

(資料1)

京大大学生存圏研究所 木質構造科学分野

教授、准教授＋小松幸平特任教授、林知行特任教授＋ 博士課程3人、修士課程5人

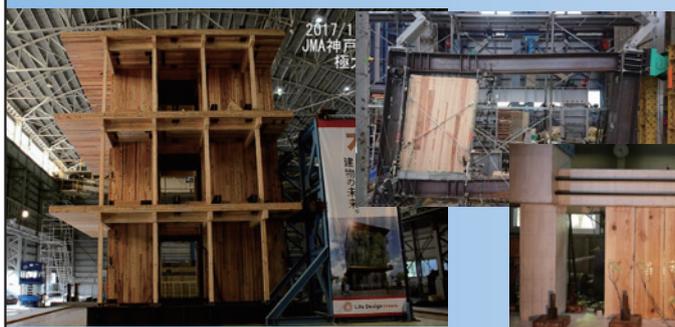


五十田博

- 中大規模木造の構造特性の把握、構造設計法にかかわる研究
- 木材を用いた建築構造の構法開発、構造特性把握、設計法にかかわる研究
- 木造建築（住宅、非住宅）の倒壊解析、性能設計
- Society5.0社会における木造建築物の性能評価手法に関する研究
- 加速度センサーを用いた地震時の損傷検知



中川貴文准教授



(資料2)

## 略歴 五十田博

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 信州大学工学部社会開発工学科(建築学科) 准教授

平成23年 信州大学工学部建築学科 教授

平成25年 京大大学生存圏研究所(農学研究科) 教授

最近のお仕事:(講演活動、)建物の審査、建築基準法令、木質材料等の評価・技術的支援、建築構造、木質材料に関する研究ほか

設計者ではない 私の役割 ⇒ 木質構造、木材を用いた建築構造の最新の情報の提供、木材の利用方法(構造分野、都市木造に係る比較的大規模)

(資料3)

## 最近の講演 過去(2000年以降)⇒現在⇒数年先？

～10年前

なぜ木造か？  
世界の木造の紹介  
木造建築の可能性  
CLTの可能性

CLTパネル工法 設計法 より合理的な設計法へ  
実験の様子 壊れ方 実験から設計法へ  
設計の概念 具体的な設計事例

～ 最近

建物の分類整理/  
木造と混構造

～ 将来

適用範囲拡大  
実施例

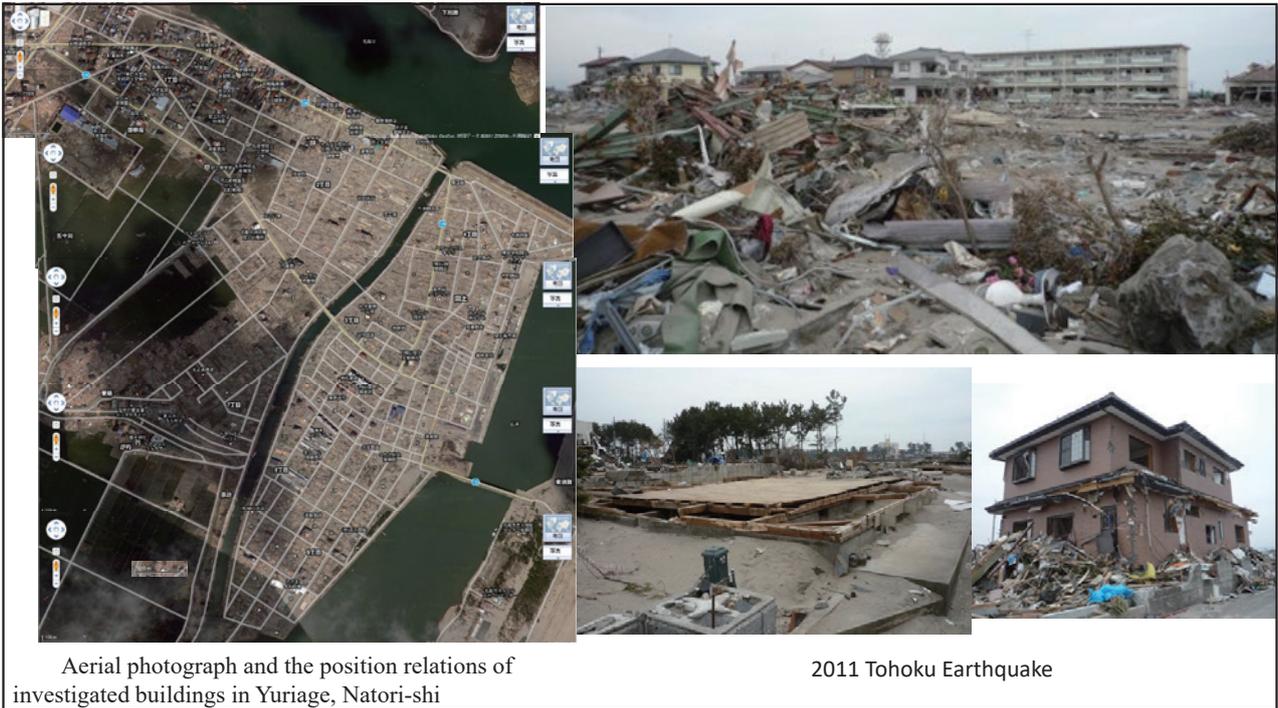
本日は日本の高層木造の  
取り組みとここに至る経緯、  
木材の特性と最新の研究に  
ついて概説



(資料4)



(資料5)



(資料6)

## ぼうさいこくたい2019「あなたが知りたい防災科学の最前線 －激化する気象災害に備える」

【開催日時】令和元年10月19日 16:30～18:00  
 【開催場所】名古屋市ささしまライブ24エリア メインホールB  
 【概要】日本建築学会を含む10学会等による市民を対象とした気象災害に対する最新の防災科学の紹介および情報交換  
 【講演内容】2018年西日本豪雨による被害と土砂災害警戒区域（広島大学・三浦弘之）

**斜面崩壊発生箇所(土石流・崖崩れ)**

**土石流を受けた建物の被害例**

**広島県における土砂災害警戒区域の件数・面積の推移**

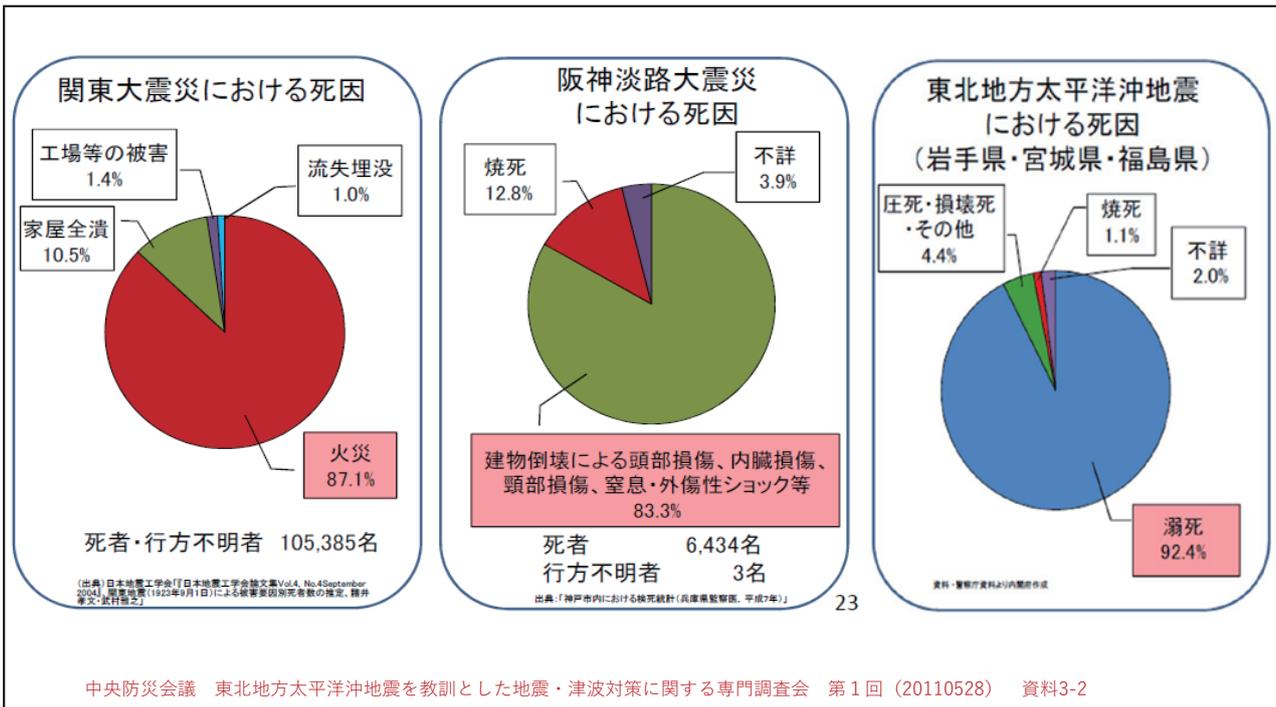
**警戒区域と被災建物の分布**

**報告内容**

- 2018年7月西日本豪雨災害による広島県内の土砂災害・建物被害の概要  
計8000箇所以上で土砂災害発生，建物被害は全半壊棟数約4000棟
- 土砂災害警戒区域の概要および指定件数・範囲の推移  
2003年から指定開始，土砂災害防止法改正の2015年以降に急増，広島県で約5万箇所
- 土砂災害警戒区域と建物被害の関係  
約半数の被害は警戒区域内で発生。河川下流の土砂氾濫が起きた地域は，警戒区域に指定されておらず，被害程度は小さいが，浸水範囲が広く被災棟数が多かった

広島大学・三浦弘之

(資料7)



(資料8)

## 木造建築

- このような被害を繰り返してきた木造建築をなぜ建て続けるのか？

不安？／不信？

- 一方で、木材の利用は国家的に推進されている動き

(資料9)

## 何が大事か！？

正しく理解する/正しい理解を進める  
そして普及を進める  
将来、負の遺産にならないように

- 構造設計者の力量(力量の種別):S A B C (技術、法令、ほか)
- 多くの情報が手に入る フェイクもある?(間違ったことを信じている)
- 一方で、技術を語っていた人が、人の技術に対して「それは法令違反です」というとびっくりする。

(資料10)

### Characteritis 木材の特徴 概要

#### 長所

- ① 軽いわりには強い Light and strong
- ② 資源が豊富
- ③ 切削加工が容易
- ④ 湿度調節機能
- ⑤ 持続再生可能な材料
- ⑥ 二酸化炭素固定能力

#### 短所

- ① 燃える Fire safety
- ② くるいが生じる Unstable
- ③ 腐る Decay
- ④ 強度的なばらつきが大きい Variation
- ⑤ 乾燥期間が必要 Seasoing

(資料11)

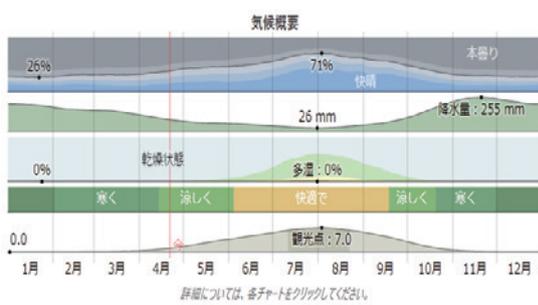


Eiichi Obataya, Shuoye Chen, Significant and reversible dimensional changes in hydrothermally compressed cedar wood and its potential as humidity-sensitive actuator. *European Journal of Wood and Wood Products*, Vol.77, No.6, pp. 1021-1028, November, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01463-2>.

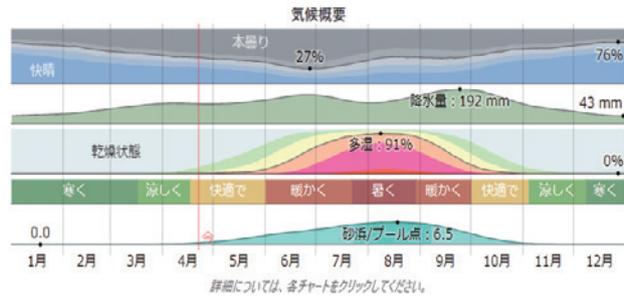
(資料12)

## 木材の腐朽

栄養素(木材そのもの) / 酸素 / 水 / 温度  
4つの条件がそろったとき



バンクーバー

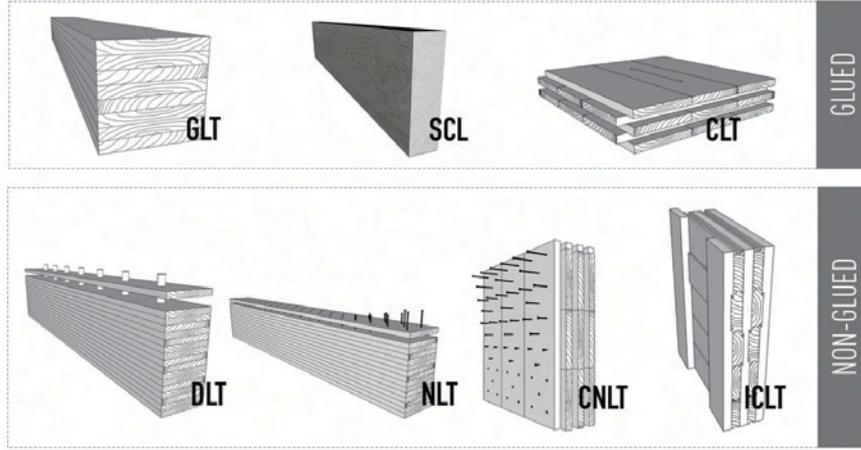


東京

<https://ja.weatherspark.com/y>

(資料13)

## マスティンバー Mass Timber

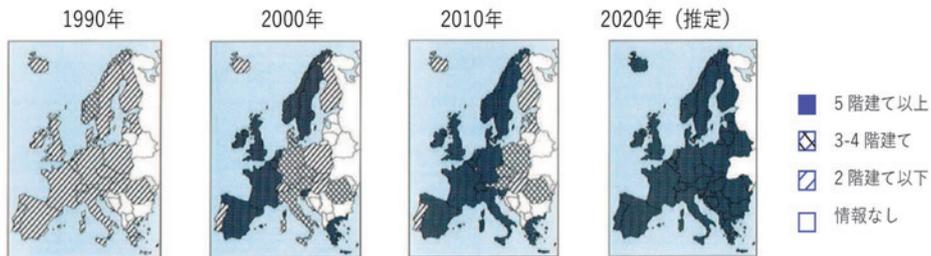


Ryan Smith, Associate Professor of Architecture at the University of Utah

(資料14)

Type of Construction	Height	# of Stories	Exposed Mass Timber	Sprinklers	Primary Frame FRR	Floor FRR	Stair Tower	Concealed Spaces
IV-HT <i>(Existing)</i>	85'	4-6	Fully Exposed	Yes	NR	HT	Mass Timber	Not Permitted
IV-C <i>Proposed</i>	85'	4-9	Fully Exposed	Yes	2 hours	2 hours	Mass Timber	Permitted
IV-B <i>Proposed</i>	180'	6-12	Partially Exposed	Yes	2 hours	2 hours	Mass Timber	Permitted
IV-A <i>Proposed</i>	270'	9-18	Fully Protected	Yes	3 hours	2 hours	Noncombustible	Permitted

ヨーロッパ アメリカ 18階建てまで可能に！



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.

(資料15)



10年位前から つい最近まで

(資料16)



Timber design and Technology  
カナダ バンクーバー 18F  
ノルウェー 18F

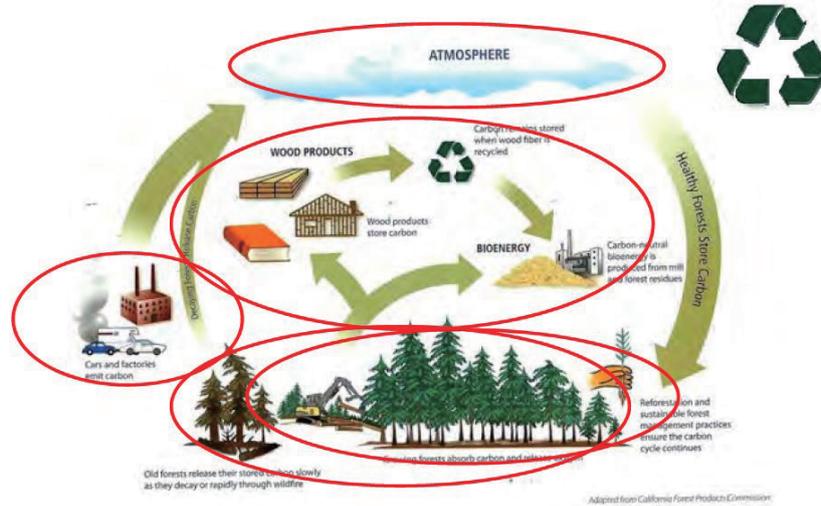


10年位前から つい最近まで

オーストリア ウィーン24F

(資料17)

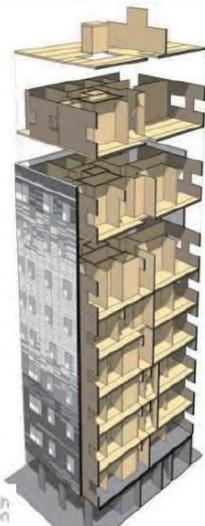
## The Story of Wood – Wood Carbon Cycle



11

(資料18)

## Climate Change



**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**



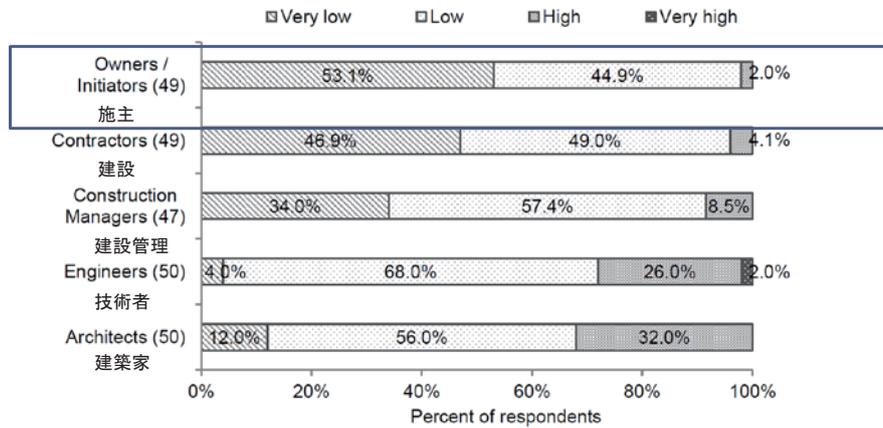
Waugh Thistleton

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

13

(資料19)

## CLTに対する認知度(ヨーロッパの調査)

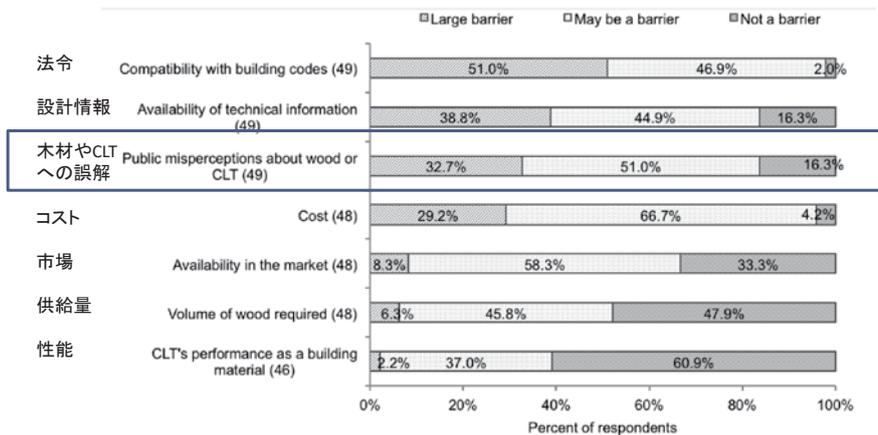


技術者 建築家は知っていますが、施主はあまり知りません！

Cross-Laminated Timber: Status and Research NEEDs in Europe  
Omar Esponzoa, Vladimir Rodriguez Trujollo, Maria Fernanda Laguarda Mallo, and Urs Buehlmann, Bio Resources 2016, 11(1)

(資料20)

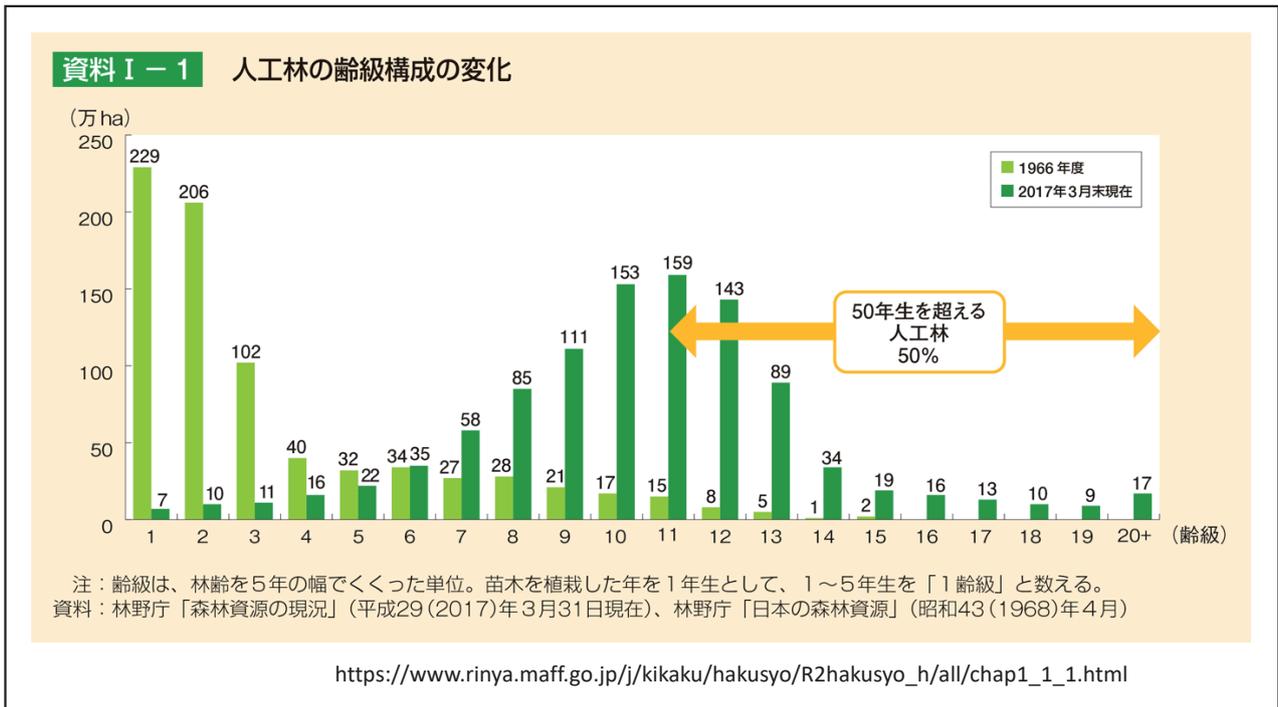
## CLT建築物の障害(ヨーロッパの調査)



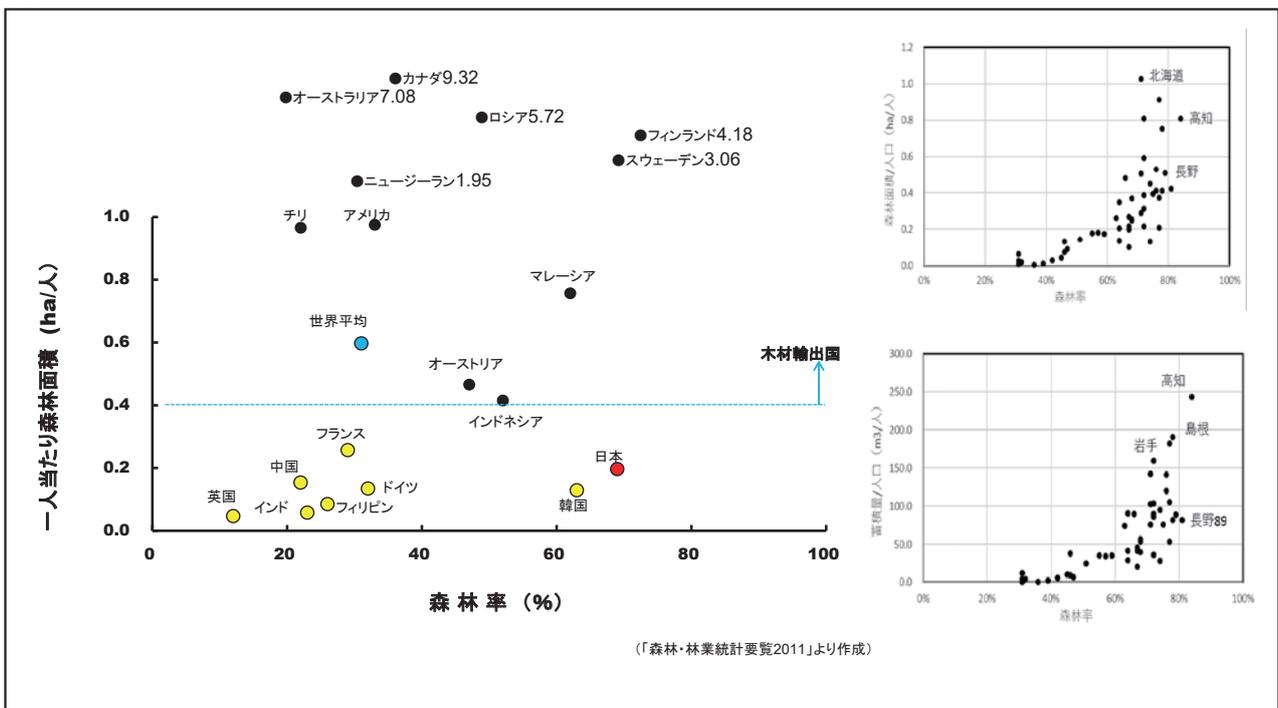
法令や設計情報やコストも障害になると思っていますが、木材やCLTに対する誤解もあります。性能は障害ではありません、

Cross-Laminated Timber: Status and Research Needs in Europe  
Omar Esponzoa, Vladimir Rodriguez Trujollo, Maria Fernanda Laguarda Mallo, and Urs Buehlmann, Bio Resources 2016, 11(1)

(資料21)



(資料22)



(資料23)

## 構造 機能性(常時)/地震/風/ほか(非常時)

- 不安／不信
- 技術を持って制する
  - 防耐火 Fire science
  - 地震 Seismic Engineering
    - 他構造＋木 木＋ダンパー なぜ反対？
  - 耐久性 木材を使う人は神話的？

(資料24)



(資料25)

### 燃えどまり型の事例 Mビル



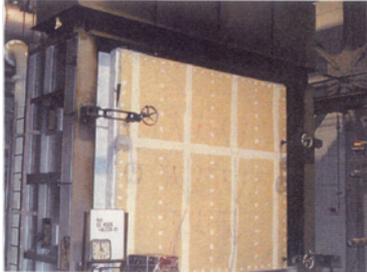
日本集成材工業組合提供

(資料26)

### 枠組壁工法 被覆型



川崎市の事例



耐火試験前



耐火試験後

(資料27)



## 2000年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

(資料28)

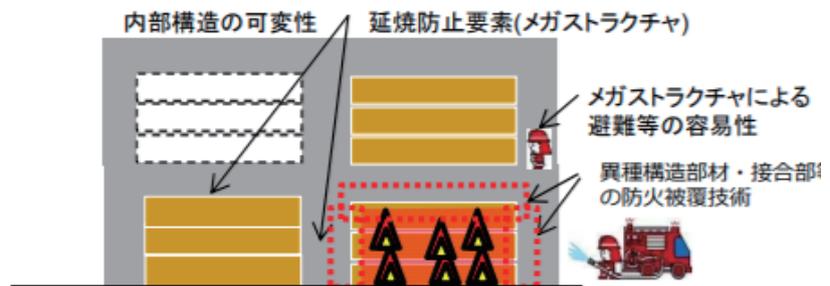
## 2017-2021 総プロ「新しい木質材料を活用した混構造建築物の設計・施工技術の開発」



RCメガストラクチャ + RC・CLT床 + CLT袖壁



RCメガストラクチャ+木造(可変性)

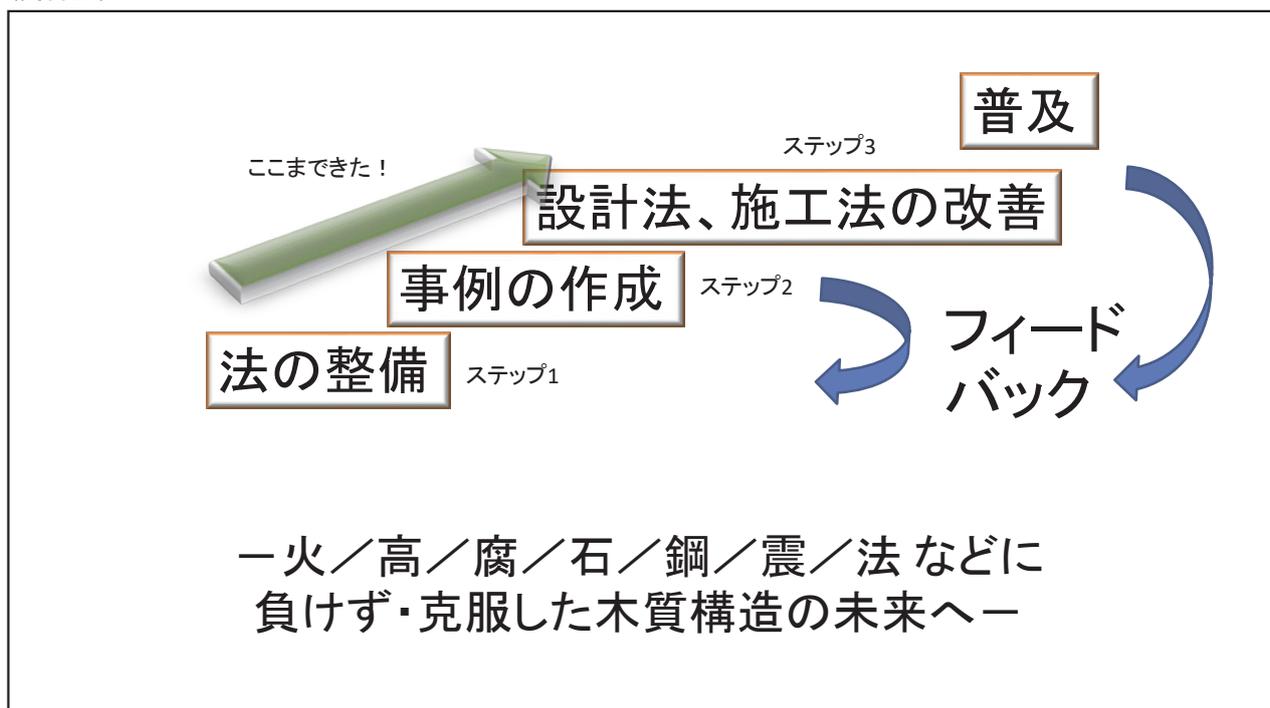


### 混構造による防耐火設計

[http://www.nilim.go.jp/lab/hbg/mmw\\_hp/sample.html](http://www.nilim.go.jp/lab/hbg/mmw_hp/sample.html)



(資料29)



(資料30)

### ここまで使えるCLT —建築基準法の関連告示私の印象—

- **やっと**  
ここまでできるようになった。
- **まだまだ**  
CLTでできることがたくさんある。
- **海外の事例**  
多し

簡単な方法は安全率を高く  
複雑なモデルであれば、耐力を高く取れる!

これまでの実験  
壁耐力の分布

● with floor  
■ window opening (with Spandrel wall)

CLT壁のせん断性能実力は 40kN/mはある

(資料31)

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 <sup>2</sup>
使用したCLT	137.84m <sup>3</sup>
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	侷浅田設計室
施工	木大倭殖産株
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。

(資料32)

第 I 部 CLTを用いた建築物の概要

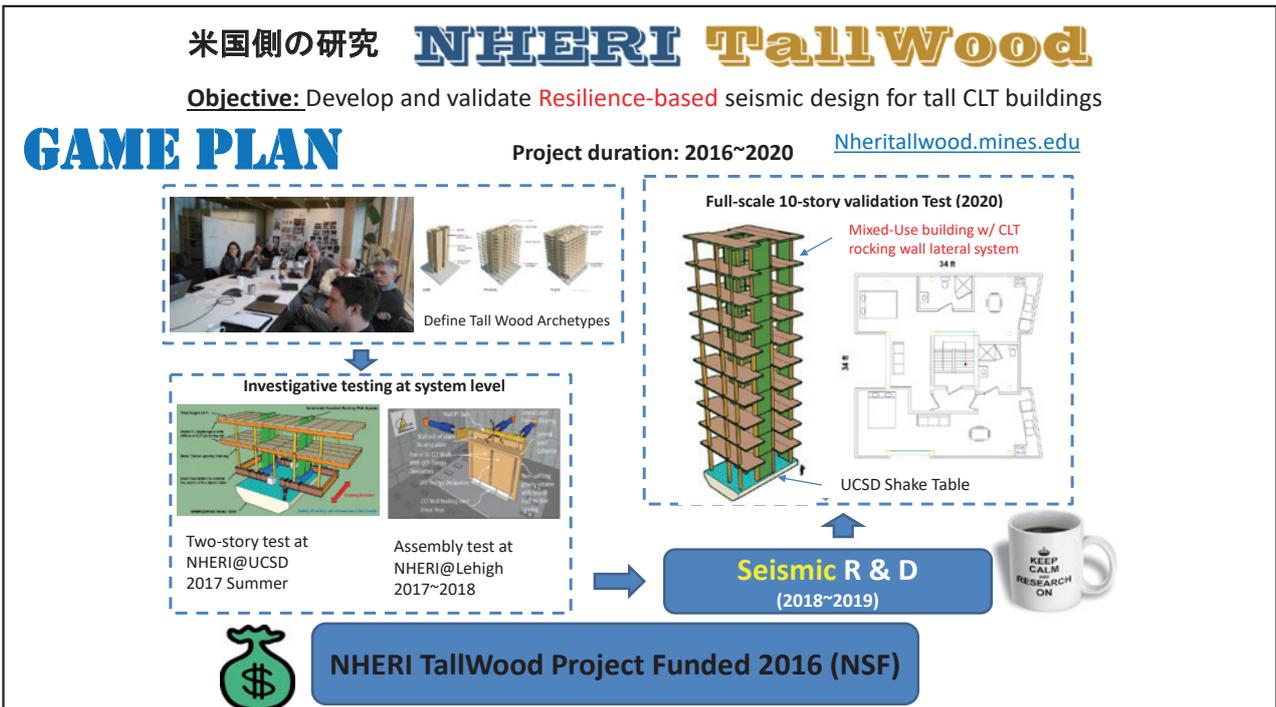
高知県自治会館新庁舎(高知県高知市)



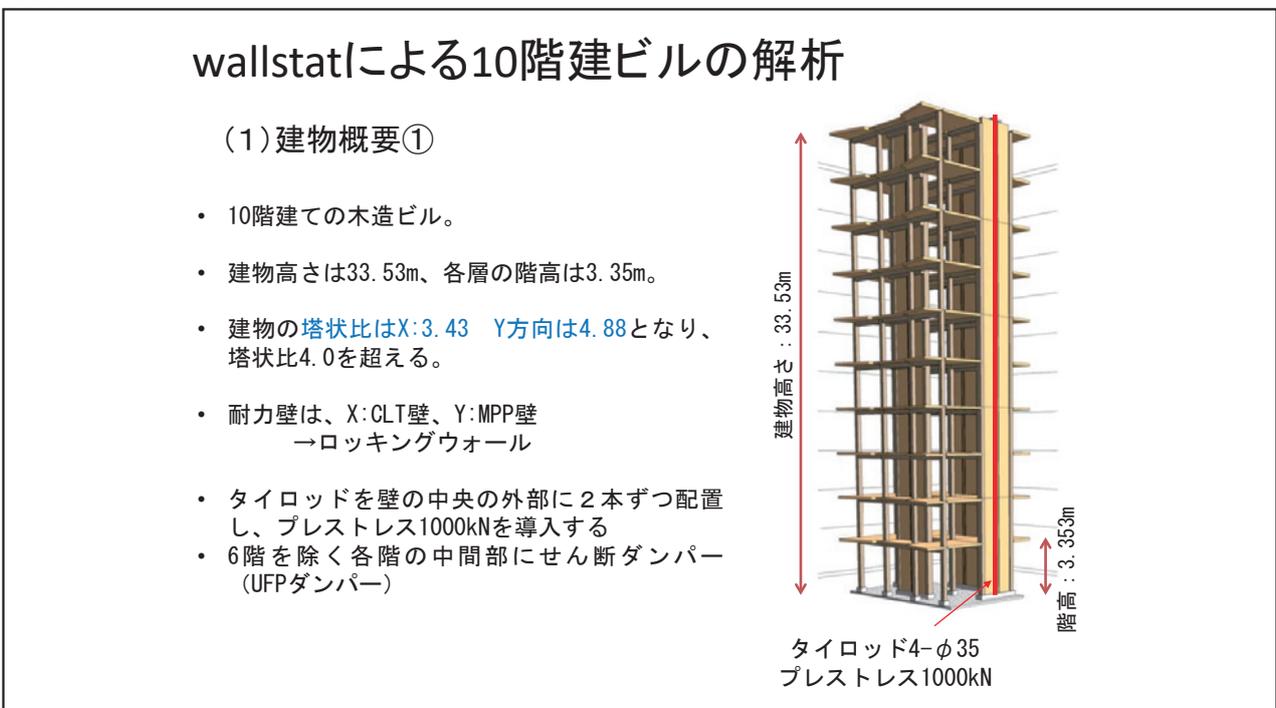
写真撮影: 西川義章

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 <sup>2</sup>
使用したCLT	46.9m <sup>3</sup>
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	榊竹中工務店 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。

(資料33)



(資料34)



(資料35)

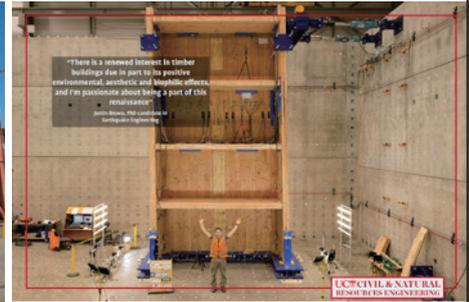
## ロッキング/連層耐震壁システムについて



Japan



United State



New Zealand

(資料36)

引きボルトなし どのような崩壊挙動になる？

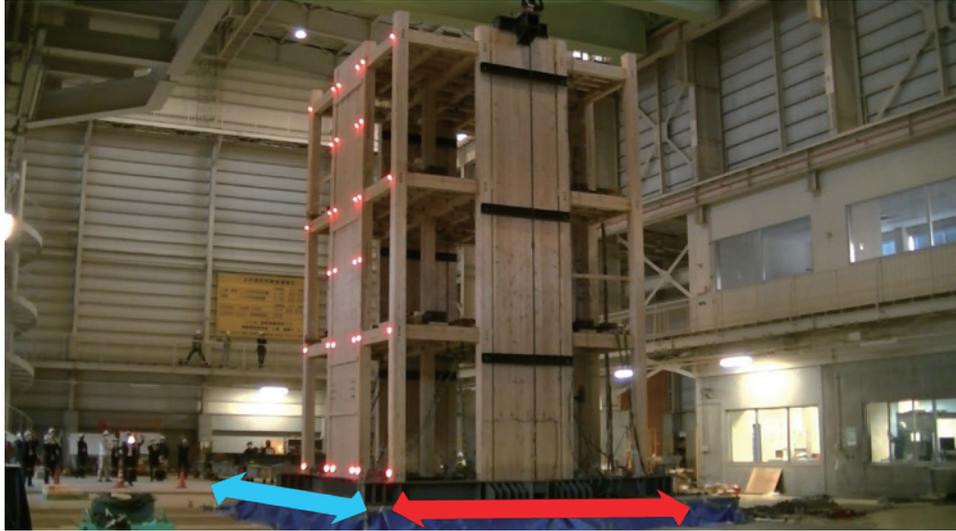


共同研究：ライフデザイン・カバヤ 防災科学技術研究所 京都大学

(資料37)

## JMA神戸波100%ダンパーあり(X:EW、Y:NS成分)

- 層間変形最大量(2F): X面1/116rad、Y面



X面(ドリフトピン)

Y面(プレストレス)

38

(資料38)



JMA神戸波加振

国土技術政策総合研究所/日本システム設計/日本住宅・木材技術センター

(資料39)

平成26年度震動台実験結果

試験体A 1層目脚部

JMA神戸100% 3方向加振後:CLT壁パネルの圧縮破壊



強度  
平行方向 17.7N/mm<sup>2</sup>  
直交方向(めりこみ) 6.0N/mm<sup>2</sup>  
ヤング係数  
E90=E0/15 1/15=6.7%

40

(資料40)



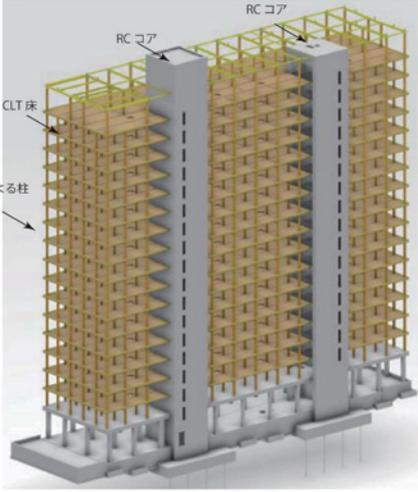
軸力を支える材料は  
集成材

床 CLT

地震力 鉄骨造



(資料41)



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



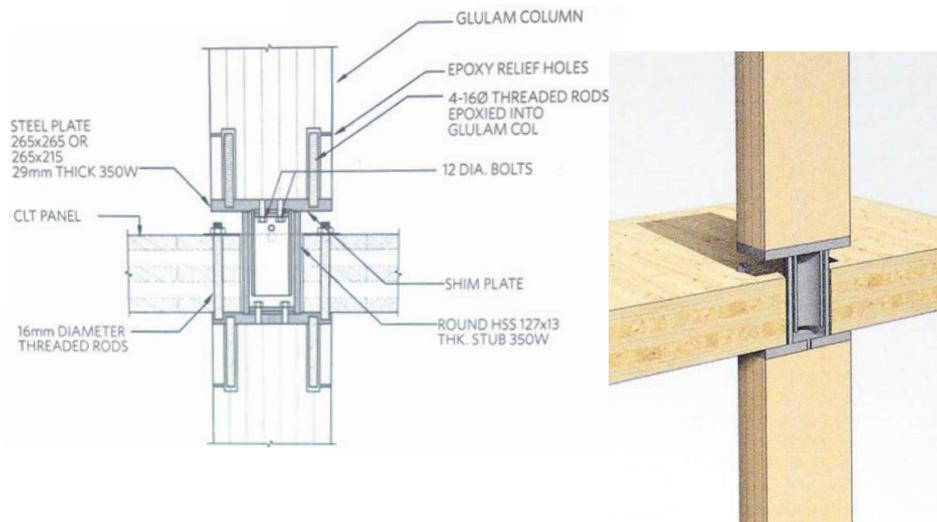
<http://www.archdaily.com/787673/construction-of-the-worlds-tallest-timber-tower-is-underway-in-vancouver>



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

(資料42)

## BROCK-COMMONS (UBC)



柱相互の接合部断面図

(資料43)

## 日本でなぜ海外の木造ができないか

- 木材の適材適所を許してくれない  
木でなんでもできている人 ⇒ 無理をしたい ⇒ コスト・技術的に無理  
木ではできないと思っている人 ⇒ すべて木以外になる？
- 慎重さ、合議制を重んじる  
ルールをまずはつくる必要あり
- 外力(地震、火災ともに)が異なる  
海外の高層建築は低層の延長が多い印象
- 海外の人が日本で気にしていること  
高温多湿

(資料44)

## 6階建て以上の建築物 これから

- 新しい木造建築物は、
  - いわゆる木造建築ではないかもしれない。
  - すべての部材が木材ではないかもしれない！
  - 逆に、木造にすると“あらかし”で用いられないかもしれない。
  - ……
- つまり、これまでの木造とは違う！これまでと同じ観念で物事を考えているうちは、いつまでたっても建てられないかもしれない。
- 新たな思想、設計・供給体制、そして科学的データをもって建てる新たな「木をつかった建築物」
- それでいいか？ もちろんこれまでの木造は継続して。ただ、継続だけでは木材利用を加速化することは無理

(資料45)

### 木材を使った建築！

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

国土交通省

CLT耐震パネル

RC柱・梁 + CLT袖壁 (建設後の可変性)

RCメガストラクチャー + RC・CLT床 + CLT袖壁

RCメガストラクチャー + 木造 (可変性)

[https://www.pref.miyazaki.lg.jp/somu-bosai/kense/soshikiannai/shinchoku\\_main.html](https://www.pref.miyazaki.lg.jp/somu-bosai/kense/soshikiannai/shinchoku_main.html)

兵庫林業会館5階建て      宮崎県防災拠点庁舎      メガストラクチャーと木造

(資料46)

Steel + CLT infill

Steel only

300kN/m UP  
 $300\text{kN}/1000/105 = 3\text{N}/\text{mm}^2$  !

荷重(kN)

変位(mm)

— frame  
— No.1 京大S60  
— No.2 京大S90  
— No.3 京大片寄

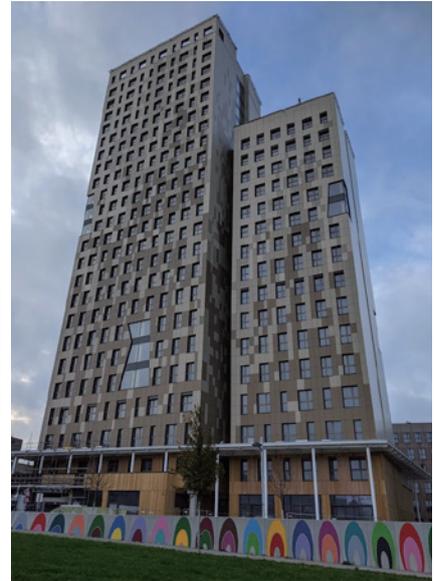
(資料47)



Brock Commons

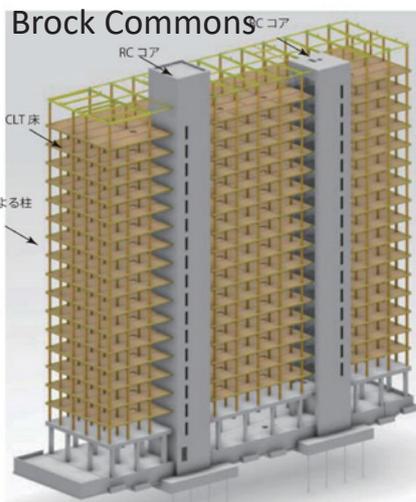


Carbon12



HoHo Tower

(資料48)



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

Carbon12



オレゴン州ポートランド  
8階建て コンドミニアム  
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

HoHo Tower



オーストラリア ウィーン  
24階建て  
RCフレームを中央部に配置

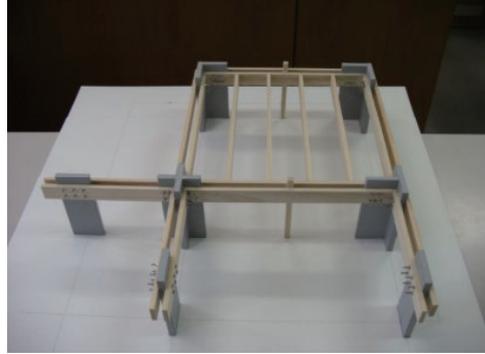
<https://lightwood.org/worlds-tallest-timber-building-hoho-tower-in-vienna/>

(資料49)

## 他構造とのハイブリットからCLT構造へ 1999年～総プロ「木質複合建築構造技術の開発」



RCコアにとりついた構造  
木造で開放的な空間  
低層ならRCコアをCLTに



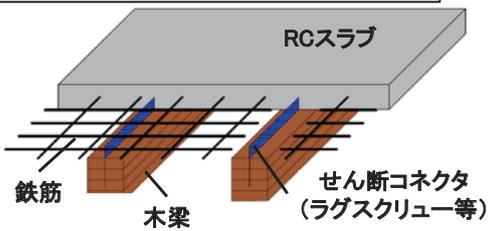
RC造独立壁＋木造はり、  
床構造  
RC造独立壁をCLTに

模型：山辺構造設計事務所

(資料50)

### 要素技術の設計法も整備

#### TCC(Timber Concrete Composite)床版



TCC床版の性能→**接合部のせ**

加力スパン：  
1200mm



メリット  
木材は軽量  
・地震時の応答挙動が減少  
RCスラブ  
・防音性、耐火性



支持スパン：  
5700mm

木質系  
合成ばりの設計法  
AIJ 設計規準

(資料51)

プロトタイプ設計例の床断面仕様の検討

3つの仕様について、実験的検討を実施

(a) 210mm厚CLTパネル使用、天井あり

軟式遮音二重床 or OAフロア  
の防音・防振の目的で二重床の間に防振床  
材と遮音材を配置する（グラスウール  
・発砲ポリウレタンなど）及びバスター

強化ビニールシートを2層  
強化ビニールシートを1層  
強化ビニールシートを1層

210mm厚CLT  
(5層アフライ or 7層アフライ)

防振用木 or 吊木受け+吊木  
の床からの振動の伝達を抑制

防振用木 (実用値) は実用値に  
6%上

吸音材 (グラスウール or ロックウ  
ール) 50以上

天井ボードは建築師の  
事務所と相談しては、吸音性  
の高い材料 (発砲ポリウレタンなど)  
で仕上げ。

(b) 210mm厚CLTパネル使用、天井なし

軟式遮音二重床 or OAフロア  
の防音・防振の目的で二重床の間に防振床  
材と遮音材を配置する（グラスウール  
・発砲ポリウレタンなど）及びバスター

コンクリート+100  
厚（エスチュール+6mm）

210mm厚CLT  
(5層アフライ or 7層アフライ)

(c) 150mm厚CLTパネル使用、梁あり、天井あり

軟式遮音二重床 or OAフロア  
の防音・防振の目的で二重床の間に防振床  
材と遮音材を配置する（グラスウール  
・発砲ポリウレタンなど）及びバスター

強化ビニールシートを2層  
強化ビニールシートを1層  
強化ビニールシートを1層

150mm厚CLT  
(5層アフライ)

防振用木 or 吊木受け+吊木  
の床からの振動の伝達を抑制

防振用木 (実用値) は実用値に  
6%上

吸音材 (グラスウール or ロックウ  
ール) 50以上

天井ボードは建築師の  
事務所と相談しては、吸音性  
の高い材料 (発砲ポリウレタンなど)  
で仕上げ。

↑  
比較的、一般的な仕様

↑  
プロトタイプ設計例への提案断面  
(予定)

**National Institute for Land and Infrastructure Management**

52

(資料52)

## 木造・木質構造のこれから

海外の事例をみていると、

いまの日本の木造の方向(私見)、

木をみせたい ◎

木造・木質構造 △

木材の利用方法 ○⇒危なっかしいものもある

木材を利用した混構造 ◎

木をみせたい ◎

木造・木質構造 ◎⇒木で作るならすべて木で

木材の利用方法 △ ⇒無理をしている

木材を利用した混構造 × ⇒受け入れない

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) ○

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 ○ ⇒コストとは無関係?

資材としてのコスト ×

軽量化(杭基礎の簡易化) △

(資料53)

## Example of energy renovation of multi-residential building using a wood-based construction system



Vir: Kulmer Holzbau



### Seismic strengthening with possibility of upgrade of existing building

Universal building retrofitting system that solves both seismic and energy problems of older classical buildings.



(資料54)

## Example - upgrade of hotel Terme in Čatež

