

The image shows the exterior of a modern building at dusk. The building features a series of vertical columns and a sawtooth roof. The interior lights are on, creating a warm glow that contrasts with the cool blue tones of the twilight sky. Bare trees are visible in the foreground, and a paved plaza leads to the building's entrance.

都市部での高層木造普及を目材した - 耐火、不燃化への挑戦 -

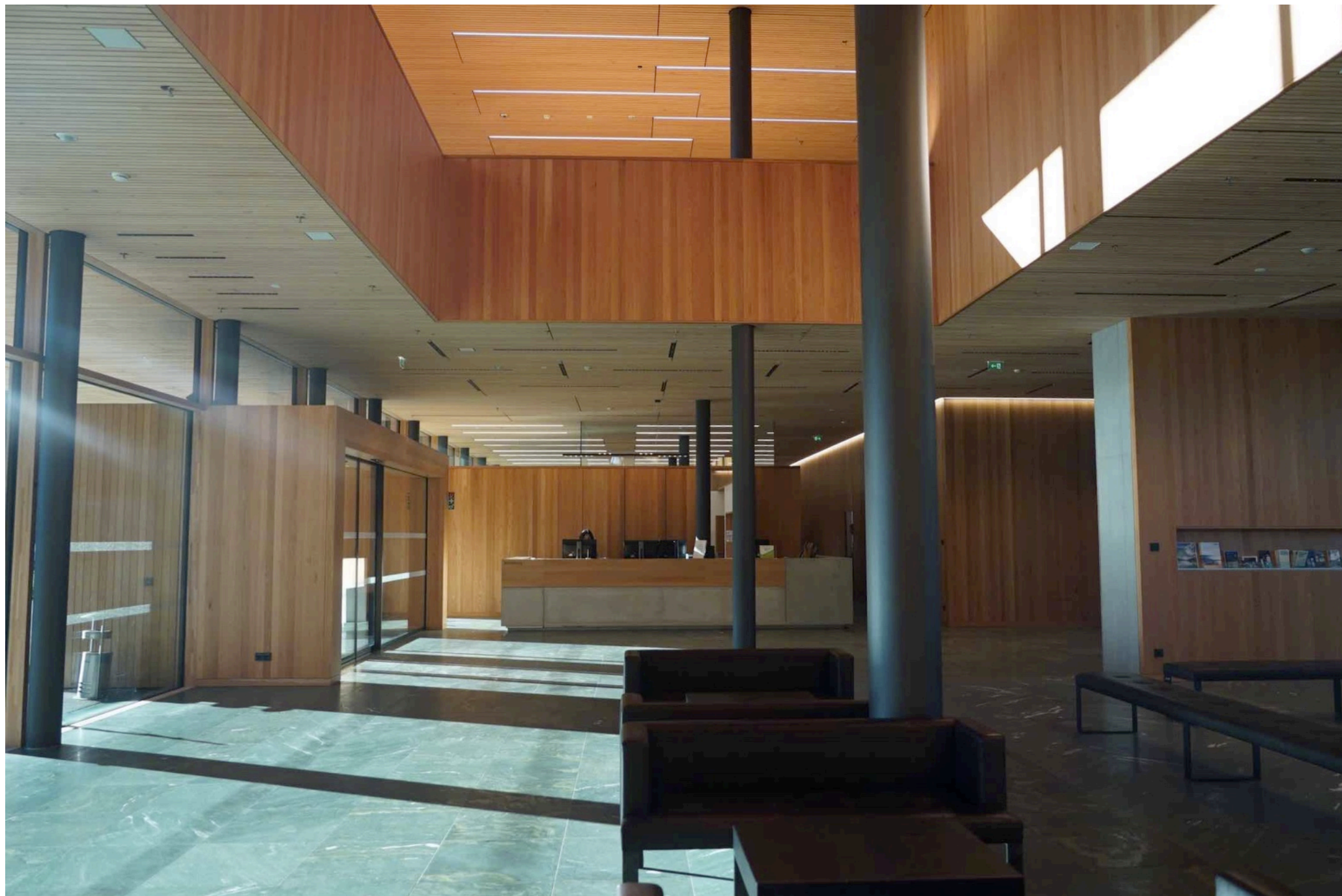
北九州市立大学 福田 展淳



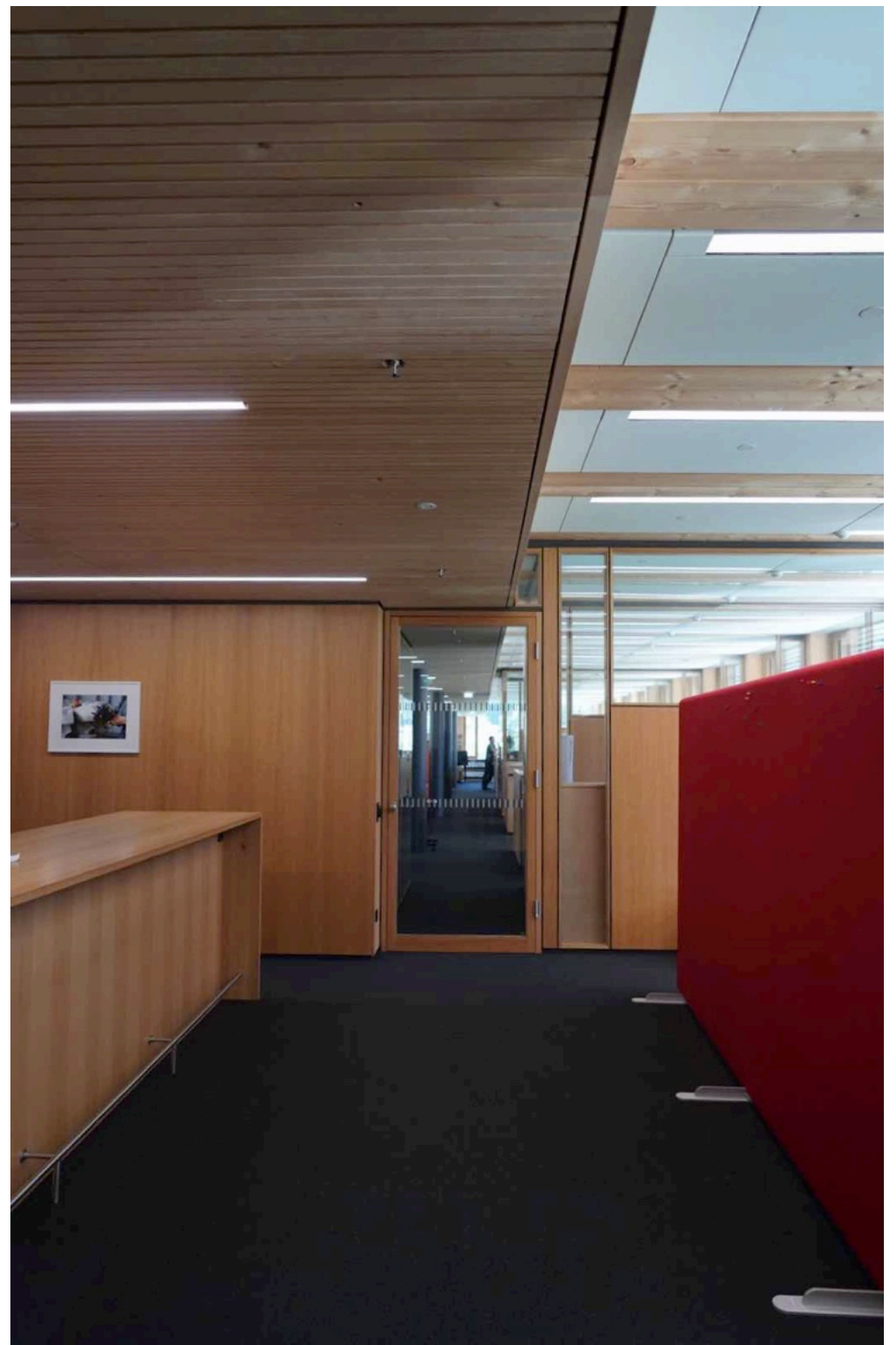
Ⅰ Z M / モンタフォン水力発電センター（5階 / 地下1階建てオフィス / ヴァンダンス / オーストリア）
2013年 CLTハイブリット工法のオフィス建築 設計 ヘルマン カウフマン















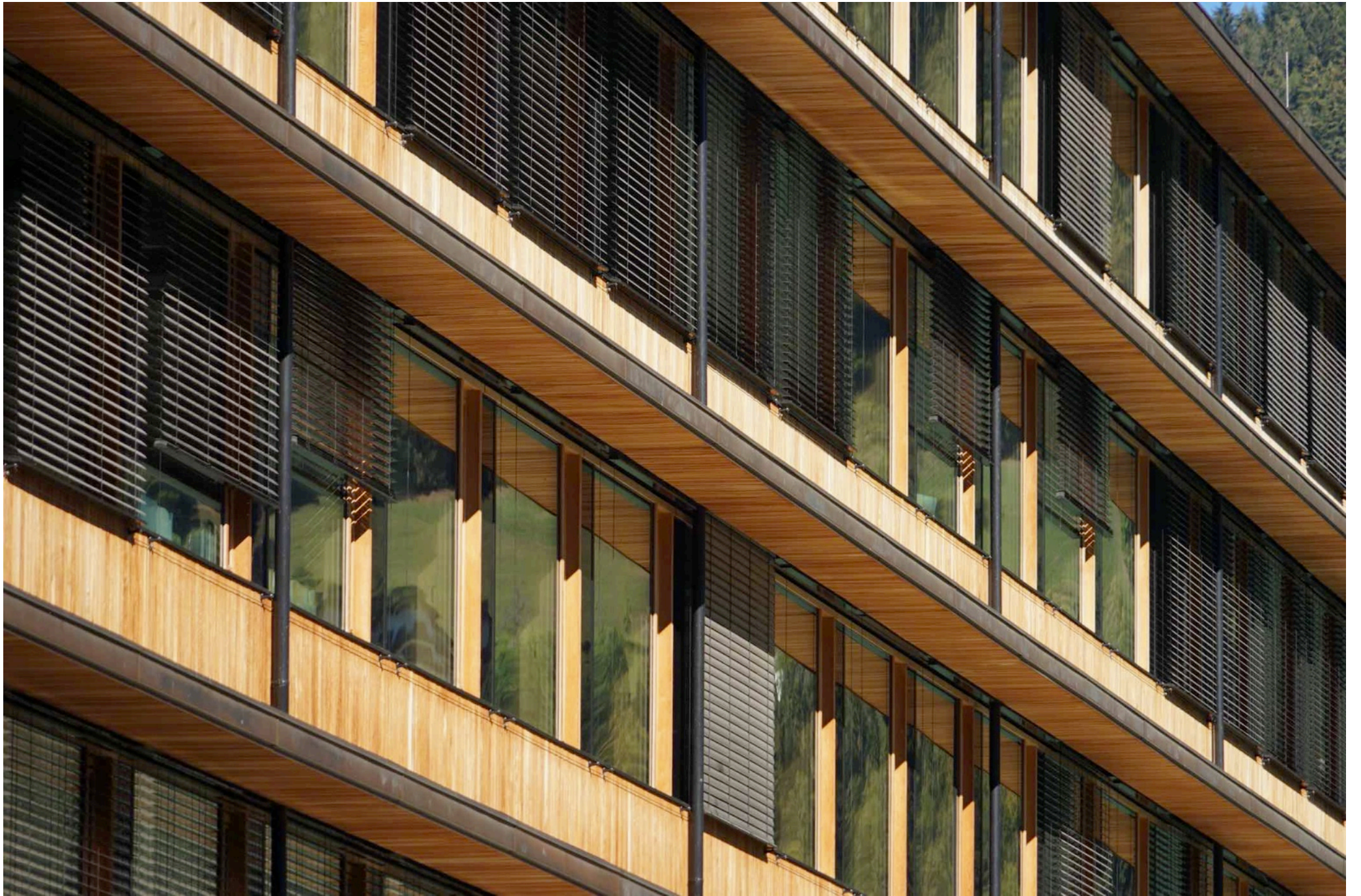






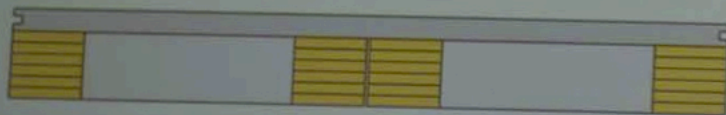






Bautechnik – Detail

illwerke v



Beton D = 8 CM



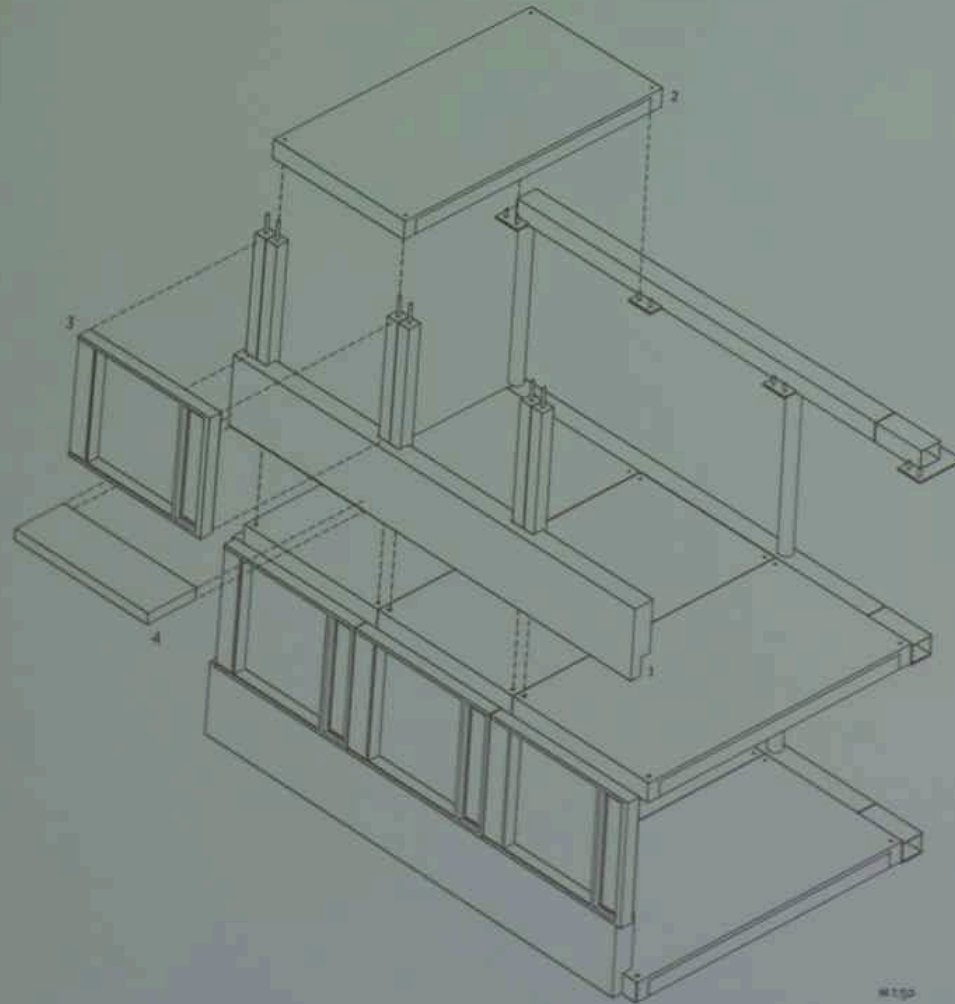
REI 90

SPANNWEITE 8 m und 5,5 m

ELEMENTBREITE 3 m

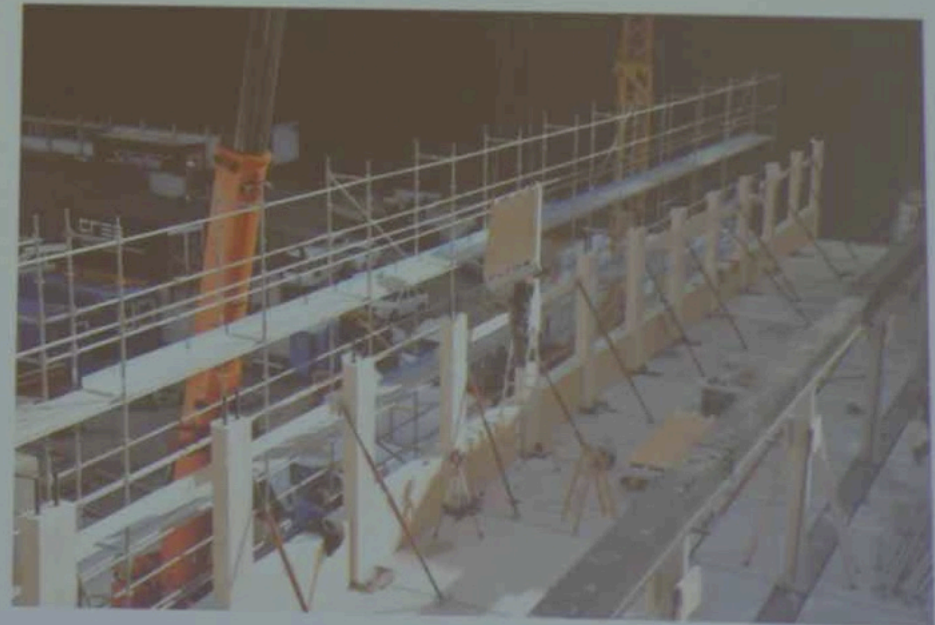
Bautechnik - Detail

il



IZM Eckdaten

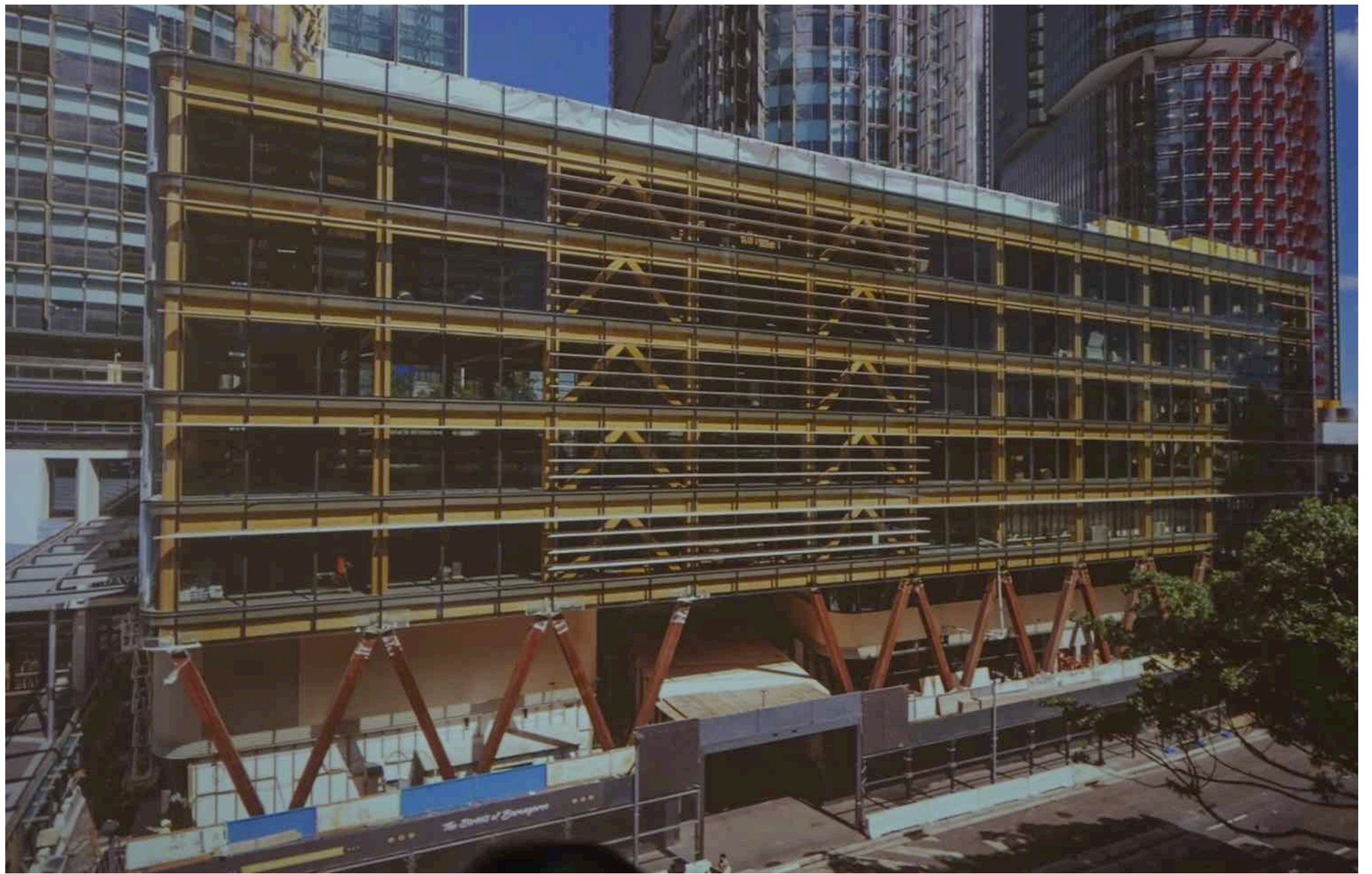
- Dimensionen: Länge 120m, Breite 16m, Höhe 21m
- Nettonutzfläche: 10.000m²
- Investitionskosten: ca. 30.000.000 €
- gesamte Bauzeit: 18 Monate / Holzbau in nur 6 Wochen
- verbaute Holzmenge: 3.000fm







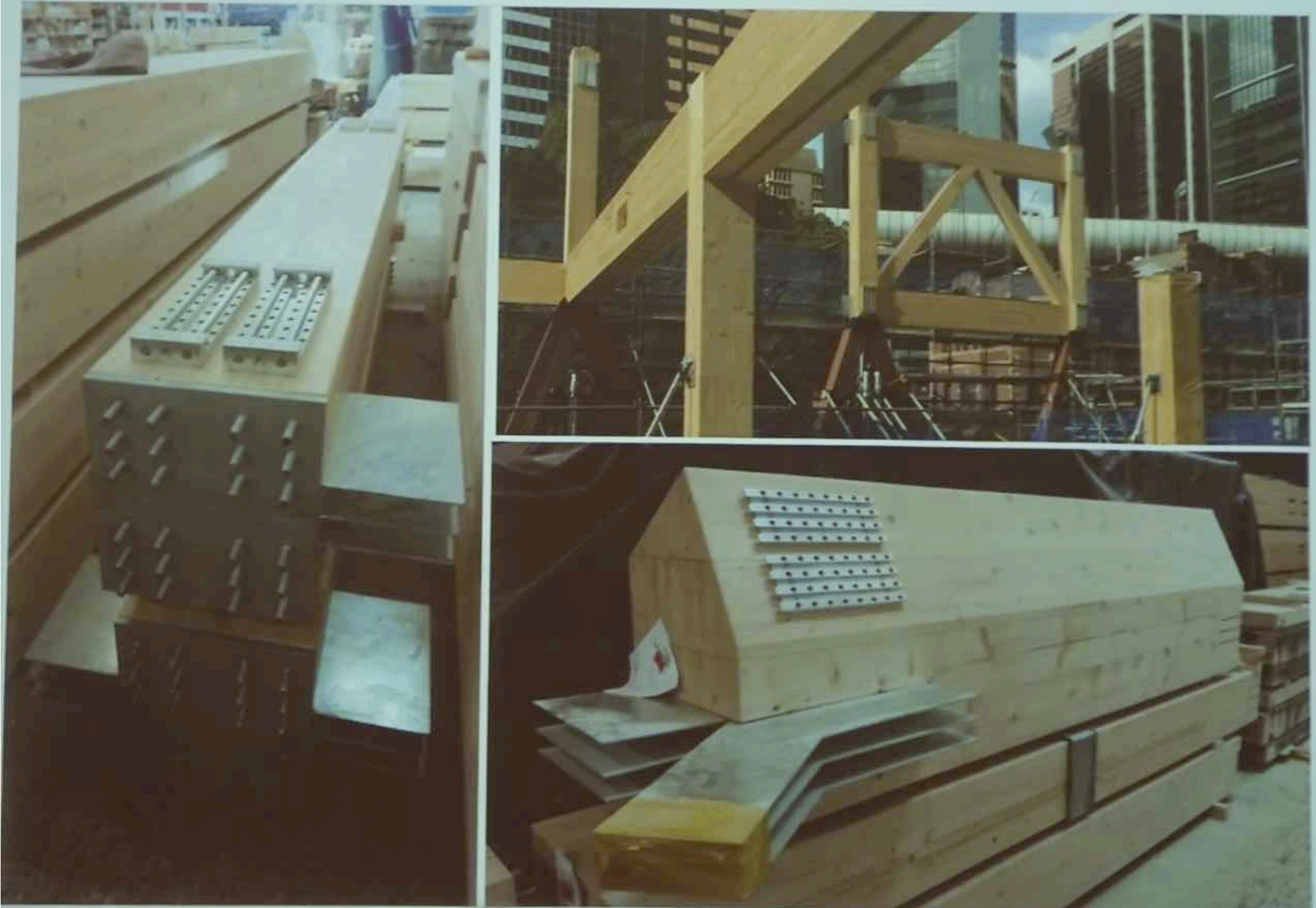
International House Sydney by Lend Lease 7F シドニー 2017





Pre-fabrication

_ Considerations for Efficient Design: DESIGN FOR ASSEMBLY





F.





Pre-fabrication

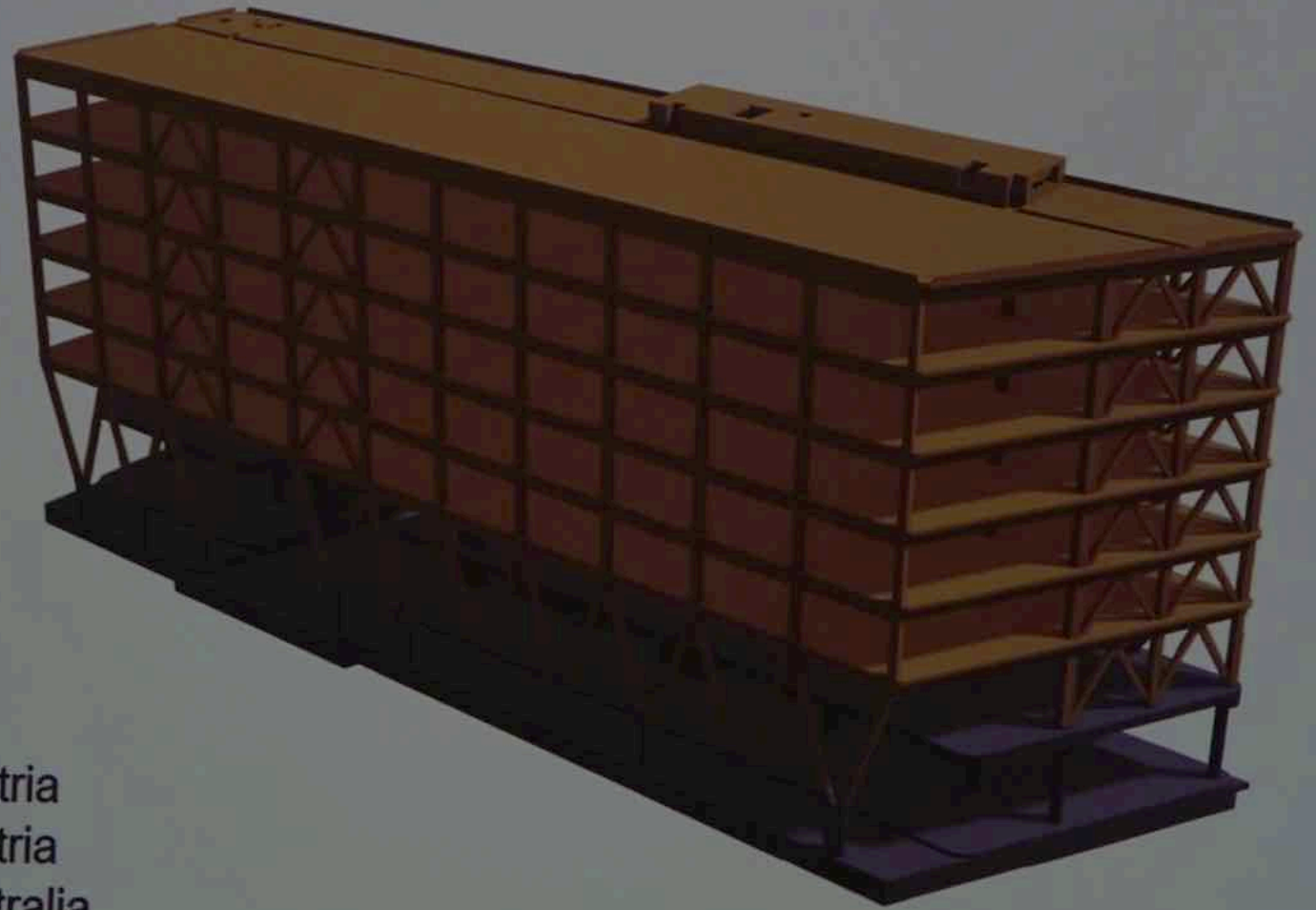
_ Considerations for Efficient Design: FIRE PROTECTION



E.







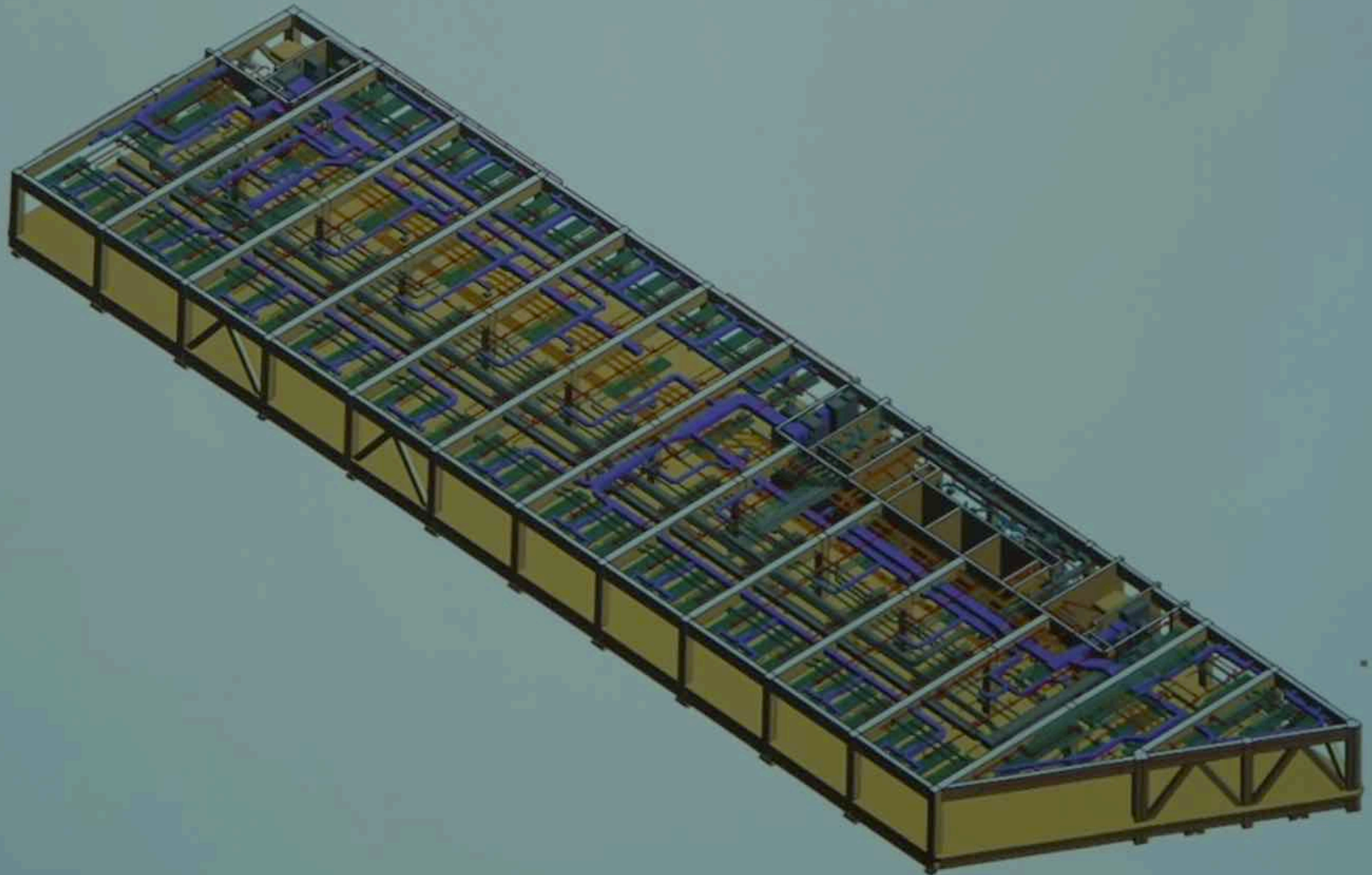
- CLT Panels: Austria
- Glulam: Austria
- Steel Plates: Australia
- Iron Bark: Australia
- Steel Beams: Australia
- Fixings: Germany



Pre-fabrication

_ Considerations for Efficient Design: DESIGN and DOCUMENTATION

D.





Pre-fabrication

_ Considerations for Efficient Design: DESIGN and DOCUMENTATION





Performance Criteria

Typical Concrete

Engineered Timber

Loading

4kPa + 400kg/m²



Fire

90 - 120

90分から120分の間、耐火性能を維持する必要がある



Acoustics

NR38-40

NR38-40は、会議室や一般的なオフィスなど、ある程度の静けさが求められる空間に適した基準



Grid Spacing

9m x 12m

9m x 9m

Column Size

900mm x 900mm

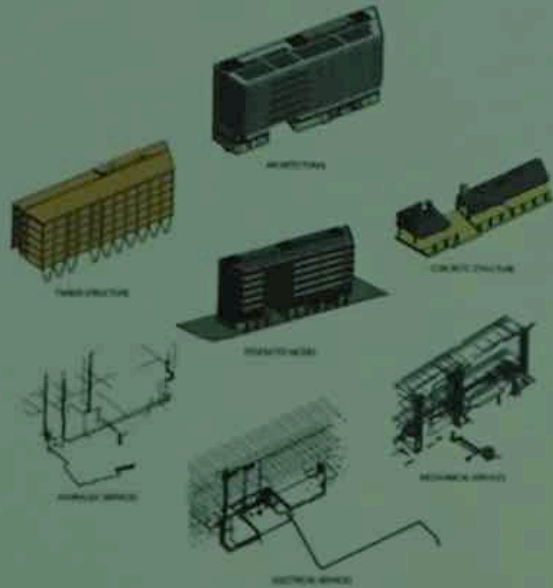
480mm x 480mm

Design Life

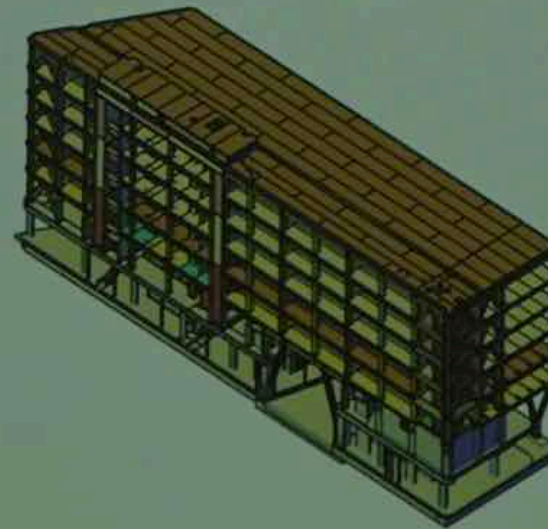
50 years



DesignMake and Consultants
design the Building in 3D



DesignMake produce manufacturing
model and shop drawings



Supplier manufacture CLT "blanks"

according to schedule.
サプライヤーはスケジュール通りに
CLTの『 blanks材』を製造します。



Installers put the building
together



DesignMake process CLT and
Supply to site.



Manufacturers ship the timber
"blanks" to DesignMake.



製造元は材木の『 blanks材』を
DesignMake社に出荷します。

Key changes to the delivery process include a greater level of emphasis on a higher level of design resolution earlier in the project lifecycle

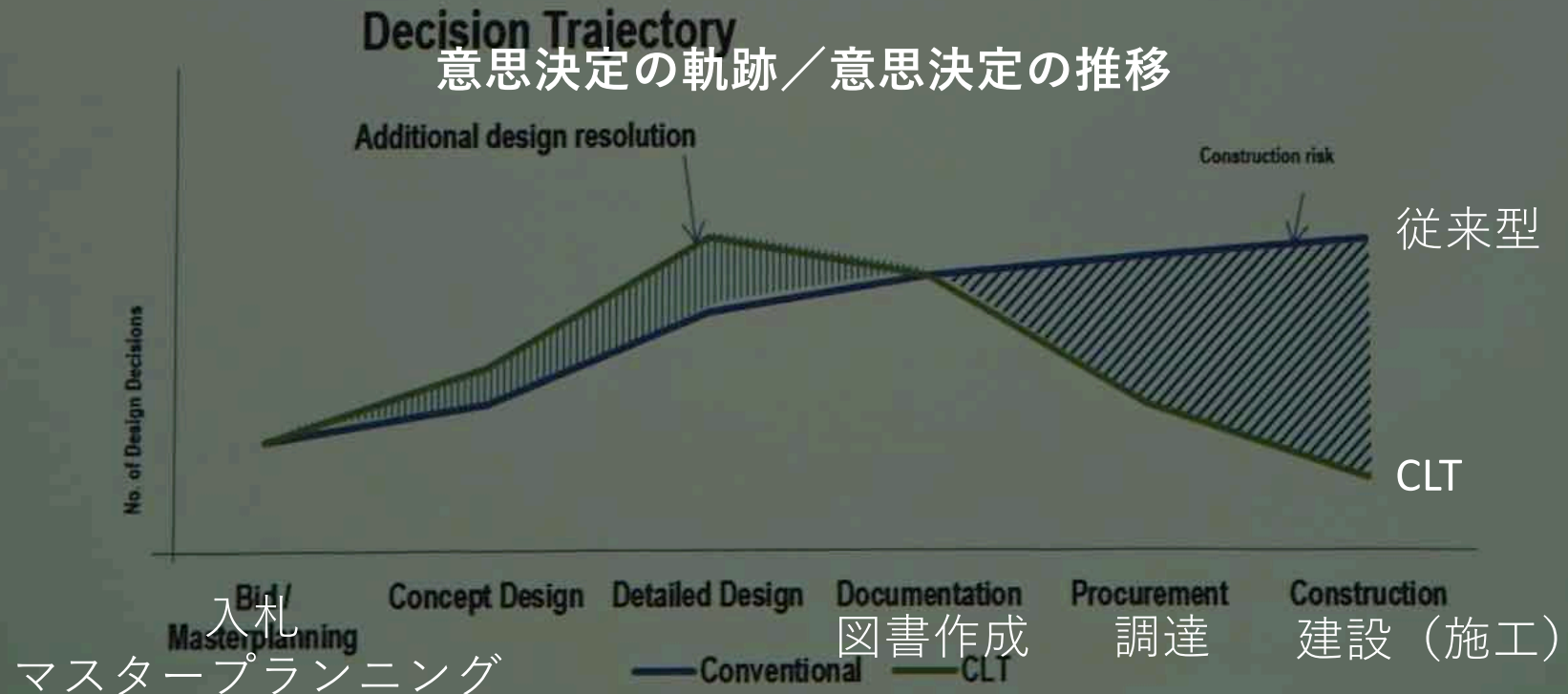
Design Resolution

- 設計管理フェーズにおける厳密さ
- 詳細設計から実施設計への労力レベル
- 施工の詳細の「現場での解決」を減らす。
- モデリングは施工図作成を補助する。

Construction Risk

Higher level of design resolution reduces construction risk exposure to:

- 安全性
- 調達と廃棄
- 干渉と手戻り（無駄な再作業）
- 時間



Engineered Timber is safer

- Reduced high risk work (e.g. work at heights).
高リスク作業（例：高所作業）の削減
- Reduced dust, vibration, noise, and obstructions > 地域社会への影響を低減
- Elimination of hot works
火気作業の排除
- Light weight tools for connecting elements
部材接合のための軽量工具
- Minimal back propping
バックプロップ（仮設支保工）の最小化

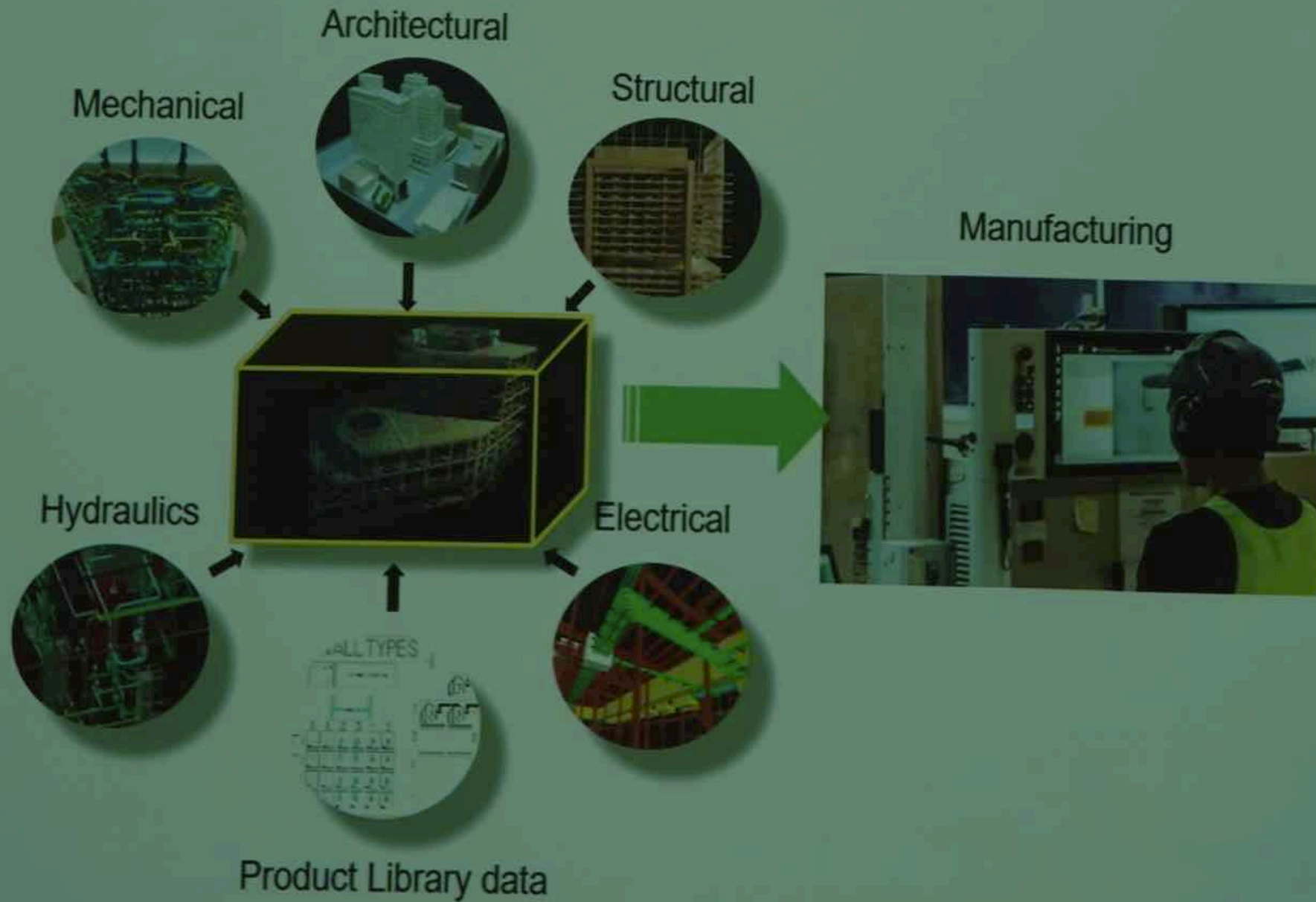


Speed of construction

- Simple craneage
クレーン作業の簡素化
- Hand-held tooling (cordless drills and nail guns)
手持ち工具（コードレスドリルやネイルガン）の使用
- Small teams of tradespeople
小規模な大工および索具作業員のチーム
- Structural elements have been up to 30% faster to install
構造工事の工期短縮は最大30%
- Services (pipes, cables) can be installed earlier
設備配管・配線工事の早期開始
- Minimal establishment period
現場立ち上げ期間の最小化



Collaborative digital design process



人間の健康に良い

「木製の内装には、以下の複数の生理的、心理的、環境的なメリットが確認されています：

- 感情の状態と自己表現のレベルの向上。
- 血圧、心拍数、ストレスレベルの低下。
- 湿度調整による空気質の改善。」

火災

予測可能

炭化率 0.7mm/分 *60= 42mm

犠牲層または伝統的な補助材料（封入）

BCA DTS に基づく設計

耐久性

>>>設計により制御/天候分離/換気空洞/膜

シロアリ

法規では木材をシロアリ対策が必要

>>>分離/物理的シロアリバリア

>>>年次点検体制。

持続可能性

- カーボンニュートラル構造
- 優れた熱性能
- 建設中に水を使用しない
- 室内環境品質 - 低VOC
- グリーンスターで過去に認定されたクレジット
- 建設廃棄物をほぼゼロに削減
- IEQ（室内環境品質：塵、騒音、振動）を向上させる
- 輸送による排出量の削減
- 製造廃棄物 = 燃料

主要なメリット

- 入居者の作業環境の向上により生産性向上を実現
- 高機能な革新的な商業施設
- 次世代の持続可能性性能
- 市場差別化要因
- 建物性能
- 伝統的な建築形式と同等の耐久性 - 設計寿命、保証期間、建築基準法の性能基準と同一
- 追加の維持費不要





SENIOR LIVING シドニー 2017













2000

38











Aveo Bella Vista

28 Norbrik Dr, Bella Vista NSW 2153

3 2 1

Independent Living Unit/Villa

PRINT SEND TO A FRIEND

\$925,000 - \$1,355,000

(Estimated range for this listing)

7400万円～1億800万円

1 available

LAST UPDATED: 1 MARCH, 2018

Village description

Aveo Bella Vista takes being part of a retirement community to new heights, everything has been designed for your comfort and enjoyment. Fine modern architecture is combined with high quality interior finishes, complete with all the facilities and amenities of convenient, resort-style living. ...

(SHOW MORE)

Property description

Fine modern architecture meets our high quality interior finishes, complete with all the facilities and amenities of convenient, resort-style living. Choose from 1, 2, 3 bedroom apartments and penthouses, all with outdoor terraces, and meticulously designed to maximise natural light and space... (SHOW MORE)

☆ ADD TO COMPARE

✎ ENQUIRE

? 3 other accommodation types at Aveo Bella Vista

Click here to view all listings.

3bed-2 bath - 2 car space : 1億5000万円

2bed + study apartments : \$555,000 - \$770,000 = 4440万円-6160万円

3. 建築基準法耐火基準の改定による需要措置

耐火基準改定により、鉄骨や鉄筋コンクリートの市場も木造建築の視野に

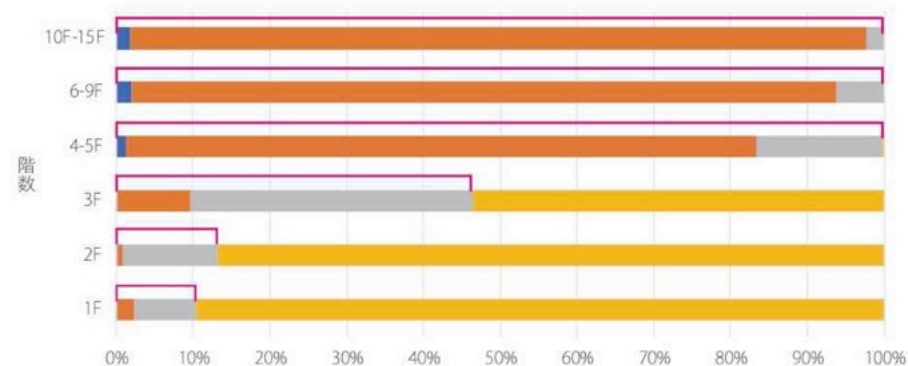
これまで4階以上に関しては、木造のシェアはほぼ無く、そのほとんどが鉄骨、または鉄筋コンクリートであった。それが耐火基準改定を行うことで、木造でも高層建築物が建てられようになり、木造建築市場の幅が大幅に拡大、必然的に木材の消費率が上がると予想される。

更に従来の耐火基準であれば木造高層はその基準をクリアすべくスプリンクラーなど、高コストの仕様を標準としなくてはならなかったが、それが無くなることで、その分の費用を国産木材にあてることができる。

高層木造建築物でも、改定によりコストの高い仕様を標準設備としないため、大手に限らず地域の工務店・建築企業も高層木造を安価に建てるのが可能に。その分地域の林業と木材資材を取引をすることで、安定的かつ持続的な経済サイクルも期待。



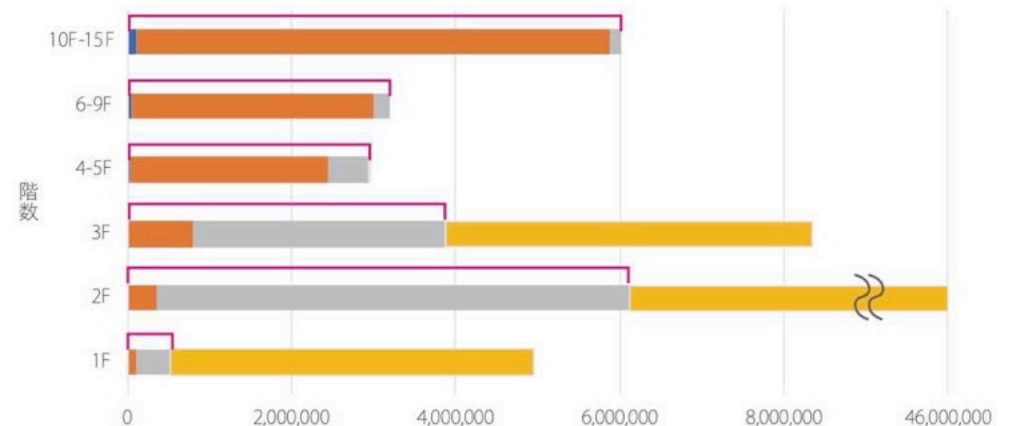
※イメージ【日本の木造建築】参考:株式会社シェルターHPより抜粋



2019年に国内で建設された住宅系建築物の構造別延床面積割合 (%)

※住宅系に含む建築物・居住専用住宅・居住専用準住宅・居住産業併用建築物

■鉄骨鉄筋コンクリート (SRO) ■鉄筋コンクリート (RC) ■鉄骨 (S造) ■木造 ■木造シェア拡大予想



2019年に国内で建設された住宅系建築物の構造別総延床面積 (㎡)

※住宅系に含む建築物・居住専用住宅・居住専用準住宅・居住産業併用建築物

3. 建築基準法耐火基準の改定による需要措置

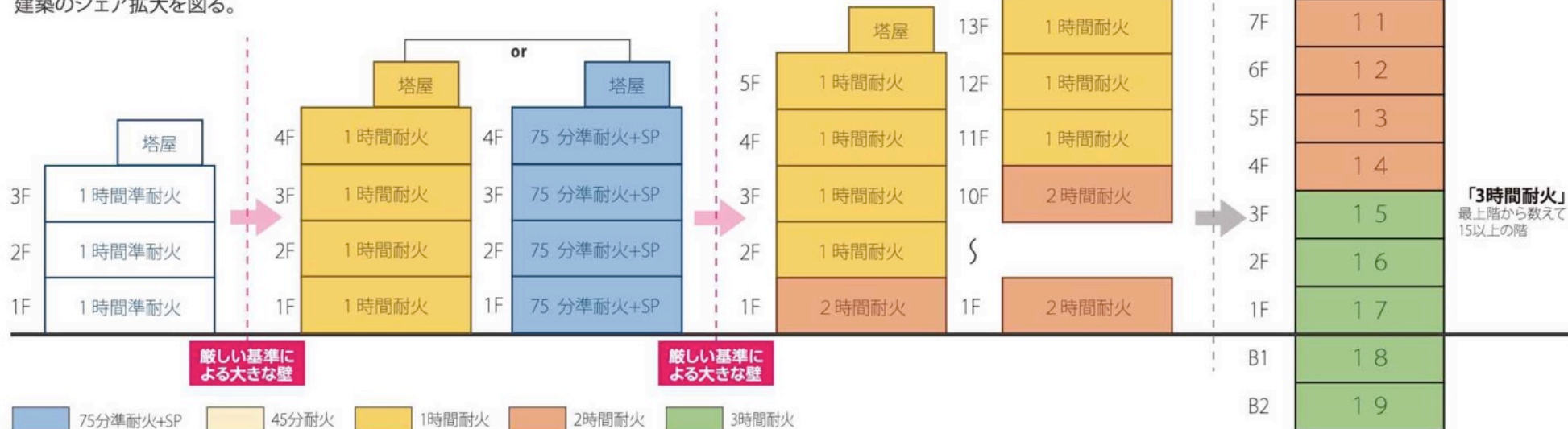
木材資源の需要を高める鍵は耐火基準の改定

国産木材の供給環境が整ったとしても、それを消費する需要は現状のままだと追いつかない。今後さらなる木材資源の利用を促していかなければ、根本的な解決にはならないと考える。そこで建築基準法における耐火基準を一部でも改定することで獲得できる、木造建築のシェア拡大を図り、木材の消費率を底上げすることに着目した。

【課題】現行の3F→4F、4F→5Fの高いハードル

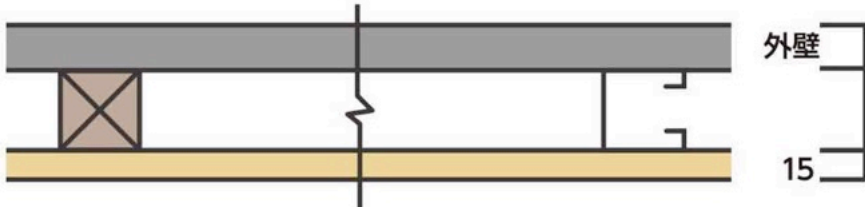
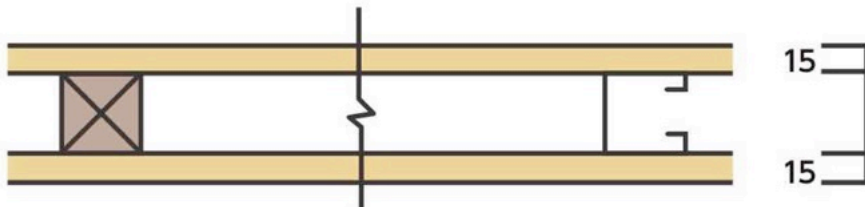
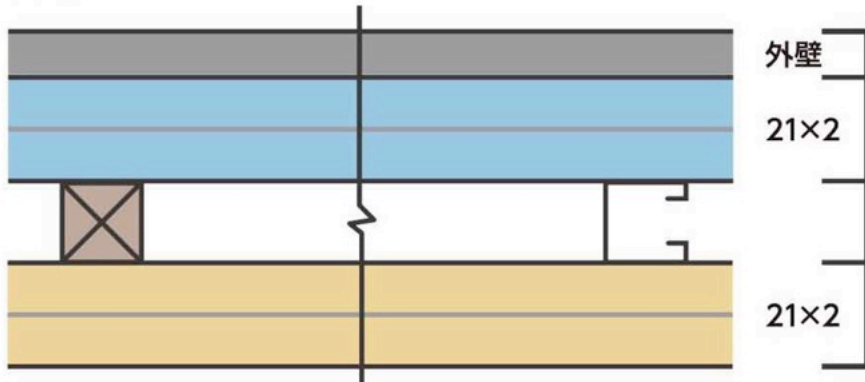
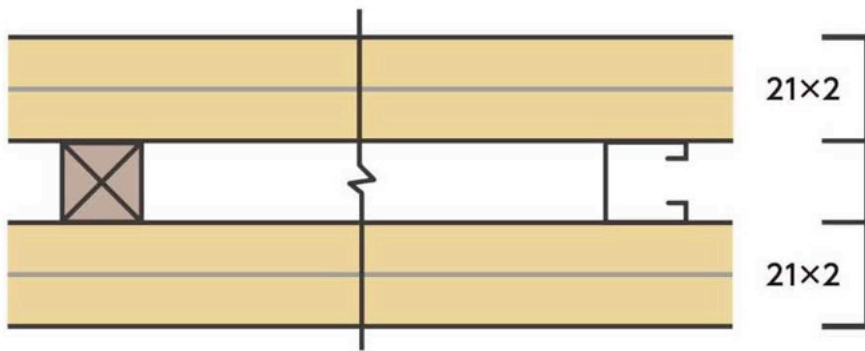
3F→4Fのハードル：共同住宅において、3階建てまでは法第62条より要求性能としては「準耐火性能(火災終了まで耐える性能)」の燃えしろ設計までで良い。それに対して、4階建てからは全ての階を「耐火性能(火災終了後に燃え止まる性能)」で構成する要求となっており、わずかに1層増えただけの4階建ては、3階建てに比べてかなりハードルが上がっている。H30年の法改正でスプリンクラー設備を設置すれば、75分の準耐火性能での木造が認められることになったが、CLTを使用する以外では、75分準耐火の壁仕様は、これまでの1時間耐火の壁仕様と同じ為、新たに消防設備が必要になった分、コストアップとなる。

4F→5Fのハードル：4階建てでは、耐火性能に「1時間」を要求されている事に対して、わずかに1層増えただけの5階建てから、一纏めに14階建てまでの規模が一律に2倍もの高い要求で「2時間」の耐火性能となっており、実態とはかけ離れた高い性能要求となっている。これらを改めて再検討し、最適化した基準を設定、木造建築のシェア拡大を図る。



3. 建築基準法耐火基準の改定による需要措置

既存準耐火・耐火の石膏ボード仕様

		外壁	耐水石膏ボード	石膏ボード
45分準耐火				
外壁		外壁		15
間仕切り				15 15
1時間耐火				
外壁		外壁	21×2	21×2
間仕切り			21×2	21×2

石膏について

$\frac{1}{\sqrt{e}} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\sqrt{e}} \right) = -\frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{e}} \frac{\partial e}{\partial t}$

$$q = 4, \quad D = D_{\text{H}} \gamma \gamma \tau \text{H} \zeta \quad q_{\text{H}} = 0, \quad \gamma / 3, \quad 5 \text{ u} \Omega \gamma^3 \quad \gamma \sim 0, \quad 01$$

- [illegible]



- [illegible]

ホウ酸について

H_3BO_3 または $\text{B}(\text{OH})_3$ 分子量61.83g、水を43.7%持っている。（石膏ボードの2倍）

無色の結晶、水に対する溶解は吸熱的。

10℃の冷水：溶解度は3.65 g/100 m

100℃の熱湯：37.9 g/100 mL

温度上昇に伴い溶解度が大幅に上昇する。

加熱により順次水を失い、まず100℃ -130℃（融点：分解）からメタホウ酸（ HBO_2 ）、140℃（沸点：分解）で四ホウ酸（ $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ）に変化し、更なる加熱により300℃でガラス状酸化ホウ素（ B_2O_3 ）となる。（100℃でメタホウ酸（ HBO_2 ）、140℃で四ホウ酸



メタホウ酸、酸化ホウ酸は、空気中に放置すると湿気を吸収し、ホウ酸に変化する

酸化ホウ素 融点480℃、沸点1660℃、溶解度2.2 g/100 g

ホウ酸ボードを利用した木造の耐火構造に関する研究 (その1) ホウ酸ボードの試作検討

Research on the Fireproof Wooden Using Boric Acid Board

(part1) Prototype and Review of Boric Acid Board

FUKUDA Hiroatsu, TANIYAMA Tatsuaki, YAMAGUCHI Shinnosuke

北九州市立大学

○福田展淳 谷山達明 山口進之介

1. はじめに

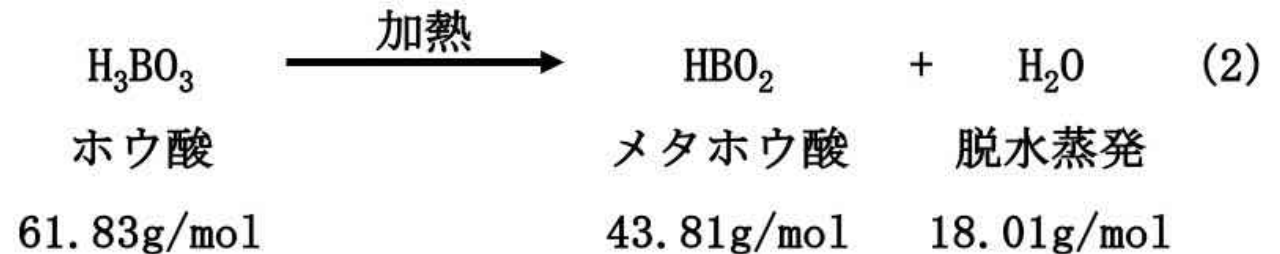
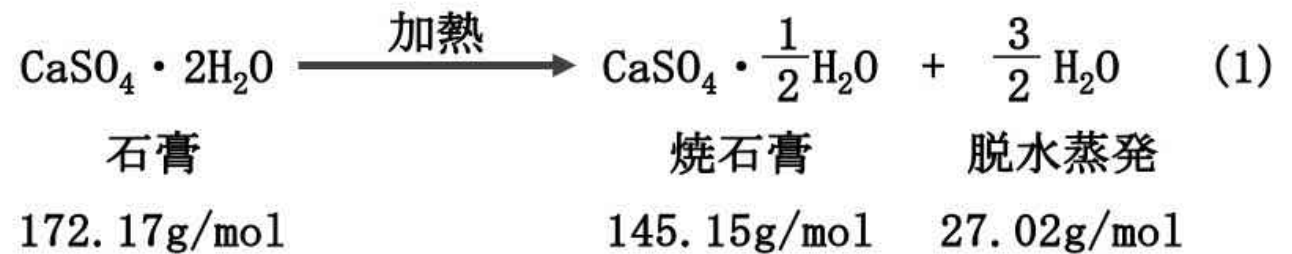
木造 1 時間耐火構造において例えば床の場合、告示では表側を強化石膏ボード総厚**42mm以上**（2枚以上張ったもの）とし直下の天井は強化石膏ボード総厚**46mm以上**（2枚以上張ったもの）としている。これは、ボード厚がある分、内部空間を狭めたり、ボードの重量の増加やサイズの縮小により施工の負担が増すなどのデメリットが考えられる。本研究はホウ酸ボードの研究開発を行い木下地に対する被覆厚さと重量の削減を実現することを目的とする。



石膏ボード施工の様子

2. ホウ酸と石膏の違いについて

右式(1)及び(2)は石膏及びホウ酸の熱分解を示している。いずれもある一定の温度になると分解する際に水蒸気が発生し気化熱で周囲の温度上昇を抑制する。ここで、石膏及びホウ酸の1mol当たりのH₂Oの重量比は石膏が20.9%、ホウ酸が43.6%でありホウ酸が石膏の約2倍のH₂Oを持っておりホウ酸の方が発熱を抑える効果が高いものと考えられる。



2. ホウ酸と石膏の違いについて

図1は枠組壁工法の1時間耐火構造間仕切壁の告示仕様とその告示のGB-Fをホウ酸ボードへ置き換えた場合を想定した断面図を示している。石膏に対するホウ酸の H_2O の量は約2倍であり、100%ホウ酸のボードを作成した場合、21mmのGB-Fを1/2の厚みのホウ酸ボードへ置き換えることができるものと考えられる。以上より告示仕様の壁厚191mmに対してホウ酸ボード仕様の壁厚は157mmに抑えることができる可能性があるものと考えられる。また、GB-F t21mmは2×6板で18kg (0.77g/cm³) だがホウ酸ボードを同じ密度で作成すると3×6板で16kg程度と軽量化でき施工時のメリットとなる。

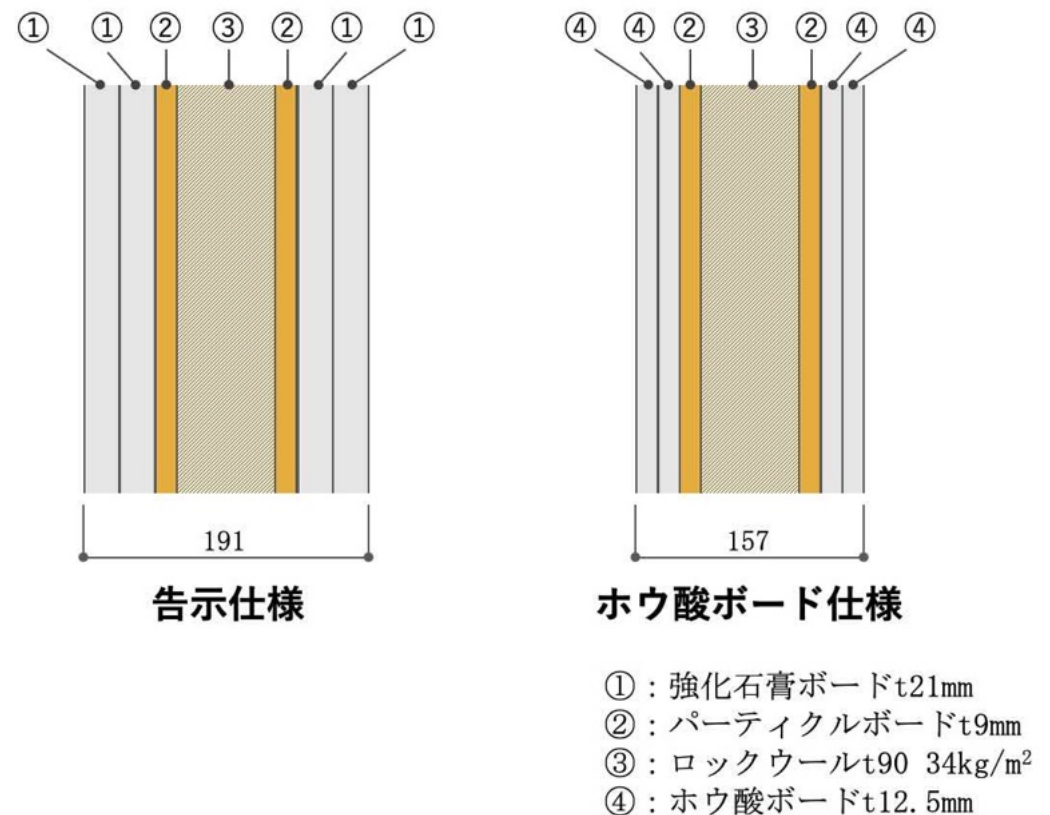


図1 1時間耐火（間仕切壁）断面図

3. ホウ酸ボードの試作検討

ホウ酸ボードを試作するにあたりホウ酸のボード化に必要なホウ酸同士を繋ぐためのバインダー材をコストや燃焼に対する優位性、生産性を考慮して検討した結果、本研究では半水石膏（焼石膏）を使用することとした。

ホウ酸ボードのバインダー材候補

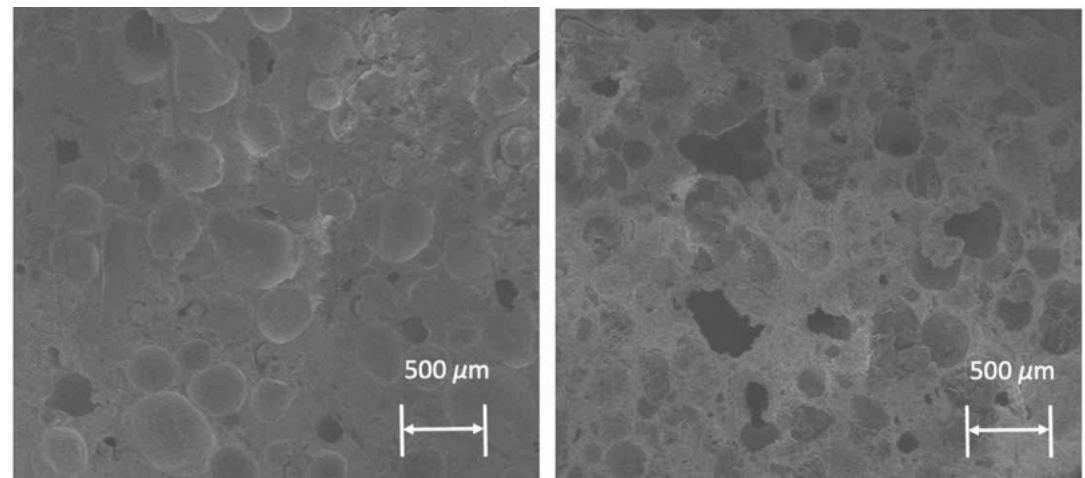
	接着剤	備考
無機系	ケイ酸ソーダ	固形化するが脆い
	ポルトランドセメント	中和反応が懸念される(未検討)
	漆喰	中和反応が懸念される(未検討)
	半水石膏	作成可能
	マグネシウムセメント	作成可能
	リン酸マグネシウムセメント	燃焼時の吸熱を期待できるが、効果速度が早く、形成が困難(条件検討中)
—	ホウ酸単体	作成可能 圧縮により板状になる検討中
天然系	澱粉	未検討
	にかわ	未検討
合成系	水分散系：酢酸ビニル	未検討
	水分散系：PVA	初期検討ではホウ酸と混ぜるとゲル化した
	イソシアネート	熱硬化系で形成可能、接着剤割合が多い。接着剤を希釈すると脆くなる
	シリコーン系	固形化するが脆い
	その他熱硬化系 ・UV硬化系	未検討

3.2. ホウ酸ボードの試作について

水や泡剤の配合を調整し密度が
0.77g/cm³程度となる様に試作したところ図3の様にある程度強度のある板が成形できた。また、図4の様にSEM（走査電子顕微鏡）で撮影したところ左の強化石膏ボードの様に丸く綺麗ではないがある程度均一に気泡を入れることができた。



図3 ホウ酸ボード試作品



強化せっこうボード

ホウ酸ボード

図4 強化石膏ボードとホウ酸ボードのSEM写真

3.3. ホウ酸ボードの留付について

Fukuda Lab The University of Kitakyushu

下図の様に12.5mm厚のホウ酸ボードを24mmの合板へ $\phi 3.8\text{mm} \times 25\text{mm}$ のボードビス及び幅4mm足長22mmのステープルを用いて留付確認を行った。ボードビスはボードの中央及びへりあき20mmの場合は割らずに留付けることができたがへりあき10mm及び15mmの場合は割れてしまった。また、ステープルの場合はへりあき10mmで留付けることができた。



10mm

15mm

20mm

図5 ボードビスの留付確認

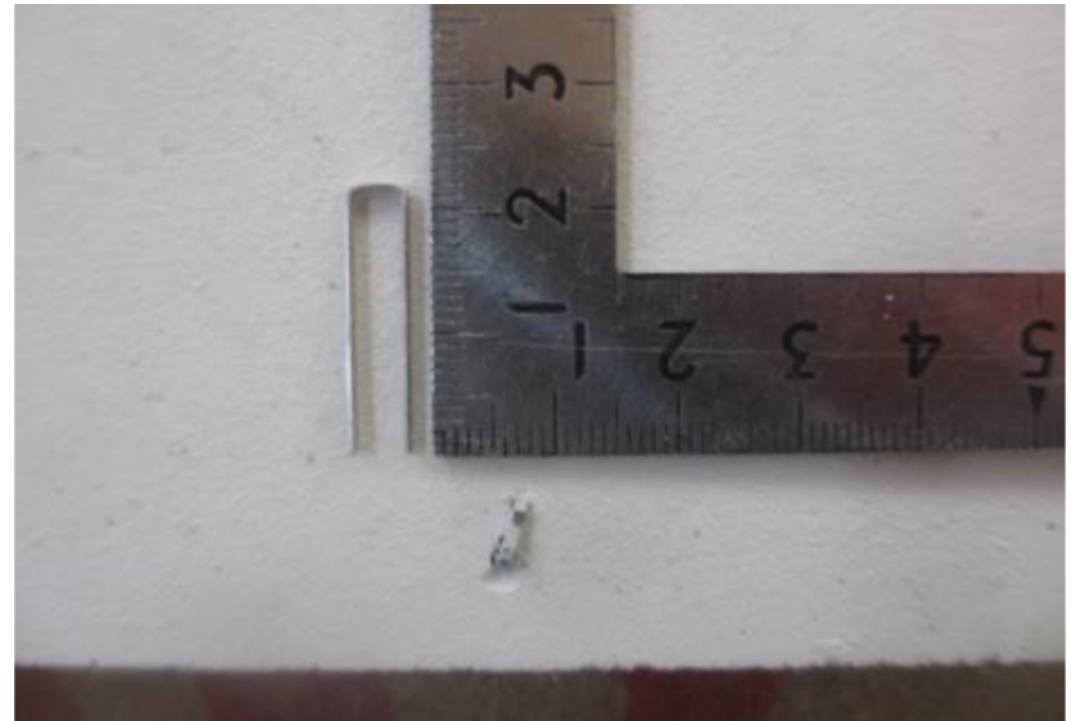


図6 ステープルの留付確認

4. コーンカロリメーターを利用した性能確認

Fukuda Lab The University of Kitakyushu

右図の通りコーンカロリメーターを利用して耐火性能の検討を行った。試験方法としては耐火構造を想定し合板の上に下張ボード及び上張ボードを張った試験体をヒーターの輻射熱を50kWとして加熱を行い合板の表面温度が190℃になるまでの時間を耐火性能とし比較検討した。

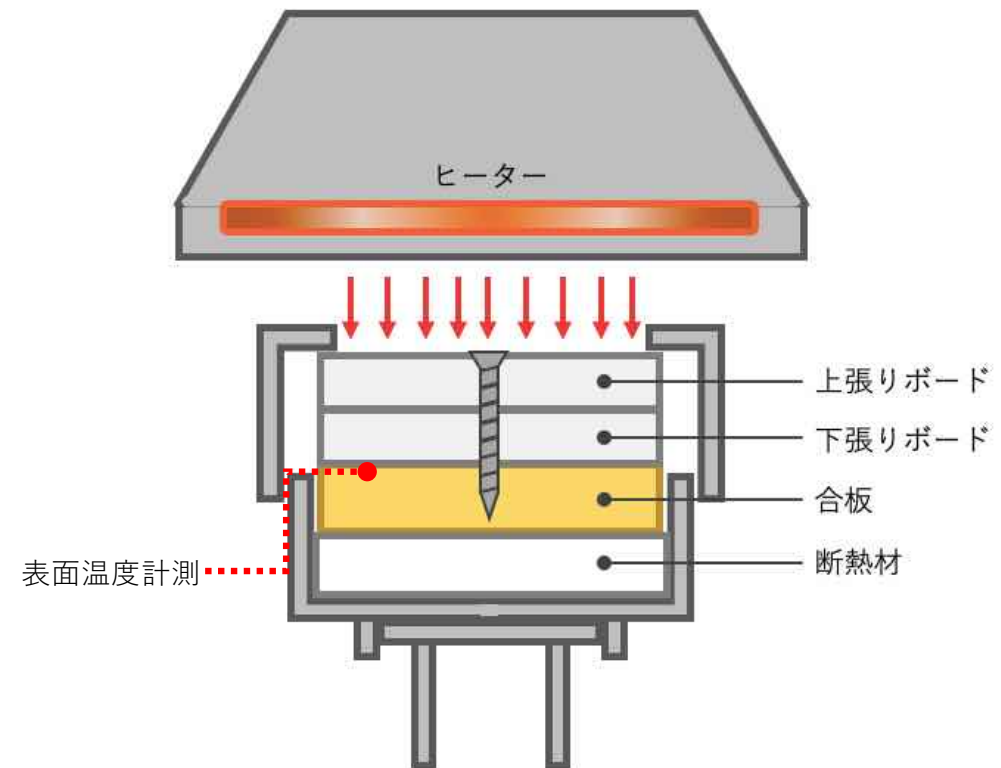
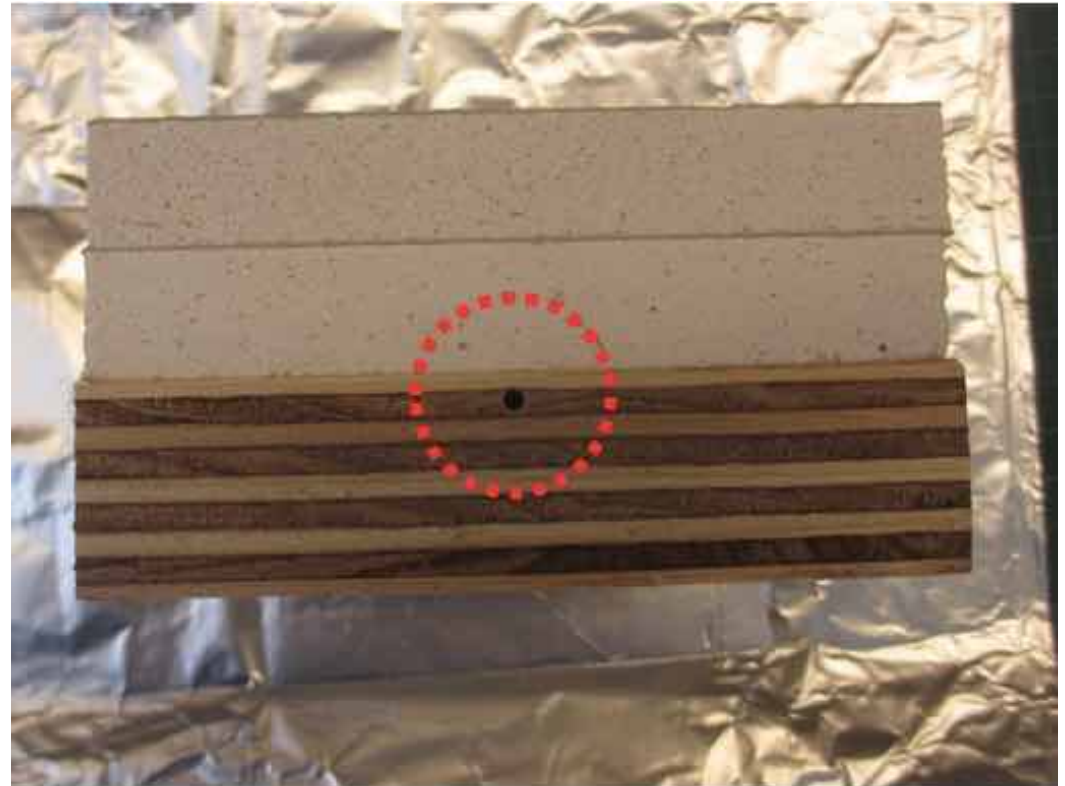


図7 コーンカロリメーター試験イメージ図

4. コーンカロリメーターを利用した性能確認

Fukuda Lab The University of Kitakyushu

合板の表面温度測定のための熱電対は合板の表層から2層目の板の側面に $\phi 2.1\text{mm}$ のキリで30mm穿孔し熱電対のシースを差し込んで計測した。



表面温度測定箇所

4. コーンカロリメーターを利用した性能確認

Fukuda Lab The University of Kitakyushu

右下グラフより各試験体共、100℃から150℃の間で温度上昇が緩やかになり一定時間経過後に再び急上昇していることがわかる。温度上昇が緩やかな間はホウ酸や石膏よりH₂Oが水蒸気として放出され吸熱しているものと考えられる。また、この試験によりGB-Fよりもホウ酸ボードの方が優位になっていることが確認できた。例えば190℃到達時間がNo.1のGB-F t12.5mm 2枚張りの50分程度に対しNo.4のホウ酸ボードt12.5mm 2枚張りは80分程度と長くなっている。15mm厚の場合も同じようにホウ酸ボードが優位となった。

表1 仕様別の耐火性能

試験体名	上張ボード		下張ボード			190℃到達時間 (min)
	材料	厚さ (mm)	材料	厚さ (mm)		
No. 1	GB-F	12.5	GB-F	12.5	1	51
					2	54
No. 2	GB-F	15	GB-F	15	1	70
					2	71
No. 3	GB-F	21	GB-F	21	1	116
					2	137
No. 4	ホウ酸ボード	12.5	ホウ酸ボード	12.5	1	80
					2	86
No. 5	ホウ酸ボード	15	ホウ酸ボード	15	1	101
					2	108
No. 6	GB-F	12.5	ホウ酸ボード	12.5	1	81
					2	79
No. 7	GB-F	12.5	ホウ酸ボード	15	1	90
					2	92
No. 8	GB-F	15	ホウ酸ボード	12.5	1	92
					2	96
No. 9	GB-F	15	ホウ酸ボード	15	1	104
					2	115

※GB-F：強化石膏ボード

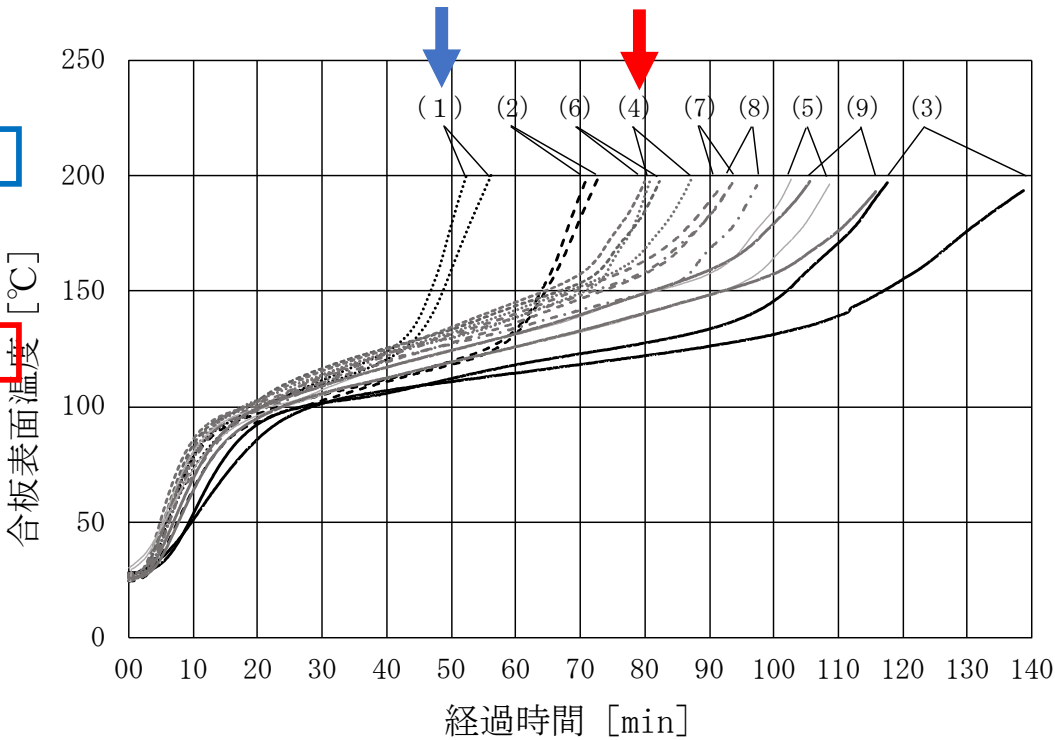


図8 合板の表面温度推移

4. コーンカロリメーターを利用した性能確認 Fukuda Lab The University of Kitakyushu

右下グラフより各試験体共、100℃から150℃の間で温度上昇が緩やかになり一定時間経過後に再び急上昇していることがわかる。温度上昇が緩やかな間はホウ酸や石膏よりH₂Oが水蒸気として放出され吸熱しているものと考えられる。また、この試験によりGB-Fよりもホウ酸ボードの方が優位になっていることが確認できた。例えば190℃到達時間がNo.1のGB-F t12.5mm 2枚張りの50分程度に対しNo.4のホウ酸ボードt12.5mm 2枚張りでは80分程度と長くなっている。15mm厚の場合も同じようにホウ酸ボードが優位となった。

表1 仕様別の耐火性能

試験体名	上張ボード		下張ボード			190℃到達時間 (min)
	材料	厚さ (mm)	材料	厚さ (mm)		
No. 1	GB-F	12.5	GB-F	12.5	1	51
					2	54
No. 2	GB-F	15	GB-F	15	1	70
					2	71
No. 3	GB-F	21	GB-F	21	1	116
					2	137
No. 4	ホウ酸ボード	12.5	ホウ酸ボード	12.5	1	80
					2	86
No. 5	ホウ酸ボード	15	ホウ酸ボード	15	1	101
					2	108
No. 6	GB-F	12.5	ホウ酸ボード	12.5	1	81
					2	79
No. 7	GB-F	12.5	ホウ酸ボード	15	1	90
					2	92
No. 8	GB-F	15	ホウ酸ボード	12.5	1	92
					2	96
No. 9	GB-F	15	ホウ酸ボード	15	1	104
					2	115

※GB-F：強化石膏ボード

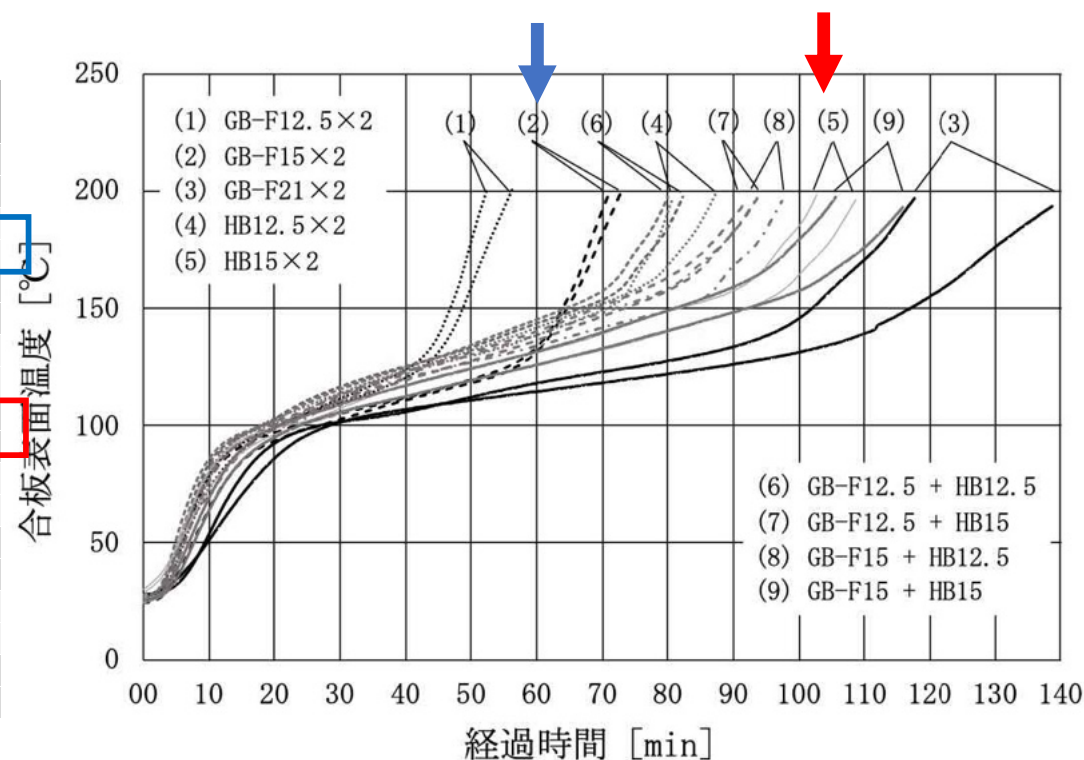


図8 合板の表面温度推移

5. 1 時間耐火試験（間仕切壁）

これまでの結果をもとに455mm角 t15mmのホウ酸ボードを作成し枠組壁工法間仕切壁の1時間耐火試験を行った。右図に1時間耐火試験体の断面図を示す。本試験では下張材をホウ酸ボード t15mm、上張材をGB-F t15mmとした。

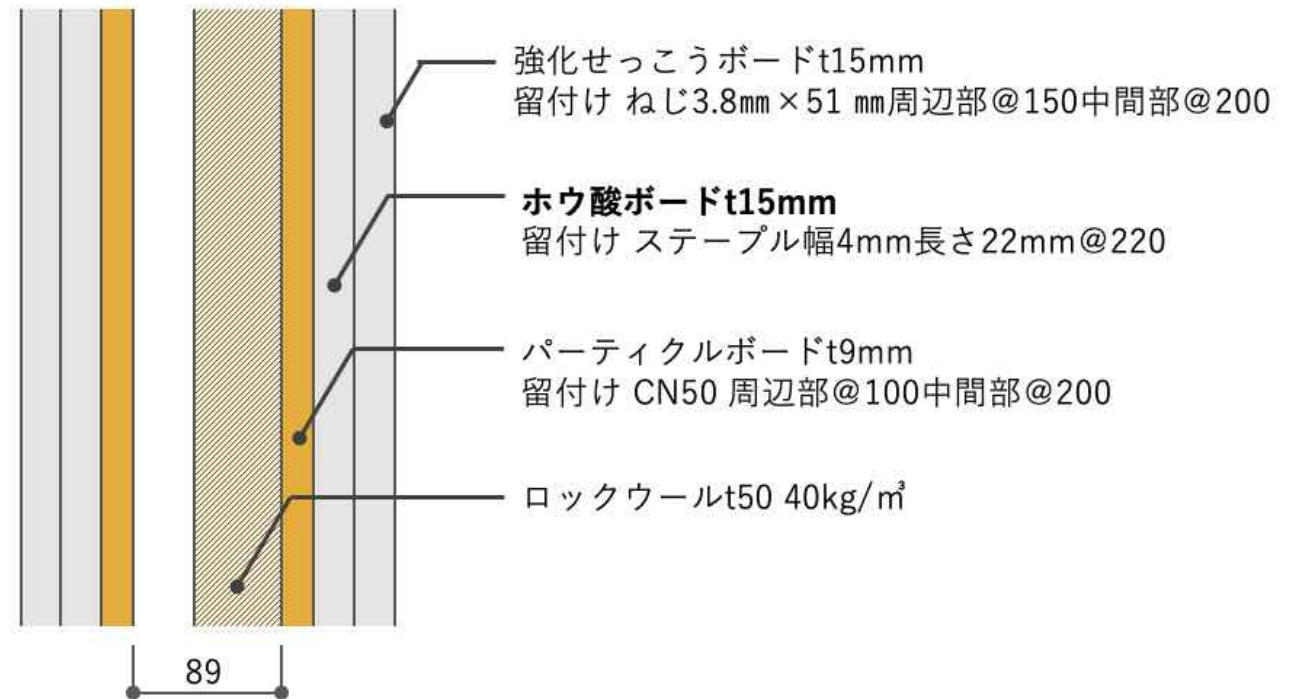


図9 1 時間耐火試験体断面図

5. 1 時間耐火試験（間仕切壁）

右図に 1 時間耐火試験体のホウ酸ボードの割り付けを示す。幅3m、縦3.2mに455mm角のホウ酸ボードを割り付けた。図中PT1からPT10は耐火試験中の下地材（パーティクルボード）表面温度の計測箇所を示している。

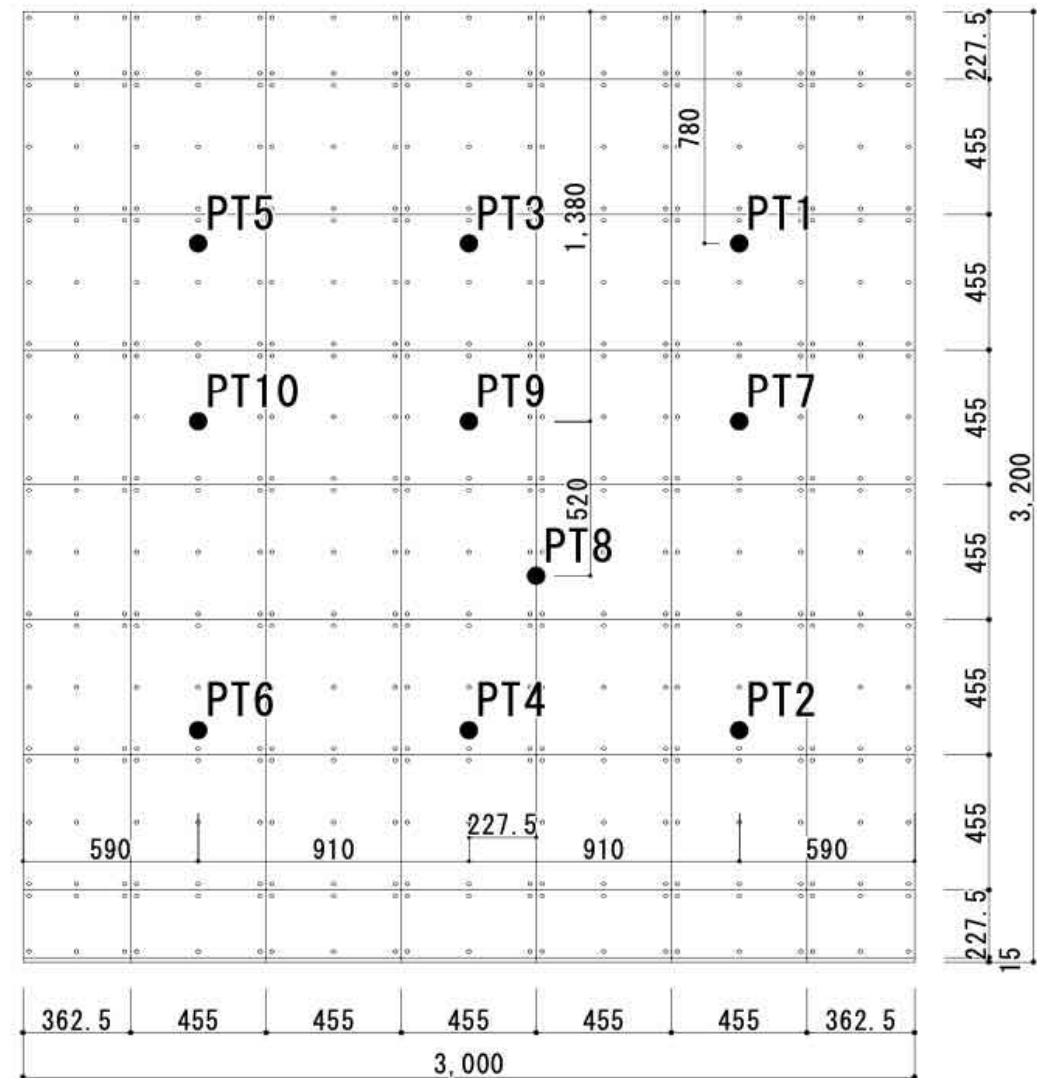


図10 ホウ酸ボード割り付け図

5. 1 時間耐火試験（間仕切壁）

右のグラフは耐火試験中の下地材の表面温度の推移を示している。試験中の下地材表面温度の上昇はGB-F及びホウ酸ボードにより抑制され最高温度は175°Cだった。

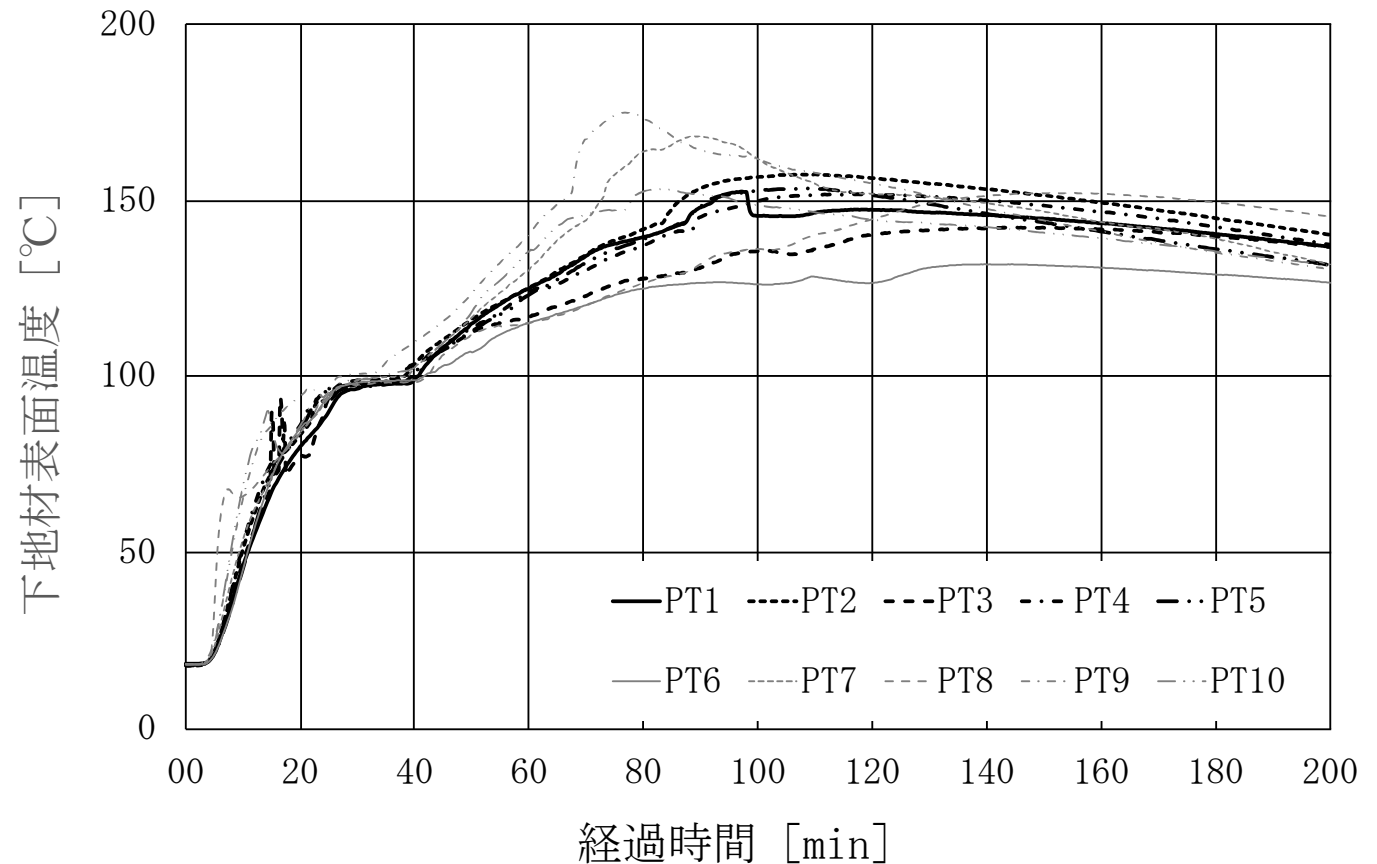


図11 下地材表面温度推移

5. 1 時間耐火試験（間仕切壁）

Fukuda Lab The University of Kitakyushu

右図は耐火試験後の下地材（パーティクルボード）の様子を示している。部分的に黒く変色していることが確認できた。この黒く変色している部分は上張材（GB-F）の留付け目地の部分である。変色部分はワイヤーブラシで削って確認をしたが0.6mm以下だった。また、性能評価機関へ変色部分を持ち込み炭化の確認を行ったが変色であるとの回答を得た。



図12 耐火試験後の下地表面の様子

- ・ 木造 1 時間耐火構造のボード厚や重量の軽減を目的としホウ酸ボードの研究開発を行った。
- ・ 石膏とホウ酸の1mol当たりの H_2O の重量比はホウ酸が石膏の約2倍である。
- ・ ホウ酸ボードは、GB-F21mmの1/2程度の厚みで同程度の耐火性能を示す可能性がある。
- ・ 100mm角 t12.5mmでホウ酸ボードを試作しボードビス及びステーブルでの留付けの確認を行った。ボードビスはへりあき20mm以上、ステーブルは10mm以上で留付可能。
- ・ コーンカロリメーターを利用して耐火性能の確認を行った。
- ・ GB-Fと比較してホウ酸ボードの方が耐火性能は優位になることが確認できた。
- ・ 455mm角 t15mmのホウ酸ボードを作成し 1 時間耐火試験を行った。
- ・ 下地材の表面温度は最高で175°Cに抑えることができた。
- ・ 下地材の黒く変色した部分は炭化ではなく変色と確認した。
- ・ 今後、ホウ酸ボードの性能及び製造技術確立に向け引き続き性能評価及び改良を行う。

杉板材へのホウ酸水溶液の含浸方法に関する研究

A Study on the Methods of Impregnating Cedar Planks with Boric Acid Solution

YAMAGUCHI Shinnosuke, FUKUDA Hiroatsu, TANIYAMA Tatsuaki, TOTAKE Koki,

北九州市立大学

○山口進之介 福田展淳 谷山達明 遠竹宏貴

1. はじめに

持続可能な社会の実現のため建築においては建物の木造化や木質化が進んでいる。法の整備により公共建築物などについては木材利用の促進が行われ、対象は一般建築物にまで拡大された。しかし一方で、木材を建物に使用するための課題として不燃木材の白華現象が問題となり様々な研究が行われている。そこで本研究は白華の起きにくい不燃木材の製造方法の検討とその性能確認を行った。



メルディア高機能木材研究所
(北九州市立大学ひびきのキャンパス内)
撮影：大森今日子

2. ホウ酸水溶液の含浸について

白華の原因として考えられているのが防火処理剤の潮解性である。木材に薬剤を含浸する際に溶解度の高い薬剤を使用するため、施工後にその薬剤が空気中の水分を吸湿して白化現象を起こす。本研究では溶解度の低いホウ酸をあえて使うことで白華の抑制を試みた。そこで、溶解度の低いホウ酸を木材へ含浸する方法を次に示す。

※本研究に使用する試料は杉材（100mm角t30mm）とした。

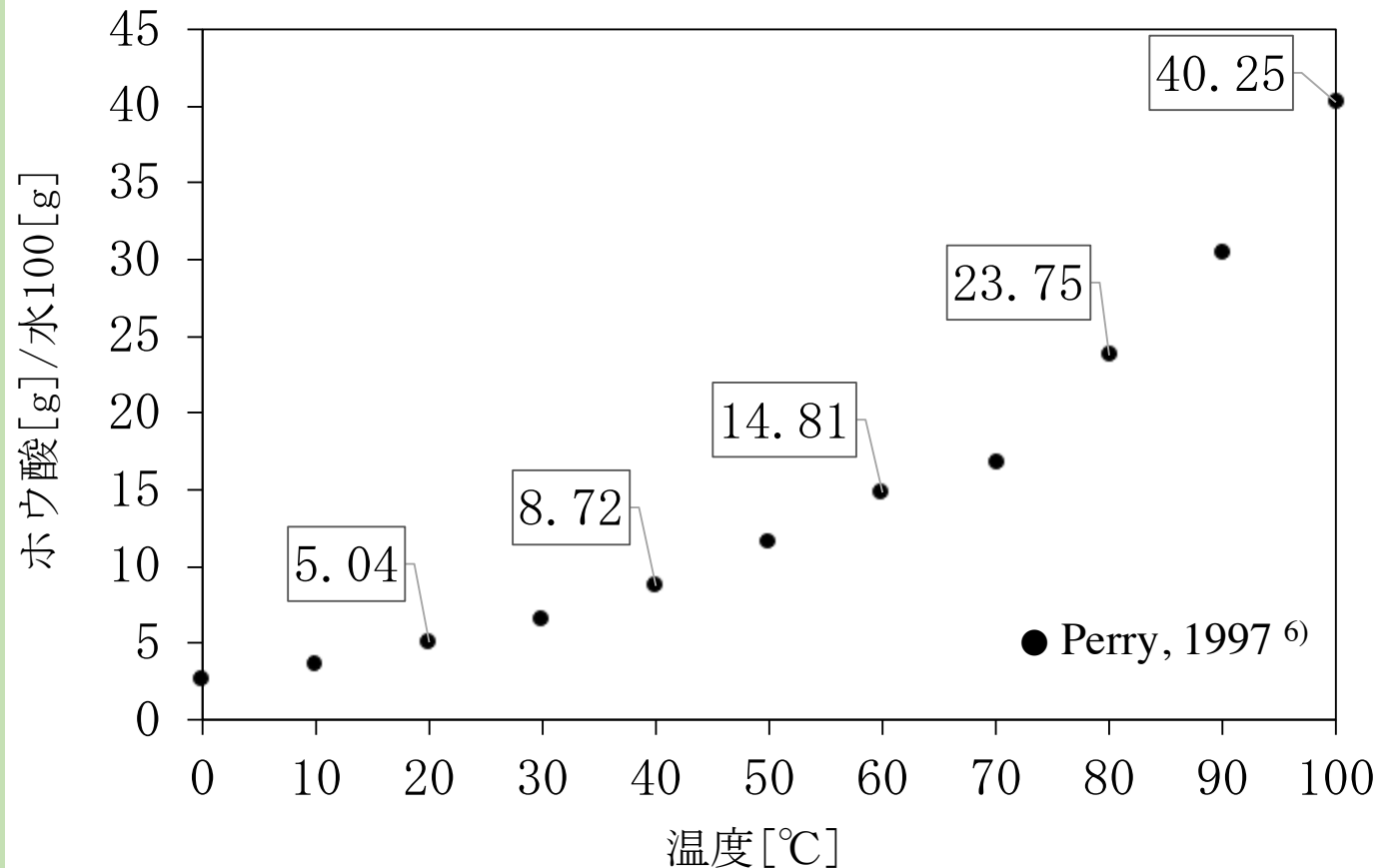


図1 水100gに対するホウ酸の溶解度

※ポリホウ酸ナトリウム：25°C、23%
八ホウ酸二ナトリウム四水和物：20°C、9.5%
（ウィキペディア参照）

2-1. 高温高压含浸法

蒸気式高温高压容器を使い圧力を上げることで水の温度を 100°C を超えて上昇させ、ホウ酸水溶液濃度を上げ含浸を行った。

加温時間は3時間とし、加温終了後、圧力容器内に静置したまま空気加圧で容器内の圧力を 0.78MPa としてそのまま18時間養生を行いながら自然冷却した。試料の取り出し後は、高压洗浄機で表面の洗浄を行い送風乾燥を行った。



図2 蒸気式高温高压容器

2-2. 低温連続含浸法

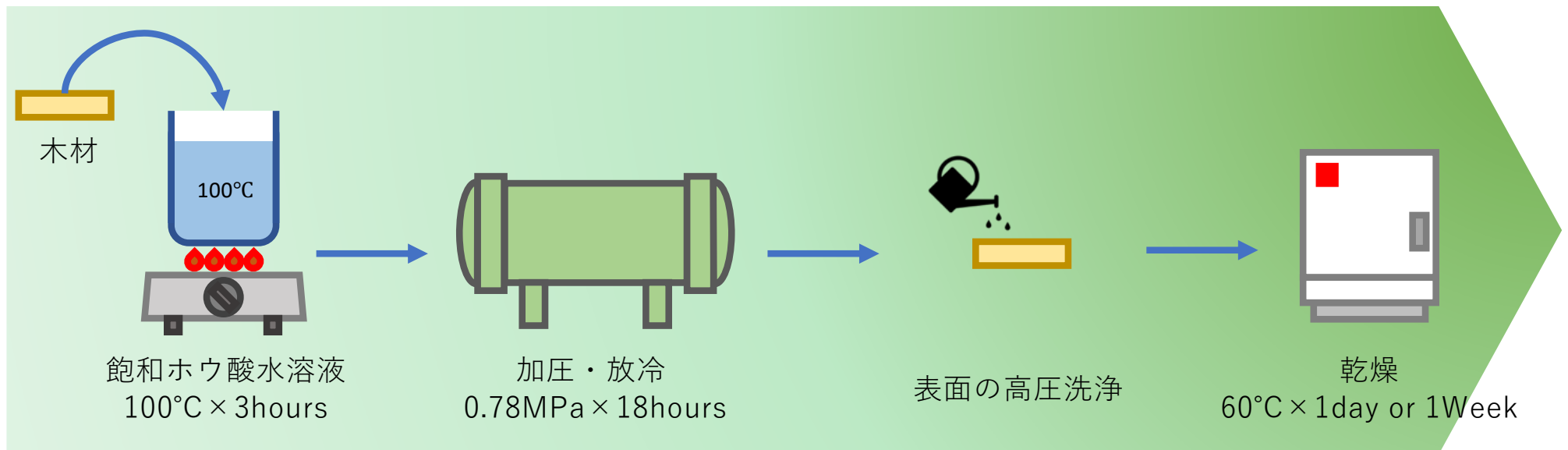


図4 低温連続含浸法の1サイクル

水に対するホウ酸の固形量は30%とした。設定温度は100°Cとし加温時間は3時間とした。加温終了後、圧力容器内に静置したまま空気圧を0.78MPaで18時間行い、その後、取り出して高圧洗浄機で表面を洗浄後、60°C送風乾燥を24時間行うまでを1サイクルとする。

2-1. 高温高压含浸法

高温高压含浸法の実験結果を右図に示す。水溶液のホウ酸固形量の条件は、30%、40%、50%の3条件とし、温度条件は固形量の各条件に対して140℃、150℃、160℃の3条件とした。どの温度もホウ酸の固形量が増えると木材へのホウ酸含有量も増加した。温度条件の違いで比較すると140℃と150℃はあまり差が出なかったが160℃の場合は他の温度に比べてホウ酸含有量が多かった。

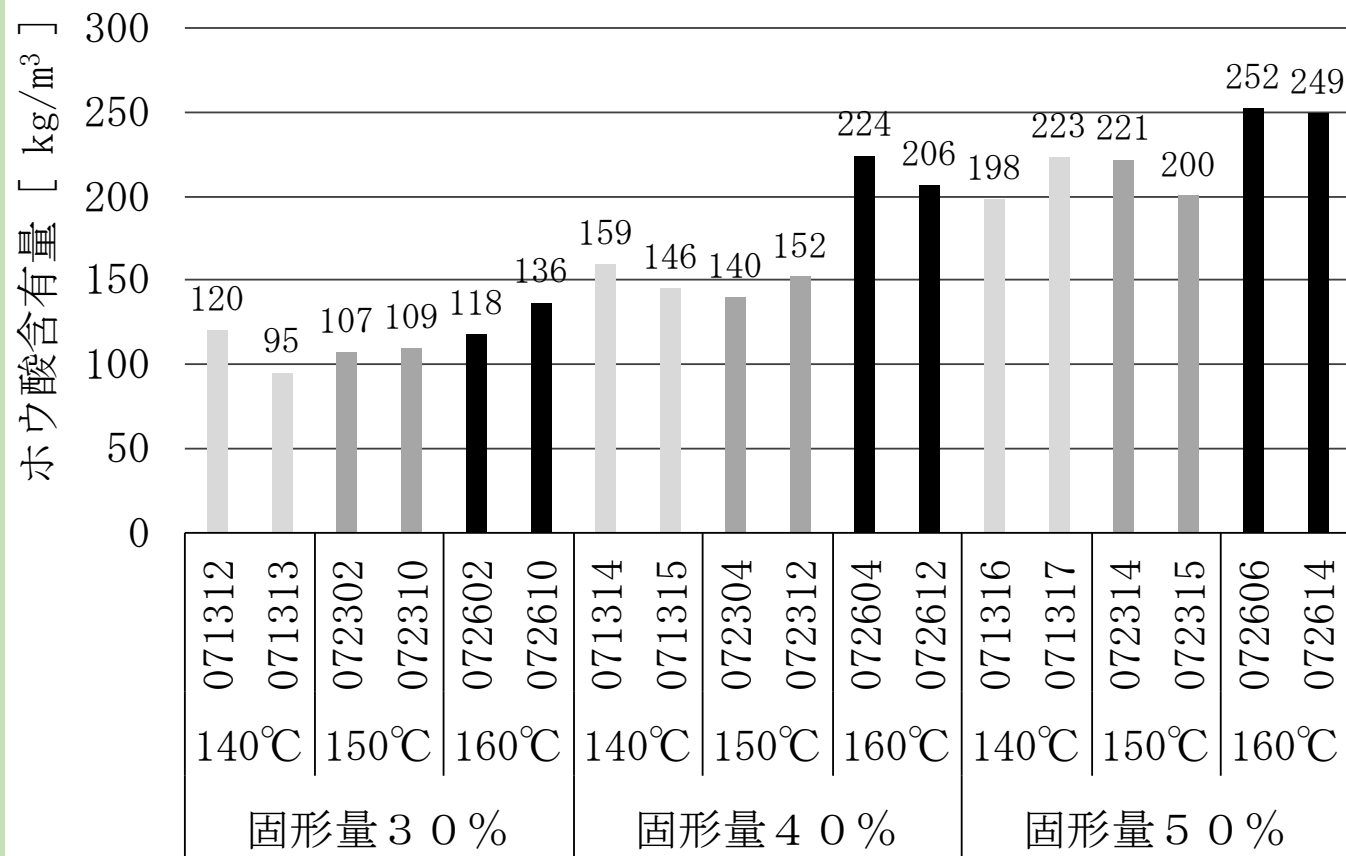


図3 含浸条件別のホウ酸含有量

2-2. 低温連続浸法

右図は1サイクルから3サイクル行ったものとサイクル間の乾燥時間を1週間とした試料のホウ酸含有量について示している。この図より含浸サイクルが増えるとホウ酸含有量も増加していることがわかる。また、サイクル間の乾燥時間が1週間の場合はホウ酸含有量がさらに増加した。

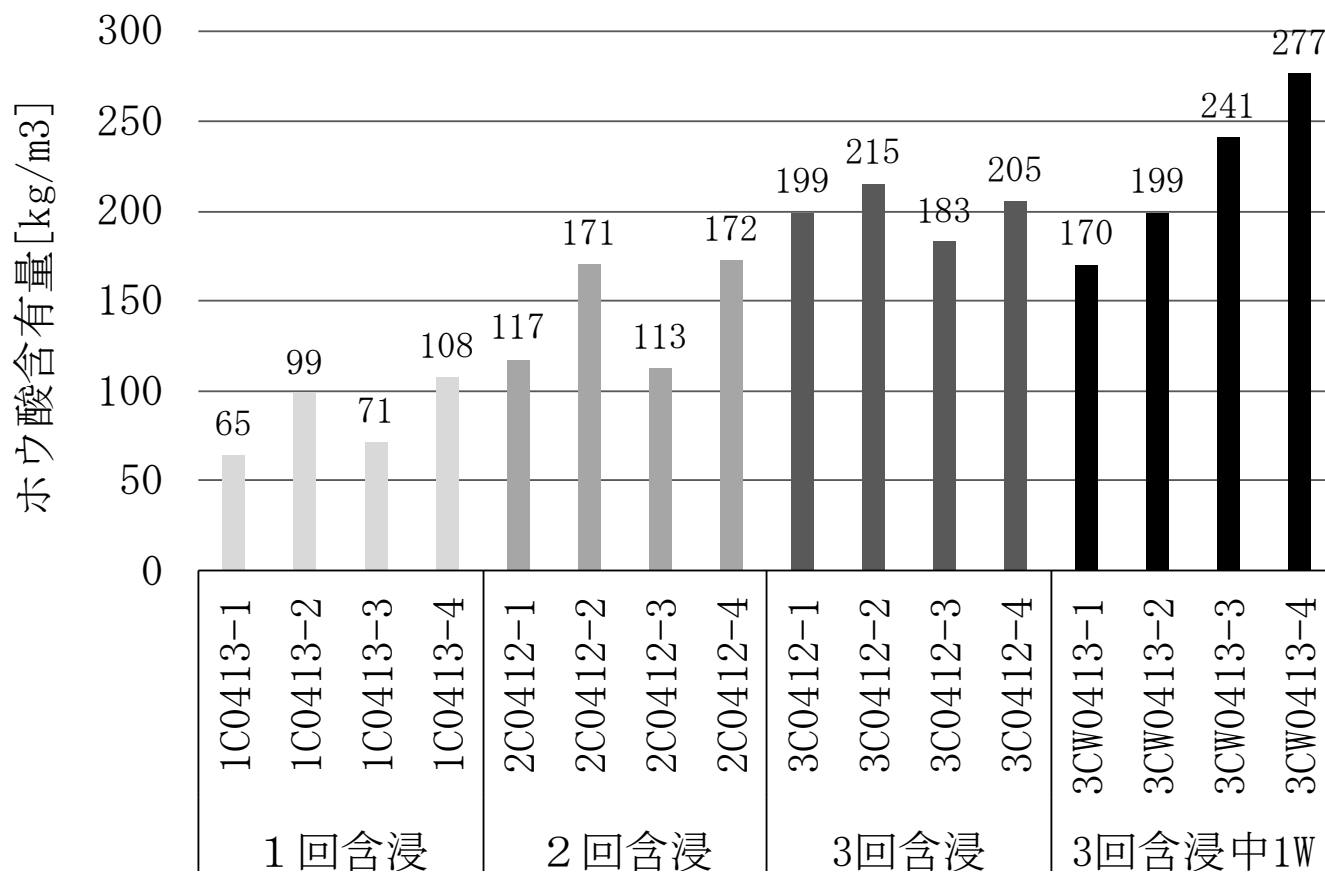


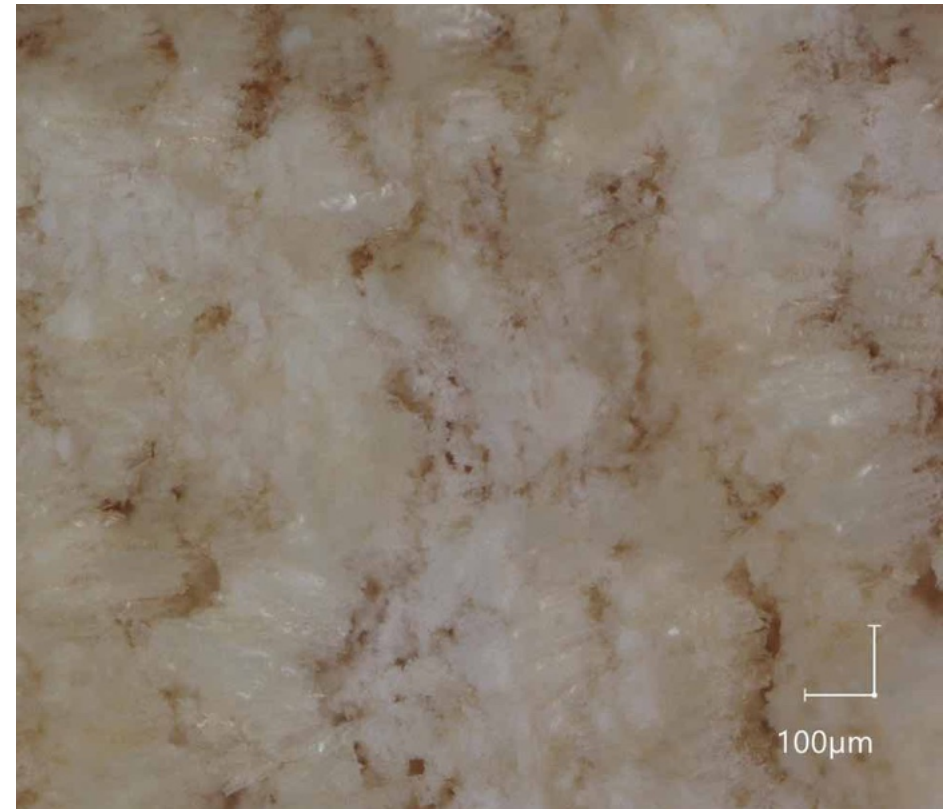
図5 連続含浸回数別のホウ酸含有量

2-2. 低温連続浸法

下の写真は3C0412-1（ホウ酸含有量：199kg/m³）の含浸後乾燥後の繊維方向に直角方向の電子顕微鏡による断面写真である。この写真より断面全体にホウ酸が分布しており導管の中まで詰まっている様子が確認できる。



20倍



200倍

図6 含浸後の導管内のホウ酸分布

4. ホウ酸含浸杉板材の不燃性能について

表1 発熱性試験方法と評価基準

右表に発熱性試験における難燃、準不燃および不燃の試験時間、加熱方法、判定基準について示す。

	難燃	準不燃	不燃
試験時間	5 分	1 0 分	2 0 分
加熱方法	・試験中は輻射電気ヒーターから試験体の表面に50kW/m²の輻射熱を照射する。 ・試験時間は試験体表面に輻射熱が照射され同時にスパークプラグが作動し電気スパークが発生した時点からとする。		
判定基準	・総発熱量が8MJ/m²以下であること。 ・防火上有害な裏面まで貫通する亀裂及び穴がないこと。 ・発熱速度が10秒以上継続して200kW/m²を超えないこと。		

4. ホウ酸含浸杉板材の不燃性能について

右図はコーンカロリメーターを用いた発熱性試験において5分間（×）、10分間（●）、20分間（△）加熱した場合のホウ酸含有量と総発熱量の関係を示している。このグラフより杉板材にホウ酸水溶液を含浸した場合、難燃材料（5分間）は100kg/m³程度、準不燃材料（10分間）は150kg/m³程度、不燃材料（20分間）は200kg/m³程度ホウ酸含有量が必要であることがわかった。

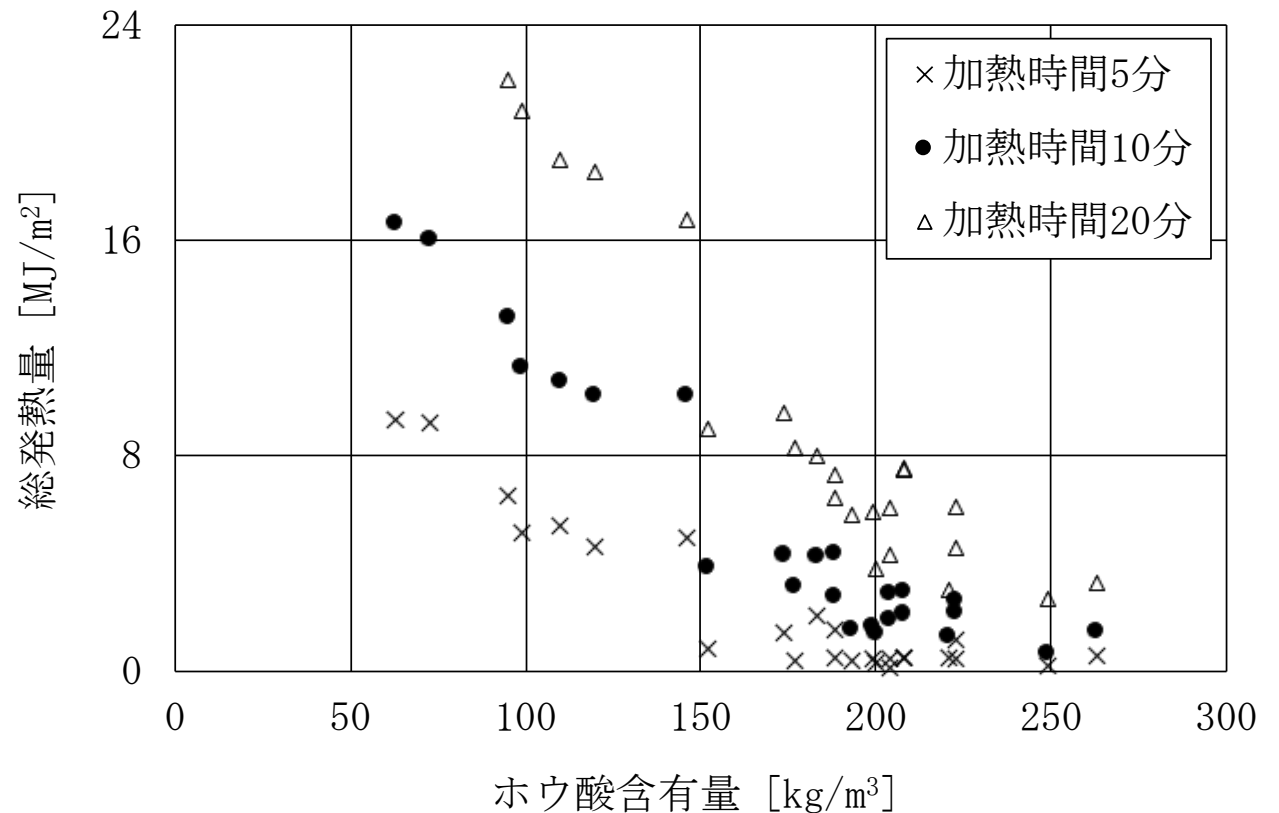


図13 ホウ酸含有量と総発熱量の関係

5. ホウ酸含浸杉板材の白華の検証

Fukuda Lab The University of Kitakyushu

(公財) 日本住宅・木材技術センターの優良木質建材認証 (AQ) における「白華抑制塗装木質建材」を参照し評価試験を行った。恒温恒湿機内に各試験体を静置し40℃90%24時間、60℃送風乾燥24時間を1サイクルとし乾湿繰返し操作を5サイクル行った。左2つが製品化されている不燃木材で右2つが大学で試作をした試料だが吸湿過程において左2つの製品から薬剤が溶出して庫内底部に析出したものが溜まっていた。また、大学で試作した試料は表面への白華や薬剤の溶出は全く発生しなかった。



試験前



試験後

図14 白華試験前後の様子

	試験前	試験後
3C0412-2		

- ・本研究はホウ酸水溶液の含浸方法として高温高圧含浸法と低温連続含浸法について検討を行い、いずれの方法も 200kg/m^3 程度のホウ酸を含浸することができた。
- ・ホウ酸含有量の測定方法として絶乾法とICP測定法を行った。
- ・絶乾法については 103°C で乾燥をするとホウ酸含有量が低めの数値となり 60°C で乾燥すると逆に高めの数値となることがわかった。
- ・発熱性試験を行った結果、難燃材料は約 100kg/m^3 、準不燃材料は約 150kg/m^3 、不燃材料は約 200kg/m^3 のホウ酸含有量が必要である事がわかった。
- ・ホウ酸含有杉板材について白華試験を行ったところ全く白華を起こさないことを確認した。
- ・今後は試料のスケールアップやホウ酸含有量の測定データの蓄積を進めたい。

ほう酸混入木片チップ板に関する研究

Study on Wood chip board with Boric Acid

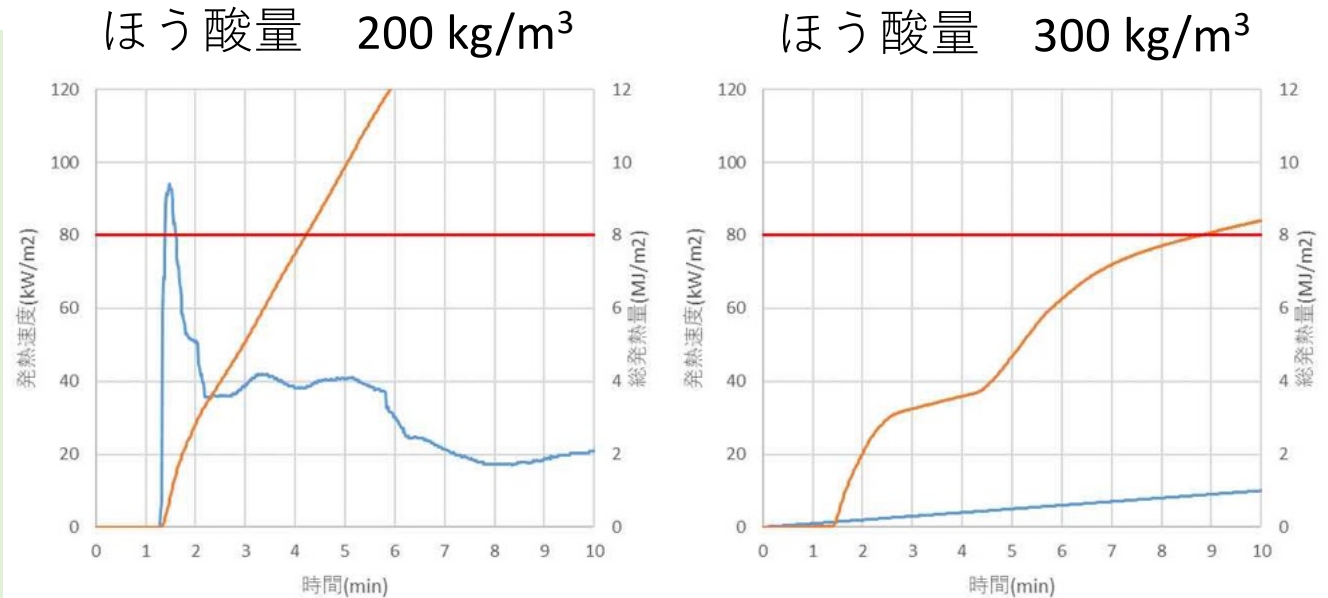
YAMAGUCHI Shinnosuke, FUKUDA Hiroatsu, TANIYAMA Tatsuaki, TOTAKE Koki,

北九州市立大学

○山口進之介 福田展淳 谷山達明 遠竹宏貴

5-4. ほう酸量と総発熱量の関係

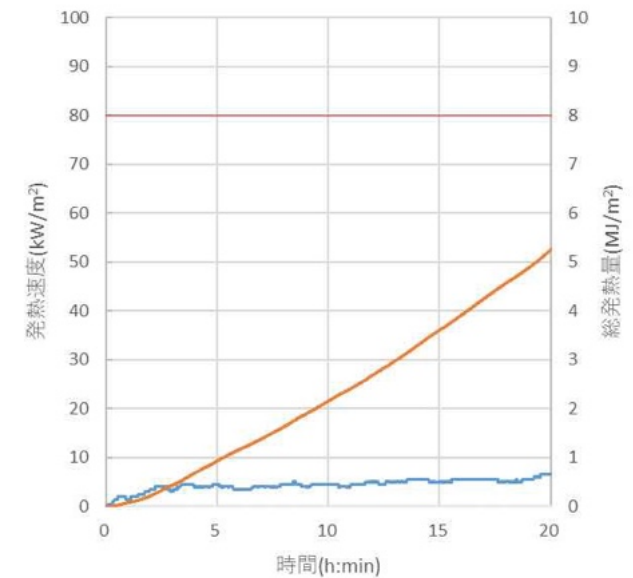
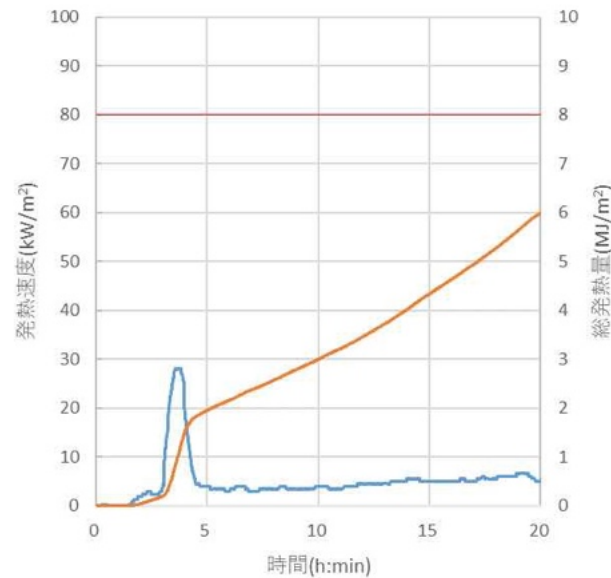
外部機関にて燃焼試験を実施した結果、ほう酸量 200 kg/m^3 , 300 kg/m^3 は総発熱量が 8 MJ/m^2 以上となり準不燃を満たさなかった。



ほう酸量	200 kg/m ³	300 kg/m ³
ほう酸量(ICP法)	165 kg/m ³	230 kg/m ³
総発熱量(10 分)	17.01 MJ/m ²	8.40 MJ/m ²
準不燃合否	不合格	不合格

5-4. ほう酸量と総発熱量の関係

最も不利となるサンプル(ほう酸量少・プレス時上面)で燃焼試験を実施した結果、不燃相当の十分な性能を確認できた。



ほう酸量	400 kg/m ³	400 kg/m ³
ほう酸量(ICP法)	285 kg/m ³	283 kg/m ³
総発熱量(20 分)	5.99 MJ/m ²	5.25 MJ/m ²
不燃合否	合格	合格

6. 国土交通大臣認定の取得

表2 発熱性能

No.	20分間の 総発熱量(MJ/m ²)	防火上有害な裏面まで貫通 する亀裂及び穴の有無	200 kW /m ² 超過 継続時間(秒)	判定
1	3.7	なし	0	合格
2	4.9	なし	0	合格
3	4.0	なし	0	合格

右表に発熱性試験結果について示す。
全て合格基準を満足し、ほう酸混入
木片チップ板の名称で不燃材料 N
M-5690 として認定された。



(写真)不燃パーティクルボード

認 定 書

国住参建第 1993 号
令和 5 年 10 月 5 日

株式会社三栄建築設計
代表取締役社長 千葉 理恵 様

国土交通大臣 斉藤 鉄夫



下記の構造方法等については、建築基準法第 68 条の 25 第 1 項（同法第 88 条第 1 項にお
いて準用する場合を含む。）の規定に基づき、同法第 2 条第九号及び同法施行令第 108 条の
2 第一号から第三号まで（不燃材料）の規定に適合するものであることを認める。

記

- 認定番号
NM-5690
- 認定をした構造方法等の名称
ほう酸混入木質チップ板
- 認定をした構造方法等の内容
別添の通り

〔注意〕この認定書は、大切に保存しておいてください。

国土交通大臣認定書

7. まとめ

- ・本研究は木片チップ板をほう酸単独で不燃化するための製造方法について検討を行い、不燃性能に必要なほう酸含有量（400 kg/m³）を混入させたほう酸混入木片チップ板を作ることができた。
- ・ほう酸含有量の測定方法としてICP測定法を行った。
- ・発熱性試験を行った結果、不燃材料は約400kg/m³のほう酸含有量が必要である事がわかった。
- ・不燃材料として国土交通大臣認定の取得行った。