

# 発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁の 準耐火性能評価手法に関する研究

## Study on Evaluation Methods for Semi-Fireproof Performance of Wooden Exterior Walls Using Foamed Plastic Insulation

糸毛 治<sup>1)</sup>、鈴木 淳一<sup>2)</sup>、平塚 雄治<sup>3)</sup>、松本 崇<sup>3)</sup>、篠崎 広輝<sup>4)</sup>、小浦 孝次<sup>4)</sup>、  
鈴木 修<sup>4)</sup>、山本 欽一<sup>5)</sup>、近藤 正行<sup>5)</sup>、植田 浩俊<sup>6)</sup>、青木 学<sup>6)</sup>、一坊寺 英夫<sup>6)</sup>、  
渡辺 貴樹<sup>6)</sup>、金澤 光明<sup>7)</sup>、栗原 一裕<sup>7)</sup>

Osamu Itoge<sup>1)</sup>, Jun-ichi Suzuki<sup>2)</sup>, Yuji Hiratsuka<sup>3)</sup>, Takashi Matsumoto<sup>3)</sup>, Hiroki Shinozaki<sup>4)</sup>, Koji Koura<sup>4)</sup>,  
Osamu Suzuki<sup>4)</sup>, Kin-ichi Yamamoto<sup>5)</sup>, Masayuki Kondo<sup>5)</sup>, Hirotohi Ueda<sup>6)</sup>, Manabu Aoki<sup>6)</sup>, Hideo Ichiboji<sup>6)</sup>,  
Takaki Watanabe<sup>6)</sup>, Mitsuaki Kanazawa<sup>7)</sup>, Kazuhiro Kurihara<sup>7)</sup>

地方独立行政法人北海道立総合研究機構

建築研究本部

北方建築総合研究所

Northern Building Research Institute

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

1) 北方建築総合研究所建築研究部建築システムグループ研究主幹・博士（工学） 2) （国研）建築研究所・博士（工学） 3) 押出発泡ポリスチレン工業会 4) 発泡スチロール協会 5) ウレタンフォーム工業会 6) フェノールフォーム協会 7) （一社）日本窯業外装材協会

1) Senior Research Manager of Building System Group, Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng., 2) Building Research Institute, Dr. Eng., 3) Extruded Polystyrene Foam Industry Association, 4) Japan Expanded Polystyrene Association, 5) Japan Urethane Foam Association, 6) Japan Phenolic Foam Association, 7) Japan Fiber Reinforced Cement Siding Manufacturers Association

本書の全部および一部の無断での転載はご遠慮ください。

No unauthorized reproduction

## 概 要

### Abstract

# 発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁の準耐火性能評価手法に関する研究 Study on Evaluation Methods for Semi-Fireproof Performance of Wooden Exterior Walls Using Foamed Plastic Insulation

糸毛 治<sup>1)</sup>、鈴木 淳一<sup>2)</sup>、平塚 雄治<sup>3)</sup>、松本 崇<sup>3)</sup>、篠崎 広輝<sup>4)</sup>、小浦 孝次<sup>4)</sup>、  
鈴木 修<sup>4)</sup>、山本 欽一<sup>5)</sup>、近藤 正行<sup>5)</sup>、植田 浩俊<sup>6)</sup>、青木 学<sup>6)</sup>、一坊寺 英夫<sup>6)</sup>、  
渡辺 貴樹<sup>6)</sup>、金澤 光明<sup>7)</sup>、栗原 一裕<sup>7)</sup>

Osamu Itoge<sup>1)</sup>, Jun-ichi Suzuki<sup>2)</sup>, Yuji Hiratsuka<sup>3)</sup>, Takashi Matsumoto<sup>3)</sup>, Hiroki Shinozaki<sup>4)</sup>, Koji Koura<sup>4)</sup>,  
Osamu Suzuki<sup>4)</sup>, Kin-ichi Yamamoto<sup>5)</sup>, Masayuki Kondo<sup>5)</sup>, Hirotooshi Ueda<sup>6)</sup>, Manabu Aoki<sup>6)</sup>, Hideo Ichiboji<sup>6)</sup>  
Takaki Watanabe<sup>6)</sup>, Mitsuaki Kanazawa<sup>7)</sup>, Kazuhiro Kurihara<sup>7)</sup>

**キーワード** : 発泡プラスチック断熱材、木造外壁、準耐火構造、脱落防止、延焼防止、評価手法

**Keywords** : Cellular plastic foamed insulation, Wooden walls, Quasi-fireproof construction, Prevention of falling out, Prevention of fire spread, Evaluation methods

## 1. 研究概要

### 1) 研究の背景

- ・カーボンニュートラルの実現に向けた木造建築の推進、省エネルギー性能向上に向けた断熱部材の普及・高性能化が振興される中、木造断熱部材の防耐火性能に係る性能評価の合理化が課題となっている。
- ・発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁の防耐火性能の評価は、断熱材の燃焼により防耐火性能が低下するリスクを考慮しながら、より合理的に行えるようになることが望ましい。
- ・国土交通省の建築基準整備促進事業 F14（平成 30 年度～令和元年度、基整促 F14）では、道総研の既往研究の知見をもとに、発泡プラスチック断熱材を含む可燃性断熱材を用いた木造外壁（充てん断熱工法・防火構造）を対象に、防耐火性能に与える断熱材の効果を序列化し、評価対象とする木造外壁の要件を定めた上で、多種に及ぶ断熱材を一括して防耐火性能を評価する手法を取りまとめた。
- ・この評価手法は、防耐火構造の性能評価業務に反映され、令和 3 年 5 月より運用されている。
- ・令和 3 年度には、本研究のメンバー間で勉強会（全 7 回）を開催して、基整促 F14 で取りまとめた評価手法を充てん断熱工法から外張断熱工法へ、防火構造から準耐火構造へと拡張するにあたり、検討が必要な技術的課題を明らかにした。

### 2) 研究の目的

- ・発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁を対象に、準耐火性能をより合理的に評価するために、対応すべき技術的課題を解決して、評価手法の提案を行う。

<sup>1)</sup> 北方建築総合研究所建築研究部建築システムグループ研究主幹・博士（工学） <sup>2)</sup>（国研）建築研究所・博士（工学） <sup>3)</sup> 押出発泡ポリスチレン工業会 <sup>4)</sup> 発泡スチロール協会 <sup>5)</sup> ウレタンフォーム工業会 <sup>6)</sup> フェノールフォーム協会 <sup>7)</sup>（一社）日本窯業外装材協会

<sup>1)</sup> Senior Research Manager of Building System Group, Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng., <sup>2)</sup> Building Research Institute, Dr. Eng., <sup>3)</sup> Extruded Polystyrene Foam Industry Association, <sup>4)</sup> Japan Expanded Polystyrene Association, <sup>5)</sup> Japan Urethane Foam Association, <sup>6)</sup> Japan Phenolic Foam Association, <sup>7)</sup> Japan Fiber Reinforced Cement Siding Manufacturers Association

## 2. 研究内容

### 1) 外装材の脱落防止策の検討（令和4年度～令和6年度）

- ・ねらい：準不燃性以上かつ防火性を有する内外装材（外装材：窯業系サイディング、軽量セメントモルタル、ALC等、内装材：せっこうボード）を用いた木造外壁を対象に、火災加熱を受ける外装材が加熱終了まで脱落せずに、断熱材の被覆を保持できる工法的要件を明らかにする。
- ・試験項目等：防耐火試験（実大試験体を用いた火災加熱実験）、モデル試験体を用いた火災加熱実験

### 2) 外張断熱層の上階延焼防止策の検討（令和4年度～令和5年度）

- ・ねらい：外張断熱工法を対象に、外張断熱層を介した上階延焼を防止するために、必要な防火処置を明らかにする。
- ・試験項目等：図面に基づく施工法、気密層、断熱性能の検討、コスト試算

### 3) 屋内側加熱時の被覆条件と非損傷性との関係性把握（令和5年度～令和6年度）

- ・ねらい：屋内側加熱時における壁内柱の被覆条件（せっこうボード・充てん断熱材の仕様、構造用面材・外張断熱材の有無等）が非損傷性（壁内柱が座屈するまでの時間）との関係を明らかにする。
- ・試験項目等：防耐火試験（実大試験体を用いた火災加熱実験）

### 4) 準耐火性能評価手法の提案（令和4年度～令和6年度）

- ・ねらい：1)～3)より、内外装材が脱落せずに断熱材の被覆を保持できることを前提に、評価対象とする木造外壁の要件を定めて、30分防火性能（外張断熱工法）および45分準耐火性能（充填断熱工法・外張断熱工法）をより合理的に評価できる手法を提案する。
- ・試験項目等：なし

## 3. 研究成果

- ・発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁の準耐火性能（防火性能含む）を断熱材の種類を問わず一括して評価するため、防火上、最も不利な条件として窯業系サイディング外装および外張断熱工法を選定し、実大試験体を用いた火災加熱実験等により、その成立の前提となる1)～3)の技術的課題の解決法を明らかにした。

### 1) 外装材の脱落防止策の検討

- ・火災加熱終了まで外装材を脱落させずに保持するためには、現工法で30分防火構造まで対応できるが、45分準耐火構造に対しては抜本的な工法改良を要する。その解決法として次の2つの方法を示した（図1）。
- ・外装材金具を固定する際、外張断熱用ビスを用いて、胴縁、外張断熱材を貫通させ、柱・間柱に緊結する。
- ・胴縁を鋼板で被覆したうえで、ビスを用いて、外装材金具を鋼板、胴縁の両方に留め付ける。
- ・本研究で対象とした外壁仕様では、外張断熱用ビスは火災時に受けうる最大曲げモーメントに対し、420～430℃で曲げ降伏、510～520℃で曲げ破断が発生する可能性がある（図2）。

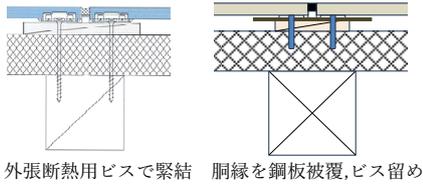
### 2) 外張断熱層の上階延焼防止策の検討

- ・外張断熱層通じた上階延焼は、柱・間柱と外張断熱層の間に構造用面材、外張断熱層に見付け幅45mm以上の木材、および通気層に鋼板製通気役物（通気金具）を設置すれば、有効に防止できる。

### 3) 屋内側加熱時の被覆条件と非損傷性との関係性把握

- ・内装材（屋内側被覆）を厚さ21mmの強化せっこうボードとすると、外張断熱材や充填断熱材に発泡プラスチック断熱材を用いても、断熱材の種類、厚さを問わず、45分屋内側加熱に対し、非損傷性を喪失しない。
- ・1)～3)の技術的課題に対する解決法を適用することを前提に、発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁の30分防火性能（外張断熱工法）および45分準耐火性能（充填断熱工法・外張断熱工法）を一括して評価できる手法を提案した（表1）。

<具体的データ>



外張断熱用ビスで緊結 胴縁を銅板被覆,ビス留め

図1 外装代の脱落防止策

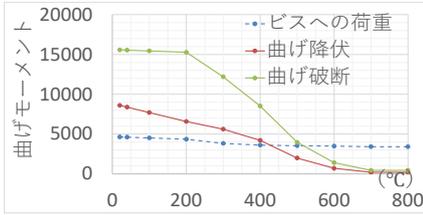


図2 外張断熱用ビスの曲げ耐力

表1 本研究で提案する準耐火性能評価手法

(1)防火性能に基づく断熱材の序列化				
防火性能	①無断熱	< ②可燃性断熱材 (溶融型)	< ③可燃性断熱材 (炭化型)	< ④グラスウール ロックウール
(例)軸組造				
(2)性能評価における「断熱材の序列化」の適用条件				
	45分準耐火構造		30分防火構造	
	外張断熱工法	充填断熱工法	外張断熱工法	
1)外装材の脱落防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>外装材金具を外張断熱用ビスで木造躯体(柱・間柱)に緊結</li> <li>胴縁を銅板で被覆し、外装材金具をビスで銅板、胴縁に留付</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>現工法でO.K.</li> </ul>	
2)上階への延焼防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造用面材を設置</li> <li>外壁・軒裏および外壁各階の境界に通気金物を設置</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>外壁・軒裏境界に通気金物を設置</li> </ul>	
	・ 桟木幅 45 mm	—	・ 桟木幅 30 mm	
3)屋内側被覆	<ul style="list-style-type: none"> <li>強化せっこうボード厚さ 21 mm</li> </ul>		—	

4. 今後の見通し

- ・本研究で提案する評価手法は、国土交通省の建築基準整備促進事業等(基整促等)へ素案として提出し、協議・検証・修正を経た上で、防耐火構造の性能評価業務への反映を目指す。

## 目 次

1. 研究の背景・目的と概要.....	1
(1) 研究の背景 .....	1
(2) これまでの取り組み.....	1
(3) 技術的課題 .....	3
(4) 研究の目的 .....	7
(5) 研究の対象 .....	7
(6) 研究の概要 .....	8
2. 外装材の脱落防止策の検討.....	10
(1) 検討の目的 .....	10
(2) 現行工法における外装材の保持性能の確認（30分防火構造） .....	10
(3) 外装材の保持性能向上のための胴縁補強策の検討（45分準耐火構造） .....	13
(4) 外張断熱用ビスの保持耐力に関する検討.....	21
(5) 検討のまとめ.....	23
3. 通気層・外張断熱層の上階延焼防止策の検討.....	24
(1) 検討の目的 .....	24
(2) 鋼板製通気役物（通気金物）を設置した場合の上階への延焼性状の確認.....	24
(3) 小型試験体を用いた外張断熱層の上階延焼防止策の検討.....	28
(4) 検討のまとめ.....	34
4. 屋内側加熱時の被覆条件と非損傷性との関係性.....	35
(1) 検討の目的 .....	35
(2) 被覆条件と非損傷性との関係性検討.....	35
(3) 断熱仕様を問わず45分準耐火性能を確保する屋内側被覆の検討.....	37
(4) 検討のまとめ.....	39
5. 準耐火性能評価手法の提案.....	40
(1) 検討の目的 .....	40
(2) 評価手法の提案.....	40
6. まとめ .....	41

# 1. 研究の背景・目的と概要

## (1) 研究の背景

カーボンニュートラルを実現するため、建築物において木材利用、省エネルギー、火災安全の3点を高い次元で調和を図っていく必要がある。この実現に向け、建築物における外壁の断熱化は、建築物のエネルギー消費量を削減し、室内の温度環境を向上させる重要な基盤技術である。

木造建築物における外壁の断熱工法には、充填断熱工法他に、木造躯体の屋外側に断熱材を張る外張断熱工法、さらに充填断熱材と外張断熱材を併用した付加断熱工法がある<sup>1)</sup>(図1-1)。

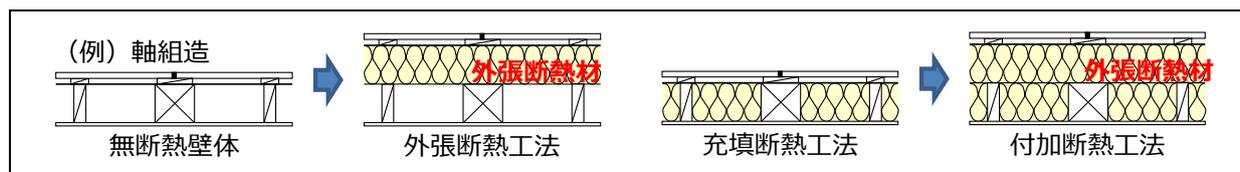


図 1-1 木造外壁の断熱工法<sup>1)</sup>

寒冷な気候である北海道では、すでに充填断熱材と外張断熱材の併用が木造外壁の主流である。本州以南でも、省エネルギー性能の引き上げに応じて建築外皮の高断熱化が進むなか、充填断熱材だけでは必要な断熱性能を満たせない場合があり、充填断熱材の併用含め外張断熱材を用いる木造外壁が普及しつつある。

これら断熱工法に用いられる断熱材には、ロックウールやグラスウールなどの無機材料のほか、各種発泡プラスチックなどの可燃性断熱材もあり、木造外壁の構成・仕様はこれら断熱工法と断熱材により多種多様な組合せを持つ。

建築基準法では、発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁を防火規制がかかる構造や地域に適用する場合、国土交通大臣の個別認定が必要となるため、必ずその防耐火性能を評価し、その火災安全性を確認しなくてはならない。特に発泡プラスチック断熱材は可燃物であり、火災時、燃焼による被害拡大への懸念が根強く、火災安全上、より慎重な取り扱いが求められる。さらに発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁の防耐火性能は、壁体内の断熱材の設置位置・種類・厚さに加えて、断熱材の熔融や熱分解、燃焼等が、それぞれ防耐火性能に影響を及ぼし、その影響は複雑に重なり合う。

このような事情のもと、発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁の防耐火性能の評価では、躯体や内外装材等の外壁構成が同じであっても、断熱工法や発泡プラスチック断熱材の種類や厚さが異なると、それぞれ個別に評価を実施してきた。その結果、多くの経済的・時間的コストを要してきた。

発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁の防耐火性能の評価は、技術的知見の蓄積に基づき、断熱材の燃焼による防耐火性能が低下するリスクを考慮しながら、多種にわたる断熱材を一括して評価するなど合理的に行えるようになることが望まれる。

## (2) これまでの取り組み

### 1) 基整促 F14 における一括評価法の検討

平成 30 年度～令和元年度に実施した国土交通省の建築基準整備促進事業 F14「主要構造部の防耐火性能等に関する大臣認定仕様基準の検討」<sup>2)</sup>(以下、基整促 F14)では、課題の1つとして「可燃性断熱材を用いた防耐火構造外壁の構造方法」の基準化や性能評価の合理化に向けた技術的検討が行われ

た。本研究は、この基整促 F14 の検討成果およびその後に行われた性能評価機関での議論を引き継いで、適用範囲を充填断熱工法から外張断熱工法、防火構造から 45 分準耐火構造への拡張を目指して実施するものである。

以下、本研究の前提となる知見<sup>2),3)</sup>について概説する。

基整促 F14 では、充填断熱工法の木造外壁を対象に防火構造に絞って、次の①～③に示す技術的知見を検証し明らかにしている。なお、①～③の文中の「外装材等の保持性能」は、火災加熱を受ける外装材等が、脱落せずに断熱材を被覆した状態を保持できる性能をいう。

①外壁に可燃性断熱材を用いる場合、外装材等の保持性能が喪失しなければ、可燃性断熱材が燃焼して、外壁の防耐火性能を低下させるリスクは小さい。

②木造軸組工法や枠組壁工法の外壁では、外装材等の保持性能が担保されれば、防火構造が想定される屋外側からの 30 分間の標準火災による火熱に対し、荷重支持部材（柱・スタッド）の熱劣化が小さく座屈が起こる可能性は低いため、遮熱性・遮炎性が防耐火性能を決める支配的な因子となる。

③外装材等の保持性能が担保されれば、火災加熱を受ける外壁内の断熱材は、その高温特性に従い、熔融・熱分解が生じる。この進み方が、外壁の遮熱性・遮炎性に支配的な影響を及ぼす。

そして、この①～③が成立する場合のみを適用範囲とし、木造外壁の仕様範囲を定めて、多種にわたる断熱材を防耐火性能の面から、図 1-2 に示す通りに序列化している。これにより、発泡プラスチック断熱材をはじめとする可燃性断熱材を含む木造外壁の防耐火性能を一括して評価することが可能となった。

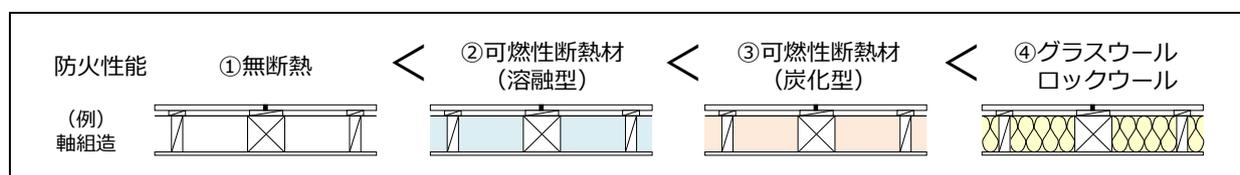


図 1-2 防耐火性能（遮熱性・遮炎性）における断熱材の序列

さらに、この「防耐火性能における断熱材の序列」に基づく一括評価法を適用する際の条件として、次の i～iii に示す「防耐火性能が損なわれない外壁の仕様条件」を定めている。

- i 外装材等の保持性能 ・ 外装材が火災時、脱落せずに断熱材を被覆した状態を保持できること
- ii 可燃性断熱材の難燃性 ・ 可燃性断熱材は、JIS に規定する難燃性を満たすこと
- iii 防耐火性能の余裕度の設定 ・ 現場施工の断熱材の品質のばらつきに対し安全率を設定

## 2) 防耐火構造の性能評価業務への一括評価法の反映

これら基整促 F14 の検討成果は、防耐火構造の性能評価業務に反映されることになった。令和 2 年 5 月より、(一社)建築性能基準推進協会「防耐火構造・材料部会」および「同・防耐火構造 WG」において、性能評価業務における運用方法について協議がなされた。その結果、令和 3 年 5 月 18 日付で「性能協防火構第 6 号『防耐火構造の性能評価業務における木造壁体の充填断熱材に関する取扱い』」<sup>4)</sup> (以下、取扱い) がとりまとめられた。現在、全国の防耐火構造の指定性能評価機関で運用されている。

この取扱いでは、試験体に選定されない可燃性断熱材を大臣認定の仕様範囲に包含する場合は、その可燃性断熱材については試験による直接的な性能検証を行っていない。そのため、試験により直接性能を確かめられない可燃性断熱材を大臣認定の仕様範囲に包含する場合は、一定の余裕度を付与している。この考え方は、欧州規格 EN1634-1 等において試験体よりも仕様を拡張する場合に、試験時間に応じた余裕度を設定していることを参考にしている。結果的に、この余裕度の設定は、基整促 F14 において「防耐火性能における断熱材の序列」に基づく一括評価法を適用する際に、現場施工の断熱材の品質のばらつきに対し、防耐火性能に余裕度を設定すべきであるとした点を内含している。

具体的には、試験体に選定されない可燃性断熱材を用いる場合、構造用面材の設置またはその厚さを増すことにより、余裕度を付与している。構造用面材により壁体内部への熱侵入を遅延させ、かつ断熱材の燃焼を抑制させることを意図している（図 1-3、表 1-1）。

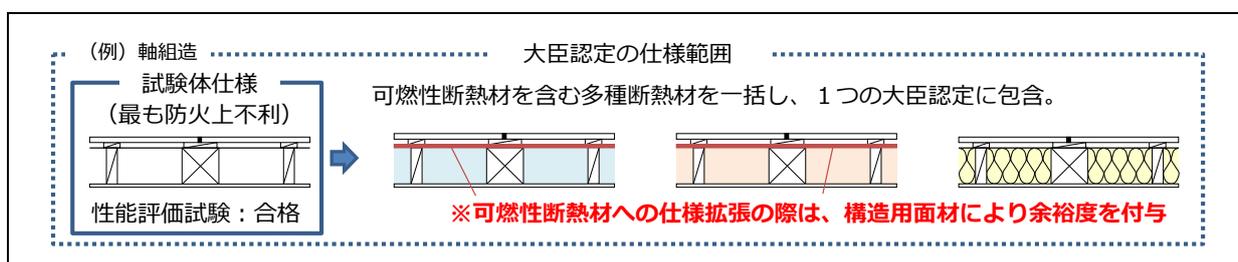


図 1-3 「木造壁体の充てん断熱材に関する取扱い」における基本的な考え方

表 1-1 構造用面材の試験体仕様と大臣認定範囲の関係

試験体仕様	大臣認定に包含できる仕様範囲（充填断熱材に可燃性断熱材を用いる場合）		
	構造用面材の種類	構造用面材の厚さ	
		通常	無断熱時の防耐火性能が 36 分以上 (2 割以上の余裕度) を有する場合
なし 構造用合板 9 mm	木質系ボード	試験体の面材厚さ + 3 mm 以上 かつ、厚さ 9 mm 以上	試験体の面材厚さ以上 かつ、厚さ 9 mm 以上
	セメント板	試験体の面材厚さ + 3 mm 以上	試験体の面材厚さ以上
	せっこうボード		
	火山性ガラス質複合板		
他の面材 (木質系面材)	試験体に用いた面材	試験体の面材厚さ + 3 mm 以上 かつ、厚さ 9 mm 以上	試験体の面材厚さ以上 かつ、厚さ 9 mm 以上
他の面材 (非木質系面材)	試験体に用いた面材	試験体の面材厚さ + 3 mm 以上	試験体の面材厚さ以上

### (3) 技術的課題

#### 1) 外装材等の脱落防止策（外装材等の保持性能）

本研究では、これらの議論を引き継いで、「防耐火性能における断熱材の序列」に基づく一括評価法の適用範囲を充填断熱工法から外張断熱工法、防火構造から 45 分準耐火構造へ拡張する。そのためには、「防耐火性能が損なわれない外壁の仕様条件」として、先述の通り、「i 外装材等の保持性能」、「ii 可燃性断熱材の難燃性」、「iii 防耐火性能の余裕度の設定」の 3 つを満たしておく必要がある。

ii については、発泡プラスチック断熱材を JIS に合致する製品に限定し、iii については、必要に応じ

て、表 1-1 に示す仕様に合致するように構造用面材を設置すればよく、いずれも構成材料の選定で対応できる。しかし「i 外装材等の保持性能」については、工法的な対応が必要となる。

発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁では、断熱性能上、熱橋を排除するため外張断熱層に外装下地を設置しない。外張断熱材である発泡プラスチック断熱材は、ビス長が長い外張断熱用ビスを用いて、胴縁と併せて、柱・間柱に留め付けられる。そして、その胴縁を下地に外装材を留め付けるため、外装材は胴縁のみで支えられ、外装下地は脆弱となる（図 1-4）。屋外側から火災加熱を受ける際、この外装下地の脆弱性が屋外側被覆（外装材）の早期脱落、外壁の防火性能の低下を招くおそれがある。

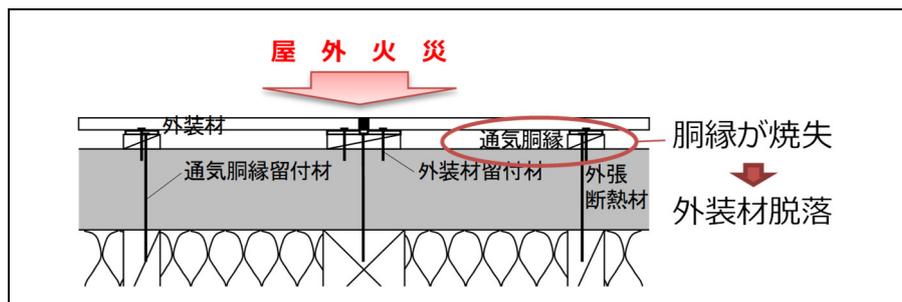


図 1-4 外装下地が脆弱となる構造（発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法）

さらに、樹脂分解が緩慢なフェノールフォーム断熱材を外張断熱材として設置した場合、屋外火災に対し遮熱性は有利に働くが、断熱材の加熱側で熱ごもりが生じ、外装材および胴縁が高温に曝される。胴縁の熱分解が進んだり、外装材が損傷したりすると、脱落の危険性が高まる。一方、樹脂が溶融するポリスチレンフォームを外張断熱材に用いた場合は、屋外火災に対し断熱材が早い段階で溶融して外張断熱層は中空となる。熱ごもりは生じず裏面側へ放熱されるため、外装材および胴縁の温度はフェノールフォーム断熱材ほどにはならないが、鋼材である外張断熱用ビスが直接、熱を受けるため、温度が高くなると、強度が低下し外装材を保持できなくなるおそれがある。

以上より、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁における「i 外装材等の保持性能」については、一括評価法を充填断熱工法から外張断熱工法に拡張するにあたり、まずは防火構造において、内外装材を脱落させずに保持させるための工法的検討が課題となる。

また防火構造では屋外火災に対し 30 分の防耐火性能を満たせばよいが、準耐火構造では屋外火災および屋内火災に対し 45 分防耐火性能が求められる。即ち、「i 外装材等の保持性能」は、防火構造では屋外火災に対し外装材が 30 分間保持できればよいが、準耐火構造では屋外火災に対し外装材が、屋内火災に対し内装材がそれぞれ 45 分間保持する必要がある。

従って、次に 45 分間、内外装材を脱落させずに保持させるための工法的検討が、本研究の技術的課題となる。

## 2) 通気層・外張断熱層の上階延焼防止策

発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁では、不燃性断熱材を用いた場合に比べて可燃性ガスの発生量が増加する。偶発的であっても外装材または内装材が脱落して、外壁内に火熱が侵入して、発泡プラスチック断熱材の燃焼が加わると、当該外壁から通気層や外張断熱層などを通

じて、上階の外壁や床、軒裏などへの急激な火災拡大および上階延焼をもたらすおそれがある(図1-5)。従って、火災安全性の観点より、外壁内に火熱が入り発泡プラスチック断熱材等が燃烧した場合を想定し、外壁内を通じた上階の隣接部材への炎の侵入を抑えて延焼を防ぐための防火処置(以下、上階延焼防止策とする。)を検討しておく必要がある。

上階延焼の経路を示すと、図1-6となる。外壁から隣接部材への上階延焼は、①取り付け部を介した上階外壁、軒裏、上階床または屋根への延焼、並びに②通気層および外張断熱層を介した上階外壁または軒裏への延焼に大別される。これら上階延焼を防止するためには、外壁と隣接部材の境界に位置する取り付け部、並びに通気層内および外張断熱層内にそれぞれファイヤーストップ(以下、FS)が必要となる。

外壁と隣接する上階外壁、軒裏への取り付け部では、柱や間柱の軸間部に設置された木材<sup>5)</sup>、不燃性断熱材および木造軸組工法では桁や胴差または枠組壁工法では上枋材がそれぞれFSの役割を果たしている。また外壁と隣接する上階床、屋根への取り付け部では、内装材が階間の横架材(梁や桁、胴差)間を一部でも欠けることなく塞ぐ形で設置されるとFSの機能を持つ。内装材は被覆材としてだけでなく、上階延焼を防ぐ観点からも重要となる。

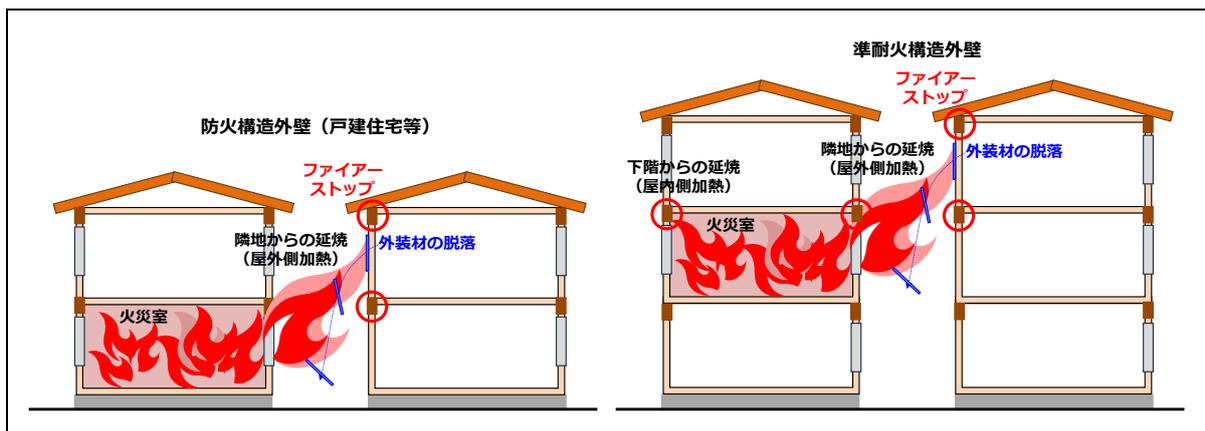


図1-5 上階延焼のイメージ

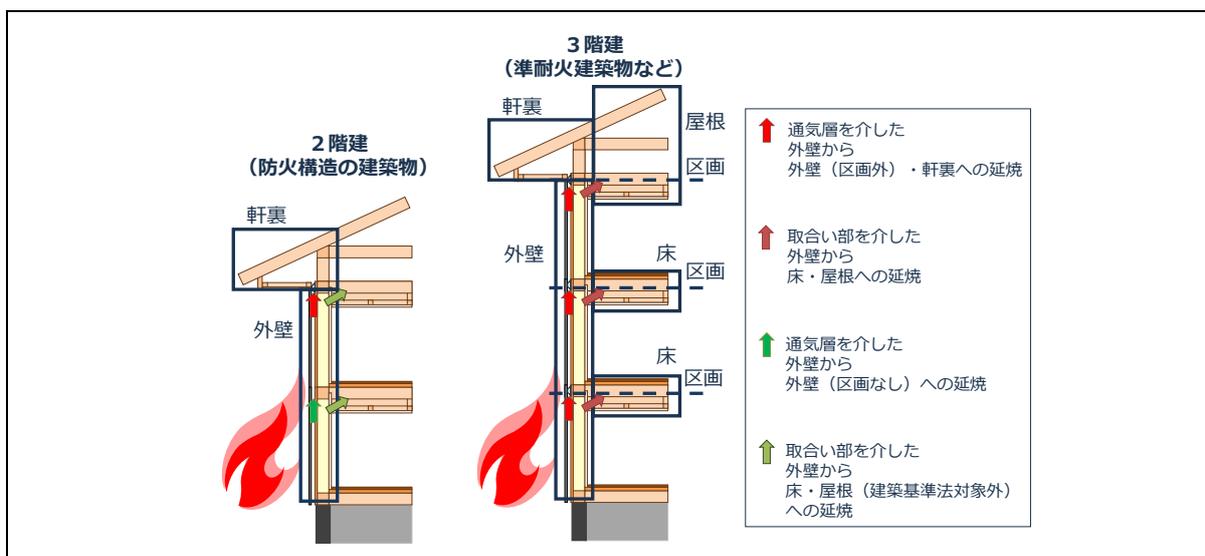


図1-6 上階延焼のイメージ

以上より、外壁から取り合い部を介した上階外壁、軒裏、上階床または屋根への延焼に対するFSは、木材や断熱材を設置したり、被覆材を張り上げたりするなど、いずれも単純な施工で対応できる。

一方、上階外壁、軒裏に隣接する外壁内の通気層および外張断熱層にFSを設置する場合、通気層に設置するFSは一般的に準耐火建築物の設計指針<sup>5)</sup>に示される有孔の金属板で作られた鋼板製通気役物（以下、通気金物）が考えられる（図1-7）。しかし、この通気金物はFSとして遮炎性は期待できても遮熱性までは期待できず、その効果を定量的に把握できていないのが現状である。また外張断熱層FSは、通気層FSを取り付ける下地材である必要があるため木材が適しているが、木材は外張断熱層では熱橋となるため、できる限り木材の見付寸法を抑える必要がある（図1-8）。

以上より、これら通気層および外張断熱層に設置するFSを対象にした上階延焼防止策の検討が本研究の技術的課題となる。

なお、本研究の成果となる評価方法を防耐火構造の性能評価業務へ反映し、将来的に、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁を例示仕様（新たに構造方法）として告示等への追加を考えると、その新たな構造方法には「建築物の内部への炎の侵入を有効に防止できる構造」とすることが求められる。この点に対応するためにも、通気層および外張断熱層に設置するFSを対象にした上階延焼防止策の検討は、取り組むべき課題となる。



図1-7 準耐火設計指針<sup>5)</sup>に示されている有孔鋼板製の通気役物(ファイヤーストップ)

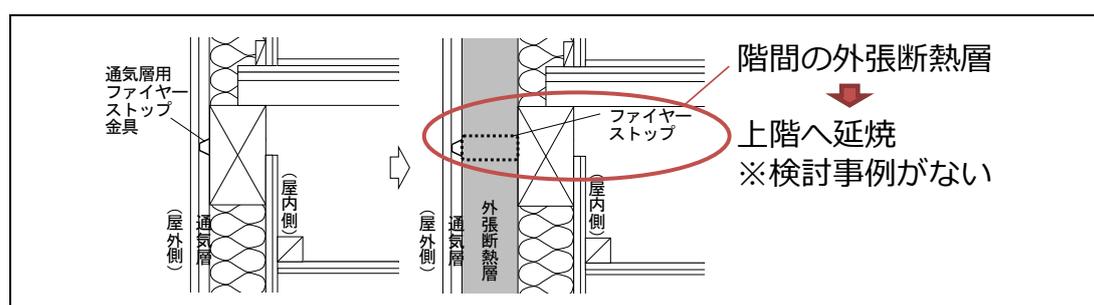


図1-8 外張断熱層のファイヤーストップ

### 3) 屋内側加熱時の被覆条件と非損傷性との関係性把握

「防耐火性能における断熱材の序列」に基づく一括評価法の適用範囲を防火構造から45分準耐火構造へ拡張するためには、屋内側火災に対し、45分間壁内柱の座屈を防止し、非損傷性を喪失しないようにする必要がある。

屋内火災に対する木造外壁の壁内柱の被覆条件は、内装材のせっこうボードの仕様、充填断熱材の

有無、充填断熱材がある場合は種類、厚さおよび配置（屋外側寄せ、屋内側寄せ）、並びに構造用面材・外張断熱材の有無、ある場合にはその種類および厚さなどにより異なってくる（例：図 1-9）。

これら被覆条件と非損傷性（壁内柱が座屈するまでの時間）との関係性を把握して、一括評価法を 45 分準耐火構造へ拡張するにあたり、屋内側被覆（内装材）に対する適切な外壁仕様の条件を明らかにすることが、本研究の技術的課題となる。

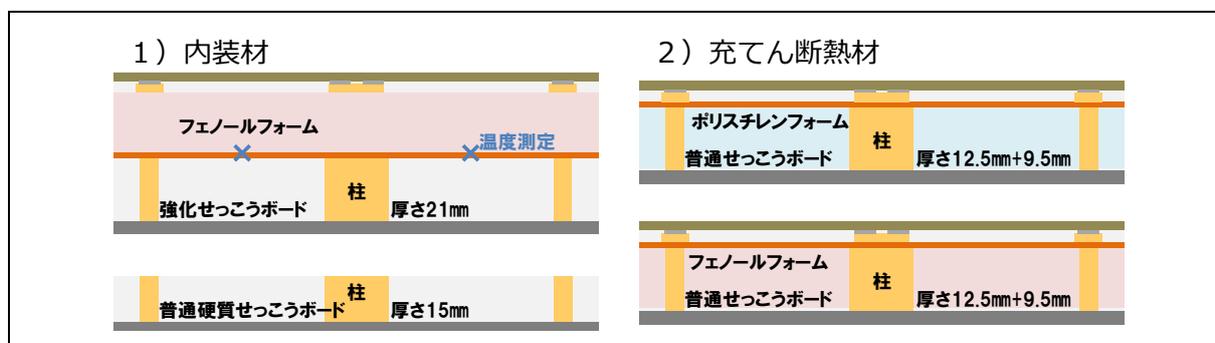


図 1-9 屋内火災に対する壁内柱の被覆条件)

#### (4) 研究の目的

本研究は発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁を対象に、準耐火性能をより合理的に評価するために、対応すべき技術的課題を解決して、評価手法の提案を行う。

#### (5) 研究の対象

本研究は発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁を対象に、準耐火性能をより合理的に評価するために、対応すべき技術的課題を解決して、評価手法の提案を行う。

本検討で対象とする外壁の構造・構成材料等の範囲を表 1-2 に示す。

外装材は、建築基準法で定める準不燃性能を有し、かつ防火性を有する材料とし、性能を確認した窯業系サイディング、軽量セメントモルタル、セメントモルタル、ALC に限定し、対象とする。ここで、防火性とは防火構造の構造方法を定める件（平成 12 年建設省告示第 1359 号）に示される外装材のように、通常の火災による火熱に曝された場合に、容易に着火や防火上有害な損傷が発生せず、防火被覆としての効果が期待できる性質をいう。

「構造用面材」は、特に適用範囲を規定せず、従来の防耐火構造の性能評価に係る取扱いに従い、(一社) 建築性能基準推進協会 防耐火構造・材料部会 防耐火構造 WG が定める「性能協 火 防構 第 3 号 構造用面材及び下張材リスト」<sup>6)</sup>に定める面材とする。

断熱材は発泡プラスチック断熱材を対象にし、建築用途の JIS A 9521 または JIS A 9526 の燃焼性に関する規定を満たすことを必須条件とするため、建築用途の JIS A 9521 または JIS A 9526 に定められる品質を満たすものに限定した。

表 1-2 に示す検討対象とする構成材料のうち、最も耐熱性が低く防火性能上不利となる材料として、外装材は「窯業系サイディング」、構造用面材は「合板」を代表させて検討を進める。これらの構成材料で得られた結果、技術的知見は、検討対象とする構成材料の範囲全てにおいて同様に適用できると考えられる。

表 1-2 検討対象とする外壁の構造・構成材料等の範囲

防火性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・45分準耐火構造（建築基準法第2条第7号の2）</li> <li>・防火構造（建築基準法第2条第8号）※準防火性能を有する外壁（建築基準法第23条）を包含</li> </ul>
構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・木造外壁（大壁のみ、間柱又は下地を木材とする）、例）木造軸組工法、枠組壁工法等</li> </ul>
外装材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建築基準法で定める準不燃性能を有し、かつ防火性を有する材料 <ul style="list-style-type: none"> <li>・窯業系サイディング</li> <li>・軽量セメントモルタル ※最も耐熱性が低く防火性能上不利となる材料</li> <li>・セメントモルタル 「窯業系サイディング」を選定</li> <li>・ALC</li> </ul> </li> </ul>
構造用面材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・（一社）建築性能基準推進協会 防耐火構造・材料部会 防耐火構造 WG 「性能協 火 防構 第3号 構造用面材及び下張材リスト」に記載される次の各種材料 <ul style="list-style-type: none"> <li>・木質系ボード</li> <li>・セメント系ボード ※最も耐熱性が低く防火性能上不利となる材料</li> <li>・せっこうボード 「合板（木質系ボード）」を選定</li> <li>・火山性ガラス質複合板</li> </ul> </li> </ul>
内装材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・せっこうボード</li> <li>・強化せっこうボード</li> </ul>
断熱材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発泡プラスチック断熱材 <ul style="list-style-type: none"> <li>・押出法ポリスチレンフォーム断熱材（JIS A 9521）</li> <li>・ビーズ法ポリスチレンフォーム断熱材（JIS A 9521）</li> <li>・硬質ウレタンフォーム断熱材（JIS A 9521）</li> <li>・フェノールフォーム断熱材（JIS A 9521）</li> <li>・吹付け用硬質ウレタンフォーム断熱材（JIS A 9526）</li> </ul> </li> </ul>

（6）研究の概要

本研究では、前項の研究目的に対し、下記の4つの研究項目に取り組む。なお、外装材等の脱落防止策において技術的課題として挙げた内装材の脱落防止策は、研究項目1)ではなく、研究項目4)「屋内側加熱時の被覆条件と非損傷性との関係性把握」において併せて検討する。

表 1-3 本研究の構成と本報告書の章立て

本研究の構成	本報告書の章立て
研究の背景・目的・概要	1. 研究の背景・目的と概要
研究項目1) 外装材の脱落防止策の検討	2. 外装材の脱落防止策の検討
研究項目2) 通気層・外張断熱層の上階延焼防止策の検討	3. 通気層・外張断熱層の上階延焼防止策の検討
研究項目3) 屋内側加熱時の被覆条件と非損傷性との関係性把握	4. 屋内側加熱時の被覆条件と非損傷性との関係性
研究項目4) 準耐火性能評価手法の提案	5. 準耐火性能評価手法の提案
研究のまとめ	6. 研究のまとめ

これら4つの研究項目と本報告書各章の対応は、表1-3に示す通りとなる。

1) 外装材の脱落防止策の検討

準不燃性以上かつ防火性を有する外装材（外装材：窯業系サイディング、内装材：せっこうボード）を用いた木造外壁を対象に、火災加熱を受ける外装材が加熱終了まで脱落せずに、断熱材の被覆を保持できる工法的要件を明らかにする。

2) 通気層・外張断熱層の上階延焼防止策の検討

外張断熱工法を対象に、外張断熱層を介した上階延焼を防止するために、必要な防火処置を明らかにする。

3) 屋内側加熱時の被覆条件と非損傷性との関係性把握

屋内側加熱時における壁内柱の被覆条件（せっこうボード・充填断熱材の仕様、構造用面材・外張断熱材の有無等）が非損傷性（壁内柱が座屈するまでの時間）との関係を明らかにする。

4) 準耐火性能評価手法の提案

1)～3)より、内外装材が脱落せずに断熱材の被覆を保持できることを前提に、評価対象とする木造外壁の要件を定めて、30分防火性能（外張断熱工法）および45分準耐火性能（充填断熱工法・外張断熱工法）をより合理的に評価できる手法を提案する。

## 2. 外装材の脱落防止策の検討

### (1) 検討の目的

防火構造では、屋外火災に対し外装材を 30 分間、本研究で目標性能とする準耐火構造では、屋外火災に対し外装材を、屋内火災に対し内装材をそれぞれ 45 分間、脱落させずに保持する必要がある。

本章では、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁を対象に、屋外火災に対し、外装材である窯業系サイディングを 30 分間、または 45 分間脱落させないための工法的検討を行う。

またあわせて、これら工法的検討に加えて、外張断熱用ビスの保持耐力についても検討し、外装材脱落のメカニズム解明に向けた考察を行う。

### (2) 現工法における外装材の保持性能の確認 (30 分防火構造)

#### 1) 検討の目的

発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁において、屋外火災に対し外装材である窯業系サイディングを 30 分間脱落させないための工法的検討を行う。

#### 2) 試験体

試験体を図 2-1 および図 2-2 に示す。試験体 (幅 W3,240×高さ H3,230) は、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁において、現行の一般的な仕様構成で防火構造外壁として設計した。

試験体は柱 105 mm×105 mm、間柱 30 mm×105 mm (内装材縦目地部 45 mm×105 mm) の木造軸組造の躯体に、屋外側は構造用面材を設置せずに、外張断熱材を各種発泡プラスチック断熱材 (厚さ 100 mm)、防水紙を仮留したうえで胴縁 45 mm×15 mm (外装材目地部 90 mm×15 mm) を当てて、外張断熱用ビス (長さ 150 mm) で外張断熱材、防水紙、胴縁をまとめて柱・間柱に留付けた。そして、この胴縁を下地にして金具を留め付け、金具の爪に外装材である窯業系サイディングを嵌合して固定する。この時、金具を胴縁に留め付ける釘足は胴縁だけに掛かっている。

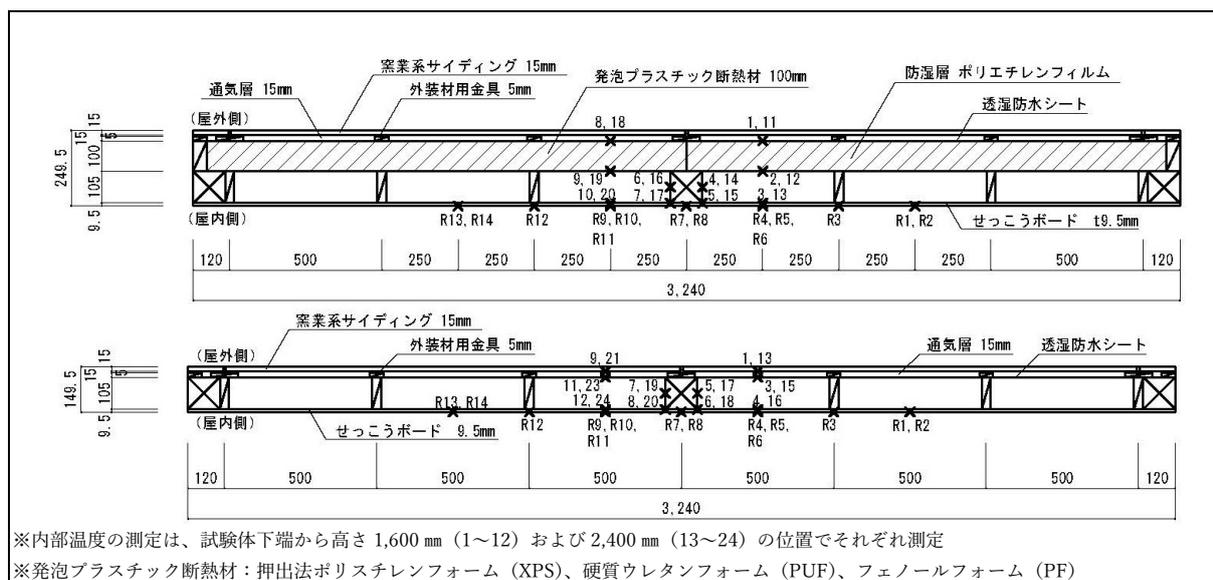


図 2-1 試験体図 水平断面図 (上: 外張断熱工法外壁、下: 無断熱壁体)

試験体が外装材である窯業系サイディングがより脱落しやすい危険側の仕様となるように、胴縁の断面寸法を定め、さらに試験体の左右端部が外装材の脱落挙動に影響しないように、窯業系サイディングの縦目地を、試験体中央の他に試験体の左右にも設けて、計3箇所とした。

試験体数は外張断熱材を押出法ポリスチレンフォーム（以下、XPS）、硬質ウレタンフォーム（以下、PUF）またはフェノールフォーム（以下、PF）と断熱材種類を変えて3体（以下、それぞれXPS壁体、PUF壁体、PF壁体と称す。）とし、比較対象として外装材の下地条件が充填断熱工法と同じ無断熱壁体を1体加えて、計4体とした。

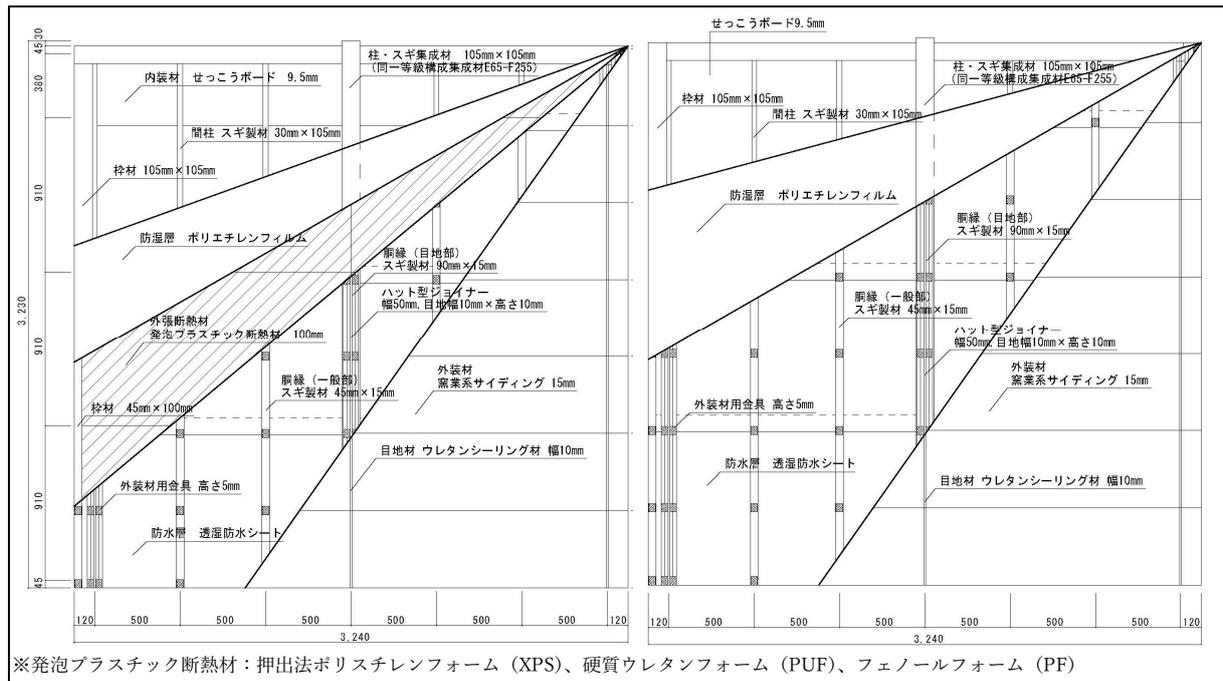


図 2-2 試験体図 各層構成図（上：外張断熱工法外壁、下：無断熱壁体）

### 3) 実験方法

防耐火実験は（地独）北海道立総合研究機構 建築研究本部の壁炉（写真 2-1）を用いて実施した。

試験体（幅 W3,240×高さ H3,230）に対し、荷重支持部材である壁内柱に長期許容応力度に相当する応力度が生じる荷重を載荷しながら、ISO834-1 標準加熱曲線に合うように屋外側から加熱した。加熱時間は 45 分間、もしくは柱が荷重支持能力または壁が遮炎性を失い、試験続行が危険と判断されるまでとし、その時点で加熱を止めて実験を終了した。炉内温度は K 型シーズ熱電対、試験体の各部温度は K 型熱電対を用いて、ともに 10 秒ごとに測定した。



写真 2-1 壁炉

温度測定位置は、各試験体の試験体図中に示す。あわせて水平変位を試験体中央で高さ 800 mm、1,600 mm、2,400 mm の位置で計 3 点、鉛直変位を試験体中央と試験体中央から左右に 600 mm の位置で計 3 点をそれぞれ測定した。

#### 4) 実験結果

実験結果を表 2-1、実験時の様子を写真 2-2 に示す。

いずれの試験体においても遮熱性喪失時間および遮炎性喪失時間は 30 分を超えて、防火構造の要求性能を満足した。また、外装材についても、無断熱壁体と XPS 壁体では加熱終了まで脱落しなかった。

XPS 壁体では、外張断熱層は XPS が溶融して中空となったが、外装材は試験体下端から積みあがった状態で、外張断熱用ビスが外装材金具を通じて、外装材が倒れないように保持していた。PUF 壁体では 30 分 19 秒、PF 壁体は 29 分 03 秒で外装材が一部脱落したが、概ね 30 分の外装材の保持性能は有していた。

XPS 壁体、PUF 壁体および PF 壁体の各層の温度推移を見ると、試験体裏面の温度上昇度は PF 壁体が最も低く、次いで PUF 壁体、XPS 壁体が最も高い。一方、外装材裏面温度および外張断熱材表面温度は PF 壁体が最も高く、次いで PUF 壁体、XPS 壁体が最も低い。結果的に、断熱材の熱分解が緩

表 2-1 実験結果

試験体 No.	A-1	A-2	A-3	A-4
試験体仕様	無断熱壁体	XPS 壁体	PUF 壁体	PF 壁体
加熱時間	38 分 45 秒	40 分 30 秒	37 分 30 秒	41 分 00 秒
裏面温度上昇度 (30 分平均)	81K	74K	34K	1K
裏面温度上昇度 (30 分最高)	98K	91K	65K	3K
外装材脱落開始時間	脱落せず	脱落せず	30 分 19 秒	29 分 03 秒
遮熱性喪失時間	37 分 20 秒	39 分 50 秒	37 分 10 秒	40 分 00 秒
遮炎性喪失時間	34 分 45 秒*	喪失せず	喪失せず	喪失せず
非損傷性喪失時間	喪失せず	喪失せず	喪失せず	喪失せず

\*内装材のせっこうボード内部にひび割れ等の損傷があり、遮炎性が喪失したものと考えられる。(写真 4-2 右端の写真参照)



写真 2-2 実験時の様子

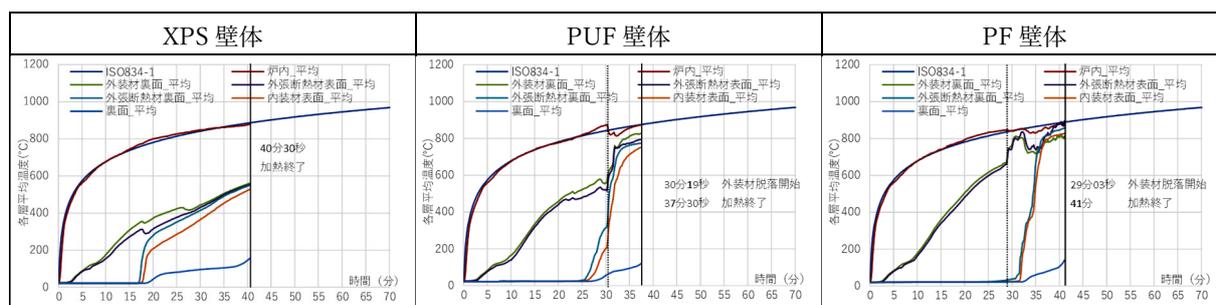


図 2-3 発泡プラスチック断熱材による外壁内各層平均温度推移の比較



くし焼失までの時間を遅延させて、外装材の保持時間を長くする。

「b. ハットジョイナー改良」

胴縁の焼失に対し、鋼製のハット型ジョイナーのつばの形状をコの字に変えて、胴縁の表面および両側面の3面を覆うことで、胴縁を鋼板で被覆し、焼失までの時間を遅延させて、外装材の保持時間を長くする。

「c. 金具を柱へ直接留め」

胴縁の焼失は防げない、遅延させても45分間は保持できないと考え、胴縁の焼失を前提に、外張断熱用ビスを用いて外装材金具を直接、柱・間柱に固定する

「d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め」

胴縁が焼失した後、胴縁に代わり、胴縁を被覆している鋼板が外装材を保持する下地となるようにする。外装材を支える外装材金具の釘足が、胴縁だけでなく鋼板にも効くようにする、かつ外装材金具の留付け材は、火災時の鋼板の挙動によって抜けないように、釘ではなく、ねじ（ビス）を用いる。

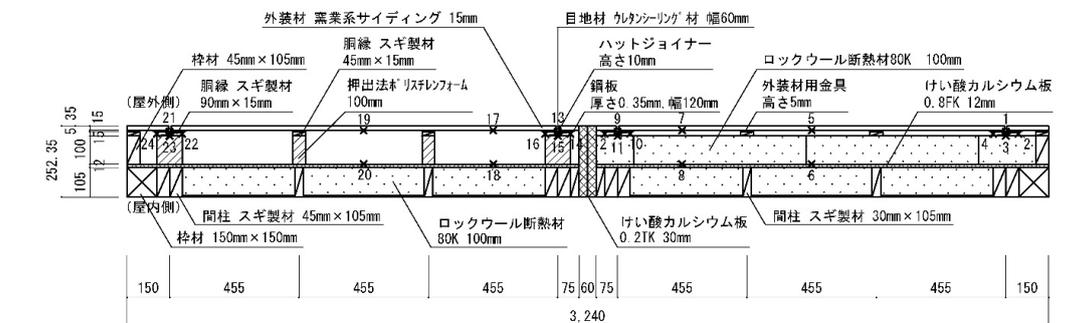
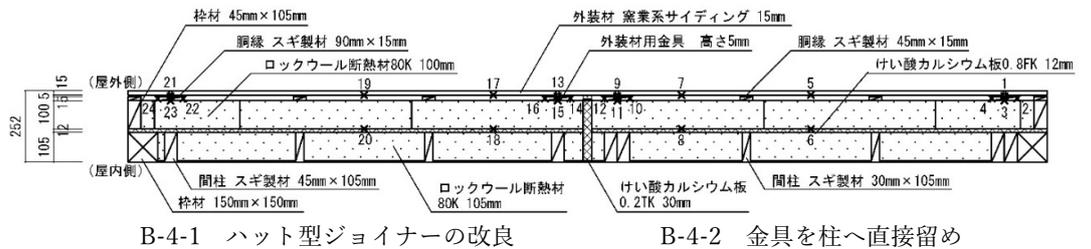
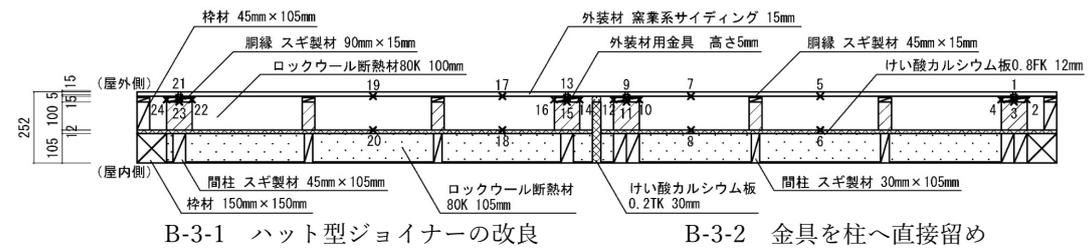
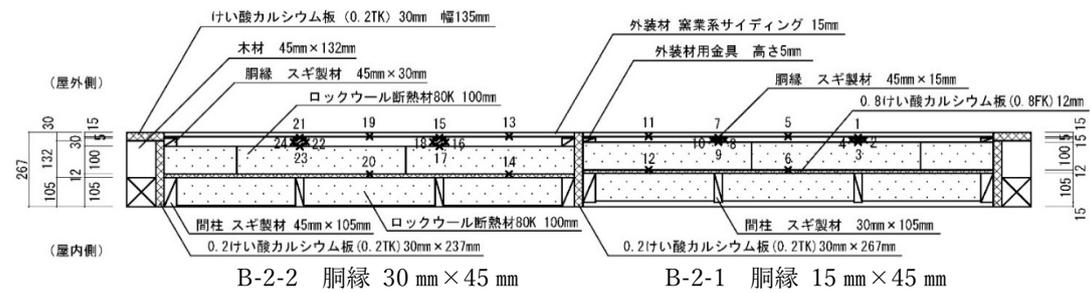
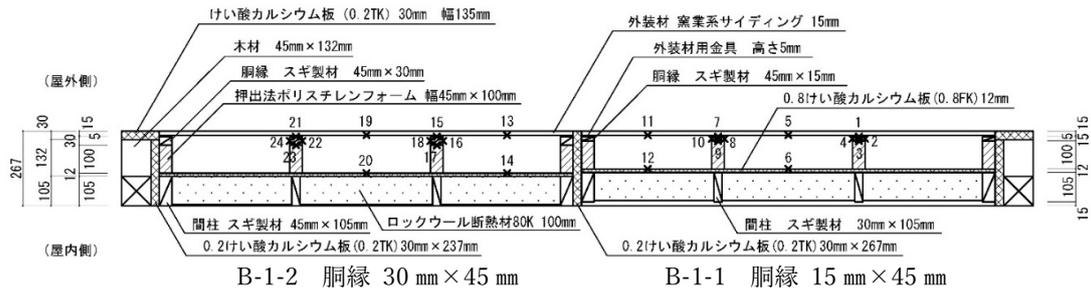
3) 試験体仕様

本検討では、前節の「外装材下地・留付け法の改良案」に基づき、実大規模の試験体を用いた耐火火実験を実施している。試験体一覧を表2-2に示す。

試験体（幅 W1,620×高さ H3,230）は、1回の実験で、2体の試験体の試験を実施できるよう試験体を設計、製作した。製作した試験体数はすべてで16体、計8回の実験を実施している。

表 2-2 試験体一覧

試験体 No.	外張断熱材 (厚さ 100 mm)	改良案	試験体仕様
B-1	1 なし (中空層)	※ 現行の胴縁	胴縁 15 mm×45 mm
	2	a. 胴縁の厚さ倍	胴縁 30 mm×45 mm
B-2	1 ロックウール	※ 現行の胴縁	胴縁 15 mm×45 mm
	2	a. 胴縁の厚さ倍	胴縁 30 mm×45 mm
B-3	1 なし (中空層)	c. 金具を柱へ直接留め	金具を柱へ直接留め
	2	b. ハットジョイナー改良	ハットジョイナー改良
B-4	1 ロックウール	c. 金具を柱へ直接留め	金具を柱へ直接留め
	2	b. ハットジョイナー改良	ハットジョイナー改良
B-5	1 なし (中空層)	d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め	胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め
	2 ロックウール		胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め
B-6	1 フェノールフォーム PF	d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め	胴縁の鋼板被覆 (折込あり) + 金具ビス留め
	2 硬質ウレタンフォーム PUF		胴縁の鋼板被覆 (折込あり) + 金具ビス留め
B-7	1 押出法ポリスチレンフォーム	d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め	胴縁の鋼板被覆 (折込あり) + 金具ビス留め
	2 XPS		難燃 LVL 胴縁 30 mm×45 mm
B-8	1 押出法ポリスチレンフォーム	d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め	胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め+ビス間隔 455 mm
	2 XPS		胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め+ビス間隔 227.5 mm



B-5-1 桐縁の鋼板被覆(折込なし) + 金具ビス留め 外張断熱材なし(中空層)      B-5-2 桐縁の鋼板被覆(折込なし) + 金具ビス留め 外張断熱材 ロックウール断熱材

※内部温度の測定は、試験体下端から高さ2,400mm(13~24)の位置で測定

図 2-5 試験体図(水平断面図)

試験体は、はじめに柱（105 mm×105 mm）および間柱で構成される木造軸組造の躯体に、ロックウール断熱材 80K を充填し、屋内側の内装材は設置せずに、屋外側に構造用面材として、けい酸カルシウム板（厚さ 12 mm）を張り付けた。けい酸カルシウム板により屋外側加熱に対する遮炎性を確保し、充填したロックウール（密度 80kg/m<sup>3</sup>）により大きな熱抵抗を持つ。けい酸カルシウム板の屋外側表面を断熱の境界面と設定し、非加熱側への放熱をできる限り抑える外壁を製作した。

次に、断熱の境界面としたけい酸カルシウム板の屋外側に外張断熱材（厚さ 100 mm）を設置して胴縁を当てて、外張断熱用ビス（長さ 160 mmまたは 180 mm）で外張断熱材、胴縁をまとめて柱・間柱に留付けた。胴縁は前項の改良策を施したうえで施工し、この胴縁を下地にして、外装材金具を用いて外装材を留付けた。

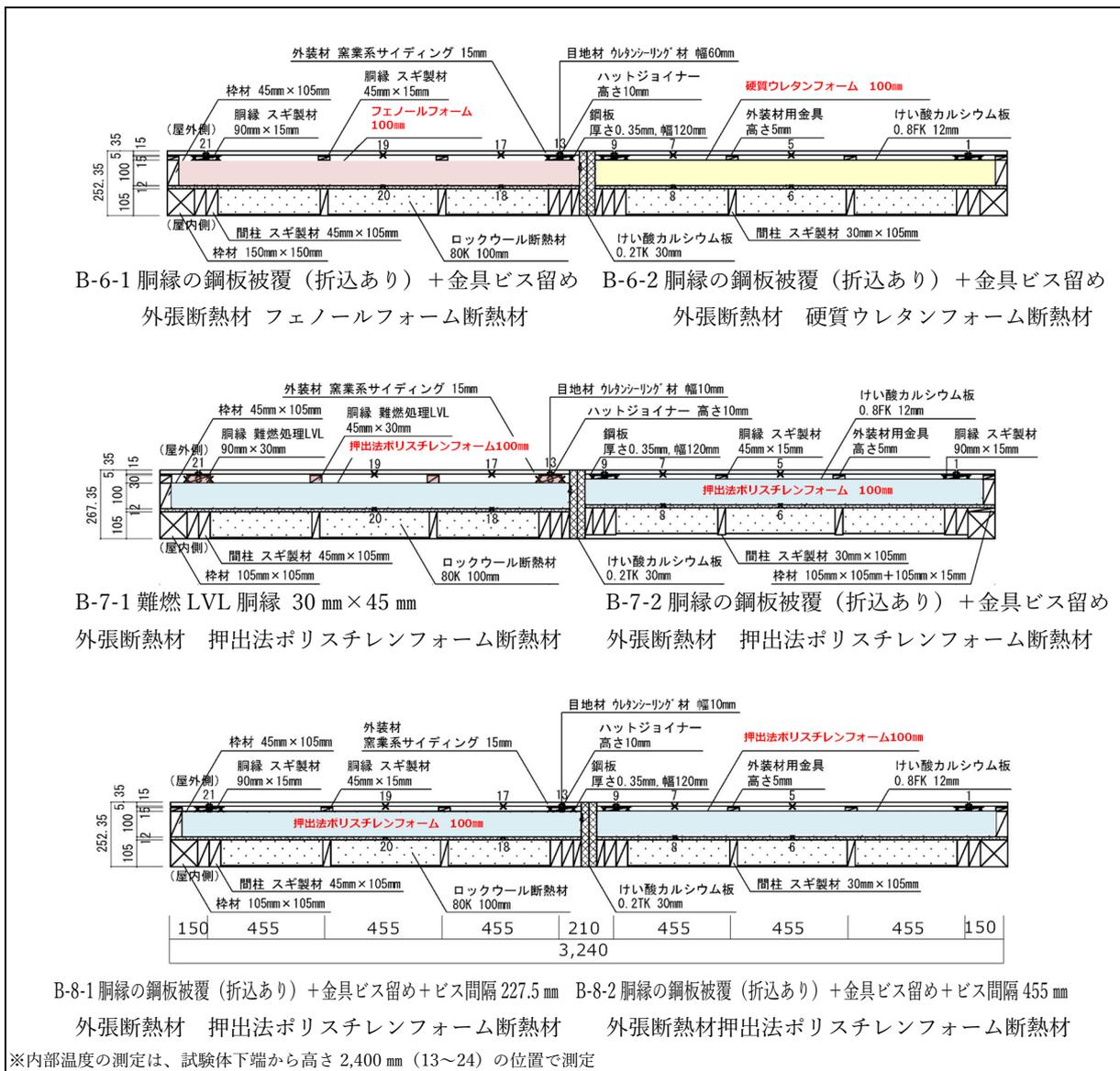
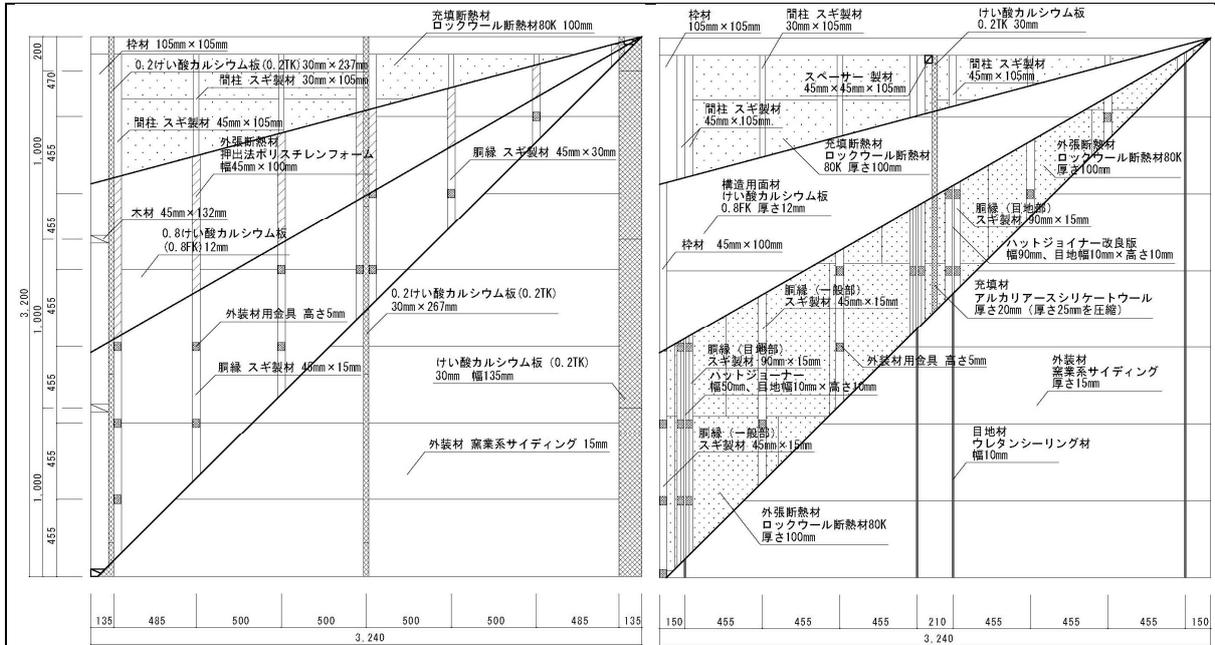


図 2-6 試験体図（水平断面図）

検討対象とする発泡プラスチック断熱材のうち、熱硬化性樹脂であるPF、PUFは、加熱を受けると、受熱面から順に熱分解が進んでいく。前節の実験結果でみたように、PUFよりもPFを外張断熱材に用いた方が、非加熱側への放熱を抑制して、外装材および胴縁を高温に曝す。これはPFの樹脂の熱分解の進行が遅い点に要因がある。そこで試験体の外張断熱材には、PFよりさらに厳しく、樹脂の熱分解がなく加熱終了まで断熱材が存在し、熱ごもりにより外装材および胴縁を高温に曝す条件として、

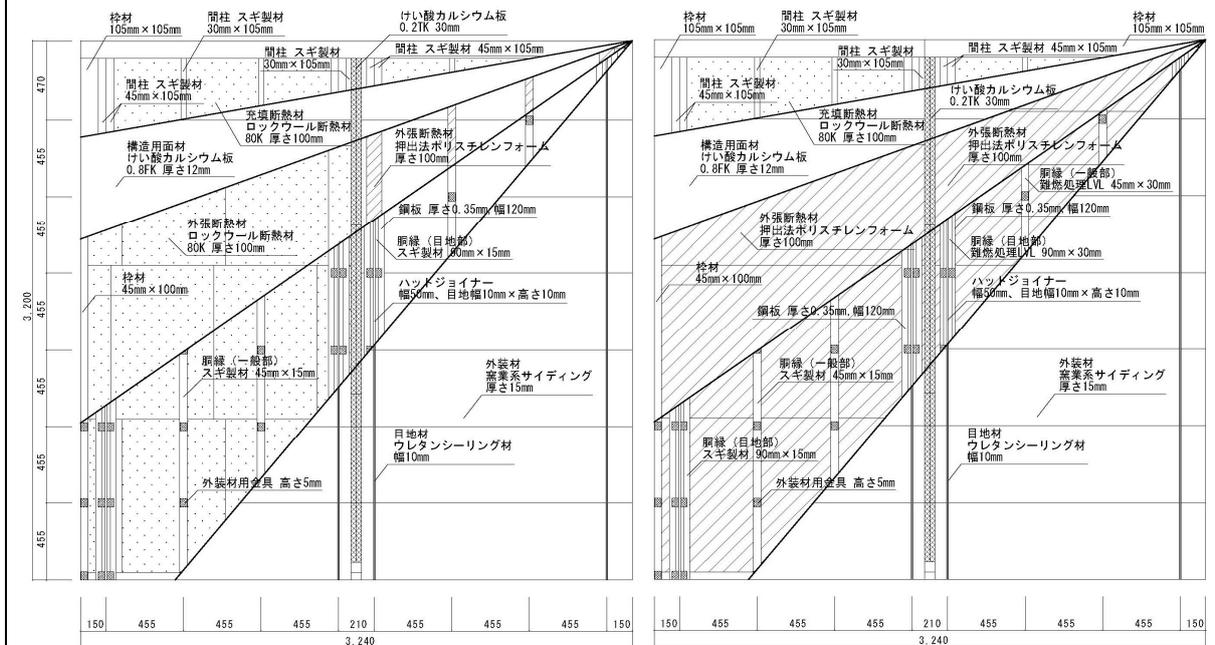


B-1

B-4

※外張断熱材：ロックウール →B-2

※外張断熱材：無断熱 →B-3



B-5

B-7

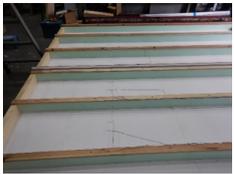
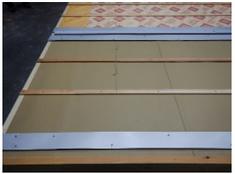
※外張断熱材：各種発泡プラスチック断熱材 →B-6, B-8

図 2-7 試験体図 (各層構成図)

ロックウール（密度 80kg/m<sup>3</sup>）を用いることとした。

一方、熱可塑性樹脂である XPS、ビーズ法ポリスチレンフォーム（以下、EPS）は、加熱を受けると受熱面から樹脂が溶融する。前節の実験結果でみたように、断熱材が早い段階で溶融して外張断熱層は中空となるため、外壁の裏面温度上昇度は PUF、PF よりも高く、遮熱性上不利となった。そこで試験体の外張断熱材に、XPS よりさらに厳しく、加熱開始時点で外張断熱層が中空であり、遮熱性上最も不利な条件として、外張断熱材なし（中空層）を設定した。外張断熱層を中空層とする場合、試験体製作は、通気胴縁にあたる部分のみに XPS を設置し、外張断熱用ビスで胴縁とあわせて柱・間柱に留付けた（表 2-3）。外張断熱材の性能面での序列を示すと、表 2-3 の通りとなる。

表 2-3 外張断熱材の性能面での序列

なし（中空層）	XPS	PUF	PF	ロックウール
				
不利 ←	遮熱性・遮炎性			→ 有利
低い ←	外装材・胴縁温度			→ 高い

#### 4) 実験方法

防耐火実験は（地独）北海道立総合研究機構 建築研究本部の壁炉を用いて、試験体に対し無載荷で ISO834-1 標準加熱曲線に合うように屋外側から加熱した。加熱時間は 60 分間、または壁が遮炎性、遮熱性を失い、試験続行が危険と判断されるまでとした。炉内温度は K 型シーズ熱電対、試験体の各部温度は K 型熱電対を用いて、ともに 10 秒ごとに測定した。温度測定位置は、各試験体の試験体図中に示す。

#### 5) 実験結果

実験結果を表 2-4 に示す。改良した工法と外張断熱材の仕様に着目して、実験結果の考察を行う。なお、各試験体の温度測定結果は資料編に掲載する。

##### 「a. 胴縁の厚さ倍」

通常の胴縁 15 mm×45 mm では、外張断熱材なしで 30 分 26 秒（B-1-1）、ロックウール外張で 31 分 13 秒（B-2-1）に脱落しており、45 分間外装材を保持できなかった。胴縁厚さを倍にした胴縁 30 mm×45 mm でも外張断熱材なしで 37 分 37 秒（B-1-2）、ロックウール外張で 41 分 37 秒（B-2-2）に脱落した。外装材の保持性能は無断熱で約 7 分、ロックウール外張で約 10 分半向上したが、45 分までには達しなかった。よって、胴縁の断面をただ単に大きくするだけでは、外装材を 45 分間保持することは難しいことがわかった。

そこで、通常の製材よりも密度が高く、かつ薬剤処理により難燃化した LVL30 mm×45 mm を用いて、XPS 外張（B-7-2）で外装材の保持性能を確認した。難燃化 LVL を用いた XPS 外張（B-7-2）では、同時に実験を行った試験体（B-7-1）が早期に外装材が脱落したため、60 分間の加熱はできなかったが、

加熱を受けた 45 分間の間は、外装材の脱落が起こらなかった。胴縁自体の材質を強化することで、45 分間外装材を脱落させずに保持できることがわかった。しかし胴縁が使われる通気層は雨水が入ったり、日射を受けて高温多湿の環境下になったり、過酷な環境である。そのような環境の中で薬剤処理した木質材料を用いても難燃化の性能が、長年にわたり維持できるとは考えられない。このような観点から難燃化した LVL については、外装材の脱落防止策として採用しないことにした。

「b. ハットジョイナー改良」

外装材目地部に取り付ける鋼製のハット型ジョイナーのつばの形状をコの字に変えて、胴縁の表面および両側面の 3 面を覆うと、外張断熱材なしでは 38 分 00 秒 (B-3-2) に脱落したが、ロックウール外張では脱落時間は 51 分 02 秒 (B-4-2) で 45 分を上回った。ハット型ジョイナーが胴縁を被覆して下地を保護した効果は動物の焼失を遅延させる点では効果があったが、安定的に外装材の保持性能を確保できるとは言えない。

またハット型ジョイナーをコの字にしたことで、試験体製作の際、外装材目地に併せたハット型ジョイナーの位置の微調整がしづらくなり、施工性が低下することがわかった。ハット型ジョイナーは従来通りに用いることとし、他の改良策を考えることにした。

「c. 金具を柱へ直接留め」

外装材金具を通気胴縁に留付けるのではなく、外張断熱用ビスで外装材金具を直接、柱・間柱に固定した場合、外張断熱材なし (B-3-1)、ロックウール外張 (B-4-1) でともに 60 分間加熱を受けても、外装材の脱落は起こらなかった。外装材の脱落防止策として大変有効であった。

また実験後の観察では、胴縁はすべて焼失しているにもかかわらず、実験後の観察においても外張断熱用ビスが外装材金具をしっかりと保持しており、また外装材金具を留める際にビスが貫通したハット型ジョイナーが残り、形状を保持していた (写真 2-3 左端)。

表 2-4 実験結果 一覧

試験体 No.	試験体仕様	外張断熱材 (厚さ 100 mm)	外装材の脱落時間
B-1	1 胴縁 15 mm × 45 mm	なし (中空層)	× 30 分 26 秒
	2 胴縁 30 mm × 45 mm		× 37 分 37 秒
B-2	1 胴縁 15 mm × 45 mm	ロックウール	× 31 分 13 秒
	2 胴縁 30 mm × 45 mm		× 41 分 37 秒
B-3	1 金具を柱へ直接留め	なし (中空層)	○ 60 分間脱落せず
	2 ハットジョイナー改良		× 38 分 00 秒
B-4	1 金具を柱へ直接留め	ロックウール	○ 60 分間脱落せず
	2 ハットジョイナー改良		○ 51 分 02 秒
B-5	1 胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め	なし (中空層)	○ 60 分間脱落せず
	2 胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め	ロックウール	○ 60 分間脱落せず
B-6	1 胴縁の鋼板被覆 (折込あり) + 金具ビス留め	フェノールフォーム	○ 60 分間脱落せず
	2 胴縁の鋼板被覆 (折込あり) + 金具ビス留め	硬質ウレタンフォーム	○ 60 分間脱落せず
B-7	1 胴縁の鋼板被覆 (折込あり) + 金具ビス留め	押出法ポリスチレンフォーム	× 27 分 19 秒
	2 難燃 LVL 胴縁 30 mm × 45 mm		○ 45 分間脱落せず
B-8	1 胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め + ビス間隔 455 mm	押出法ポリスチレンフォーム	○ 60 分間脱落せず
	2 胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め + ビス間隔 227.5 mm		○ 60 分間脱落せず

この「c. 金具を柱へ直接留め」は外装材の脱落防止策として大変有効である。実用化に向けては、外装材金具を外張断熱用ビスで留めるための外装材金具の改良、外装材金具を留め付ける外張断熱用ビスの留付け間隔に応じた外張断熱材と胴縁を留め付ける外張断熱用ビスの施工法、留付け間隔の調整などが課題として挙げられるが、実現可能性は高い。

「d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め」

「c. 金具を柱へ直接留め」の実験後の観察で、外装材金具を留める際にビスが貫通したハット型ジョイナーが残り、形状を保持していた点をヒントに、ハット型ジョイナーと胴縁表面の間に、鋼板を1枚、胴縁を被覆するように張り、そこに外装材金具の留付け材を釘からビスに変えて、留付け材の引き抜きを防ぐように、外装材金具および外装材を留付けると、外装材の保持性能を安定的に高められる。以上のような考察により「d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め」の方法が考案された。

この方法で製作した試験体では外張断熱材なし (B-5-1)、ロックウール外張 (B-5-2) でともに 60 分間加熱を受けても、外装材の脱落は起こらなかった。

実験後の観察においても、胴縁は焼失し、加熱を受けた鋼板は大きく伸びて、鋼板を留め付けるビスの間で波打つように変形していた (写真 2-3 左中) が、鋼板に外装材金具がしっかりと留まっていることは確認され、この方法も外装材の脱落防止策として有効であった (写真 2-3 右中)。

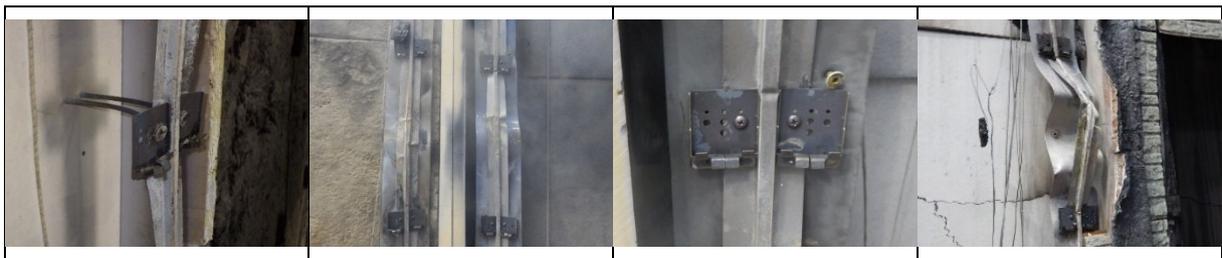


写真 2-3 実験後の観察時における胴縁部、外装材金具の様子

「d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め」については、外張断熱材を各種発泡プラスチック断熱材 (XPS、PUF、PF) に変えて、同様の外装材の保持性能の確認実験を行った。ただし、加熱を受けた鋼板は大きく伸びて波打つように変形していたため、鋼板の端部をハゼ折りにして折り込んで、鋼板の剛性を上げた (図 2-8 右段上)。確認実験の結果は、PF 外張 (B-6-1)、PUF 外張 (B-6-2) では、ともに 60 分間加熱を受けても、外装材の脱落は起こらなかったが、XPS 外張 (B-7-1) では 27 分 19 秒で外装材が脱落してしまった。XPS

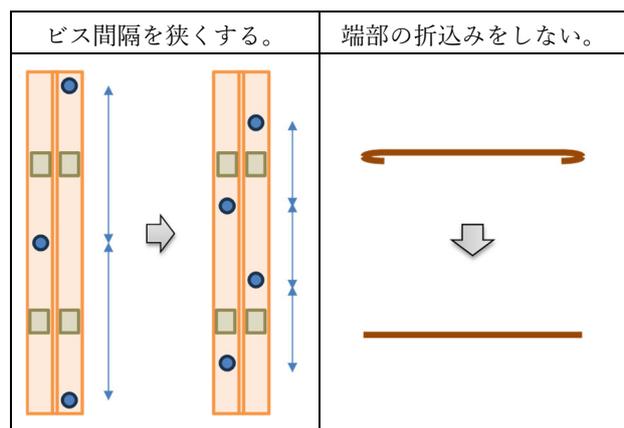


図 2-8 胴縁を被覆する鋼板の施工

外張 (B-7-1) について、実験後の観察を行ったところ、鋼板が M 字に変形していて、この変形がハット型ジョイナーや外装材を裏面側から押し上げて、外装材を脱落させたことがわかった (写真 2-3 右端)。鋼板の波打つ変形を抑えるために鋼板の端部をハゼ折りにして折り込んだことが、変形後の鋼板に強い剛性を与えてしまったこと、また鋼板を留めるビス間隔が 455 mm 間隔と広かったため、鋼板

の変形量が大きくなってしまったことが原因として考えられた。

そこで、XPS外張（B-7-1）の改良版として、鋼板の折り込みをなくした試験体（B-8-1）、鋼板の折り込みをなくし、かつ鋼板を留めるビス間隔を227.5mmと狭くした試験体（B-8-2）の2体について実験を行った（図2-8）。その結果、ともに60分間加熱を受けても、外装材の脱落は起こらないことを確認した。鋼板端部のハゼ折りによる折り込みはない方がよく、鋼板を留めるビス間隔は227.5mmまで狭くする必要はなく455mmでよいことがわかった。

以上の検討より、外装材の脱落防止策として「外装材下地・留付け法の改良案」は、「c. 金具を柱へ直接留め」と「d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め」が有効であることがわかった。ただし、「d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め」については、鋼板端部はハゼ折りによる折り込みはない方がよく、鋼板を留めるビス間隔は455mmでよい。

#### （4）外張断熱用ビスの保持耐力に関する検討

##### 1) 検討の目的

発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁において、外装材が脱落する要因として、外装材自体の熱的劣化を除くと、胴縁の焼失による下地材の喪失、または胴縁・外装材を支える外張断熱用ビスが高温となり、鋼材である外張断熱用ビスの耐力低下が考えられる。

ここでは、外張断熱用ビスの高温時の引張強度を測定し、その測定値から、火災加熱を受ける外張断熱用ビスが負担する曲げモーメントに対し、どの程度の保持能力を有しているのかを検討する。

表 2-5 外張断熱用ビスの高温時引張強度の測定結果

温度	引張降伏点（0.2%オフセット値）		引張強さ（最大荷重値）	
20°C	1,182.5 N/mm <sup>2</sup>	100%	1,261 N/mm <sup>2</sup>	100%
200°C	904 N/mm <sup>2</sup>	76%	1,236.5 N/mm <sup>2</sup>	98%
300°C	772.5 N/mm <sup>2</sup>	65%	987.5 N/mm <sup>2</sup>	78%
400°C	579 N/mm <sup>2</sup>	49%	689.5 N/mm <sup>2</sup>	55%
500°C	272.5 N/mm <sup>2</sup>	23%	320.5 N/mm <sup>2</sup>	25%
600°C	95 N/mm <sup>2</sup>	8%	113.5 N/mm <sup>2</sup>	9%
700°C	28 N/mm <sup>2</sup>	2%	36.5 N/mm <sup>2</sup>	3%
800°C	28 N/mm <sup>2</sup>	2%	36 N/mm <sup>2</sup>	3%

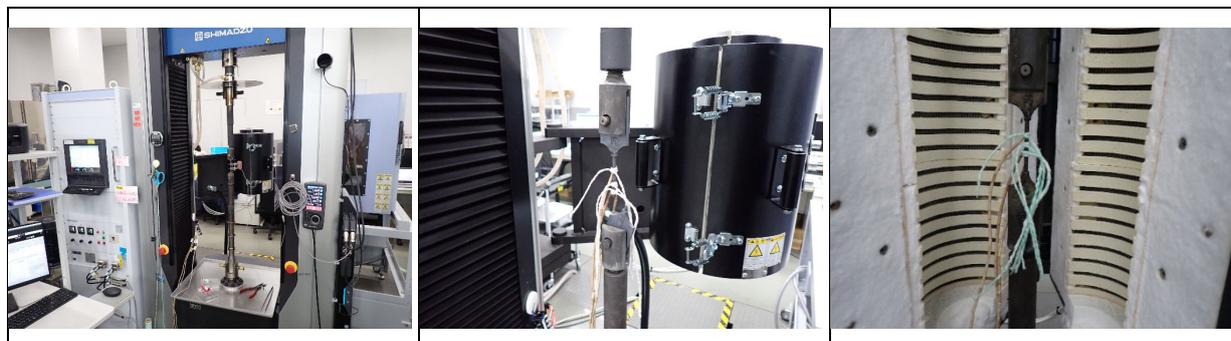


写真 2-4 外張断熱用ビスの高温時引張強度の測定時の様子

## 2) 外張断熱用ビスの高温時引張強度の測定

外張断熱用ビスの高温時引張強度は、(株)神戸工業試験場に依頼して実施した。測定する温度条件は 20°C および 200°C～800°C の間で 100°C ごとの計 8 条件とした。ビスを引っ張るストロークは、1 mm あたり 400 秒 (2.5 μm/sec) とし、引張降伏点を測定した後は、ストロークを 10 倍程度引き上げて、ビスが破断する引張強さを計測した。測定結果を表 2-5、測定時の様子を写真 2-4 に示す。

外張断熱用ビスの保持耐力についても検討し、外装材脱落のメカニズム解明に向けた考察を行う。

## 3) 外張断熱用ビスの保持耐力の算定

発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の外壁において、外張断熱用ビスが負担する曲げモーメント量を算定する。

発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁は、外張断熱材は樹脂が溶融する XPS、外張断熱材厚さは 100 mm の木造外壁とする。そして最も不利となる条件として、外装材越しに火災加熱を受けて、外張断熱層は XPS がすべて溶融して中空層となった状態を想定する。この時、外装材と胴縁の自重により、ビス先端頭部にかかる曲げ応力に対し、外張断熱層と構造用面材の境界面 (図 2-9 左図中の赤点) で負担する外張断熱用ビス 1 本あたりの曲げモーメントを算定する (図 2-9)。

外張断熱用ビス 1 本あたりの外装材の負担面積は、上下外装材の中心間距離 455 mm × 間柱間隔 500 mm とした。窯業系サイディングおよび胴縁における 20°C～800°C まで質量減少量については、窯業系サイディングは恒温器に入れて測定した実測値を、胴縁は木材として文献値<sup>7)</sup>をそれぞれ用いた。

一方、前項の外張断熱用ビスの高温時の引張降伏点および引張強度の値から、温度ごとに曲げ降伏および曲げ破断となるモーメント値を求めた。

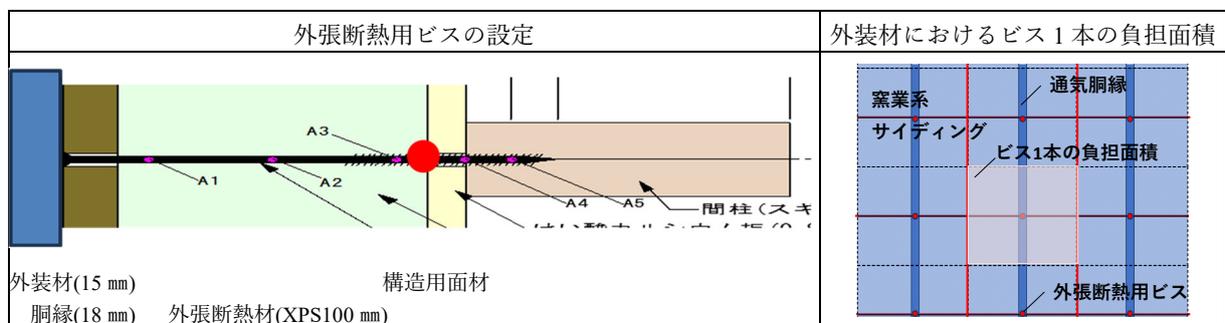


図 2-9 外張断熱用ビスの保持耐力の算定条件の設定

## 4) 算定結果

前項で求めた外張断熱用ビス 1 本あたりの曲げモーメントと、外張断熱用ビスの曲げ降伏および曲げ破断となるモーメントを合わせると、図 2-10 となる。

今回の検討対象とした XPS100 mm 外張断熱壁体において、外装材・胴縁を支える外張断熱用ビスの根元に掛かる曲げモーメントは、ビス温度が 420～430°C で曲げ降伏に、510～

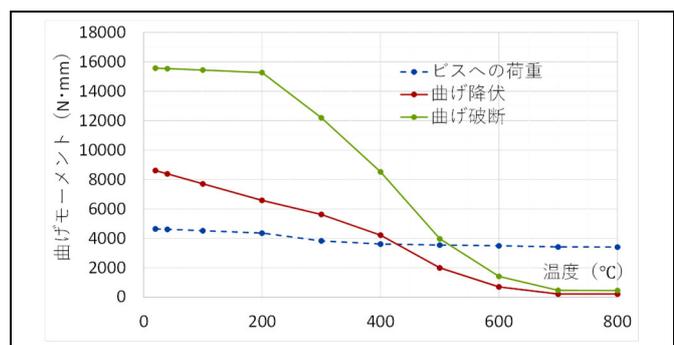


図 2-10 外張断熱用ビスの曲げモーメント

520°Cで曲げ破断に達している。前々節の実験結果（図 2-3、XPS 壁体）をみても、たとえ外装材が脱落しなくても、外装材越しの加熱で、XPS が溶融した後に、ビスの温度が 520°C超に達している可能性は高い。従って、ビスだけでは外装材の自重を支え切れないと考えられる。それでも外装材を脱落させずに保持できていることを考えると、外装材が試験体下端から積みあがった状態に対し、外張断熱用ビスが、外装材の倒れこみを防ぐ方立として機能している可能性が考えられる。

#### （5）検討のまとめ

本章では、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁を対象に、屋外火災に対し、外装材である窯業系サイディングを 30 分間、または 45 分間脱落させないための工法的検討を行った。

現行工法では外装材を 30 分間保持することはできる。しかし 45 分間保持させるには抜本的な工法の改良が必要となった。その改良策（脱落防止策）として「外装材下地・留付け法の改良案」は、「c. 金具を柱へ直接留め」と「d. 胴縁の鋼板被覆+金具ビス留め」が有効であることを示した。

また外張断熱用ビスの保持耐力について考察したところ、外張断熱用ビスだけでは外装材を支え切れない可能性があること、外装材が試験体下端から積みあがった状態に対し、外張断熱用ビスが、外装材の倒れこみを防ぐ方立として機能している可能性があることがわかった。外装材脱落のメカニズム解明については、今後の課題として、引き続き検討を進めていきたい。

### 3. 通気層・外張断熱層の上階延焼防止策の検討

#### (1) 検討の目的

上階外壁、軒裏に隣接する外壁内の通気層および外張断熱層に FS を設置する場合、通気層に設置する FS は通気金物（通気孔を開けた折板状の鋼板製通気役物）が一般的だが、FS として遮炎性は期待できても遮熱性までは期待できず、その効果を定量的に把握できていない。また外張断熱層 FS は、通気層 FS を取り付ける下地材を兼ねる栈木（木材）は、外張断熱層では熱橋となるため、できる限り見付寸法を抑える必要がある。本章では、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁を対象に、屋外火災に対し、外壁内の通気層および外張断熱層を通じた上階延焼を防ぐ防止策として、通気層および外張断熱層に設置する FS について検討する。

#### (2) 鋼板製通気役物（通気金物）を設置した場合の上階への延焼性状の確認

##### 1) 検討の目的

発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁を対象に、外張断熱材の種類ごとに実大試験体を用いた防耐火実験を行い、火災階とその上下階に設置された FS による上階への延焼性状の違いについて把握する。

##### 2) 試験体

試験体図を図 3-1～図 3-2、写真 3-1 に示す。試験体（幅 3,240 mm×高さ 3,200 mm）は、木造軸組工

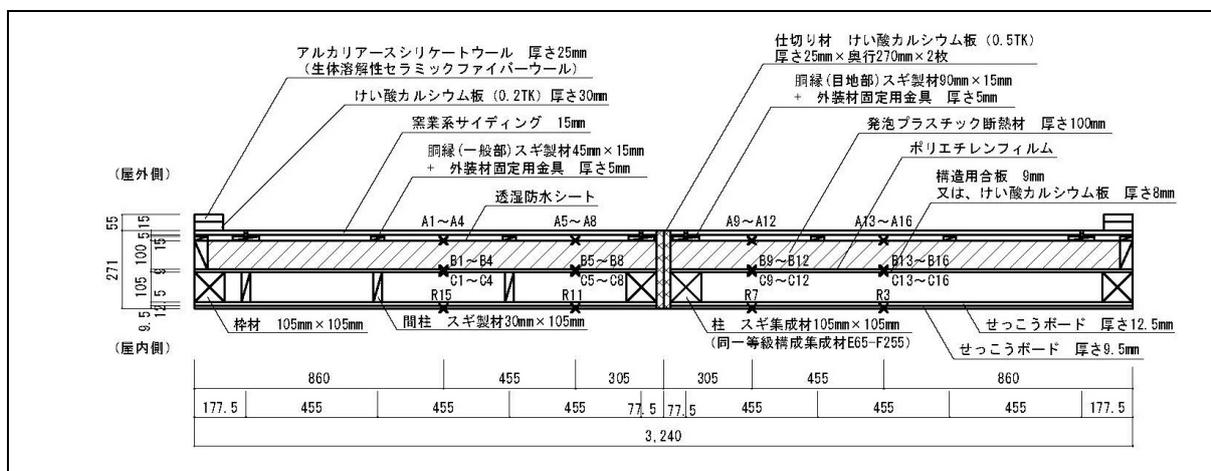


図 3-1 試験体図（水平断面図）

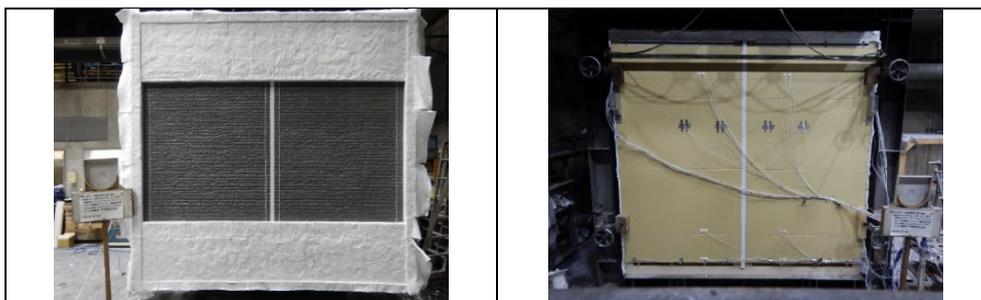


写真 3-1 試験体（左：屋外側，右：屋内側）



### 3) 試験方法

実験は壁内柱に载荷を行わず、屋外側から ISO834-1 標準加熱曲線に沿った加熱を 45 分間行い、各部温度を測定し、火災階からの延焼の状況を把握した。火災階から上下階への延焼については、軒裏の性能評価試験方法に準じて、上下階部の構造用面材を軒裏試験用標準板（けい酸カルシウム板 厚さ 8 mm、以下、標準板）に置き換えて、その裏面温度を測定し、遮熱性の判定基準（温度上昇度の平均値が 140K、最高値 180K を超えないこと）により判定した。

### 4) 実験結果

実験結果を図 3-3～図 3-5 に示す。

「火災階」では、外装材は試験開始 30 分前後で脱落する場合と、脱落には至らないがすべり落ち、外装材面に大きな隙間が生じる場合がみられたが、すべての試験体で、加熱終了まで火災階の遮熱性及び遮炎性は喪失しなかった。

「通気層」については、すべての試験体で試験開始 3～4 分頃から上端の開口より発煙が見られた。その後、PUF 壁体、PF 壁体では、ともに 20 分頃から上下端の両方の開口からの激しい発煙が 35 分頃まで続いた。樹脂の熱分解ガスが狭い通気層内を上下両方向に流れたとみられる。また PF 壁体では

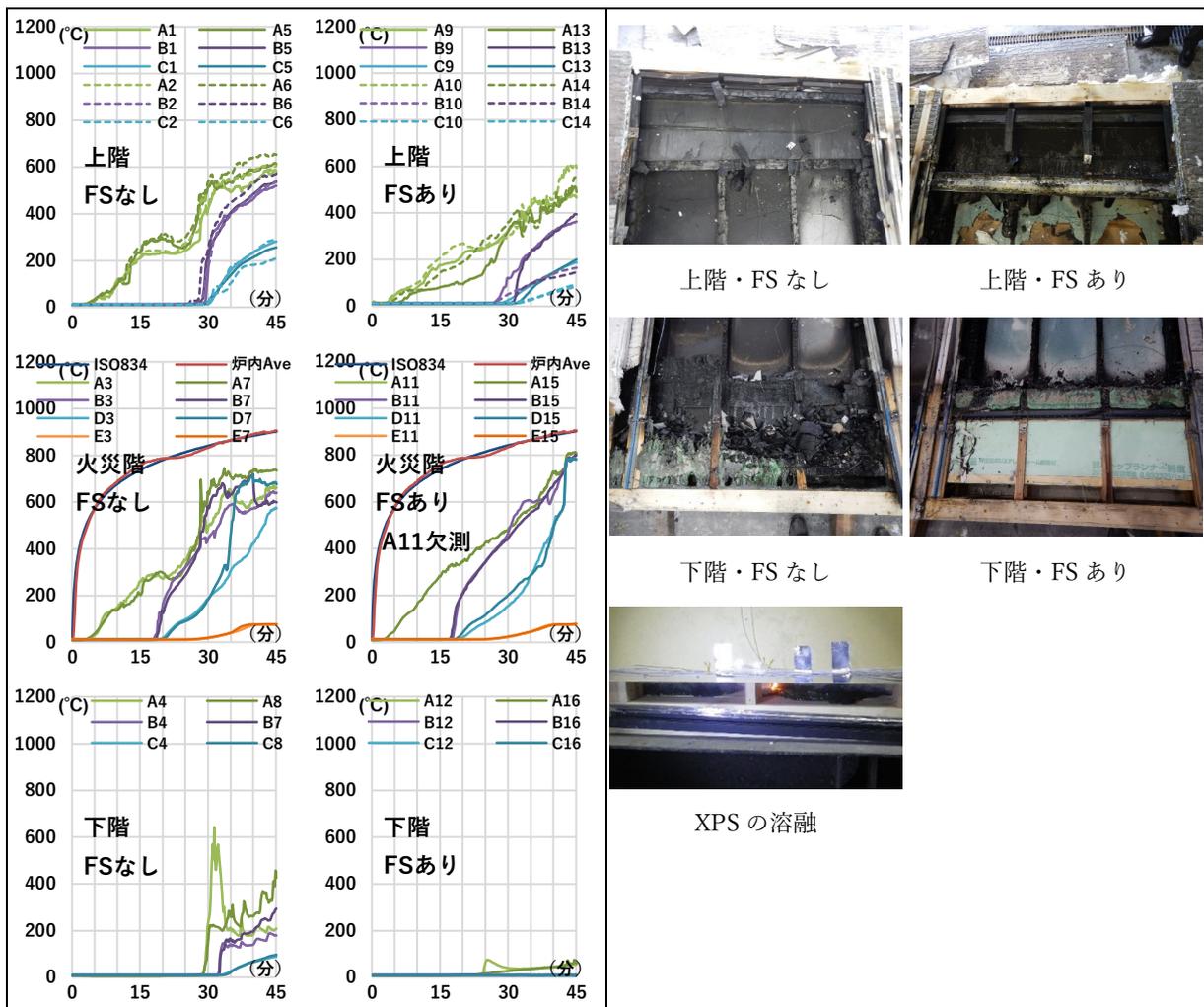


図 3-3 XPS 壁体の実験結果（左：各部の温度推移 右：上下階への延焼状況）

激しい発煙に至る手前 14 分頃から数分間、上下端の開口から PF 微小片の噴出が見られた。

一方、XPS 壁体では下端開口からの発煙はないが、30 分頃に FS を設置していない方の下端開口から溶融した樹脂が流れ出した（図 3-3 中写真）。樹脂の中に火種が確認されたが、その場で鎮火した。

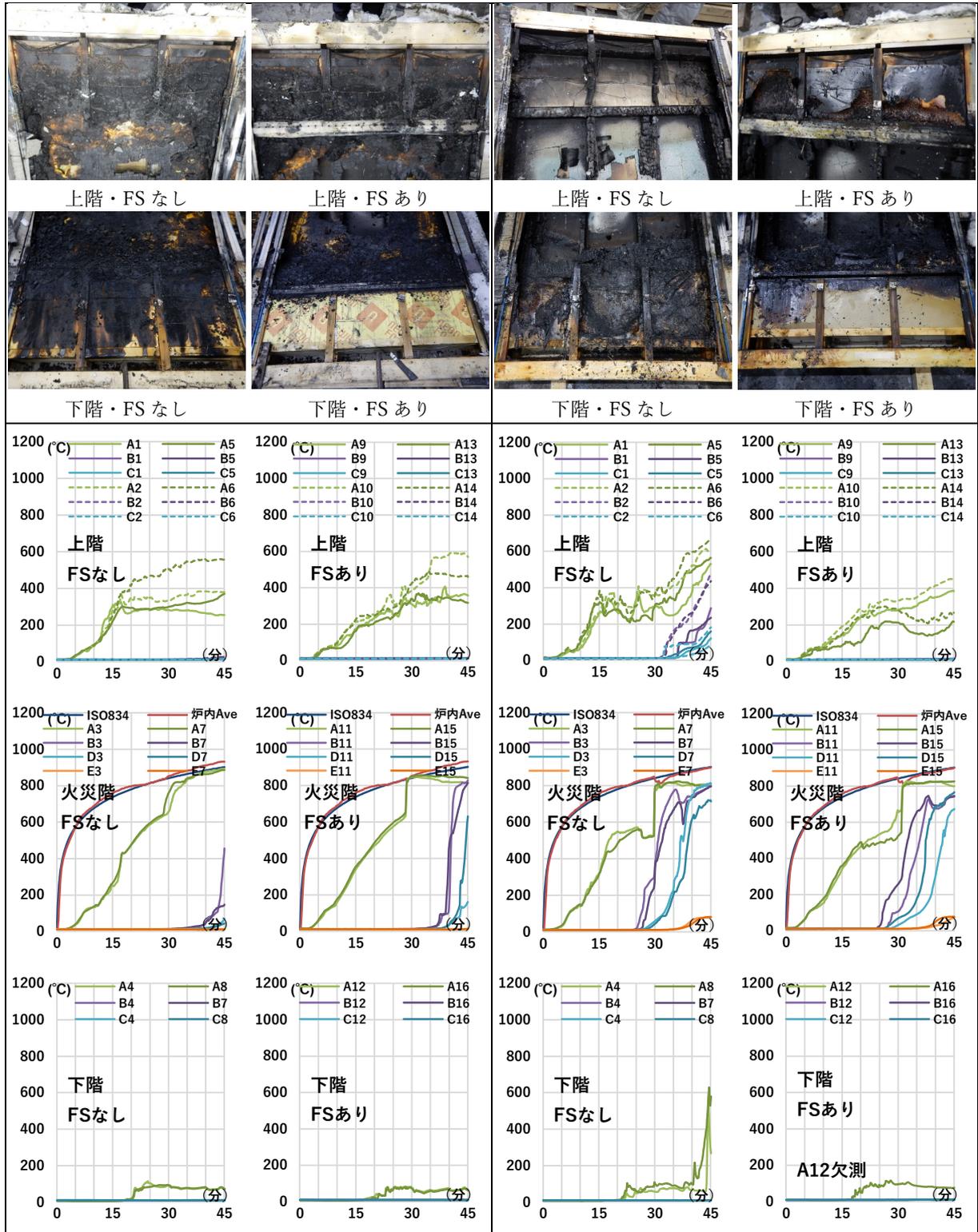


図 3-4 PF 壁体の実験結果

(上下階への延焼状況と各部の温度推移)

図 3-5 PUF 壁体の実験結果

(上下階への延焼状況と各部の温度推移)

「上階」では、FS の設置により、すべての試験体で上階部の通気層および外張断熱層の温度上昇が抑制されており、FS 設置の効果が確認できた。

上階部の標準板裏面の温度上昇度（最高値）も、XPS 壁体で 281K から 189K、PUF 壁体で 171K から 3K と低くなった。しかし XPS 壁体では FS を設置しても規定値 180K を上回った。XPS 壁体に対し、今回試験体に用いた FS は十分に機能しておらず改良の余地がある。一方、PF 壁体は FS がなくても、燃焼は PF 表面にとどまり、上階部の標準板裏面の温度上昇はほとんど見られなかった。

「下階」では、FS を設置しない場合、下階部の断熱材加熱側表面において、XPS 壁体、PUF 壁体では火災階からの火災伝播による温度上昇や燃痕がみられ、PF 壁体では炭化が確認された。これに対し FS を設置した場合は、すべての試験体で下階の断熱材が健全な状態で残っており、FS の効果を確認できた。

以上より、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁を対象に、断熱材の種類ごと、火災階とその上下階に設置された FS の効果を、実大試験体を用いた防耐火実験を行って確認した。

### （3）小型試験体を用いた外張断熱層の上階延焼防止策の検討

#### 1) 検討の目的

通気層を有する外張断熱工法の外壁では、屋外火災による直接の火熱に加えて、通気層・外張断熱層を通じて下階からの火熱が加わることにより、防火性能を損なうおそれがある。発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁を対象に、外壁内の通気層を通じた上階延焼防止策として、通気層・外張断熱層に設置する FS の性能を実験的に検討する。

なお、本検討は、本研究と同時期、令和 5 年度に実施した国土交通省の建築基準整備促進事業 F27 「主要構造部の防耐火性能に関する合理的な性能評価等に係る検討<sup>8)</sup>（以下、基整促 F27）における断熱構造 WG で実施した「充填断熱工法の木造外壁を対象にした小型試験体を用いた上階延焼防止策の検討」と、後述する評価基準、小型試験体および試験方法を揃えた。

そして本検討では、検討対象を、充填断熱工法の木造外壁から発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁に変えて、検討を進める方針とした。

#### 2) 通気層・外張断熱層の FS の効果を判断する評価基準

外壁階間部の通気層を例に、屋外火災時に屋外側被覆が脱落して外壁内に火熱が入った場合に、通気層を通じた上階延焼として生じる現象を図 3-6 に示す。

火災階から上階に対し、火熱侵入を完全に封じること（Case-A）、または火熱の侵入を許容しても上階で新たな火源となる燃焼を封じること（Case-B）ができれば、火災安全上、望ましい。火災階からの上階への延焼により、建築基準法で定める火災継続時間内に、上階の防火性能が損なわれる事態（Case-E）は、少なくとも防止すべきである。また、Case-C および Case-D のように、火災階から上階への火熱が侵入し燃焼が進展しても、その燃焼によって上階の防火性能が損なわれないのであれば、建築基準法が定める要求性能に対しては許容範囲内と考えられる。

以上より、ここでは「通気層・外張断熱層に設置した FS が上階延焼を防ぐ効果がある」と判断する「評価基準」は、上記 Case-A～Case-E のうち、Case-E に至らないこととする。

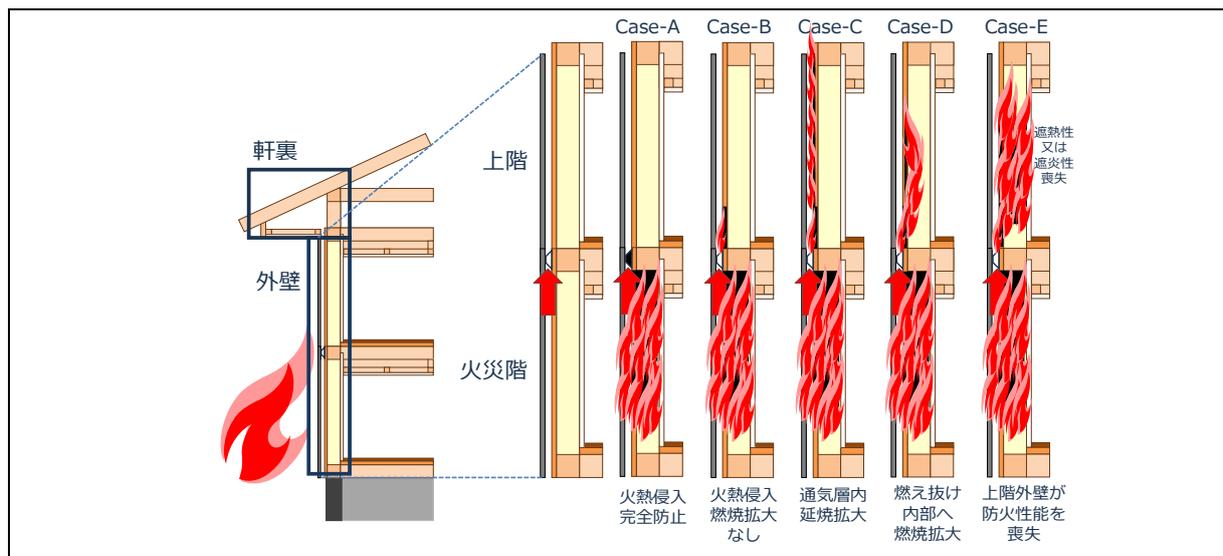


図 3-6 通気層を通じた上階延焼において想定される現象

### 3) 試験体

小型試験体の試験体数は 8 体とした。試験体仕様を表 3-2、試験体図を図 3-7 および図 3-8 に示す。試験体は、木造外壁に下階（火災階）部と上階部を設け、FS を設置する場合には、その境界に位置する外壁内の通気層・外張断熱層に FS を設置する。試験体に FS を設置する際、通気層 FS は通気金物、外張断熱層 FS は幅 30 mm の栈木とする。

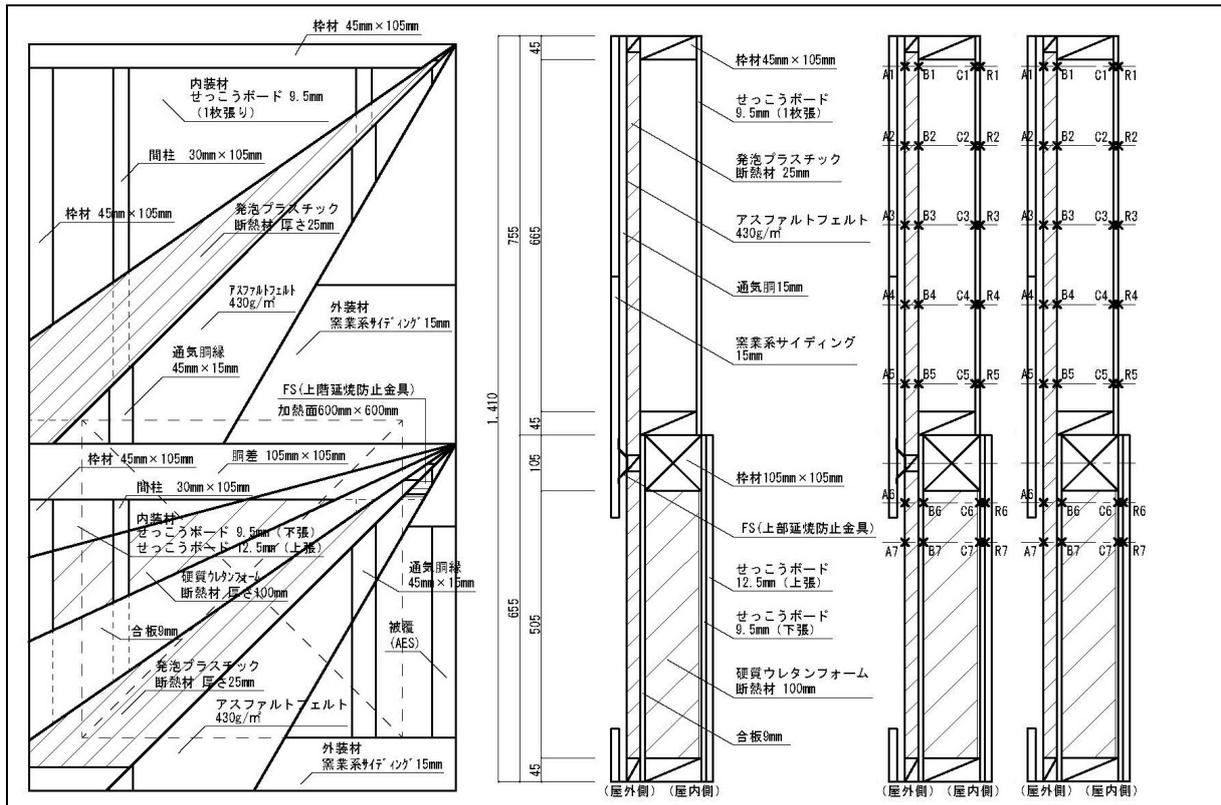
外装材は厚さ 15 mm の窯業系サイディングを釘留めし、内装材はせっこうボードとした。なお、FS 下方の下階（火災階）部は、外装材がごく早期に脱落（最不利条件として試験開始 0 分で脱落）したと仮定し、あらかじめ外装材である窯業系サイディングの一部を設置していない。

外張断熱材の種類はグラスウール（以下、GW）、押出法ポリスチレンフォーム（以下、XPS）、硬質ウレタンフォーム（PUF）、フェノールフォーム（PF）の 4 種類とした。外張断熱層はこれら断熱材を用いて厚さ 25 mm とし上下階に連続するように設置した。以下、本項において、XPS 壁体、PUF 壁体、PF 壁体、GW 壁体と称す。

上階部は遮熱性上不利となるように軸組部は無断熱とし、下階（火災階）部は、炎侵入後の燃焼が激しくなるように、軸組部に PUF を充填し、構造用面材として合板 9 mm を設置した。

試験体の共通部の仕様は次の通りとした。

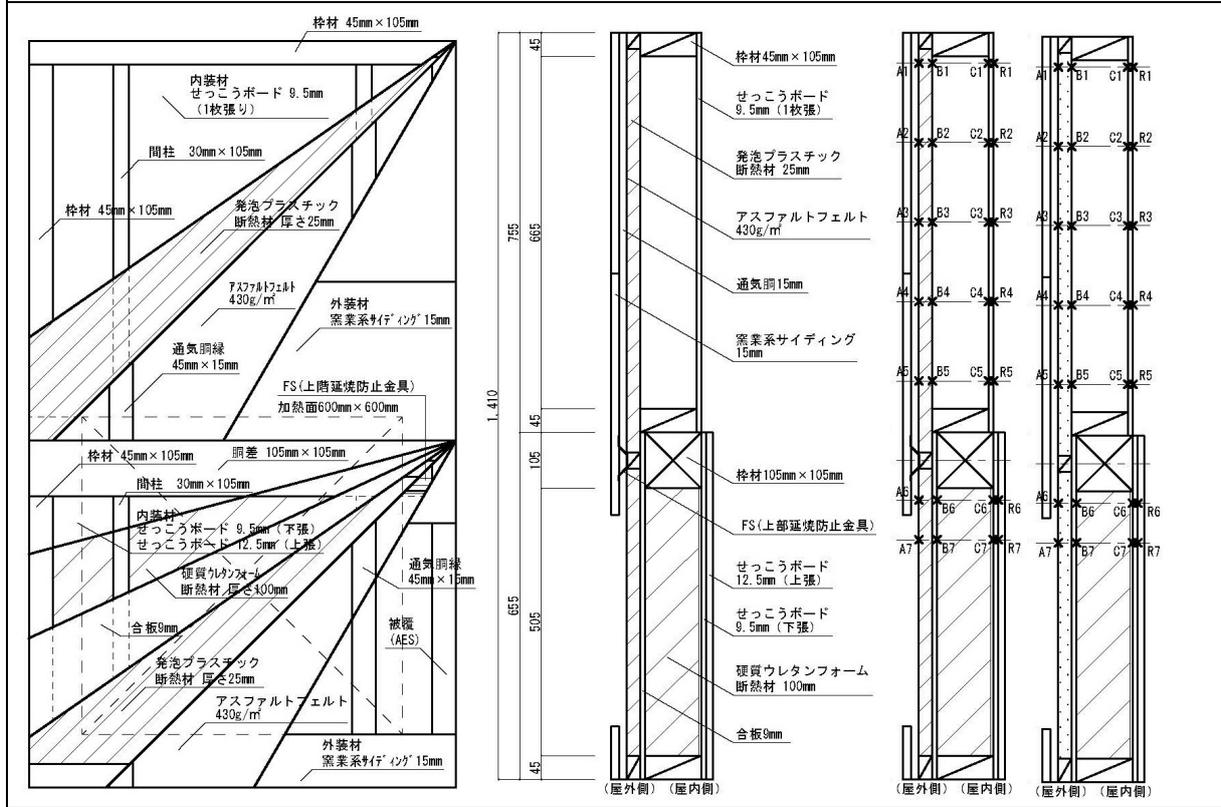
- ・下階（火災階）部に加熱面（600 mm×600 mm）を設ける。
- ・加熱面の上端は、FS を設置した正角材（105 mm×105 mm）の上端位置から 45 mm 上方の位置とする。
- ・外側被覆（外装材）は窯業系サイディング（厚さ 15 mm）を横張りとし、通気胴縁に釘留めとする。
- ・通気層は胴縁を縦張りして厚さ 15 mm を確保し、上端部を外気に開放する。
- ・構造用面材は合板（厚さ 9 mm）とする。
- ・木造躯体または合板の屋外側表面に、防水層（アスファルトフェルト 430）を施工する。
- ・下階部の屋内側被覆（内装材）は、せっこうボード（9.5 mm）とし、実験を安全に実施するため、さらにせっこうボード（12.5 mm）を重張りし補強する。
- ・充填断熱材の硬質ウレタンフォーム（厚さ 100 mm）はボード品で難燃仕様でない一般品を用いる。



各層構成図 (FSあり)

水平断面図 (FSあり)

温度測定位置 (FSあり・FSなし)



各層構成図 (FSあり)

水平断面図 (FSあり)

温度測定位置 (FSあり・FSなし)

図 3-7 試験体図 (上段：発泡プラスチック断熱材外張、下段：グラスウール外張)

また通気層に通気金物を設置するためには、外張断熱層の栈木を下地に留付ける必要がある。しかし、この栈木は外張断熱層の熱橋となるため、見付け幅をできる限り小さくするため、幅 30 mm の栈木が使われるのが一般的である。この場合、通気金物を従来通りに設置できないため、図 3-8 に示すように通気金物を左右反転させて設置した。以後、外張断熱工法の木造外壁の通気層への通気金物の設置はこの方法を前提に議論を進めていく。

表 3-2 小型試験体の一覧

試験体 No.	外張断熱材	上階 軸組部	FS (ファイヤーストップ)	下階 軸組部
D-1	押出法ポリスチレンフォーム	充填断熱材なし (無断熱)	なし	PUF100 mm 充填
D-2	XPS 25 mm		通気金物	合板 9 mm
D-3	硬質ウレタンフォーム	充填断熱材なし (無断熱)	なし	PUF100 mm 充填
D-4	PUF 25 mm		通気金物	合板 9 mm
D-5	フェノールフォーム	充填断熱材なし (無断熱)	なし	PUF100 mm 充填
D-6	PF 25 mm		通気金物	合板 9 mm
D-7	グラスウール	充填断熱材なし (無断熱)	なし	PUF100 mm 充填
D-8	GW 25 mm		通気金物	合板 9 mm

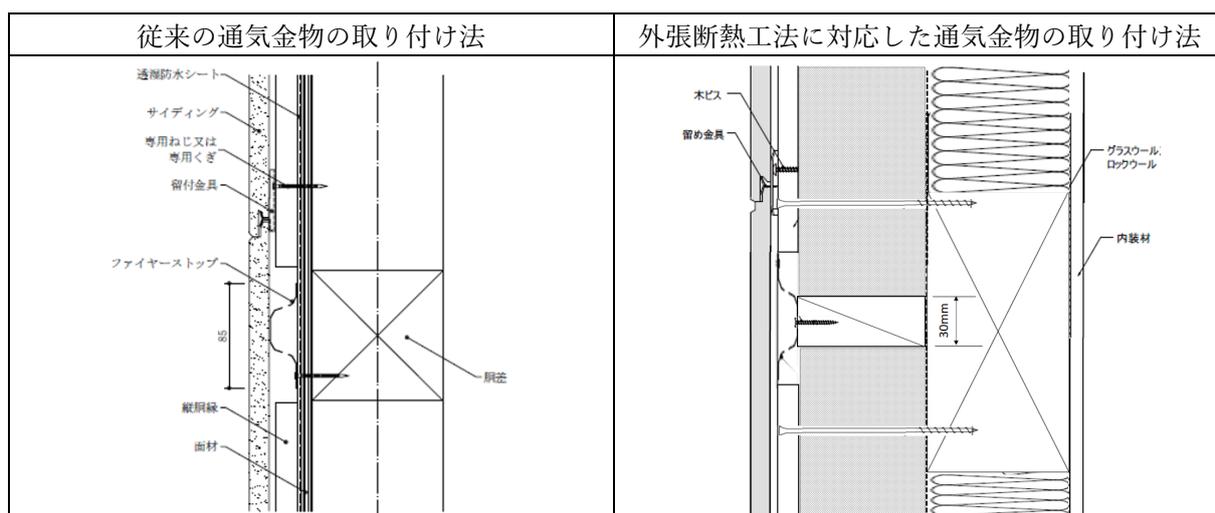


図 3-8 通気層・外張断熱層における FS (ファイヤーストップ) の取り付け方法

#### 4) 実験方法

実験は試験体仕様（外張断熱材の種類、FS 設置の有無）ごとに下階（火災階）部に対して火災加熱を行い、FS 上方において、通気層内を通じて侵入した火熱による燃え拡がり状況を把握する。FS 上方の上階部には炉内からの加熱を行わない。

実験は小型加熱炉を用いて、小型試験体に屋外側から ISO834-1 の標準加熱曲線に沿った火災加熱を行う。加熱時間は 45 分間とした。

壁体内部の温度は、壁体の構成材料各層において、上階部では FS 設置位置から上方に 150 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 750 mm の位置に、下階（火災階）部では FS 設置位置から下に 75 mm, 150 mm の位置に、それぞれ熱電対を設置して測定した。測定した温度推移から下階（火災階）部では燃焼状況を把

握し、上階部では FS 上方への火熱の侵入状況および上階部の防火性能（遮熱性・遮炎性）を把握した。以上の結果から FS の上階延焼防止効果を考察した。

### 5) 実験結果・考察

実験結果を表 3-3 に、実験時および実験後の様子を写真 3-2 および写真 3-3 に示す。なお、各試験体の温度測定結果は資料編に掲載する。

FS を設置しない（FS：なし）場合、XPS 壁体では上階部の防火性能（遮熱性）を 38 分で喪失して

表 3-3 実験結果一覧

試験体 No.	外張断熱材	上階 軸組部	FS	上階の防火性能	上階の裏面温度上昇度 (45 分最高温度)
D-1	押出法ポリスチレンフォーム	充填断熱材なし (無断熱)	なし	× 遮熱性 38 分	燃え抜け
D-2	XPS 25 mm	充填断熱材なし (無断熱)	通気金物	○ 45 分保持	95.6K
D-3	硬質ウレタンフォーム	充填断熱材なし (無断熱)	なし	○ 45 分保持	76.7K
D-4	PUF 25 mm	充填断熱材なし (無断熱)	通気金物	○ 45 分保持	84.3K
D-5	フェノールフォーム	充填断熱材なし (無断熱)	なし	○ 45 分保持	19.7K
D-6	PF 25 mm	充填断熱材なし (無断熱)	通気金物	○ 45 分保持	26.9K
D-7	グラスウール	充填断熱材なし (無断熱)	なし	○ 45 分保持	41.3K
D-8	GW 25 mm	充填断熱材なし (無断熱)	通気金物	○ 45 分保持	36.2K



写真 3-2 実験時の状況

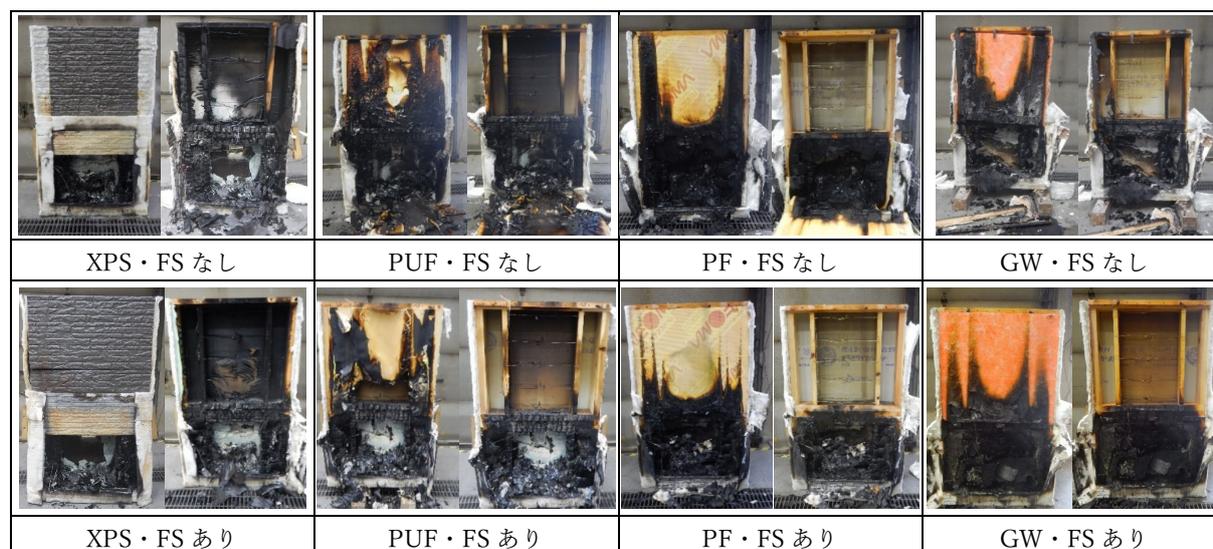


写真 3-3 実験後の状況

45 分間保持できなかつた。PUF 壁体、PF 壁体および GW 壁体では、上階部の防火性能（遮熱性）を 45 分間保持できた。樹脂が溶融する XPS を除き、外張断熱材自体が FS としての効果を少なからず、持つことがわかつた。

FS として通気層に通気金物、外張断熱層に幅 30 mm の栈木を設置した場合、すべての壁体で、上階部の防火性能（遮熱性）を 45 分間保持できた。FS を設置しない場合との比較でも、少なくとも FS 設置による上階延焼防止効果は確認できた。

次に実験後の観察で、通気金物と外張断熱層の栈木の状況を確認した（写真 3-4）。

PF 壁体、GW 壁体では外張断熱材が熱的な損傷を受けたとはいえ、通気層・外張断熱層 FS 周辺に残っており、45 分間の加熱に対し、外張断熱層の栈木は燃え抜けたとはいえ、通気金物は原型を保持していた。外張断熱層の栈木を厚くすれば、FS としての機能がより確かなものになると考えられる。

一方、XPS 壁体、PUF 壁体では、通気層・外張断熱層 FS 周辺の外張断熱材は焼失し、通気金物は通気層を塞ぐ凹凸がなくなっており、外張断熱層の栈木も焼失していた。PF 壁体、GW 壁体の状況も勘案すると、外張断熱層の栈木が燃え抜け、通気金物に火熱がまわりこんで、激しく損傷したと推察される。よって、通気層 FS を機能させるためには、外張断熱層からの火熱のまわりこみを有効に防ぐ必要があることがわかつた。

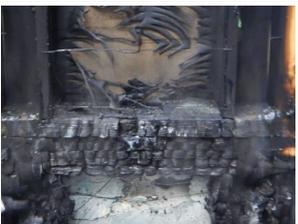
XPS・FS あり	PUF・FS あり	PF・FS あり	GW・FS あり
			
通気金物 原型の凹凸なし	通気金物 原型の凹凸なし	通気金物 原型は保持	通気金物 原型は保持
			
外張断熱層栈木 ほぼ焼失	外張断熱層栈木 ほぼ焼失	外張断熱層栈木 燃え抜け	外張断熱層栈木 燃え抜け

写真 3-4 実験後の状況

## 6) 上階延焼防止策

前項の実験結果・考察を踏まえると、外張断熱層の栈木の厚さを補強する必要があり、今回検討より、45 分加熱に対し少なくとも幅 30 mm では不十分であった。木材の炭化速度を踏まえると、幅 45 mm 以上が望ましいと考えられる。また合板など構造用面材を設置して、外張断熱層と軸組図（充填断熱層）とを仕切っておくことも上階延焼防止策として有効である。

また今回の検討対象ではないが、実験実施時に開放した通気層上端より、発泡プラスチック断熱材の熱分解ガスを含む大量の煙・ガスが発生した。通気層上端を小屋裏内にて開放すると、小屋裏から最上階への居室に対し、煙降下により避難安全性が阻害される懸念がある。

通気層上端を小屋裏内ではなく、軒手前で屋外へ開放するなど、煙・ガスへの対策も併せて必要になることが、今回の検討でわかった。

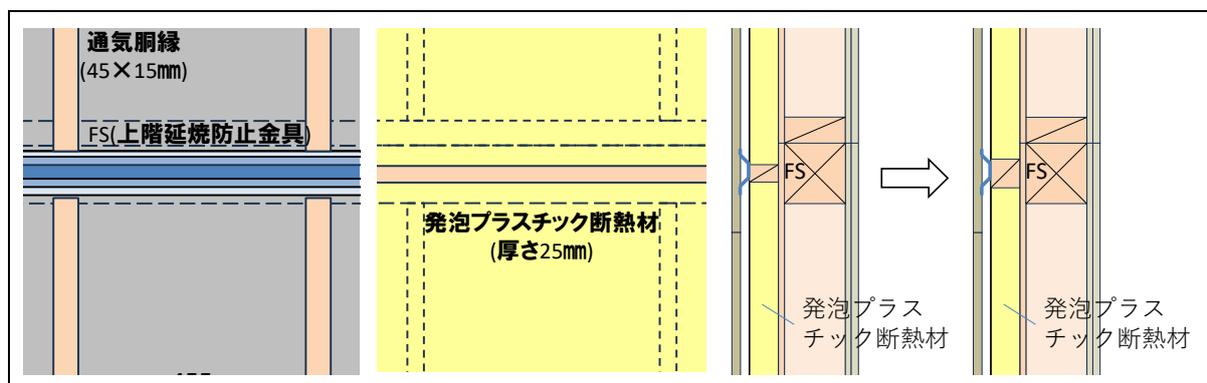


図 上階延焼防止策：通気層・外張断熱層 FS の改良

#### (4) 検討のまとめ

本章では、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁を対象に、上階延焼を防ぐ防止策として、通気層および外張断熱層に設置する FS について検討した。

通気層 FS として通気金物を設置すると、外張断熱材の種類を問わず、上階部の通気層および外張断熱層の温度上昇が抑制されており、通気金物の上階延焼防止効果を確認できた。

また外張断熱層・通気層 FS については、外張断熱層に幅 30 mm の栈木を設置し、これを下地に通気金物を反転させて設置する方法を提案したが、45 分間の加熱に対し外張断熱層の幅は不十分であった。

外張断熱層からの火熱のまわりこみを防ぎ、通気層 FS を有効に機能させるためには、外張断熱層からの火熱のまわりこみを防ぐことが不可欠であり、外張断熱層の栈木は少なくとも 45 mm 以上とする必要があることがわかった。また合板など構造用面材の設置も上階延焼防止策として有効である。

また火災時、通気層上端より発生する発泡プラスチック断熱材の熱分解ガスを含む大量の煙・ガスに対し、避難安全性の観点から、通気層上端を小屋裏内ではなく、軒手前で屋外へ開放するなどの対策が併せて必要になることがわかった。

#### 4. 屋内側加熱時の被覆条件と非損傷性との関係性

##### (1) 検討の目的

屋内側火災に対し45分間壁内柱の座屈を防止し、外壁が非損傷性を喪失しないようにするためには壁内柱を適切に被覆する必要がある。

発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁（以下、発プラ外張外壁）の構成は、屋外側から順に外装材、通気層、外張断熱材、構造用面材、木造躯体、内装材となる（図4-1）。

屋内火災に対する木造外壁の壁内柱の被覆条件は、内装材のせっこうボード、構造用面材および外張断熱材の仕様（有無、種類および厚さ）などにより異なってくる。

本章では、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁を対象に、これら被覆条件と非損傷性（壁内柱が座屈するまでの時間）との関係性を把握し、屋内火災に対し、いかなる断熱仕様であっても、45分準耐火性能を喪失しない屋内側被覆の仕様を明らかにする。なお、外装材等の脱落防止策において技術的課題として挙げた内装材の脱落防止策は、本章のなかで併せて検討する。

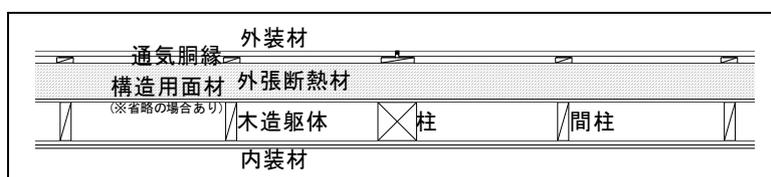


図4-1 発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁の構成

##### (2) 被覆条件と非損傷性との関係性検討

###### 1) 内装材（せっこうボード）の仕様

屋内側被覆（内装材）の仕様について、建築基準法の告示に定められる例示仕様を抜粋すると、表4-1のとおりとなる。

表4-1 建築基準法の告示に定められる屋内側被覆（内装材）の例示仕様（抜粋）

45分準耐火構造の告示仕様（抜粋）	
屋内側	<ul style="list-style-type: none"> <li>・せっこうボード 15 mm以上</li> <li>・せっこうボード 12 mm以上の上に、せっこうボード 9 mm以上</li> <li>・せっこうボード 9 mm以上の上に、せっこうボード 12 mm以上</li> </ul>
屋外側 + 屋内側	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄網軽量モルタル 15 mm以上</li> <li>+ グラスウール 10K50 mm以上、またはロックウール 24K50 mm以上を充填</li> <li>+ せっこうボード 2枚以上かつ合計 24 mm以上 または、強化せっこうボード 21 mm以上</li> </ul>
60分準耐火構造の告示仕様（抜粋）	
屋内側	<ul style="list-style-type: none"> <li>・強化せっこうボード 16 mm以上</li> <li>・せっこうボード 12 mm以上の上に、せっこうボード 12 mm以上</li> <li>・強化せっこうボード 12 mm以上の上に、せっこうボード 9 mm以上</li> <li>・せっこうボード 9 mm以上の上に、強化せっこうボード 12 mm以上</li> </ul>

表4-1中「45分準耐火構造の告示仕様」の「屋外側+屋内側」の欄にある例示仕様は、近年、新たに追加された例示仕様である。せっこうボードの厚さだけを見ると、「せっこうボード2枚以上かつ合計24mm以上 または、強化せっこうボード21mm以上」と規定されており、60分準耐火構造の告示仕

様より厚い仕様を規定している。

平成 26 年度～平成 28 年度に実施した既往研究「木造高断熱壁体の防耐火性能の実大試験検証と評価手法の提案」<sup>9)</sup>では、内装材を 45 分準耐火構造の告示仕様として、せっこうボード 12.5 mm の上に、せっこうボード 9.5 mm に張る重張の仕様にそろえて、断熱材の種類や厚さ、断熱工法による断熱材の設置位置を変えて、25 体の屋内側加熱の防耐火実験を実施した。実験結果を見ると、45 分以内に非損傷性を喪失し、45 分の準耐火性能を満たさないものはなかったが、必ずしも、すべての試験体で 45 分間、内装材が脱落せずに保持し続けていたわけではなかった。

よって、今回の検討において内装材の脱落防止を含めて考えると、この「せっこうボード 12.5 mm の上に、せっこうボード 9.5 mm に張る重張の仕様」でも不十分である。次に表 4-1 に示す 60 分準耐火構造の屋内側被覆の仕様が候補となるが、仕様面での差異が小さく、劇的な性能向上は期待できない。

以上の検討より、先述した「せっこうボード 2 枚以上かつ合計 24 mm 以上 または、強化せっこうボード 21 mm 以上」を満たすせっこうボードの仕様に絞られる。

実用面では、せっこうボードを重ね張りするよりも、せっこうボードを 1 枚張って施工を終わらせるニーズは根強くあるため、ここでは、内装材（せっこうボード）の仕様として「強化せっこうボード 21 mm」を選定する。

## 2) 外張断熱材の仕様

屋内火災に対し壁内柱は外張断熱材の加熱側に位置する。外張断熱材が外装側への放熱を抑制して熱ごもりを生じさせるため、外張断熱材の断熱性能が高く、火災時、その断熱性能が長く保持されるほど、壁内柱は高温に長く曝されて不利な条件となる。よって、今回対象とする発泡プラスチック断熱材の中では、フェノールフォームが最も不利となる。

## 3) 充填断熱材の仕様

外張断熱工法では充填断熱材は設置しないが、ここでの検討を、今後、付加断熱工法に拡張できるように充填断熱材についても検討しておく。

充填断熱材は、屋内火災に対し壁内柱にとって、内装材の裏にあり壁内柱の側面を被覆する位置関係にある。壁内柱にとって、充填断熱材は壁内柱の側面を被覆する分、有利側に働くが、充填断熱材の加熱側で熱ごもりが生じ、内装材を高温に曝して内装材の脱落に対し不利側に作用する二面性がある<sup>9)</sup>。今回の検討では、すでに外張断熱材が設定され、壁内柱が外張断熱材の加熱側で高温にさらされる条件下では、内装材もすでに高温に曝されており、充填断熱材は壁内柱の側面を被覆するメリットの方が卓越する。

従って、内装材が脱落して、充填された発泡プラスチック断熱材が外壁内で激しく燃焼した場合を除くと、充填断熱材が設置しない場合が屋内火災に対し最も不利な状況となる。

## 4) 構造用面材の仕様

構造用面材は、屋内側加熱を受ける壁内柱にとって壁内柱の裏側に面して設置される。壁内柱の非加熱側を被覆する分、壁内柱の座屈防止にとって有利側に働くが、充填断熱材や外張断熱材ほど強く影響を及ぼすほどではない。

(3) 断熱仕様を問わず 45 分準耐火性能を確保する屋内側被覆の検討

1) 検討目的

前項の検討結果を受けて、今回対象とする発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁について、屋内側火災に対する非損傷性が最も不利となり外壁仕様を定め、防耐火実験による性能確認を行って、断熱仕様を問わず 45 分準耐火性能を確保する屋内側被覆を明らかにする。

2) 試験体仕様の選定

前項の検討結果より、内装材せっこうボードの仕様を「強化せっこうボード 21 mm」を選定する。外張断熱材、充填断熱材は屋内火災（屋内側加熱）に対し、壁内柱の座屈にとって最も不利な条件とし、外張断熱材はフェノールフォーム断熱材、十分な断熱材厚さとして厚さ 100 mm とした。充填断熱材はなしと設定した。

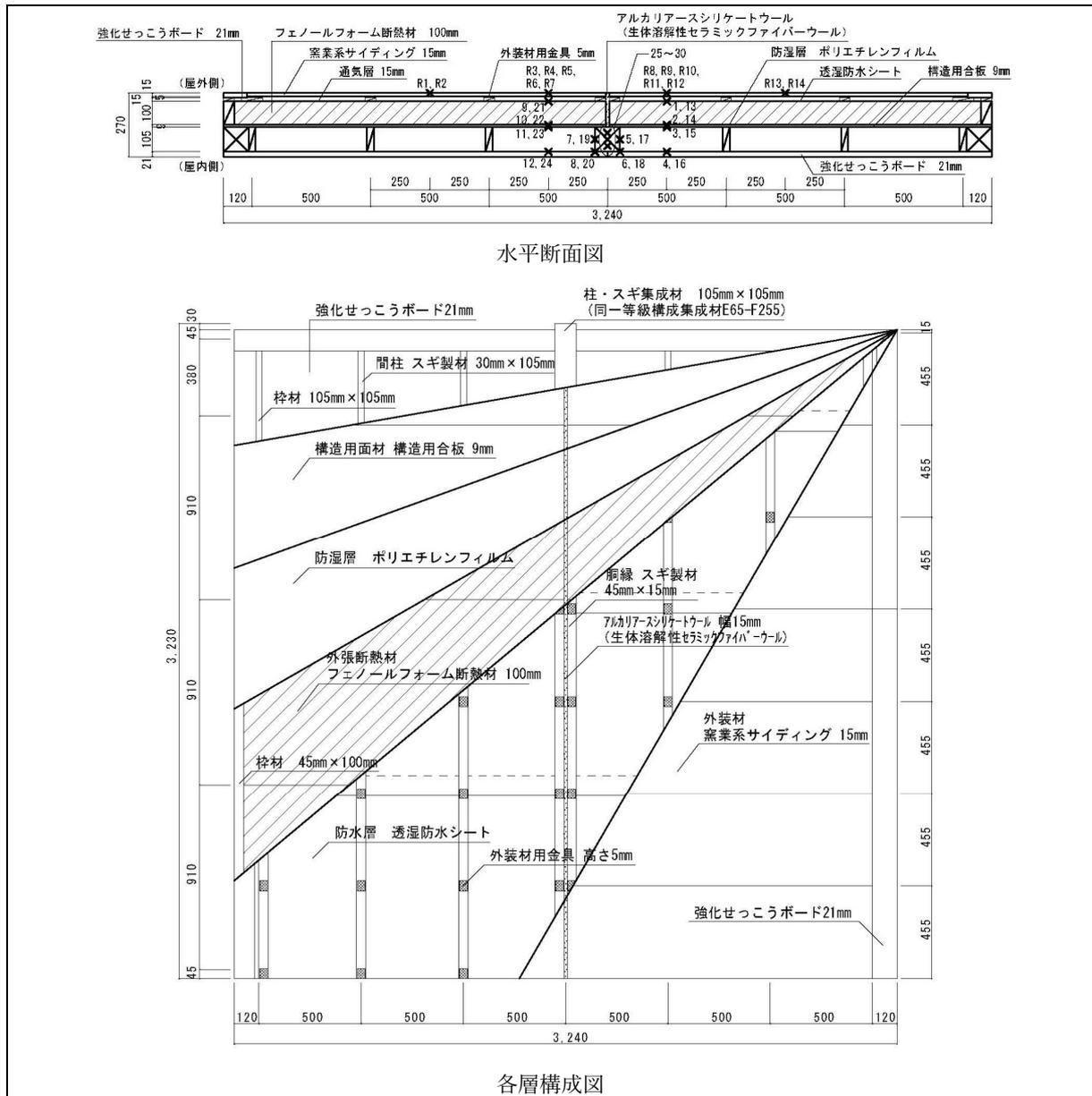


図 4-2 試験体図

構造用面材として、最も遮熱性が低い合板を設置した場合、仮に屋内火災終了時（屋内側加熱終了時）において、合板と外張断熱材の境界面にあたる合板裏面（合板非加熱側表面）が、遮熱性の規定を満たし、燃え抜けていないならば、それより裏面側にある外張断熱材は、断熱材の種類を問わず、火災安全上、問題にならないといえる。この点を確認するため、構造用面材は構造用合板 9 mm とした。

以上を踏まえ、選定した試験体仕様を図 4-2 に示す。

### 3) 実験方法

防耐火実験は（地独）北海道立総合研究機構 建築研究本部の壁炉を用いて実施した。

試験体（幅 W3,240×高さ H3,230）に対し、荷重支持部材である壁内柱に長期許容応力度に相当する応力度が生じる荷重を载荷しながら、ISO834-1 標準加熱曲線に合うように屋内側から加熱した。加熱時間は 60 分間とした。炉内温度は K 型シーズ熱電対、試験体の各部温度は K 型熱電対を用いて、ともに 10 秒ごとに測定した。温度測定位置は、各試験体の試験体図中に示す。あわせて水平変位を試験体中央で高さ 800 mm、1,600 mm、2,400 mm の位置で計 3 点、鉛直変位を試験体中央と試験体中央から左右に 600 mm の位置で計 3 点をそれぞれ測定した。

### 4) 実験結果・考察

実験結果を図 4-3 に示す。60 分間の屋内側加熱に対して、試験体は非損傷性を喪失することなく、60 分の準耐火構造の要求性能を満足した。また内装材の脱落も 60 分間起こらず、内装材を保持できた。柱加熱側角部の温度推移に着目すると、加熱開始約 40 分前後まで、木材の着火温度である 260℃

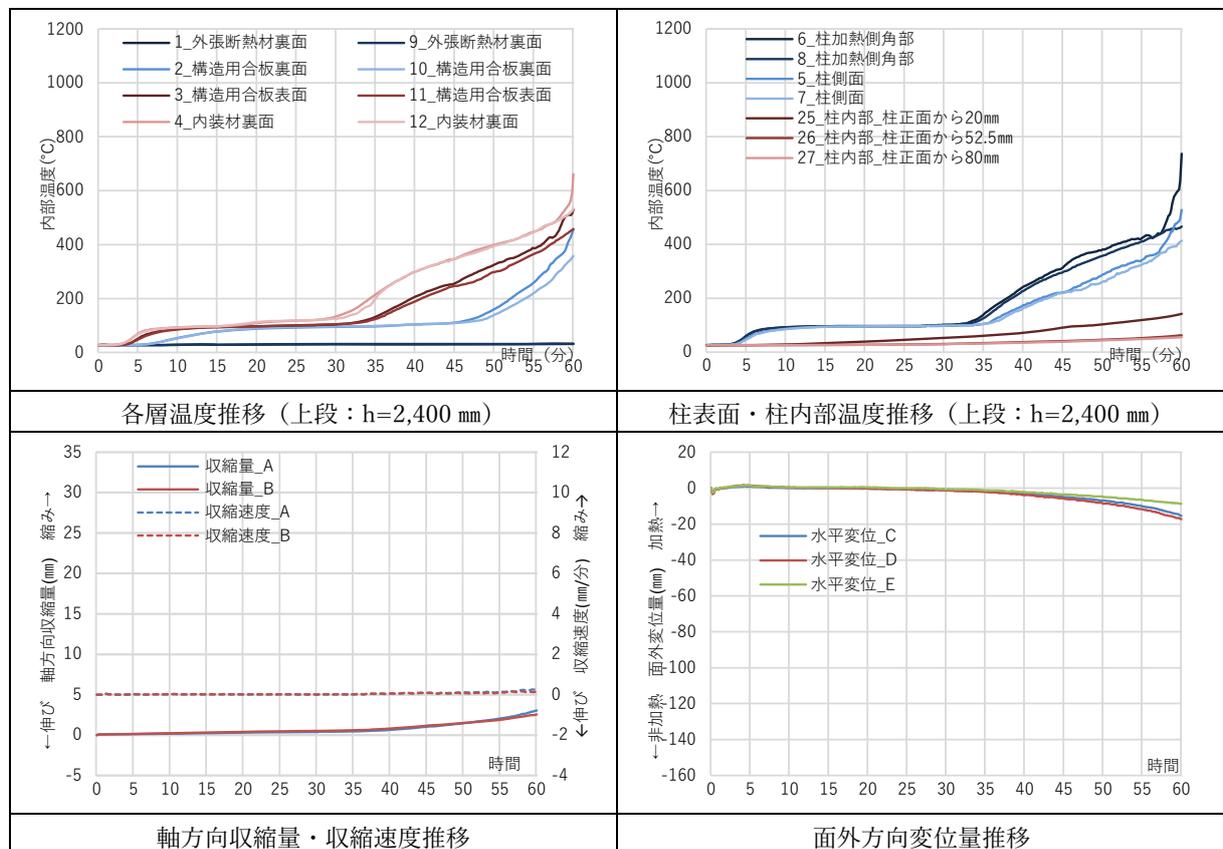


図 4-3 実験結果

に達しておらず、この時点まで壁内柱は、ほとんど損傷してないと考えられる。強化せっこうボード 21 mm 1 枚張りで、屋内側被覆は 45 分準耐火構造に対して性能的に十分な余裕があるといえる。

また構造用合板の温度を見ると、加熱開始 45 分時点において表面（加熱側）で 250°C～270°C、裏面（非加熱側）で 109°C～113°Cであった。構造用合板の加熱側は炭化し、一部表面燃焼がある可能性がある。しかし非加熱側には燃え抜けておらず、非加熱側裏面の温度は遮熱性の基準である平均温度上昇度 140K、最高温度上昇度 180K に達していない。よって、内装材（屋内側被覆）が、強化せっこうボード 21 mm であれば、裏面側にある外張断熱材は断熱材の種類を問わず、火災安全上、問題にならないといえる。

以上の検討結果より、45 分準耐火構造に対して、内装材（屋内側被覆）が「せっこうボード 21 mm」であれば、断熱仕様を問わず、要求性能を確保できる。

また表 4-1 より、「強化せっこうボード 21 mm」と同等の内装材（屋内側被覆）として、「せっこうボード 12.5 mm 2 枚張り」を位置付けることができる。

#### （４）検討のまとめ

本章では、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法の木造外壁を対象に、これら被覆条件と非損傷性（壁内柱が座屈するまでの時間）との関係性を把握し、屋内火災に対し、いかなる断熱仕様であっても、45 分準耐火性能を喪失しない屋内側被覆の仕様を明らかにした。

内装材（屋内側被覆）を「強化せっこうボード 21 mm」とすれば、断熱仕様を問わず、45 分準耐火構造の要求性能を確保できる。また併せて 45 分間の内装材の保持性能も十分に有することがわかった。

または「せっこうボード 12.5 mm 2 枚張り」についても、同様に断熱仕様を問わず、45 分準耐火構造の要求性能を確保できる

## 5. 準耐火性能評価手法の提案

### (1) 検討の目的

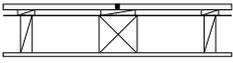
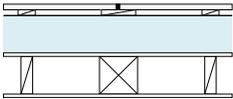
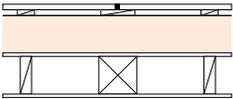
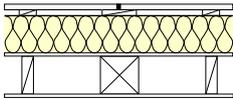
第1章で挙げた技術的課題に対し、第2章から第4章において、これらの解決策を提示してきた。本章では、これらの検討結果を取りまとめて、発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁の30分防火性能（外張断熱工法）および45分準耐火性能（充填断熱工法・外張断熱工法）をより合理的に評価できる手法を提案する。

### (2) 評価手法の提案

これまでの検討結果を踏まえて、評価手法を取りまとめると、表5-1の通りとなる。

第2章～第4章の検討は、外張断熱工法を対象に取り組んできたが、これらの検討は充填断熱工法に比べて、外張断熱工法が防耐火性能上、不利になる点に着目して実施してきたものである。これらの知見は充填断熱工法の45分準耐火構造の評価手法にも適用できる。

表5-1 提案する評価手法

1. 防耐火性能に基づく断熱材の序列化			
防火性能	①無断熱	<	②可燃性断熱材 (熔融型)
(例) 軸組造		<	
		<	③可燃性断熱材 (炭化型)
		<	
		<	④グラスウール ロックウール
		<	
+			
2. 性能評価における「断熱材の序列化」の適用条件			
防耐火性能	30分防火構造	45分準耐火構造	45分準耐火構造
断熱工法	外張断熱工法	外張断熱工法	充填断熱工法
(1)外装材の脱落防止	現行工法でよい	胴縁の鋼板被覆＋金具ビス留め または、外装材金具を柱へ直接留め	
(2)外壁内を通じた 上階への延焼防止	隣接する部材の外壁通気層内に通気金物を設置 構造用面材を設置		
	通気金物を左右反転し設置		－
	外張断熱層栈木幅 30 mm	外張断熱層栈木幅 45 mm	－
(3)屋内側被覆	－	強化せっこうボード（厚さ 21 mm） せっこうボード（厚さ 12.5 mm＋厚さ 12.5 mm）重張り	

## 6. まとめ

本研究では、本研究は発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁を対象に、準耐火性能をより合理的に評価するために、対応すべき技術的課題を解決して、評価手法の提案を行った。

第1章では、研究の背景、これまでの取り組み、目的、対象およびその概要を述べ、このなかで、対応すべき技術的課題としては、次の3点を挙げた。

- 1) 外装材等の脱落防止策（外装材等の保持性能）
- 2) 通気層・外張断熱層の上階延焼防止策
- 3) 屋内側加熱時の被覆条件と非損傷性との関係性把握

第2章では、上記の技術的課題1)に対応するため、外張断熱工法を対象に、屋外火災に対し、外装材である窯業系サイディングを30分間、または45分間脱落させないための工法的検討を行った。

現行工法では外装材を30分間保持できるが、45分間保持させるためには、外装材金具を胴縁ではなく柱へ直接留める、または胴縁を鋼板で被覆し、この鋼板にビスを用いて外装材金具を留める必要があることを示した。

外装材脱落のメカニズム解明に向けた考察として、外装材である窯業系サイディングは、胴縁を介して外張断熱用ビスだけで支えられているのではなく、外装材が試験体下端から積みあがった状態に対し、外張断熱用ビスが外装材の倒れこみを防ぐ状態で支えている可能性があることを明らかにした。

第3章では、上記の技術的課題2)に対応するため、外張断熱工法を対象に、通気層および外張断熱層に設置するFSについて検討した。

45分間の加熱に対し、外張断熱層FSは幅45mmの栈木、通気層FSは通気金物を反転設置とし、合板など構造用面材もあわせて設置すれば、上階延焼防止策として有効であることを示した。

また火災時、通気層上端より発生する発泡プラスチック断熱材の熱分解ガスを含む大量の煙・ガスに対し、避難安全性の観点から対応が必要であることを示した。

第4章では、上記の技術的課題3)に対応するため、外張断熱工法を対象に、屋内火災に対し、いかなる断熱仕様であっても、45分準耐火性能を喪失しない内装材（屋内側被覆）の仕様として、「強化せっこうボード21mm」または「せっこうボード12.5mm2枚張り」が有効であることを示した。

第5章では、第2章から第4章の検討結果を取りまとめて、発泡プラスチック断熱材を用いた木造外壁の防耐火性能をより合理的に評価できる手法を提案した。

## [参考文献]

- 1) (一社) 日本建築学会：基礎からの防火材料－材料・工法で建築と人命を火災から守るために－，(一社) 日本建築学会発行，2022年9月
- 2) (一社) 建築性能基準推進協会：平成31年度 建築基準整備促進事業 F14.主要構造部の防耐火性能等に関する大臣認定仕様基準の検討，2020年3月
- 3) 糸毛治，鈴木淳一，成瀬友宏，菅原進一：可燃性断熱材を充填した木造外壁の防火構造に関する性能評価，日本建築学会技術報告集，第29巻，第71号，pp.221-226，2023年2月
- 4) (一社) 建築性能基準推進協会：性能協防火構第6号『防耐火構造の性能評価業務における木造壁体の充填断熱材に関する取扱い』，2021年5月
- 5) (一財) 日本建築センター：平成5年6月25日施行改正 建築基準法 準耐火建築物の防火設計指針，(一財) 日本建築センター発行，1994年6月1日
- 6) (一社) 建築性能基準推進協会：性能協防火構第3号『構造用面材及び下張材リスト』，2021年5月
- 7) (一社) 性能基準推進協会：木質耐火構造部材の燃え止まり解析とその利用法に関する報告書，木造耐火燃え止まりWG報告書，2014
- 8) (一社) 建築性能基準推進協会：平成31年度 建築基準整備促進事業 F27. 主要構造部の防耐火性能に関する合理的な性能評価等に係る検討，2024年3月
- 9) (地独) 北海道立総合研究機構建築研究本部：木造高断熱壁体の防耐火性能の実大試験検証と評価手法の提案，(地独) 北海道立総合研究機構建築研究本部調査研究報告，No.381，2017年3月

## [謝辞]

本研究の実施にあたっては、若井産業株式会社、シネジック株式会社および名古屋大学環境学研究科尾崎研究室の方々には、多大なるご助言、ご協力を賜りました。ここに謝意を表します。

## 資料編\_\_実験結果一覧

### (1) 外装材の脱落防止策の検討

#### 1) 現工法における外装材の保持性能の確認

・試験体 A-1	無断熱壁体	1
・試験体 A-2	押出法ポリスチレンフォーム外張断熱壁体	4
・試験体 A-3	硬質ウレタンフォーム外張断熱壁体	7
・試験体 A-4	フェノールフォーム外張断熱壁体	10

#### 2) 外装材の保持性能向上のための胴縁補強策の検討

・試験体 B-1		13
胴縁 15 mm×45 mm	無断熱壁体	
胴縁 30 mm×45 mm	無断熱壁体	
・試験体 B-2		16
胴縁 15 mm×45 mm	ロックウール外張断熱壁体	
胴縁 30 mm×45 mm	ロックウール外張断熱壁体	
・試験体 B-3		19
金具を柱へ直接留め	無断熱壁体	
ハット型ジョイナーの改良	無断熱壁体	
・試験体 B-4		22
金具を柱へ直接留め	ロックウール外張断熱壁体	
ハット型ジョイナーの改良	ロックウール外張断熱壁体	
・試験体 B-5		25
胴縁の鋼板被覆（折込なし）+金具ビス留め	無断熱壁体	
胴縁の鋼板被覆（折込なし）+金具ビス留め	ロックウール外張断熱壁体	
・試験体 B-6		28
胴縁の鋼板被覆（折込あり）+金具ビス留め	フェノールフォーム外張断熱壁体	
胴縁の鋼板被覆（折込あり）+金具ビス留め	硬質ウレタンフォーム外張断熱壁体	
・試験体 B-7		31
胴縁の鋼板被覆（折込あり）+金具ビス留め	押出法ポリスチレンフォーム外張断熱壁体	
難燃 LVL 胴縁 30 mm×45 mm	押出法ポリスチレンフォーム外張断熱壁体	
・試験体 B-8		34
胴縁の鋼板被覆（折込なし）+金具ビス留め+ビス間隔 455 mm	押出法ポリスチレンフォーム外張断熱壁体	
胴縁の鋼板被覆（折込なし）+金具ビス留め+ビス間隔 227.5 mm	押出法ポリスチレンフォーム外張断熱壁体	

(2) 外張断熱層の上階延焼防止策の検討

1) 鋼板製通気役物（通気金具）を設置した場合の上階への延焼性状の確認

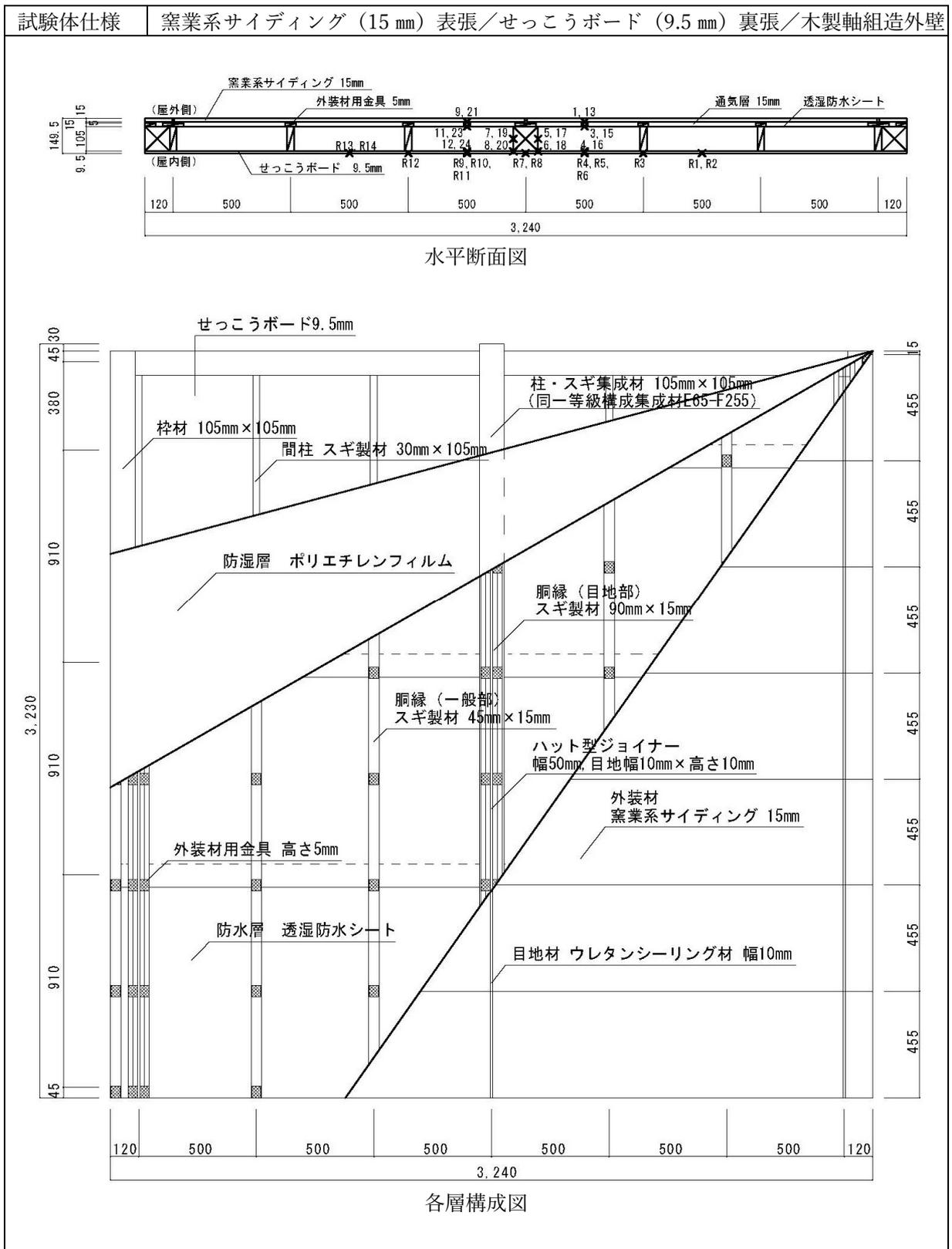
- ・試験体 C-1 押出法ポリスチレンフォーム外張断熱壁体 37
- ・試験体 C-2 硬質ウレタンフォーム外張断熱壁体 41
- ・試験体 C-3 フェノールフォーム外張断熱壁体 45

2) 小型試験体を用いた外張断熱層の上階延焼防止策の検討

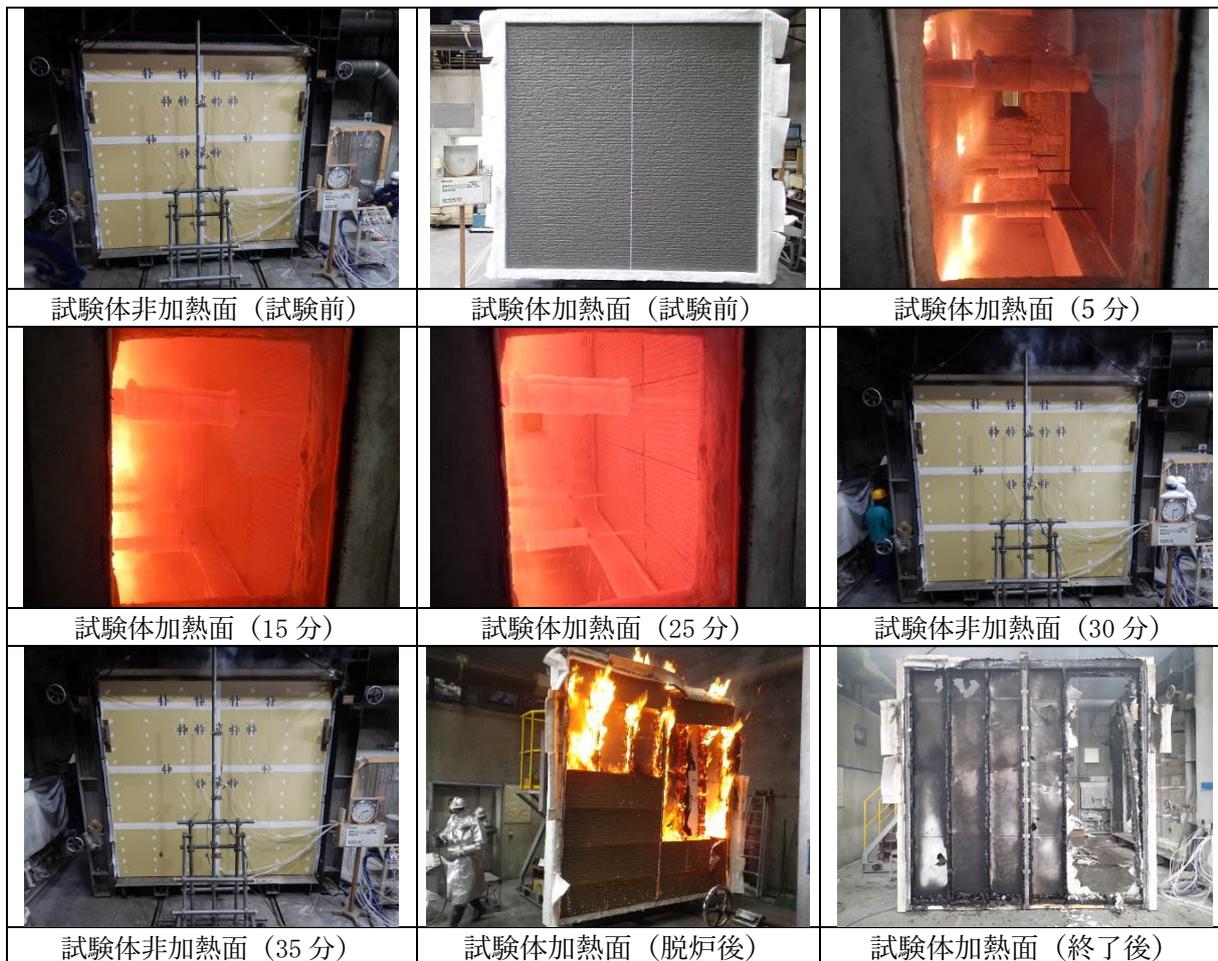
- ・試験体 D-1 FS なし 押出法ポリスチレンフォーム外張断熱壁体 49
- ・試験体 D-2 FS あり 押出法ポリスチレンフォーム外張断熱壁体 51
- ・試験体 D-3 FS なし 硬質ウレタンフォーム外張断熱壁体 53
- ・試験体 D-4 FS あり 硬質ウレタンフォーム外張断熱壁体 55
- ・試験体 D-5 FS なし フェノールフォーム外張断熱壁体 57
- ・試験体 D-6 FS あり フェノールフォーム外張断熱壁体 59
- ・試験体 D-7 FS なし グラスウール外張断熱壁体 61
- ・試験体 D-8 FS なし グラスウール外張断熱壁体 63

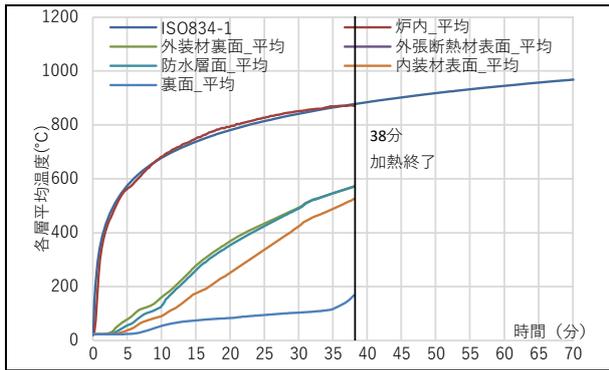
(3) 断熱仕様を問わず 45 分準耐火性能を確保する屋内側被覆の検討

- ・試験体 E-1 強化せっこうボード 厚さ 21 mm フェノールフォーム外張断熱壁体 65

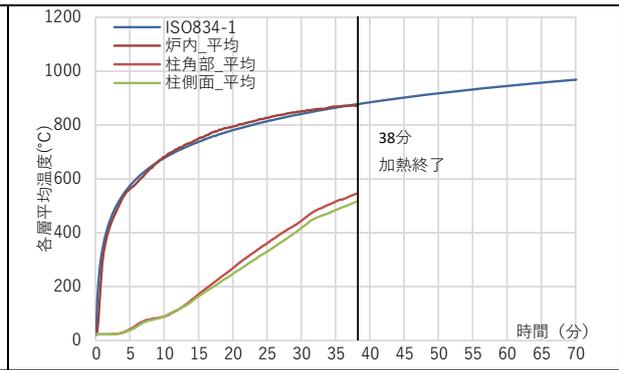


試験年月日	令和 4年 9月15日 14時35分 ~ 15時13分	
加熱方向	屋外側加熱	
試験結果	34分45秒    せっこうボード黒変を確認, 遮炎性喪失 37分20秒    裏面温度上昇度(最高)が180Kを超過, 遮熱性喪失 38分          加熱終了, 外装材は脱落せず	

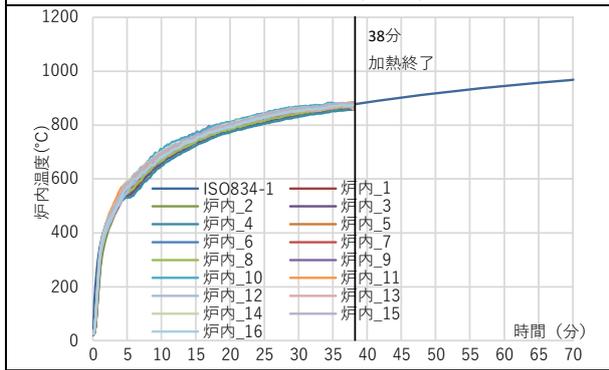




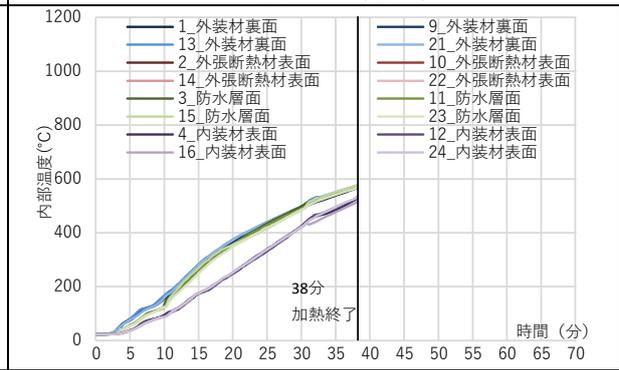
平均温度推移(各層)



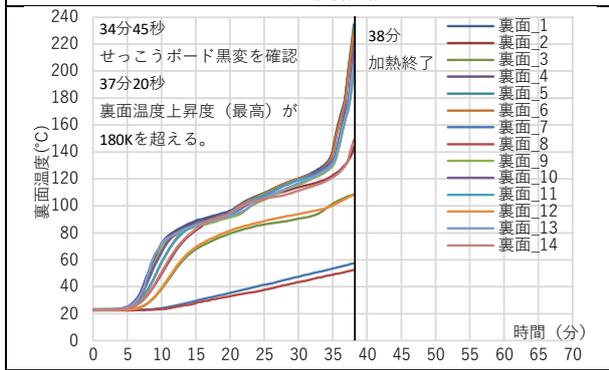
平均温度推移(柱部)



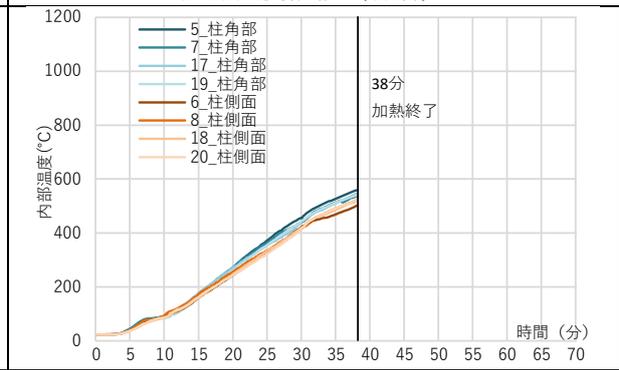
炉内温度推移



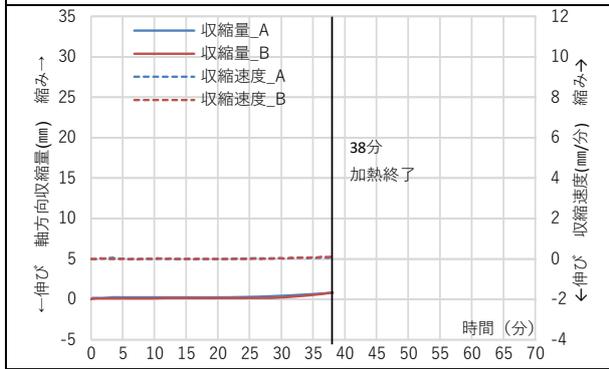
内部温度推移(各層)



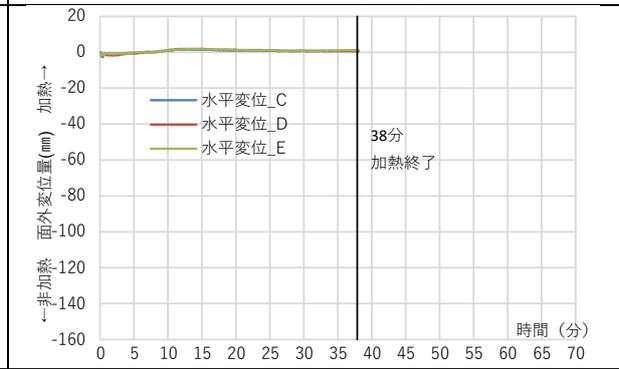
裏面温度推移



内部温度推移(柱部)

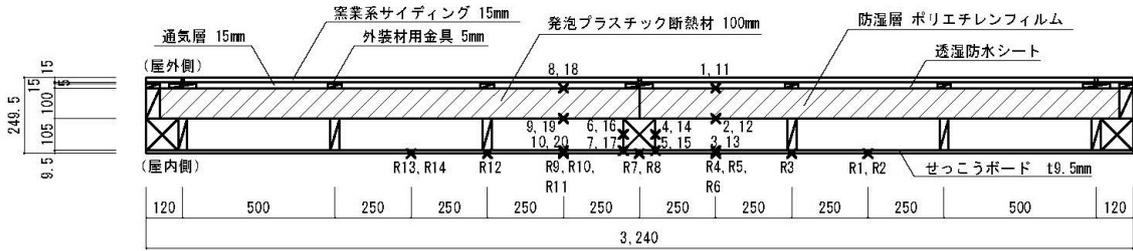


軸方向収縮量・収縮速度推移



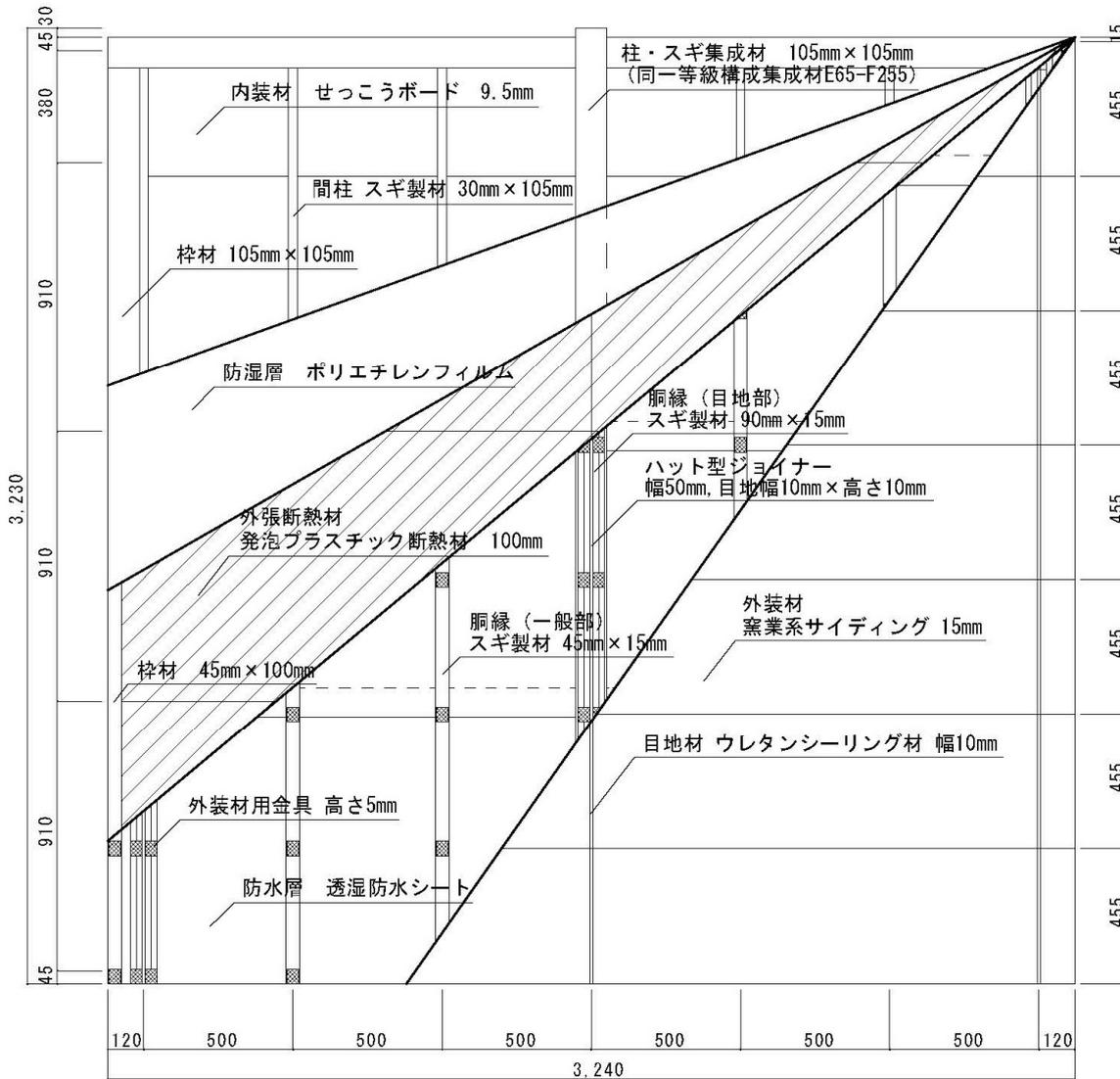
面外方向変位量推移

試験体仕様	窯業系サイディング(15 mm)・押出法ポリスチレンフォーム断熱材(100 mm)表張/せっこうボード(9.5 mm)裏張/木製軸組造外壁
-------	-----------------------------------------------------------------------



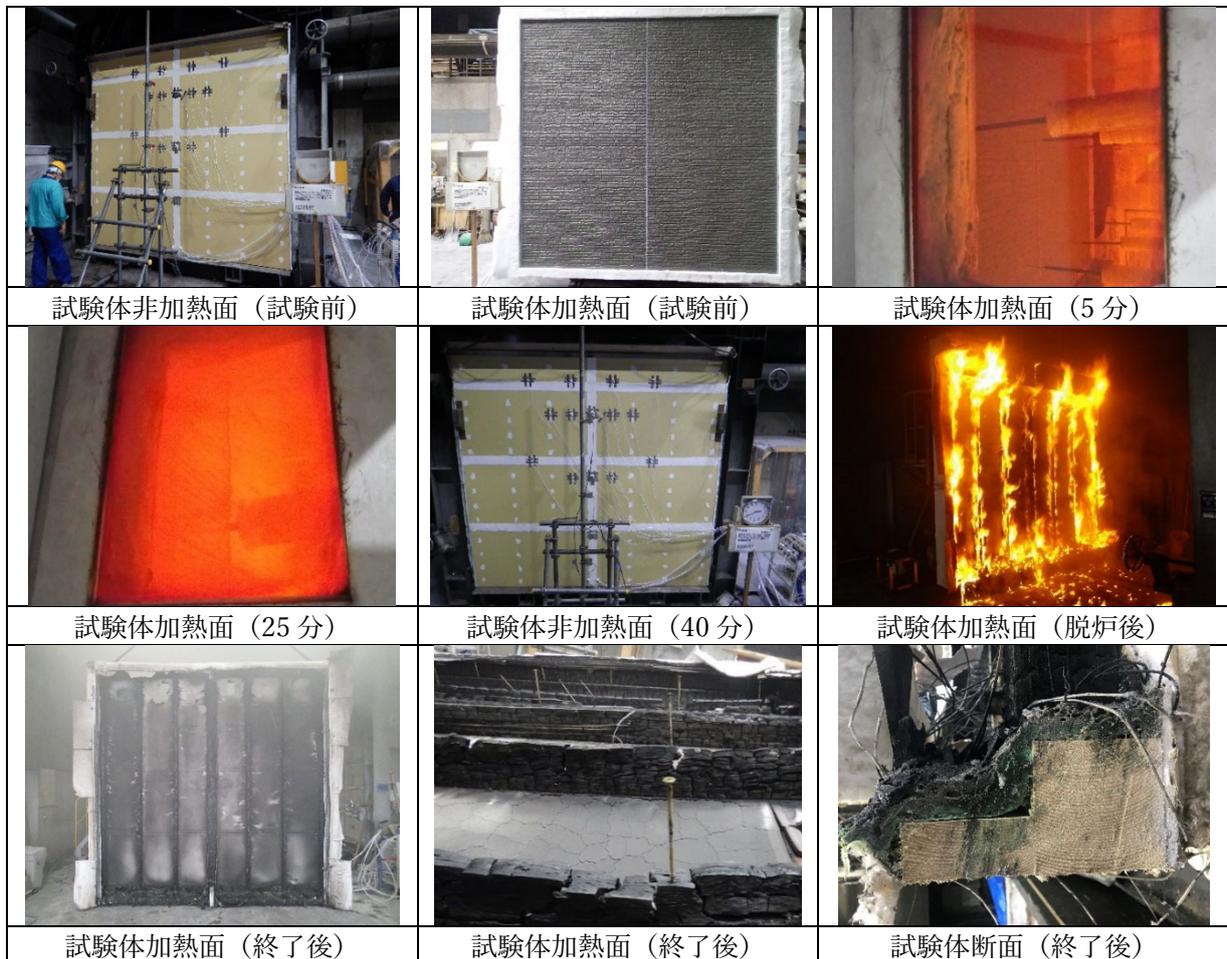
外張断熱材 押出法ポリスチレンフォーム断熱材

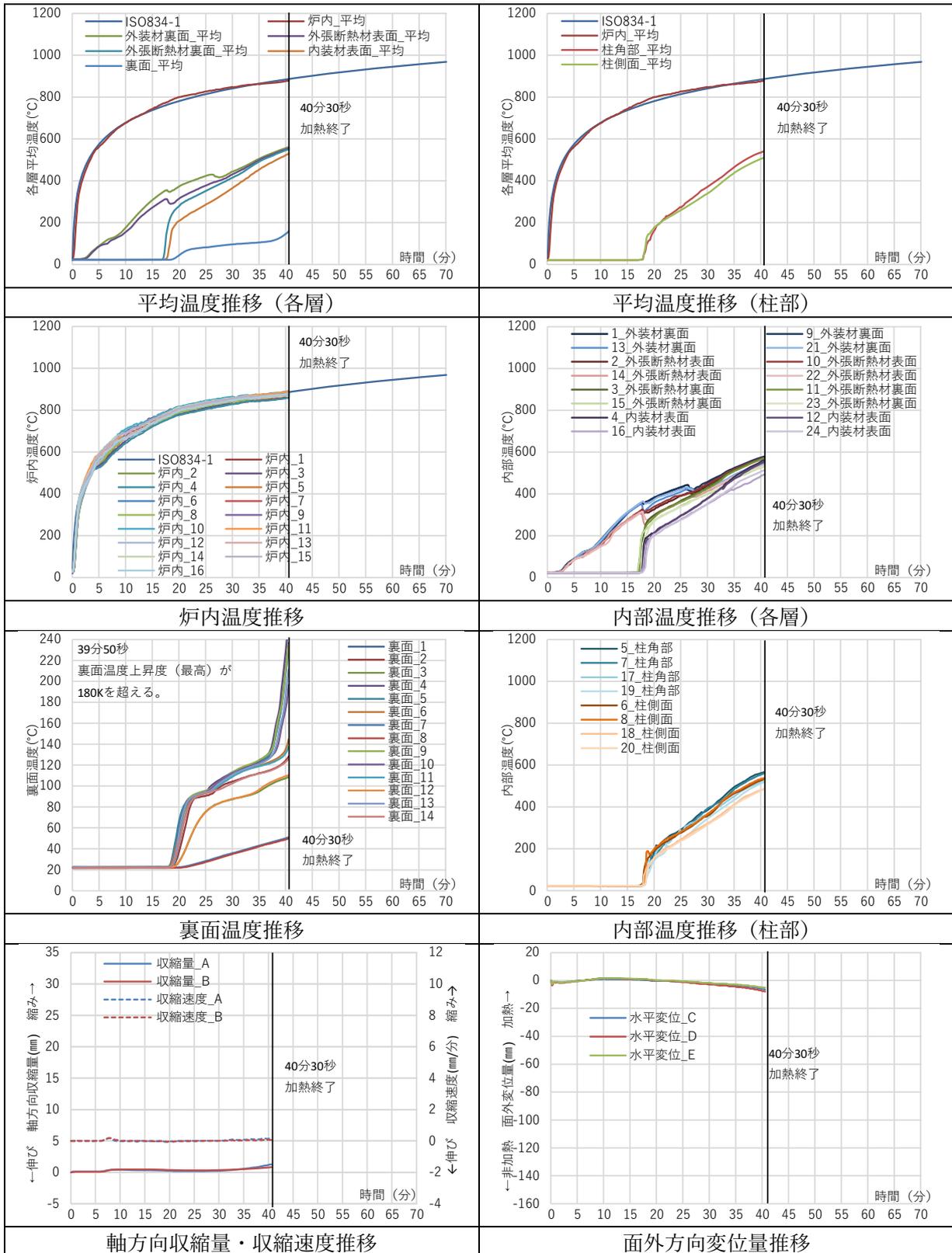
水平断面図



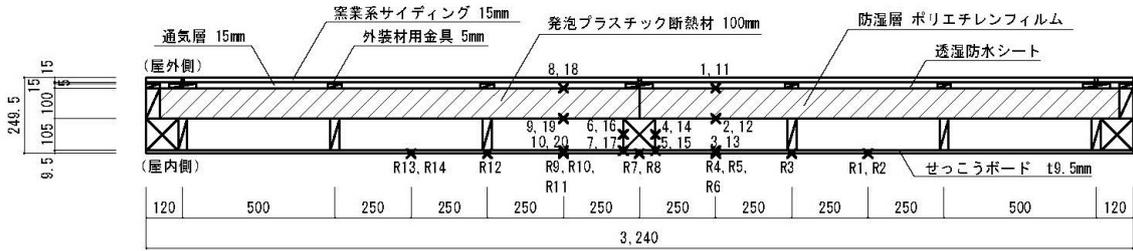
各層構成図

試験年月日	令和 4年 9月16日 13時34分 ~ 14時15分
加熱方向	屋外側加熱
試験結果	39分50秒 裏面温度上昇度（最高）が180Kを超過，遮熱性喪失 40分30秒 加熱終了，外装材は脱落せず



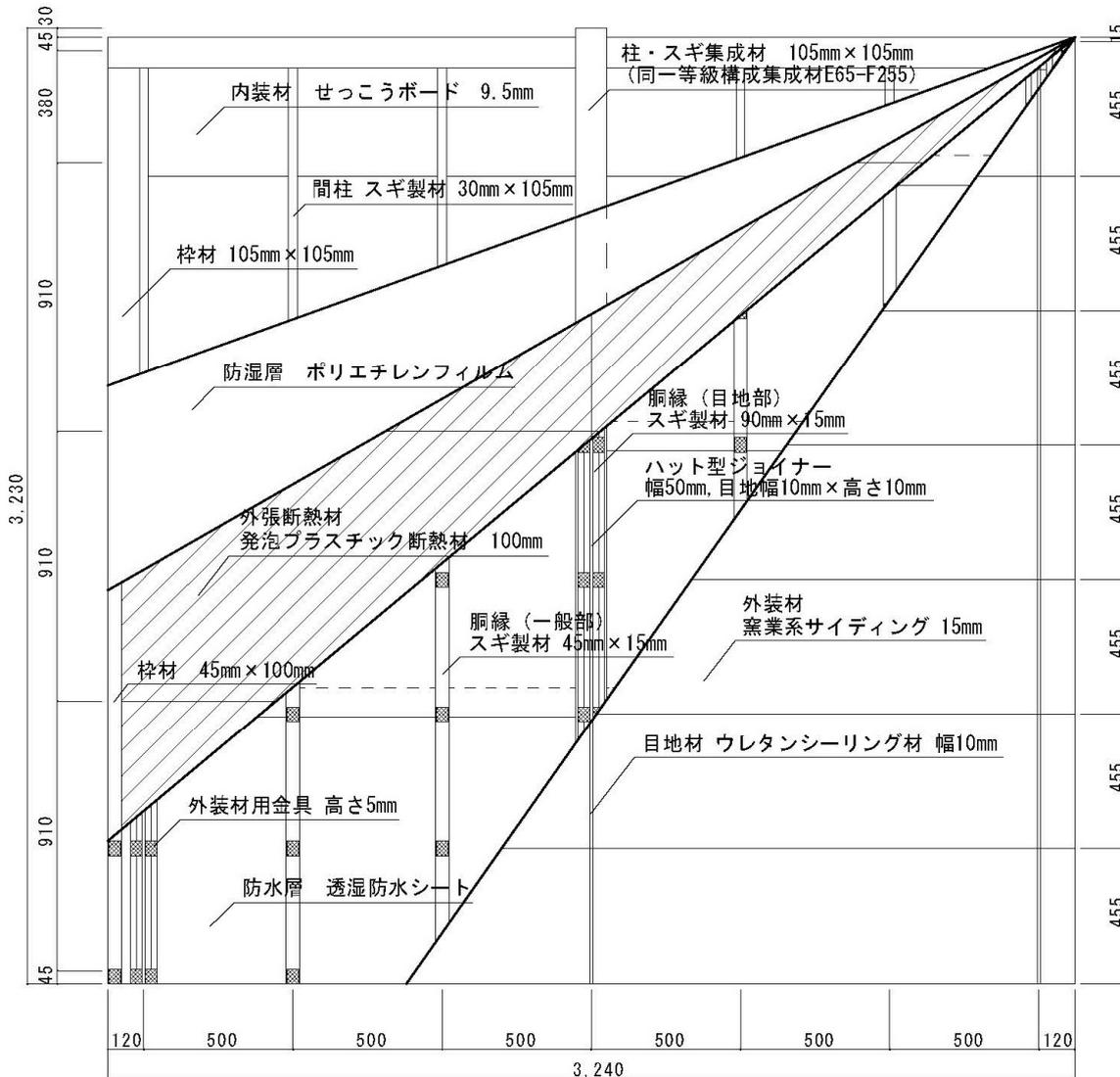


試験体仕様	窯業系サイディング(15 mm)・硬質ウレタンフォーム断熱材(100 mm)表張/せっこうボード(9.5 mm)裏張/木製軸組造外壁
-------	--------------------------------------------------------------------



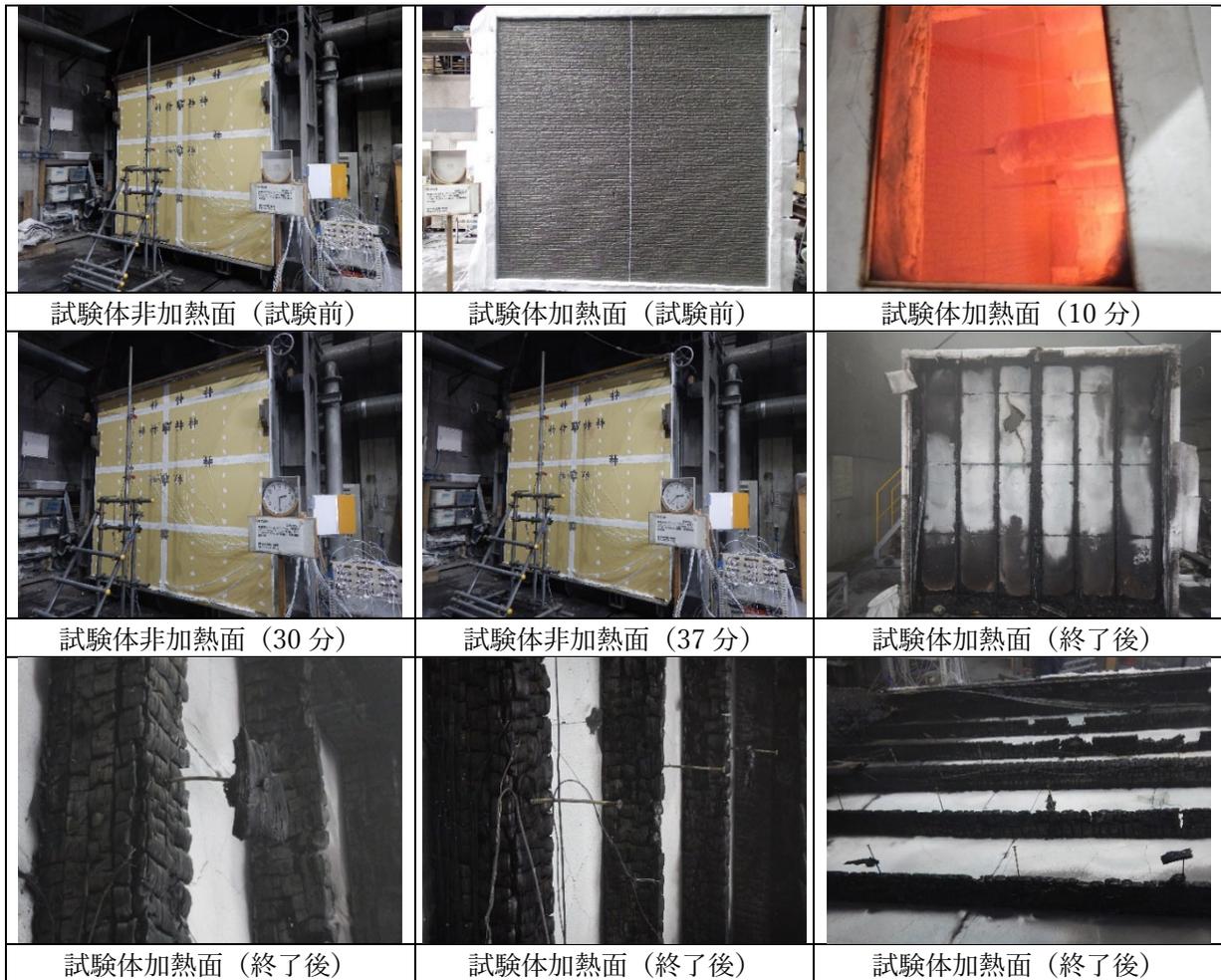
外張断熱材 硬質ウレタンフォーム断熱材

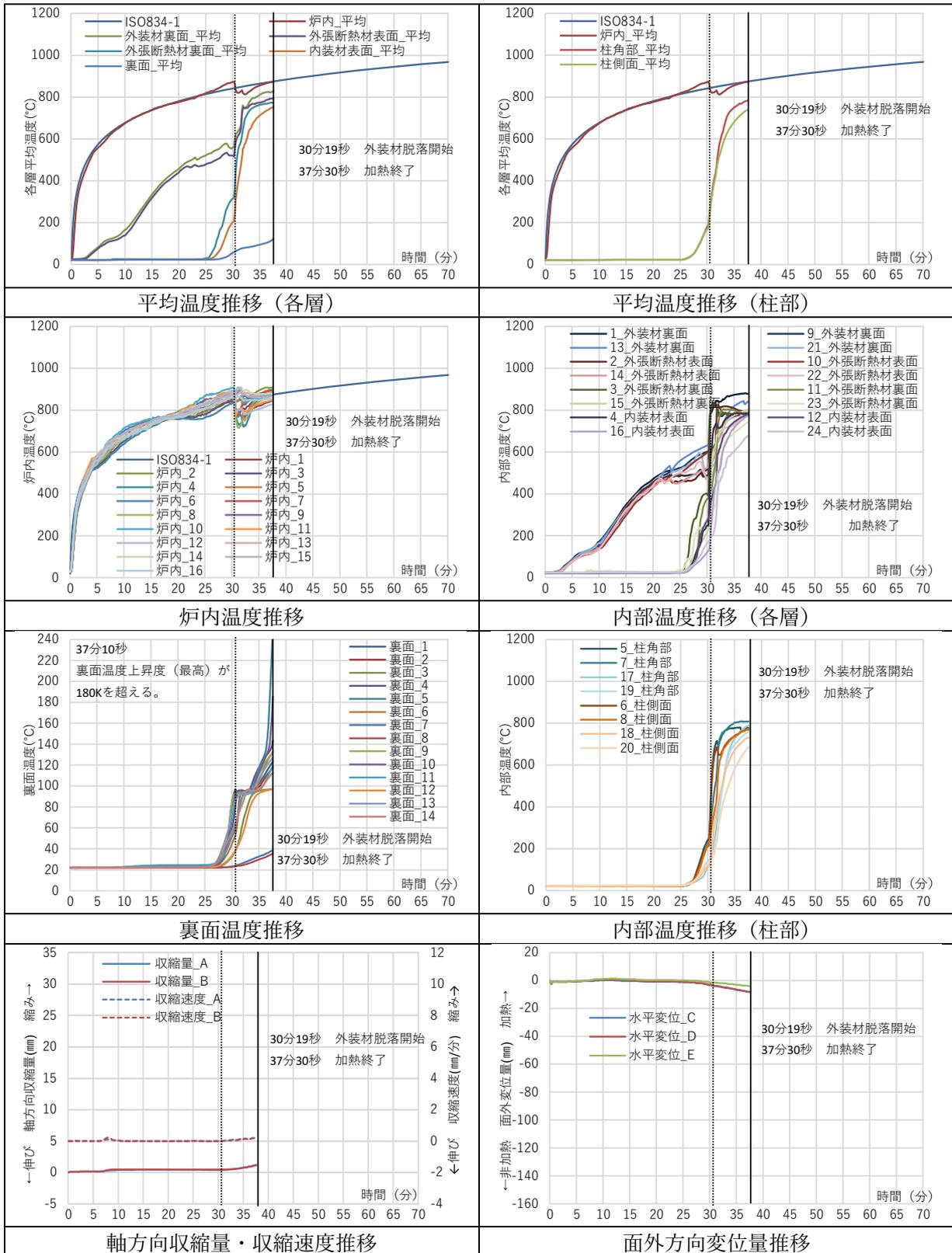
水平断面図



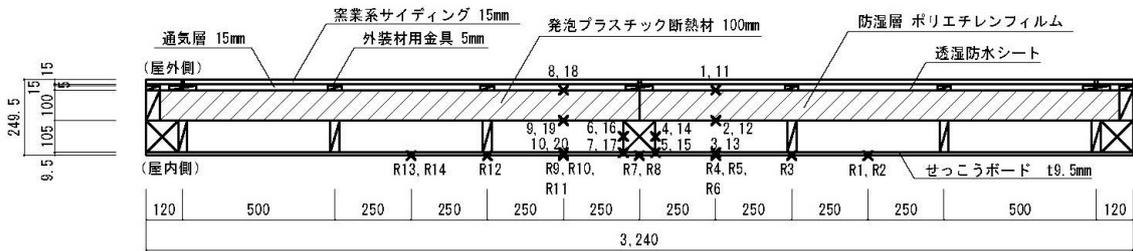
各層構成図

試験年月日	令和4年 9月30日 13時33分 ~ 14時11分	
加熱方向	屋外側加熱	
試験結果	30分19秒	大きな脱落音, 外装材脱落開始
	31分42秒	大きな脱落音2回目, 以降, 脱落音なし
	37分10秒	裏面温度上昇度(最高)が180Kを超過, 遮熱性喪失
	37分30秒	加熱終了



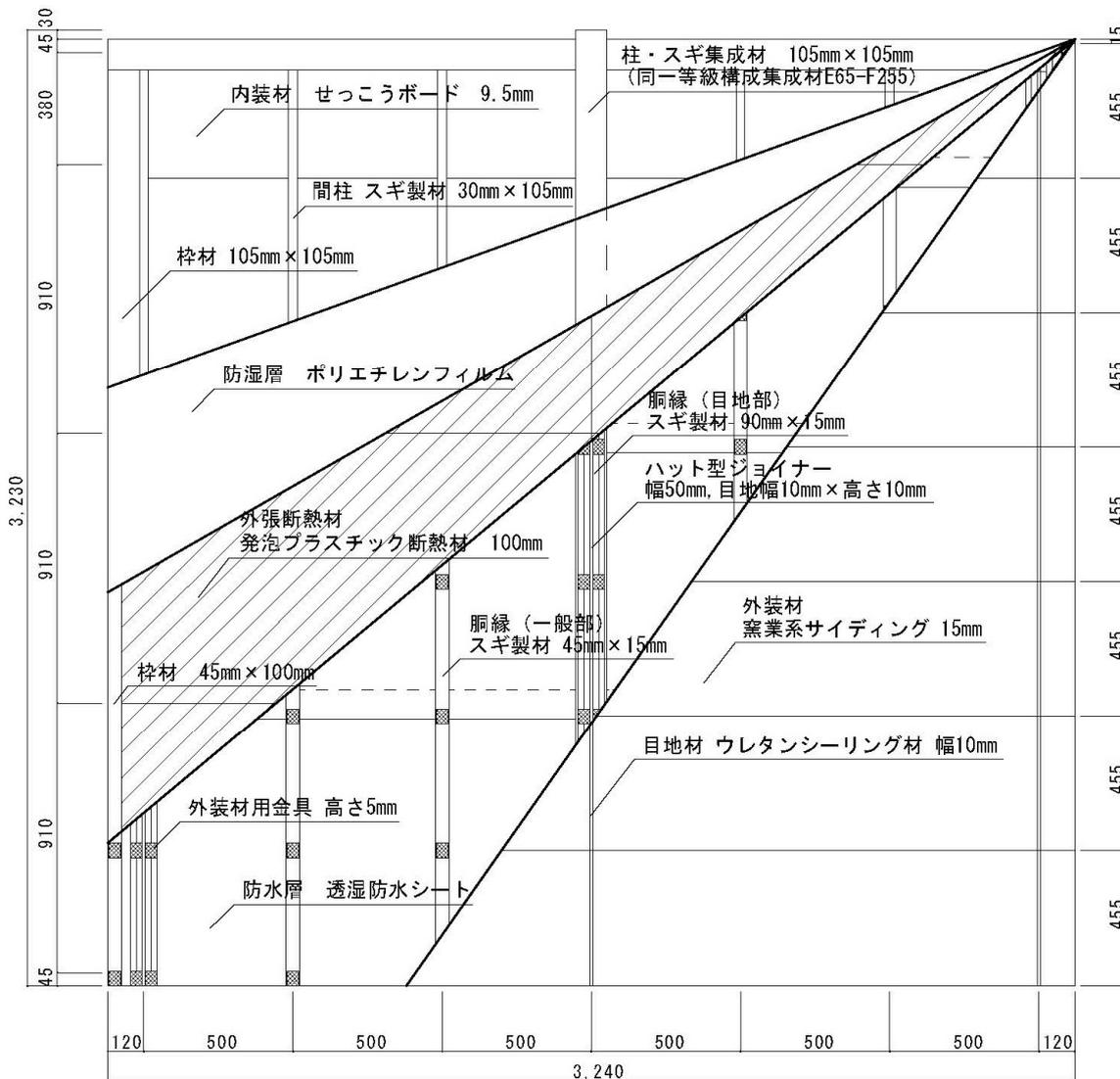


試験体仕様	窯業系サイディング(15 mm)・フェノールフォーム断熱材(100 mm)表張/せっこうボード(9.5 mm)裏張/木製軸組造外壁
-------	-------------------------------------------------------------------



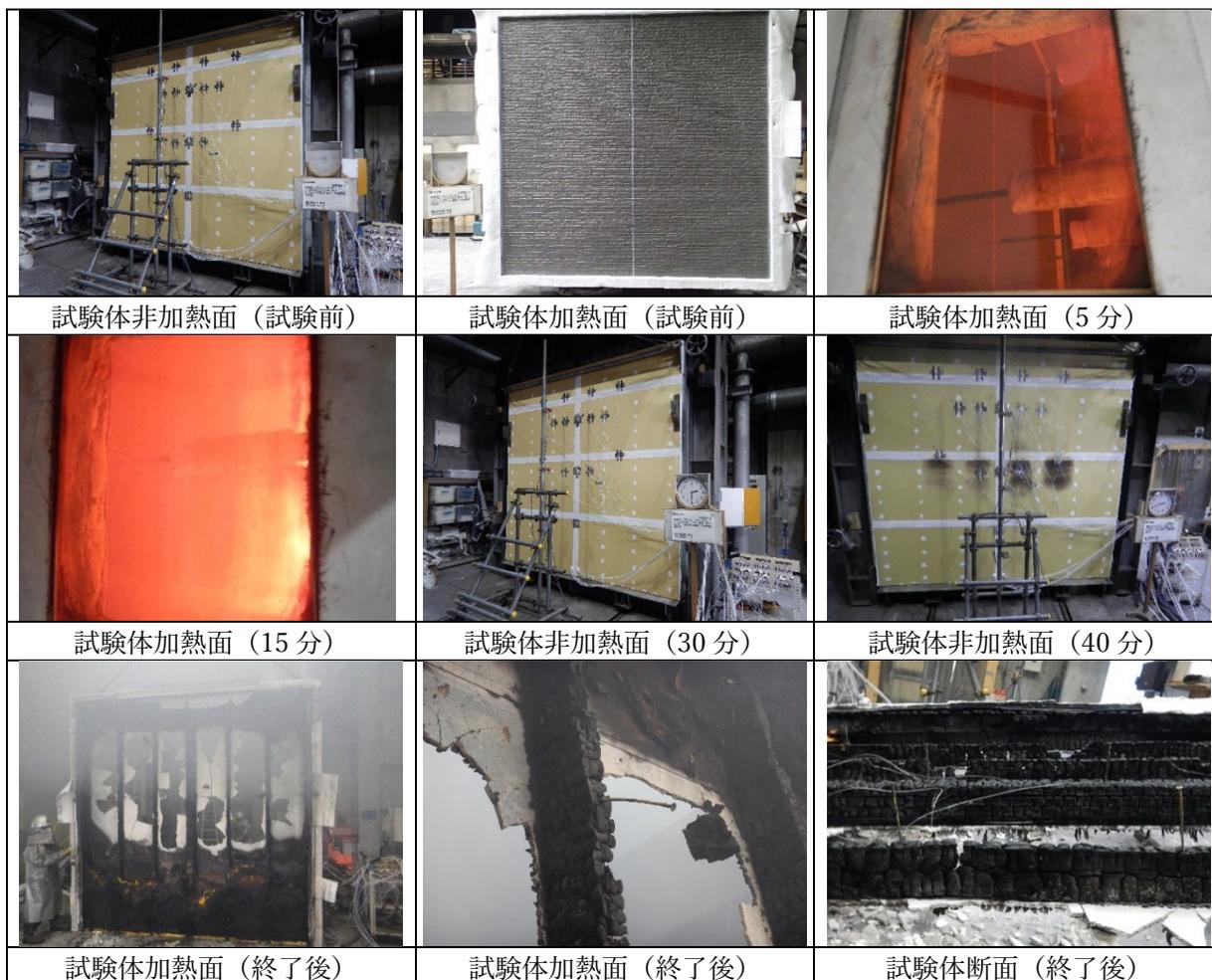
外張断熱材 フェノールフォーム断熱材

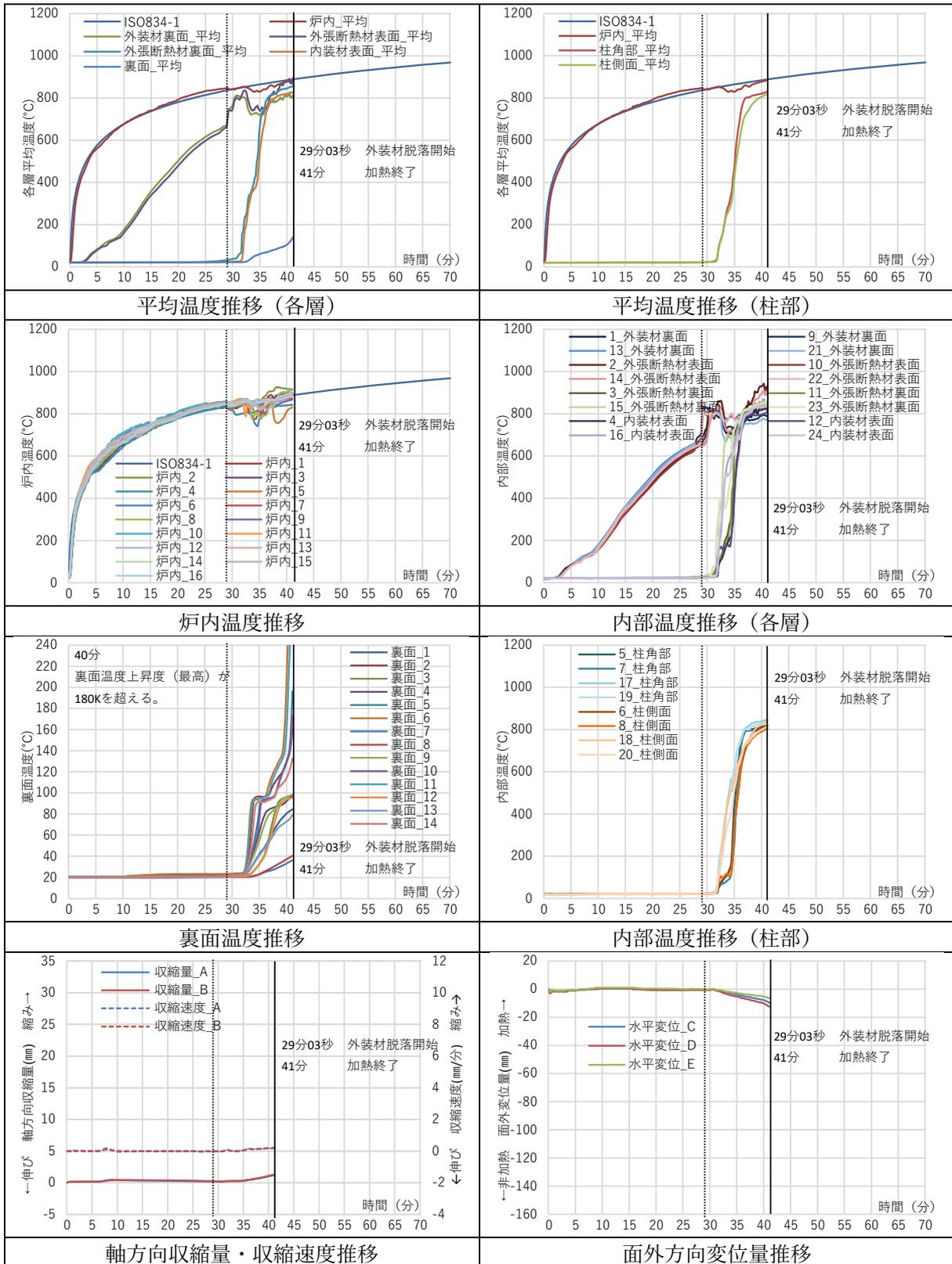
水平断面図



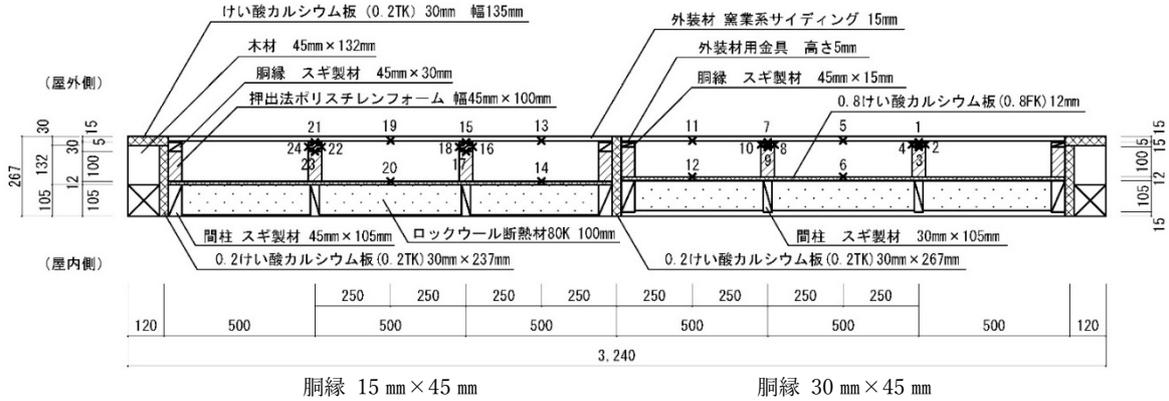
各層構成図

試験年月日	令和 4年 9月29日 14時19分 ~ 15時00分	
加熱方向	屋外側加熱	
試験結果	29分03秒	大きな脱落音, 外装材脱落開始
	30分04秒	大きな脱落音2回目, 以降, 脱落音なし
	40分00秒	裏面温度上昇度(最高)が180Kを超過, 遮熱性喪失
	41分00秒	加熱終了

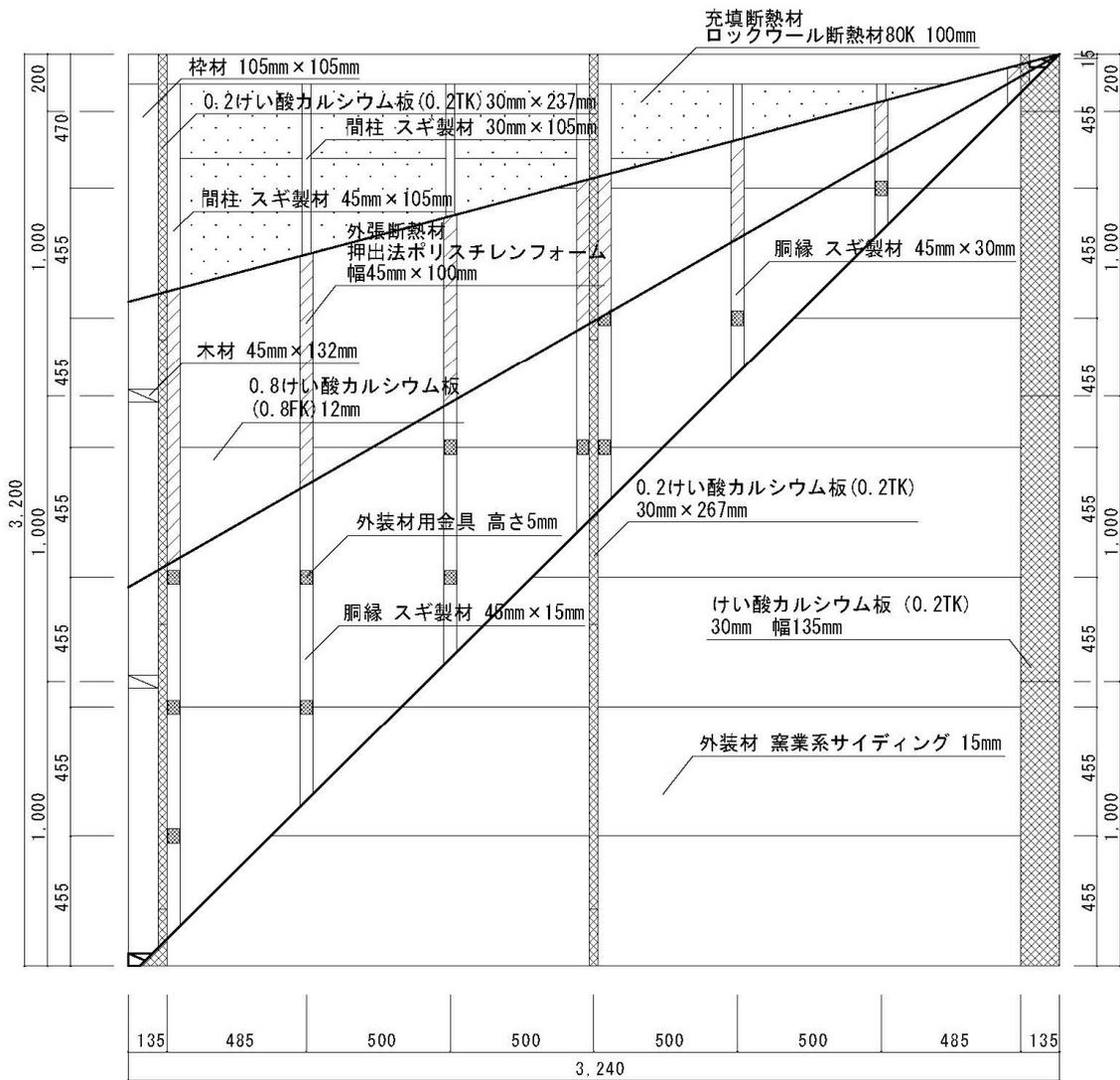




試験年月日	令和 5年 7月 21日 14時 07分 ~ 14時 52分
加熱方向	屋外側加熱
試験体仕様	ロックウール断熱材 (100 mm) 充てん / 窯業系サイディング (15 mm) ・ 中空層 (100 mm) ・ けい酸カルシウム板 (12 mm) 表張 / 木製下地外壁



水平断面図

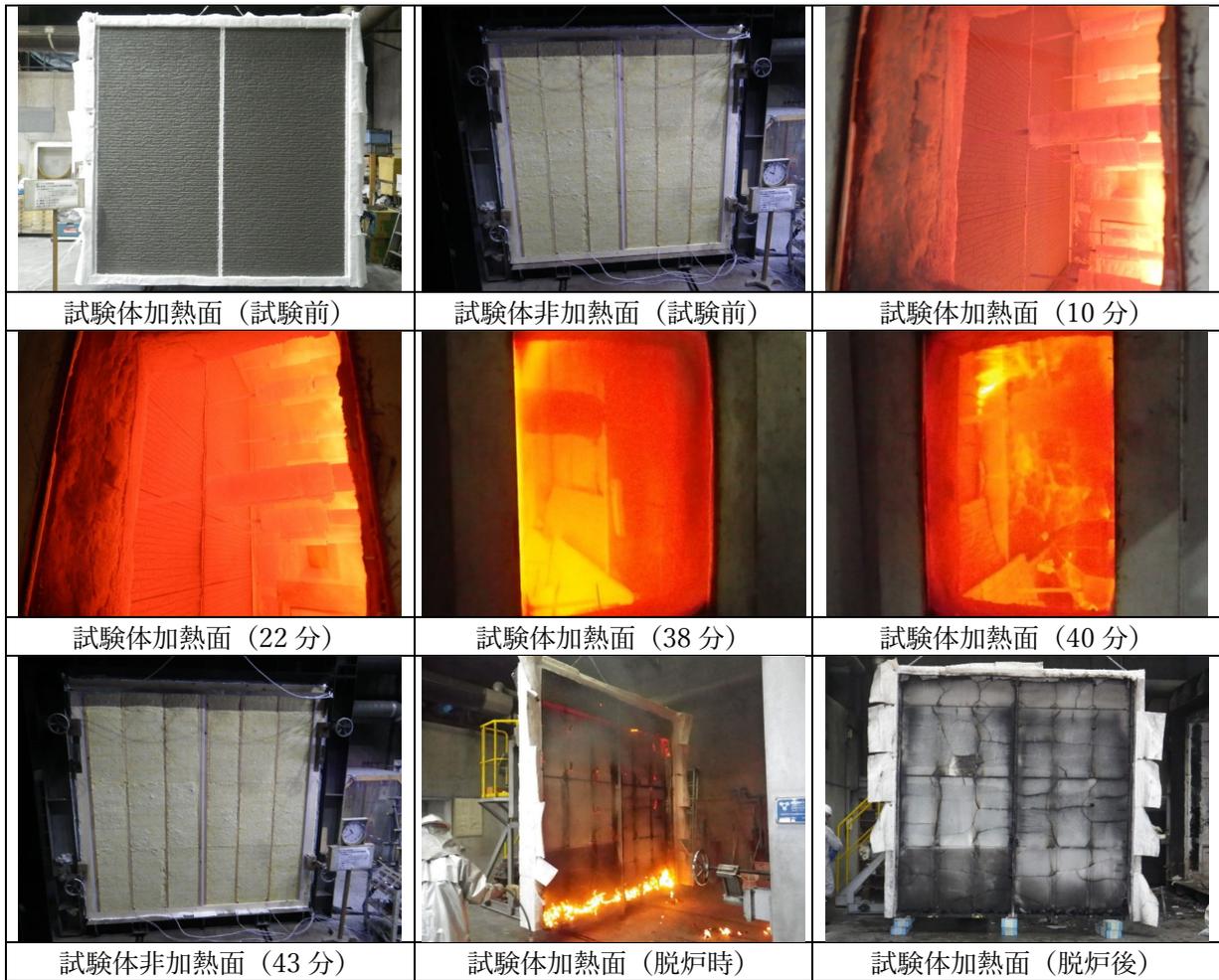


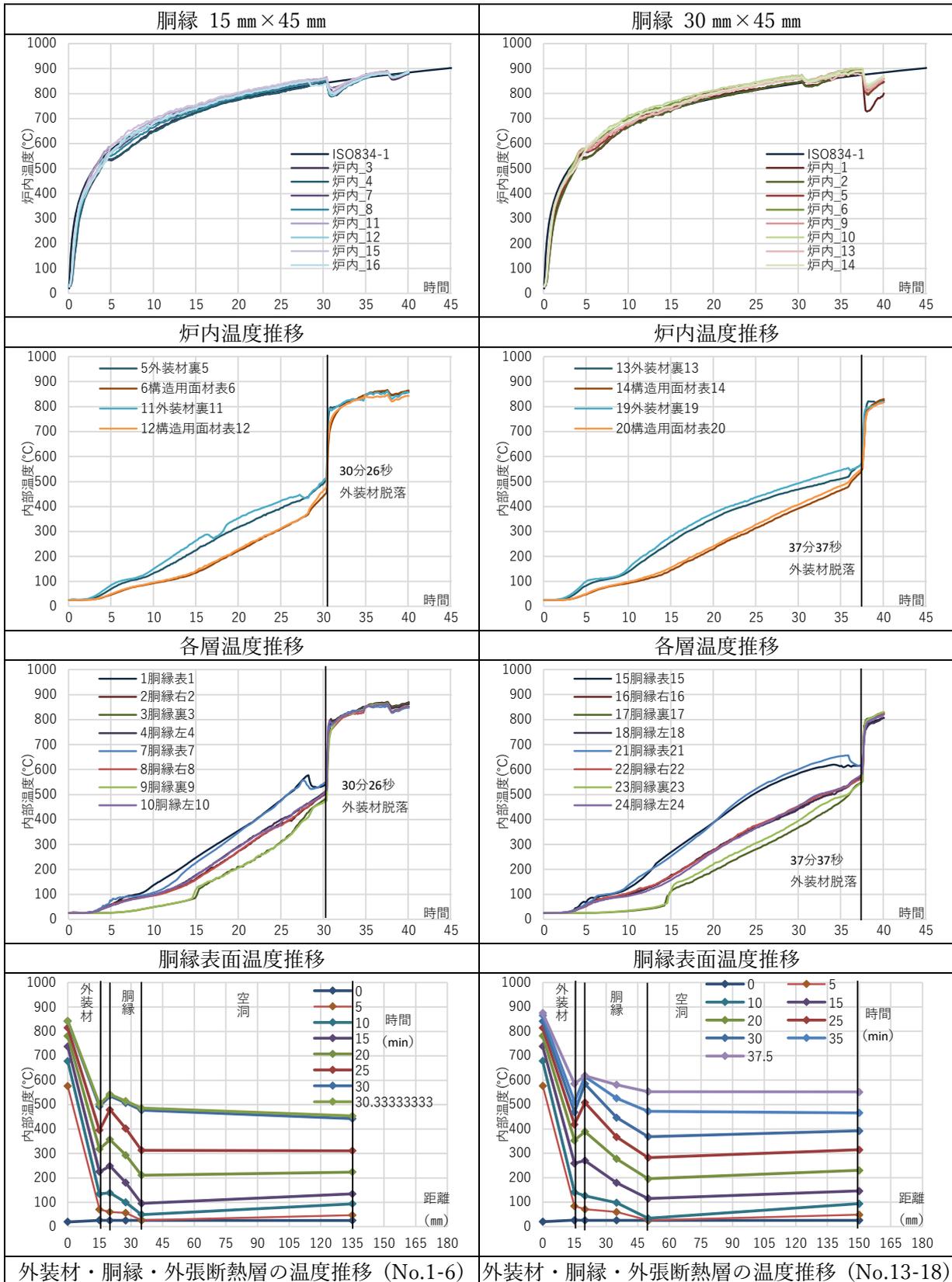
各層構成図

試験記録

試験体 B-1

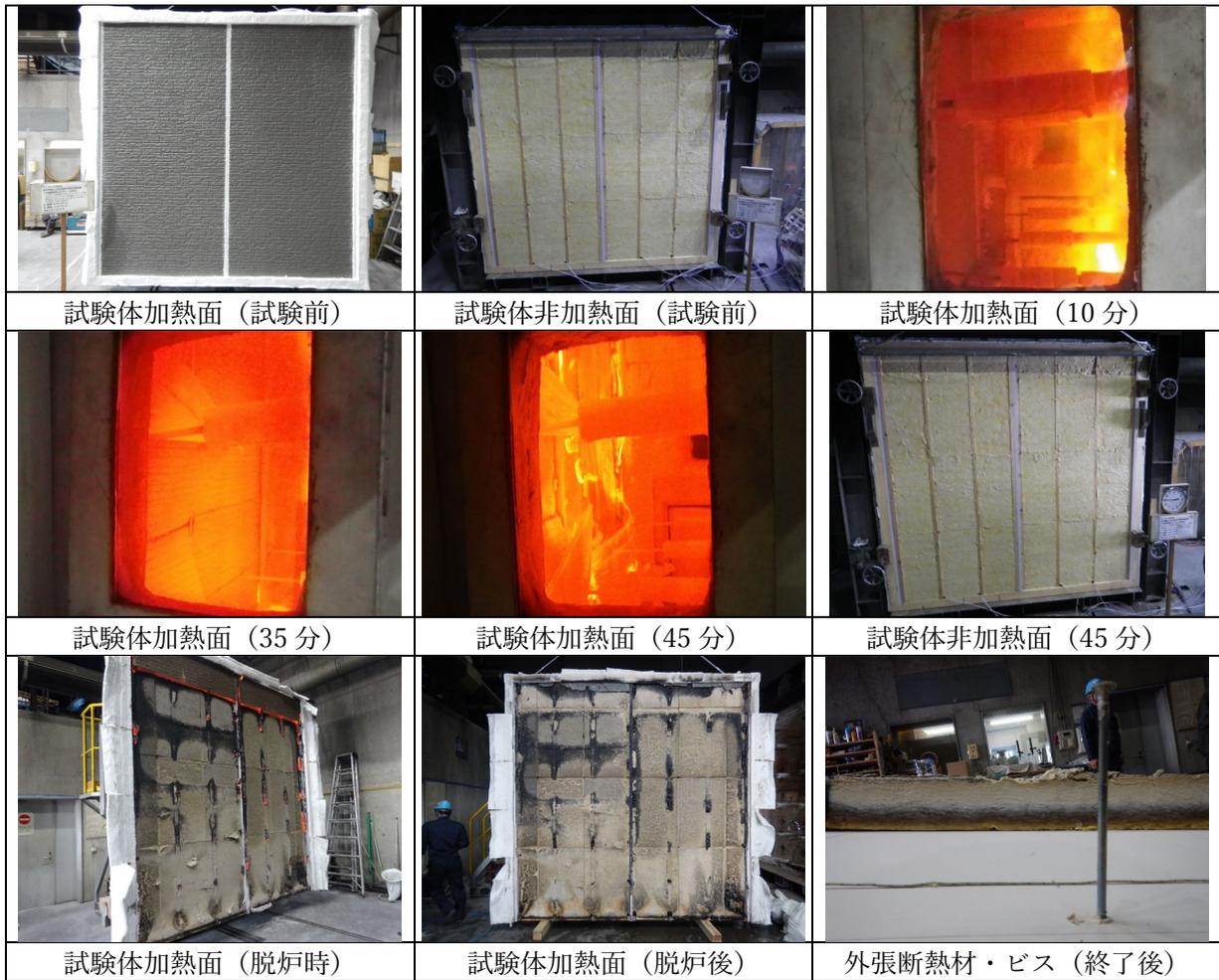
試験年月日	令和 5年 7月21日 14時07分 ~ 14時52分
加熱方向	屋外側加熱
試験結果	27分50秒頃 胴縁15mm試験体 外装材が炉側へはらみ出す 30分26秒 胴縁15mm試験体 外装材脱落開始 37分37秒 胴縁30mm試験体 外装材脱落開始 40分00秒 加熱終了

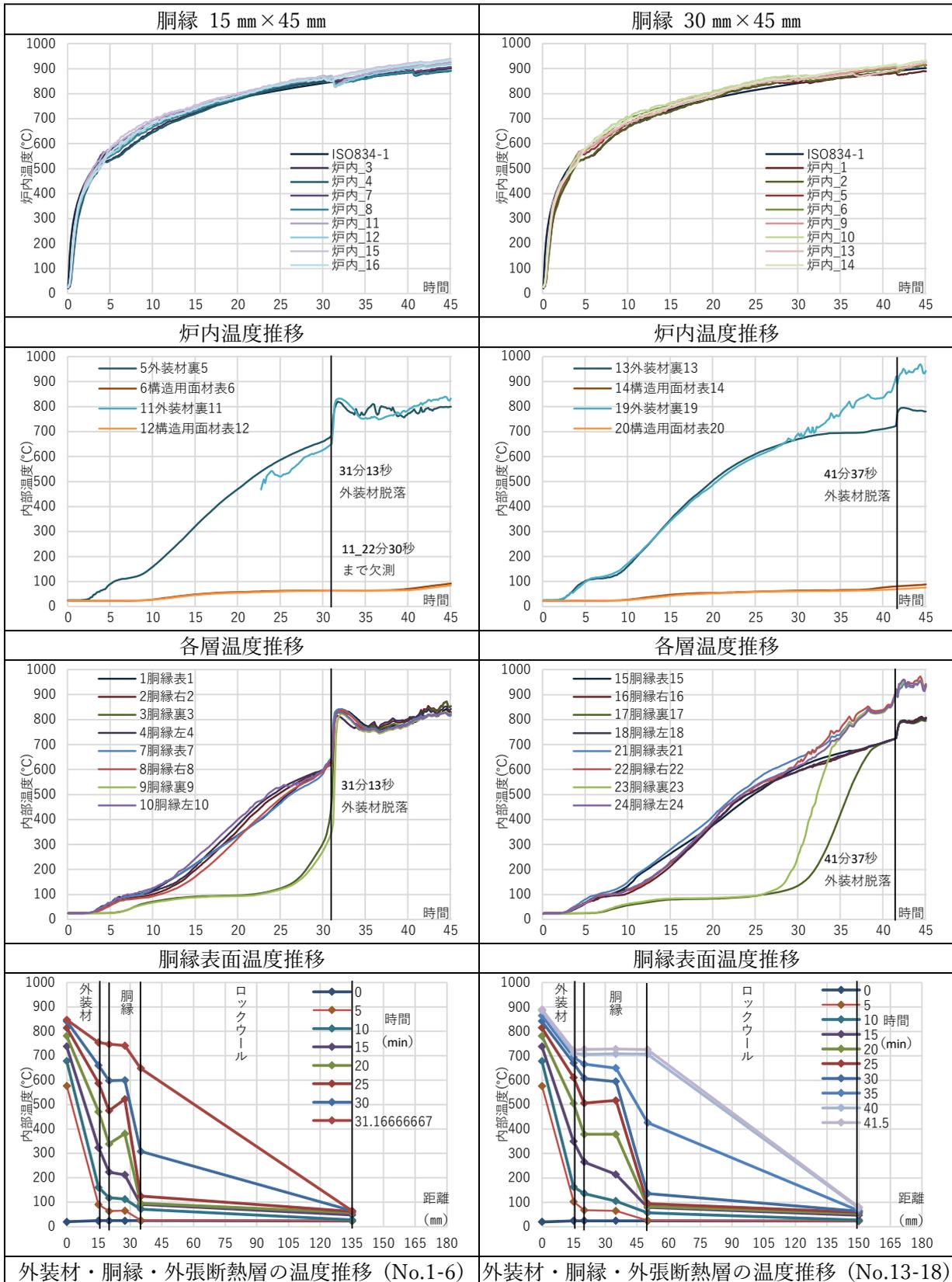




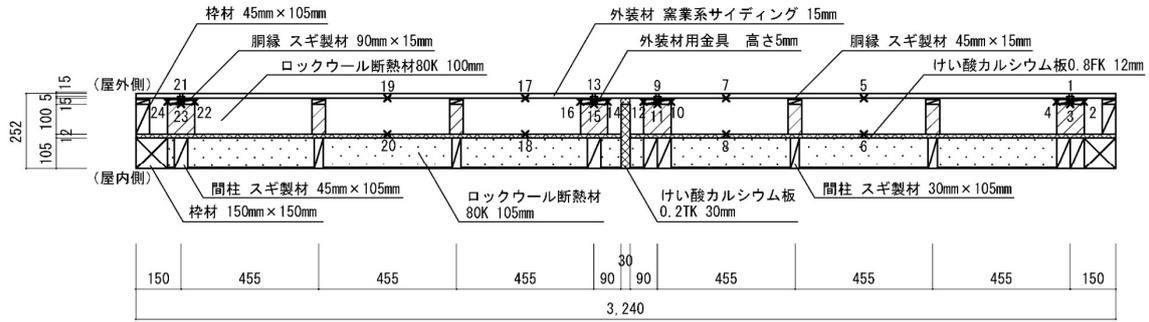


試験年月日	令和 5年 7月20日 14時07分 ~ 14時52分
加熱方向	屋外側加熱
試験結果	2 9 分 3 0 秒頃 胴縁 15 mm 試験体 外装材が炉側へはらみ出す 3 1 分 1 3 秒 胴縁 15 mm 試験体 外装材脱落開始 4 1 分 3 7 秒 胴縁 30 mm 試験体 外装材脱落開始 4 5 分 0 0 秒 加熱終了





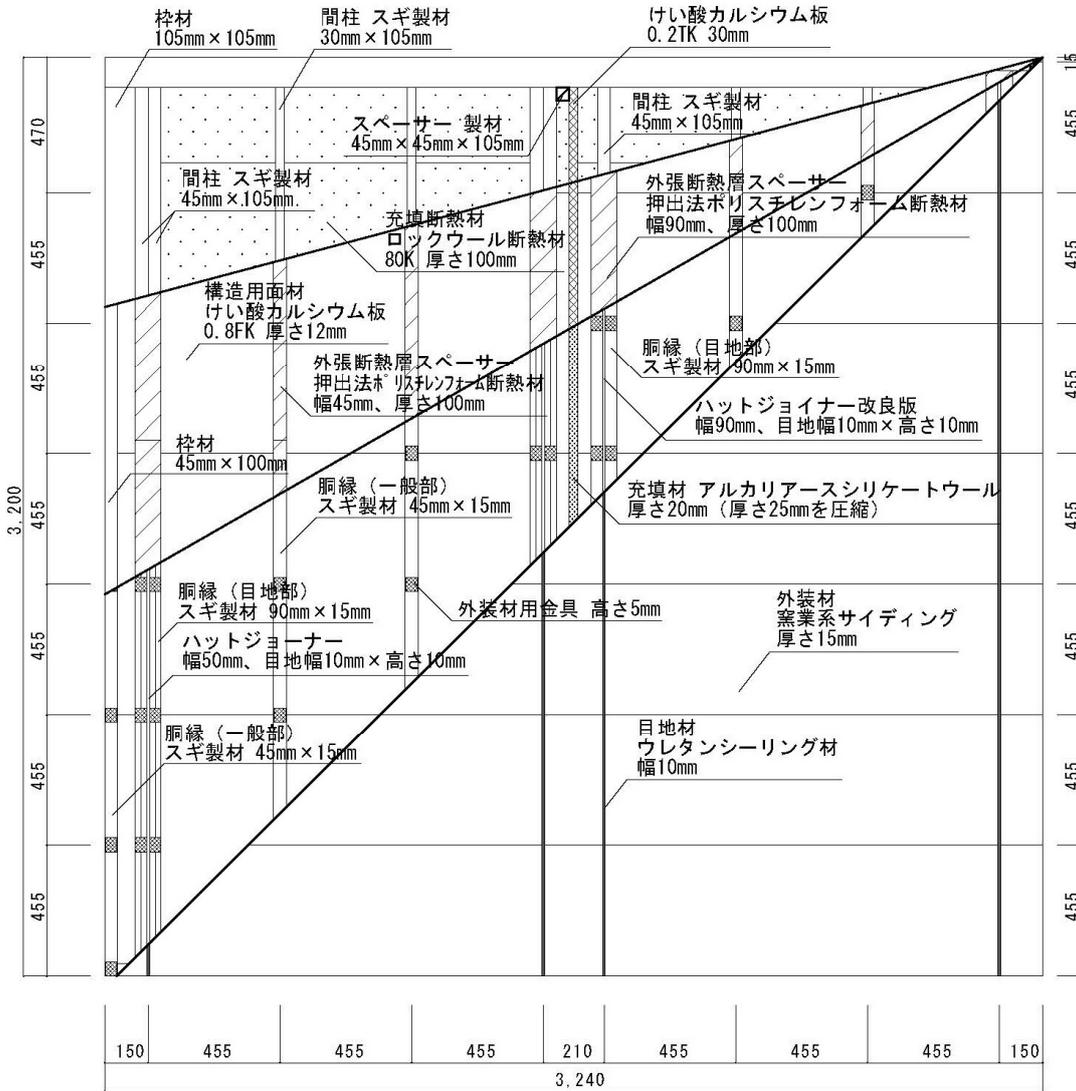
試験体仕様	ロックウール断熱材 (100 mm) 充てん／窯業系サイディング (15 mm)・中空層 (100 mm)・けい酸カルシウム板 (12 mm) 表張／木製下地外壁
-------	-----------------------------------------------------------------------------------



金具を柱へ直接留め

ハット型ジョイナーの改良

水平断面図



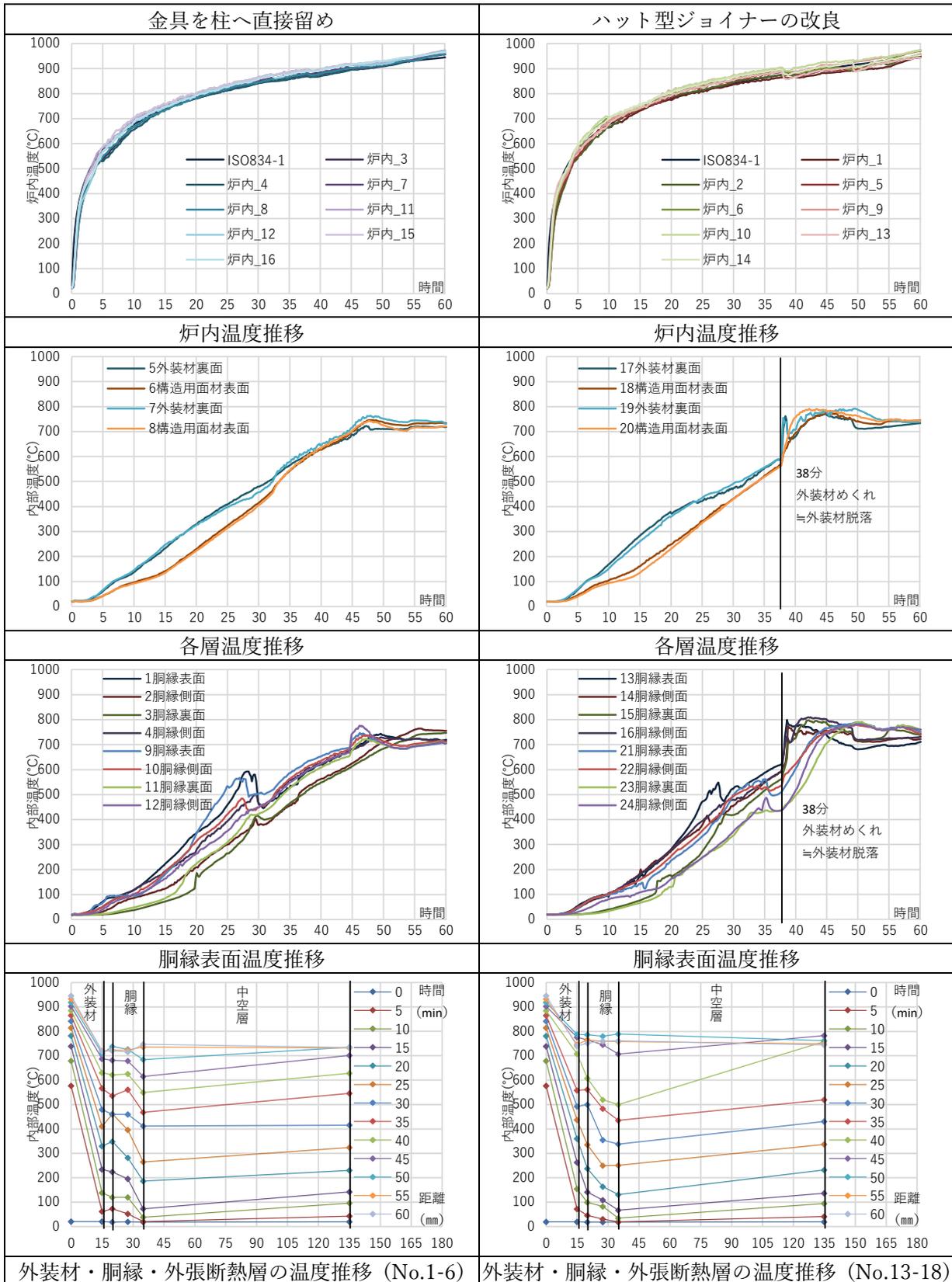
各層構成図

試験記録

試験体 B-3

試験年月日	令和 6年 6月26日 13時25分 ~ 14時25分	
加熱方向	屋外側加熱	
試験結果	38分 44分40秒 60分00秒	ハット型ジョイナー改良 外装材1枚目めくれ脱落 ≡脱落 試験体中央部（境界部の小片）の外装材が脱落 53分46秒2枚目 加熱終了

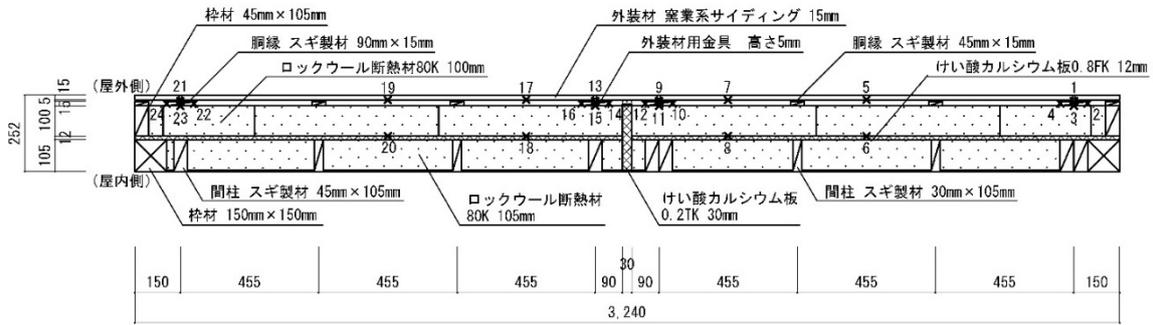




外装材・胴縁・外張断熱層の温度推移 (No.1-6)

外装材・胴縁・外張断熱層の温度推移 (No.13-18)

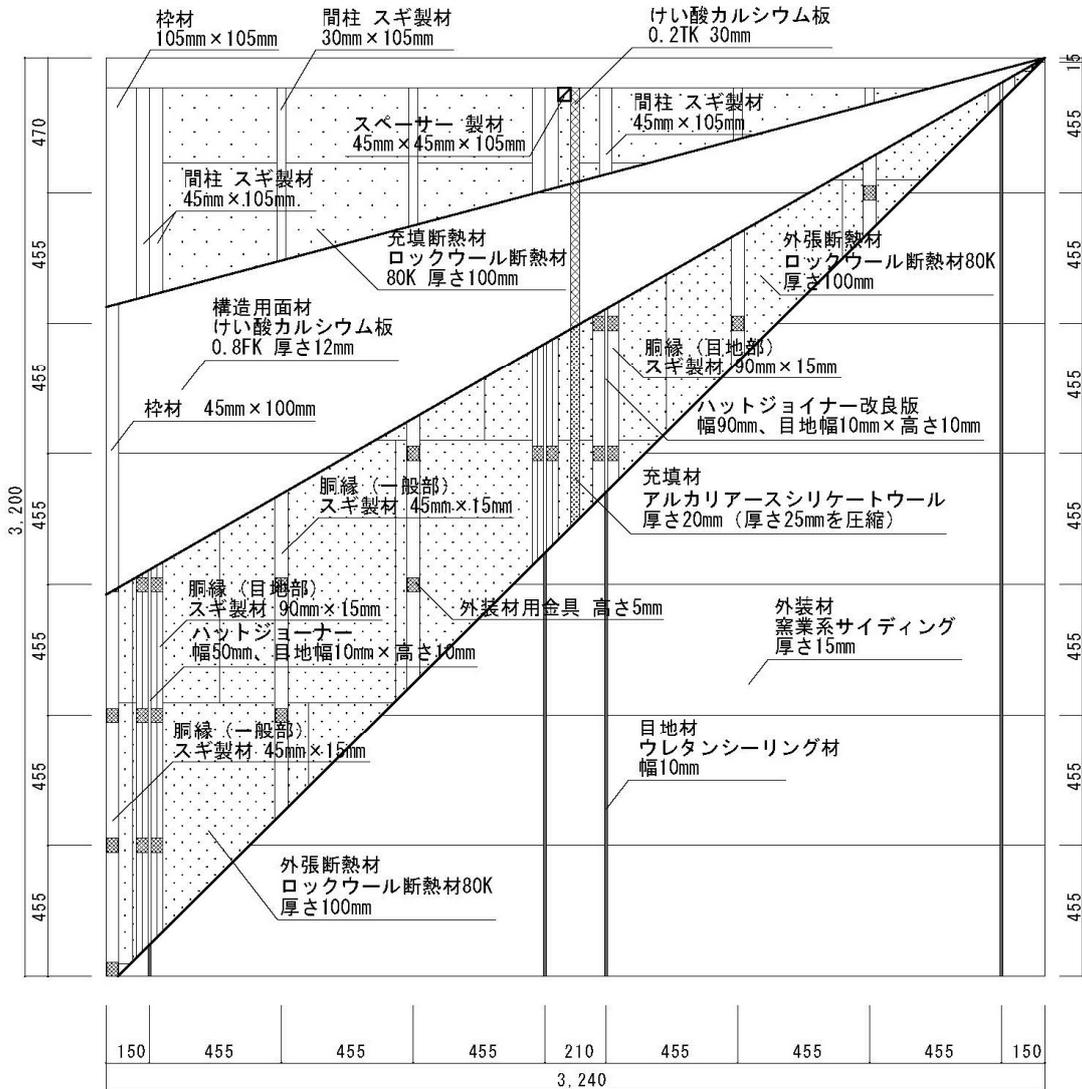
試験体仕様	ロックウール断熱材 (100 mm) 充てん／窯業系サイディング (15 mm)・ロックウール断熱材 (100 mm)・けい酸カルシウム板 (12 mm) 表張／木製下地外壁
-------	-----------------------------------------------------------------------------------------



金具を柱へ直接留め

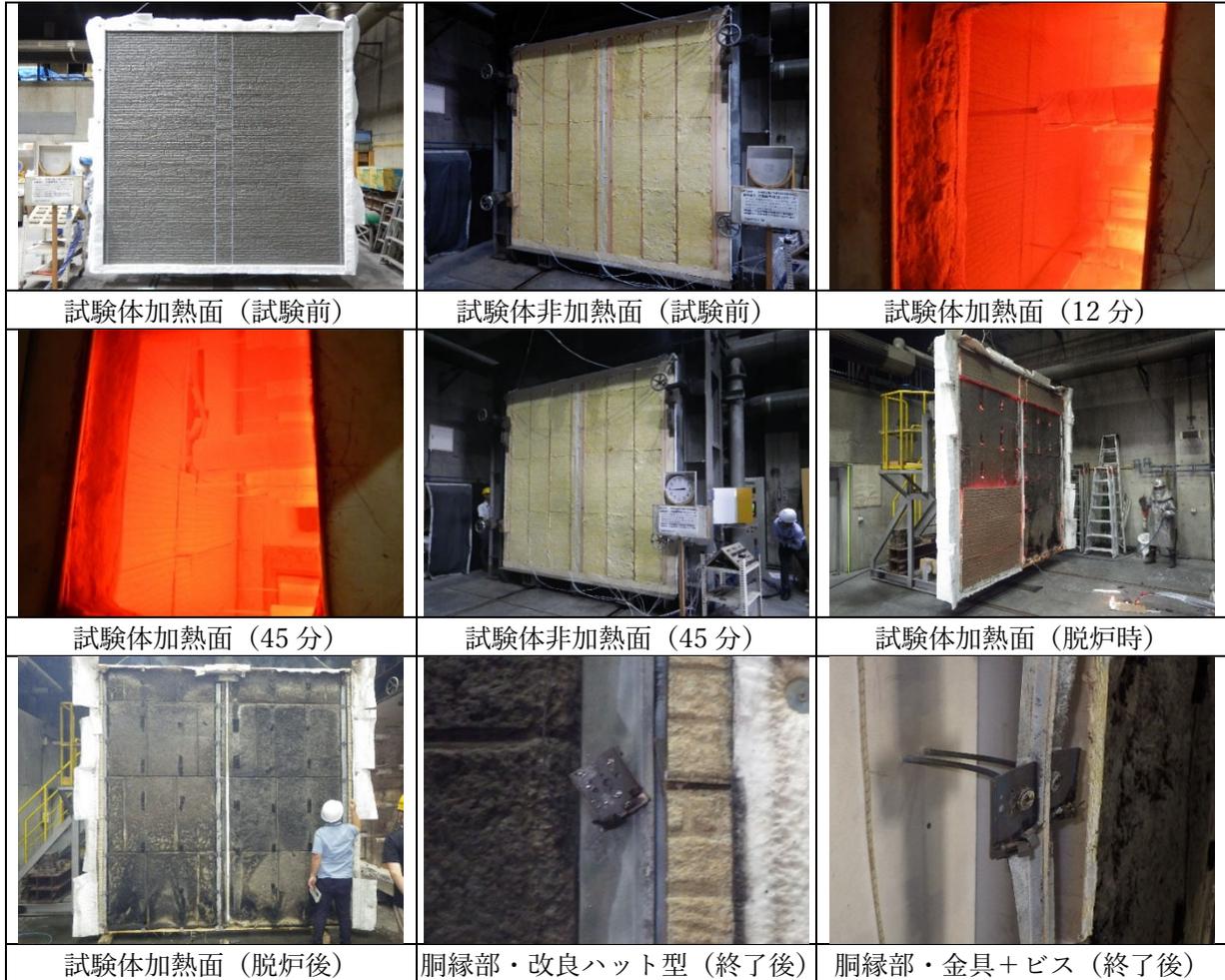
ハット型ジョイナーの改良

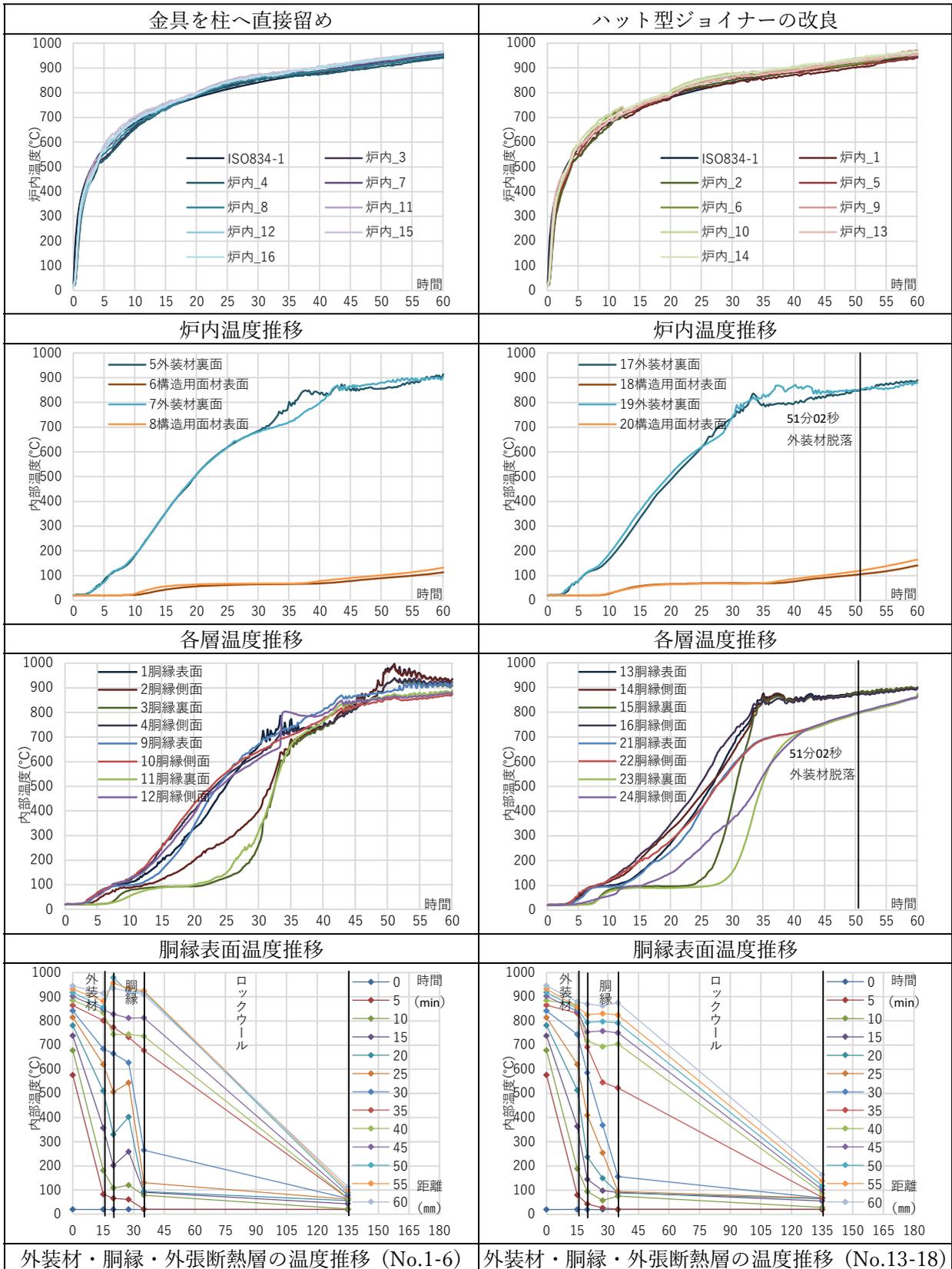
水平断面図



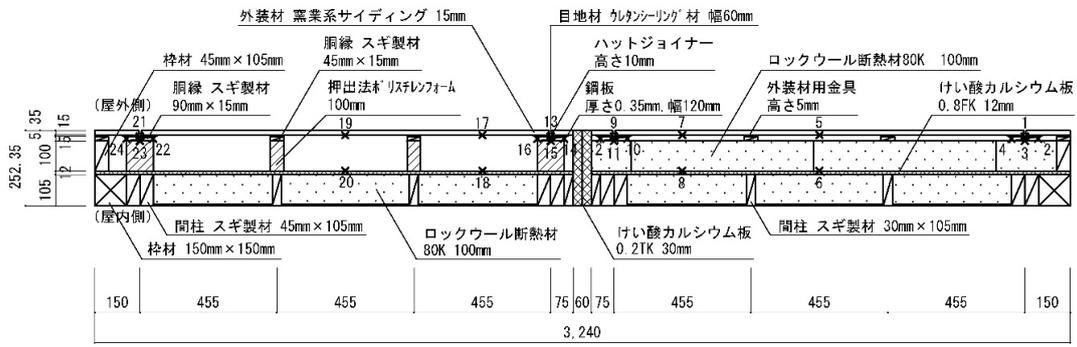
各層構成図

試験年月日	令和 6年 6月25日 14時20分 ~ 15時20分	
加熱方向	屋外側加熱	
試験結果	28分	試験体中央部（境界部の小片）の外装材が脱落 29分、33分
	51分02秒	ハット型ジョイナーの改良 外装材1枚目脱落
	53分04秒	ハット型ジョイナーの改良 外装材2枚目,3枚目脱落
	60分00秒	加熱終了



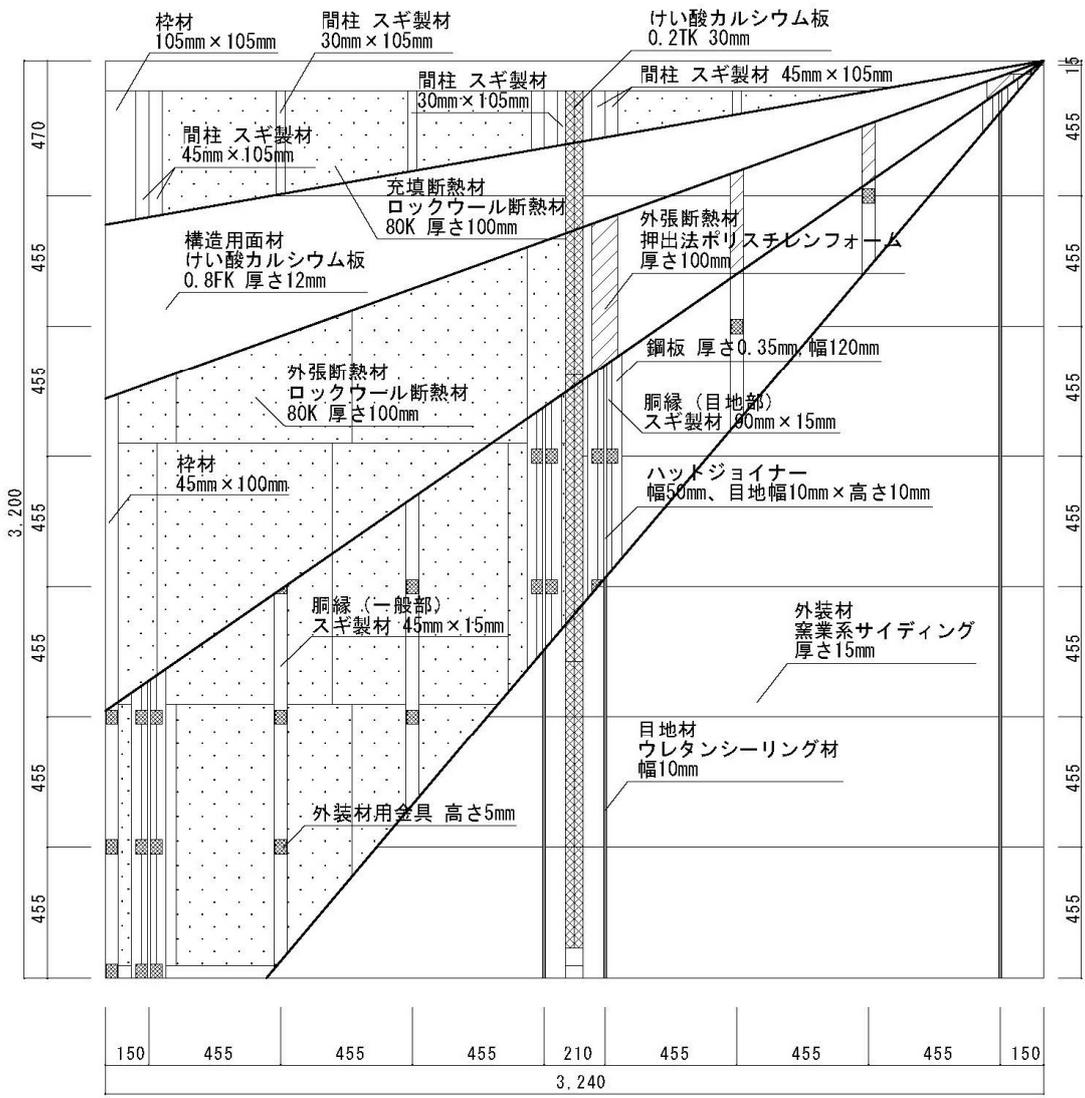


試験体仕様	ロックウール断熱材 (100 mm) 充てん／窯業系サイディング (15 mm)・中空層 or ロックウール断熱材 (100 mm)・けい酸カルシウム板 (12 mm) 表張／木製下地外壁
-------	------------------------------------------------------------------------------------------------



胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め 胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め  
 外張断熱層 中空層 外張断熱層 ロックウール断熱材

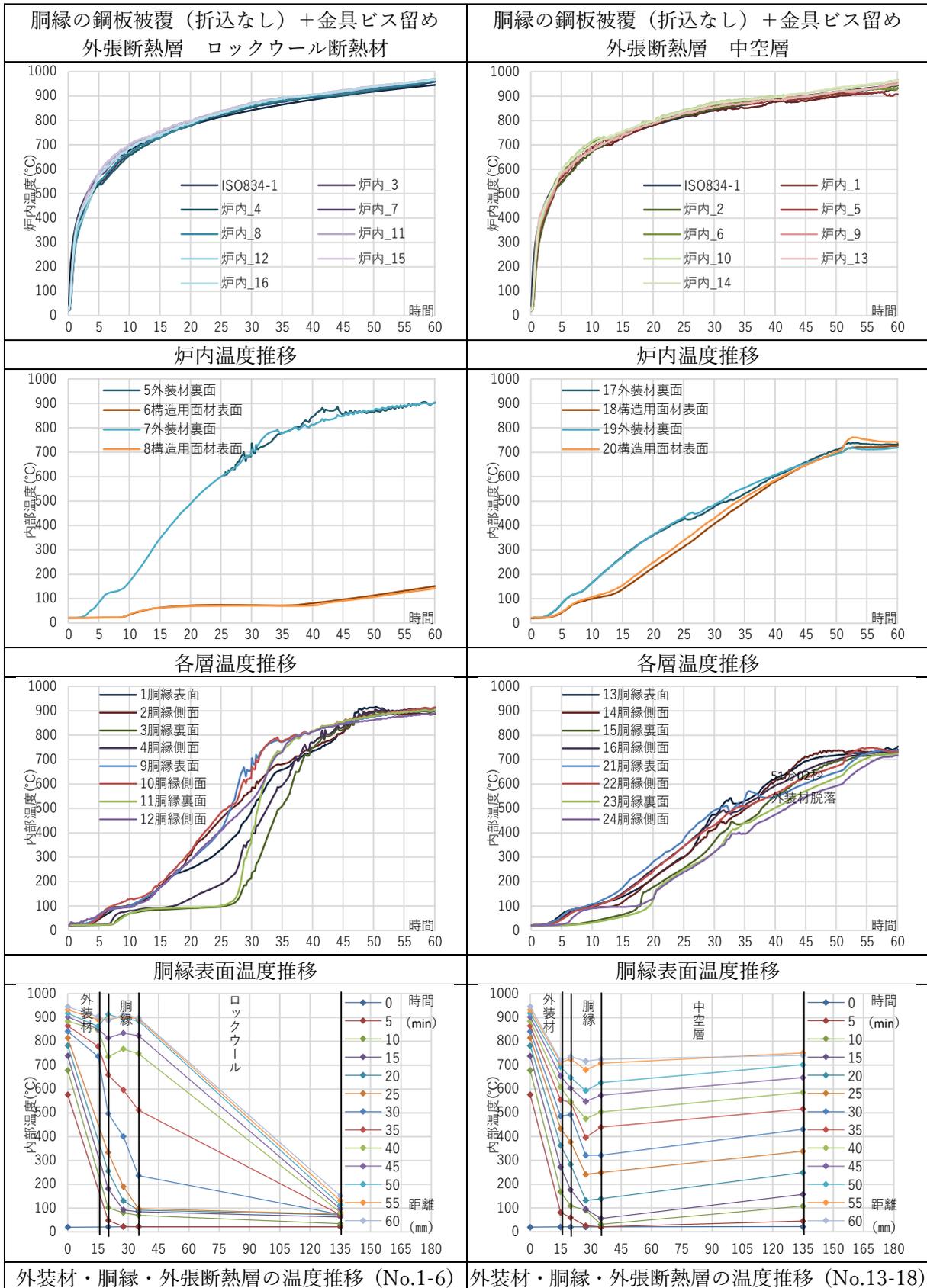
水平断面図



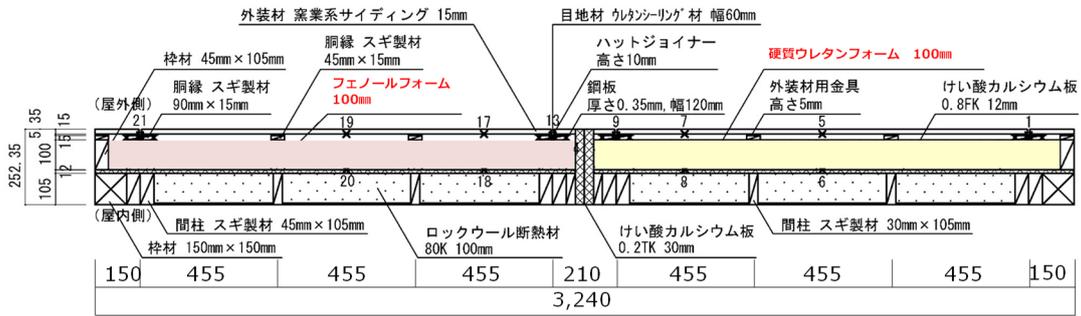
各層構成図

試験年月日	令和 6年 9月27日 13時23分 ~ 14時23分	
加熱方向	屋外側加熱	
試験結果	3 1分	外装材表面が少し波打つ。鋼板が熱変形より外装材を押し上げる。
	3 6分 3 0秒	ロックウール 中央部の外装材小片が外れ脱落する。39分 50秒 2枚目
	4 5分	表面の凹凸は大きい。中央部の小片以外、外装材の脱落なし。
	5 1分	外張なし 上段にて外装材が大きく変形。四隅の金具で支える状態。
	6 0分 0 0秒	加熱終了。中央部の小片以外、外装材の脱落なし。

試験体加熱面 (試験前)	試験体非加熱面 (試験前)	試験体加熱面 (43分)
試験体加熱面 (45分)	試験体加熱面 (脱炉後)	試験体加熱面 (終了後)
ロックウール側 (終了後)	なし (中空層) 側 (終了後)	なし (中空層) 側 (終了後)



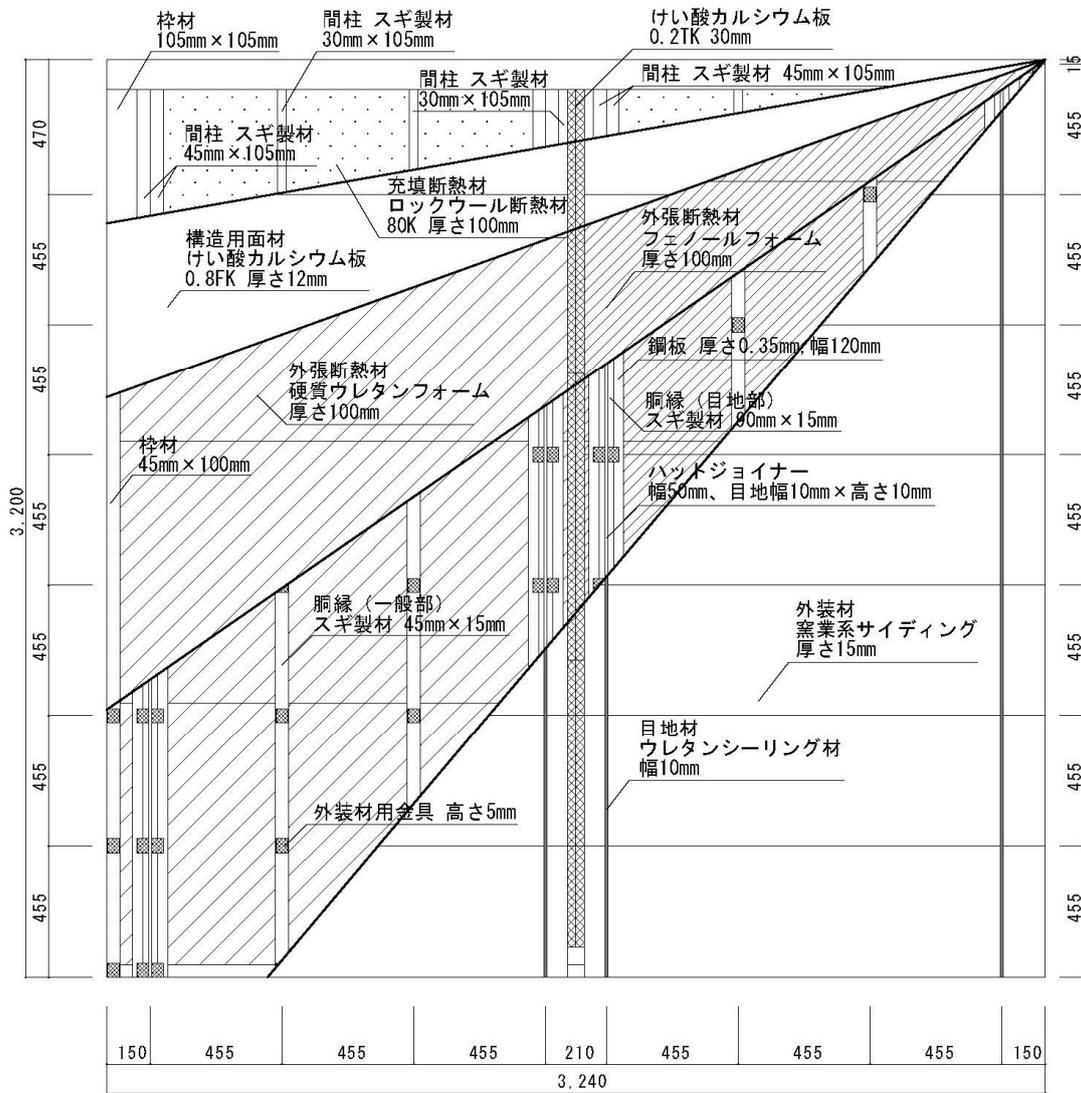
試験体仕様	ロックウール断熱材 (100 mm) 充てん/窯業系サイディング (15 mm) ・フェノールフォーム断熱材 or 硬質ウレタンフォーム断熱材 (100 mm) ・けい酸カルシウム板 (12 mm) 表張/木製下地外壁
-------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------



胴縁の鋼板被覆 (折込あり) + 金具ビス留め  
 外張断熱層 フェノールフォーム断熱材

胴縁の鋼板被覆 (折込あり) + 金具ビス留め  
 外張断熱層 硬質ウレタンフォーム断熱材

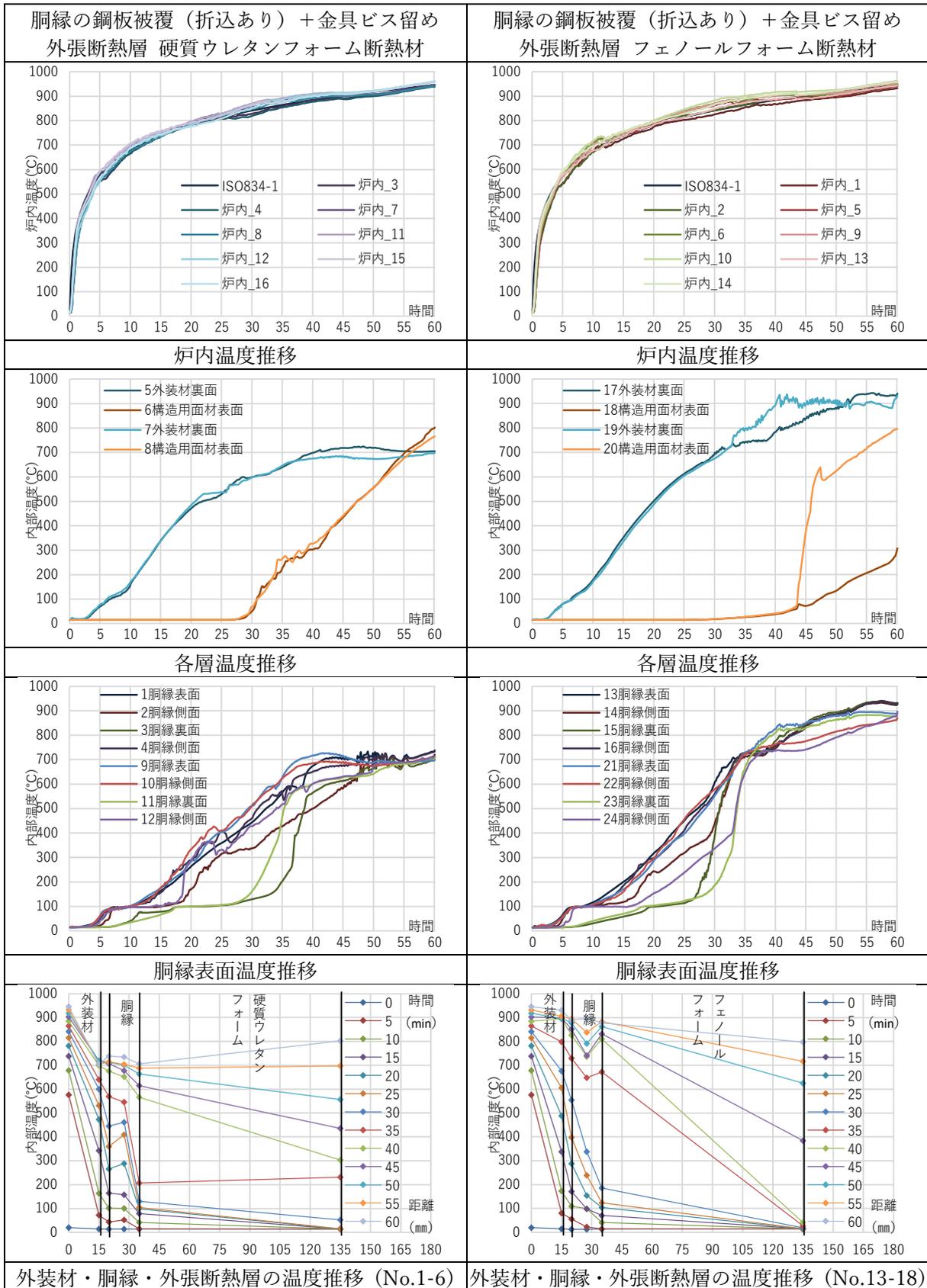
水平断面図



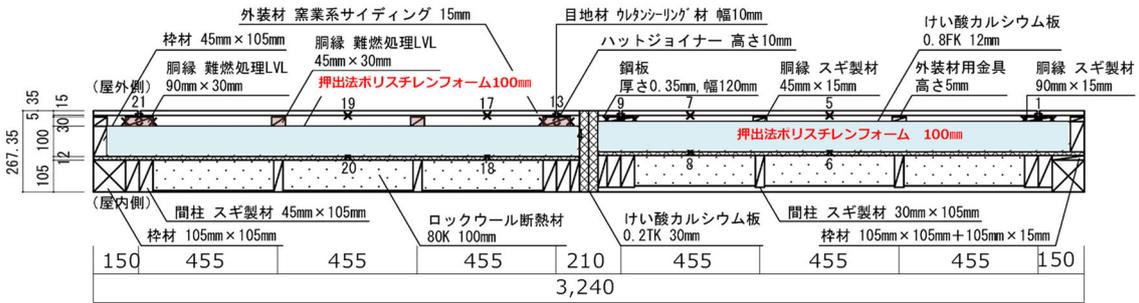
各層構成図

試験年月日	令和 6年11月14日 10時04分 ~ 11時04分
加熱方向	屋外側加熱
試験結果	16分30秒 硬質ウレタンフォーム 中央たて目地はらみ, 鋼板の伸び 17分30秒 炉内観察不可 試験終了まで 26分, 27分20秒, 27分53秒 炉下ピットからボコ音, 可燃性ガスの燃焼 60分00秒 加熱終了。両者ともに脱落なし。脱落がない点は目視で確認, 写真撮影はできず。

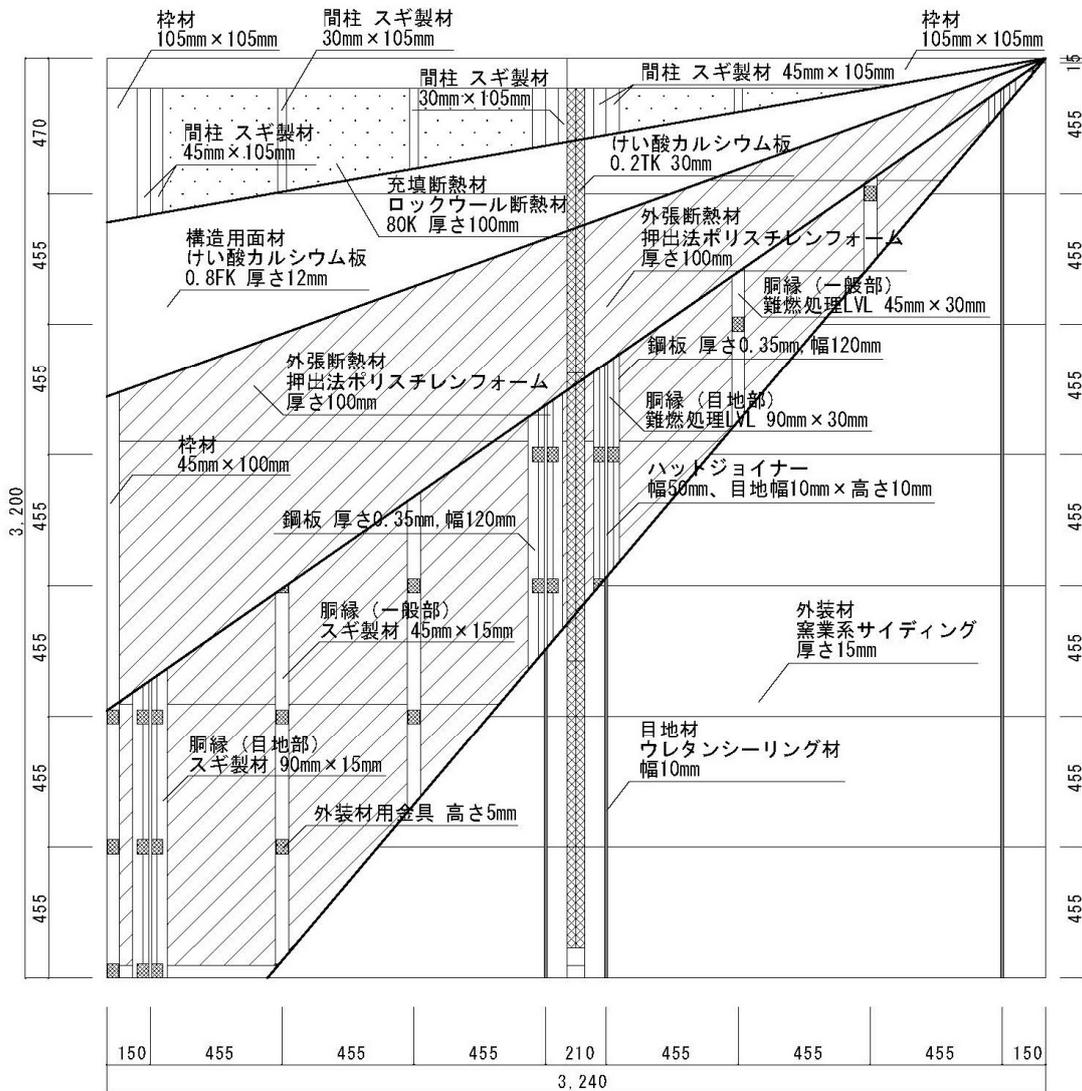




試験体仕様	ロックウール断熱材 (100 mm) 充てん／窯業系サイディング (15 mm) ・押出法ポリスチレンフォーム断熱材 (100 mm) ・けい酸カルシウム板 (12 mm) 表張／木製下地外壁
-------	--------------------------------------------------------------------------------------------------



難燃 LVL 胴縁 30 mm × 45 mm  
 胴縁の鋼板被覆（折込あり）＋金具ビス留め  
 外張断熱層押出法ポリスチレンフォーム断熱材  
 外張断熱層 押出法ポリスチレンフォーム断熱材  
 水平断面図



各層構成図

試験記録

試験体 B-7

試験年月日	令和 6年11月18日 13時34分 ~ 14時34分
加熱方向	屋外側加熱
試験結果	15分、20分 鋼板被覆側の外装材、横目地がわずかだが徐々に開く 27分19秒 鋼板被覆側の外装材が脱落 以降、炉内観察不可 試験終了まで 45分00秒 加熱終了。難燃 LVL 胴縁側は脱落なし



試験体加熱面 (試験前)



試験体非加熱面 (試験前)



試験体加熱面 (10分)



試験体加熱面 (脱炉後)



試験体加熱面 (終了後)



試験体加熱面 (終了後)



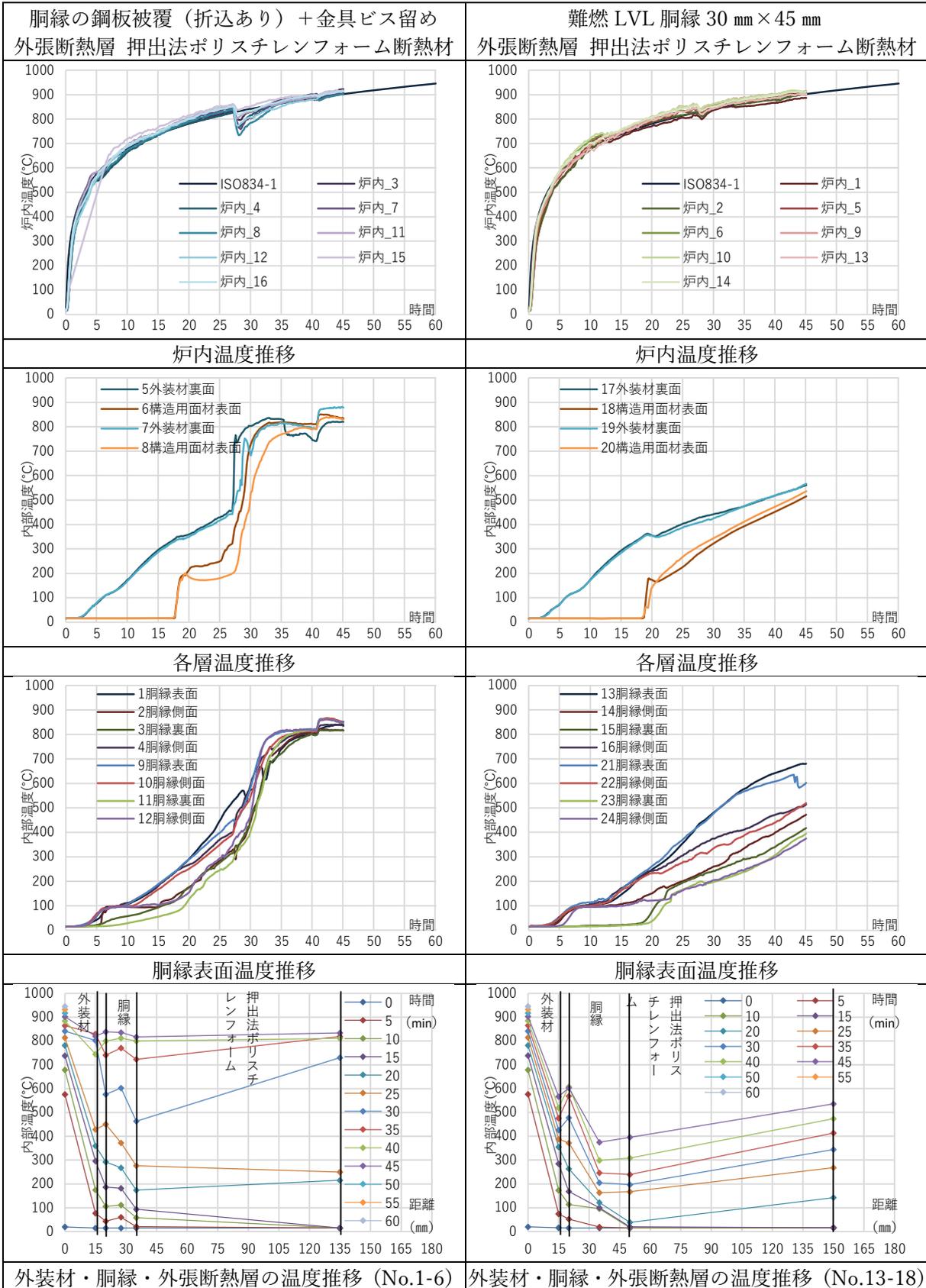
鋼板被覆側 (終了後)



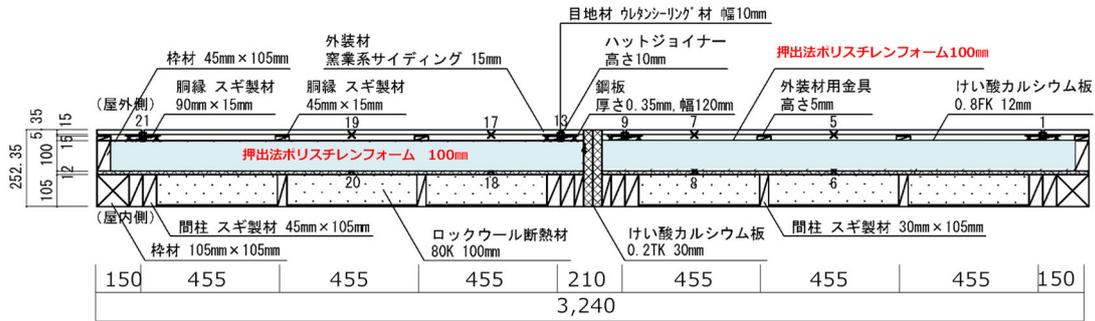
鋼板被覆側 (終了後)



難燃 LVL 胴縁側 (終了後)



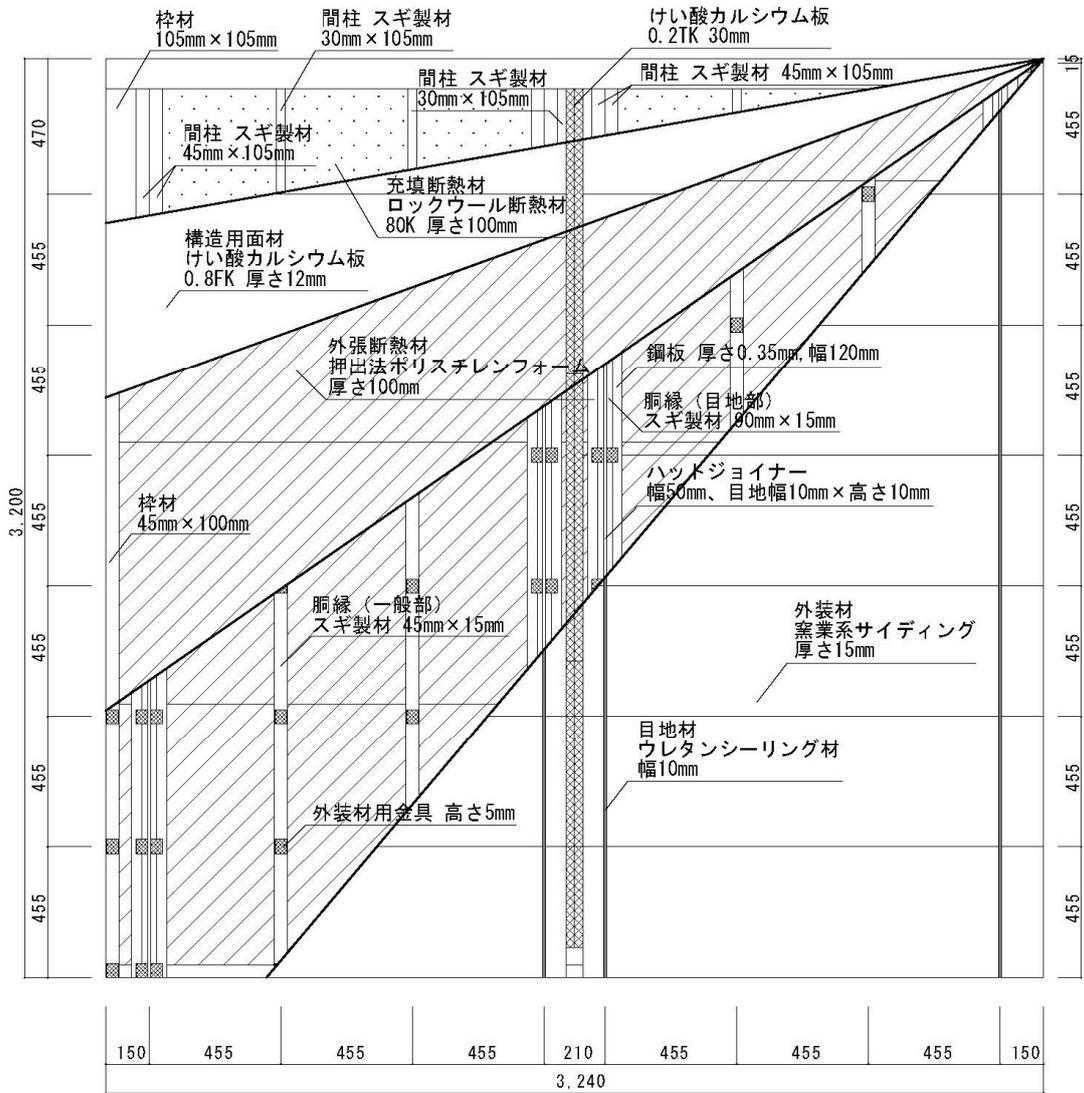
試験体仕様	ロックウール断熱材 (100 mm) 充てん／窯業系サイディング (15 mm) ・押出法ポリスチレンフォーム断熱材 (100 mm) ・けい酸カルシウム板 (12 mm) 表張／木製下地外壁
-------	--------------------------------------------------------------------------------------------------



胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め + ビス間隔 227.5 mm, 胴縁の鋼板被覆 (折込なし) + 金具ビス留め + ビス間隔 455 mm

外張断熱層 押出法ポリスチレンフォーム断熱材 外張断熱層 押出法ポリスチレンフォーム断熱材

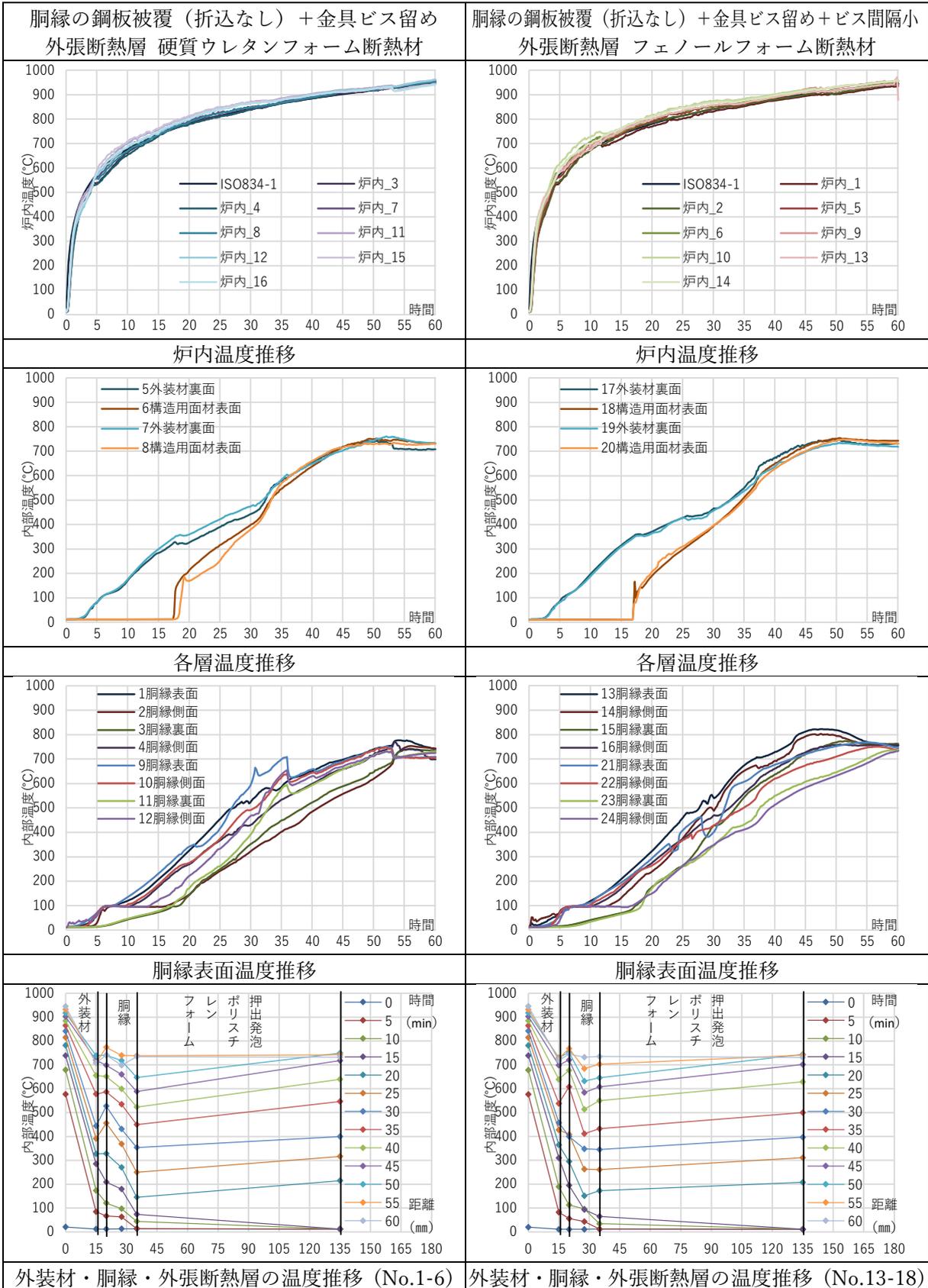
水平断面図



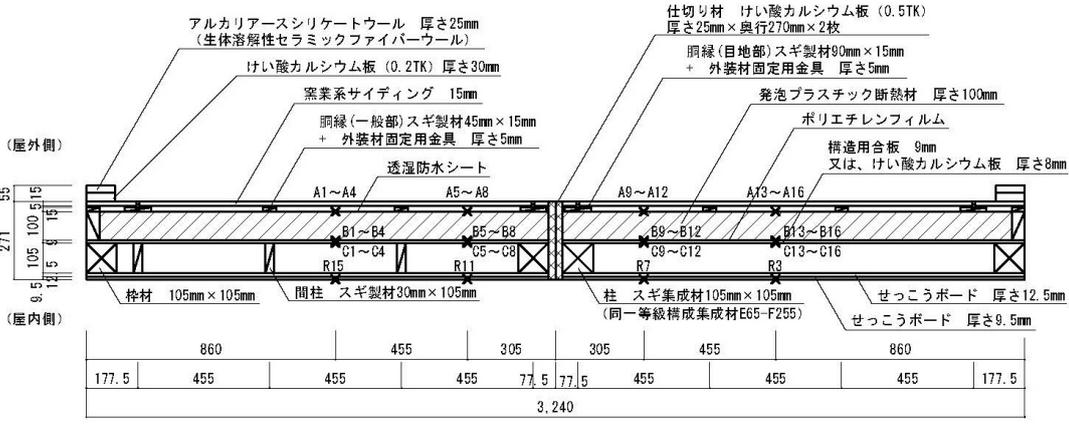
各層構成図

試験年月日	令和 7年 2月17日 13時40分 ~ 14時40分	
加熱方向	屋外側加熱	
試験結果	23分30秒	外装材目地部にうき
	27分20秒	中央部の小片、一片が炉側に凸でくの字に折れる。
	31分30秒	炉内観察不可 試験終了まで。この時点で外装材の脱落なし
	60分00秒	加熱終了。両者ともに脱落なし。脱落がない点は目視で確認、写真撮影はできず。



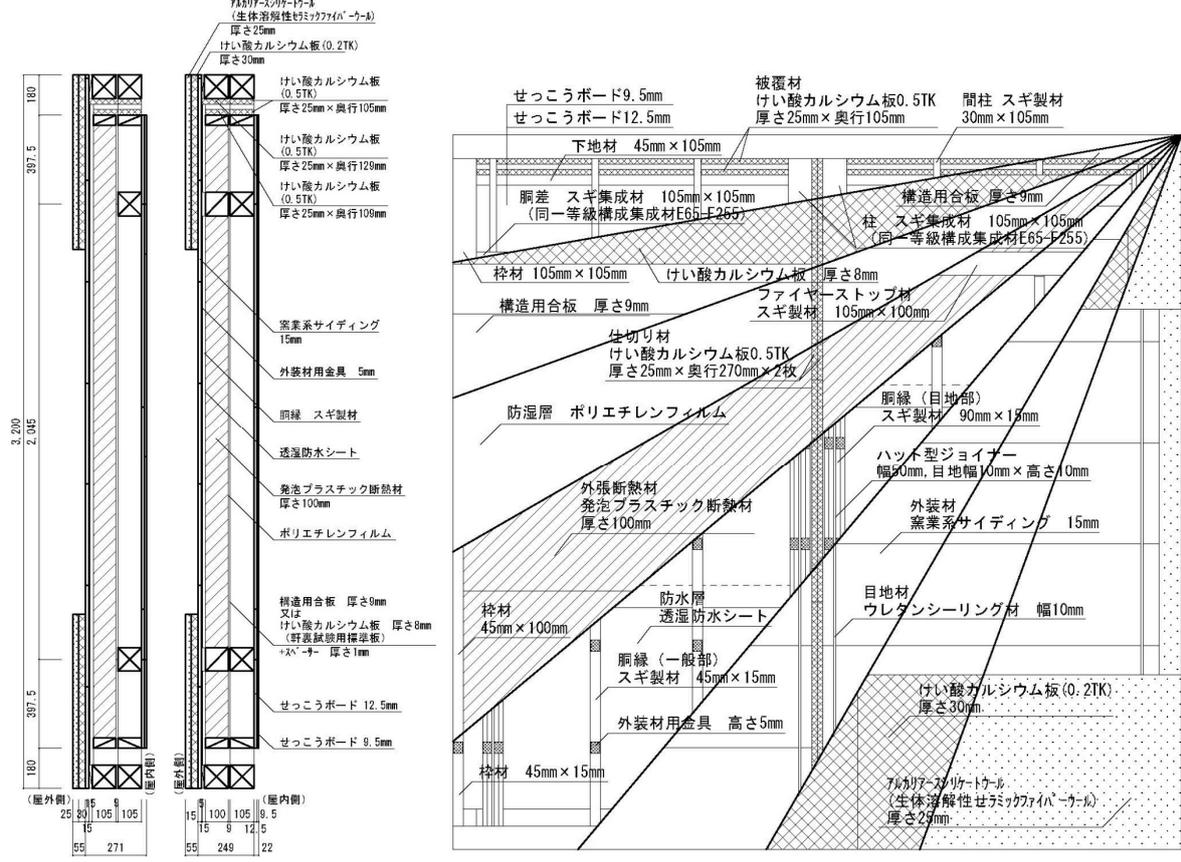


試験体仕様	窯業系サイディング (15 mm) ・ 押出法ポリスチレンフォーム断熱材 (100 mm) ・ 構造用合板 (9 mm) or けい酸カルシウム板 (8 mm) 表張/せっこうボード (12.5 mm ・ 9.5 mm) 重裏張/木製軸組造外壁
-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



※発泡プラスチック断熱材 押出法ポリスチレンフォーム断熱材, FS ファイヤーストップ材 鋼板製通気役物

水平断面図

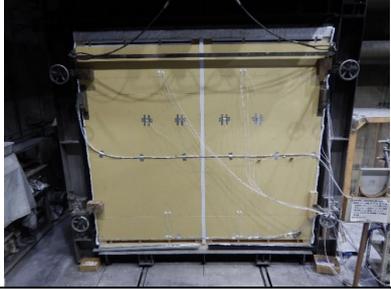
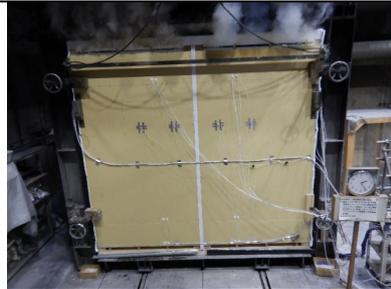


鉛直断面図

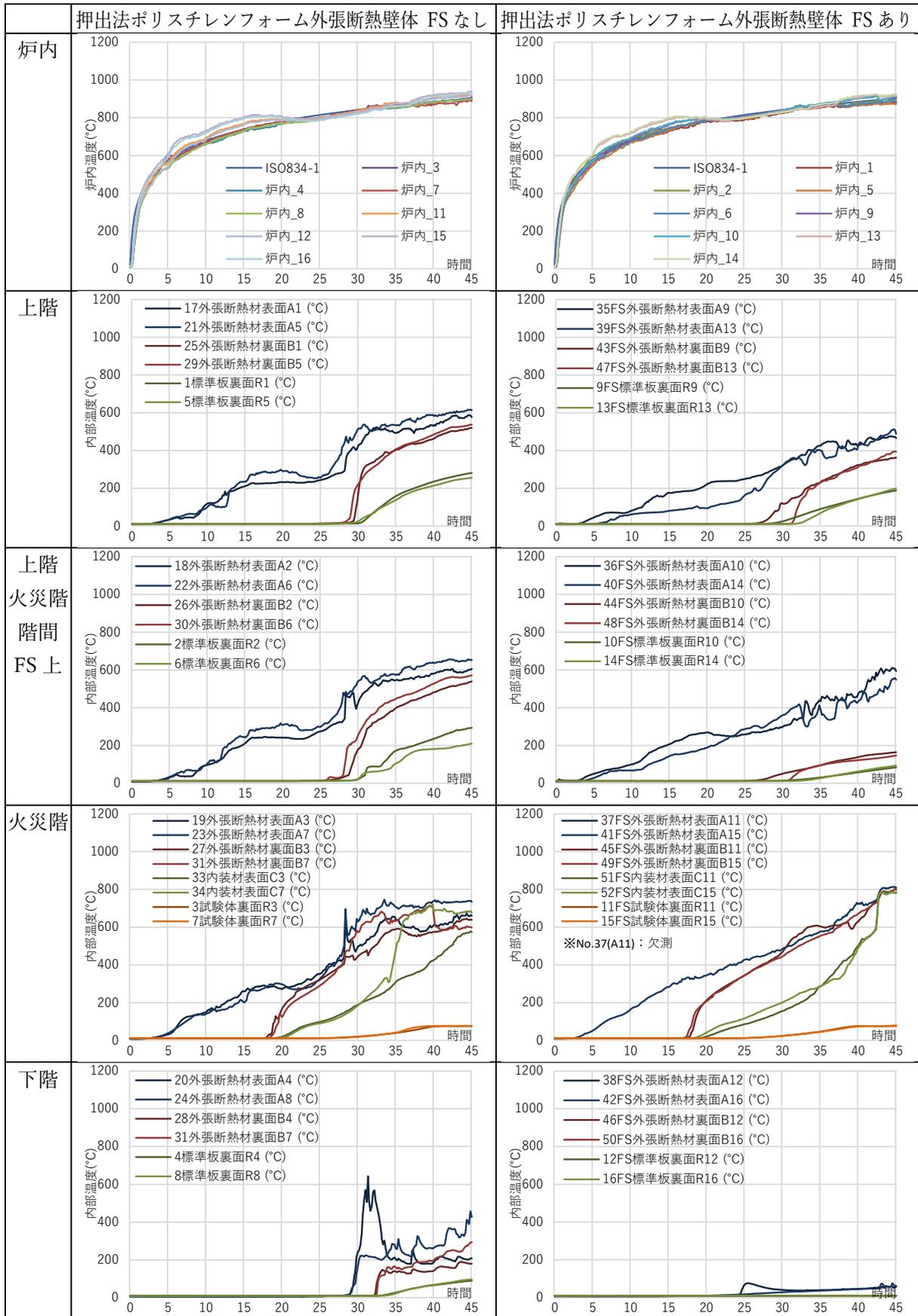
各層構成図

試験年月日	令和 5年 1月18日 14時13分 ~ 14時58分	
加熱方向	屋外側加熱	
試験結果	2分40秒	FSあり：上部通気層出口より発煙
	3分10秒	FSなし：上部通気層出口より発煙
	2分7頃	FSあり：外装材中央部小片脱落
	2分8分00秒	FSなし：外装材中央部小片脱落
	3分1分00秒	FSなし：下部通気層入口より内部で落下した火種、炎を確認。 燃え広がりはなし。
	3分2分00秒	FSなし：下部通気層入口より溶融したポリスチレンが漏れ出す。
	4分5分00秒	FSなし、FSあり：加熱終了。小片を除き外装材は脱落せず。

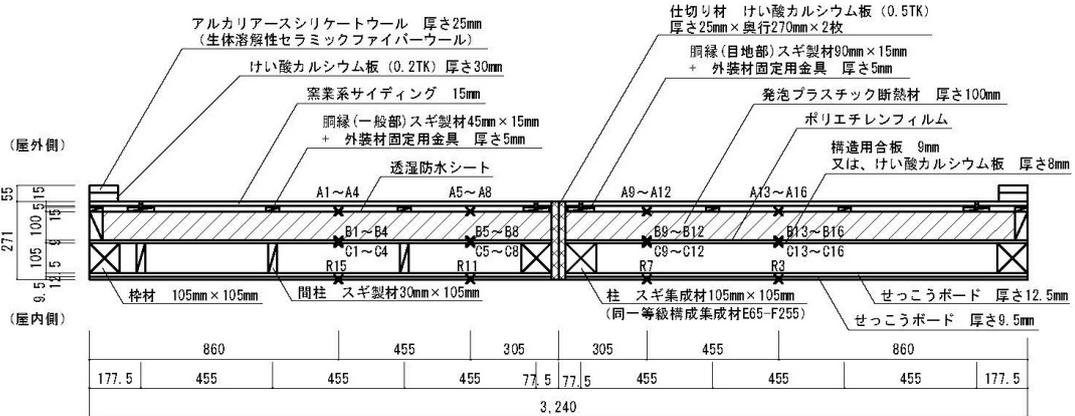
試験体加熱面 (試験前)	試験体加熱面 (5分)	試験体加熱面 (10分)
試験体加熱面 (15分)	試験体加熱面 (20分)	試験体加熱面 (25分)
試験体加熱面 (30分)	試験体加熱面 (35分)	試験体加熱面 (40分)
試験体加熱面 (45分)	試験体加熱面 (脱炉後)	試験体加熱面 (実験後)

		
試験体非加熱面 (試験前)	試験体非加熱面 (15分)	試験体非加熱面 (20分)
		
試験体非加熱面 (25分)	試験体非加熱面 (30分)	流れ出るポリスチレン樹脂 (30分)
		
試験体非加熱面 (35分)	試験体非加熱面 (40分)	試験体非加熱面 (45分)

		
FSなし 上階	FSなし 火災階	FSなし 下階
		
FSあり 上階	FSあり 火災階	FSあり 下階

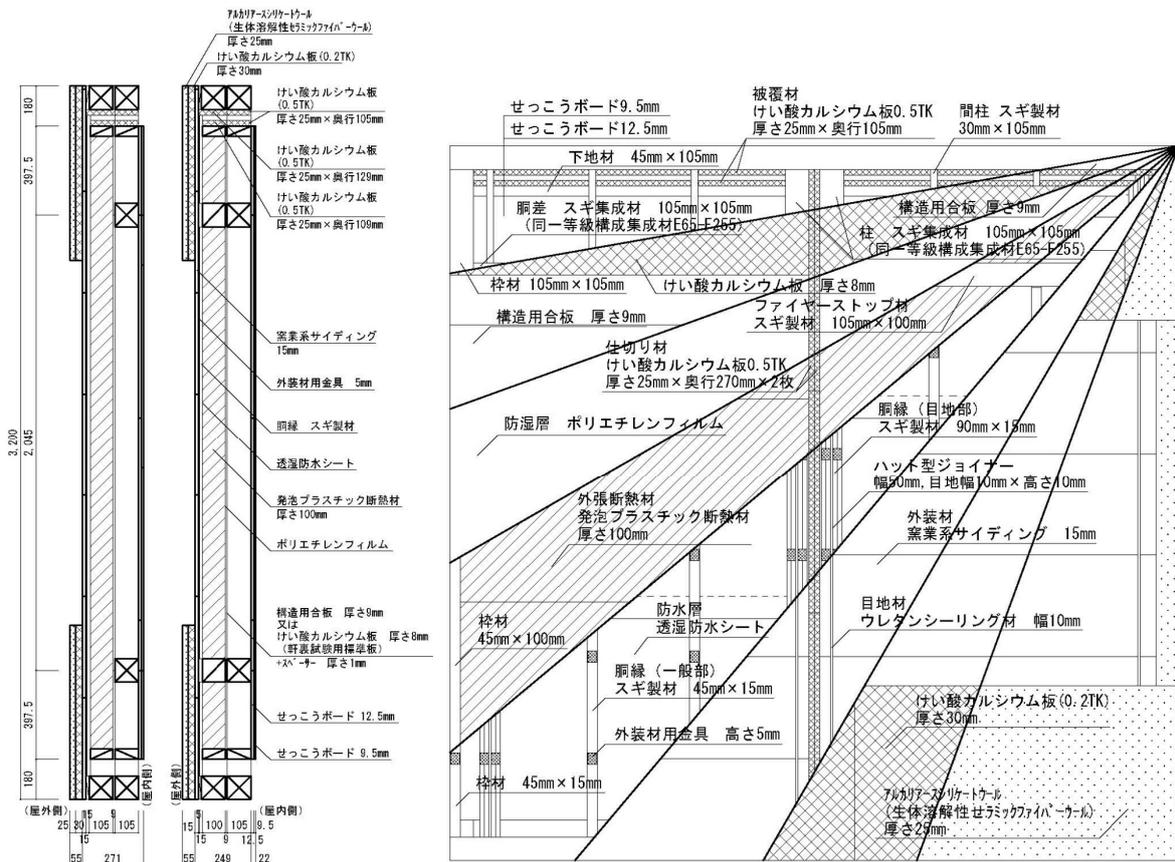


試験体仕様	窯業系サイディング (15 mm) ・硬質ウレタンフォーム断熱材 (100 mm) ・構造用合板 (9 mm) or けい酸カルシウム板 (8 mm) 表張/せっこうボード (12.5 mm・9.5 mm) 重裏張/木製軸組造外壁
-------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



※発泡プラスチック断熱材 硬質ウレタンフォーム断熱材, FS ファイヤーストップ材 鋼板製通気役物

水平断面図

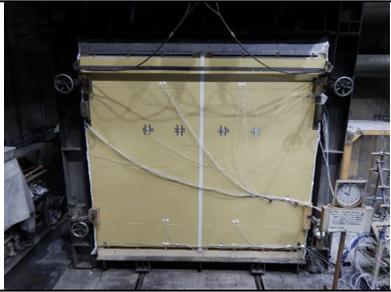
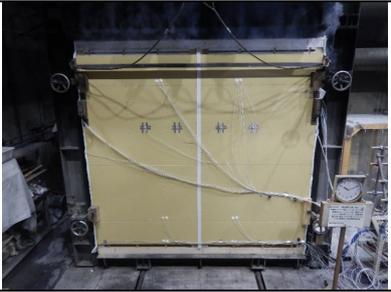


鉛直断面図

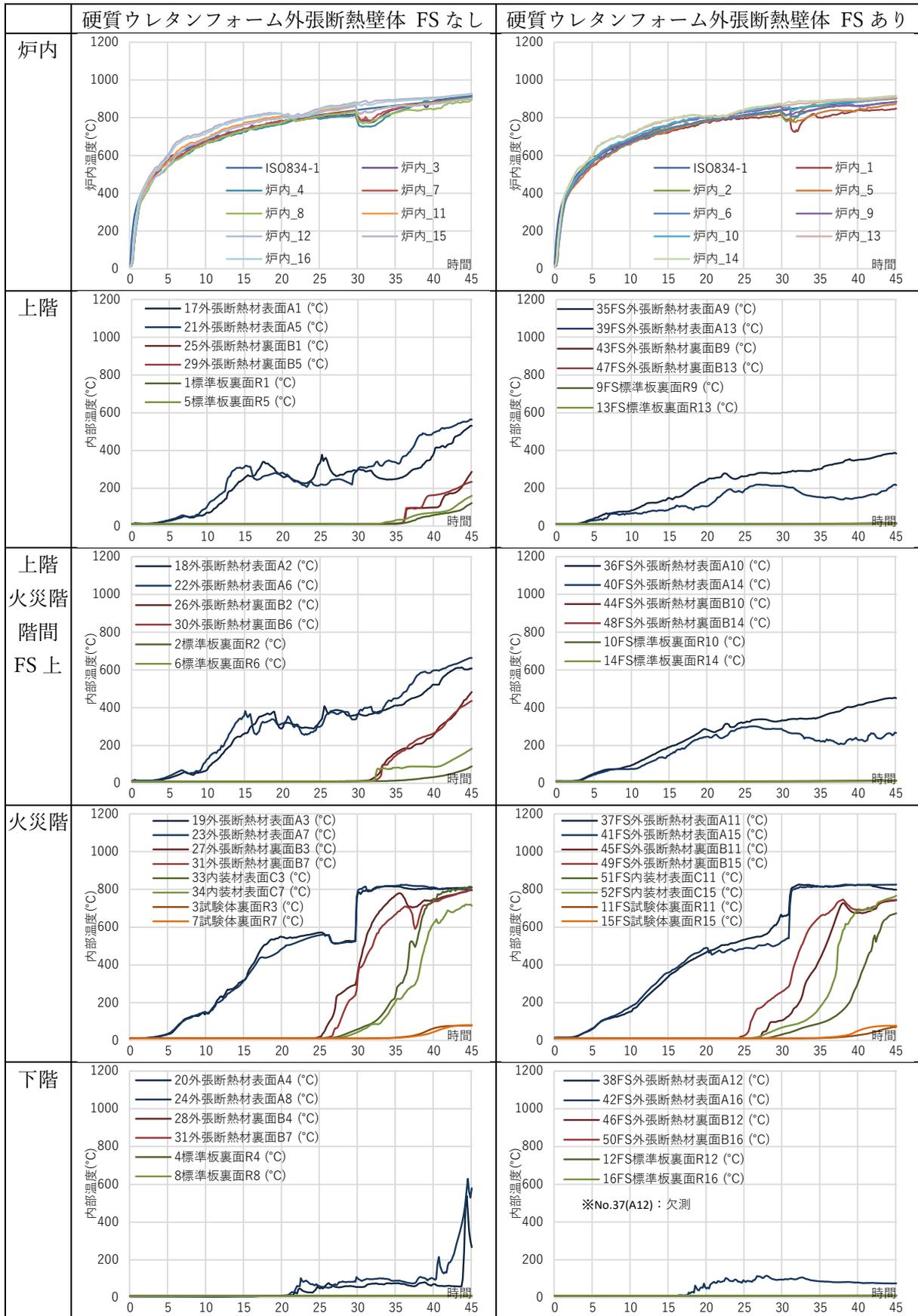
各層構成図

試験年月日	令和 5年 1月20日 10時35分 ~ 11時20分	
加熱方向	屋外側加熱	
試験結果	2分30秒	FSなし、FSあり：上部通気層出口および下部通気層入口より発煙
	3分20秒	FSなし、FSあり：上部通気層出口および下部通気層入口より発煙
	15分20秒	FSあり：下部通気層入口より、大量の黄色い煙が噴き出し
	20分00秒	FSなし：下部通気層入口より、大量の黄色い煙が噴き出し
	20分~35分	FSなし、FSありともに上部通気層出口より大量の煙が噴き出し 炉周辺一気に視界が悪くなり、視界ゼロに
	29分42秒	FSなし：外装材が脱落
	30分58秒	FSあり：外装材が脱落
	36分30秒	FSあり：発煙が上部通気層出口、下部通気層入口ともに小康状態に FSなし：上部通気層出口は黒い煙が大量に噴き出し FSなし：下部通気層入口は小康状態に
	40分00秒	FSなし：下部通気層入口の右端部より炎の噴き出しを確認
	42分00秒	FSなし：下部通気層入口の左端部にて、炎を確認
	45分00秒	試験終了



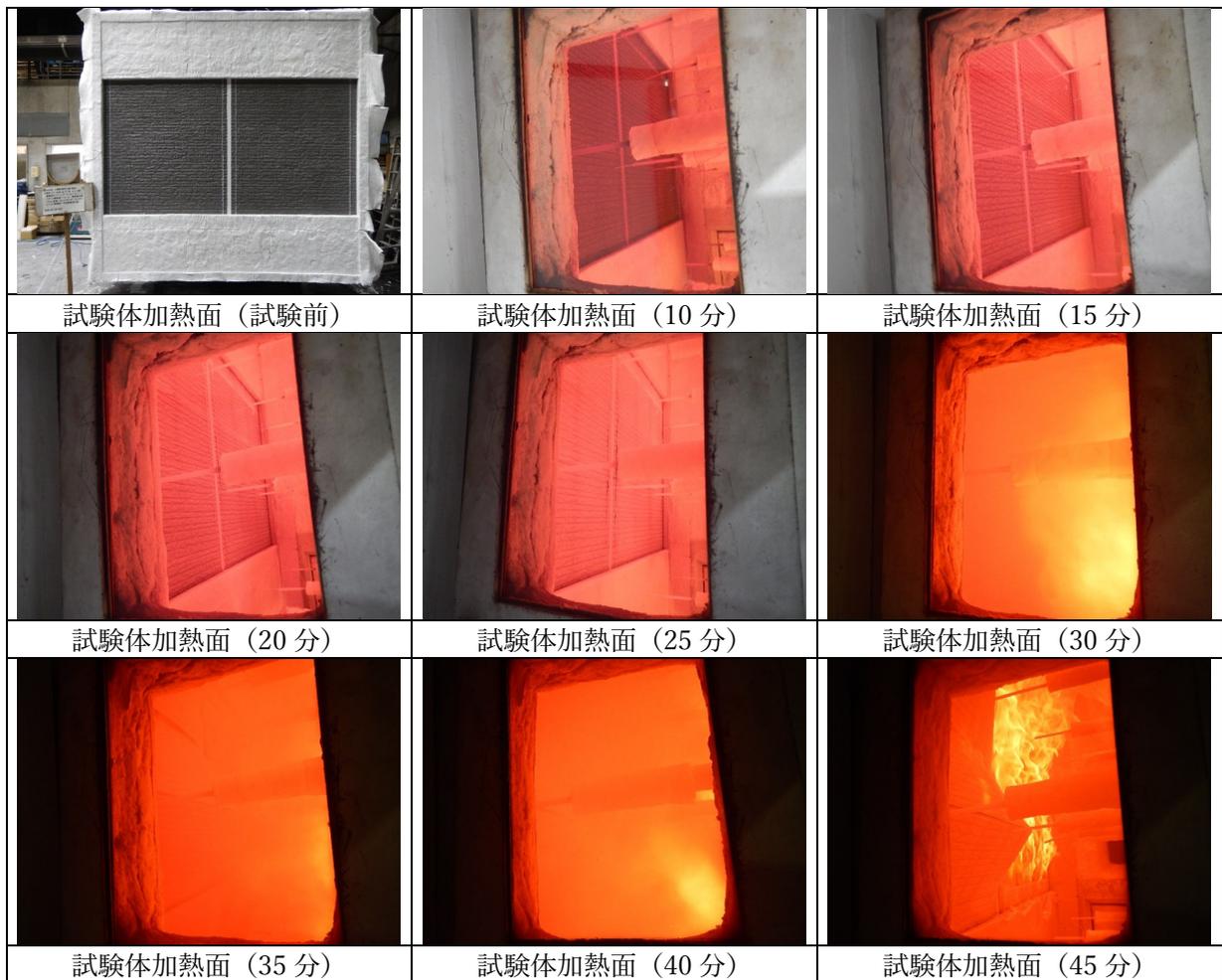
		
試験体非加熱面 (試験前)	試験体非加熱面 (10分)	試験体非加熱面 (15分)
		
試験体非加熱面 (20分)	試験体非加熱面 (25分)	試験体非加熱面 (30分)
		
試験体非加熱面 (35分)	試験体非加熱面 (40分)	試験体非加熱面 (45分)

		
FSなし 上階	FSなし 火災階	FSなし 下階
		
FSあり 上階	FSあり 火災階	FSあり 下階



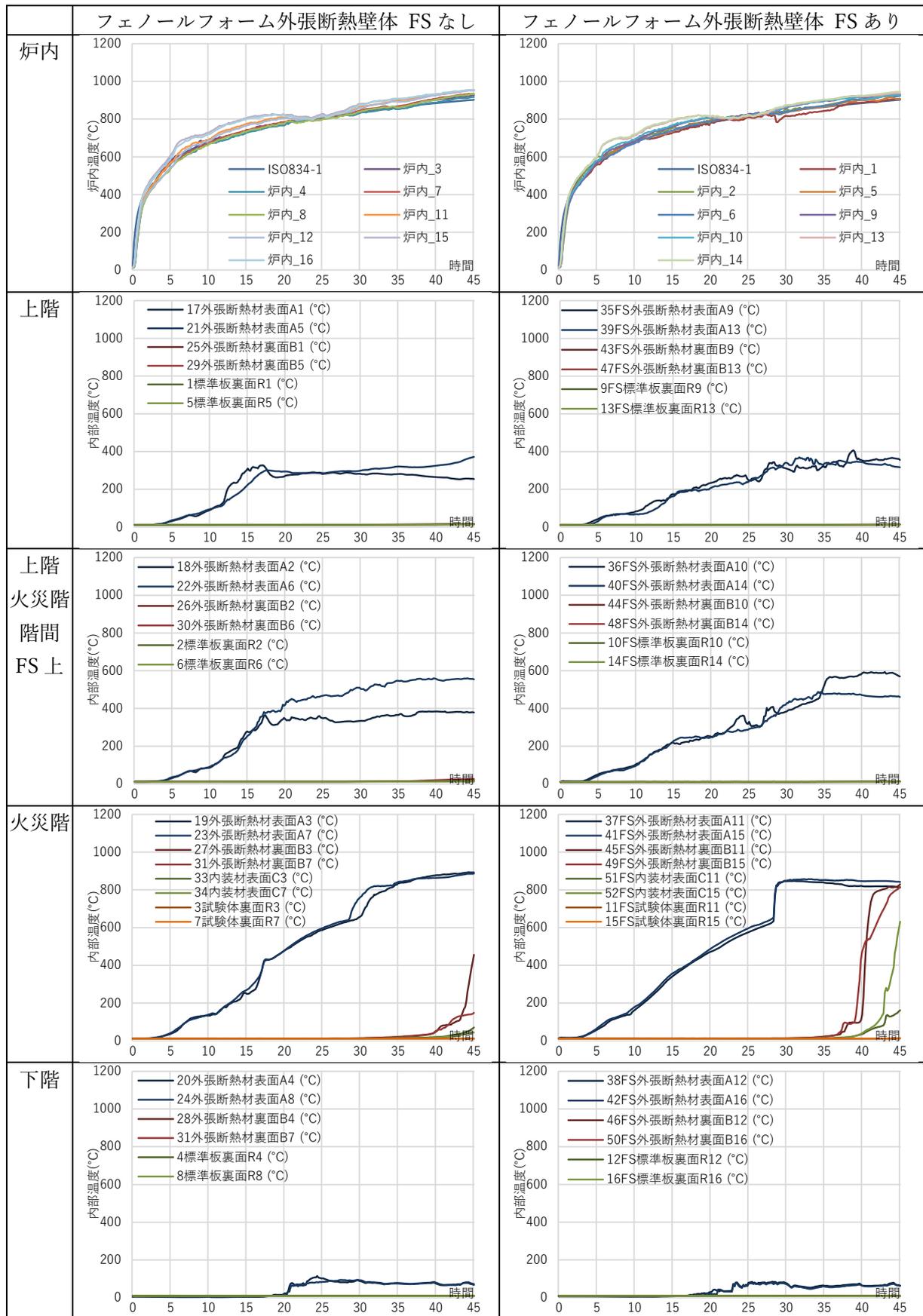


試験年月日	令和 6年 9月25日 13時26分 ~ 14時11分	
加熱方向	屋外側加熱	
試験結果	4分00秒	FSなし、FSあり：上部通気層出口より発煙
	13分00秒	FSなし：パチパチ音
	14分00秒	FSなし：上部通気層出口、下部通気層入口より、樹脂の微小片が多数噴出
	14分過ぎ	FSあり：上部通気層出口、下部通気層入口より、樹脂の微小片が多数噴出
	15分30秒	FSなし：上部通気層出口より火の粉確認。16分10秒再度確認。
	20分00秒	FSなし、FSあり：下部通気層入口より発煙
	25分~35分	下部通気層入口からの発煙により、炉周辺の視界が不良になる。
	28分30秒	FSあり：外装材が脱落
	35分	下部通気層入口からの発煙が収まり、炉周辺の視界が回復する。
	39分	下部通気層入口からの発煙により、炉周辺の視界が再度不良になる。
	45分00秒	試験終了

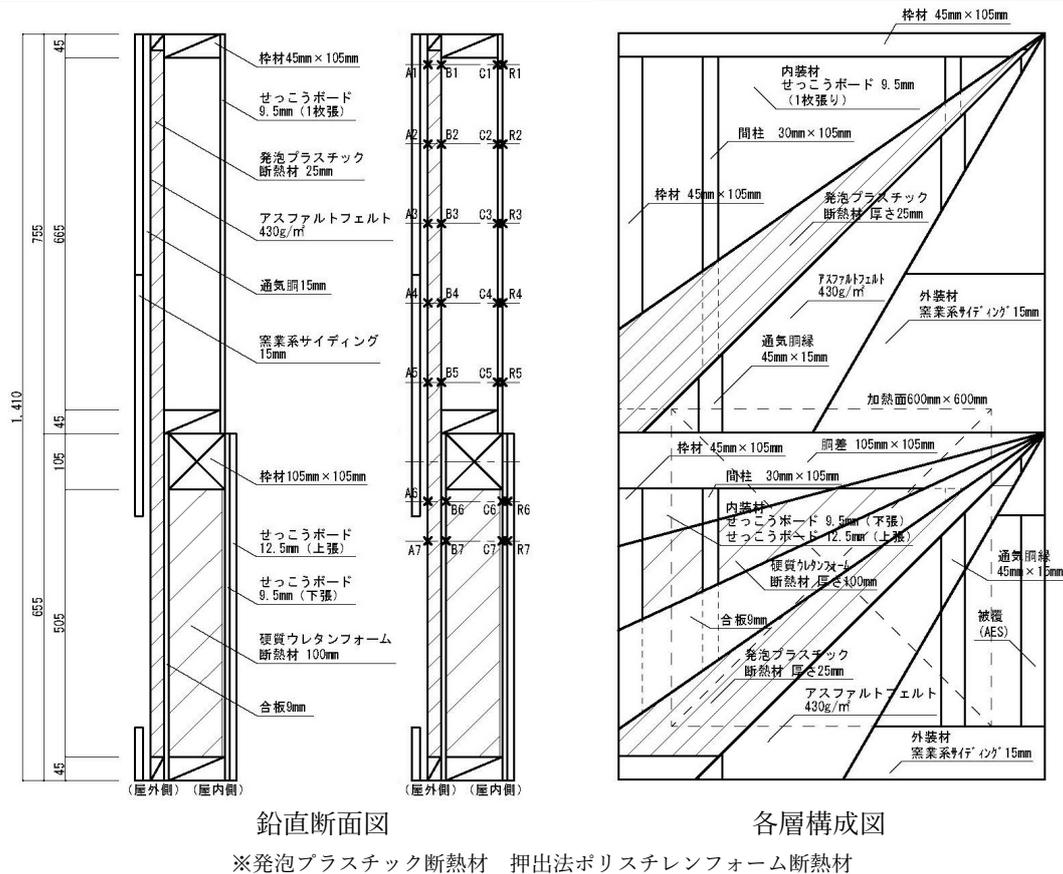


試験体非加熱面 (試験前)	試験体非加熱面 (15分)	試験体非加熱面 (20分)
下階通気層入口 (20分)	噴出した樹脂微小片 (20分)	試験体非加熱面 (25分)
試験体非加熱面 (30分)	試験体非加熱面 (35分)	試験体非加熱面 (45分)

FSなし 上階	FSなし 火災階	FSなし 下階
FSあり 上階	FSあり 火災階	FSあり 下階

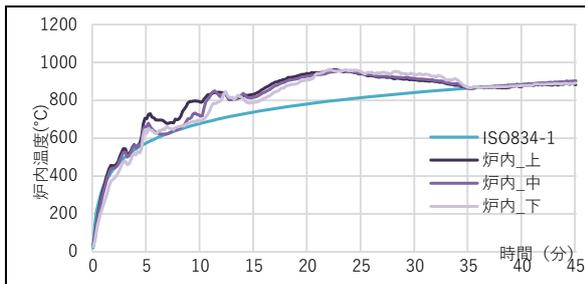


試験年月日	令和 6年10月 2日 13時28分 ~ 14時13分
加熱方向	屋外側加熱
試験体仕様	<p>上階：窯業系サイディング(15mm)・押出法ポリスチレンフォーム断熱材(25mm)表張／せっこうボード(9.5mm)裏張／木製軸組造外壁</p> <p>下階：硬質ウレタンフォーム(100mm)充てん／窯業系サイディング(15mm)・押出法ポリスチレンフォーム断熱材(25mm)・合板(9mm)表張／せっこうボード(9.5mm)裏張／木製軸組造外壁</p> <p>FS ファイヤーストップ材：なし</p>

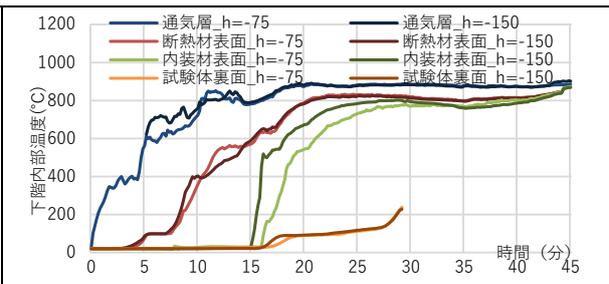


試験結果	<p>38分頃 上階試験体裏面一部が黒変 (×遮熱性)</p> <p>45分00秒 加熱終了。上階の遮炎性は喪失せず。通気層上端で炎は噴出せず。XPSは液化後、蒸気化。大量の煙となり通気層から排出。</p>
------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

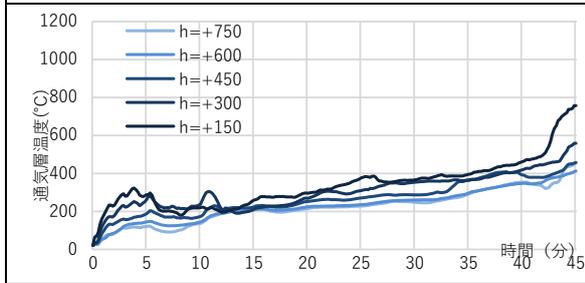




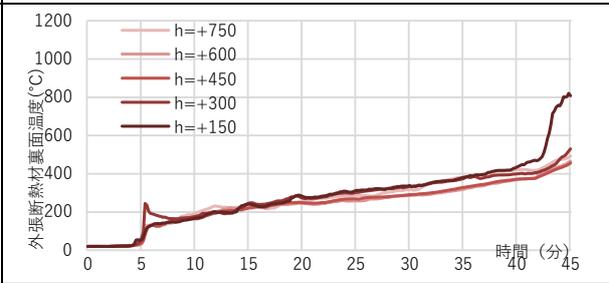
炉内温度推移



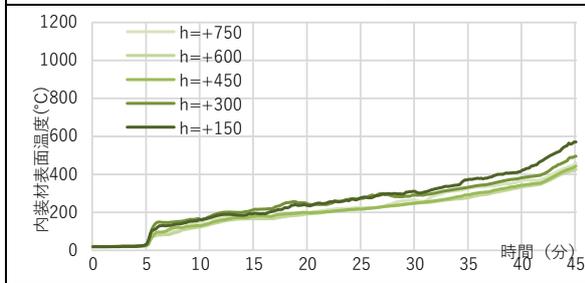
下階(火災階)内部温度推移



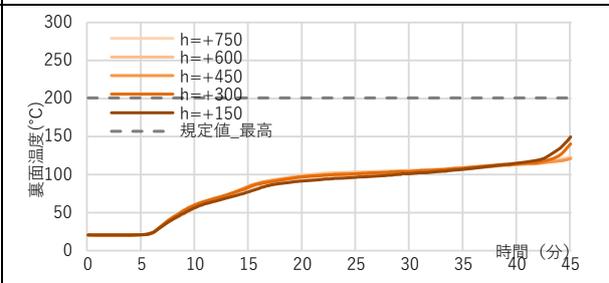
上階通気層温度推移



上階外張断熱材裏面温度推移



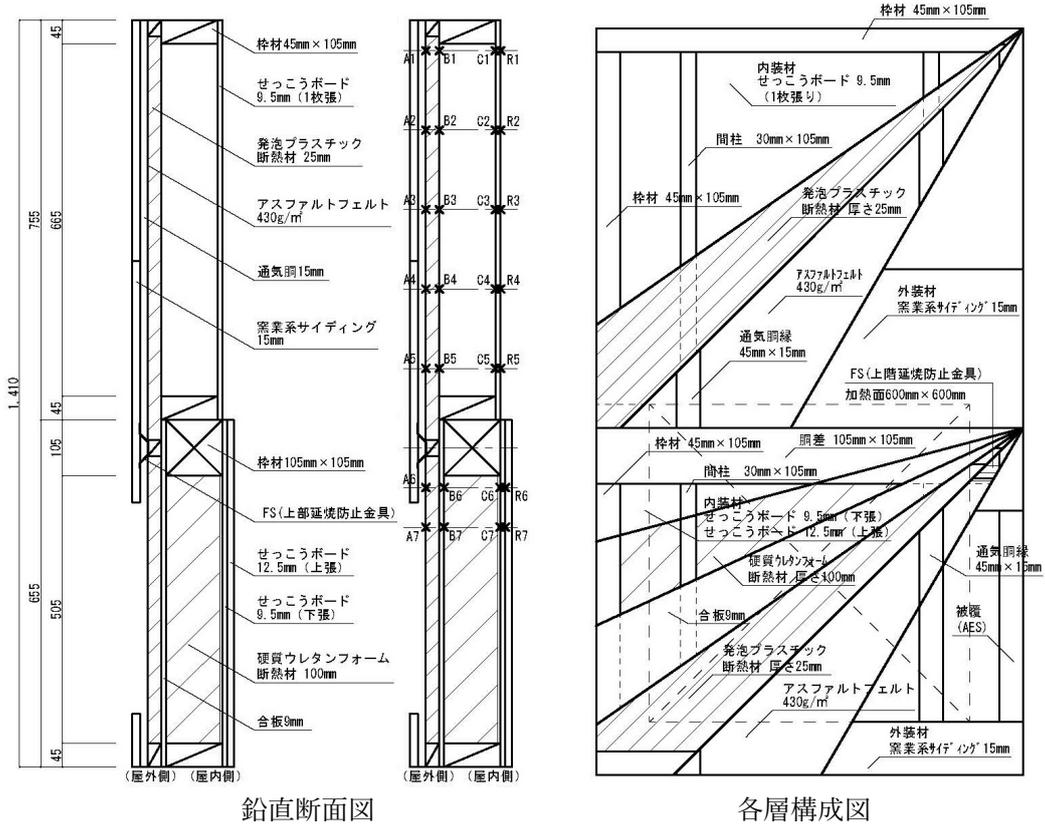
上階内装材表面温度推移



上階試験体裏面温度推移

※「h=+〇〇」は上階と下階間に設置されたFSからの距離が上方〇〇(mm)の位置を示す。+, -は上方(+), 下方(-)を表す。

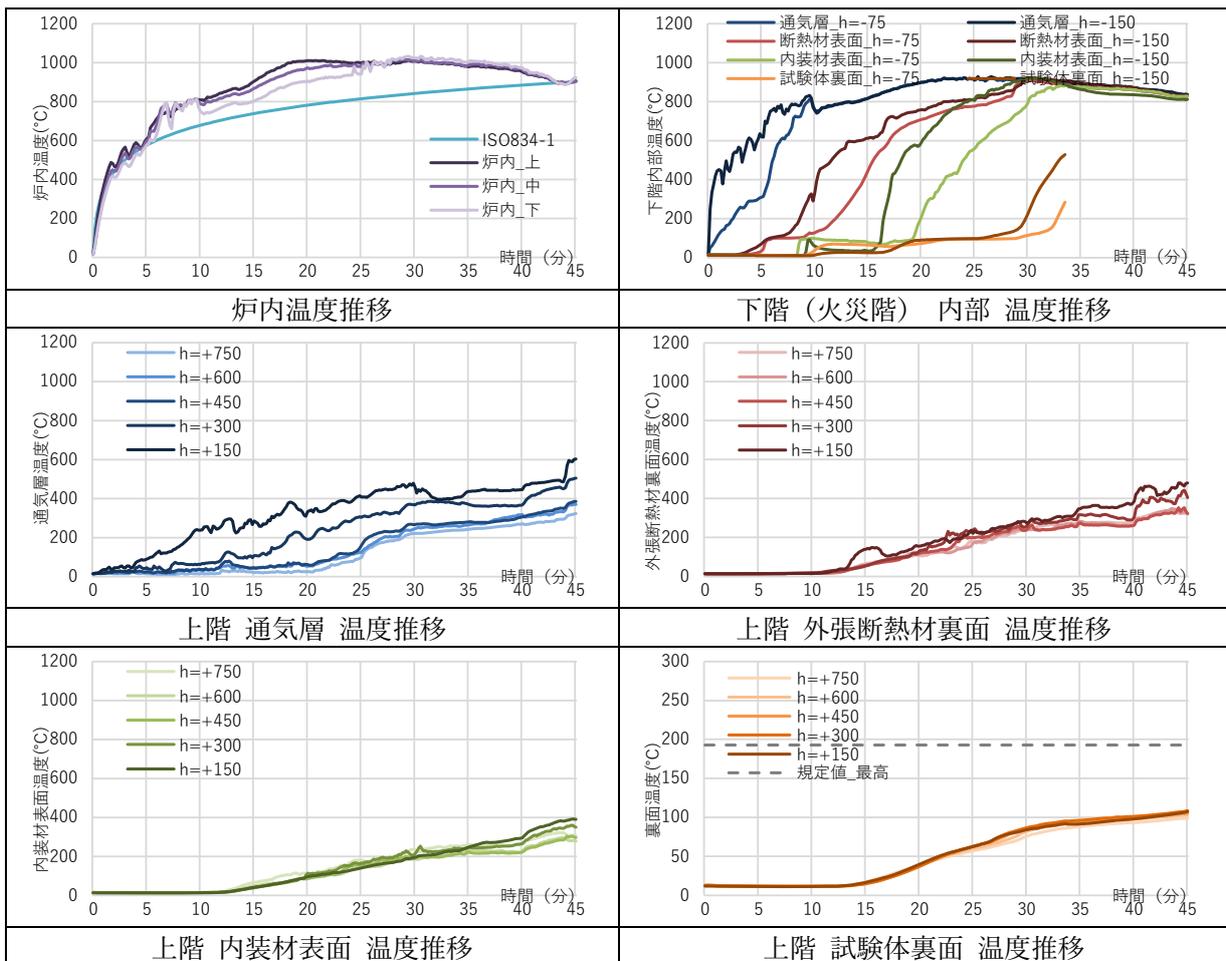
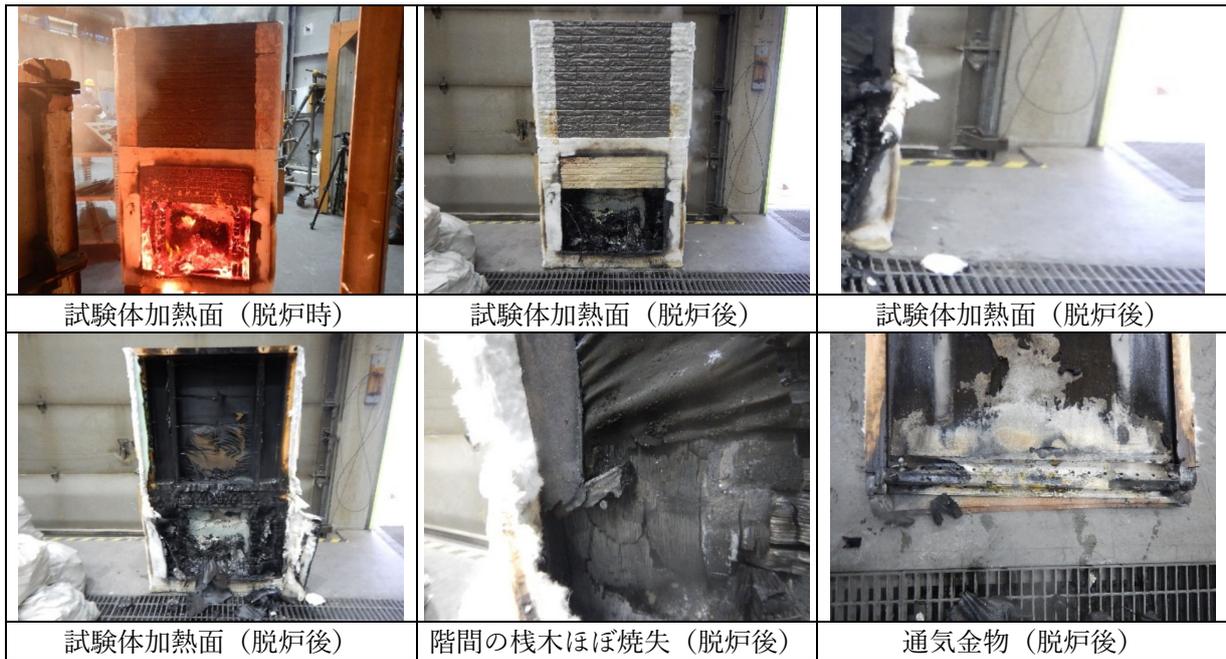
試験年月日	令和 6年11月19日 13時52分 ~ 14時37分
加熱方向	屋外側加熱
試験体仕様	<p>上階：窯業系サイディング(15mm)・押出法ポリスチレンフォーム断熱材(25mm)表張／せっこうボード(9.5mm)裏張／木製軸組造外壁</p> <p>下階：硬質ウレタンフォーム(100mm)充てん／窯業系サイディング(15mm)・押出法ポリスチレンフォーム断熱材(25mm)・合板(9mm)表張／せっこうボード(9.5mm)裏張／木製軸組造外壁</p> <p>FS ファイヤーストップ材：鋼板製通気金物</p>



※発泡プラスチック断熱材 押出法ポリスチレンフォーム断熱材, FS ファイヤーストップ材 鋼板製通気役物

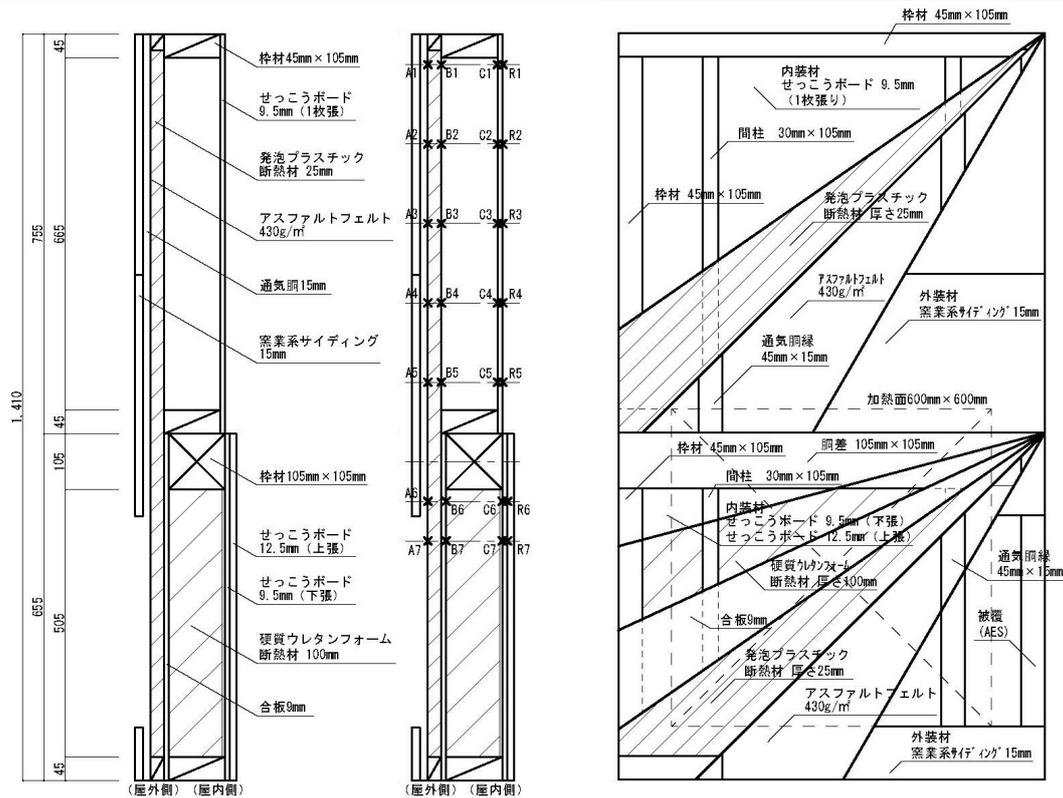
試験結果	45分00秒 加熱終了。上階の遮炎性は喪失せず。通気層上端で炎は噴出せず。XPSは液化後、蒸気化。大量の煙となり通気層から排出。解体後 外張断熱層の幅30mmの木材は燃え抜け。FS(通気金物)は熱で変形
------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------





※「h=+〇〇」は上階と下階間に設置されたFSからの距離が上方〇〇(mm)の位置を示す。+, -は上方(+), 下方(-)を表す。

試験年月日	令和 6年10月 1日 14時21分 ~ 15時06分
加熱方向	屋外側加熱
試験体仕様	<p>上階：窯業系サイディング(15mm)・硬質ウレタンフォーム断熱材(25mm)表張/せっこうボード(9.5mm)裏張/木製軸組造外壁</p> <p>下階：硬質ウレタンフォーム(100mm)充てん/窯業系サイディング(15mm)・硬質ウレタンフォーム断熱材(25mm)・合板(9mm)表張/せっこうボード(9.5mm)裏張/木製軸組造外壁</p> <p>FS ファイヤーストップ材：なし</p>

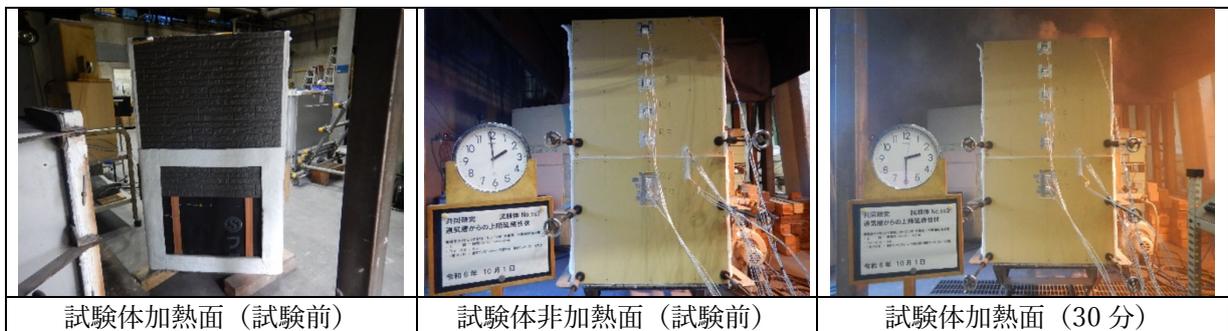


鉛直断面図

各層構成図

※発泡プラスチック断熱材 硬質ウレタンフォーム断熱材

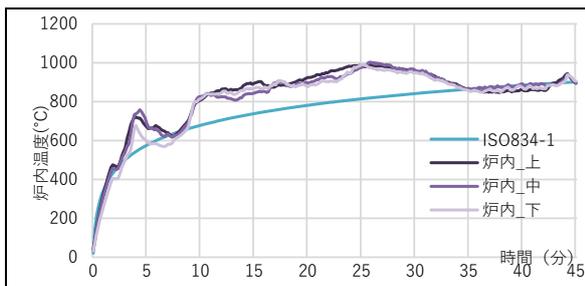
試験結果	45分00秒 加熱終了。上階の遮炎性は喪失せず。通気層上端で炎は噴出せず。PUFの熱分解ガスが大量の煙となり通気層から排出。
------	----------------------------------------------------------------



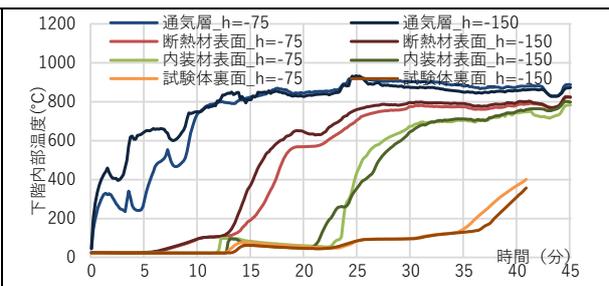
試験体加熱面 (試験前)

試験体非加熱面 (試験前)

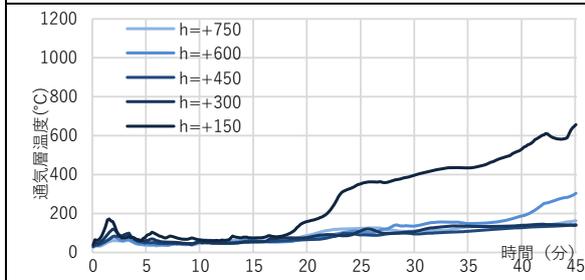
試験体加熱面 (30分)



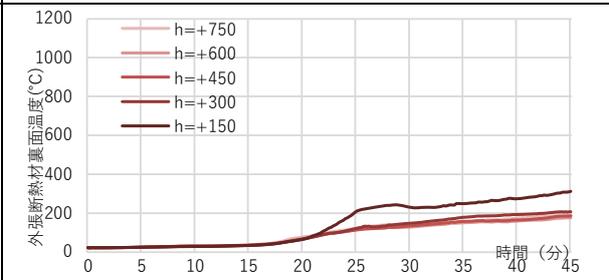
炉内温度推移



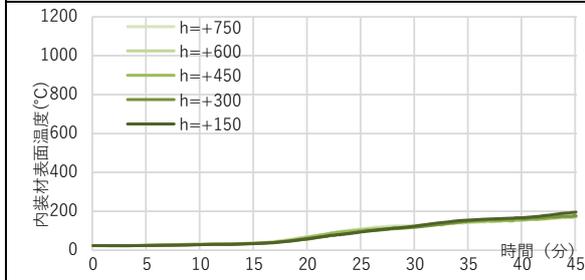
下階(火災階) 内部 温度推移



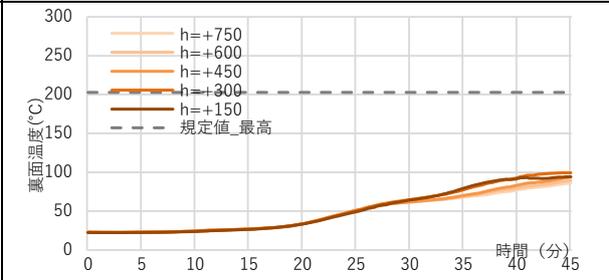
上階 通気層 温度推移



上階 外張断熱材裏面 温度推移



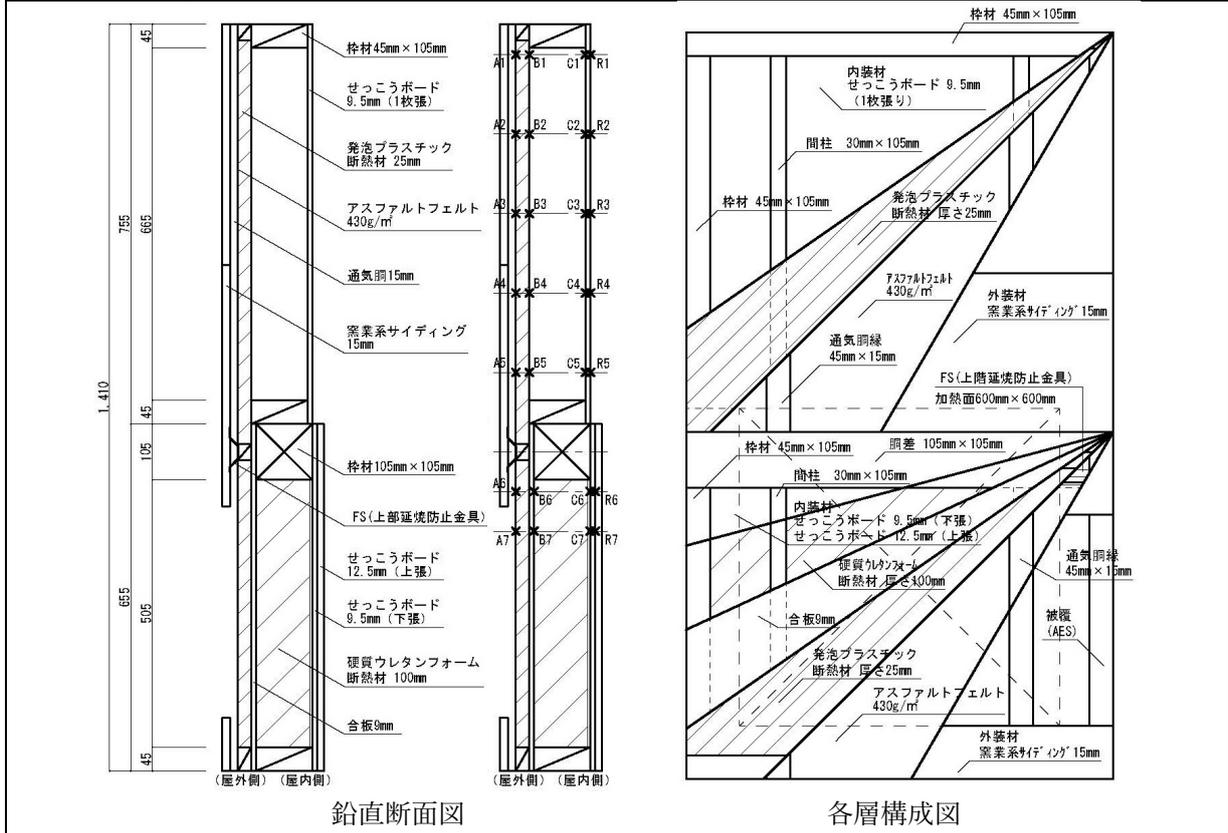
上階 内装材表面 温度推移



上階 試験体裏面 温度推移

※「h=+〇〇」は上階と下階間に設置されたFSからの距離が上方〇〇(mm)の位置を示す。+, -は上方(+), 下方(-)を表す。

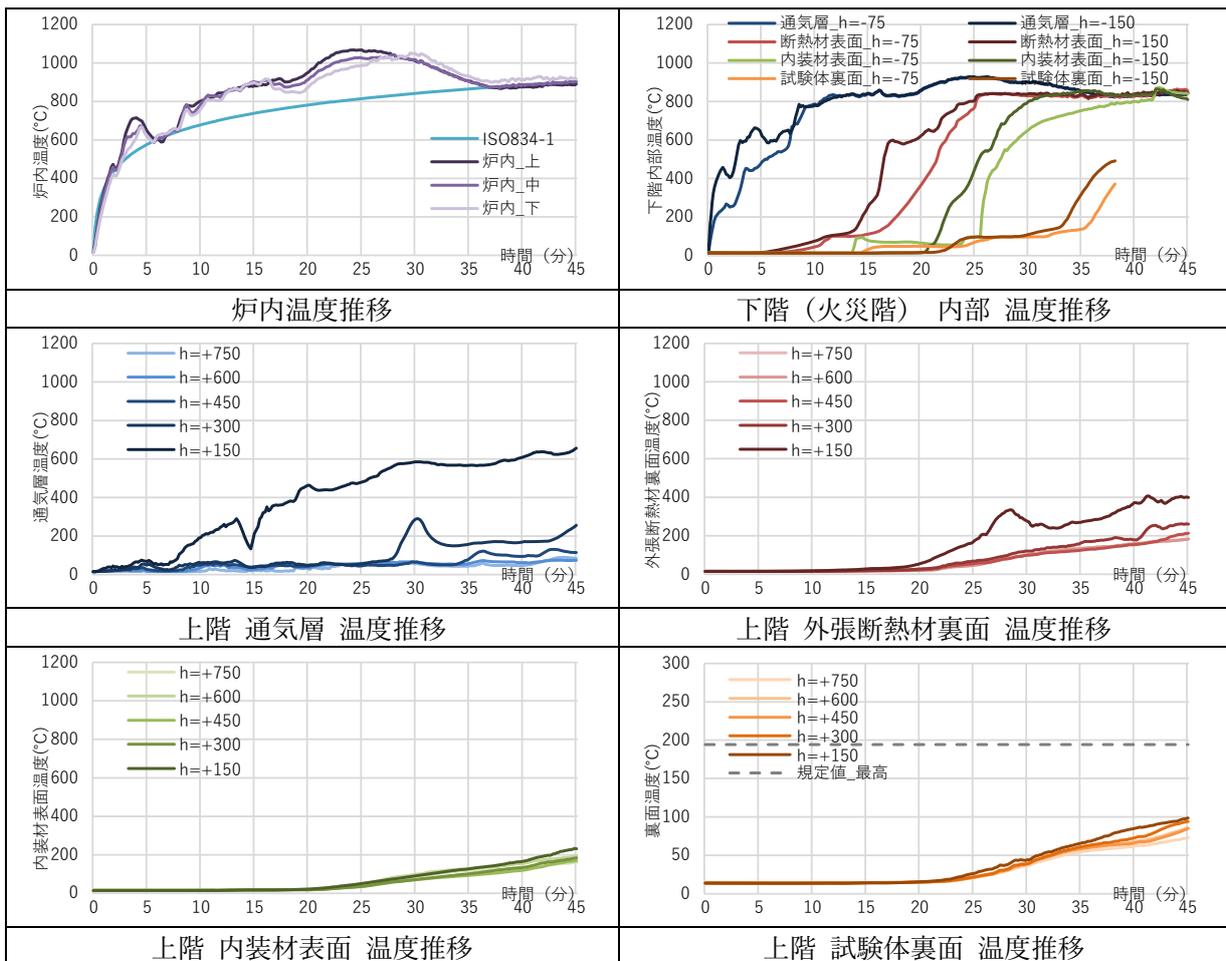
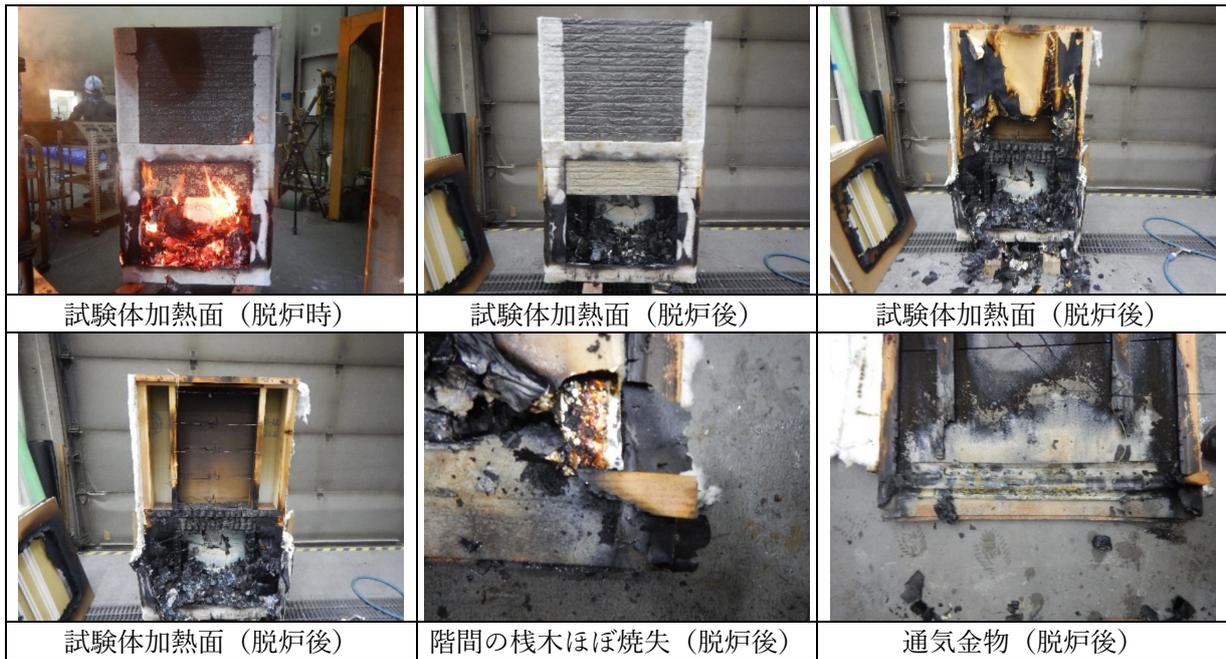
試験年月日	令和 6年11月13日 13時38分 ~ 14時23分
加熱方向	屋外側加熱
試験体仕様	<p>上階：窯業系サイディング(15mm)・硬質ウレタンフォーム断熱材(25mm)表張/せっこうボード(9.5mm)裏張/木製軸組造外壁</p> <p>下階：硬質ウレタンフォーム(100mm)充てん/窯業系サイディング(15mm)・硬質ウレタンフォーム断熱材(25mm)・合板(9mm)表張/せっこうボード(9.5mm)裏張/木製軸組造外壁</p> <p>FS ファイヤーストップ材：鋼板製通気金物</p>



※発泡プラスチック断熱材 硬質ウレタンフォーム断熱材, FS ファイヤーストップ材 鋼板製通気役物

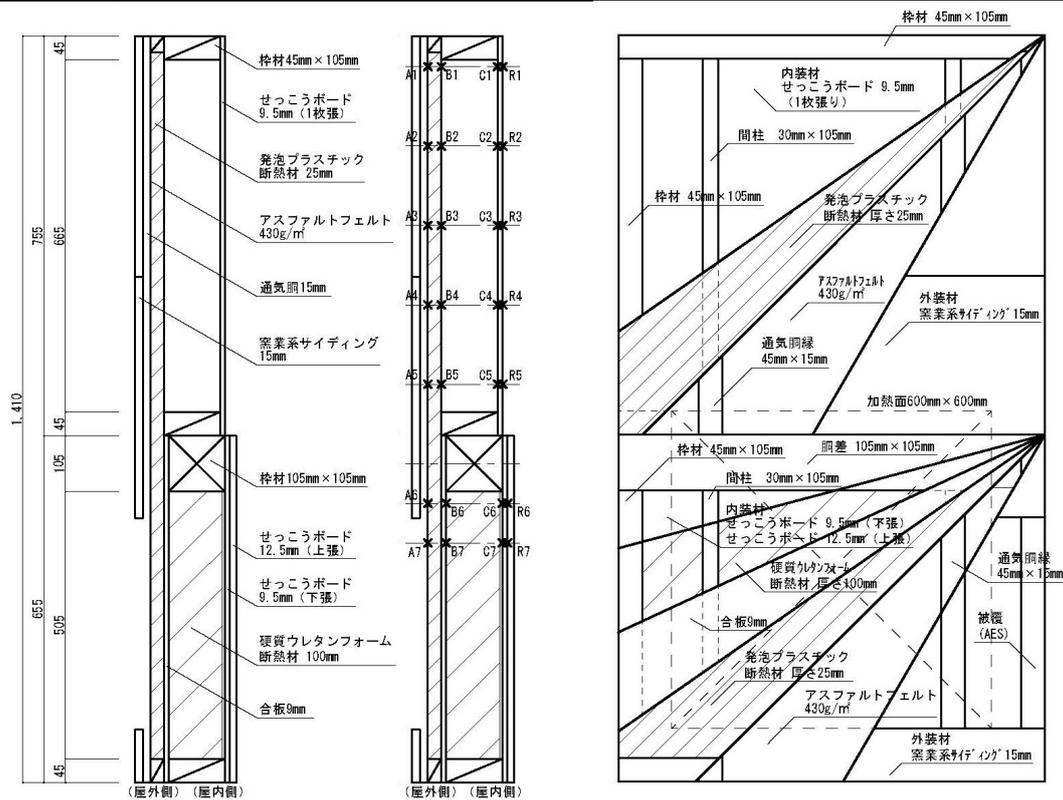
試験結果	45分00秒 加熱終了。上階の遮炎性は喪失せず。通気層上端で炎は噴出せず。PUFの熱分解ガスが大量の煙となり通気層から排出。FSにより多少緩和したが煙対策にはならず。
解体後	外張断熱層の幅30mmの木材は燃え抜け。FS(通気金物)は熱で変形





※「h=+〇〇」は上階と下階間に設置されたFSからの距離が上方〇〇(mm)の位置を示す。+,-は上方(+),下方(-)を表す。

試験年月日	令和 6年10月 4日 9時40分 ~ 10時25分
加熱方向	屋外側加熱
試験体仕様	<p>上階：窯業系サイディング(15mm)・フェノールフォーム断熱材(25mm)表張/せっこうボード(9.5mm)裏張/木製軸組造外壁</p> <p>下階：硬質ウレタンフォーム(100mm)充てん/窯業系サイディング(15mm)・フェノールフォーム断熱材(25mm)・合板(9mm)表張/せっこうボード(9.5mm)裏張/木製軸組造外壁</p> <p>FS ファイヤーストップ材：なし</p>



鉛直断面図

各層構成図

※発泡プラスチック断熱材 フェノールフォーム断熱材

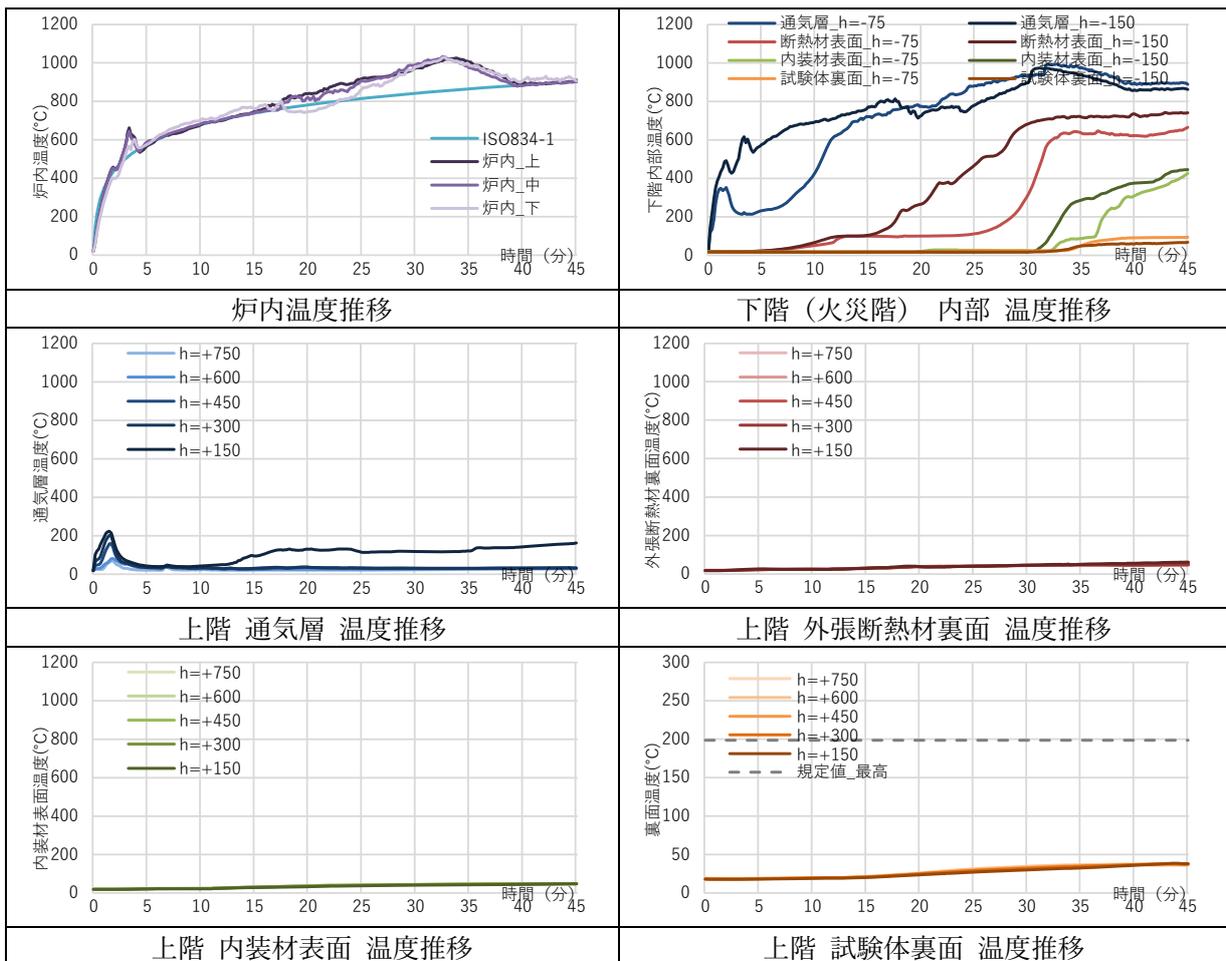
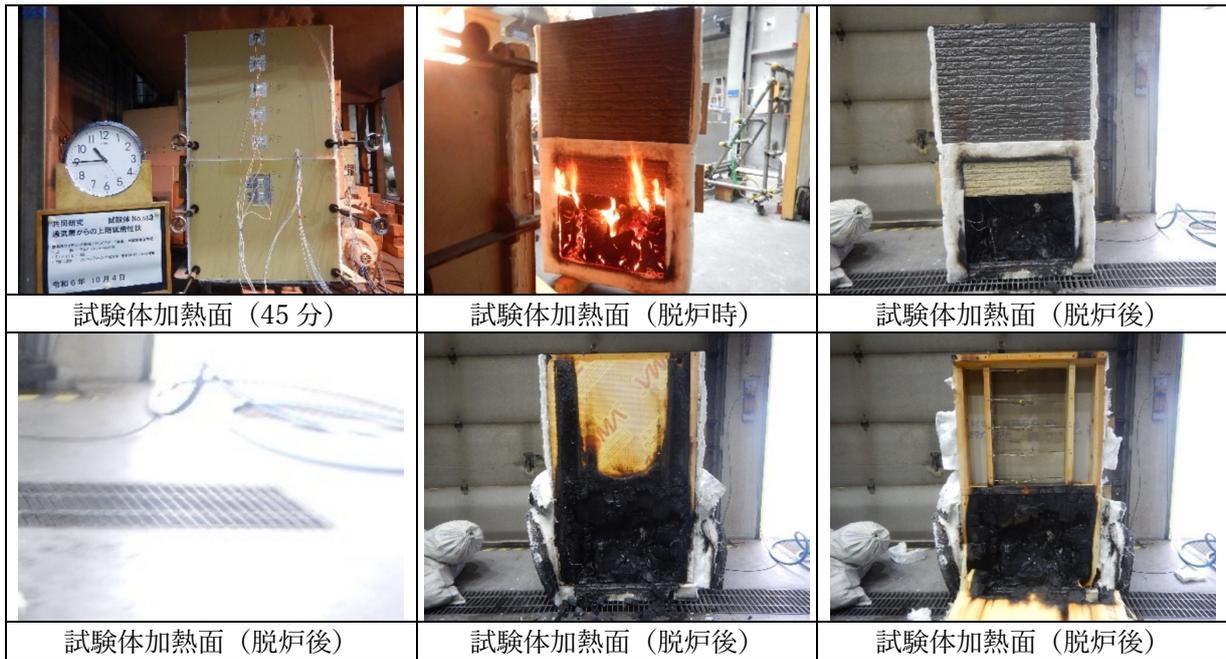
試験結果	<p>45分00秒 加熱終了。上階の遮炎性は喪失せず。通気層上端で炎は噴出せず。PFが変形して通気層を塞いで、上階への煙を防いだ。PFの変形がFSの役割を果たした。</p>
------	----------------------------------------------------------------------------------------



試験体加熱面 (試験前)

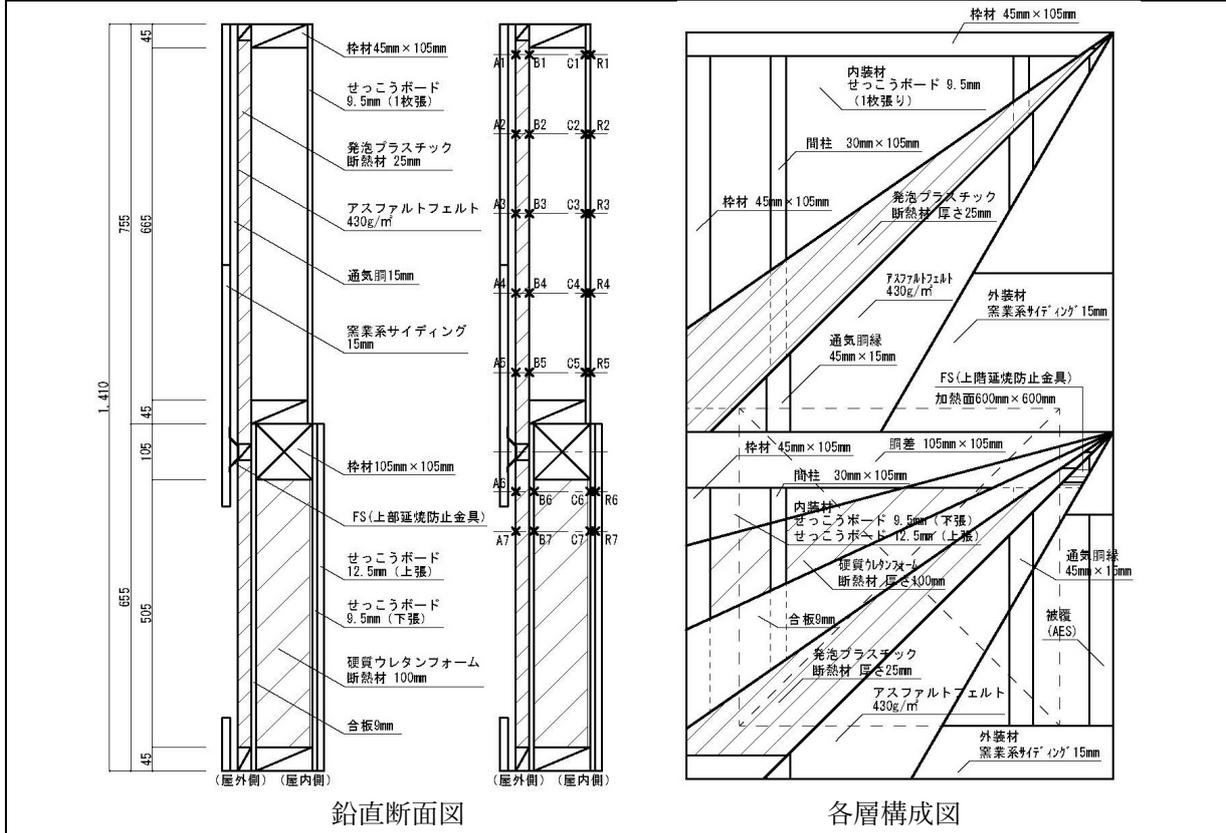
試験体非加熱面 (試験前)

試験体加熱面 (30分)



※「h=+〇〇」は上階と下階間に設置されたFSからの距離が上方〇〇(mm)の位置を示す。+, -は上方(+), 下方(-)を表す。

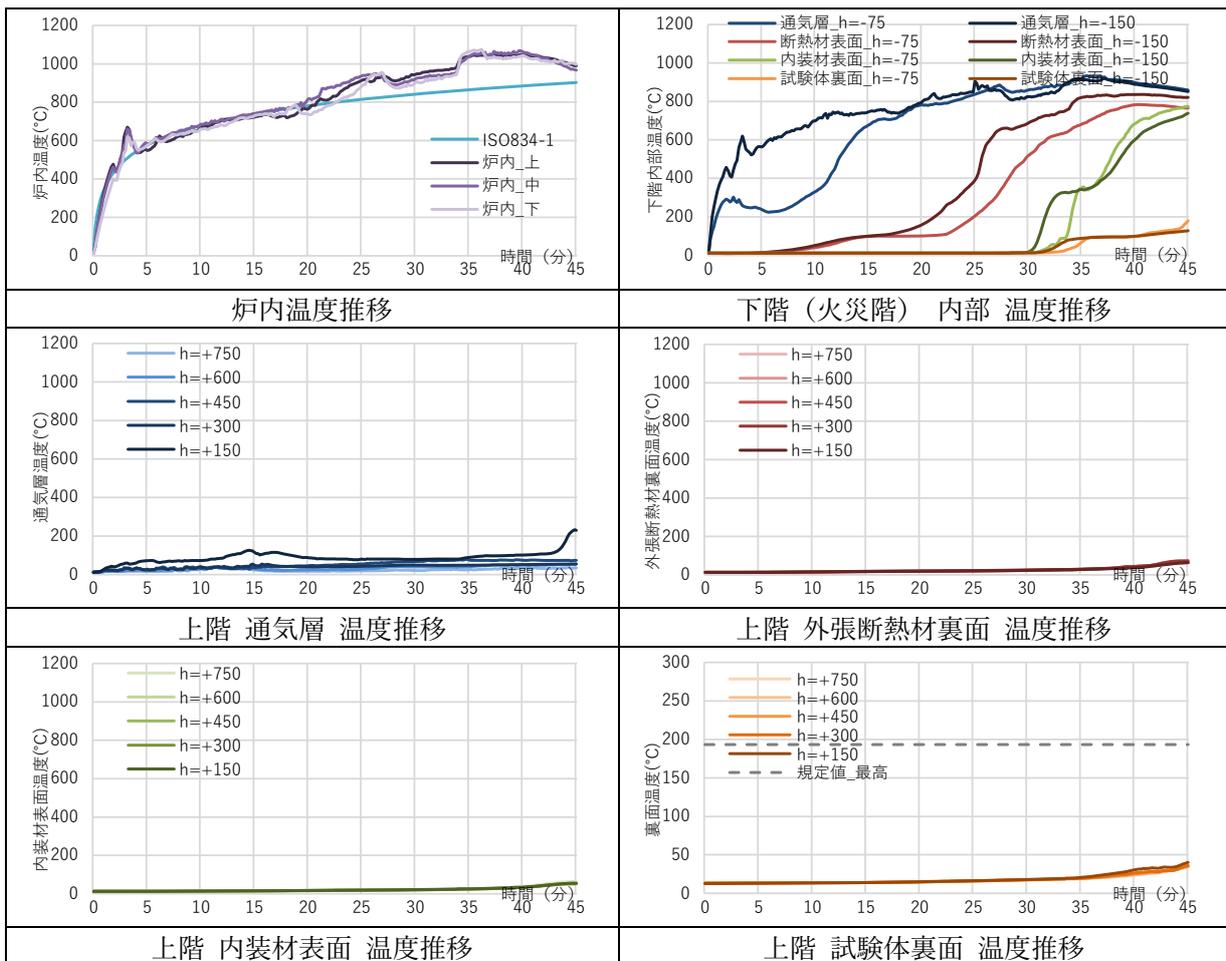
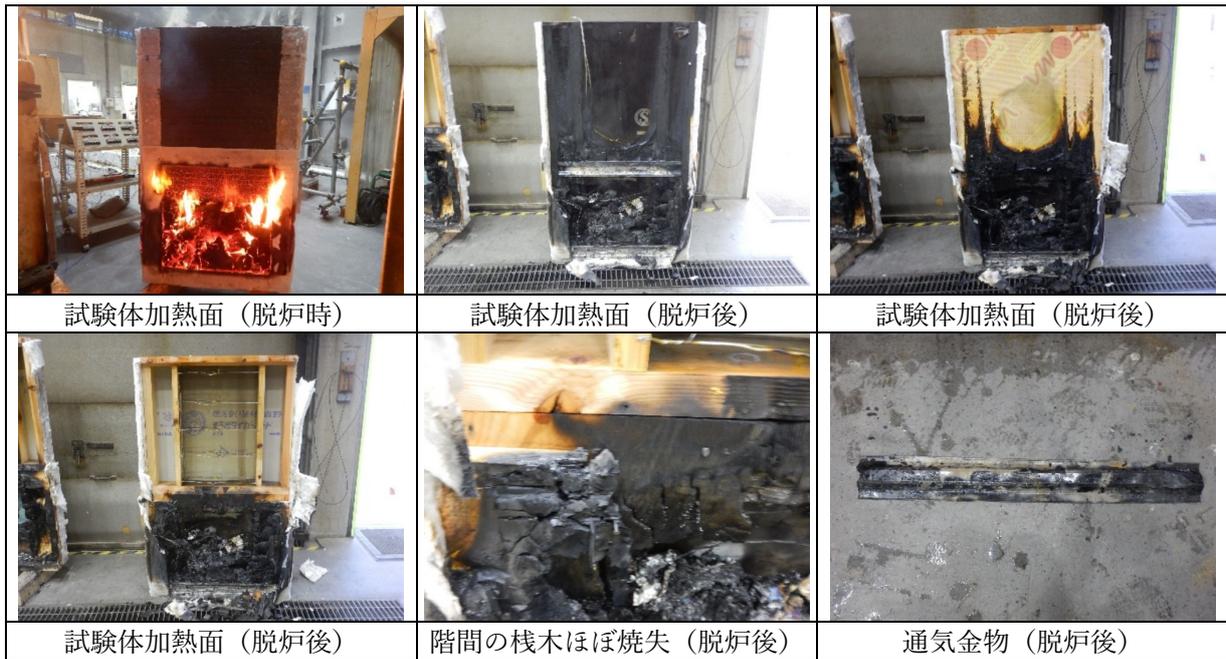
試験年月日	令和 6年11月14日 13時58分 ~ 14時43分
加熱方向	屋外側加熱
試験体仕様	<p>上階：窯業系サイディング(15mm)・フェノールフォーム断熱材(25mm)表張／せっこうボード(9.5mm)裏張／木製軸組造外壁</p> <p>下階：硬質ウレタンフォーム(100mm)充てん／窯業系サイディング(15mm)・フェノールフォーム断熱材(25mm)・合板(9mm)表張／せっこうボード(9.5mm)裏張／木製軸組造外壁</p> <p>FS ファイヤーストップ材：鋼板製通気金物</p>



※発泡プラスチック断熱材 フェノールフォーム断熱材, FS ファイヤーストップ材 鋼板製通気役物

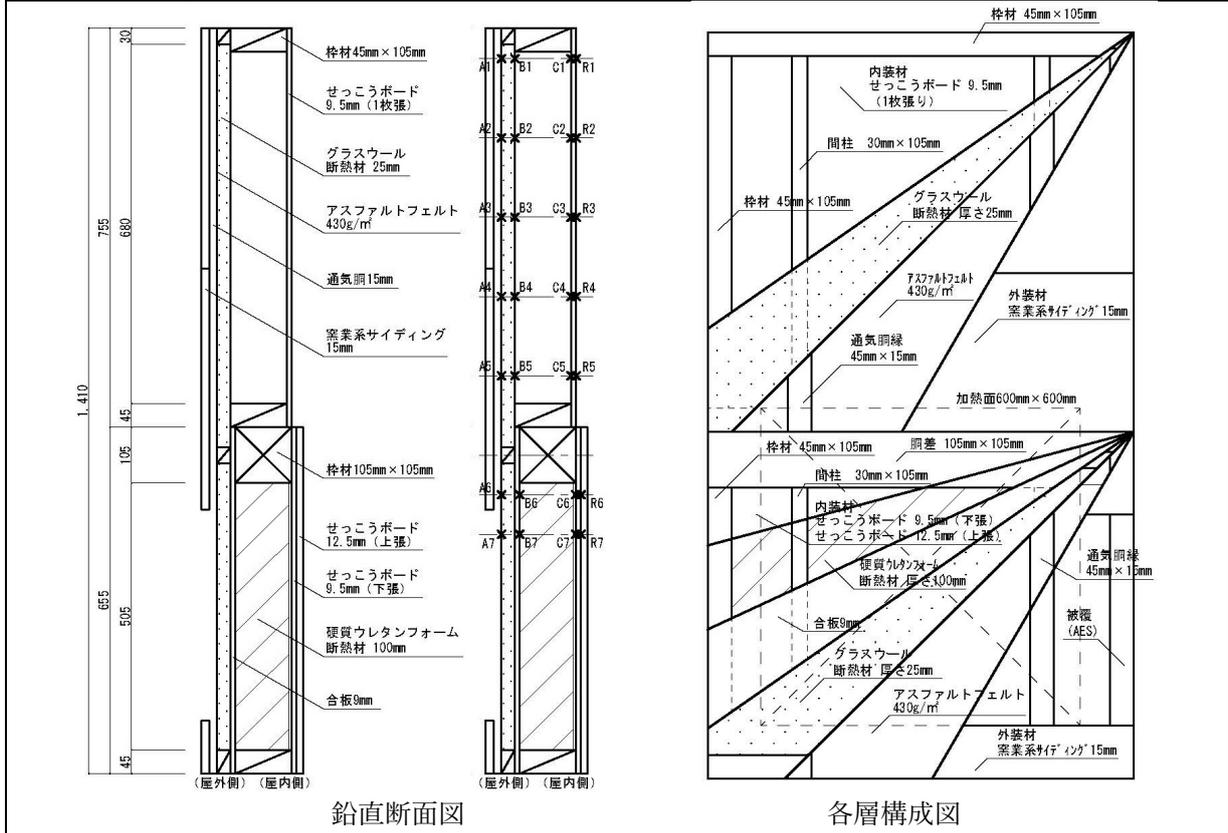
試験結果	45分00秒	加熱終了。上階の遮炎性は喪失せず。通気層上端で炎は噴出せず。PFの熱分解ガスが大量の煙となり通気層から排出。
解体後		外張断熱層の幅30mmの木材は燃え抜け。FS (通気金物) は原型を保持



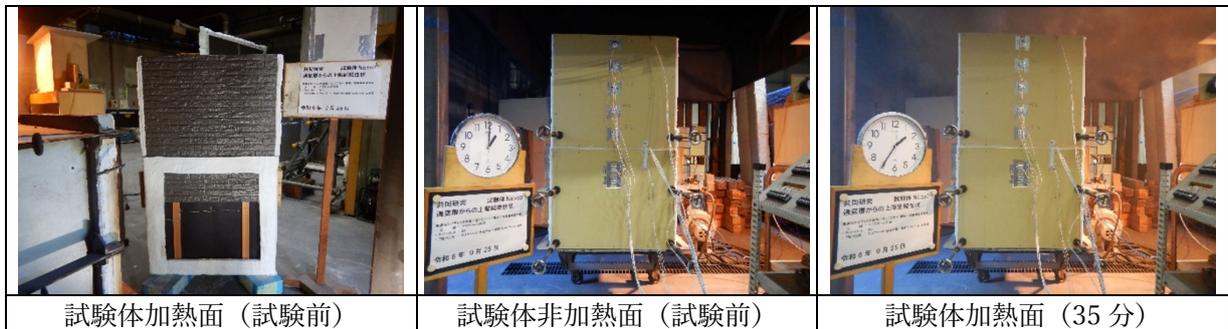


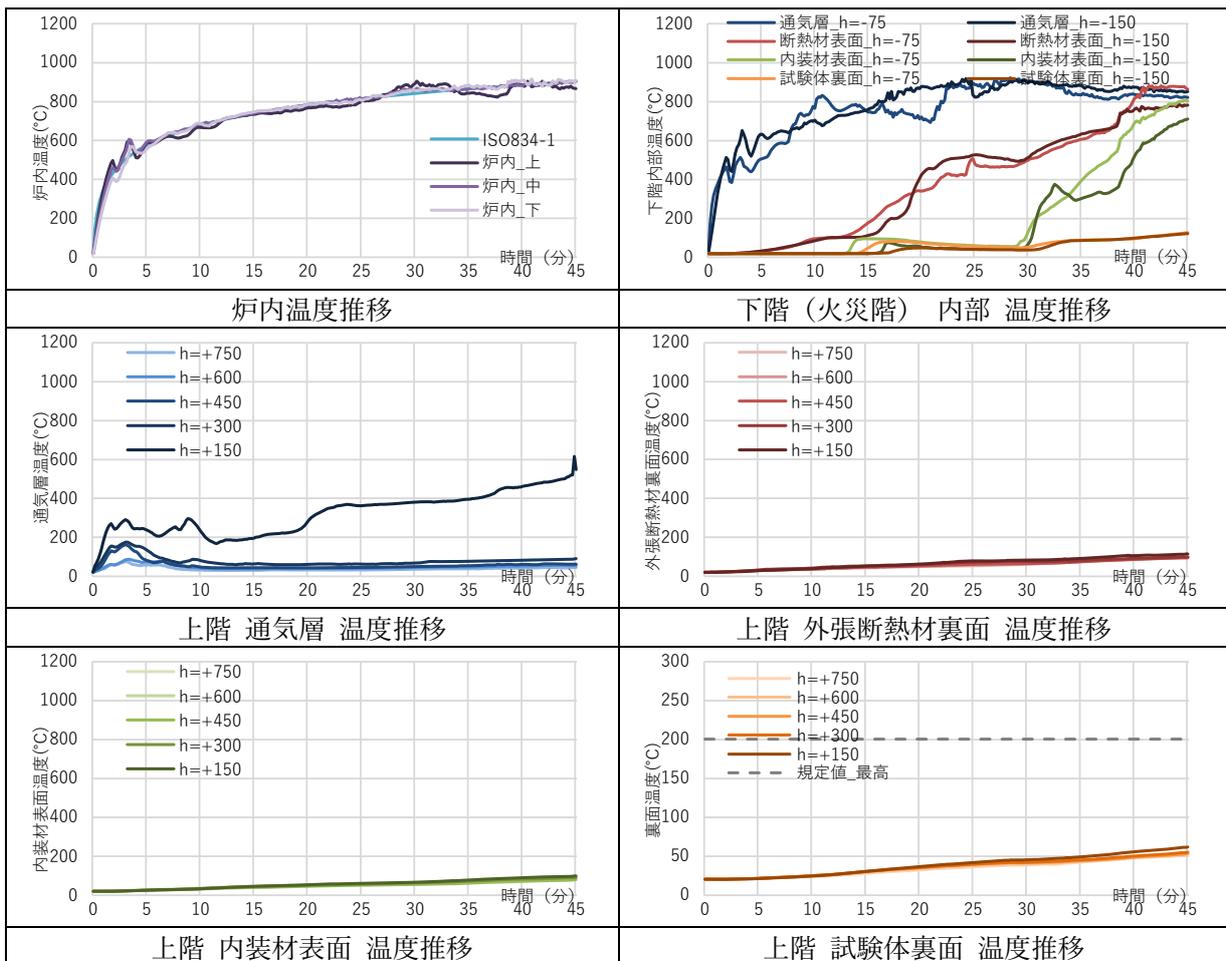
※「h=+〇〇」は上階と下階間に設置されたFSからの距離が上方〇〇(mm)の位置を示す。+, -は上方(+), 下方(-)を表す。

試験年月日	令和 6年 9月25日 13時36分 ~ 14時21分
加熱方向	屋外側加熱
試験体仕様	<p>上階：窯業系サイディング(15 mm)・グラスウール断熱材(25 mm)表張／せっこうボード(9.5 mm)裏張／木製軸組造外壁</p> <p>下階：硬質ウレタンフォーム(100 mm)充てん／窯業系サイディング(15 mm)・グラスウール断熱材(25 mm)・合板(9 mm)表張／せっこうボード(9.5 mm)裏張／木製軸組造外壁</p> <p>FS ファイヤーストップ材：なし</p>



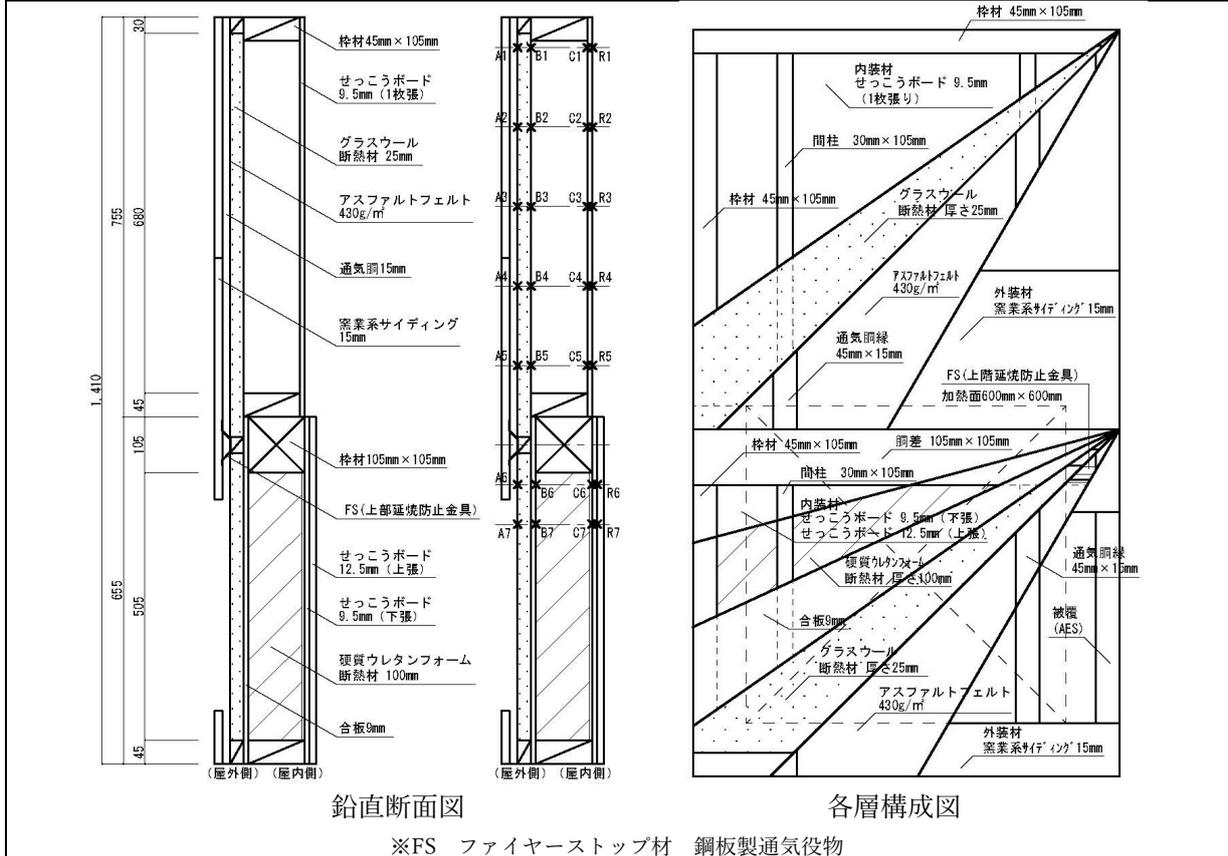
試験結果	45分00秒 加熱終了。上階の遮炎性は喪失せず。通気層上端で炎は噴出せず。
------	---------------------------------------



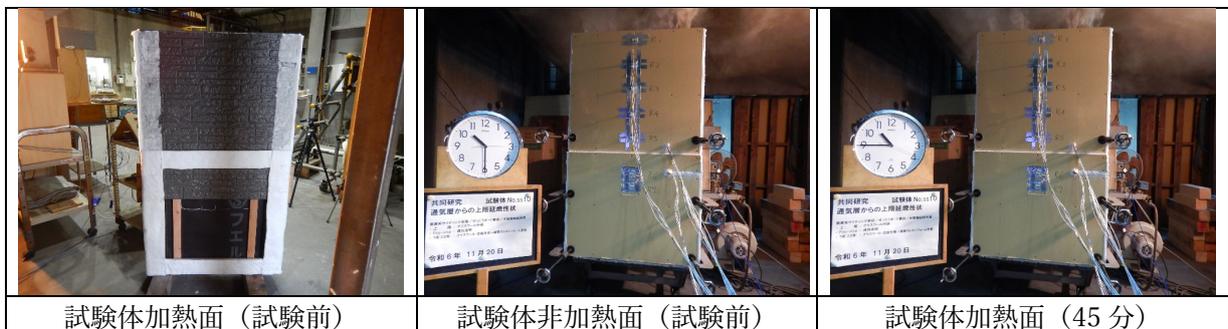


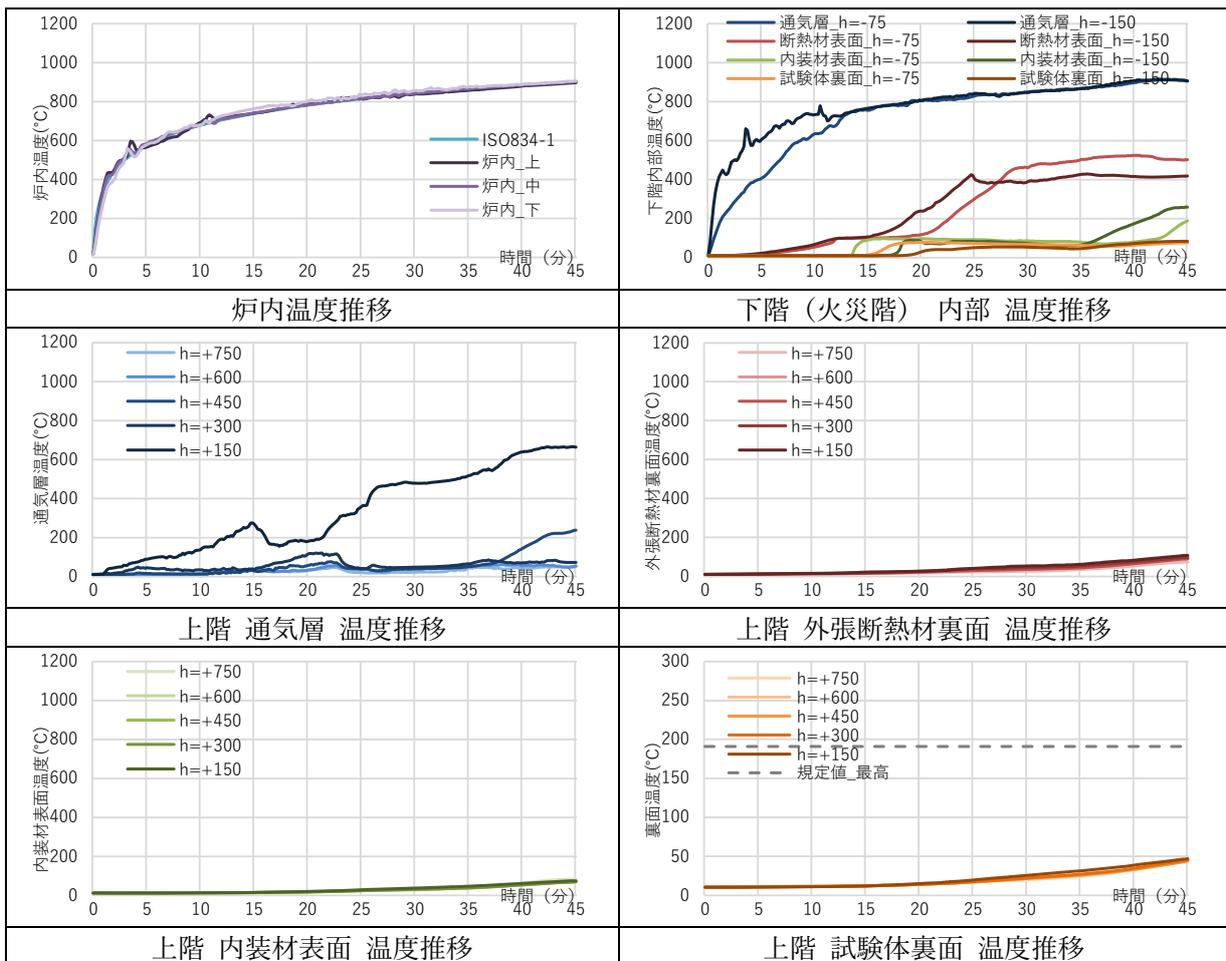
※「h=+〇〇」は上階と下階間に設置されたFSからの距離が上方〇〇(mm)の位置を示す。+, -は上方(+), 下方(-)を表す。

試験年月日	令和 6年11月20日 10時05分 ~ 10時50分
加熱方向	屋外側加熱
試験体仕様	<p>上階：窯業系サイディング(15mm)・グラスウール断熱材(25mm)表張/せっこうボード(9.5mm)裏張/木製軸組造外壁</p> <p>下階：硬質ウレタンフォーム(100mm)充てん/窯業系サイディング(15mm)・グラスウール断熱材(25mm)・合板(9mm)表張/せっこうボード(9.5mm)裏張/木製軸組造外壁</p> <p>FS ファイヤーストップ材：鋼板製通気金物</p>



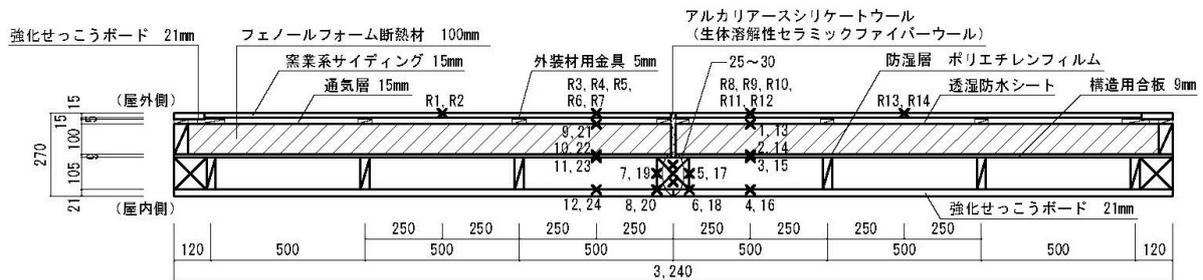
試験結果	45分00秒 加熱終了。上階の遮炎性は喪失せず。通気層上端で炎は噴出せず。
------	---------------------------------------



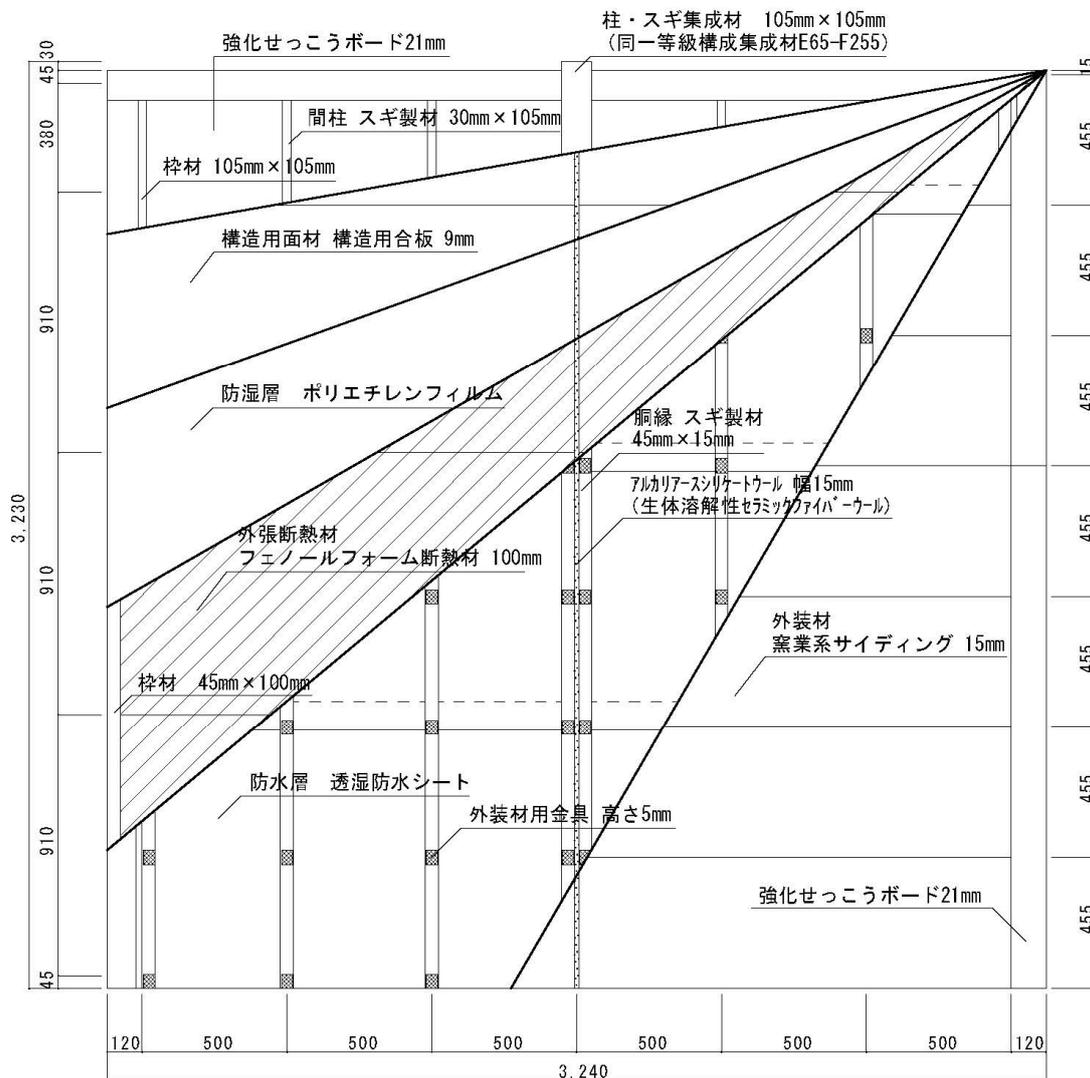


※「h=+〇〇」は上階と下階間に設置されたFSからの距離が上方〇〇(mm)の位置を示す。+, -は上方(+), 下方(-)を表す。

試験体仕様	窯業系サイディング (15 mm)・フェノールフォーム断熱材 (100 mm)・合板(9 mm)表張 ／強化せっこうボード (21 mm) 裏張／木製軸組造外壁
-------	-------------------------------------------------------------------------------------



水平断面図



各層構成図

※内部温度の測定は、試験体下端から高さ 1,600 mm (1~12) および 2,400 mm (13~24) の位置でそれぞれ測定

試験年月日	令和 5年 9月 1日 14時32分 ~ 15時32分	
加熱方向	屋内側加熱	
試験結果	3 7分50秒	せっこうボード目地より炉内へ発炎
	4 2分00秒	せっこうボード目地より炉内への発炎が途切れない状態になる
	5 4分00秒	炉内白く曇り、観察不可。
	5 5分頃	バリバリ音が激しくなる。合板に火が入った状況と想定される
	5 7分頃	音が変わる。外張断熱材へ火が入った状況と想定される
	5 9分50秒	内装材が一部脱落
	6 0分	試験終了

