

建築防火工学

野口貴文

内・外装設計

防火対策上の内外装設計の目的

- 内装設計
 - 出火防止
 - 内装が原因となって火災を起こさないこと
 - 避難安全
 - 内装の燃焼拡大が原因となって在館者の避難行動を妨げないこと
 - 消防活動支援
 - 内装の燃焼拡大が原因となって消防活動を妨げないこと
- 外装設計
 - 建物間延焼防止
 - 外部の火災に対して外装に着火して火災を起こさないこと
 - 建物内延焼防止
 - 下階の火災に対して外装の燃焼拡大が原因となって火災を拡大しないこと





内装設計の考え方

■ 出火防止のための内装設計

－ 火気の種類と対策

- 移動火源(タバコ、可動式ストーブ)
 - － 使用者によって持ち込まれ、使用場所が限定しにくい
 - － 使用者の注意・管理による対策
 - － 避難安全を目的とした対策
 - － 避難行動可能な時間の確保
 - － 安全な避難ルートの提供
- 固定火源(調理設備、湯沸かし器、固定式暖房装置)
 - － 設計者が使用場所を設定

内装設計の考え方

■ 出火防止のための内装設計

－ 固定火源の種類・対策

- 種類
 - － 裸火が室内に露出(コンロ)
 - － 機器の内部で燃焼する火気(湯沸かし器、暖房装置)
- 対策
 - － 管理上の対策
 - 周囲に可燃性の収納物を置かない
 - － 建築的な防火対策
 - 周囲の内装材料・建築設備は、発熱体から与えられる熱に対して容易に着火しないこと
 - 周囲の内装材料・建築設備は、たとえ着火しても燃焼拡大しないような強い自消性を有すること

－ 評価

- 表面材、下地材
- 長期加熱による溶融・変形

内装設計の考え方

■ 出火室の避難安全のための内装設計

－ フラッシュオーバー

- 出火→可燃物に延焼→火災拡大→天井下の高温煙層と火炎伝播→放射熱による床上の収納可燃物の着火・燃焼→フラッシュオーバー
- フラッシュオーバー
 - － 室内全体が火炎に包まれる→急激な酸素不足→有毒ガスの大量発生
- フラッシュオーバーによる滞在限界時間
 - － 出火後フラッシュオーバーに達するまでの時間
 - > 出火室からの在館者の避難時間
- 煙降下による滞在限界時間
 - － 火災拡大に伴って天井下に形成された煙層の降下によって人が煙に巻かれるような状態に達するまでの時間
 - > 出火室からの在館者の避難時間

内装設計の考え方

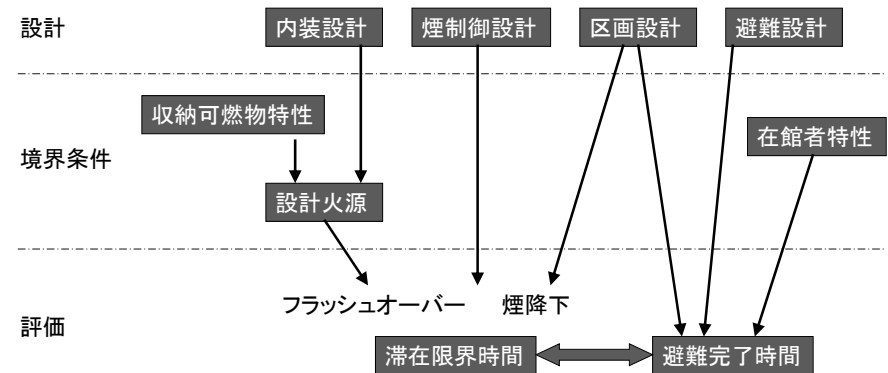
■ 出火室の避難安全のための内装設計

－ 可燃性内装材料の特徴

- 量・形状
 - － 総量は収納可燃物よりはるかに少ない
 - － 薄板状に露出、表面積は収納可燃物より大きい
 - － 温度上昇が速い
 - － 燃え始めると燃焼面積が拡大して激しい燃焼
- 火炎
 - － 可燃内装で仕上げられた壁・天井に着火→壁・天井表面に沿った火炎の拡大→燃え拡がりの促進
- 位置
 - － 壁・天井の面的な燃焼→室空間の上部に火炎や高温の煙→床・家具への強い放射熱→一気に着火→フラッシュオーバー

内装設計の考え方

■ 避難安全評価の考え方



内装設計の考え方

■ 出火階避難安全のための内装設計

－ 避難経路の受ける火災外力

- 避難経路内で発生する火災
 - 出火室と避難経路の間の隔壁あるいは開口設備の破損部分から流入してくる火炎や高温の煙
- － 階避難が完了するまで避難経路を滞在可能な状態にしておくような対策
- － 初期火災に対してフラッシュオーバーに至らないような対策・設計

内装設計の考え方

■ 消防活動拠点確保のための内装設計

－ 建築基準法

- 対象
 - － 梯子車での外部からの消火活動が困難となるような高層部分・地下部分を有する建築物
- 要求
 - － 非常用エレベータ設備、特別避難階段の設置
 - － エレベータ・階段等の縦穴区画に隣接した附室の設置
- 附室
 - － 消防活動の拠点
 - － 全館避難時の階段室保護
 - － 不燃内装、防火扉、排煙設備の設置義務

内装設計の考え方

■ 内装防火性能の評価

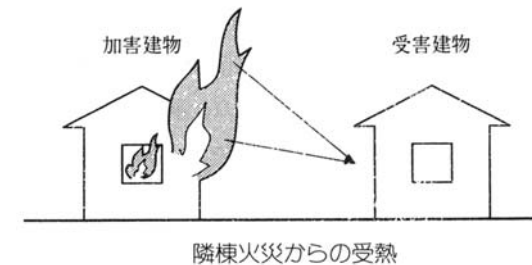
- 内装として室内に施工された状態での空間性能として評価するのが理想
- 室空間としての内装に要求される機能

クラス	内装の機能	防火目的
1	火災のあらゆる段階においても火災安全上問題となるような燃烧・変形・脱落・有毒ガスを発生しない	全館避難安全 消防活動拠点の確保
2	内装の燃烧が原因で在館者の避難安全に支障をきたさない	出火防止 階避難安全
3	一般的な建物の階において、階避難が完了するまでは、内装の燃烧が原因で当該階の在館者の避難安全に支障をきたさない	階避難安全
4	一般的な居室において、居室避難が完了するまでは、内装の燃烧が原因で当該室の在室者の避難安全に支障をきたさない	居室避難安全

外装設計の考え方

■ 隣棟火災からの受害防止のための外装設計

- 加害建物(火災を起こしている建物)と受害建物(火熱を受ける建物)の構造種別に応じた加害-受害シナリオ



外装設計の考え方

■ 隣棟火災からの受害防止のための外装設計

- 加害建物(火災を起こしている建物)と受害建物(火熱を受ける建物)の構造種別に応じた加害-受害シナリオ
 - 加害建物: 木造
 - 建物全体が燃え上がっているような状況からの火熱を想定
 - 加害建物: 耐火造
 - 火災室開口部からの放射熱と噴出火炎を想定した火源の設定
 - 受害建物: 木造
 - 開口部を介した延焼経路
 - 外壁着火→燃え抜けという燃烧経路
 - 受害建物: 耐火造
 - 外壁・開口部の保有耐火時間等を考慮しながら弱点部分を評価

外装設計の考え方

■ 隣棟火災からの受害防止のための外装設計

- 外装が延焼経路となるケース
 - 外装表面に着火→燃烧が外壁内部方向に進行→外壁を燃え抜け→室内に延焼
 - 隣棟からの火熱に対して外装表面が着火しない
 - 隣棟からの離隔距離の設定
 - 使用材料の選定
 - 外装表面に着火→外装表面上を火炎伝播→開口部等の弱点部に火炎到達→開口部等の破壊→室内に延焼
 - 開口部等の耐火性能の向上
 - 不燃性・強自消性の外装材

広島基町高層住宅での火災



広島基町高層住宅での火災

■ 概要

- 高層住宅バルコニー上階延焼火災
- 1996年10月28日
- 広島市高層住宅9Fの一室で火災発生
- 最上階の20Fまで上階延焼し、16戸の住戸が全焼
- 焼損面積580㎡、全焼16戸、部分焼11戸
- 20階建の鉄骨造
- 偶数階：片廊下、36㎡／住戸
- 奇数階：片廊下から2戸毎の専用階段、42㎡／住戸
- バルコニー手摺り：アクリル板

広島基町高層住宅での火災

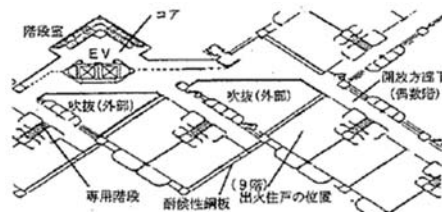


図1 出火住戸付近の空間構成（偶数階）

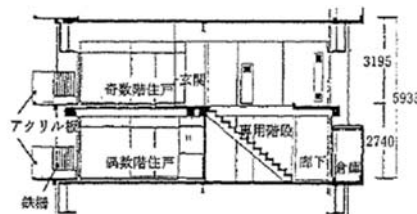


図2 出火建物の住戸断面図

広島基町高層住宅での火災

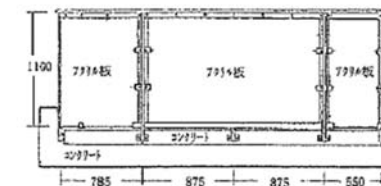
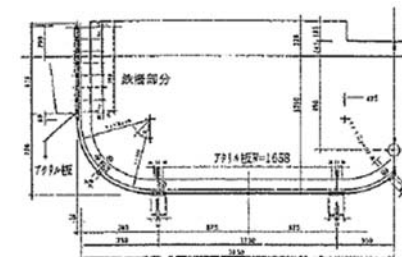


図3 バルコニー手摺の平面図・立面図

広島基町高層住宅での火災

■ 延焼の経過

- 延焼の経過時間は、各記録を照合して推定
- アクリル板への着火・燃焼の各階における経過時間
- 急激な速度で上階へ延焼が拡大

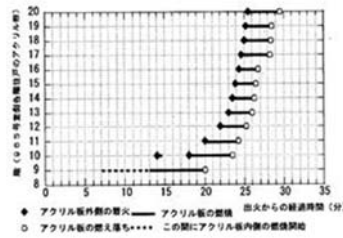


図4 出火住戸側各階アクリル板着火・燃焼経過

モンテカルロホテル火災



モンテカルロホテル火災

■ 概要

- 2008年1月25日
- 適切な許可を得ない金属部材の切断や溶接が屋上で行われて発生した火花が、外壁面のモールディングに延焼。
- ポリウレタンで表面被覆された発泡プラスチック。
- 延焼したモールディングは、火災後GFRCで修繕工事。
- NFPA285をパスしたEIFS部分において燃え止まり。
- 認定を受けた工法とそうでない材料の混用の危険性。
- 上階延焼に加えて、横方向・下方向の延焼も発生。

モンテカルロホテル火災



モンテカルロホテル火災

- 関連法規
 - Monte Carlo ホテルは、UBC1991に準拠して建設。
 - UBC26-4: Multi-story fire evaluation test(1994)。
 - 火災発生当時、Clark Countyでは、IBC2006を採用。
 - IBC2603 Foam Plastic Insulation ⇒ NFPA285
- 類似した火災事例
 - The MGM Grand ホテル火災:1980年11月21日

北京TVCC火災



北京TVCC火災

- 火災概要
 - 2009年2月9日発生
 - 違法に打ち上げられた花火がビル屋上の断熱材(XPS)に引火した。
- 延焼拡大性状
 - 屋上から燃え始め、外壁下方向へ延焼
 - 断熱材の上下左右の多方向の燃え拡がりによる延焼拡大
 - ファイアーストップの無い連続空気層が燃焼を助長



外壁面を介した火災拡大

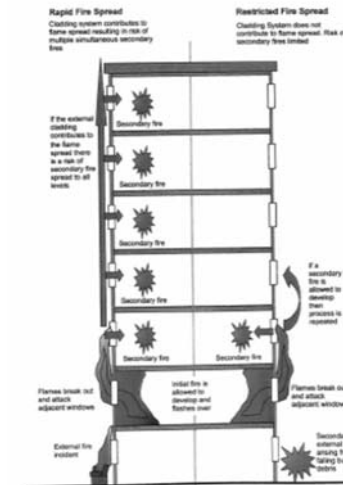


Figure 2 Mechanisms for external fire spread by way of the external cladding system

隣棟間隔の重要性



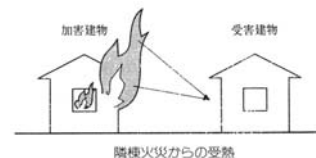
外装設計の考え方

- 同一建物火災での上階への延焼防止のための外装設計
 - 評価対象
 - 堅穴区画や床などに一定の耐火性能を有し、屋内での上階延焼よりも上下階の開口間の延焼危険性が重大となるような建築物
 - 想定火源
 - 火災が起こっている下階の開口部からの噴出火煙
 - 外装設計
 - 開口部等の耐火性能の向上
 - 不燃性・強自消性の外装材

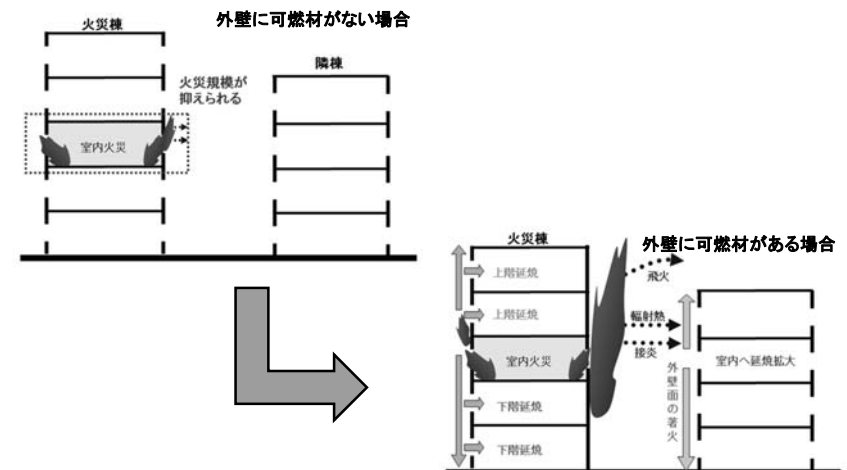
外装設計の考え方

- 外壁躯体の耐火性能
 - 外壁に一定の性能を有する外断熱材を施す場合は、それぞれの構造に必要な性能(外壁躯体の耐火性能)を損ねないこと

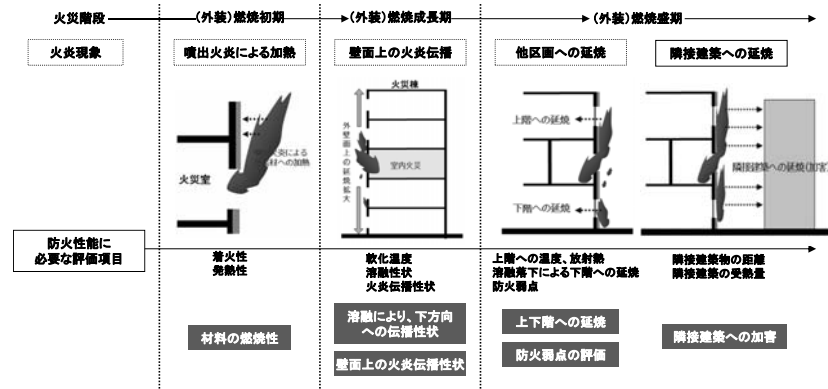
- 外装材の延焼防止性能
 - 隣棟火災からの受害防止
 - 上(下)階への延焼防止



外装設計の考え方



外装設計の考え方



■可燃材を使用した外壁に要求すべき防火性能とは

- 外壁面上の燃え広がり防止** 目地、開口部など弱点にならないこと
外壁が燃えた場合、周囲に対して延焼危険を与えないこと
- 延焼加害防止** 上下階への延焼防止—外部開口を通ずる延焼経路とならないこと
外装材の溶滴、落下の防止—熱可塑性の材料の溶滴、落下による延焼拡大が発生しないこと
- 類焼受害防止** 建築物周囲の火災により、建築内部への類焼経路とならないこと

評価基準

■ 防火目的と評価基準

部位	目的	想定火源(例)	基準
出火防止		日常火気(コンロ等) 天ぷら油火災	内装材が ・着火しないこと ・強自消性を有すること
内装	居室避難安全 階避難安全 全館避難安全 消防活動拠点確保	屋内の初期火災 火災室から屋内に噴出する火煙	避難が完了するまで火災を拡大させないこと 内装材が着火しないこと
外装	都市大火防止 火災規模の限定(区画化)	隣棟火災 火災室の開口部から屋外に噴出する火煙	外装材が着火しないこと 外装材が自消性を有すること

評価基準

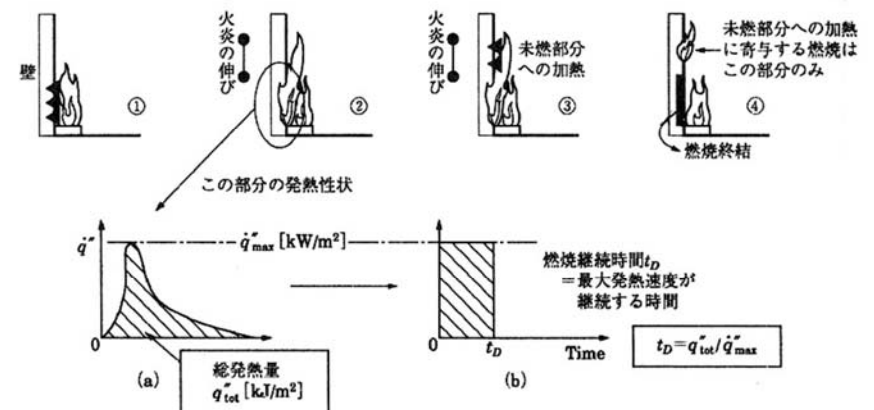
■ 火炎伝播モデル

- 内外装の燃焼拡大の支配因子
 - 火源からの加熱性状
 - 材料の着火性・発熱性
- 表面火炎伝播
 - 材料表面上の燃焼拡大
- SQWモデル(Saito, Quintiere, Williams)
 - 巨視的な火炎伝播モデル

評価基準

■ 火炎伝播モデル

— 壁面上の火炎伝播メカニズム



評価基準

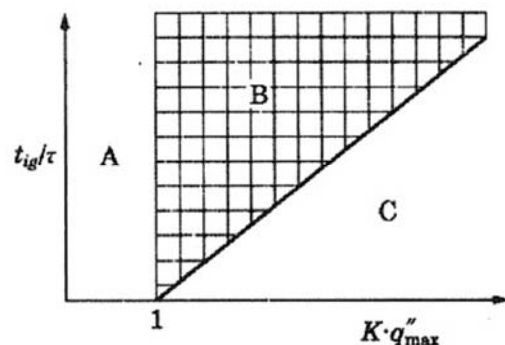
- 火災伝播モデル(壁面上の火炎伝播メカニズム)
 1. 内装表面が加熱源から熱流を受ける
 2. 材料の表面温度が上昇
 3. 材料固有の着火温度 T_{ig} に到達
 4. 材料が着火、燃焼の開始
 5. 火炎が上方に伸びる
 6. 未燃部分を加熱
 7. 火炎の伸び
 - ∝着火した部分の発熱速度に依存
 - ∝(材料の単位面積当たりの発熱速度)×(着火領域面積)
 8. 経過時間に伴う発熱速度の変化
 9. 未燃部分への加熱強度・加熱面積の変動
 - 単純化
 - 一定の発熱速度 q_{max}'' が時間 t_d の間継続すると仮定

評価基準

- 火災伝播モデル
 10. $t_d < t_{ig}$ (材料が T_{ig} に達する時間)
 - 未燃部分は着火せずに壁面に沿った燃焼拡大なし
 - $t_d > t_{ig}$
 - 未燃部分が着火して上方に火炎は伝播
 11. 先に燃焼していた部分が燃え尽きる
 12. q_{max}'' が小さい場合、燃焼拡大速度は減速
 13. 燃え止まり現象
 - 火炎伝播速度
 - 未燃部分が着火に要する時間
 - ⇔未燃部分を加熱している燃焼部分が燃え尽きるまでの時間

評価基準

- 火災伝播モデル
 - 材料の燃焼特性と火炎伝播



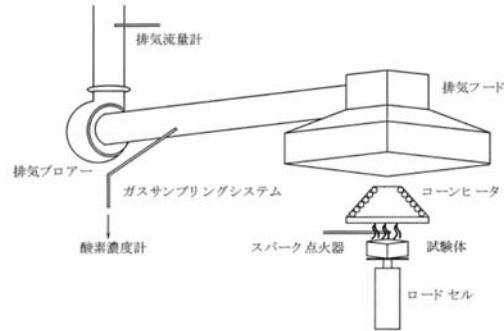
評価基準

- 火災伝播モデル
 - 領域A
 - 着火源の大きさによらず火炎伝播を起こさない領域
 - $K \cdot q_{max}'' < 1$
 - 材料の単位面積当たりの発熱速度が小 → 燃焼拡大は生じない
 - 領域B
 - 着火源からの加熱で、最初、燃焼拡大。次第にその速度は減速して燃え止まる可能性がある材料が入る領域。
 - $t_{ig}/\tau > \chi \cdot K \cdot q_{max}'' - 1$
 - τ : 燃焼特性時間
 - 燃焼の継続性、発熱強度の減衰性状を表す指標。 t_d と等価。
 - K : 比例定数 ($\approx 0.01 \sim 0.02 \text{ m}^2/\text{kW}$)
 - χ : 比例定数。B領域とC領域を分ける境界線の傾き。空間形状が表面火炎伝播に与える影響の大きさを意味するファクター。
 - 領域C
 - 火炎が加速度的に伝播し、燃え止まらずに拡大する領域

評価試験法

■ 簡易評価法

－ コーンカロリメータ(材料の発熱性評価試験)



種類	加熱時間	性能要求内容
不燃材料	20分	①総発熱量8MJ/m ² 以下 ②最高発熱速度が10秒を超えて連続して200kw/m ² を超えることがないこと
準不燃材料	10分	③防炎上有害な裏面まで貫通する亀裂および穴がないこと
難燃材料	5分	

内装制限

用途・構造・規模区分	居室等	居室から地上に通ずる主たる廊下、階段、通路
①劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂、集会場	難燃材料	準不燃材料
②病院、診療所(患者の収容施設のあるもの)、ホテル、旅館、下宿、共同住宅、寄宿舎、児童福祉施設等		
③百貨店、マーケット、展示場、キャバレー、カフェー、ナイトクラブ、バー、ダンスホール、遊技場、公衆浴場、待合、料理店、飲食店または物品販売業を営む店舗		
④地階または地下工作物内の居室等で①②③の用途に供するもの	準不燃材料	
⑤自動車庫、自動車修理工場	難燃材料	
⑥無窓の居室	準不燃材料	
⑦階数および規模によるもの	難燃材料	
⑧火気使用室	準不燃材料	
⑨階数が11以上のもの(200m ² 以内に防火区画された部分) (500m ² 以内に防火区画された部分)	準不燃材料	準不燃材料
	不燃材料	不燃材料
⑩地下街 (200m ² 以内に防火区画された部分) (500m ² 以内に防火区画された部分)	準不燃材料	不燃材料
	不燃材料	

外装制限

■ 平成14年 日本建築行政会議「耐火構造の外壁に木材、外断熱材等を施す場合の取扱い」

- － 外壁に一定の性能を有する外断熱材(不燃系)を施す場合は、それぞれの構造に必要な性能を損ねないと判断できる。
- － RC造等の外壁については、有機系の断熱材(JIS A 9511)を施すことも可能である。

■ 外壁に求められる防火上の性能

- － 耐火性能(非損傷性、遮熱性、遮炎性)
- － +a(可燃性外装における燃え拡がりの抑制)

評価試験法

■ ICAL (Intermediate-scale calorimeter)

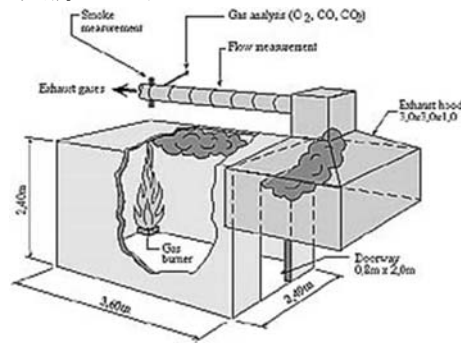


評価試験法

■ 簡易評価法

ー ルームコーナー試験

- 2.4×3.6×2.4m
- 短辺側の一壁に0.8×2.0mの開口
- 開口と反対側の室隅部に火源バーナー
- 発熱速度を変化
- 内装の火災性状評価



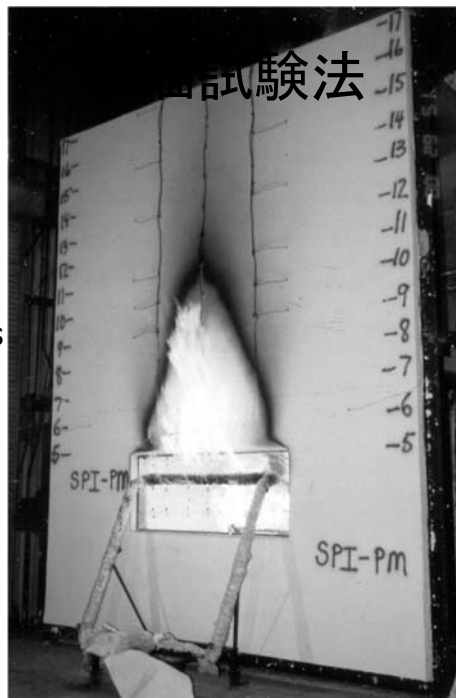
評価試験法

UBC26-4
Multi-story fire
evaluation test



評価試験法

NFPA 285
“Standard Fire
Test Method
for Evaluation
of Fire
Propagation
Characteristics
of Exterior
Non-load-
bearing Wall
Assemblies
Containing
Combustible
Components”



- 合否判定
- ①外壁表面における
火炎伝播
 - ②芯材における
火炎伝播
 - ③1層の試験室からの
火炎伝播
 - ④2層の試験室の温度
開始時+278℃以下
 - ⑤2層の試験室
における火炎

外壁評価の参考例(NZ)

- 外壁システム(External Wall Cladding System)からの最大発熱速度・総発熱量で評価
- ただし、以下は例外
 - ー 外装仕上げ(1mm未満)が不燃の下地に取り付けられている場合
 - ー 全ての壁体で、NFPA285をパスしている場合
- 地方機関の判断により、他の実規模ファサード試験も可能
 - ー VCT (Vertical Channel Test)など

外壁評価の参考例(NZ)

タイプ	最大発熱速度 (kW/m ²)	総発熱量 (MJ/m ²)
A	100	25
B	150	50
—	要求無し	要求無し
参考(日本) 防火材料	200 (10秒以上継続)	8

■ 外装システムに対する発熱速度許容値

- タイプは、建物高さ・敷地境界線までの距離・用途によって決定
- コーンカロリー計試験時間:15分、加熱強度:
50kW/m²