

カーボンニュートラルの推進に向けた中高層木造建築物の最新動向とその課題



国立研究開発法人 建築研究所

樋本 敬大

話題提供の構成

1. 今なぜ木造か？～木材利用促進施策
2. CLTを軸とした欧州等の中高層木造
3. カナダ・バンクーバーの18階建て学生寮
4. 日本の中高層木造に関する研究開発プロジェクト
5. 今後の課題と展望

2

今なぜ木造か？ Backgrounds (1/3)

Japan has a culture that the buildings were built by wood from ancient time.

Because about 70 % of land are forest.

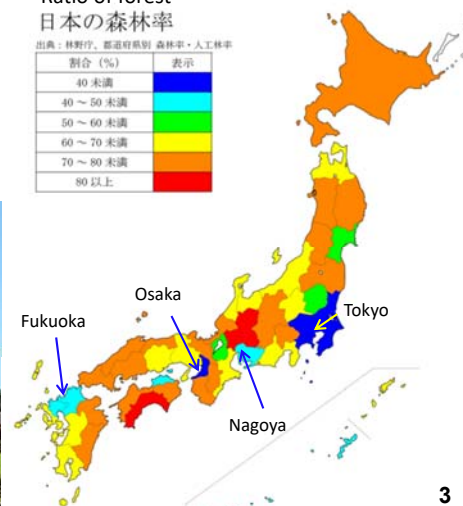
e.g. Toji Pagoda (54.8 m high)
Kondo of Todai-ji Temple is the largest (57.5x50.5 building area)



Ratio of forest
日本の森林率

出典：林野庁、都道府県別 森林率・人工林率

割合 (%)	表示
40 未満	赤
40 ~ 50 未満	オレンジ
50 ~ 60 未満	黄緑
60 ~ 70 未満	緑
70 ~ 80 未満	青緑
80 以上	青



3

今なぜ木造か？ Backgrounds (2/3)

However, most of trees in Japan were cut in order to compensate for the lack of fossil fuel during World War II.

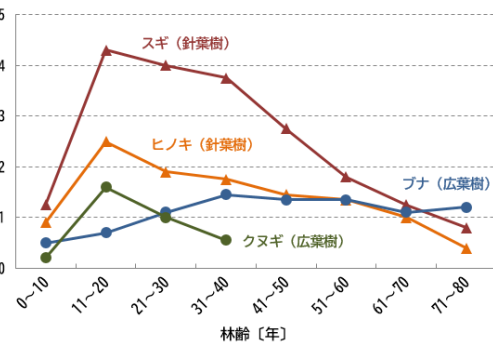
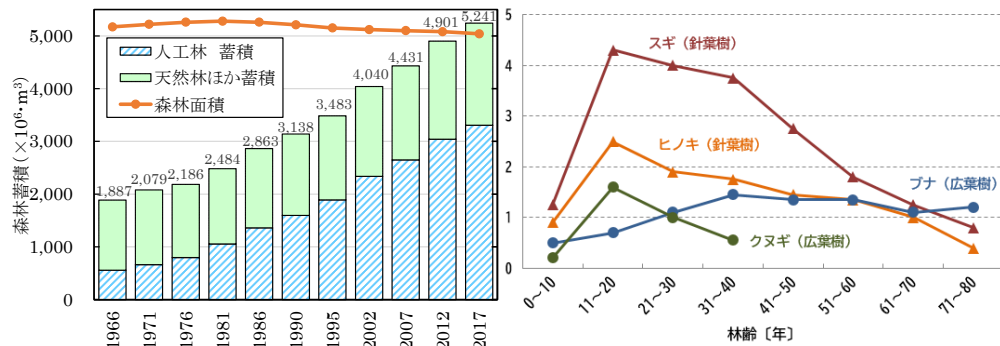
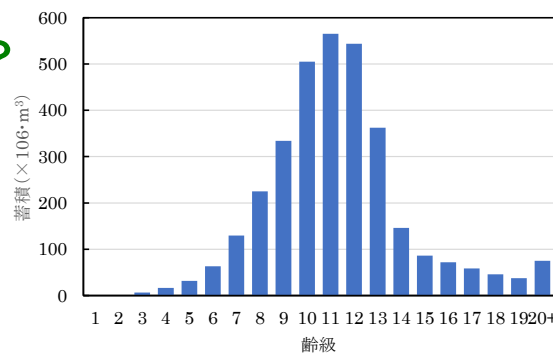


After the War, many trees were planted on bare mountains.



4

今なぜ木造か？ Background (3/3)



5

1. 木材利用促進施策(1/3)

- 公共建築物等木材利用促進法(2010)
- 2010年の木造率(延べ床面積ベース、以下同じ)
 - ・建築物全体の木造率:43.2%
 - ・公共建築物の木造率:8.3%
 - ・低層(3階建て以下)の公共建築物:17.9%

全体	2016		2017		木造率
	床面積合計 (m ²)	床面積合計 (m ²)	床面積合計 (m ²)	床面積合計 (m ²)	
建築物全体	134,186,801	133,029,356	134,186,801	133,029,356	41.9%
公共建築物	56,711,527	55,727,259	56,711,527	55,727,259	13.4%
低層 (3階建て以下)	85,067,145	83,869,964	85,067,145	83,869,964	62.4%
公共建築物	6,053,040	5,869,618	6,053,040	5,869,618	27.2%
中高層 (4階建て以上)	49,119,656	49,159,392	49,119,656	49,159,392	7.0%
公共建築物	10,227,974	8,504,651	10,227,974	8,504,651	3.9%

6

1. 木材利用促進施策(2/3)

階層別・構造別の着工建築物の床面積



2

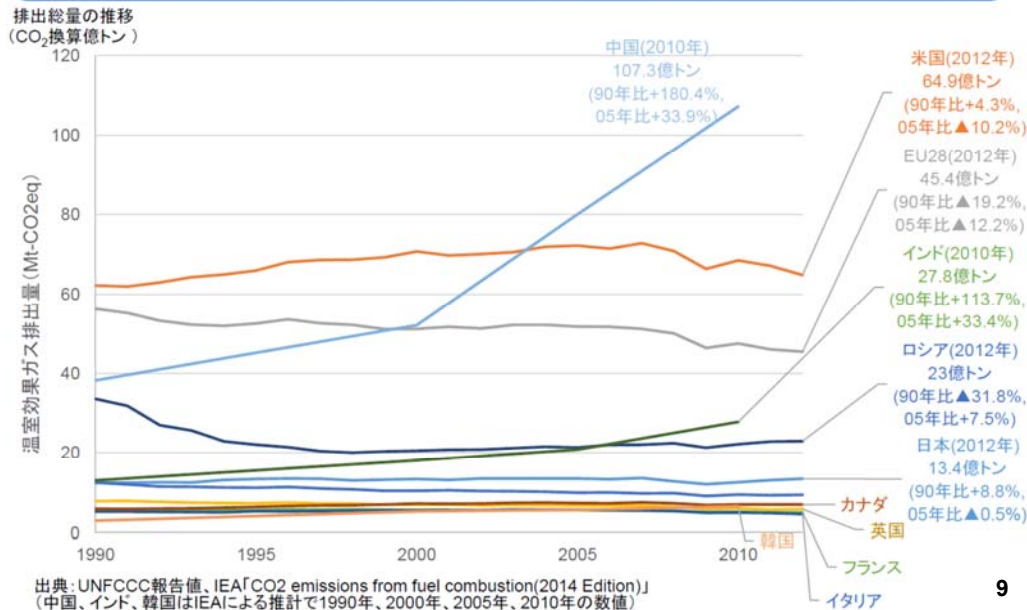
1. 木材利用促進施策(3/3)

- 公共建築物等木材利用促進法(2010)
- 脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律(2021)
- 背景:京都議定書の批准→削減目標達成
 - ・国内の排出削減・吸収量の確保により、**2030年度に2013年度比26.0%削減**
 - ・我が国が掲げる「**2050年世界半減、先進国全体80%減**」との目標に整合的なもの

8

主要国の比較(温室効果ガス排出量)

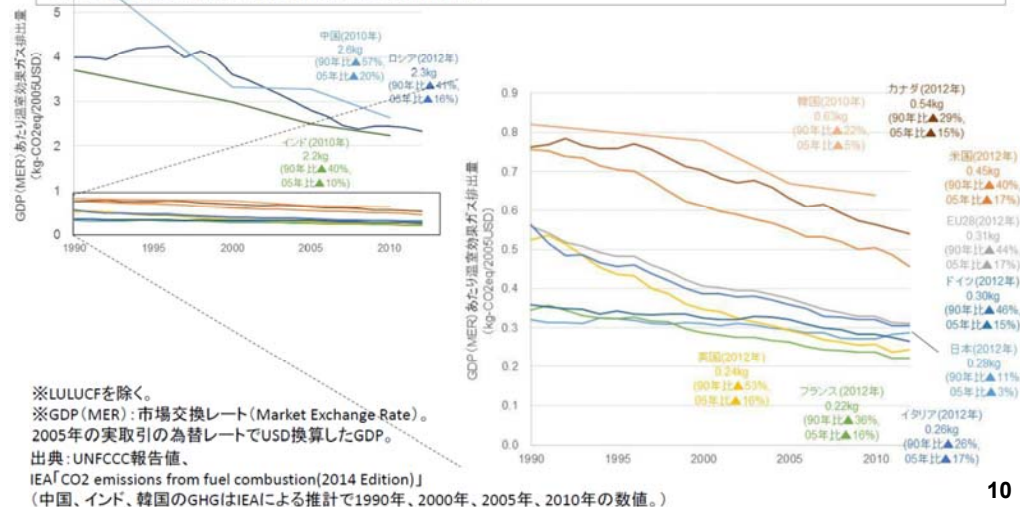
○近年の排出量の傾向は、日本はほぼ横ばいでここ数年は微増、中国は急増、米国・欧州は減少傾向にある。



9

主要国の比較(GDP当たり温室効果ガス排出量)

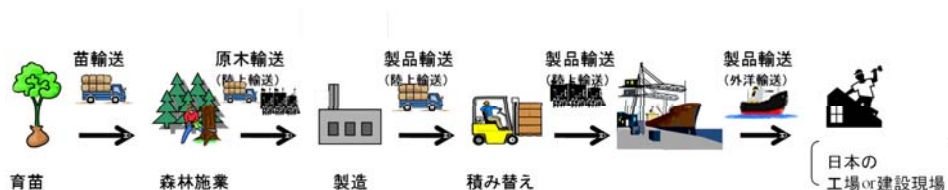
- 日本は石油危機のあった1970年代より、省エネルギーに精力的に取り組んできており、GDP(MER)当たり排出量は世界トップレベル。一方、1990年以降、欧州は着実に減少し、日本の水準に近づきつつあるが、米国とはまだまだ開きがある。
 - (参考) 今回の案では、日本は2030年に0.16kg/GDP1ドルと予測(米国の約束草案では2025年に0.27-0.28kg/GDP1ドル、EUは2030年に0.17kg/GDP1ドルと予測)。
- ※米・EUの将来GDPは、IEA「World Energy Outlook 2014」の数値



10

製材のカナダー日本間の船舶輸送からの温室効果ガスの排出

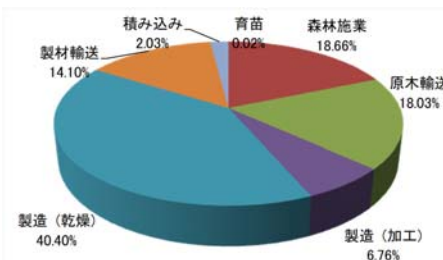
- 「木質バイオマス資源の有効利活用 特別研究委員会報告書」(伊香賀慶応大学教授ら)をベースに計算を追加。



12

カナダにおける製材生産工程のGHG原単位の一例

段階	GHG原単位 (kg-CO ₂ eq/m ³)
育苗	0.030
森林施業	24.088
原木輸送	23.268
製造(加工)	8.724
製造(乾燥)	52.155
製材輸送	18.200
積み込み	2.618
合計	129.101



GHG: Green House Gas (温室効果ガス)

3

13

日本における製材生産工程の GHG原単位(3社の例)

段階	A社	B社	C社	平均
	(熊本県)	(東京都)	(東京都)	
森林施業	14.560	—	—	14.560
陸上輸送	17.974	—	—	17.974
製造(加工)	48.937	30.740	63.327	47.668
製造(乾燥)	2.364	217.083	117.870	112.439
合計	83.835	247.823	181.197	192.641

- 熊本県のA社は天然乾燥材の生産で有名

14

海運距離、時間計算のソフト AXSMarine free distance table



15

製材のカナダー日本間の船舶輸送から の温室効果ガスの排出の評価

段階	カナダ	日本	試算
育苗	0.030		0.030
森林施業	24.088	14.560	14.560
原木輸送	23.268	17.974	17.974
製造(加工)	8.724	47.668	47.668
製造(乾燥)	52.155	112.439	112.439
製材輸送	18.200		18.200
積み込み	2.618		2.618
海上輸送	26.572		
合計	155.673	192.641	213.489

16

2. CLTを軸とした欧州等の中高層木造

- 2.1 現代の中高層木造の潮流の始まり
- 2.2 スウェーデン・Limnologen(リムノローゲン)...7, 8F × 4棟(計10,700 m²)
- 2.3 ノルウェー・Treet(トリート)...15F
- 2.4 ノルウェー・Mjøstårnet(ミョーストルネット)...18F
- 2.5 スイス・Suurstoffi 22(ズールシュトツフィ22)...10F
- 2.6 スイス・Suurstoffi BF1(" BF1)...15F
- 2.7 イタリア・Social Housing Via Cenni(ヴィア・チェンニ)...9F × 4棟(計9,300m²)
- 2.8 オーストリア・HoHo Wien...24F
- 2.9 オーストリアショッピングセンターG3
- 2.10 フランス Hyperion
- 2.11 FCBAほか

4

17

2.1 現代の中高層木造の潮流の始まり

Waugh Thistleton Architectsの建築事例



ロンドン・9階建てCLT構造

(1階RC)共同住宅



豪州メルボルン・10階建てCLT構造

(1階RC)共同住宅

18

世界最大級の集合住宅(10階建て, UK)、

2016



総床面積16,000 m², 4,650 m³ CLT, 121戸(800人), 工期23ヵ月

19

2.2 スウェーデン・Limnologen (リムノローゲン)

- 階数: 7~8階建て×4棟
- 竣工: 2008年(2棟)、2009年(2棟)
- 総戸数: 134戸(床面積34-114 m²/戸)
- 延面積: 10,700 m²
- 用途: 共同住宅
- 構造躯体: CLT(1階: RC造)
- 工期: 2006年10月(建築生産作業開始)~2008年2月(16ヵ月)



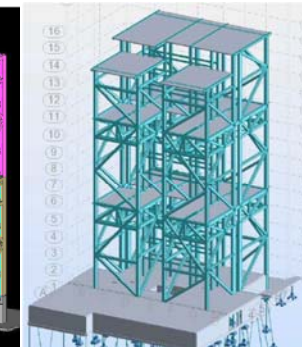
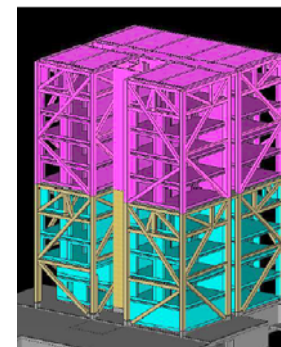
平面プラン

PLAN 3
RUC

20

2.3 ノルウェー・Treet(トリート)

- 階数: 15階建て(1階RC造)
- 竣工: 2015年
- 総戸数: 62戸(43-66 m²/戸)
- 延面積: 7,140 m²
- 用途: 集合住宅(1階: 駐車場)
- 構造: 集成材フレーム+RCスラブ+
柱組壁工法ユニット
- 工期: 2014年5月~15年12月(19ヵ月)



住居モジュールの施工

21

5

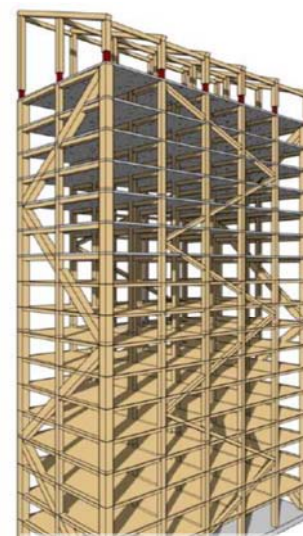
2.4 ノルウェー・Mjøstårnet (ミョーストルネット)

- 階数: 18階建て (高さ: 85.4 m)
- 竣工: 2019年3月
- 延面積: 11,300 m²
- 用途: 複合施設 (オフィス、ホテル、住宅、レストラン)
- 構造: 集成材フレーム + RCスラブ + CLTコア



22

2.4 Mjøstårnet (ミョーストルネット)



集成材大ブレース (層貫通) 構造



屋上の設備群とウッドデッキ

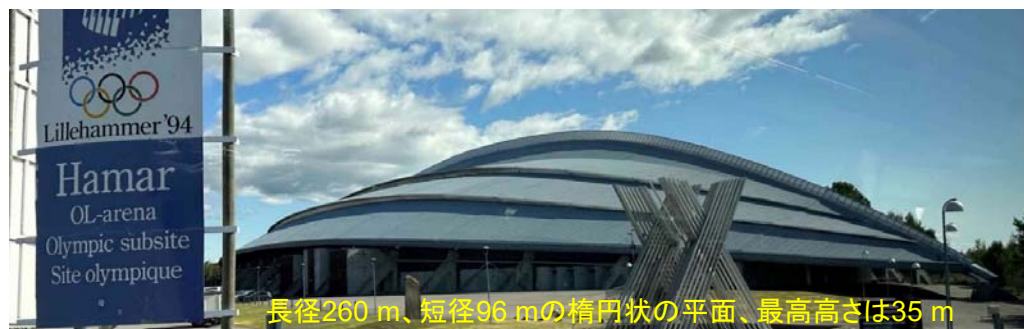


バルコニー上部の金属板被覆



ホテル個室内部に露出するブレース²³

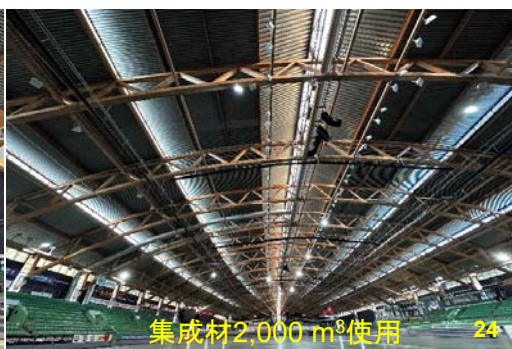
1994リレハンメル冬季五輪スタジアム



長径260 m、短径96 mの楕円状の平面、最高高さは35 m



トラススパン: 最小30 m ~ 最大96.4 m



集成材2,000 m³使用

24

ノルウェーは純木造 + 木質外装が多い



7階建て純木造の複合ビル



4F集成材構造の事務所建築



13階建て学生寮



オフィス内観



木製ブレース



CLTのエレベータシャフト



木質外装



学生寮の内装は石こうボード

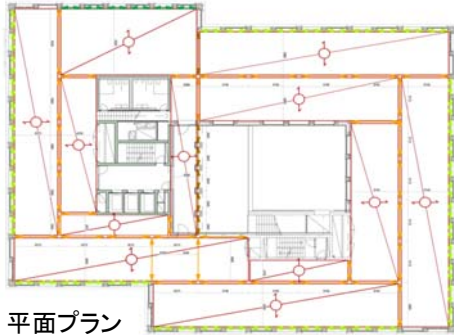


25

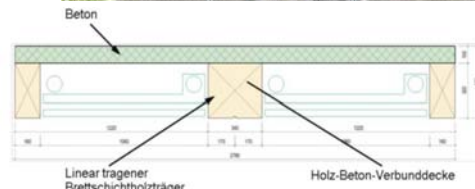
6

2.5 スイス・Suurstoffi 22 (ズールシュ トッフィ22)

- 階数: 10階建て
- 竣工: 2018年
- 延面積: 17,900 m²
- 用途: 事務所建築
- 構造: RCコア+集成材とRCの複合床
- 工期: 部材の工場生産-2017年2月～7月、躯体工事-同5月～9月



平面プラン



コンクリートと集成材の複合床の断面

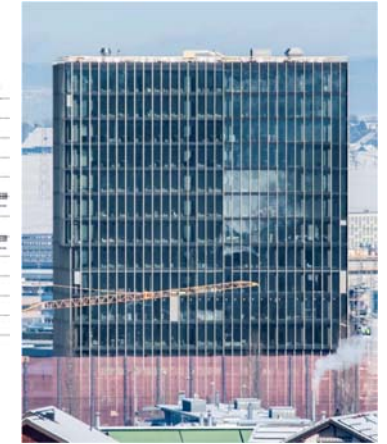
26

2.6 スイス・Suurstoffi BF1 (ズールシュ トッフィBF1)

- 階数: 15階建て
- 竣工: 2019年
- 建築面積: 800 m² (延床面積: 12,000 m² ?)
- 構造: RCコア+集成材とRCの複合床+ブナLVLによる柱
- 工期: 躯体工事-2018年5月～10月



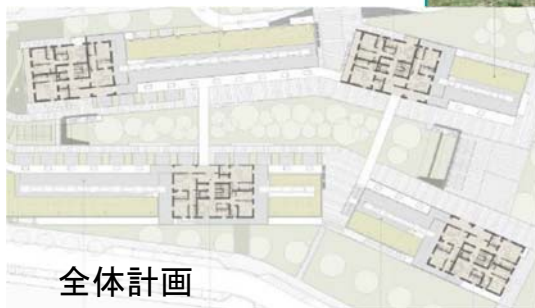
オフィス階の平面プラン



27

2.7 イタリア・Social Housing Via Cenni (ヴィア・チェンニ)

- 階数: 9階建て×4棟
- 竣工: 2013年
- 延面積: 9,300 m²
- 用途: 公営住宅
- 構造: CLT (RCコアなし)
- 工期: 2012年1月～2013年9月 (21ヵ月) (木造部分: 8ヵ月)



全体計画



構造システム

28

2.7 イタリア・Social Housing Via Cenni (ヴィア・チェンニ)



竣工外観

A 12-STORY IN TIMBER/CONCRETE



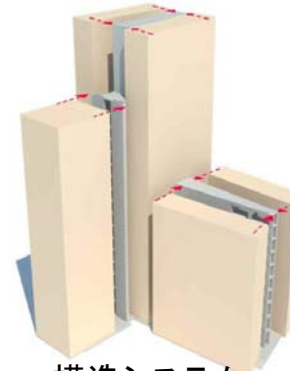
29

イタリアによる7F-CLT構造震動台実験(2009)



2.8 オーストリア・HoHo Wien (ホーホー・ウィーン)

- 階数: 最高階数24階建て
- 延面積: 25,000 m²
- 用途: 複合施設 (1,2,4階: 店舗、5~9階: オフィス、9~18階: ホテル、19階~: 住居)
- 構造: RCコア+木造(図10)
- 施工期間: 2016年春~2019年



構造システム



↑現場施工状況 ↓



31

2.8 HoHo Wien



1階ロビー



ホテル宿泊室の内観



32



施工実験試験棟→オフィス

2.9 その他のAustriaの中層大規模木造



G3ショッピングセンター (Vienna)

床面積: 60,000 m², 長辺: 800 m,
CLT(屋根): 8,000 m²

4階建て集合住宅
(Vienna, Austria)5階建て集合住宅
(Vienna, Austria)

33

2.9 世界の潮流はモジュール構法へ

CLTユニット工法による
7階建てホテル(ウィーン)



ユニット工法の2階建て学生寮
(ウィーン)



モジュラー工法の施工状況

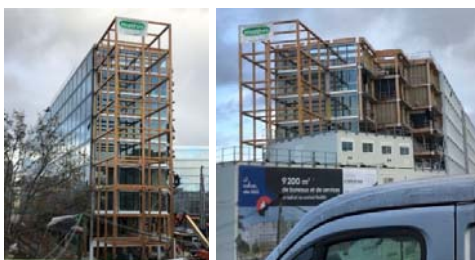
2.10 Hyperion, Bordeaux, France, 2019



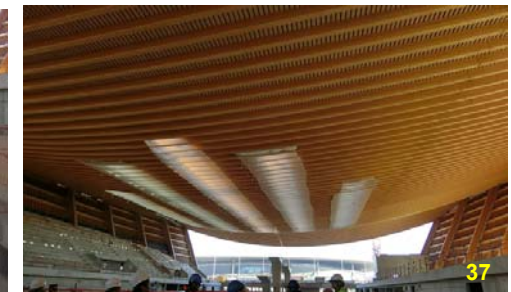
- 16階建て木質混構造共同住宅
- 1~3F: RC造
- 4F~RCコア+LVL・GLTのフレーム+CLT床版・壁パネル
- 1,000トンのCO2を貯蔵



2.11 仏FCBA (Solutions & Services pour les professionnels des filières Forêt-Bois et Ameublement) ほか



2.11 パリ五輪施設(アクアティックセンター)



2.11 パリ五輪施設(選手村)



全景(完成イメージ)



純木造5~6階建て



混構造7~11階建て(RC柱・梁+木造床)



38

3. 北米の大規模木造・中高層木造

- 3.1 Tacoma Dome, WA (1983, 面積40,400 m²)
- 3.2 Tillamook Air Museum (1942, " 28,000 m²)
- 3.3 8階建て集合住宅, Portland, OR
- 3.4 枠組壁工法大規模複合建築ほか
- 3.5 Richmond Olympic Oval, 2008 (33,600 m²)
- 3.6 1900年代初頭の木骨煉瓦造
- 3.7 Whistler Conference Centre, 1982 (6,039 m²)他
- 3.8 Montreal の大規模/中層木造
- 3.9 Univ. of British Columbiaの中層木造
- 3.10 18F建て学生寮(Brock Commons, UBC)
- 3.11 木造住宅(2x4)事情・低価格化

40

世界最大級の現代木造

資料の複写・転載禁止

Metropol Parasol, Seville, Spain

- 長さ122 m × 幅45 m × 高さ26 m
- 1.5 mグリッドのLVLラチス



- 圧縮・引張は巨大なGIR
- 2マスにつき1本鋼製ブレース
- Finnforest発注
- 独Harrer Ingenieure社設計₃₉

3.1 タコマドーム, WA, US, 1983



直径160m、高さ46m、
アリーナ9,300 m²、
総面積40,400 m²

※東京ドーム面積46,755 m²



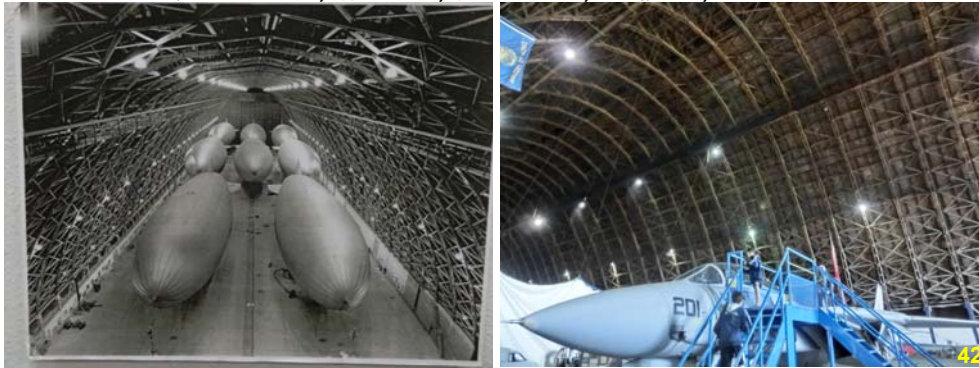
41

10

3.2 Tillamook Air Museum, Tillamook, OR, US, 1942



長さ327 m, 幅90 m, 高さ59 m, 面積28,000 m²



42

世界最大級の火災



43

3.3 8階建て集合住宅 (Portland, OR, US)



鉛直荷重を床に負担させない

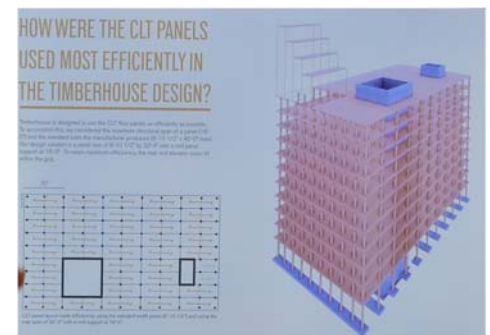
1階(店舗)から木造

44

3.4 その他の米国の中高層木造



1,2階(店舗)RC造+3~7階2x4共同住宅, Vancouver, WA, USA



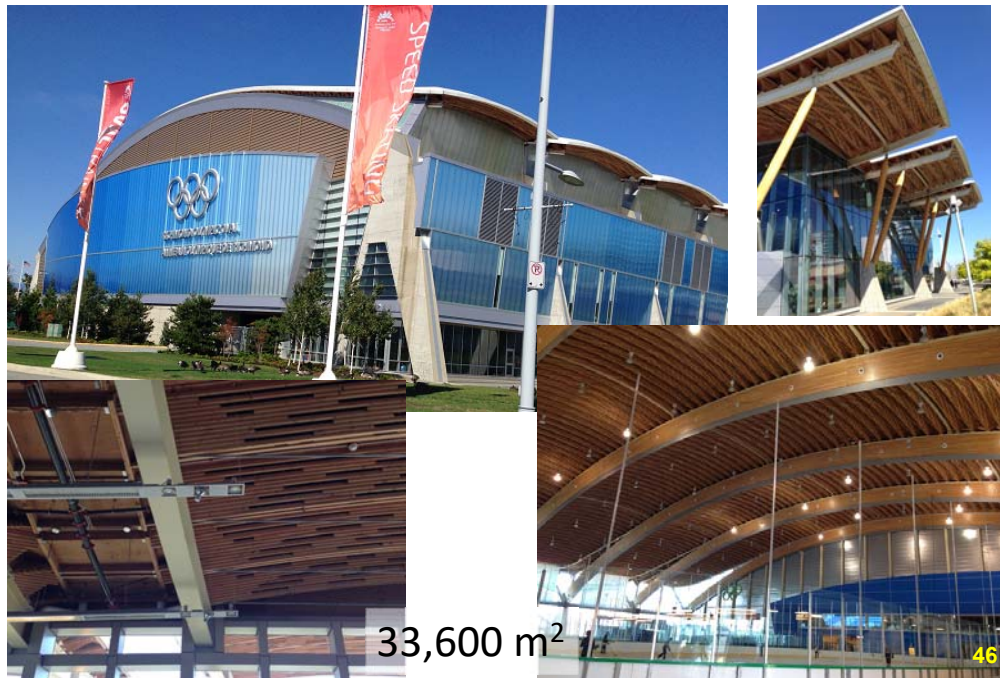
12階建て木造プロジェクト



8階建て事務所建築(1F-RC造) 45

11

3.5 Richmond Olympic Oval, BC, Canada, 2008



3.6 The Landing, Vancouver

7階建てに見える西面



- 1900年代初頭のベイマツ製材による9階建てポストアンドビーム構造
- その後ビール醸造所になり、現在は3階にそのビアホール。
- 現在の用途は3階南側に7, 8店舗、4階以上はオフィス、1階北側に搬入口

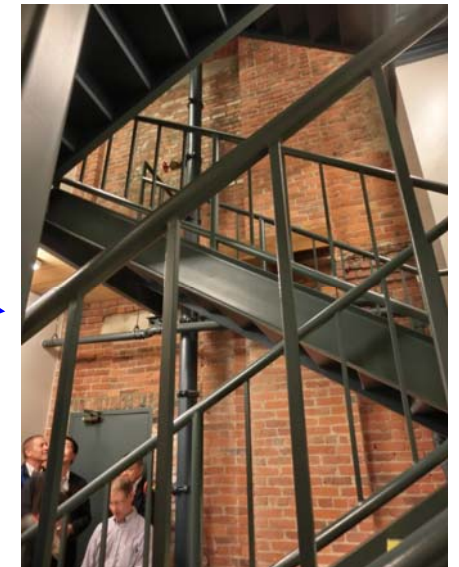
9階建てが分かる北面



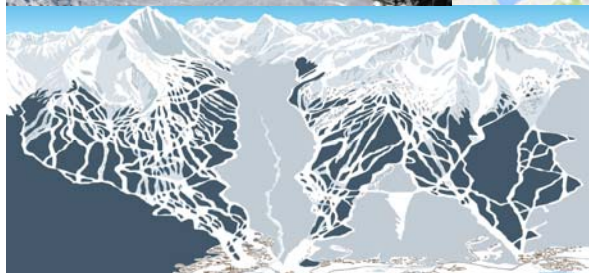
3.6 The Leckie Building , Vancouver



The Leckie Building , Vancouver



3.7 Whistler, BC, CA



3.7 Whistler Conference Centre



WCTE2000の会場
(6,039 m²、Main hall capacity = 1,600 people)

Whistler Library

Total Floor Area: 1,475 m²
Budget: C\$11,940,000



Whistler 木造ロッジ



CLTによる消防署 (Whistler)



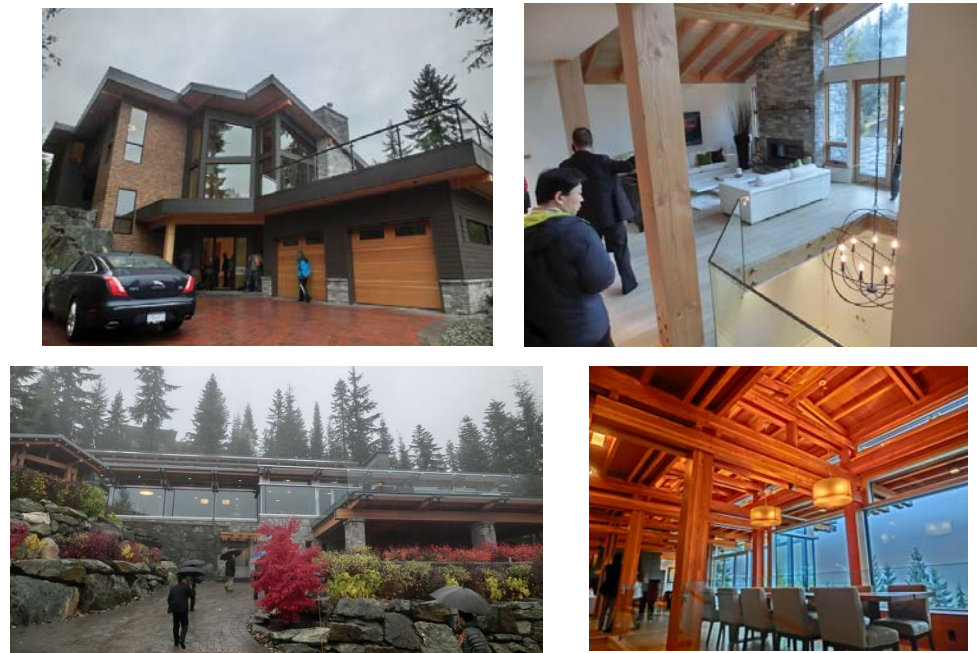
54

木造のリフトのりば



55

高級別荘 (1/2)



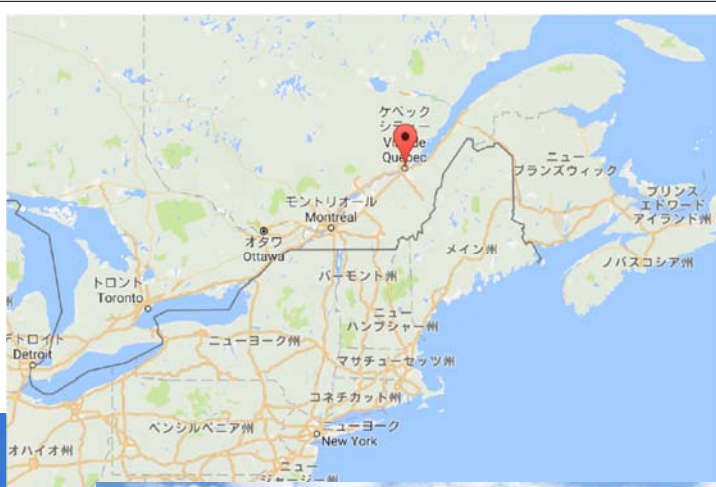
56

高級別荘 (2/2)



57

3.8 Quebec City, QC, CA



Fairmont Hotel



ケベック要塞

3.8 St-Michelサッカー場(2015)

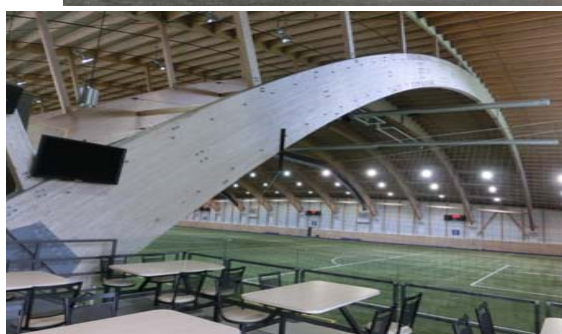
(Montreal)



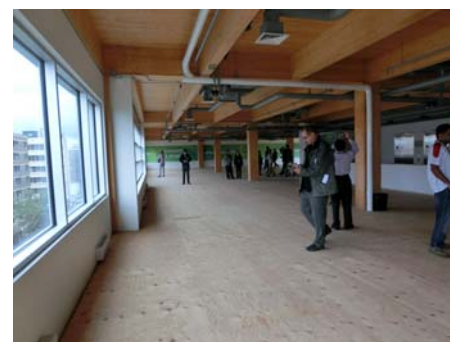
- 総面積8,580m²
- 屋根に1,620 m³のCLTと2,430 m³の集成材を使用
- ブラックプルース
- 径2.54 cm、長さ90 cmの構造用ねじの性能確認は、オーストリアで実施

3.8 屋内サッカー場(スパン72 m)

(Montreal)



3.8 6階建て事務所ビル(Montreal)



3.8 1,2F(店舗)RC、3~8F木造共同住宅 (Montreal)



62

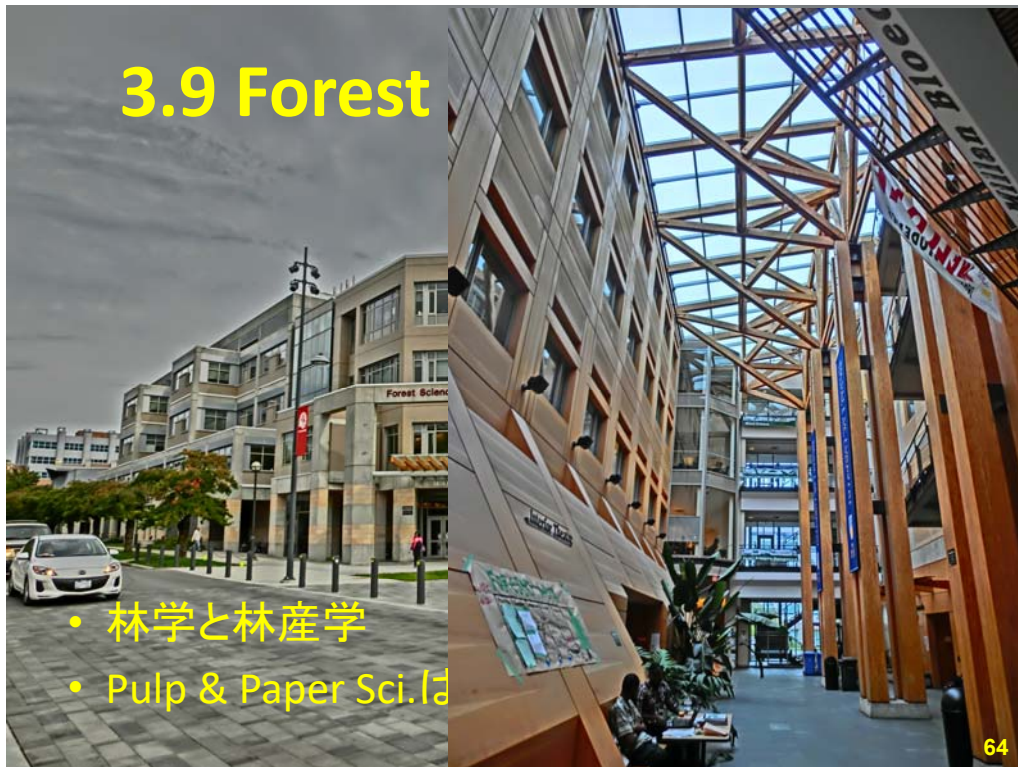
3.8 6階建て事務所建築, Montreal, 2016



63

資料の複写・転載禁止

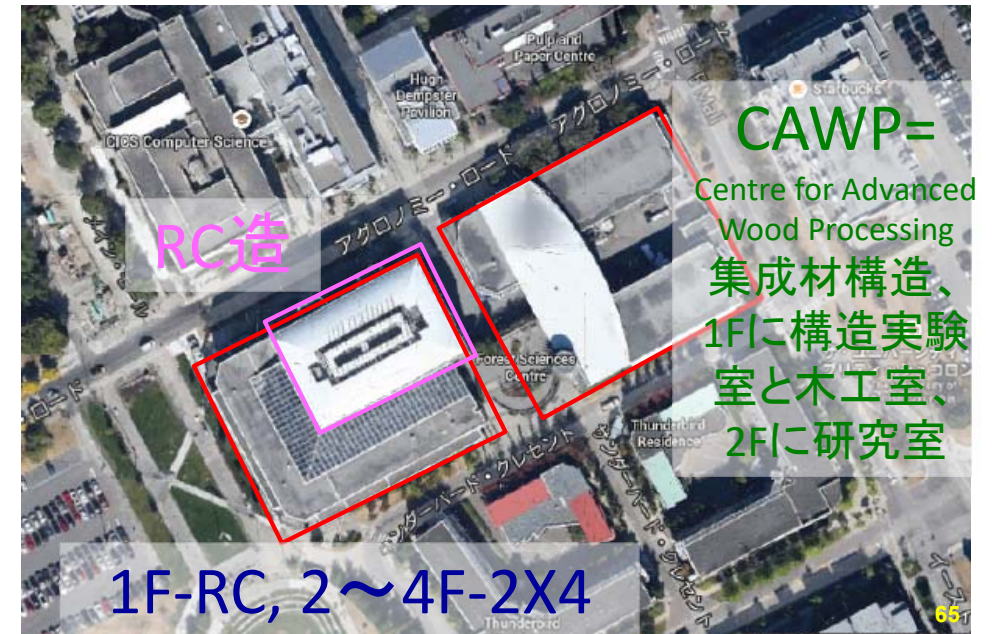
3.9 Forest



64

- 林学と林産学
- Pulp & Paper Sci.は

3.9 Forest Science Centre, UBC, 1988



65

16

3.9 Center for Interactive Research on Sustainability, UBC, 2011

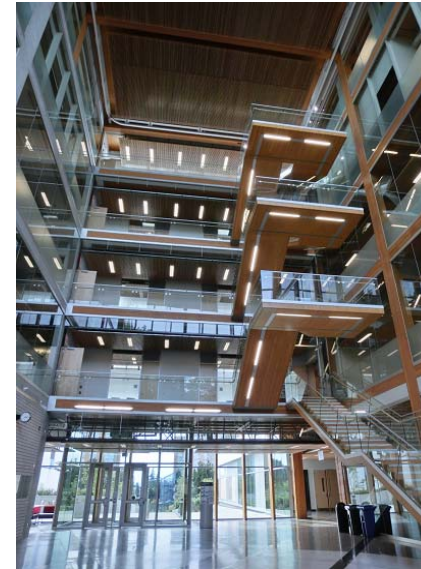


集成材構造

66

3.9 Earth Science Building, UBC, 2013

- RC構造と集成材構造の混構造
- キャンピートと天井にCLT



67

Bioenergy Research and Demonstration Facility

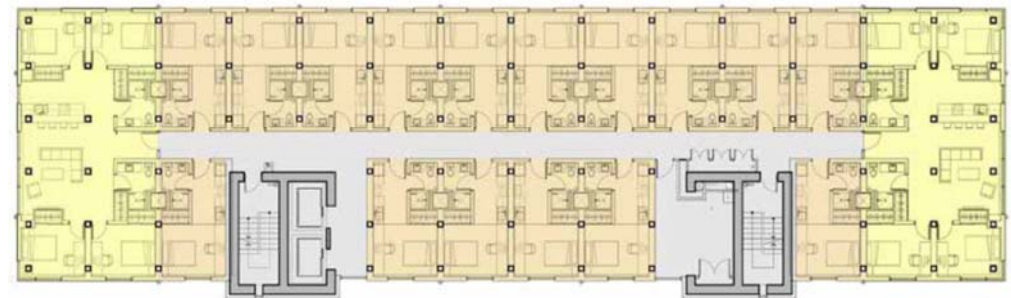
- カナダで初めてのCLT建築物 (2012)
- 当時のCLT製造社は現存しない



68

3.10 カナダの18階建て学生寮 UBC, 2016 Brock Commons

- 階数: 18階建て (53 m)
- 延面積: 15,120m² (総ベッド数: 404)
- 用途: 1階: アメニティスペース、2~17階: 学生寮、18階: ラウンジ
- 設計期間: 2014年11月~2015年10月 (11ヵ月)
- 工期: 2015年11月~'17年5月 (基礎・RCコア: 7ヵ月、木造躯体: 3ヵ月、内外装・設備: 10ヵ月)



A typical floor consists of 16 single and 2 quad residential units per floor.
Detail by Acton Ostry Architects Inc.

一般階の平面プラン

Quad unit
Studio unit
Service

69

3.10 18階建て学生寮
UBC, 2016



木は見えない



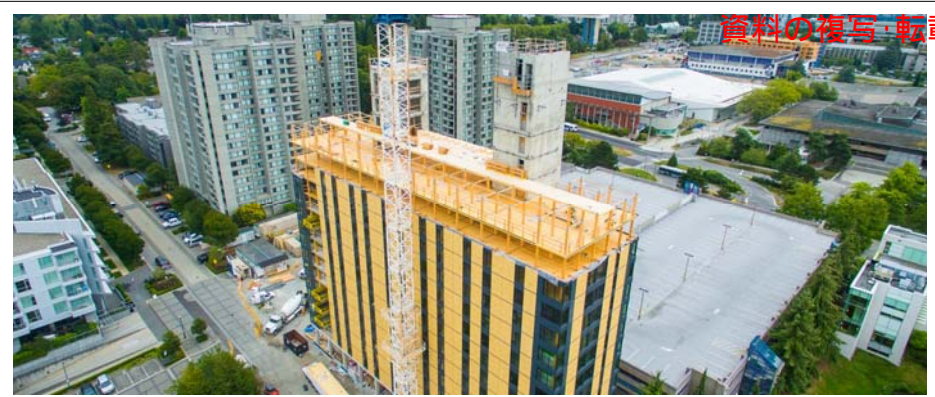
RC造EVシャフト

鉛直荷重を
床に伝えない
ディテール





74



75

その他のカナダの中層木造

- ブリティッシュコロンビア大学(バンクーバー)に業務建築が多く建つ。
- 東海岸も強度の高いBlack SpruceのCLTを使用して中高層木造も建ち始めている。
- 西海岸の共同住宅は4層まではほとんど木造
- 2016年以降は6層まで木造
- 三井ホームカナダのプレファブ2x4パネルがローコスト化を誘導

76

VanDusen Botanical Garden, Vancouver, BC, 2011



集成材構造
1,800 m²



77

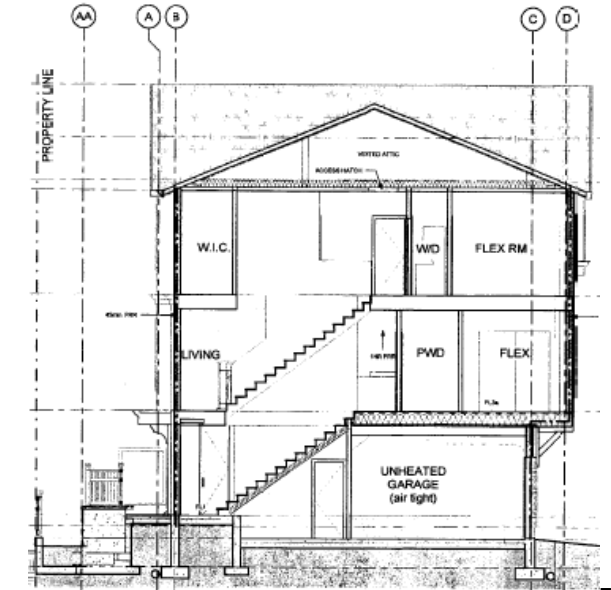
3.11 木造住宅事情



78

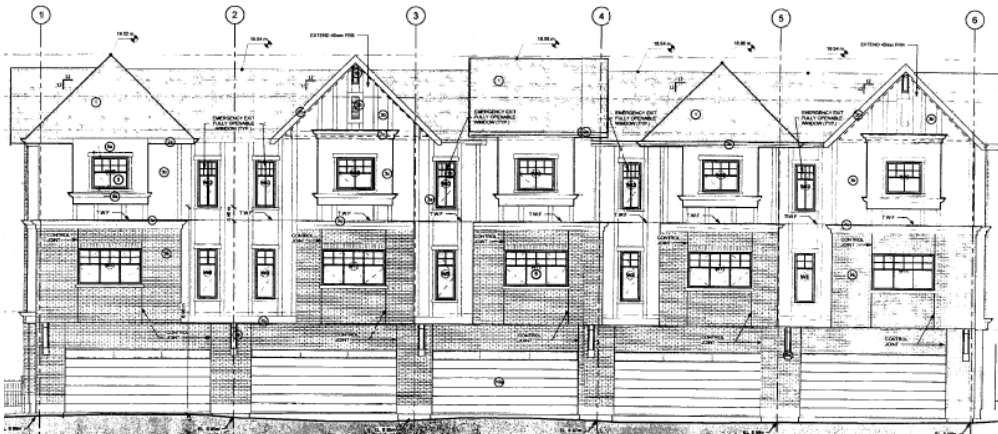
枠組壁工法による低層共同住宅の事例

- ほぼ総3階建て、一部にオーバーハング
- 基本的に206材のスタッド
- 1階にビルトインガレージ
- タイダウン使用



79

カナダの枠組壁工法共同住宅



- 低層のベースシア $Co=0.18 < 日本Co=0.2$
- 中高層は構造計算
(CLTは信頼性設計→Alternative Solution)

80

3.11 中層2x4共同住宅(カナダBC州)



20

81

3.11 中層2x4共同住宅



耐火塗料+スプリンクラー 82

3.11 中層2x4住宅の価格 (2014)

72.5 m² - 2,000 ~ 2,400万円 (93 ~ 108万円/坪)

120 m² - 2,800 ~ 3,200万円 (78 ~ 91万円/坪)



資料の複写・転載禁止

Cedar Downs



三井ホーム・カナダ

Mitsui Homes Canada Inc.

- 1992年設立・・・ディメンジョンランバー、OSB等資材の調達、グレーディング、日本への輸出 (1994年: 製材23.6万m³、OSB 2万m³)
- 2005年・・・パネル生産開始 (2008年: 1,000ユニット以上の出荷) →カナダ国内・米国へ出荷



余談: Boeing社操業当時の木造の工場 (Post & Beam Construction)



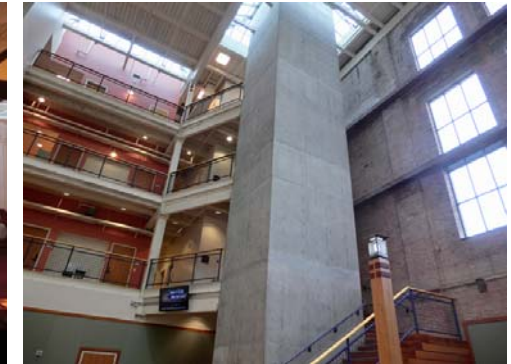
86

University of Washington, Tacoma Campus

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) 認定を受けて、歴史的建造物を耐震補強と改修を行い、1997年にオープン



テナントとしてレストランが入るビル



West Coast Grocery (食料品店) として使われていた建築物を校舎に改築したもの

87

NEESWOOD(米)7F-2x4震動台実験(2009)



88

海外の中高層木造事例調査のまとめ

【主な事例】



【全体構工法・各部構造方法の例】

調査結果のまとめ(16件中)

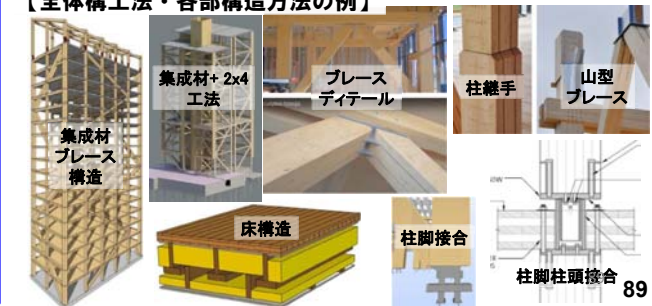
- ・CLTパネル工法・・・6件
- ・GLTフレーム・・・10件
- ・1階/1,2階RC・・・12件
- ・RCコア・・・4件

<コスト>:

45万円/坪(加6F)
～168万円/坪(ルウェー18F)

<工期>:

3ヶ月(8F)～18ヵ月(18F)



89

4. 日本の中高層木造に関する技術開発プロジェクト

5.1 CLTの振動台実験その他の技術開発

→我が国で建ち始めた中高層木造

5.2 枠組壁工法6階建て実験棟

5.3 木造建築物の中高層化に関する建築研究所の取組み

5.4 官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)による高層木造の設計例と炭素固定

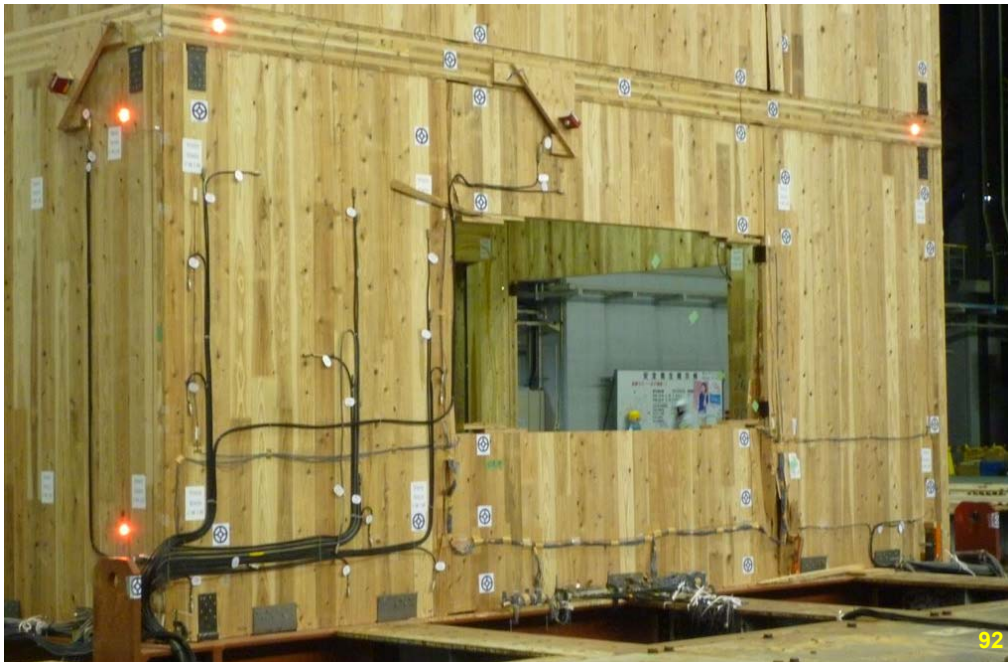
90

5階建てCLTパネル工法振動台実験



91

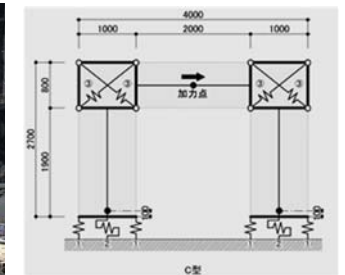
C棟 実験結果



92

振動台実験等のまとめー1

- 小幅パネル架構により、比較的靱性に富む構造物が可能となり、5階建て程度の建築物で、基準法の大地震動に耐える設計が可能。
- 大版パネル架構により、少なくとも3階建てまでの設計が可能。
- これらに対する解析モデルの妥当性も確認。



23

93

振動台実験等のまとめ-2

- 大版パネル架構には、開口隅角部からの亀裂を許容しない設計法と、許容する設計法が考えられる。
- 開口隅角部からの亀裂を許容しない設計法でも、亀裂・破断が生じた後の耐力低下は比較的緩やか。
- 開口隅角部からの亀裂を許容する設計法では、亀裂・破断が生じた後は、小幅パネル架構と同様の挙動に移行すると考えられる。



94

研究成果の公表・出版

告示解説書



設計施工マニュアル



95

我が国初のCLTによる建築



Usage	apartment house
Completed	Mar. 2014
Total floor area	267 m ²
Volume of CLT	120 m ³
Size of CLT	Floor & ceiling: 180 mm Wall: 150 mm narrow panel
Story	3
Location	Kochi
Design	Nihon system Sekkei

96

3階建て集合住宅(ほぼ同一プラン)



97

建築研究所CLT実験棟



Usage	Testing house
Completed	April, 2016
Total floor area	166 m2
Volume of CLT	94.14 m3
Size of CLT	Wall: 90/150 mm narrow panel Floor: 210 (5L7p/7L7p) mm Roof: 150 mm
Story	2
Location	Tsukuba, Ibaraki
Design	Mr. Aoshima and Mr. Okamoto

施工工数調査、室内温湿度測定、CLTの寸法変化、温湿度変動下のメカノソープティブ変形測定、陸屋根の防水層と脱気装置の有効性検証、床衝撃音遮断性能測定・向上検討

写真撮影：㈱ナカサアンドパートナーズ

5.1 我が国で建ち始めた中高層木造 CLTによる5階建て福祉ビル(1/2)

資料の複写・転載禁止



用途	福祉施設
竣工	2016年7月
延床面積	971.54 m ²
CLT使用量	137.84 m ³
CLTの寸法	壁: 120(3層4プライ) 床: 210(5層7プライ)
構造	1F: RC造, 2-5F: CLT パネル工法
階数	5
防火仕様	1時間耐火構造
所在地	奈良県
設計	(有)浅田設計室

CLTによる5階建て福祉ビル(2/2)



6階建て混構造(1~3F・RC, 4~6F木造)



枠組壁工法による5階建て福祉ビル

- 階数: 5階建て(1階:RC造、2~5階:2×4)
- 建築面積: 2,496 m²(755坪)
- 延床面積: 9,773 m²(2,956坪)
- 建物用途: 特別養護老人ホーム140室ほか20室、地域交流スペース(防災拠点型)等
- 工事工期: 2015年3月~2016年6月



102

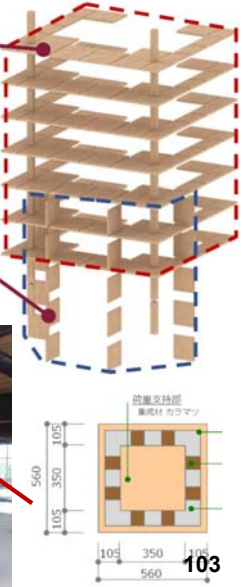
Park Wood 高森(仙台市)2019

鉄骨造集合住宅の一部木質化(燃え止まり型柱・CLT耐震壁)



【CLT床材】4階~10階部分に採用(耐火被覆に加えトップコンクリートで遮音性能向上)

【CLT耐震壁】1階~5階部分に採用(鉛直荷重を支持せず、耐火構造不要)



2019

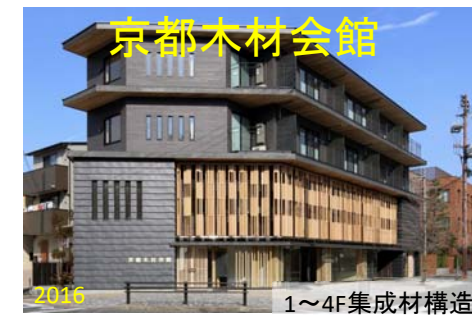
兵庫県林業会館



設計	竹中工務店
施工	竹中工務店・大和ハウス工業 特定建設工事共同企業体
建築地	兵庫県神戸市
竣工	2019年1月
規模	地上5階、塔屋1階
構造	鉄骨造+CLT耐震壁
建築面積	約310m ²
延床面積	約1,567m ²
木材使用量	CLT 222m ³

104

関西地区の中層耐火構造



京都木材会館

2016

1~4F集成材構造



事務所建築

2015

1F-RC、2~5F-2x4



2018

1F-RC、
2~5F-
2x4、
事務所
+店舗竹中研修所匠館
(準耐火)

地階-RC、1~3F-CLT

2018

ホテルデズカバー京都長岡京
2019

1,2F-RC、3~5F-2x4

26

105

有明体操競技場→展示場に転用



Cost: JPY 20,500,000,000
 Story: 3
 Building area: 21,261 m²
 Total floor area: 39,194 m²
 Volume of wood: 2,300 m³
 (mainly Japanese Larch
 & Japanese Cedar)



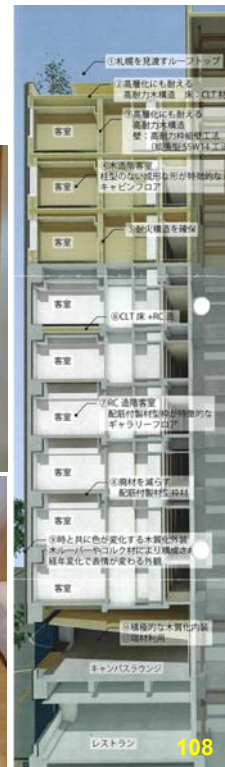
純木造7階建て(仙台市)



設計	シェルター
用途	賃貸事務所
竣工	2021年3月
階数	7階
構造	1~7F木造
建築面積	約189m ²
延床面積	約1,131m ²

107

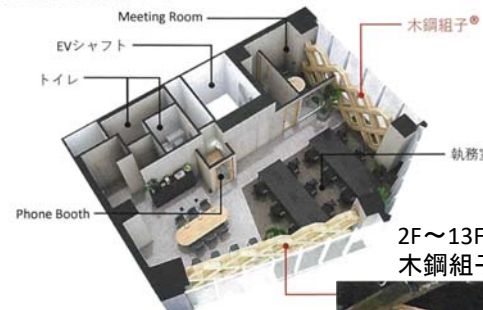
Royal Park Canvas (11F Hotel, Hybrid, completed in 2021) @Sapporo



108

道玄坂1丁目プロジェクト(13F雑居ビル、混構造、2022完成予定)

基準階(事務所)プラン



2F~13Fの水平抵抗要素に木鋼組子®を使用

10F~13Fに鉄骨複合集成材梁(1時間耐火)を使用



27

5.2 枠組壁工法6階建て実験棟 (2016年完成)

検証項目(日本2x4建築協会と
建築研究所の共同研究)

- ① 6階建て以上の建築物の試設計
- ② 構造計算の実施
- ③ 実施設計・建築
- ④ 鉛直荷重に対する性能検証
- ⑤ 水平力に対する性能検証
- ⑥ 建具の性能検証
- ⑦ 遮音性能の検証
- ⑧ 耐久性の検証



110

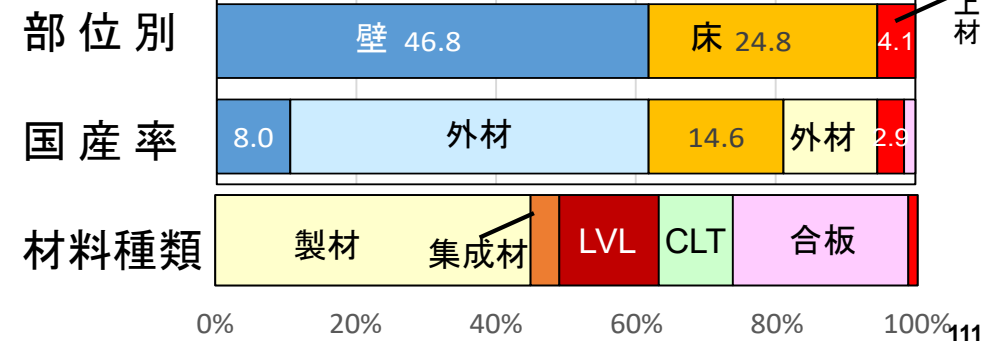
③6階建て建築物の実実施設計・建築 施工時間の分布と 投入資材量

木質資材使用量

6階建て実験棟:0.37 m³/m²

戸建て住宅:0.173 m³/m²

木質資材の種類と分布 (数値はm³)



5.3 木造建築物の中高層化に関する 建築研究所の取組み

「中高層木造建築物等の構造設計技術の開発」
(平成28~30年度)の検討項目

- (1) 木造建築物の中高層化を実現する複合材料等の性能評価技術の開発
- (2) 集成材等建築物の中高層化に要する構造計算基準の適正化・合理化
- (3) 中高層軸組耐力壁構造の許容応力度等計算に関する設計技術の検討
- (4) 中高層枠組壁工法・CLT構造の許容応力度等計算に関する設計技術の検討
- (5) 中高層木質併用構造等の設計技術の検討
- (6) CLTパネル構造の仕様書規定の検討

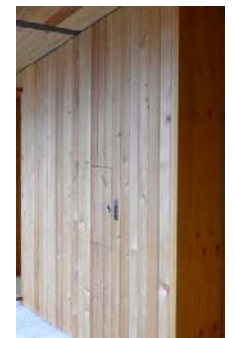
112

(2)集成材等建築物の中高層化 研究の背景

- 集成材建築:終局状態を考慮した設計法の導入と大断面マニュアル(BCJ, 1988)の改訂が望まれて久しい。
- 大地震動下での必要保有水平耐力

$$Q_{un} = D_s \times F_{es} \times Q_{ud}$$

Ds:各階の構造特性係数(ルート1に無い)
 Fes:各階の形状特性係数
 Qud:地震力によって各階に生じる水平力
- 集成材厚板パネル:直交層を含むCLTより高層化へ有利か?現状は床・屋根への利用に留まっている。



113

(2)集成材等建築物の中高層化

4) 集成材建築の設計・施工マニュアルの改訂案の検討

目次

部	章	節	項
第1章	集成材等建築物の総論	1	1.1 法上上の位置づけ
			1.1.1 建築基準法施行令第46条第2項
			1.1.2 適用可能な材料
			1.1.3 構造性能の法上上の要求
			1.2 集成材等建築物の沿革
			1.2.1 集成材による建築の歴史
			1.2.2 集成材等建築物の沿革
			1.3 集成材等建築物の特徴
			1.3.1 架構形式と設計方法
			1.3.2 本業で扱う構造形式と接合部
1.3.3 集成材構造の長所			
第2章	集成材等建築物に使用する材料の特性	2	2.1 集成材の種類と特徴
			2.1.1 構造用集成材の種類と特徴
			2.1.2 構造用集成材の日本農林規格
			2.1.3 構造用集成材の強度特性値
			2.2 構造用集成材の種類
			2.2.1 構造用集成材の種類と特徴
			2.2.2 構造用集成材の日本農林規格
			2.2.3 構造用集成材の強度特性値
			2.3 構造用集成材の種類と特徴
			2.3.1 構造用集成材の種類と特徴
2.3.2 構造用集成材の含水率と構造方法			
2.3.3 構造用集成材の含水率と構造方法			
2.3.4 構造用集成材の強度特性値			
第3章	木質接着成形軸材の種類と特徴	3	3.1 木質接着成形軸材の種類と特徴
			3.1.1 木質接着成形軸材の種類と特徴
			3.1.2 木質接着成形軸材の強度特性値
			3.2 木質接着成形軸材の種類と特徴
			3.2.1 木質接着成形軸材の種類と特徴
			3.2.2 木質接着成形軸材の強度特性値
			3.3 木質接着成形軸材の種類と特徴
			3.3.1 木質接着成形軸材の種類と特徴
			3.3.2 木質接着成形軸材の強度特性値
			3.4 木質接着成形軸材の種類と特徴
3.4.1 木質接着成形軸材の種類と特徴			
3.4.2 木質接着成形軸材の強度特性値			
第4章	集成材等建築物の構造設計	4	4.1 集成材等建築物の構造設計
			4.1.1 集成材等建築物の構造設計
			4.1.2 集成材等建築物の構造設計
			4.1.3 集成材等建築物の構造設計
			4.1.4 集成材等建築物の構造設計
			4.1.5 集成材等建築物の構造設計
			4.1.6 集成材等建築物の構造設計
			4.1.7 集成材等建築物の構造設計
			4.1.8 集成材等建築物の構造設計
			4.1.9 集成材等建築物の構造設計
4.1.10 集成材等建築物の構造設計			
第5章	集成材等建築物の構造計算	5	5.1 集成材等建築物の構造計算
			5.1.1 集成材等建築物の構造計算
			5.1.2 集成材等建築物の構造計算
			5.1.3 集成材等建築物の構造計算
			5.1.4 集成材等建築物の構造計算
			5.1.5 集成材等建築物の構造計算
			5.1.6 集成材等建築物の構造計算
			5.1.7 集成材等建築物の構造計算
			5.1.8 集成材等建築物の構造計算
			5.1.9 集成材等建築物の構造計算
5.1.10 集成材等建築物の構造計算			

2020年12月より編集委員会発足@日本建築センター
→2023年度中に出版予定

5.3 木造建築物の中高層化に関する建築研究所の取組み

「木造建築物の中高層化等技術に関する研究開発」(平成31~令和3年度)の検討項目

- ① 木質系異種複合部材の性能評価法に関する研究開発
- ② 集成材等建築物の構造設計マニュアルの汎用性拡大に関する研究開発
- ③ 集成材ブレース構造の終局耐力設計法に関する研究開発
- ④ CLTパネル工法の構造計算基準の合理化に関する研究開発
- ⑤ 中高層枠組壁工法の各種性能評価と普及に関する研究開発
- ⑥ 低層CLTパネル工法の各種性能評価と普及に関する研究開発

枠組壁工法(2x4)の中層化への取組

- 1996一階高を抑えた4階建て実験棟の建設
- 2006一通常の階高の4階建て実験棟の建設

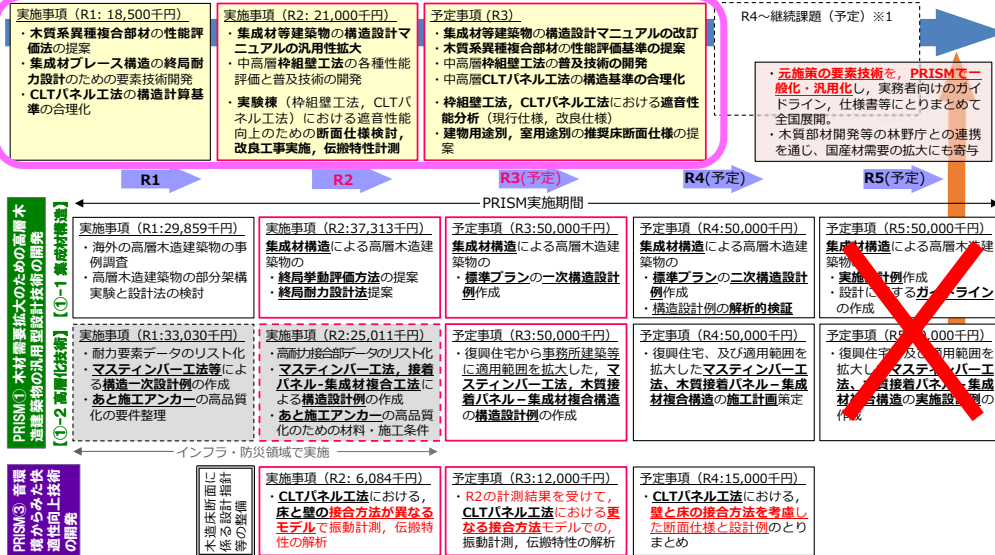


5.4 官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)による高層木造

- 内閣府PRISM「革新的建設・インフラ維持管理技術/革新的防災・減災技術」のうち、「仮設・復興住宅の早期整備による応急対応促進」のなかで「土地の有効利用に資する木造建築物の高層化技術の開発」(2018~2021年度)を実施。
- PRISM「バイオ技術領域」のうち、「木材需要拡大のための木造高層建築物の汎用型設計技術」(2019~2023年度)を実施。
- 建築研究開発コンソーシアム「木造建築物の中高層化可能性検討研究会」(2015~)に参加メンバーに検討の分担者を募る。2020~「木造建築物の中高層化技術研究会」に改組。

5.4 PRISMによる高層木造

建築研究所運営交付金課題



119

5.4 PRISMによる高層木造

建築研究開発コンソーシアム「木造建築物の中高層化技術研究会」参加メンバー

- 森林総合研究所、JSCA、吉野石膏、三井住友建設、ミサワホーム総合研究所、日本システム設計、建材試験センター、福山大学、日本防火技術者協会、熊谷組、住友林業、ALC協会、(株)安藤・間、浅沼組、日本住宅・木材技術センター、三井ホーム、大成建設、構造計画研究所、フジタ、清水建設、ベターリビング(順不同)
- アドバイザー：工学院大学(河合教授)、京都大学(五十田教授)、東京大学(腰原教授)、明治大学(梶川准教授)ほか

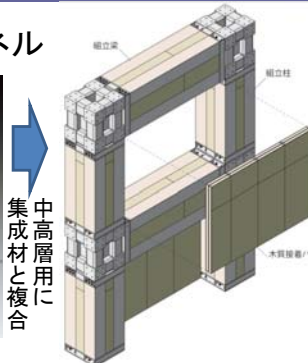
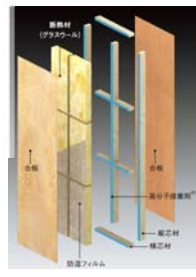
120

木造の各種構工法

マスティンバー工法(CLTパネル工法)

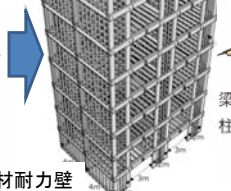
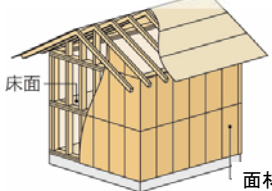


木質接着パネル



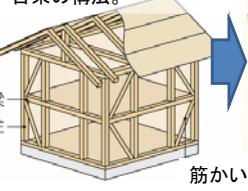
枠組壁工法→集成材面材構造

(2x4工法) 縦横に組んだ枠組材に面材を留め付けたパネルを構造要素とする北米発祥の工法



軸組構法→集成材ブレースによるメガストラクチャー

軸組構法: 主に柱と梁(桁)等の軸材で構成される我が国古来の構法。



以上に加えて、集成材半剛節フレーム構造がある

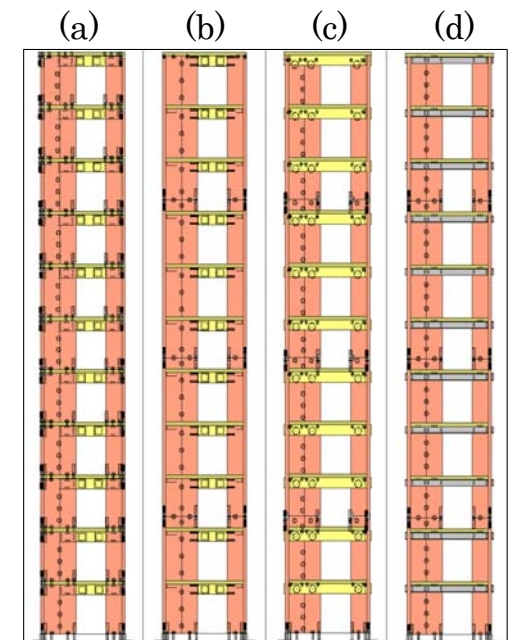
121

5.4 PRISMによる高層木造

1) マスティンバー工法
(日本システム設計、日本CLT協会)

- 壁勝ち、床勝ち、垂れ壁の仕様等構工法の適性を検討

→垂れ壁と壁パネル間のモーメント抵抗接合に大きな耐力を負担させることは容易でなく、集成材の梁は10階建てではかなり大断面になることから、(d)が最適と結論



122

5.4 PRISMによる高層木造

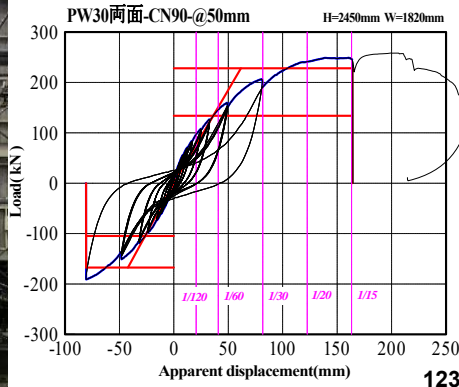
2) 枠組壁工法(三井ホーム、日本2x4建築協会)

- 10階建てモデルプランが設定され、 $C_0=0.2$ における一次設計を実施

→概ね60 kN/mの耐力壁が必要

→耐力壁の開発・・・最大の58 kN/mの許容耐力を達成

140×140 mmの
たて枠と89×140
mmの上下枠に30
mmの構造用合板
をCN90で打ち付
けた耐力壁→

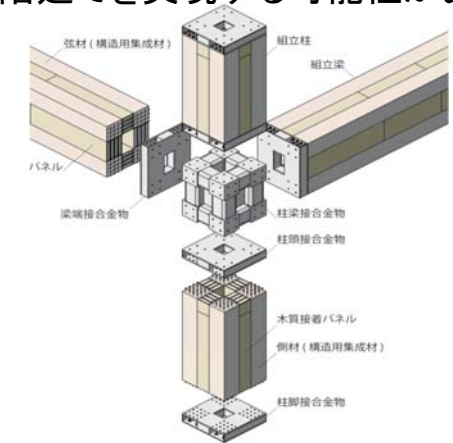
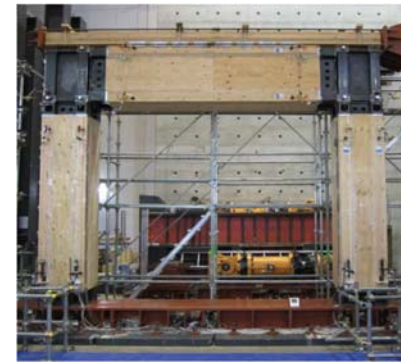


5.4 PRISMによる高層木造

3) 接着パネルを用いた工法(ミサワホーム総合研究所)

- 工場生産された接着パネルと集成材を接着複合した部材を用いた構造方法の既往の骨格曲線に基づいて、10階建てモデルプランの一次設計を実施。

→360×360 mmの柱が、10階建てを実現する可能性があることが示唆された。



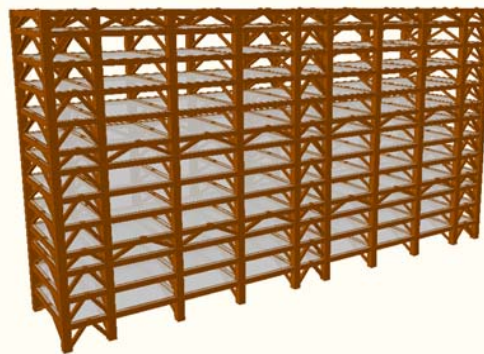
124

5.4 PRISMによる高層木造

4) 軸組構法の検討(住友林業+熊谷組)

- 耐力面材又は筋かいを用いる工法やメガストラクチャーなどいくつかの構造方法を検討対象として $C_0=0.2$ における応力解析を実施。

→メガストラクチャーよりも座屈拘束ブレースの方が効率的であることが判明



125

5.4 PRISMによる高層木造

5) 集成材半剛節フレーム(国総研秋山氏+日テム)

- 鋼板挿入ドリフトピン、引きボルトによる接合を用いた半剛節ラーメンの終局耐力算定法、塑性率向上について検討

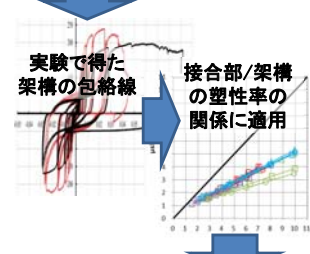
→大断面マニュアルの改訂版に反映・設計例作成



126

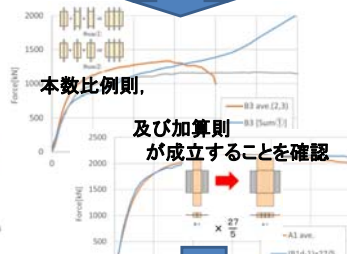
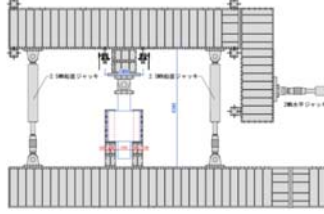
部分架構、接合部、耐力要素に関する令和元年度の成果の例

集成材半剛節フレーム架構の性能評価実験



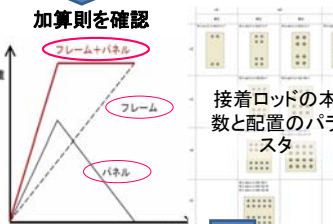
実験で得た架構の包絡線
接合部/架構の塑性率の関係に適用
成果: 接合部の特性に基づく架構の靱性特性の推定方法を提案

集成材プレース架構性能評価のための接合部実験



成果: 集成材プレースの性能評価法の理論を構築

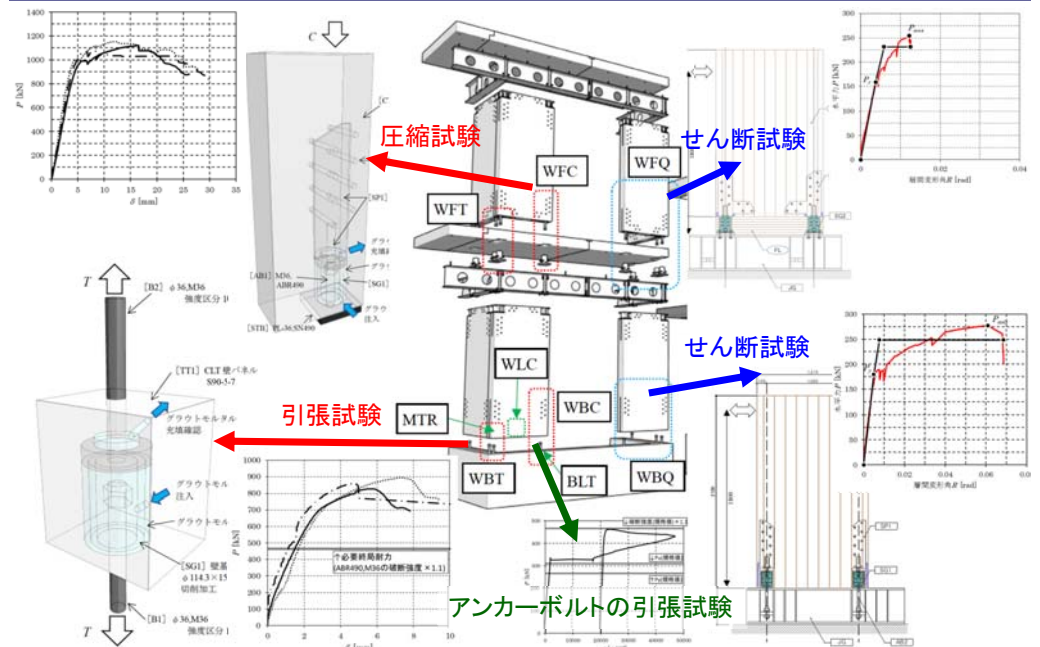
集成材・接着パネル併用構造フレーム性能評価要素実験



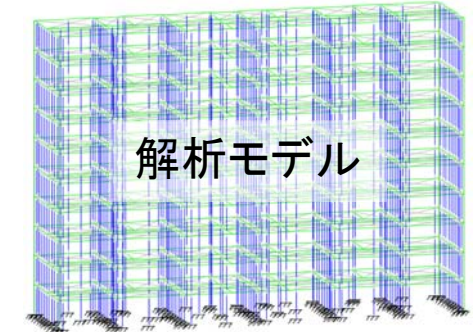
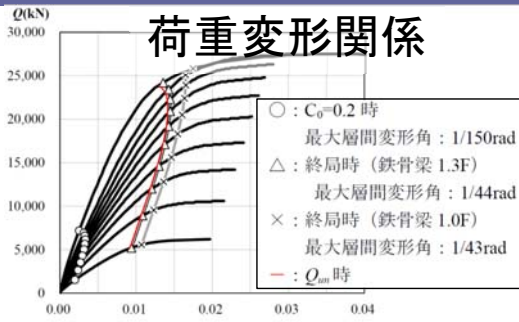
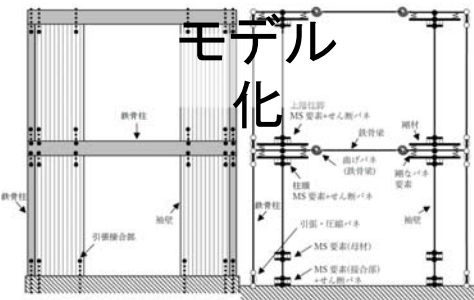
成果: 集成材・接着パネル併用構造の耐力設計式の提案

マスティンバー工法へのスリーブ管ジョイントの検証・導入

資料の複写・転載禁止



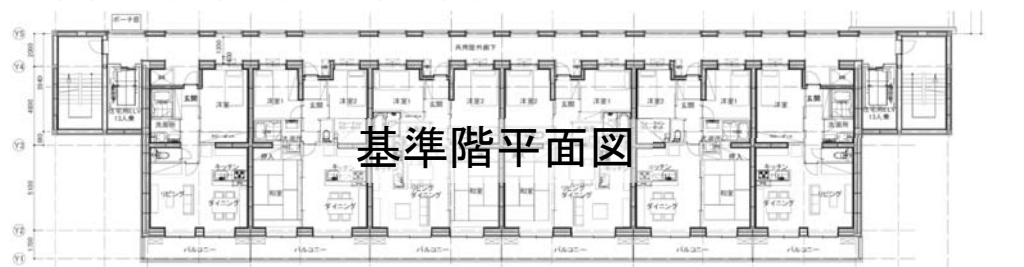
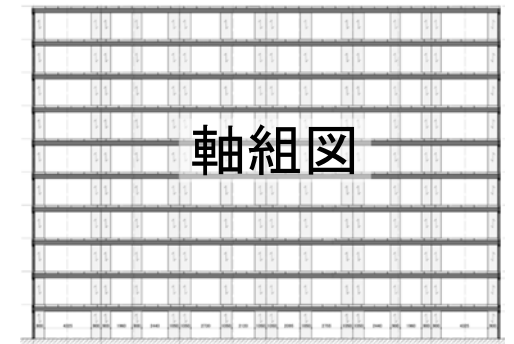
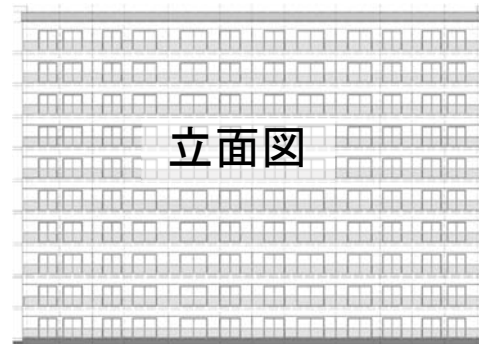
マスティンバー工法による10階建て復興住宅



保有水平耐力の検定

層	長辺(X)方向			短辺(Y)方向		
	必要保有水平耐力 Qun (kN)	保有水平耐力 Qu (kN)	検定比 Qu/Qun	必要保有水平耐力 Qun (kN)	保有水平耐力 Qu (kN)	検定比 Qu/Qun
10	4,320	4,470	1.035	5,104	5,200	1.019
9	7,427	7,680	1.034	8,775	8,920	1.017
8	9,891	10,300	1.031	11,805	12,000	1.017
7	10,300	10,600	1.029	12,000	12,300	1.025
6	14,297	14,600	1.021	16,892	17,100	1.012
5	16,081	16,400	1.020	19,000	19,200	1.011
4	17,575	17,900	1.018	20,765	20,900	1.006
3	18,792	19,100	1.016	22,204	22,300	1.004
2	19,744	20,000	1.013	23,327	23,400	1.003
1	20,435	20,700	1.013	24,145	24,200	1.002

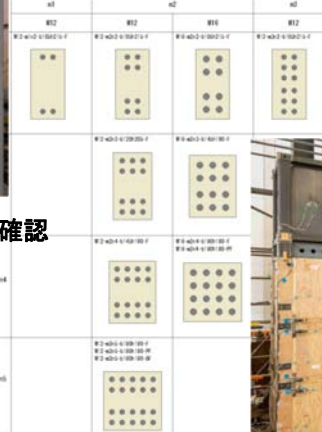
マスティンバー工法による10階建て復興住宅



木質接着パネル・集成材複合構造の要素技術の開発

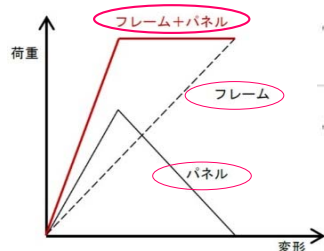


接着ロッドの本数と配置のパラメトリックスタディ

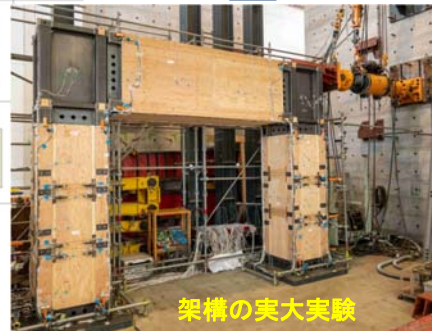


復興住宅の構造設計

接着パネルと集成材の加算則確認

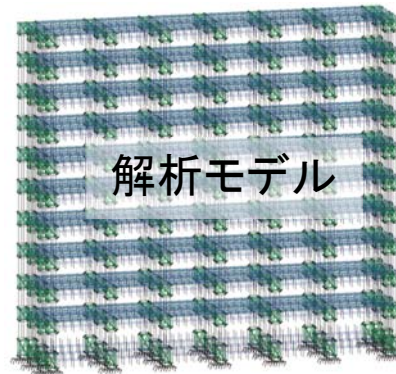
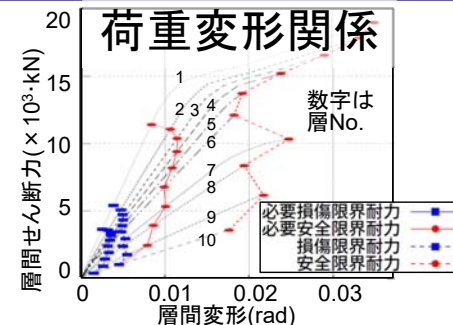
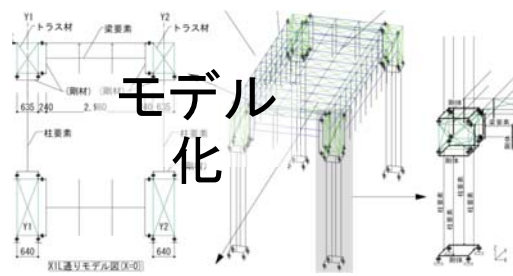


集成材・接着パネル併用構造の部材耐力設計式



架構の実大実験

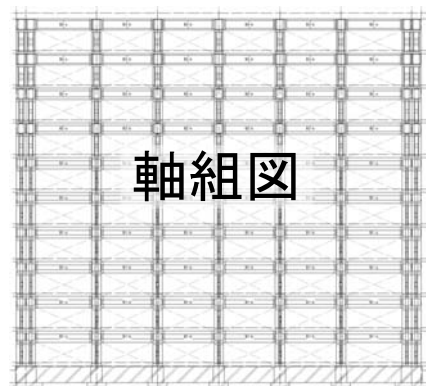
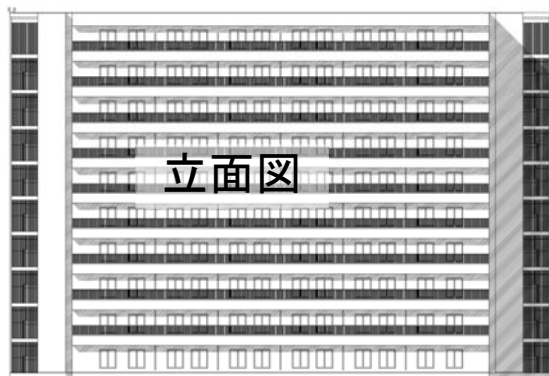
木質接着パネル・集成材複合構造10階建て復興住宅



層	長辺(X)方向			短辺(Y)方向		
	必要保有水平耐力 Qu (kN)	保有水平耐力 Qu (kN)	検定比 Qu/Qu	必要保有水平耐力 Qu (kN)	保有水平耐力 Qu (kN)	検定比 Qu/Qu
10	2,112	9,377	4.44	2,112	8,931	4.23
9	3,824	9,727	2.54	3,824	9,378	2.45
8	5,384	13,953	2.59	5,384	13,996	2.60
7	6,110	14,973	2.45	6,110	14,973	2.45
6	6,836	15,993	2.34	6,836	15,993	2.34
5	9,350	18,904	2.02	9,350	19,386	2.07
4	10,370	18,709	1.80	10,370	19,426	1.87
3	11,182	18,803	1.68	11,182	19,681	1.76
2	11,794	18,976	1.61	11,794	19,966	1.69
1	12,213	19,655	1.61	12,213	20,717	1.70

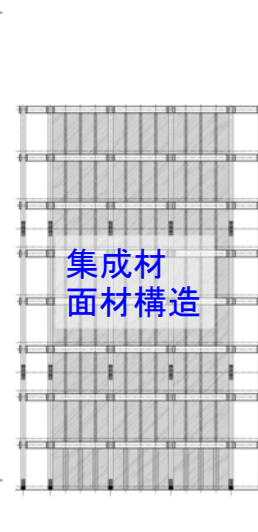
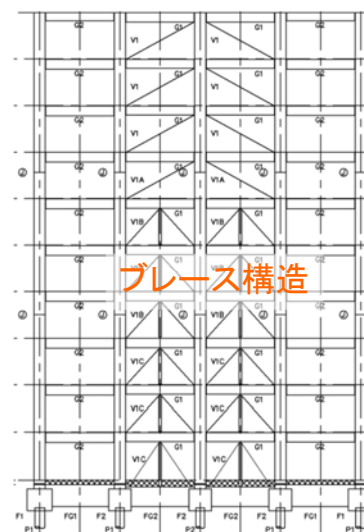
保有水平耐力の検定

木質接着パネル・集成材複合構造10階建て復興住宅



高層木造設計例の比較

- マスティンパー工法・木質接着パネル・集成材複合部材による構法(前述)
- 10階建て(座屈拘束)ブレース構造、8階建て集成材面材構造(枠組壁工法をアレンジ)、及び10階建て集成材半剛節フレーム



二酸化炭素排出・貯蔵量 計算方法

排出量: サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース(Ver.2.5)(環境省)

貯蔵量: 建築物に利用した木材に係る炭素貯蔵量の表示に関するガイドライン(2021.10.1林野庁長官通知)

	排出量原単位t-CO2eq
製材	0.1376 / m ³
合板	0.563 / m ³
集成材***	0.3361 / m ³
砂利・碎石	0.0118 / t
セメント	0.758 / t
生コンクリート	0.316 / m ³
モルタル(セメント6+砂2)	0.57145 / t
熱間圧延鋼材	1.9 / t
鋼管	2.4 / t
鉄筋****	0.46933 / t
せっこうボード*	0.394 / t
ALC**	0.1182 / t

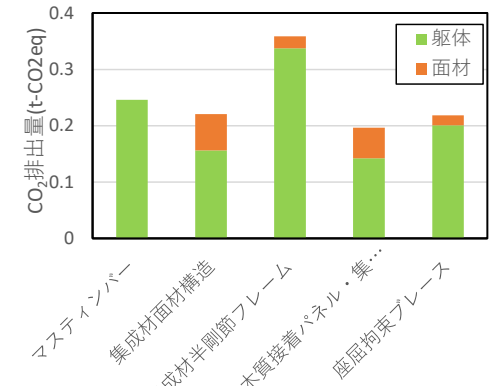
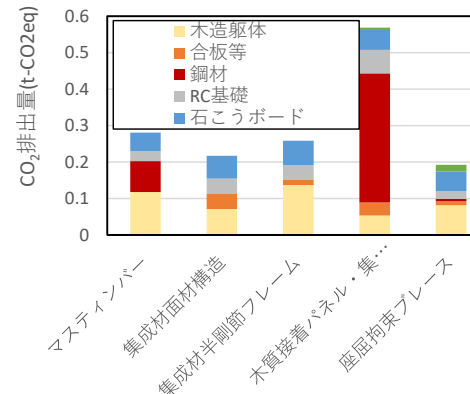
Cs	炭素貯蔵量
W	木材使用量(m ³)
X	
D	密度(t/m ³)
X	
Cf	炭素含有率
X	
44/12	

*: リサイクル建築資材製造時の環境負荷原単位に関する研究(茂呂隆幸, 多葉井宏, 高口洋人) *
 **: 社会資本整備における環境政策導入によるCO2削減効果の評価と実証に関する研究(4)環境政策の検討と導入効果の評価(大都市圏)/東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 野口 貴文"
 ***: 製材, 集成材および合板製造における温室効果ガス排出量の算出とその方法に関する諸課題, 林産試験場報(古賀寛隆ほか)"
 ****: コンクリートの環境負荷評価における環境要因に関する基礎的検討(JCI, 樋口雅也、河合研至)

二酸化炭素排出・貯蔵量 計算結果

床面積当たりのCO₂排出量

床面積当たりのCO₂貯蔵量



- ◆ CO₂収支が黒字(貯蔵>排出): 集成材半剛節フレーム、(座屈拘束)ブレース構造、集成材面材構造
- ◆ CO₂収支が赤字(排出>貯蔵): マスティンバー工法(鉄骨梁)・木質接着パネル・集成材複合部材による構法

6. 今後の課題と展望

6.1 我が国の中高層の実績・計画



6. 今後の課題と展望

6.2 今後の課題

現状の木造中高層化の課題は以下の通り。

- 高耐力水平抵抗要素の一般化
- 構造計算のクライテリアの合理化(取組中)
- 大地震動下における終局性能の確保(取組中)
- 2h以上の耐火部材の一般化(2h耐火→告示化)
- 鉛直荷重を下階の柱だけに伝達するディテールの開発・一般化
- 木造の外壁工法の耐久性と耐火性能との両立(→R2基整促M6で一定の成果)
- 遮音性能の高度化(PRISMで検討加速)
- 炭素固定・貯蔵効果の見える化・施主への訴求

6. 今後の課題と展望

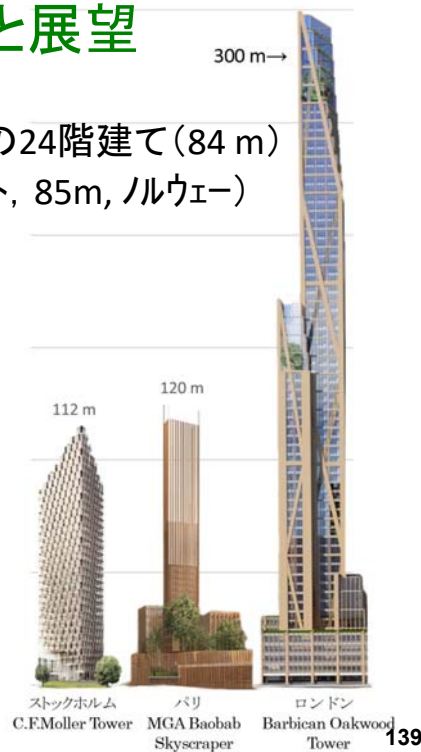
6.3 今後の展開

現在の木造最高階数はウィーンの24階建て(84 m)

最高高さ: Mjøstårnet (ミョーストルネット, 85m, ノルウェー)

> その他計画中は

- スtockホルムの112 m
- パリの120 m
- ロンドンの300 m
- 住友林業の350m



ご清聴ありがとうございました

未発表データを含みますので、
資料のお取り扱いご注意ください。

謝辞

本講演の内容には、国土交通省補助事業及び基準整備促進事業、建築研究所研究課題、イタリア木材研究所(CNR IVaLSA)との共同研究、米国NEES WOODプロジェクト、内閣府官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)、日本ツーバイフォー建築協会との共同研究、日本CLT協会との共同研究の成果の一部を含んでいる。関係者に謝意を表す。



お問い合わせ等

(国研)建築研究所 材料研究グループ 榎本まで

☎ 029-864-6610 ✉ tutti@kenken.go.jp 📠 029-864-6772