-4 GHG 排出量算定結果(排出原単位比較)

昨年度の実証事業で製造した土木用 CLT の試験条件(①土木用ラミナのみを用いた仕様、②仕上げ切削工程を省略した仕様、③土木用ラミナかつ樹種が混在する仕様、④①～③の試験条件を MIX した仕様(試算))と今回の製造条件(プレス時の接着剤は欧州接着工業会の EPD を採用)を組み合わせた土木用 CLT の製造について試算を行った。試算結果を 表 3.3-5 及び 図 3.3-5 に示す。

試算の結果、複数種の試験条件を組み合わせることにより、さらに GHG 排出量の削減効果が確認された。丸太からラミナを製造する際の歩留、乾燥ラミナから CLT マザーボードを製造する際の歩留まりが向上することで、丸太生産、ラミナ製造及び輸送工程でさらに GHG 排出量が削減されている。



表 3.3-5 建築用 CLT をベースラインとした際の各試験条件における製造工程毎の GHG 排出量差分割合(試算)

試験条件	各条件における製造工程毎の GHG 排出量差分割合(%)				
	丸太生産	ラミナ製造(電力)	輸送	乾燥	プレス
(試算)【試験条件 1】土木用ラミナのみ用いた仕様(天然乾燥材を使用)	-13.9	0	0	-100	10
(試算)【試験条件 2】仕上げ切削工程を省略した仕様(天然乾燥材を使用)	-11.7	-11.7	-9.6	-100	10
(試算)【試験条件 3】土木用ラミナかつ樹種が混在する仕様(天然乾燥材を使用)	-4.1	0	0	-100	10
(試算)試験条件 1~3 を MIX した CLT(天然乾燥材を使用)	-26.9	-11.7	-9.6	-100	10

建築用CLTをベースラインとした際の各条件における製造工程ごとの GHG排出量差分割合(試算)

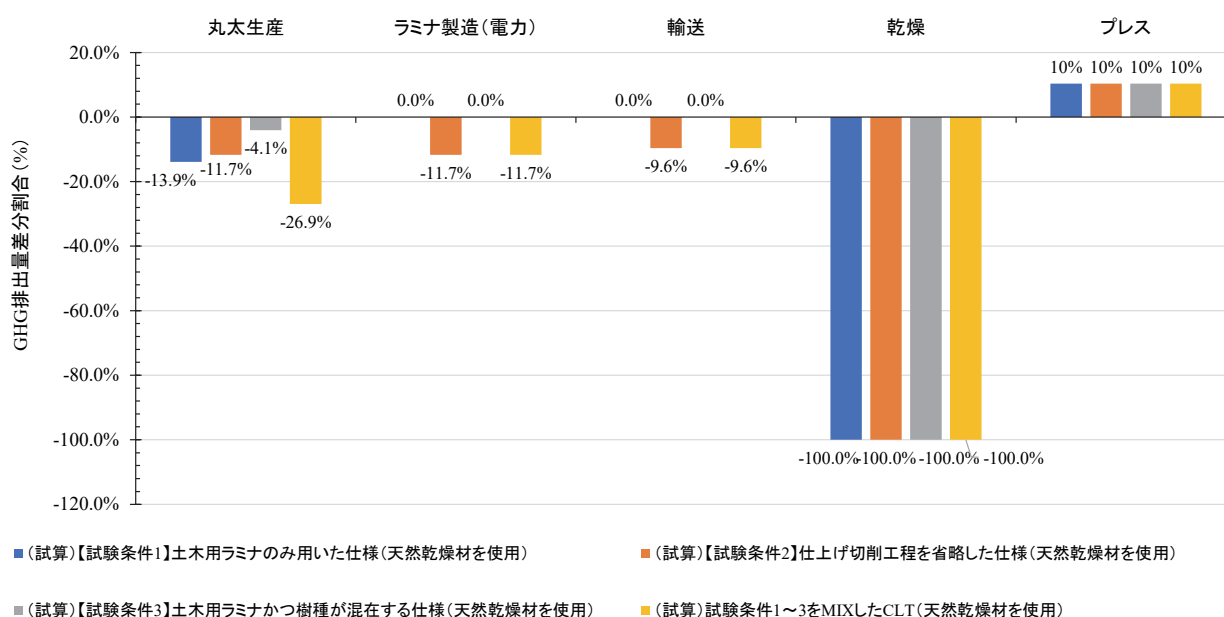


図 3.3-5 条件を組み合わせた場合の GHG 排出量試算結果

### 3.3.3 考察

今年度の実証試験で得られたインベントリデータに基づく算定結果では、GHG 排出量の建築用 CLT との差分割合が最も大きかったのは乾燥工程(人工乾燥)であった。しかし、天然乾燥材の使用に伴い、建築用 CLT 製造時とは異なる接着剤を使用しており、GHG 排出量の増加が確認された。今回はテーブルテストのため、接着剤の塗布工程における新規設備の電力量を建築用 CLT と同様としているが、新規設備における電力データを用いた場合には GHG 排出量が増加する可能性がある。

積層用接着剤の GHG 排出原単位について、インベントリデータベース IDEA(v3.1)を用いて算定した場合に比べて、EPD データを用いた場合の方が GHG 排出量は多いことが確認された。今回の試験で使用した接着剤はポリウレタン接着剤である。しかし、IDEA(v3.1)にはポリウレタン接着剤の GHG 排出原単位データが無いため「水性高分子イソシアネート接着剤」の排出原単位を使用している。一方、EPD データは、今回の試験で使用した接着剤と同様のポリウレタン接着剤ではあるが、主原材料が植物由来の原材料となっており、実際に使用した接着剤は石油由来の原料を用いている。IDEA(v3.1)も EPD データも両者とも今回の試験条件とは異なる点があるため、より適切なデータ源を用いて算定を行った場合、GHG 排出量の算定結果が変化する可能性がある。

また、昨年度の実証事業で製造した土木用 CLT の試験条件と今回の製造条件を組み合わせた土木用 CLT の製造について試算を行ったところ、各工程における歩留改善により、さらなる GHG 排出量の削減効果が確認された。傾向としては、乾燥工程(人工乾燥)による寄与が大きいことが示唆された。

今後は、GHG 排出量の観点だけでなく土木用 CLT で要求される強度性能や接着性能、試算条件については実際に製造可能か等も考慮して評価を行っていく必要があると考えられる。

### 3.4 土木用 CLT(秋田県立大学木材高度加工研究所)

#### 3.4.1 算定方法

##### (1)調査範囲

##### (a)目的、算定対象及び算定範囲

CLT 土木開発・利用委員会の WG2 では、土木用 CLT の生産技術開発を目的とし、実証試験を実施している。秋田県立大学木材高度加工研究所(以下、「秋田木高研」という)では、CLT 製造工程の簡略化を目指し、真空プレスによる接着方法または木釘による接合方法が検証されている。

本事業では、秋田木高研において開発されている 2 条件の土木用 CLT のラミナ製造工程から接着・接合工程までを対象として GHG 排出量を算定することとした。真空プレス接着と木釘接合の 2 条件で土木用 CLT を製造しているため、試験条件毎に GHG 排出量を算定した。

算定範囲を 図 3.4-1 に示す。機能単位は土木用 CLT マザーボード 1 m<sup>3</sup> 当たりであり、丸太から CLT マザーボードの製造までを算定対象としている。

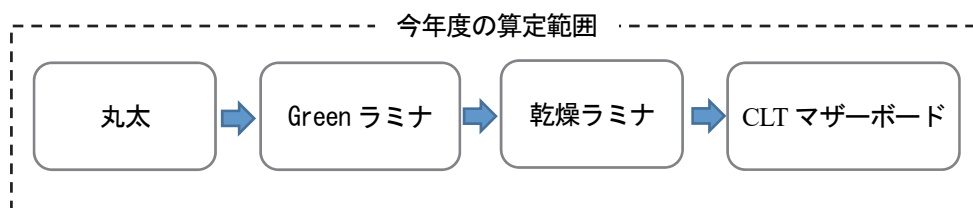


図 3.4-1 算定範囲

##### (b)算定対象とした土木用 CLT の詳細

算定対象とした土木用 CLT は、秋田木高研において真空プレス接着と木釘接合の 2 条件で製造試験が行われており、各試験条件での強度等が検証されている。

真空プレス接着では、通常のプレス機を用いた接着と比べて電力使用量が少ないため、GHG 排出量の低減効果が期待される。木釘接合では、プレスそのものを行わず、さらに接着剤も使用しないために、さらなる GHG 排出量の低減効果が期待される。

製造試験では秋田木高研において製造されたラミナが用いられているが、他の試験との整合性を考慮し、CLT 製造工場(岡山県真庭市)において製造したラミナを使用したものとして、GHG 排出量の算定を行った。

土木用 CLT の試験条件を 表 3.4-1 に示す。また、各試験条件の様子を 写真 3.4-1 及び 写真 3.4-2 に示す。

表 3.4-1 土木用 CLT の試験条件

試験条件	真空プレス接着	木釘接合
樹種	スギ	スギ
接着剤	水性高分子イソシアネート系接着剤	使用なし
層構成	3 層 3 プライ	3 層 3 プライ
製品サイズ	1890×1890×90 mm	1900×1900×106 mm
使用資材	真空ポンプ、シルバーシート、農業用ポリエチレン、フィルムラップ、OPP テープ、養生テープ、エアークッション、クッションマット	高圧釘打機、木工用バンドソー(木釘製造用)、木釘(ニセアカシア)



写真 3.4-1 試験風景(真空プレス接着)



写真 3.4-2 試験風景(木釘接合)

(c)機能単位

土木用 CLT の機能単位は CLT マザーボード 1 m<sup>3</sup>とした。

(d)比較対象

真空プレス接着及び木釘接合によって製造した土木用 CLT は、一般製品として製造されている建築用 CLT、また通常のプレス工程により製造した土木用 CLT と比べて GHG 排出量を大きく削減できることが期待されるものの、今回の製造試験はラボスケールであり、工場生産レベルの検討段階ではない。そのため、今回は建築用 CLT または通常のプレス工程により製造した土木用 CLT との比較は行わず、真空プレス接着及び木釘接合による GHG 排出量の試算を行うまでとした。

(2)活動量及び原単位の設定

(a)土木用 CLT の製造工程

算定対象である土木用 CLT の製造工程(ラミナを接着する工程)を以下に示す。木釘接合に用いる木釘は、木工用バンドソーを用いて別途製造している。

(真空プレス接着)

農業用ポリエチレン敷設 → 不織布敷設 → ラミナ接着剤塗布(2層分)  
→ モーターを用いて真空プレス(写真 3.4-1) → 完成

(木釘接合)

ラミナ2層(下・内層)を敷き並べ → 木釘打ち込み → ラミナ上層を重ねる → 木釘打ち込み → 完成

(b)活動量の設定

GHG 排出量の算定に用いた活動量は、各試験条件においてデータを収集した。活動量の項目を 表 3.4-2 及び 表 3.4-3 に示す。

なお、活動量の値そのものは機密情報に当たるため、詳細データについては、開示を控える。

表 3.4-2 活動量の項目(真空プレス接着)

段階	活動量の項目	備考
ラミナ製造	ラミナ	ラミナから CLT マザーボードの歩留まりは 97.5 %
真空プレス接着	フィルムラップ	ポリエチレン製
	OPP テープ	二軸延伸ポリプロピレン製
	養生テープ	ポリエチレン製
	積層用接着剤	水性高分子イソシアネート系接着剤
	電力(塗布量調整)	
	電力(接着剤塗布)	
	電力(真空プレス)	0.09 MPa、60 分
	廃棄物(敷設時資材)	フィルムラップ、OPP テープ、養生テープの廃棄 産業廃棄物として焼却されるシナリオを想定

※接着時に用いるシルバシート、農業用ポリエチレン、エアークッション、クッションマット、真空プレスは繰り返し使えるため、算定対象外とした。

※真空ポンプに用いる水及び廃水は、循環利用できるため算定対象外とした。

※CLT 製造時の端材は木質系有価物としての利用を想定し、算定対象外とした。

表 3.4-3 活動量の項目(木釘接合)

段階	活動量の項目	備考
ラミナ製造	ラミナ	ラミナから CLT マザーボードの歩留まりは 91.9 %
木釘接合	電力(先穴)	打ち込み時の木釘破損を減らすためにインパクトドライバーであらかじめ穴を開けている
	木釘製造用木材	ニセアカシアを使用
	電力(木釘製造)	木工用バンドソーを使用
	電力(打ち込み)	高圧釘打ち機を使用 ラミナ下層に 389 本(必要数 361 本、ロス率 7.76 %)、 ラミナ上層に 376 本(必要数 361 本、ロス率 4.16 %)を使用

※CLT 製造時の端材は木質系有価物としての利用を想定し、算定対象外とした。

※上層と下層で木釘のロス率が異なるのは、下層の途中で先穴を開けるように変更したためである。

### (c)原単位の設定

活動量当たりの GHG 排出量の原単位は、インベントリデータベース IDEA (v3.1)から選定し、設定した。算定に用いた原単位を 表 3.4-4 に示す。

表 3.4-4 算定に用いた原単位

段階	項目	IDEA 製品コード	根拠
ラミナ製造	ラミナ	—	CLT 製造工場の土木用 CLT の算定結果 (3.2 章)から、ラミナ製造までの排出原単位を算定して使用
真空プレス接着	フィルムラップ、OPP テープ、養生テープ	163516000pJPN	ポリエチレン
	積層用接着剤	169412204pJPN	水性高分子イソシアネート接着剤
	電力	331131018pJPN	電力, 日本平均, 2018 年度
	廃棄物(敷設時資材)	882207231pJPN	焼却処理サービス, 産業廃棄物, 廃プラスチック類 (廃タイヤを除く)
木釘接合	電力	331131018pJPN	電力, 日本平均, 2018 年度
	木釘製造用木材	121111000pJPN	板類

※OPP テープの材質は二軸延伸ポリプロピレンであるが、性質がポリプロピレンに比較的近いポリエチレンの排出原単位を採用した。

### 3.4.2 算定状況の報告

算定結果を 表 3.4-5 及び 図 3.4-2 に示す。

真空プレス接着、木釘接合ともに、ラミナ製造と比べて GHG 排出量は極めて少ない結果となった。

また、2 つの試験条件でラミナ製造の GHG 排出量が異なるのは、各条件の試験用として用意できたラミナが異なるために歩留まりに差が出ているためであり、接着・接合方法の違いによるものではない。そのため、接着・接合工程のみの GHG 排出量においてグラフを用いて比較した。接着・接合プロセス単体で比較すると、木釘接合は接着剤やプラスチック製資材等を使わないために、真空プレス接着よりも GHG 排出量が少ない。

表 3.4-5 GHG 排出量算定結果

試験条件	GHG 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> )	(内訳)	
		ラミナ製造	接着
真空プレス接着	133.1	121.1	12.0
木釘接合	134.3	128.5	5.8

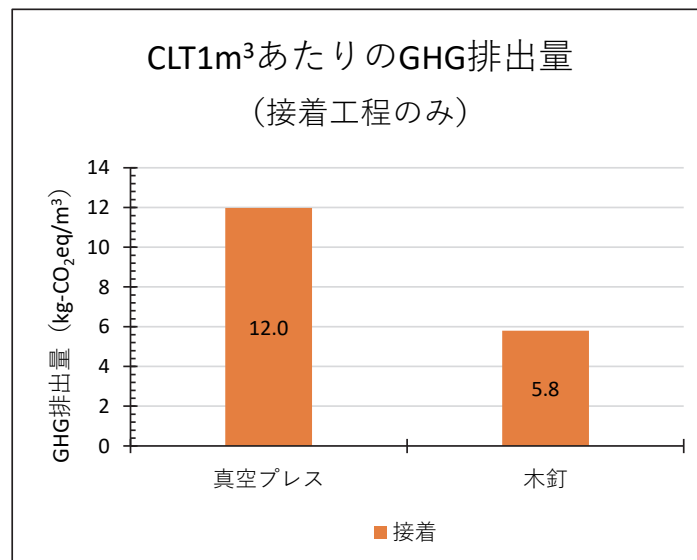


図 3.4-2 GHG 排出量算定結果



### 3.4.3 考察

今年度の実証試験で得られたインベントリデータに基づく算定結果では、真空プレス接着、木釘接合ともに CLT 製造における GHG 排出量の削減効果が示唆される結果となった。ただし、今回の試験はラボスケールであるために手作業や小規模な装置類を使用しており、実際の量産スケールでは大型装置の使用によって GHG 排出量が今回よりも大きくなる可能性と、量産による効率化や省エネ化によって今回よりも小さくなる可能性の両面が考えられる。そのため、量産スケールの GHG 排出量は今回の算定結果と比べて増加・減少のどちらにも変化する要素がある。また、真空プレス接着及び木釘接合でもプレス機による接着と同等の強度を達成できるのか、土木用 CLT に求められる強度の確認も含めて、検証が必要である。GHG 排出量の削減だけでなく、コスト面においても効果が期待されることから、今後のさらなる検討が期待される。

### 3.5 土木用 CLT(岡山県農林水産総合センター森林研究所)

#### 3.5.1 算定方法

##### (1)調査範囲

##### (a)目的、算定対象及び算定範囲

CLT 土木開発・利用委員会の WG2 では、土木用 CLT の生産技術開発を目的とし、実証試験を実施している。岡山県農林水産総合センター森林研究所(以下、「岡山森林研」という)では、CLT 製造の効率化及び低コスト化を目指し、小径木ヒノキからとれる丸身ラミナ(丸太からラミナの歩留まりを向上させるため、丸太の丸身部分を一部残した状態のラミナ)を活用した CLT 製造方法が検証されている。

本事業では、岡山森林研において開発されている土木用 CLT を対象として、CLT 製造に関する GHG 排出量を算定することとした。

算定範囲を 図 3.5-1 に示す。機能単位は土木用 CLT マザーボード 1 m<sup>3</sup> 当たりであり、丸太から CLT マザーボードの製造までを算定対象としている。

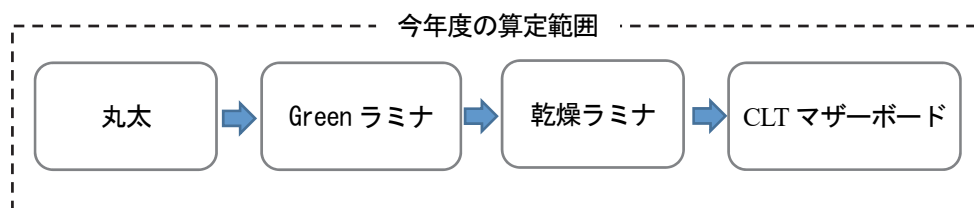


図 3.5-1 算定範囲

##### (b)算定対象とした土木用 CLT の詳細

岡山森林研では、ヒノキの丸身ラミナを使用した CLT として、3 種類の CLT を検証している。

3 種類の CLT はいずれも 3 層 3 プライであり、外層にヒノキ丸身ラミナを使用している。内層はスギ通常ラミナ又はヒノキ通常ラミナであり、乾燥方法や幅方向の仕上げの有無によって条件が異なっている。

土木用 CLT の試験条件を 表 3.5-1 に示す。また、製造した CLT を 写真 3.5-1 に示す。

ヒノキ丸身ラミナ・スギハイブリッド CLT の①と②の違いである幅方向の仕上げの有無について、幅方向の仕上げのみの使用電力量が把握できないため、算定は、ヒノキ丸身ラミナ・スギハイブリッド CLT②とヒノキ丸身ラミナ CLT の 2 種類を対象として行った。

表 3.5-1 丸身ラミナを使用した CLT の試験条件

種類	ヒノキ丸身ラミナ・スギハイブリッド CLT①	ヒノキ丸身ラミナ・スギハイブリッド CLT②	ヒノキ丸身ラミナ CLT
樹種	外層:ヒノキ丸身ラミナ 内層:スギ通常ラミナ		外層:ヒノキ丸身ラミナ 内層:ヒノキ通常ラミナ
層構成	3 層 3 プライ		3 層 3 プライ
製品サイズ	b=1000 mm , h=90 mm , L=2900 mm		b=1000 mm , h=90 mm , L=2900 mm
乾燥	ヒノキ丸身ラミナ:天然乾燥 スギ通常ラミナ:人工乾燥		ヒノキ丸身・通常ラミナ:天然乾燥
縦継ぎ	ヒノキ丸身ラミナ:なし スギ通常ラミナ:あり		ヒノキ丸身ラミナ:なし ヒノキ通常ラミナ:あり
仕上げ (幅方向)	ヒノキ丸身ラミナ:なし スギ通常ラミナ:あり	ヒノキ丸身ラミナ:あり スギ通常ラミナ:あり	丸身ラミナ:なし 通常ラミナ:あり
算定	仕上げのみの電気使用量の把握ができないため、今回は算定条件としなかった	算定条件①	算定条件②



写真 3.5-1 丸身ラミナを使用した CLT

(c)機能単位

土木用 CLT の機能単位は CLT マザーボード 1 m<sup>3</sup>とした。

(d)比較対象

丸身ラミナを使用した CLT は現段階で試験段階であるため、今回は建築用 CLT との比較は行わず、2 種類の試験条件で作成した CLT の GHG 排出量の試算を行うまでとした。

(2)活動量及び原単位の設定

(a)土木用 CLT の製造工程

算定対象である土木用 CLT の製造工程のフローを 図 3.5-2 及び 図 3.5-3 に示す。

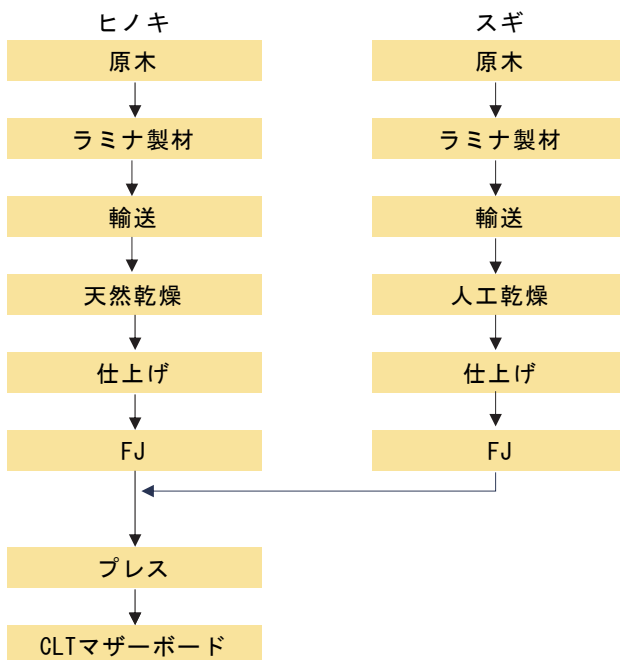


図 3.5-2

ヒノキ丸身ラミナ・スギハイブリッド CLT  
製造工程のフロー



図 3.5-3

ヒノキ丸身ラミナ CLT  
製造工程のフロー

### (b)活動量の設定

GHG 排出量の算定に用いた活動量は、量産時に近い排出量を算定するため、歩留まりは丸身ラミナを使用した場合の歩留まりを用い、ラミナ及び CLT 製造に関する活動量は建築用 CLT 算定時<sup>1)</sup>のデータを用いた。丸太から丸身ラミナを採材した際の歩留まりを 表 3.5-2 に、活動量の項目を 表 3.5-3 に示す。

なお、スギの通常ラミナの歩留まりは、建築用 CLT 算定時<sup>1)</sup>と同様の 42.2 %を使用した。また、活動量の値そのものは機密情報に当たるため、詳細データについては、開示を控える。

表 3.5-2 丸身ラミナを使用した場合の歩留まり

材料		材積
ヒノキ原木	直径 14 cm、長さ 3 m、240 本	14.11 m <sup>3</sup>
ラミナ(乾燥前)	b=120 mm, h=37 mm, L=3000 mm 丸身ラミナ 480 枚 通常ラミナ 240 枚	9.59 m <sup>3</sup>
歩留まり		68.0%

表 3.5-3 活動量の項目

段階	活動量の項目	備考
ラミナ製造	ヒノキ丸太	
	スギ丸太	
	電力	
	輸送	
乾燥	電力	人工乾燥のラミナのみ
	蒸気	人工乾燥のラミナのみ
CLT 製造	場内輸送	
	電力	
	積層用接着剤	水性高分子イソシアネート接着剤
	FJ 用接着剤	水性高分子イソシアネート接着剤

(c)原単位の設定

活動量当たりの GHG 排出量の原単位は、インベントリデータベース IDEA (v3.1)等から選定し、設定した。算定に用いた原単位を 表 3.5-4 に示す。

表 3.5-4 算定に用いた原単位

段階	項目	IDEA 製品コード等	根拠
ラミナ製造	ヒノキ丸太	中野らの論文 <sup>2)</sup> より引用	ヒノキ丸太(全国平均)
	スギ丸太	中野らの論文 <sup>2)</sup> より引用	スギ丸太(全国平均)
	電力	331131018pJPN	電力 日本平均 2018 年度
	輸送	441111234pJPN	トラック輸送 10トン車 積載率_平均
乾燥	電力	331131018pJPN	電力 日本平均 2018 年度
	蒸気	120000801pJPN	廃木材の燃焼エネルギー
CLT 製造	場内輸送	171115801pJPN	軽油の燃焼エネルギー
	電力	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

### 3.5.2 算定状況の報告

算定結果を 表 3.5-5 及び 図 3.5-4 に示す。

ヒノキ丸太はスギ丸太に比べて丸太製造時の GHG 排出量が大いだが、丸身ラミナを使用することにより歩留まりが向上し、ラミナ製造による GHG 排出量はヒノキのみを使用したヒノキ丸身ラミナ CLT が若干少ない結果となった。また、今回の試験ではヒノキのラミナは天然乾燥だがスギのラミナは人工乾燥を行っているため、ヒノキ丸身ラミナ・スギハイブリッド CLT は人工乾燥に使用した電力等の GHG 排出量が上乗せされ、ヒノキ丸身ラミナ CLT より GHG 排出量が多い結果となった。

表 3.5-5 GHG 排出量算定結果

試験条件	GHG 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> )	(内訳)		
		ラミナ製造	乾燥	CLT 製造
ヒノキ丸身ラミナ・ スギハイブリッド CLT	184.7	129.1	11.9	43.7
ヒノキ丸身ラミナ CLT	166.9	123.2	0	43.7

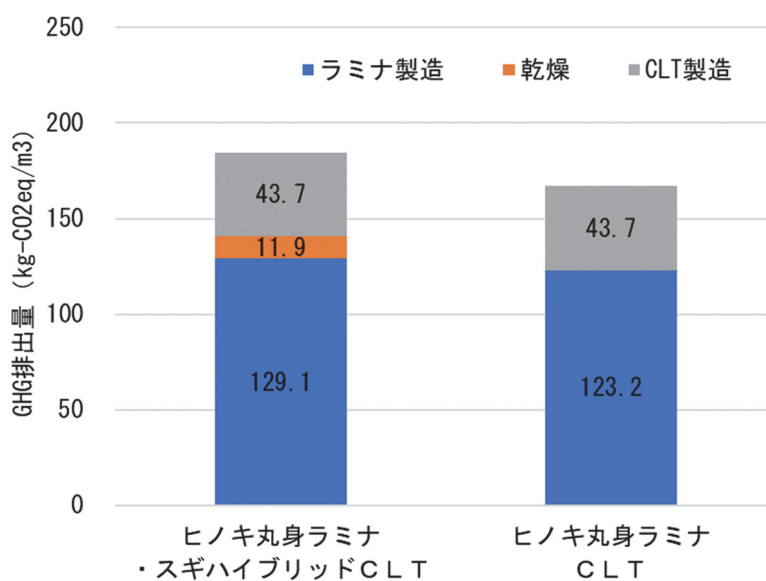


図 3.5-4 GHG 排出量算定結果

### 3.5.3 考察

今回の試験では、丸身ラミナを使用することにより、丸太からラミナを採材する際の歩留まりが向上し、同量の通常ラミナを使用する際に比べて GHG 排出量を少なくすることができることが示唆された。また、丸身ラミナを利用することにより、通常はラミナを複数枚とることができない小径木を効率的に利用して CLT を製造することができ、丸太の有効活用につながることも期待される。

#### 参考文献

- 1) Katsuyuki Nakano, Wataru Koike, Ken Yamagishi & Nobuaki Hattori: Environmental impacts of cross-laminated timber production in Japan, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22, 2193–2205, 2020
- 2) Katsuyuki Nakano, Naoki Shibahara, Toshifumi Nakai, Keisuke Shintani, Hirotaka Komata, Masahiro Iwaoka, Nobuaki Hattori: Greenhouse gas emissions from round wood production in Japan, *Journal of Cleaner Production*, 170, 1654-1664, 1 January 2018
- 3) Association of the European Adhesive & Sealant Industry: Environmental Product Declaration FEICA/EFCC/IVK/DBC – Products based on polyurethane, group 5, source <<https://www.feica.eu/our-projects/epds>> (reference 2024.3.4)



## 第4章

### 総括

## 4.1 事業成果概要

### 4.1.1 CLT 土木利用の経済評価

#### (1)防雪柵のビジネスモデル

防雪柵は、防雪板で柵の前後の風速や風の流れを制御し、道路への吹き溜まり防止や視程障害の緩和を図る目的で設置される、吹き溜まり防止施設の一つである。現在、既存の防雪柵は鋼製が大半を占め主流となっている。この他、半割丸太等を使用した木製の防雪柵もみられるが、市場規模は鋼製と比較すると僅少となっている。CLT 防雪柵の普及に向けて、既存技術との比較を行った結果を 表 4.1-1 に示す。CLT 防雪柵は、塩害対応や環境配慮の面で優位性があるが、コストが課題となっている。この結果に基づき、CLT 防雪柵の導入対象として想定されるターゲットを 図 4.1-1 に整理した。CLT 防雪柵の主なターゲットは、オフシーズン時に収納不要な場所、かつ海岸付近等の塩害が起きやすい場所や、景勝地・国立公園等の景観保持や環境配慮が重視される場所などになると考えられる。

最後に、土木利用の促進に向けて、国土交通省の新技术登録のデータベースである NETIS の検討項目（経済性、工程、品質、安全性、施工性、周辺環境への影響）を踏まえて考察した。高性能防雪柵（鋼製）と木製防雪柵を従来技術として比較し、向上、同等、低下の3段階で評価した結果を 表 4.1-2 に示す。なお、「―」は比較が困難と判断したものである。

表 4.1-1 CLT 防雪柵と既存技術との比較

項目	CLT	木製	鋼製	既存技術との比較
塩害	◎	○	△	鋼製より木製・CLTの方が塩害に強い。腐朽が進みやすい木口面が露出していないCLTの方が木製より強いと考えられる。
耐久性	検証中	△	◎	耐用年数は鋼製30年に対し木製は15年程度。CLTは検証中だが、腐朽が進みやすい木口面が露出しておらず、耐久性は高くなる可能性。
環境配慮	◎	◎	△	CLT・木製は持続可能な森林・経済の循環や脱炭素社会への貢献、生産過程での環境負荷の低減等、環境配慮の面で優位。
景観保持 (収納)	○	○	○	CLT・木製は自然調和する見た目で景観保持に優れるが、自立式のみに限られるため、視界の圧迫感や農作物の日照確保など夏季の収納が必須な環境では不利になる可能性もある。
メンテナンス	○	△	△	CLTは鋼製に比べボルトの数が少なく錆びる部位も少ないため、設置の際の施工時間の短縮や、メンテナンスの効率化が期待できる。
コスト	△	△	○	CLT・木製は量産体制が確立していないこともあり、鋼製防雪柵に比べ高くなる。土木向けCLTの生産や需要の創出、量産体制の構築によるコスト低減が課題。



図 4.1-1 CLT 防雪柵の導入対象として想定されるターゲット

表 4.1-2 CLT 防雪柵の既存技術との比較

項目	高性能防雪柵(鋼製)との比較	木製防雪柵との比較
経済性	<b>低下</b> 鋼製に比べて CLT は高価になる。土木用 CLT の製品化や CLT 防雪柵の量産化が課題。	<b>同等</b> 半割丸太等の木製防雪柵と CLT 防雪柵でコストは大きく変わらない。
工程	— CLT 防雪柵は研究開発中であり量産体制が整っていない。今後量産とコスト低減をめざし工程の簡素化や供給体制を整える必要。	
品質	<b>同等</b> 模型実験により鋼製と同等以上の防雪効果が得られている。耐久性については暴露試験により検証中である。	<b>向上</b> 水分を浸透させないコーティング処理や木口面の露出の少なさにより CLT 防雪柵の方が耐久性が向上する。
安全性	<b>同等</b> 鋼製と同等の安全性は確保できている。車が衝突した時のショックは鋼製よりも和らぐ可能性がある。	<b>向上</b> 木製よりも耐久性が高いことから強度も保たれ、倒壊の危険性も減ると考えられる。
施工性	<b>向上</b> CLT 防雪柵は面材料である CLT を支柱に嵌め込む構造で、鋼製や木製よりボルトの数が少なく設置時の工数及び定期メンテナンス時の手間も減らすことができる。	
周辺環境への影響	<b>向上</b> 景観に調和し、木材の利用により森林整備の促進や脱炭素化に貢献。製造工程における環境負荷も少ない。	<b>同等</b> 木材を利用する観点から、同等。

## (2)プラットフォームのビジネスモデル

プラットフォームは、本設工事(設置期間:数年から数十年)と仮設工事(設置期間:数ヶ月から数年)に分類される。本設工事とは完成品として半永続的に設置されるものであり、仮設工事とはホーム拡張やホームドアの設置工事などの際に仮設的にホームを設置するものである。本設ではコンクリート製が主流であり、メンテナンスフリーで安価であるなど、課題が少ないことから、主なターゲットは仮設工事になると考えられる。

プラットフォームの仮設工事における競合資材としては、合板+ゴムマット、ノンスリップ合板、コネクションデッキなどがある。既存の仮設工事資材の特色を 表 4.1-3 に整理し、この結果に基づき、CLT プラットフォームの導入対象として想定されるターゲットを 図 4.1-2 に整理した。CLT プラットフォームの主なターゲットとして、仮設工事では、乗降者数が少なく高価格の資材では経済的に見合わないケースや、CLT が長いスパンを飛ばせる特色を活かして桁式構造に導入されるケースが想定される。また、本設工事で CLT が利用されるケースとしては、大きな駅でクレーンが使用できず軽量化が必要な工事、経済性が求められる工事などが想定される。

最後に、土木利用の促進に向けて、国土交通省の新技术登録のデータベースである NETIS の検討項目(経済性、工程、品質、安全性、施工性、周辺環境への影響)を踏まえて考察した。高性能防雪柵(鋼製)と木製防雪柵を従来技術として比較し、向上、同等、低下の3段階で評価した結果を 表 4.1-4 に示す。なお、「—」は比較が困難と判断したものである。

表 4.1-3 仮設工事資材における課題整理

資材	課題
1) 合板+ゴムマット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・滑り止め加工したシーラや塗料が剥がれる。</li> <li>・日光や風雨による劣化がおりやすい。</li> <li>・スパンが飛ばせない(根太が必要)</li> <li>・景観はよくない。</li> </ul>
2) ノンスリップ合板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・剥がれに強いが、剥がれることもある。</li> <li>・単体では強度は弱い。</li> <li>・スパンが飛ばせない(根太が必要)</li> <li>・値段が高い。</li> </ul>
3) コネクションデッキ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スパンが飛ばせない(根太的構造が必要)</li> <li>・値段が極めて高い。</li> </ul>

仮設工事

本設工事

		乗降者数	
		多い	少ない
構造	桁式	CLT	
		合板、覆工板(コネクションデッキ)	
	盛土式	鉄筋コンクリート	
		板張り	

		乗降者数	
		多い	少ない
構造	桁式	CLT	
		穴あきPC	
	盛土式	鉄筋コンクリート	
		板張り	

図 4.1-2 CLT プラットフォームの導入対象として想定されるターゲット

表 4.1-4 CLT プラットフォームの既存技術との比較

項目	合板との比較	コネクションデッキとの比較
経済性	<b>向上</b> 一般的な合板は、CLT よりも安価と考えられる。ただし、ノンスリップ合板などは CLT に比較して高く、経済性で向上する場合もある。	<b>向上</b> 従来技術の費用が 10 万円/m <sup>2</sup> に対して、CLT は安価であり向上する。
工程	<b>向上</b> いずれもスパンが飛ばせず根太的構造が必要であり、CLT はそうした構造が不要であることから、施工性は向上する。	
品質	<b>向上</b> たわみにくさは従来技術に比べて向上すると考えられる。	<b>低下</b> たわみにくさは従来技術に比べて低下すると考えられる。ただし、要求性能(基準値)への適合は可能。
安全性	<b>同等</b> 防滑性、難燃性では、技術開発が進んでいる合板も存在する。CLT も同様に進んでおり、同等と考えられる。	— コネクションデッキは特殊塗料による防滑性に優れている。CLT でも従来技術に劣らない塗料の開発は必須。要求性能(基準値)について、CSR 値(防滑性)や難燃性の設定が必要。
施工性	— 合板の施工性とはそれほど変わらないと考えられるが、CLT の方が重いと考えるため、その点で施工性は低い。	— コネクションデッキは施工性に非常に工夫がされており、プラットフォーム上部から作業可能であるなど、優れている。CLT は、コネクションデッキを参考としながら、施工性を上げる工夫が必要。
周辺環境への影響	<b>同等</b> 木材を利用する観点から、同等。温室効果ガスのライフサイクルは計測して比較する必要がある。	<b>向上</b> 温室効果ガスの抑制、森林環境の整備などの観点から向上。

### (3)CLT 敷板の経済波及効果

経済評価においては、製造コストや事業の収支を評価するだけでなく、地域経済に与える影響を定量化することが重要である。そこで CLT 敷板と敷鉄板の製造を対象として、産業連関分析を用いて北海道への経済波及効果を比較した。分析においては、平成 27 年北海道産業連関表(105 部門)を用いた。最終需要によって生じる生産額の増加分である直接効果、直接効果による各産業の誘発額である間接効果、そして直接効果及び間接効果において発生した雇用者所得によって、新たに消費された誘発額である 2 次波及効果を算出し、それらを合計して総合効果とした。敷板製造に伴う波及効果倍率(=生産誘発額/最終需要増加額)を 図 4.1-3 に示す。CLT を北海道外で製造すると想定した現状では、敷鉄板の波及効果倍率が CLT 敷板を上回るが、CLT の原料調達・加工を全て道内で行うと仮定した場合、波及効果倍率が約 2 倍となった。この結果より、CLT 利用が地域経済に与える影響を高めるためには、CLT の原材料を地域内で調達し、さらに地域内で CLT を製造することが重要であることが示唆された。

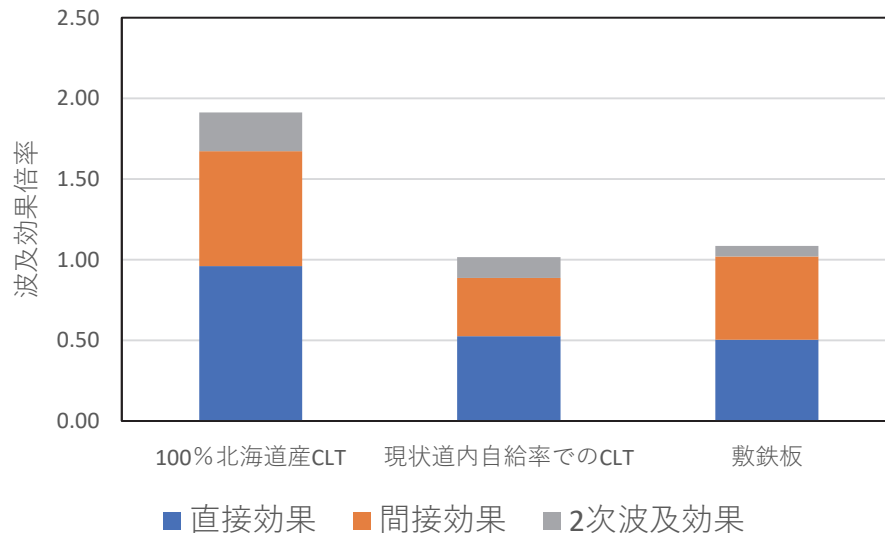


図 4.1-3 敷板製造による波及効果倍率

## 4.1.2 CLT 土木利用の環境評価

### (1)板状地盤補強

CLT を軟弱地盤上の道路や宅地造成の盛土などの土構造物の基礎として利用する工法 (CLT 板状地盤補強工法) を対象に、CLT 製造から輸送・施工・撤去までを対象として、ライフサイクルでの GHG 排出量を評価した。その結果を、図 4.1-4 に示す。CLT 板状地盤補強工法の敷設・固定方法による比較では、撤去を考慮しても GHG 排出量は CLT 使用量による影響が大きく、面状に敷設した場合は井桁状の約 1.4~1.5 倍の GHG 排出量となった。そのため、ホットスポットである CLT 製造段階の GHG 排出量の低減の検討が求められる。

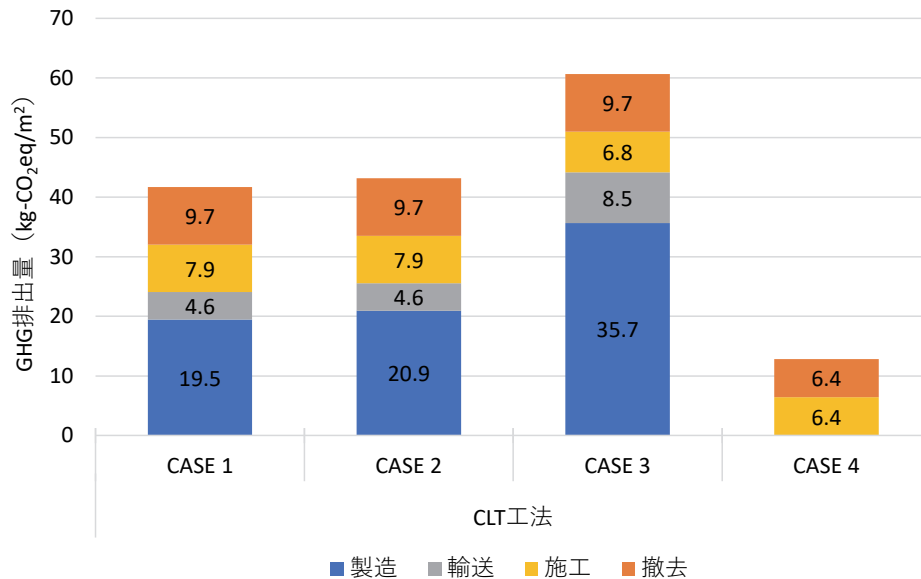


図 4.1-4 板状地盤補強による GHG 排出量算定結果

CASE 1: 井桁状(固定なし)、CASE 2: 井桁状(固定あり)、CASE 3: 面状(固定なし)、CASE 4: 無対策



## (2) 土木用 CLT (天然乾燥材の利用)

従来の建築用 CLT は、「直交集成板の日本農林規格(JAS)」でラミナの品質が厳格に定められている一方で、土木用 CLT は、JAS 規格を満たす必要性は無く、建築用に使われなかったラミナでの製造が可能になる。そこで、現在実証実験が行われている、人工乾燥を省略した天然乾燥ラミナを用いた CLT の製造条件において、GHG 排出量の算定を行った。本条件では一般的な建築用 CLT の製造工程のうち、乾燥工程(人工乾燥)を省略して CLT が製造されている。また、天然乾燥材の使用に伴い、建築用 CLT 製造時とは異なる接着剤を用いて CLT の製造を行っている。

昨年度の実証事業で製造した土木用 CLT の試験条件(①土木用ラミナのみを用いた仕様、②仕上げ切削工程を省略した仕様、③土木用ラミナかつ樹種が混在する仕様、④①～③の試験条件を MIX した仕様(試算))と今回の製造条件を組み合わせた土木用 CLT の製造について試算を行った結果を 図 4.1-5 に示す。全体としては、乾燥工程による寄与が大きい一方で、丸太からラミナを製造する際の歩留まり、乾燥ラミナから CLT マザーボードを製造する際の歩留まりが向上することで、丸太生産、ラミナ製造及び輸送工程で GHG 排出量が削減される結果となった。

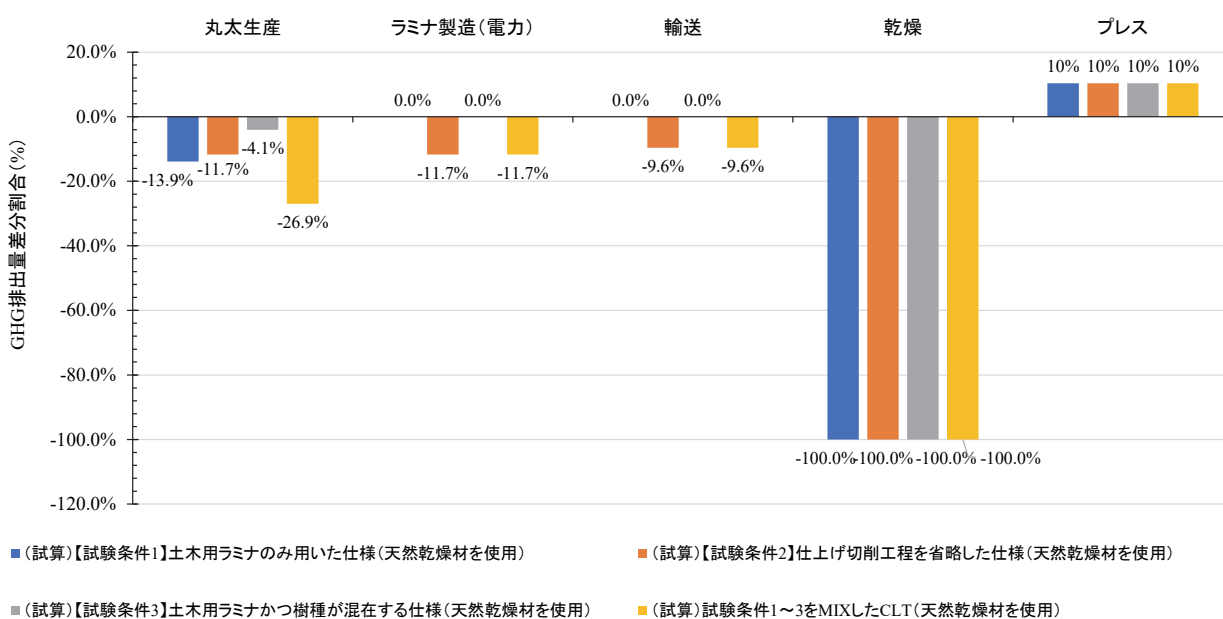


図 4.1-5 建築用 CLT をベースラインとした際の各試験条件における製造工程ごとの GHG 排出量差分割合(試算)

### (3) 土木用 CLT(圧縮方法の変更)

CLT 製造工程の簡略化を目指し、真空プレスによる接着方法または木釘による接合方法が検証されている。そこで、真空プレス接着と木釘接合における GHG 排出量を算定した。真空プレス接着では、通常のプレス機を用いた接着と比べて電力使用量が少ないため、GHG 排出量の低減効果が期待される。木釘接合では、プレスそのものを行わず、さらに接着剤も使用しないために、さらなる GHG 排出量の低減効果が期待される。

接着・接合工程における算定結果を図 4.1-6 に示す。木釘接合は接着剤やプラスチック製資材等を使わないために、真空プレス接着よりも GHG 排出量が少ない結果となった。

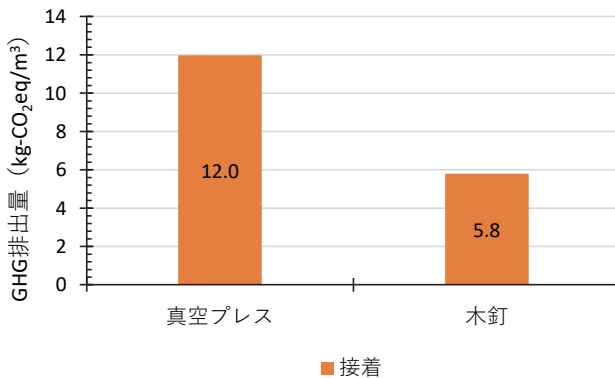


図 4.1-6 圧縮方法の変更による GHG 排出量算定結果(接着工程のみ)

### (4)土木用 CLT(丸身ラミナの利用)

CLT 製造の効率化及び低コスト化を目指し、小径木ヒノキからとれる丸身ラミナ(丸太からラミナの歩留まりを向上させるため、丸太の丸身部分を一部残した状態のラミナ)を活用した CLT 製造方法が検証されている。3 層 3 プライの CLT において、外層にヒノキ丸身ラミナを使用し、内層にスギ通常ラミナまたはヒノキ通常ラミナを用いた土木用 CLT の GHG 排出量を算定した結果を図 4.1-7 に示す。ヒノキ丸太はスギ丸太に比べて丸太製造時の GHG 排出量が多いが、丸身ラミナを使用することにより歩留まりが向上し、ラミナ製造による GHG 排出量はヒノキのみを使用したヒノキ丸身ラミナ CLT が若干少ない結果となった。

丸身ラミナを利用することにより、通常はラミナを複数枚とることができない小径木を効率的に利用して CLT を製造することができ、丸太の有効活用につながることを期待される。

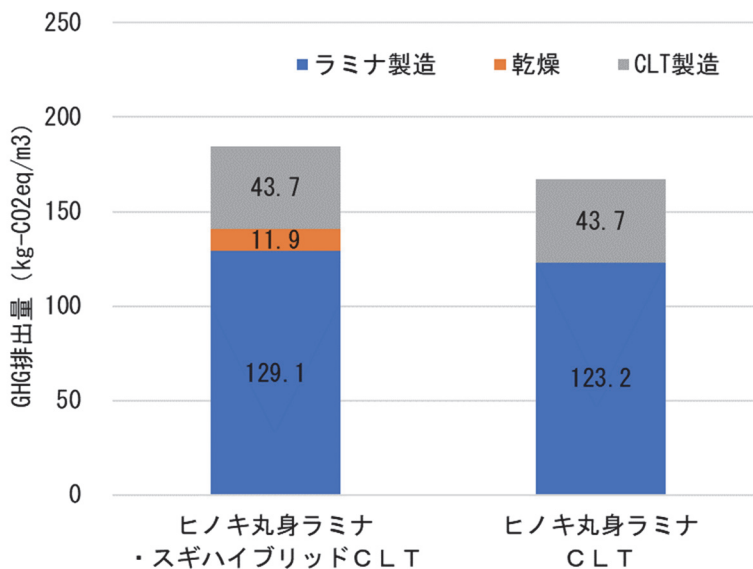


図 4.1-7 GHG 排出量算定結果

### (5)CLT 敷板

CLT をダンプトラックの走行や重機の稼働を伴う工事現場の敷板として繰り返し利用する実証試験(工事)を実施されている。過年度の試験において、使用によってCLT 敷板の割れや欠けが見られたことから、今年度はCLT の端部を鋼製のフレームで補強した CLT 敷板の試験を行った。そこで、端部補強した CLT 敷板と、過年度の試験で使用した面取りや敷設のための吊り加工をした CLT 敷板を対象として、製造・加工段階の GHG 排出量を算定した結果を図 4.1-8 に示す。

端部補強をした場合の GHG 排出量は 570.5 kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> であり、面取り等の場合の 219.2 kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> と比較して、160%増加する結果となった。端部補強をする場合は、L 字アングル(鋼板)を使用するため、その分 GHG 排出量増加が増加した。ただし、端部補強は CLT 敷板の繰り返し使用回数を増加させるためのものであり、端部補強をすることによって繰り返し使用回数が面取り等の場合の 2.6 倍になれば、製造時の GHG 排出量の増加分は相殺できることになると考えられる。

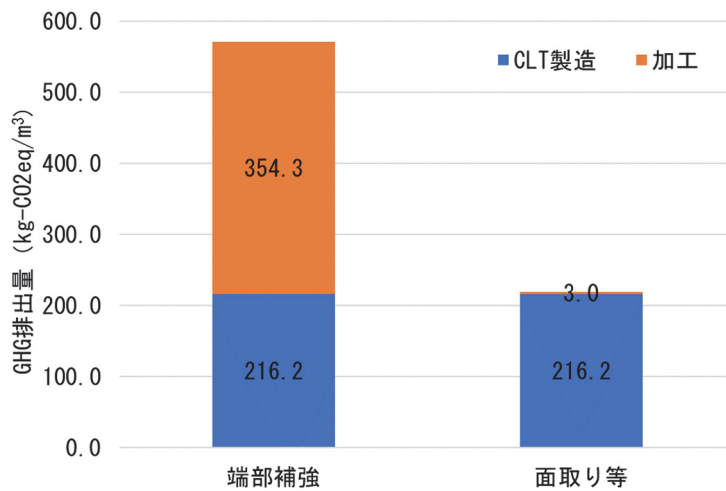


図 4.1-8 CLT 敷板(端部補強)と CLT 敷板(面取り等)の GHG 排出量算定結果

## 4.2 今後の展望

本年度は、経済評価として、CLT を用いた防雪柵およびプラットフォームのビジネスモデルの構築、CLT 敷板の製造に伴う経済波及効果の分析を行った。また、環境評価として、板状地盤補強技術、CLT 敷板の端部補強、土木用 CLT の評価を行った。

以上の成果を踏まえ、今後の研究課題として以下を挙げる。

### ①経済評価

- ・具体的な事業計画の作成

本年度の調査対象とした防雪柵、プラットフォームでは、現時点では CLT 製品の製品開発・実証実験の段階にとどまっており、まだ市場化されていない。そのため、製造拠点や輸送ルートなどを具体化した事業計画を作成し、収支予測を行うには至らなかった。本年度の調査で整理した CLT 製品の特色および他材料の製品との比較結果を踏まえて、導入規模を推計し、具体的な事業計画を作成することが今後の課題となる。

- ・ライフサイクル全体での経済波及効果の分析

本年度の分析は、CLT 敷板の製造段階のみを対象とした分析となった。利用・廃棄・リサイクル等の各段階も踏まえた製品のライフサイクル全体での経済波及効果を分析することが、今後の課題となる。

### ②環境評価

- ・評価バウンダリーの統一

CLT 敷板の端部補強した CLT 敷板の評価では、製品製造時のみを対象とした評価となった。端部補強することによって製品の耐用年数が延びることが期待されることから、長寿命化の効果を検証し、CLT 敷板の繰り返し利用による環境負荷を分析することが今後の課題となる。

- ・機能単位の統一

本年度の分析では、面積当たり、体積当たりなど、物理量当たりの環境負荷を比較しており、開発した土木用 CLT の性能を評価結果に反映できていない。例えば、高い強度を実現するには、追加的な資材・エネルギー投入が求められ、環境負荷量が増大する可能性がある。そのため、製品の性能を踏まえて、機能単位を統一した環境負荷量を分析する必要がある。その結果を基に、利用用途ごとの要求性能に応じた土木用 CLT の提案に結びつけることが今後の課題となる。

これらの課題を踏まえて、CLT 利用による経済面および環境面における効果を分析し、CLT 利用の付加価値を定量化することが求められる。これらのデータによって、土木利用に限らず CLT 利用の拡大、そして木材需要の増大につながることを期待される。

