

CLTと木構造の未来

京都大学生存圏研究所 五十田博



Hiroshi ISODA
Research Institute for Sustainable Humanosphere Kyoto University, Japan



自己紹介:略歴

平成4年 信州大学工学部社会開発工学科助手

平成9年 建設省建築研究所第三研究部

平成12年 カリフォルニア大学サンディエゴ校

平成13年 独立行政法人建築研究所

平成16年 信州大学工学部建築学科准教授

平成23年 教授

平成25年 京都大学生存圏研究所教授 現在に至る

最近のお仕事:講演活動、設計法(CLT、混構造)、審査(判定会、適判、その他)、地震時安全性の研究

講演活動 木材利用と地震に強い住宅の話が半分。専門家向けが多いが一般向けの講演も

深読みチャンネル

日本とのパートナーシップで、次の世をそだてる。

トップ 記事一覧

生活

日本のオフィス街に木造高層ビルが立ち並ぶ日は来るか?

京都大教授 五十田博

2016年07月12日 15時00分

国や林業界が今、熱い視線を送っている新しい建築用木材がある。CLT(クロス・ラミネテッド・ティンバー、直交集成板)と呼ばれる厚板パネルだ。従来の木材では難しかった高層建築物にも利用でき、欧米ではすでにCLTを使った木造ビルがいくつも建っている。なかには80階建ての構想も。日本でも建設事例が増え始めており、2020年東京五輪・パラリンピックのメイン会場となる新国立競技場(杜のスタジアム)にもCLTが採用される見通しだ。日本でも、鉄筋コンクリートに代わって木造の高層ビルがオフィス街に立ち並ぶ時代がやってくるのか。CLTに詳しい京都大学生存圏研究所の五十田博教授が解説する。

イギリスで80階建てビル構想

2009年、イギリスで9階建ての集合住宅が建設された。13年、オーストラリアで10階建ての集合住宅が、イタリアでは9階建ての公営住宅が建設。カナダでは

読売オンライン
深読みチャンネル
CLT
五十田

っていったキーワード
で引っかけます

CLTパネル工法 告示 解説書、設計マニュアル



10年位前から つい最近まで



カナダ バンクーバー 18F
オーストリア ウィーン24F

建物の高さとブリティッシュコロンビア州の建築基準



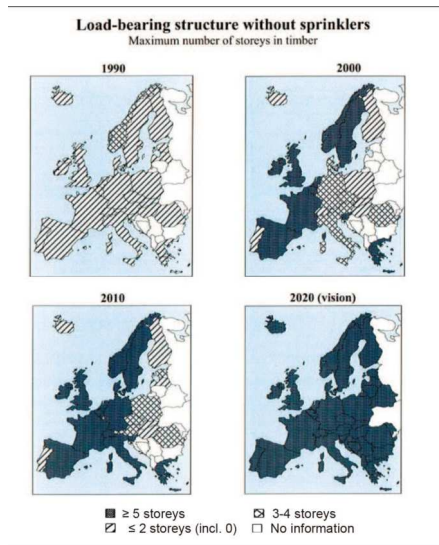
海外の法令は厳しくない？

耐火安全性と建物階数の考え方？

技術的な進展？

政治的な判断？

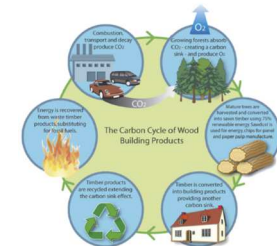
過去の経緯？



Östman B, Mikkola E, Stein R, Frangi A, König J, Dhima D, Hakkarainen T, Bregulla J. Fire safety in timber buildings, Technical guideline for Europe, 210 pages. SP Technical Research Institute of Sweden, SP Report 2010:19.

Cross Laminated Timber (CLT) structures are becoming more and more popular in Italy over the last years, especially for low- to medium-rise residential buildings and for schools, due to the substantial advantages over more traditional structural systems like masonry or reinforced concrete:

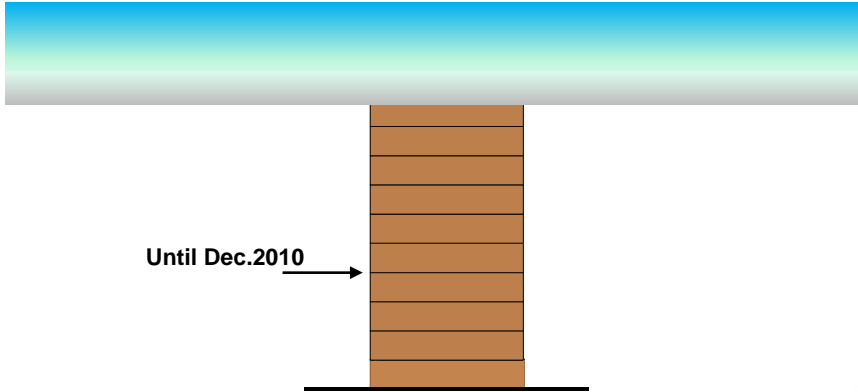
- Sustainability (持続可能性)
- Speed of construction (施工期間の短さ)
- Energy efficiency (エネルギー資源効率)
- Seismic safety (耐震安全性)
- The transportation cost of the CLT panels from the factories of the main European producers (located in Austria and Germany) is relatively low in northern Italy



construction costs comparable to those of traditional masonry and reinforced concrete construction but with a better overall performance.

Since 2011

No limitations on the maximum number of storeys exist in Italy for timber buildings in earthquake-prone regions.



FP Innovations
Vancouver BC, December 9th 2014

Design of mid-rise CLT Buildings for Lateral Loads: European Experience

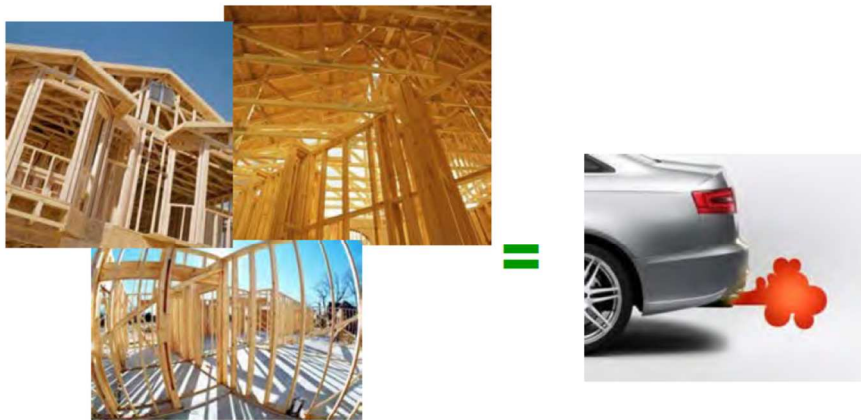
Eng. Davide Vassallo

The Story of Wood – Wood Carbon Cycle



Adapted from California Forest Products Commission

Climate Change: The Role of CO₂



2,400 sf home = 32 m³ structural wood = 29 metric tons CO₂ = 5.7 passenger annual emissions

Source: FP Innovations

Climate Change



Waugh Thistleton

**Stradthaus – 24 Murray Grove
London infill project
29 flats**
4x less weight than concrete
~1/2 construction time of precast concrete
(saved 22 weeks 30%)
Saves 300 metric tons of CO₂
21 years of building energy usage



THE CASE FOR Tall Wood BUILDINGS How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures FEBRUARY 22, 2012 PREPARED BY: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; Equilibrium Consulting; LMDG Ltd; BTY Group



オレゴン州ポートランド
 8階建て コンドミニウム
 鉄骨造のセンターコア
 柱集成材 被覆なし
 梁集成材 被覆なし
 床CLT 天井面は被覆なし



2020年 10階建ての振動台実験 準備研究 2階建て 20階建てに向けて



米国 サンディエゴ
 屋外の振動台



18階建て(2017年7月15日現在)ほぼ完成
 木材を被覆し化粧木材をつけて木造らしく





<http://www.archdaily.com/787673/construction-of-the-worlds-tallest-timber-tower-is-underway-in-vancouver>



<http://www.sciencemag.org/news/2016/09/would-you-live-wooden-skyscraper>

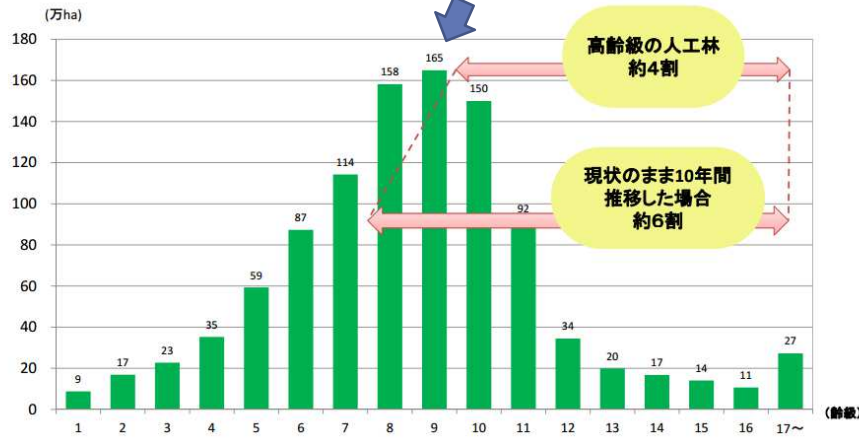
カナダ18階建て
水平力負担はRC造コア
鉛直力は集成材/床はCLT
フラットスラブ/柱同士を接合し、床を介さず
に鉛直荷重を伝達



森林・林業白書 平成25年度版

日本の事情

人工林の齢級別面積



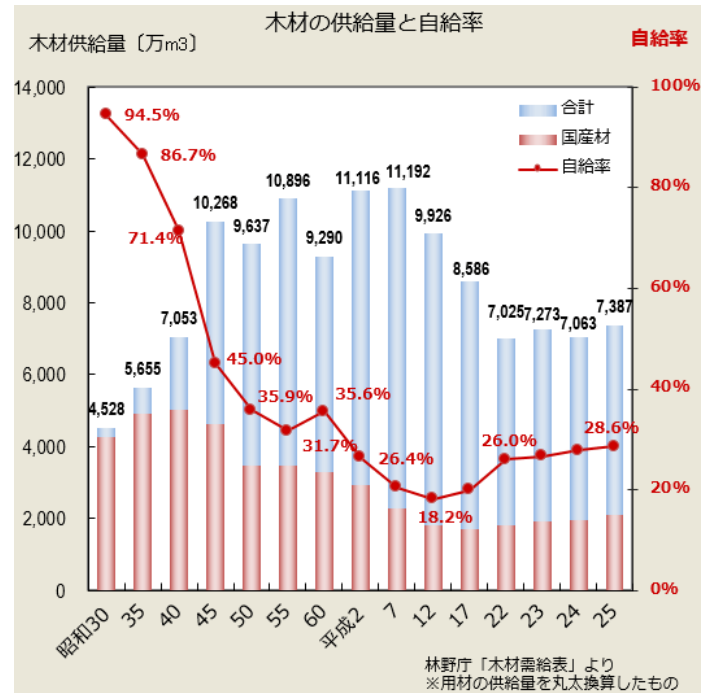
(平成19年3月31日現在)
(10年後)

戦後木材が枯渇して植林した人工林

高齢級の人工林 約4割

現状のまま10年間 推移した場合 約6割

資料：林野庁業務資料
注：1) 森林法第5条及び第7条の2に基づく森林計画の対象となる森林の面積である。
2) 平成19年3月31日現在の数値である。
※年齢級・・・林齢を5か年をひとくりにし、まとめたもののこと。林齢1～5年生を1年齢級、6～10年生を2年齢級、以下3年齢級・・・と称する。



林野庁「木材需給表」より
※用材の供給量を丸太換算したもの

森林・林業基本政策検討委員会の最終とりまとめの骨子

改革の方向

1. 森林計画制度の見直し
2. 適切な森林施業が確実に行われる仕組みの整備
3. 低コスト化に向けた路網整備等の加速化
4. 担い手となる林業事業者の育成
5. 国産材の需要拡大と効率的な加工・流通体制の確立
6. フォレスター等の人材の育成

新成長戦略
21の国家戦略プロジェクト

PDCA サイクルによる検証
改革内容の改善

・ 計画的な森林施業の定着
・ 集約化と路網整備の進展による
低コスト作業システムの確立

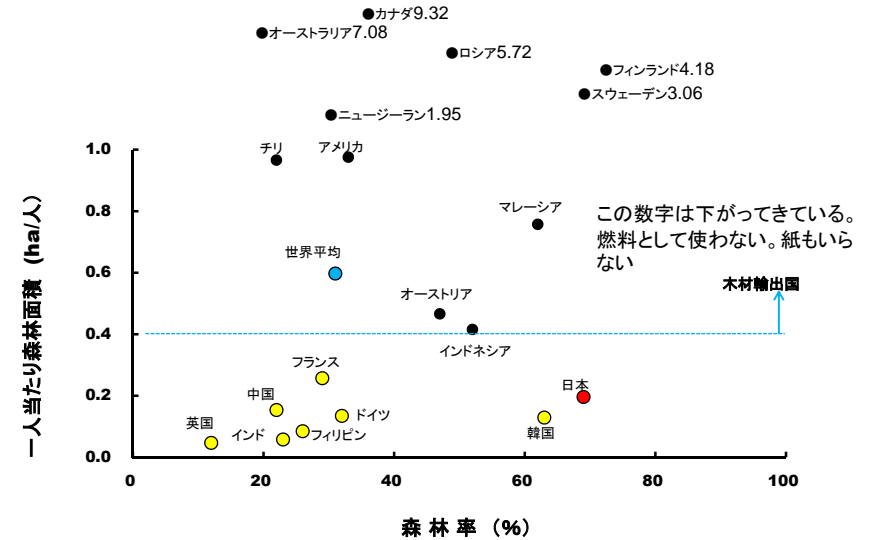
持続的な森林経営の確立
国産材の安定供給体制の構築

10年後の木材自給率50%以上

森林の多面的機能の発揮、雇用創出、山村地域の活性化、低炭素社会構築への寄与

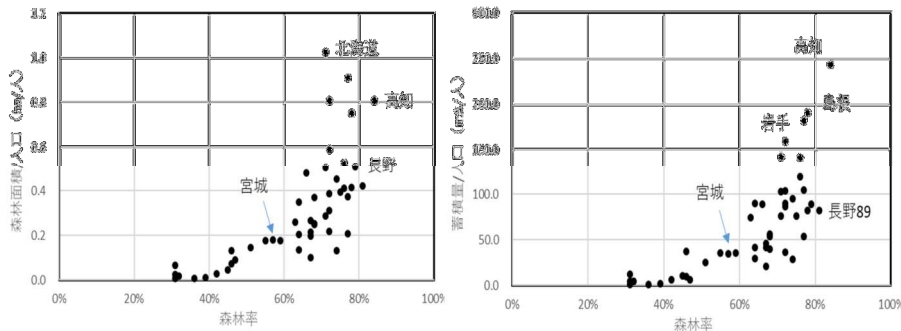
森林・林業白書 平成23年度

各国の森林率と国民一人当たり森林面積



(「森林・林業統計要覧2011」より作成)

日本における森林率と森林面積、蓄積量



木材需要量(パルプチップ含め)=7,386万m³
 総蓄積量 488,717万m³ 年間蓄積量 約8,000万m³
 総人口=1,2700万人 需要量/人口=0.58m³/人

木材自給率 30% 木材が余っている 高齢級の木材がどんどん蓄積されている

2000年⇒現在⇒10年後

2000年: 建築基準法性能規定化

建設省総合技術開発プロジェクト「木質複合建築構造技術の開発」(1999~5カ年+フォローアップ2年)

現在: 平成22年10月1日「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」

木材の有効利用: CLT
データベースと標準化

大空間の建物を建てた 1990年代

中層階(4階建て)で大規模へ 2000年以降

将来: ? どうなるか? どうしたいか?

1990年ごろから:新木造



1988		瀬戸大橋博覧会・ 四国イベントプラザ (空海ドーム)		横浜博覧会・横浜館
1989		東京キリスト教学園・ 礼拝堂		木造ドームへの 挑戦
1990		鹿島建設技術研究所・ 振動台実験棟		
1992		出雲ドーム		木質大空間の 出現
1993		信州博覧会 グローバルドーム (やまびこドーム)		鹿島建設HPより
1996		長野市オリンピック 記念アリーナ (エムウェーブ)		ハイブリット 木造ドームの 創造

新木造以前

- 1920年代～戦後まで
新興木構造(ドイツ飛行機の格納庫、軍事施設ジベル)丹下健三
御茶ノ水岸記念体育館(1941年)
1943年建築雑誌は新興木構造の論文一色
戦後 1947年 前川國男 新宿紀伊屋書店は特殊で、このころから木造は住宅へ
⇒木材で建てるしかなかった時代。そして、利用過多による木材の枯渇と鉄やコンクリートで建てる建物へ



<http://www.toshima.ne.jp/~esashi/shockphot.htm>

耐火規定の緩和の歩み

1987 準防火地域内の木造3階建て住宅建設可（準防木三戸と呼ばれる住宅(共同住宅ではない)のもの）

1992 簡易耐火をやめて、準耐火建築物として定義
防火・準防火地域以外での木造3階建て共同住宅の建設が可能(1時間準耐火構造)

1997防火地域以外での木造3階建て共同住宅の建設が可能(1時間準耐火構造)

2000 木造でも耐火建築物建設が可能

2015 木造3階建て学校等の建設が可能(1時間準耐火構造)
3000m²超の木造建築の建設が可能(壁等(防火壁をさらに強化した壁)の設置)

火災実験を実施して 性能を検証



10年前から現在に至る状況 耐火木造

中層木造建築物を取り巻く環境



木造でも耐火性能を備えた部材が開発をされ2005年度以降建設が盛んにおこなわれている。



丸美産業ビル



サウスウッド



Mビル



東部地域振興ふれあい拠点施設



ウッドスクエア



5階建てビル新築工事 ～耐火ハイブリッド部材～



日本集成材工業協同組合提供
齋藤木材工業株式会社

燃え止まるとは、何か

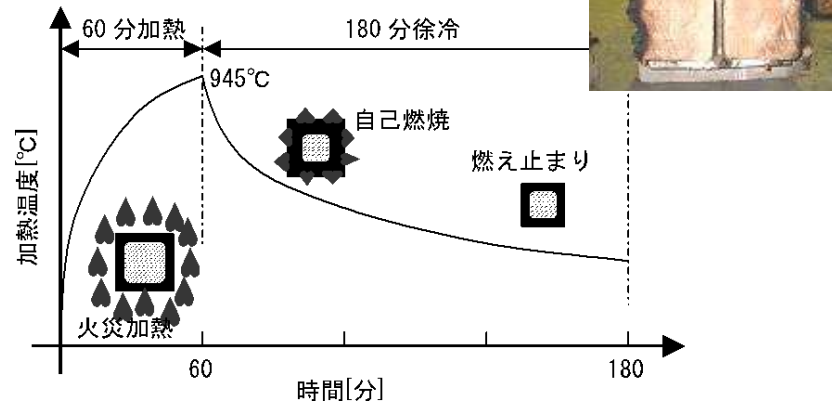


図5 木材は可燃物であるため、一度着火すれば燃え尽きるまで燃焼が継続する。
 「燃え止まり現象」は着火している材が燃え尽きる事なく自然に鎮火して火種がなくなる現象。

柱 はりなどの耐火部材



工事中



竣工

2005年8月



写真提供：日本集成材工業協同組合

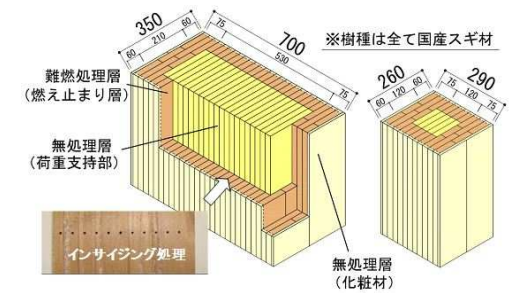
内観



写真提供: (株)エヌ・シー・エヌ

FRウッド 木材で構成された耐火集成材

- レーザで木材に穴をあけ(レーザーサイジング), 難燃薬剤を注入した耐火集成材
- 東京農工大学 服部教授+鹿島建設+森林総合研究所+民間企業



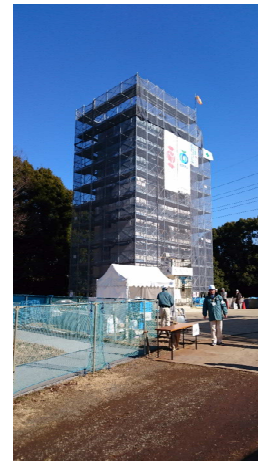
枠組壁工法



川崎区 4階建て共同住宅

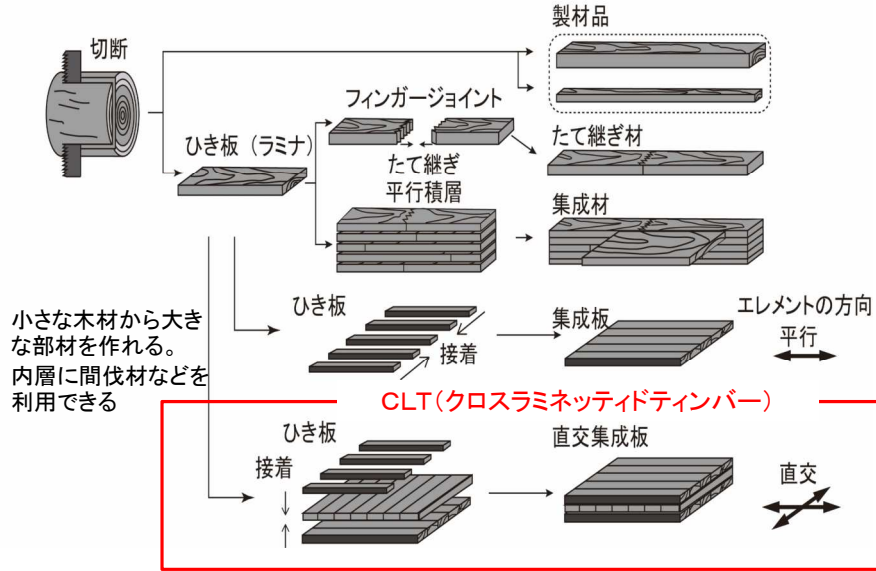


枠組壁工法 6階建て



高層木造も技術によってもっと建てやすい環境へ

建築に使われる木材



第 I 部 CLTを用いた建築物の概要

ぶろぼの福祉ビル(奈良県奈良市)



写真撮影:ぶろぼの

名称	ぶろぼの福祉ビル
竣工	2016年7月
延べ床面積	971.54m ²
使用したCLT	137.84m ³
CLT利用部分	2~5階の壁
CLTサイズ	120(3層4プライ)、210(5層7プライ)×2,400×2,700mm
構造	1階:RC造、2~5階:木造
用途	障害者福祉施設
所在地	奈良県奈良市大宮町3-5-41
設計	(有)浅田設計室
施工	木大優殖産(株)
特長	都市部での準防火・防災地域内での木造建築として求められる1時間耐火、設備機器を屋上配置としたトップヘビー構造。木造建築が苦手とする壁が少ないワンルーム空間で構成。

第 I 部 CLTを用いた建築物の概要

高知県森連会館(高知県高知市)

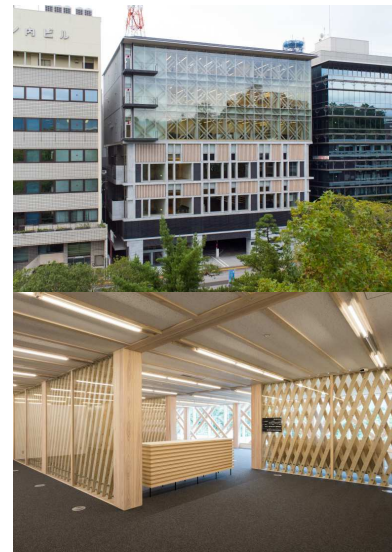


写真撮影:ふつう合班

名称	高知県森連会館
竣工	2016年3月
延べ床面積	1209.73m ²
使用したCLT	315.90m ³
CLT利用部分	床91.70m ³ 、壁106.60m ³ 、屋根117.60m ³
CLTサイズ	150 / 180 × 1200 × 4,000~6,000m
構造	在来軸組構法
用途	事務所
所在地	高知県南国市双葉台7番1, 2, 3
設計	ふつう合班(鈴江章宏建築設計事務所、界設計室、Oケンチクジムシヨ)
施工	(株)岸上工務店
特長	木造軸組工法+CLTの利用。CLTは壁の耐力壁としての利用を図るとともに、大臣認定の取得により、CLT現しによる準耐火構造の壁としている。この他、床や屋根の軒にもCLTを採用。

第 I 部 CLTを用いた建築物の概要

高知県自治会館新庁舎(高知県高知市)



写真撮影:西川義章

名称	高知県自治会館新庁舎
竣工	2016年9月
延べ床面積	3,648.59m ²
使用したCLT	46.9m ³
CLT利用部分	耐力壁、間仕切壁、可動間仕切、移動間仕切
CLTサイズ	耐力壁T150×H3450×W2070~2685、その他T90
構造	1~3階:RC造、4~6階:木造軸組構法
用途	事務所(庁舎)
所在地	高知県高知市本町4-1-35
設計	(設計・監理) 榊細木建築研究所 (構造) 桜設計集団 一級建築士事務所、縦建築事務所 (設備) 榊アルティ設備設計室
施工	(株)竹中工務店 四国支店
特長	1階2階の中間に免震層を設け、1~3階がRC造、4~6階が耐火木造の中層庁舎ビル。木造部分の耐震要素は木材を木製ブレースと面材耐力壁で構成し、高耐力を必要とする面材耐力壁にCLTパネルを使用。

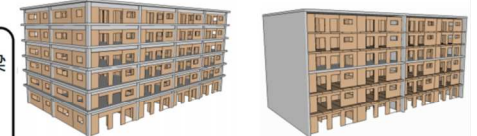
5. 研究開発課題 1(1)

1(1) CLT等+他構造種別による混構造、木質系の他の構法との工法の混用による架構の構造設計法の検討

- ①水平・鉛直方向の耐火向上の区画を考慮して木材をあらゆる軽微な耐火被覆で用いることのできる中層木造建築物のプロトタイプ¹の構造設計法について実験・解析等による技術資料の整備 ※耐火分野との連携

混構造のバリエーション

- ①異種構造部材による構造
(CLT+RC、CLT+鉄骨、CLT+CFT^{*1}柱+鉄骨梁RC+S)
- ②木質系の異種構法による構造
(CLT+集成材構造、CLT+枠組壁工法)
- ③耐火に配慮した新たな構法
(CLT+RCの耐火構造の床、メガストラクチャ)

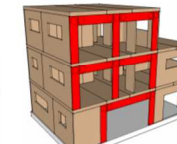


RC柱・梁+CLT袖壁
(建設後の可変性)

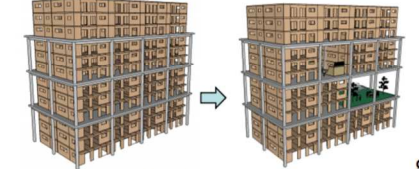
RCメガストラクチャ
+ RC・CLT床 + CLT袖壁

混構造建築物における各材料の長所

木質材料	鋼材	RC
省CO ₂ 軽量 可変性	高強度 高靱性	高強度 耐火性能



集成材構造+CLT



RCメガストラクチャ + 木造 (可変性)

成果：混構造建築物のプロトタイプ¹の構造設計ガイドラインの作成

^{*1} CFT:コンクリート充填鋼管構造

資料3
事前評価

新しい木質材料を活用した 混構造建築物の設計・施工技術の開発

研究期間：平成29年度～平成33年度

海外の木造・木質構造

海外の事例をみると、

- 木造・木質構造 △
- 木材の利用方法 △
- 木材を利用した混構造 ◎

キーワード：

- 資源循環材料の有効利用・環境問題 ○
- 適材適所での利用 ○
- 工期短縮 ○ ⇒コストに関連
- 資材としてのコスト △
- 軽量化(杭基礎の簡易化) ○



ポートランド 5階建て
1階RC造、2～5階鉄骨造
木床(天井面は被覆なし) どうせなら鉄骨の
プレースを木に置き換えたい。



Seismic Design of Cross-laminated Timber Buildings (CLTの耐震設計)

- アメリカ、カナダ、イタリア、ニュージーランドの研究者とCLT耐震設計について共同執筆
- 彼らからの疑問

CLTのグレードはいちグレード？

ルート1 壁の耐力10kN？

ルート3 構造特性係数が大きすぎる？

(靱性係数が小さい！)

パネル工法はラミナ厚さが制限？



安全率を高くてほどほど設計。一方で現在の無等級材は強度が高すぎる正確性、厳密性を求めない方向性もあるのではないか。研究⇄実務設計
一方で 木材はばらつきが大きいというが、地震動のばらつきに比べたどうか？

伝えていないこと

- 2方向版の利用ができるようになったのは最近
- 樹種も限定されている。
- 内層、外層が対称形
(単純ばりなんだから下に強いラミナ)
- 接着剤の制限

CLTを活かした建築を目指して

新開発の「オリジナルCLTコア構法」

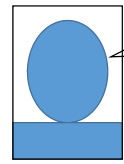
「オリジナルCLTコア構法」の開発に関わったメンバーはライフデザイン・カバヤ(株)のほかには、京都大学の五十田博教授、広島大学の森拓郎准教授、CLTパネルメーカーの銘建工業(株)(岡山県真庭市、中島浩一郎社長)、接合金物メーカーのBXカネシン(株)(東京都葛飾区、二村一久代表取締役)、エンジニアリングコンサルタントの株構造計画研究所(東京都中野区、服部正太社長)の6者で構成。緻密に計算された配置により、CLTパネルを適所に配置し、構造強度を変えることなく開放的で自由な間取りを実現することが可能となった。



ライフデザインカバヤHPより

エルエルアイ出版 プレカットユーザーより



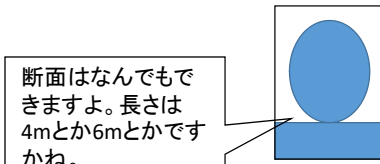


設計するのに断面のリストとかほしいんだけど。

設計者
(木造初心者)

はば200でせい
400のはりで設計
したけど。あと
E150くらいほしい

木造面倒だから
やめよう!



断面はなんでも
できますよ。長さは
4mとか6mとかです
かね。

材料供給

はば200は時間か
かりますね。400だ
と集成かな

はば200は105の
幅はぎで210、せい
390でどうですか？
でもE150はあつま
らないのでE105くら
いで

集成メーカー

古き良き時代は時間の
流れが違った。
いまはほしいと思ったら
すぐ入手
即日お届けサービス!



関西広域木造建築普及促進協議会 情報共有のためのプラットフォーム

③プラットフォームを構成するにあたり

まずは情報交換、プラットフォームがないと話が始まらない。

- ・建築側から木材供給者側への要望
- ・林産系の方から建築側への要望

何をどう進める。単なる情報交換ではダメ⇒先行してやっている見本事例があるか？(実はこんなことをいっているようだからダメ)

公共建築物における木材利用促進の課題

<公共建築物における木材利用の促進に関する基本方針>
平成22年農林水産省・国土交通省告示第3号

1. 基本的方向 (3) 関係者の適切な役割分担と関係者相互の連携

○木材製造業者その他の木材の生産又は供給に携わる者、設計者等にあつては、相互に連携しつづ、ニーズを的確に把握するとともに、高品質で安価な木材の供給及びその品質、価格等に関する正確な情報の提供、木材の具体的な利用方法の提案等に努める。

○公共建築物における木材の利用の促進を図るためには、**木材生産者又は供給者と設計者等の相互の連携が必要**

- ・高品質で安価な木材の供給
- ・木材の品質、価格等に関する正確な情報の提供
- ・木材の具体的な利用方法の提案

○連携が図られないと、品質が確認出来ずかつ高価な公共建築物となり、木材利用促進への波及効果が期待薄

木造化を図る建築物の考え方

本当化の対象となる公共建築物 (公共建築物木材利用促進法基本方針)

◆公共建築物のうち積極的に木造化を促進するものは、建築基準法その他の法令に基づき基準において耐火建築物とすること又は主要構造部を耐火構造とすることが求められていない**低層の公共建築物 (3層以下)**
(災害急対応活動に必要な施設など、木造化になじまない又は木造化を図ることが困難と判断されるものは除く)

法施行の效果	組織課題
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 木造化意欲が醸成 ✓ CLT、木質耐火部材等の開発の進展・普及 ✓ 中大規模・耐火木造の確かな盛り上がり 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 非木造に比べて耐高積向 ✓ 耐火建築物は相当のコスト費 ✓ 耐火建築物などの既製品が無い ✓ 非木造との優位性、経済性、耐用性等の評価手法が未確立

当面の対応

➢ 純木造らしさのある建築物が望まれる一方、期待値が上がり過ぎると木造化が進まないおそれもあり、中庸かつ堅実な木造化も普及していく必要

➢ 構造耐力上主要な部分の一部への木材利用など、建物の規模・形状・用途等を勘案し、平面・立面部構造も含めて適切な構造を選定。

京都府の木で
木造建築物を
建てるための
イロハ

中大規模建築物に
京都府産の木材を
使う手順書

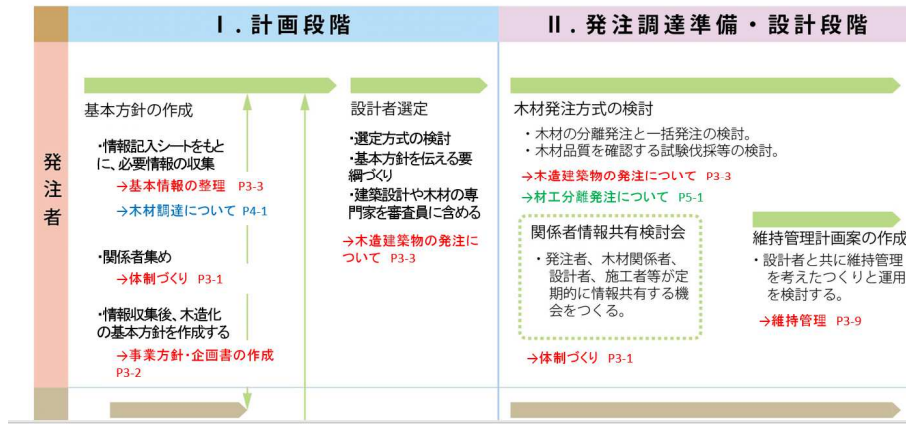
一般建築物への応用も可能!

- 京都府産材利用のメリットを知る
- 木材調達時に頼れる組織は?
- 構造計算ルートでわかる使用条件
- 耐震・耐火構造は大丈夫?
- 京都府産材の権限と認証制度

新木造のころ の 記事を読むと

- 杉山英男 2つの技術的問題
- 集成材の強度の保証と価格：
- 集成材メーカーが(中略)クローズド作業をしているようでは北米の集成材と価格競争できるはずがないのである。
- 接合部：
- (前略)プレート金物の規格品がないため、設計者は設計ごとにそれらを特別注文しているのが実情である。(中略)国産の金具・金物プレートの発明、それらを用いた接合部システムの開発が強く望まれるゆえんである。

木造公共建築物等建設のための全体プロセス



新木造のころ 記事 その2

今川憲英: 欧米の模倣からスタートした木造ではなくて、洗練された計画にもとづく大規模建築がほしい。

安村基: 集成材の良さを活かして設計するというよりは鉄骨造の建物が頭にあって、それを集成材に置き換えるような設計が多い。木材の性質をよく知るデザイナーが増えれば日本の木造も変わる。

結局？

