

平成23年度建築基準整備促進事業  
15.防火・避難対策等に関する実験的検討

---

平成24年4月12日

事業主体

清水建設(株)、早稲田大学、東京理科大学、東京大学、  
(株)大林組、鹿島建設(株)、大成建設(株)、(株)竹中工務店

共同研究機関

(独)建築研究所

# 調査内容・体制

---

## □ 調査内容

- (イ) 避難者属性の設定方法等に関する調査検討
- (ロ) スプリンクラーの消火効果に関する調査検討
- (ハ) 可燃性外装の影響を考慮した上階延焼危険検証法に関する調査検討
- (ニ) ポリマーセメントモルタルにより断面補修したRC造部材の防耐火性能に関する実験的検討

## □ 体制

- 調査内容ごとにWGを設置
- ポリマーセメントモルタル検討委員会を設置

# (イ)避難者属性の設定方法等に関する調査 検討

**【対象】**建物用途ごとの自力避難困難者・介助者

**【課題】**・自力避難困難者の人数・困難度の把握  
・火災時介助行動(見込み)の把握

**【内容】**・自力避難困難者の想定に関する検討  
・介助行動の想定に関する検討  
・避難場所のケーススタディ

**【成果】**自力避難困難者と介助者に関する防災計画に対応した避難計算法および考え方を提案

# 自力避難困難者の想定に関する検討

【目的】建物用途毎の自力避難困難者数の想定方法の検討

【方法】

- ①統計・文献資料調査
- ②自力避難困難者数の想定検討
- ③病院等の実火災避難事例調査

【成果】

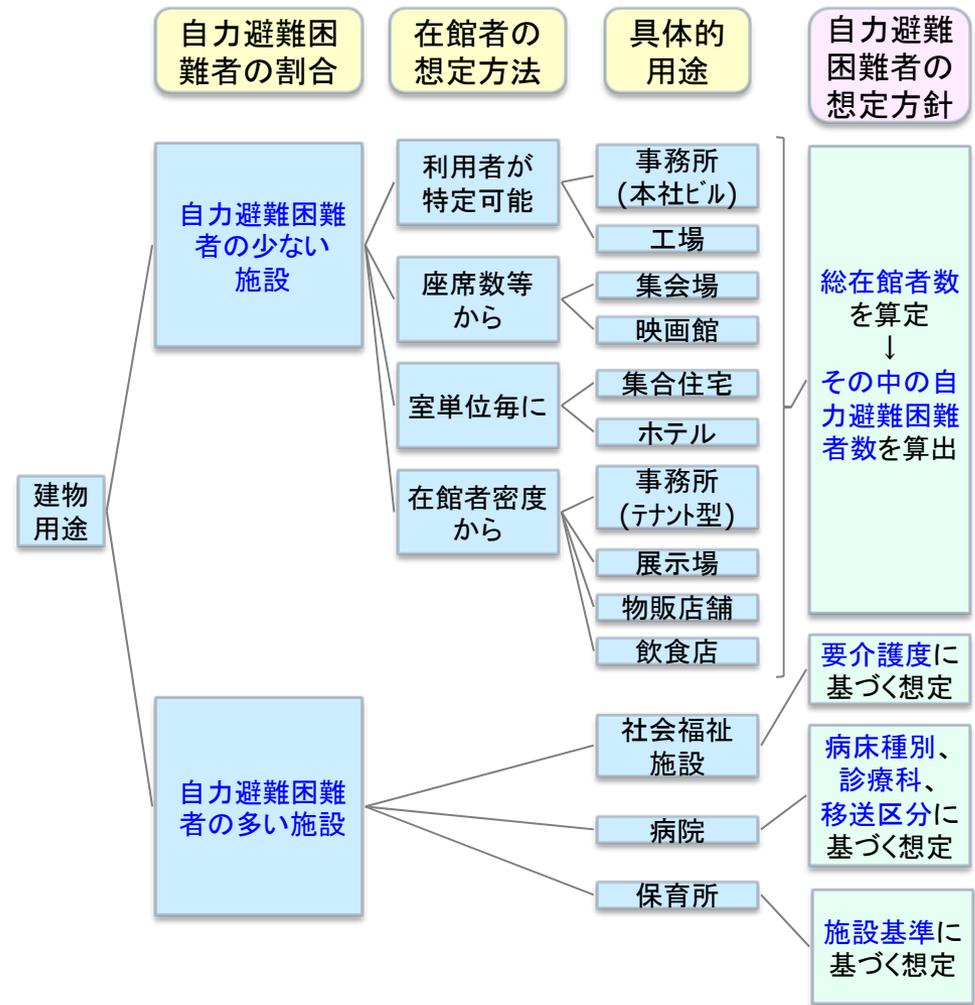
○建物用途を

自力避難困難者の少ない施設

自力避難困難者の多い施設

に分類

○自力避難困難者数の想定方法の提案



# 介助行動の想定に関する検討

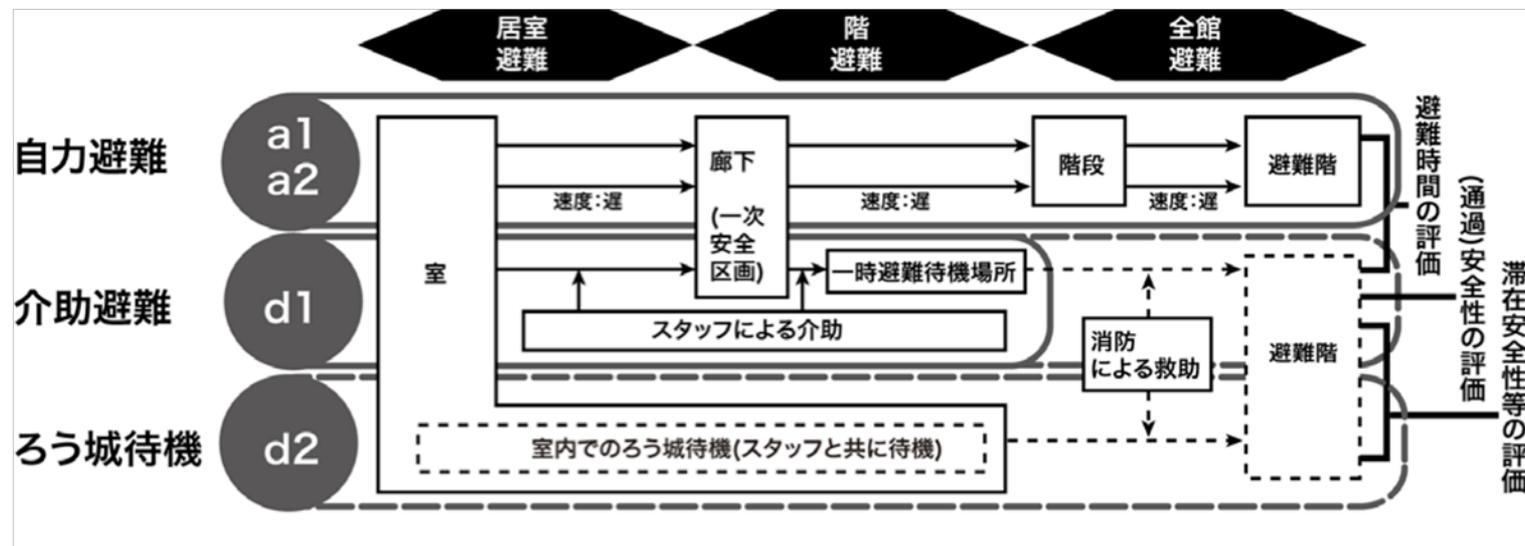
【目的】 建物用途毎の介助者数および介助方法想定 の検討

【方法】

- ①統計・文献資料調査
- ②介助者数の想定方法の検討
- ③階段降下介助避難実験

【成果】

- 建物用途毎の介助者数想定方法を提案
- 自力避難困難者の階段降下介助避難方法の把握



# 避難場所のケーススタディ

【目的】 在館者が安全に滞在できる建物内外の避難場所を安全性のレベル別に設定

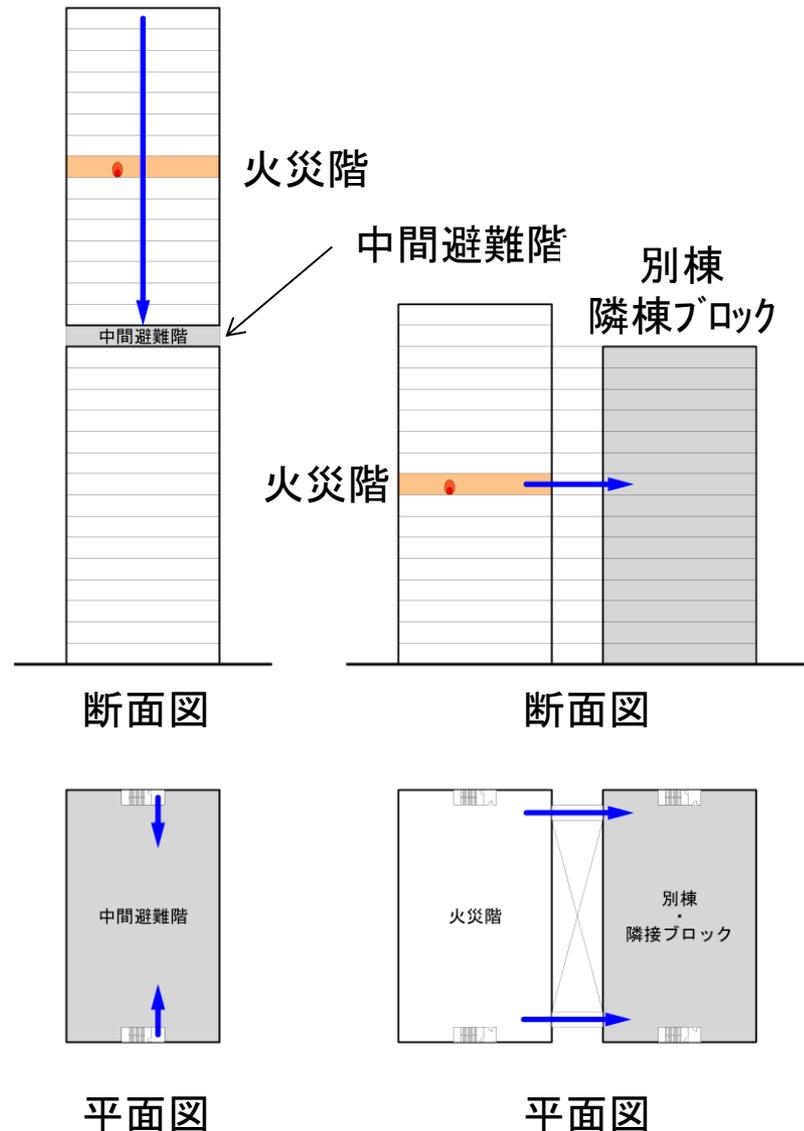
【方法】

- ①安全性のレベルからみた避難場所の定義
- ②各避難場所の要求要件の整理
- ③防災計画上避難場所の特徴のある事例調査

【成果】

○最終避難場所、準最終避難場所を定義し、求められる安全基準の要件を整理・提案

○具体的な準最終避難場所実例の提示



# (イ)のまとめ

---

## (1) 自力避難者の想定に関する検討

統計データ等から建物用途毎の自力避難困難者の数を推定するベースとなる資料の収集と、想定方法の試案を提示

## (2) 介助行動の想定に関する検討

統計データ等から、建物用途毎の介助者の数を推定するベースとなる資料の収集と、想定方法の試案を提示

## (3) 避難場所のケーススタディ

避難場所として、避難階に設定される従来の避難場所を最終避難場所とし、そこに至らずとも、安全性を確保できる準最終避難場所を設定し、そのあり方を検討

# (ロ) スプリンクラーの消火効果に関する調査 検討

**【対象】**スプリンクラー(SP)およびSPを設置した室など

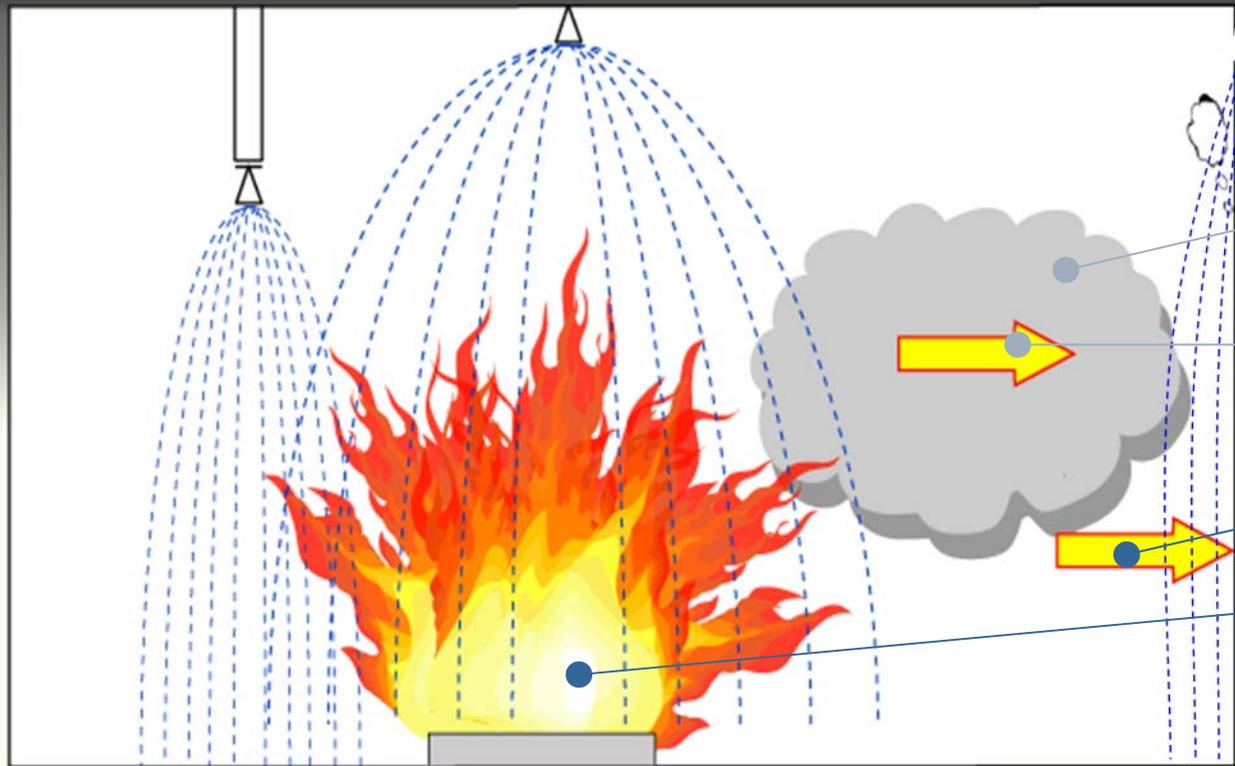
**【課題】**火災安全設計・評価に関わるSP消火効果の把握

**【内容】**

- ・火災安全設計・評価におけるSPの考え方の整理
- ・避難安全性能に対するSP効果の検討
- ・耐火性能に対するSP効果の検討

**【成果】**SPを考慮した検証法の構築に資する基礎資料  
(検証法の基本的な考え方等) を作成

# スプリンクラー設備 (SP) の考え方



## SPの効果

- ・火炎から区画部材への輻射熱の低減
- ・区画内温度の低下による対流熱の低減
- ・区画部材の冷却
- ・可燃物の燃焼の抑制あるいは消火

- ①SPに関する現行規定の整理、②SPの作動条件に関する検討
- ③SP作動後の可燃物の発熱速度に関する検討
- ④SPの有無による焼損床面積、SPの作動信頼性等に関する文献調査

# 避難安全性能に対するスプリンクラー効果の検討

(1) スプリンクラー設備の効果(火災統計)→表1

(2) 避難安全設計上の課題の整理

(3) スプリンクラー設備が設置された空間の設計火源に関わる検討→図1

(4) スプリンクラー設備作動環境下の発熱速度および煙流動性状に関する検討

(5) スプリンクラー設備を考慮した火災リスク評価(ケーススタディ)

表1 焼損床面積(m<sup>2</sup>)の統計値(1998~2005)

用途	物販系		事務系		住居系	
	あり	なし	あり	なし	あり	なし
SP作動	あり	なし	あり	なし	あり	なし
データ数	399	13503	100	9904	207	90979
最大値	336	6256	160	3034	260	1804
平均値	2.3	23.4	2.4	27.4	19.8	30.5
標準偏差	21.0	104.5	16.2	100.5	44.7	57.7

※1 焼損床面積1m<sup>2</sup>未満

※2 焼損床面積3m<sup>2</sup>以下の場合

(0.\*\*\*)は分岐確率

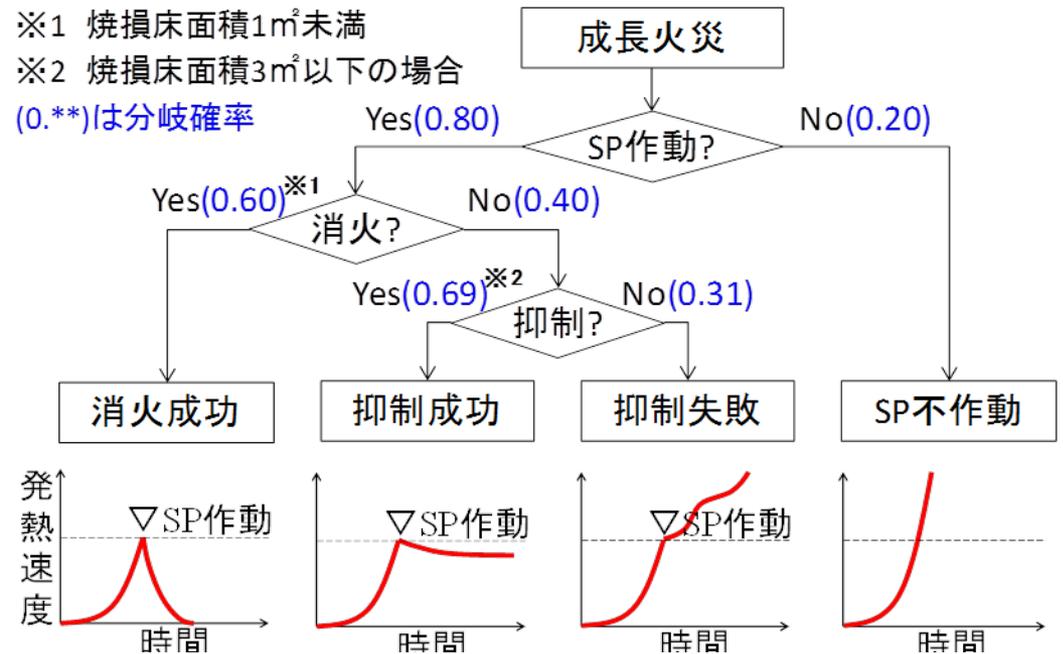


図1 設計火源の分類と生起確率(物販系) 9

# 耐火性能に対するスプリンクラー効果の検討

(1) SPを考慮できる条件の整理 →

□ 建築物の規模・・・全館避難が可能  
(SP不作動時耐火時間、SP設計作動時間内)

(2) 散水設備による外力低減効果(文献調査) → 図1

□ 地震時・・・層間変形角が損傷限界以下

(3) SPによる外力低減効果(解析的検討) → 図2

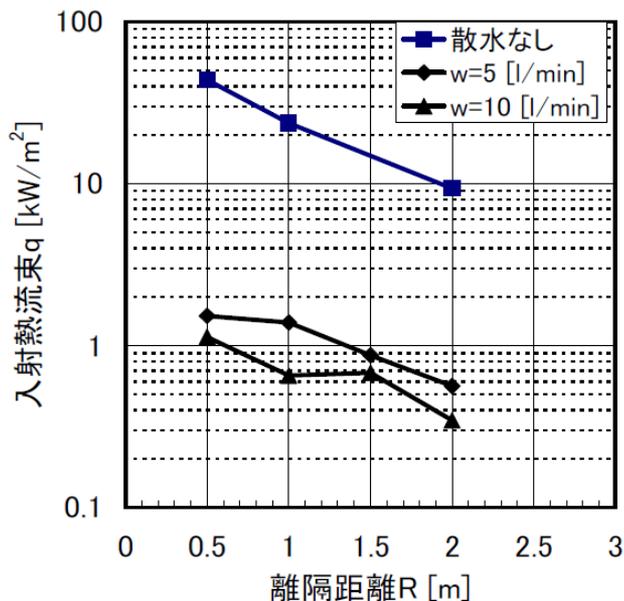


図1 鋼板への熱流束

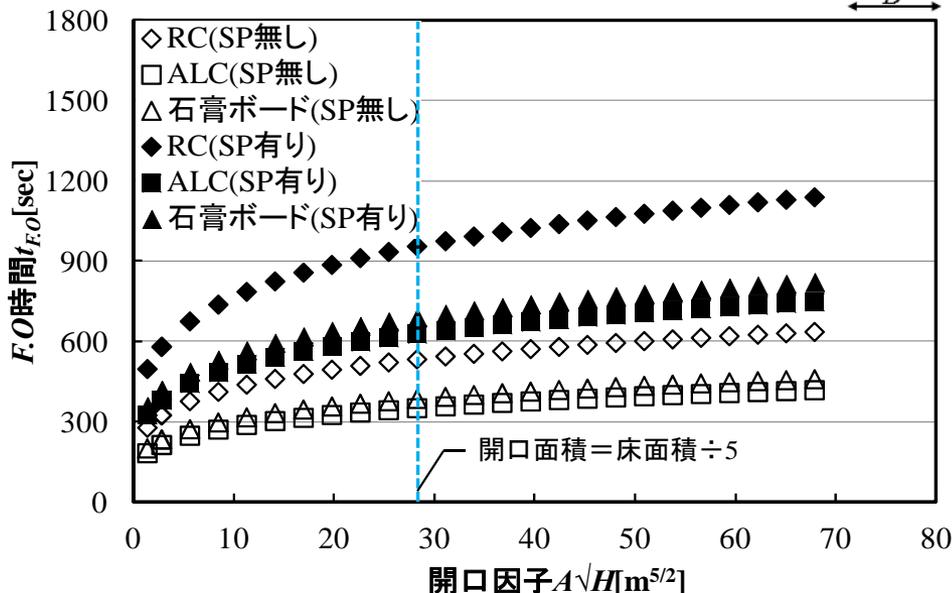


図2 SPの作動を考慮したF.O発生時間



## (ロ)のまとめ

---

### (1) スプリンクラー設備の考え方

- ①SPを考慮した火災安全設計と評価フレーム・リスクに対する考え方を整理
- ②SPの作動条件、作動時発熱速度について定量的に把握

### (2) 避難安全性能に対するスプリンクラー効果の検討

SPを考慮した性能的避難安全設計、SPと設計火源、SP作動下の煙流動性状などについて整理

### (3) 耐火性能に対するスプリンクラー効果の検討

建築物の要求耐火性能、SP等を考慮できる条件、防火区画とSPの関係、SPの作動確率と部材の崩壊温度などの検討成果

## (ハ) 可燃性外装の影響を考慮した上階延焼危険検証法に関する調査検討

**【対象】**スパンドレル

**【課題】**前年度検討された外壁に可燃物が無い状態での上階延焼検証法について、外壁の燃焼性状を考慮した検証法に拡張する。

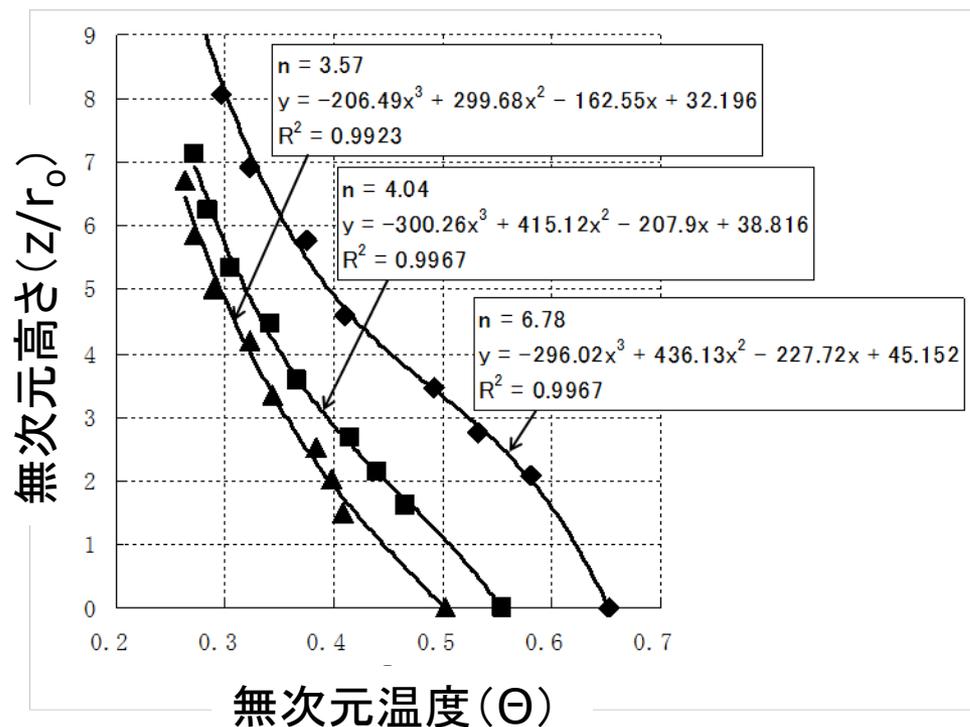
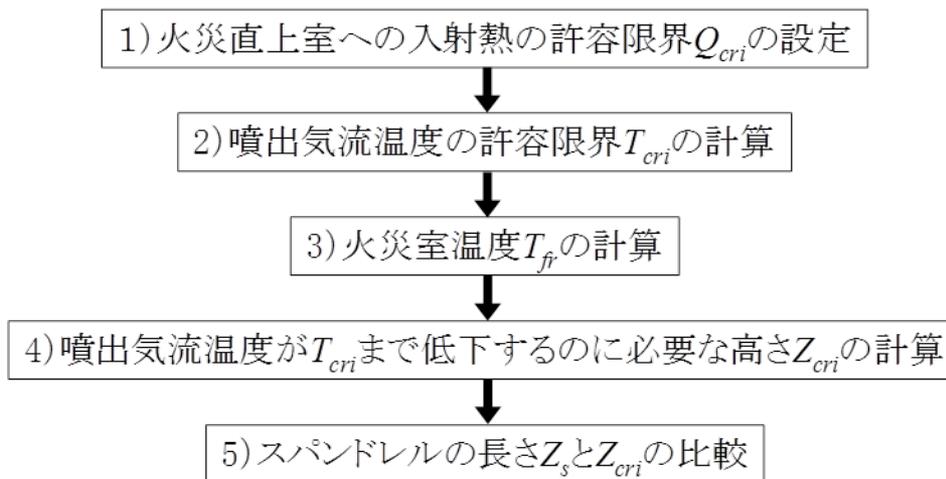
**【内容】**開口噴出熱気流を受ける可燃性外装の上方延焼の検証モデルを提案し、加熱強度や材料物性値をパラメータとして、延焼範囲の試算を実施。

**【成果】**外壁の燃焼性状を考慮した上階延焼危険検証法を提案した。

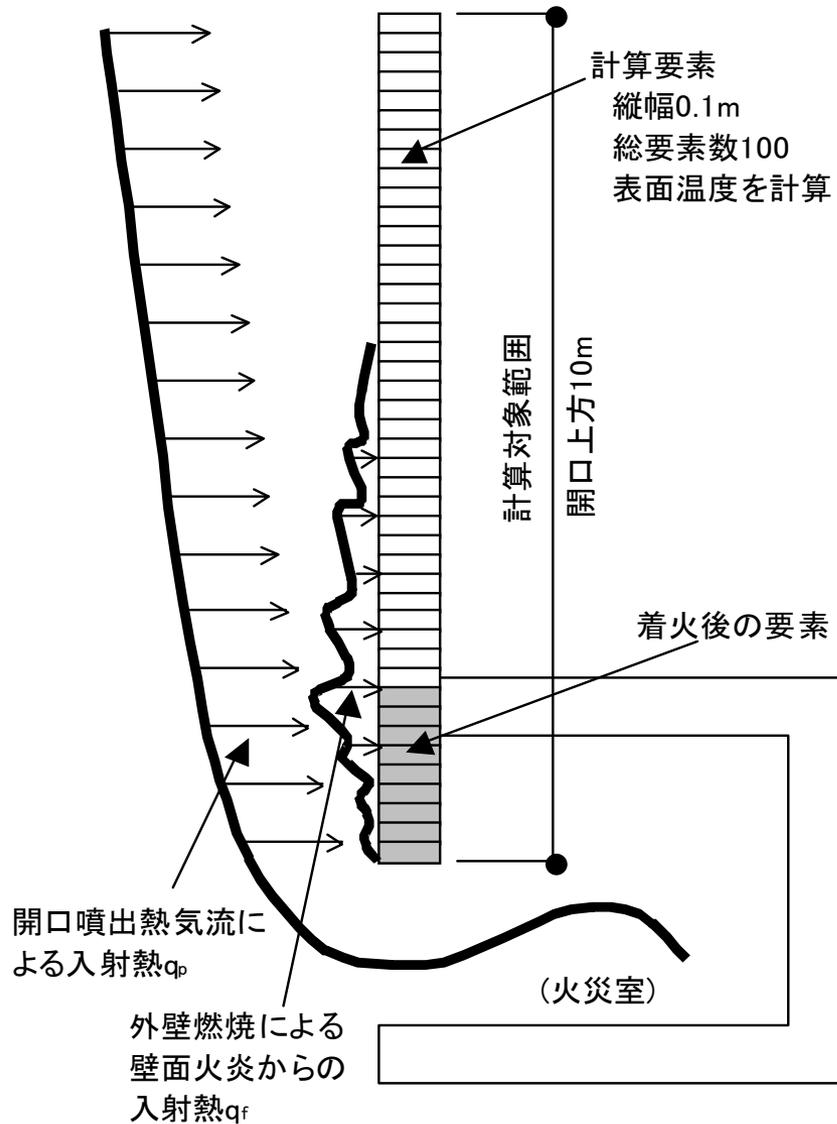
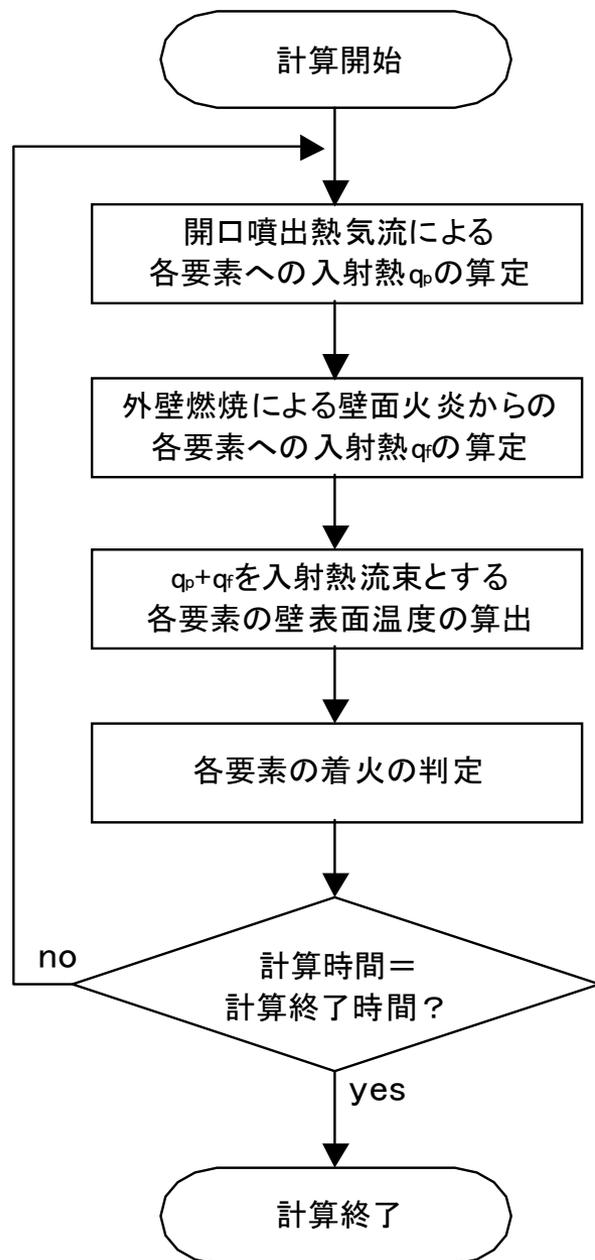
# 壁面が不燃材料の場合の上階延焼検証手法案



大規模ファサード試験の実施  
(参照データの取得)  
(試験体:珪カル板+セラミック)



# 壁面が可燃性材料の場合の上階延焼検証



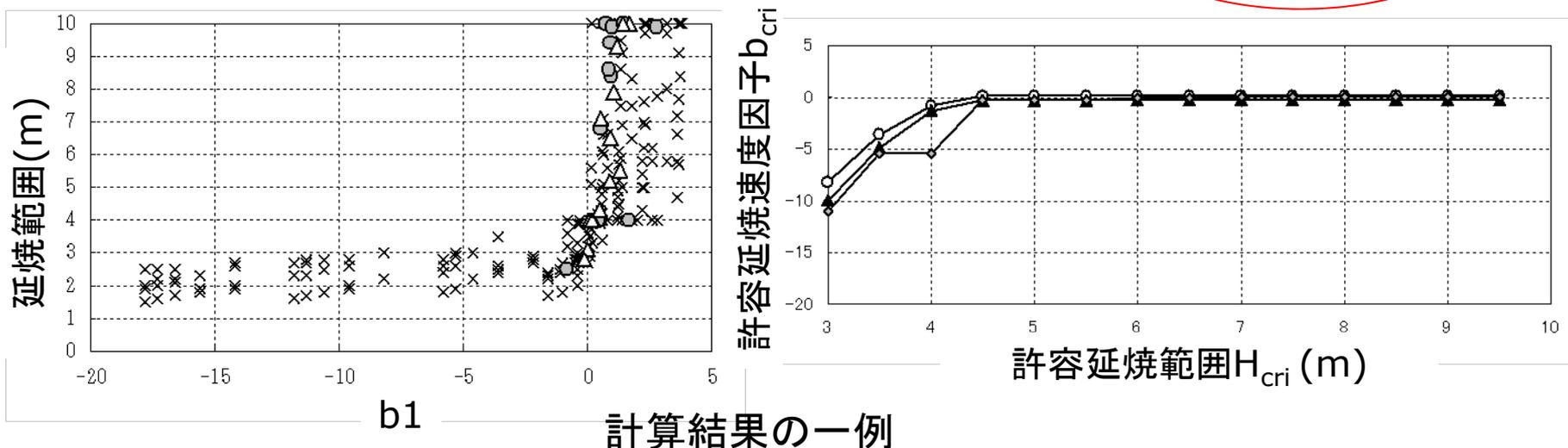
計算の手順とモデルのイメージ

# 噴出気流と外壁燃焼による入射をモデル化した上階延焼検証

## 入力条件

#	$Q''_{max}$ [kW/m <sup>2</sup> ]	$\lambda$ [1/s]	$t_{ig}$ [s]	$T_{ig}$ [°C]	$t_b$	kpc	b1	b2	b3	備考
1	184	0.0090	12	423	9999	0.120	0.73	0.05	0.20	Insulating fib.board
2	208	0.0027	28	406	9999	0.325	1.00	0.23	0.37	High density fib.board
27   266	120, 170, 240, 339, 480,	0.001, 0.010, 0.100,	10, 60, 120, 180,	300, 360, 420, 480,	1000, 100, 10, (=1/λ)	0.057   5.0	-17.8   3.79	-18.2   2.01	-98.6   1.42	

算定方法の異なる延焼速度因子の適用性を検討



計算結果の一例

許容延焼範囲: 開口上端を基点とする範囲、上階延焼・隣棟延焼などの観点から決定する  
 許容延焼速度因子: 許容延焼範囲を超えないための延焼速度因子

## 具体的な外壁事例と上階延焼検証法の課題

外壁事例	検証法の課題
カーテン・ウォール	屋内外加熱に対するスパンドレル部の取扱い
外断熱工法	開口部端部処理・通気層・延焼遮断帯等が燃焼性状に及ぼす影響、断熱材の溶融や下方向延焼による火災拡大
サンドイッチパネル	パネル端部から噴出した可燃性ガスや火炎による目地部を介した隣接パネルへの延焼や、鋼板の脱落等
木材ファサード	溝が存在する等複雑な形状の場合、経年劣化による物性変化の影響等
ダブルスキン	ダブルスキンを形成する空間の厚さ、内部の換気条件等による噴出熱気流の性状変化、層間区画の有無の影響
壁面緑化	壁面に植わった状態での植物の燃焼発熱性状の把握 壁面から離れた位置に巻きつる型の植物 植物が枯れて乾燥した状態となった場合
壁面ミスト噴霧	ミスト噴霧によって、火災によるガラスの脱落時間遅延 ガラス脱落後の開口噴出気流の温度低減効果の扱い等



## (ハ)のまとめ

---

### (1) 内外装火炎伝搬に関する調査

既往の実験結果や研究資料を収集し、計算方法の検討に用いるための基礎データ等として整理

### (2) 上階延焼評価検証に係る計算方法

①開口上部壁面への入射熱に基づく、可燃性外装の燃焼も含んだ計算方法を提示

②検証案について、対象となる可燃性外装の物性値を変数とした計算結果から、妥当性と今後の課題を整理

### (3) 外壁の事例調査

開口部を有する外壁、可燃性外装、ダブルスキン、環境を配慮した外装等の事例を収集し、これらの外壁に関する性能試験法と検証方法の現状と課題を整理

## (二)ポリマーセメントモルタルにより断面補修したRC造部材の防耐火性能に関する実験的検討

**【対象】**断面補修した柱・壁・床

**【課題】**ポリマーセメントモルタル補修部材の耐火性能に関する性能検証方法構築に資する基本データの収集

**【内容】**PCM素材レベルの検討，平成22年度製作のPCMで補修した柱，壁，床試験体の耐火実験

**【成果】**PCM補修部材の耐火性能の把握  
PCM材料・部材の試験方法・評価方法の提案  
耐火構造の性能を満たすPCM補修方法の提案

# 性能項目と実施方法

## □ 性能項目

- 火災時にPCMが爆裂しない。 → 材料、部材
- 火災時にPCMが脱落しない。 → 部材

## □ 評価・検討方法

### ■ 材料レベル

- ・簡易爆裂評価 → 電気炉加熱
- ・爆裂メカニズム → TG・DTA分析

### ■ 部材レベル

- ・圧縮部材(柱)
  - ・非耐力部材(壁)
  - ・曲げ部材(床)
- } → 耐火試験

# PCM素材レベルの爆裂メカニズム検討, 爆裂簡易評価法

**爆裂メカニズム**: 高温時の空隙の閉塞とポリマーの熱分解による各種ガスの発生による圧力上昇が爆裂の主要因と推測

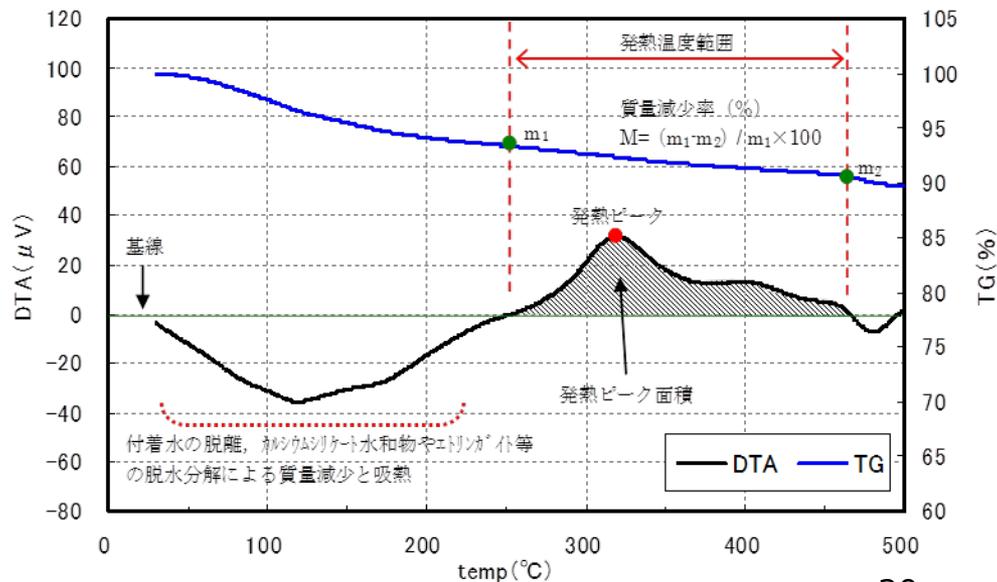


素材レベルで爆裂の有無を予測する

- **電気炉加熱**: φ5cm × 10cmの円柱試験体を800°Cの電気炉内に入れ、20分間炉内に静置し、目視により損傷状況等を確認。
- **TG-DTA熱分析**: DTA曲線と基線で囲まれた部分の面積が  $10^{\circ}\text{C}\cdot^{\circ}\text{C}/\text{mg}$  を超える試料は、爆裂の危険性が高い



電気炉法



TG-DTA熱分析法

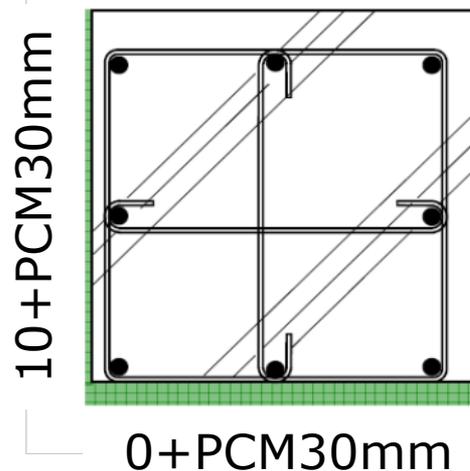
# 部材レベルによる耐火性能の把握



柱:2体(□50×330cm)



小型壁:6体  
(□110×t12cm)



メッシュによる剥落防止工法



下面全面をPCMで補修



局所的にPCMで補修

床:6体  
(L430×W200×t15cm)

# 耐火構造の性能を満たすPCM補修方法の提案

一連の耐火実験を通じて脱落防止効果が確認できた工法

	局所的な補修 (補修面積0.25m <sup>2</sup> 以下)	広範囲の補修
適用部材	RC造の壁、床、梁、柱	RC造の 壁、床、梁、柱
補修材仕様	爆裂しない材料	爆裂しない材料
補修材の厚さ	7cmまで	3cmまで
脱落防止工法	アンカーピン設置 ・材料(ステンレス製) スクリューアンカー ・設置本数の例 50cm×50cmのとき5本 30cm×30cmのとき4本	1.メッシュ+アンカー ・材料(ステンレス製) 平織金網 or ファインメッシュ、 アンカーピン、ワッシャー 2.ワイヤー設置(PCMに応力が作用しない場合のみ適用可) ・材料(ステンレス製) ワイヤー、アンカーピン



## (二)のまとめ

---

### (1) 材料の実験検討

- ①耐爆裂性を簡易に評価・予測するために電気炉を用いた爆裂簡易評価法の提案
  - ②TG-DTA熱分析結果を用いた評価法を提案
- ※①・②ともに、部材における性状との相関性については、さらに検討が必要

### (2) 部材の実験検討

- ①PCM 補修した柱・壁・床の耐火実験により、PCMの性状等を把握
- ②剥落防止に有効な工法を把握
- ③評価法：PCMの爆裂の有無は壁試験体の加熱実験、剥落防止工法の効果は部材の載荷加熱実験で把握することが必要