

F15 多様なニーズに配慮した 避難安全確保に係る規定の 合理化に関する検討

一般財団法人 日本建築防災協会

アイエヌジー株式会社

共同研究：国立研究開発法人建築研究所

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

検討の目的

本事業では、消防設備の効果や新たな技術などに関する工学的知見に基づき、多様な設計ニーズに対応できるように安全性の確保を前提としつつ、避難規定の合理化に係る提案を行う。実験・調査等の検討に基づき、以下の項目について提案を行う。

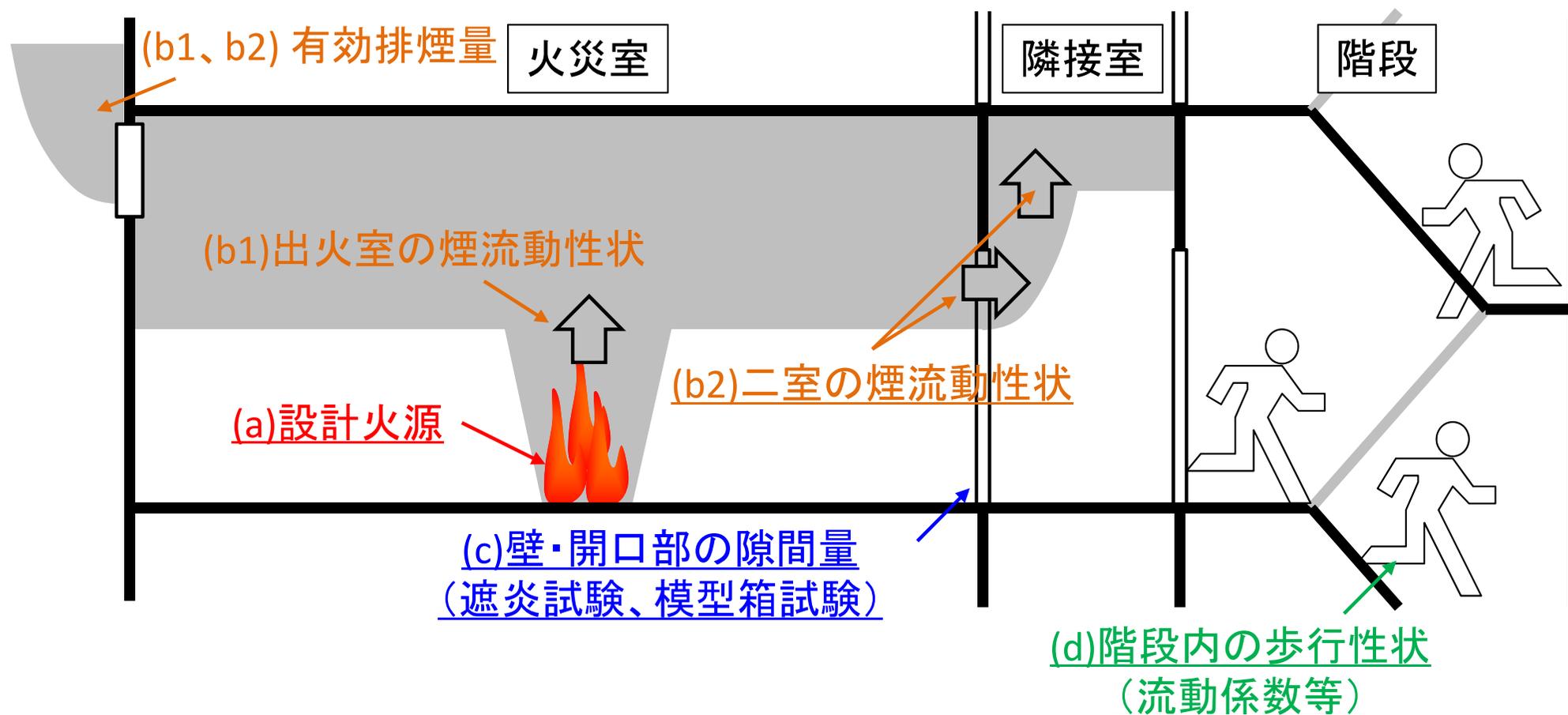
避難検証法の課題

- ①内装材の燃焼寄与の評価が画一的であり、局所的な木材使用が困難。
- ②自動火災報知設備、放送設備、スプリンクラー設備など、避難安全性確保のために有効な消防設備の効果を見込めない。
- ③煙の発生モデルが計算式の制約上、小規模の室に対しては過剰で、大規模な室あるいは廊下などの避難経路には過小評価となっていた。
- ④判定を行う空間が限定されていたため、本来重要となる避難経路がチェックから漏れる可能性があった。
- ⑤煙高さで成否確認であり、アトリウムや劇場などへの適用が困難。
- ⑥自力避難困難者が多数を占める病院等への適用ができず、最近の社会情勢を反映した安全性確保の方法として認識されづらい面があった。
- ⑦階段内の避難者流動性状について、工学的知見が蓄積されてきた。

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

検討項目

- (a)設計火源に関わる検討←①、②
- (b)煙流動性状予測計算法(簡易時刻歴応答解析)に関わる検討←③、④、⑤
- (c)防煙区画の性能評価に関わる検討・小規模建築物の安全性に関わる検討←②、④
- (d)避難行動予測計算法に関わる検討←⑥、⑦

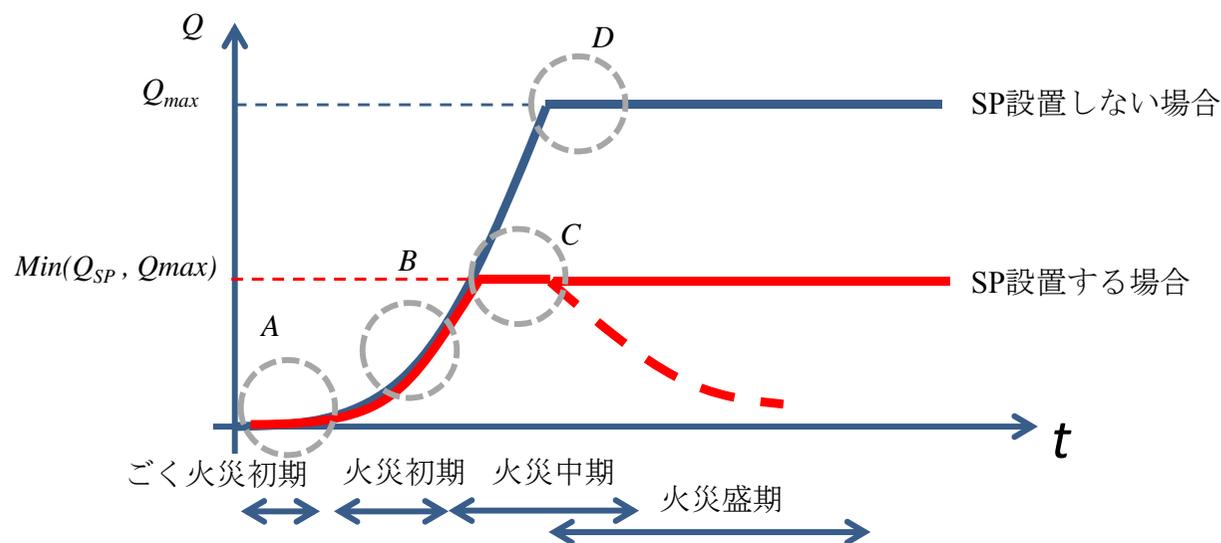


F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(a)設計火源に関わる検討

[検討すべき課題]

- 内装の燃焼性状（壁内装と天井内装の区別、収納可燃物と内装材の燃焼の相互影響、内装の火災成長性状（フラッシュオーバーの発生など）
- スプリンクラー等の消火設備の効果



- Aの領域（火源1）：着火後数分、第一着火物のみが燃焼している状態
- Bの領域（火源2）：第一着火物から周辺の可燃物（近接する着火物や内装材）に延焼している状態
- Cの領域（火源3）：SP奏功、火勢抑制
- Dの領域（火源4）：SP不奏功または設置なし、F.O前までの火災性状

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

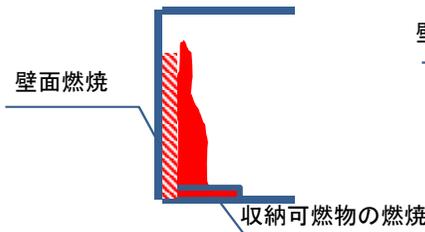
(a)設計火源に関わる検討

[検討すべき課題] 内装の燃焼性状（実験実施～燃焼モデルの構築）

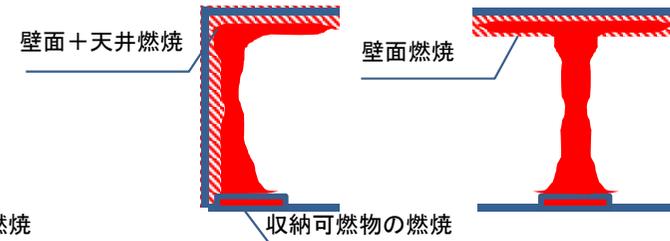
基本モデル：
壁面への接炎・天井面
の接炎に分けて考える。



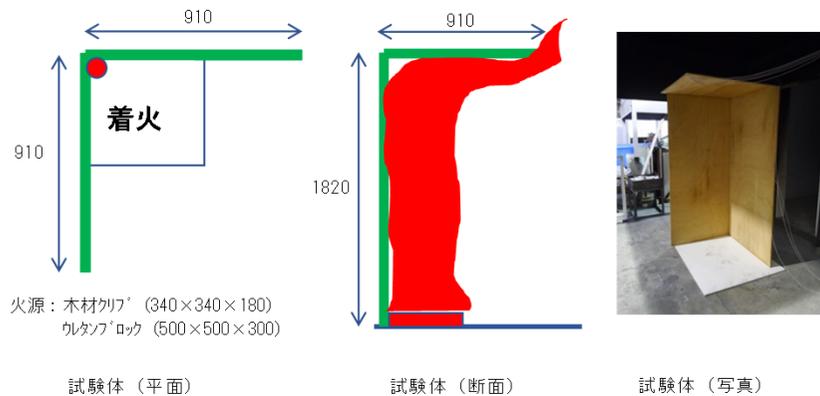
①壁面燃焼
(火炎が天井に接炎しない)



②壁面+天井燃焼



燃焼実験の実施：第一着火物～第二着火物の燃焼に対する内装燃焼性状の把握



火源：木材クリブ (340×340×180)
ウレタンブロック (500×500×300)



木材クリブ
20×20×340 (8列×9段)



ウレタンブロック
ストライター社汎用ウレタン (比重:15 kg/m³ 燃焼熱:25MJ/kg)



着火から2分後の様子
(木内装)



着火から5分後の様子
(木内装)



着火から10分後の様子
(木内装)

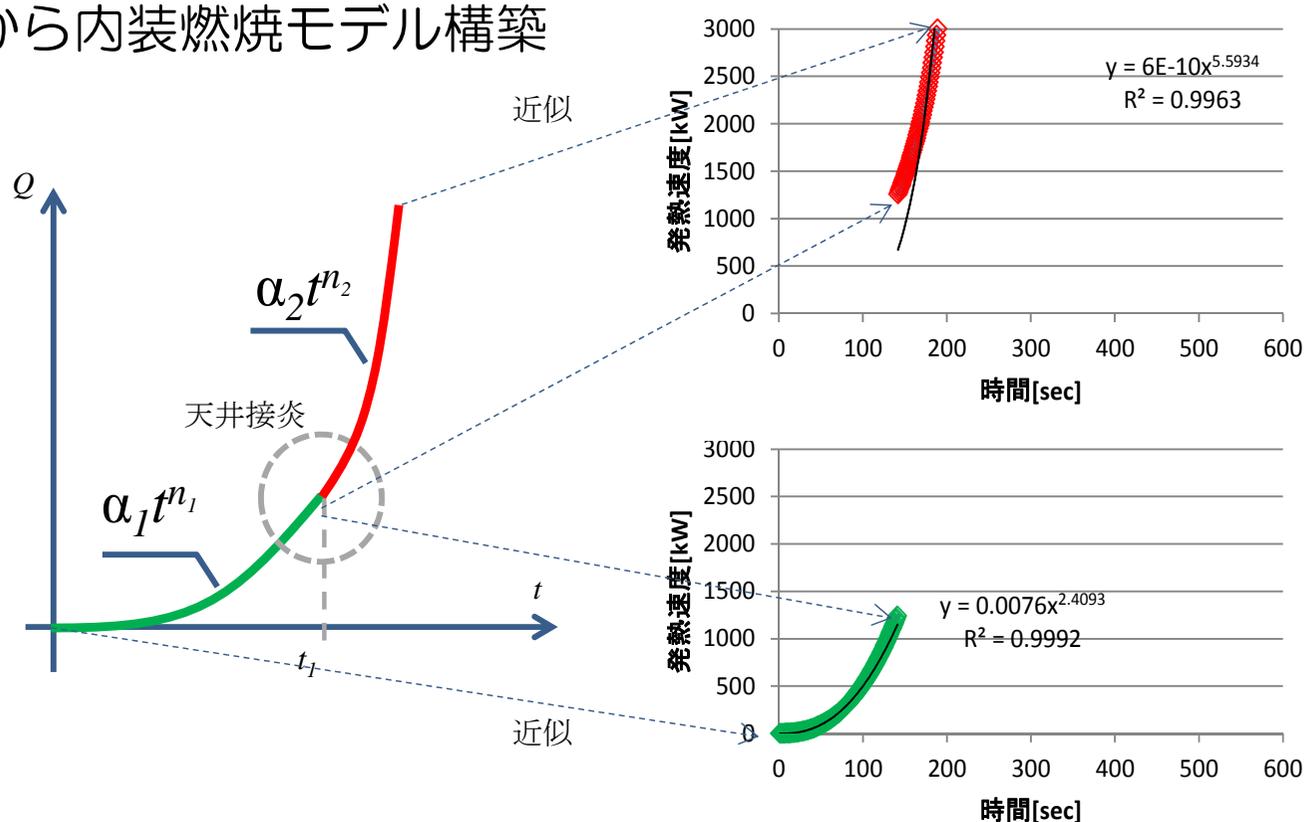
実験結果によるモデルの構築へ

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(a)設計火源に関わる検討

[検討すべき課題] 内装の燃焼性状（実験実施～燃焼モデルの構築）

実験結果から内装燃焼モデル構築



- ・木内装の条件での累乗根は＜接炎前＞ $n_1 = 2 \sim 2.5$ 、＜接炎後＞ $n_2 = 4 \sim 6$ 。
- ・木内装以外（難燃以上の防火材料）の場合の火災成長性状は、第一着火物～第二着火物のみのそれと近似する。すなわち、火災初期において防火材料で造った内装は火災成長に対してほとんど寄与しない。

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(a) 設計火源に関わる検討

[検討すべき課題] スプリンクラー設備の効果の定量化

- 用途を代表する可燃物の燃焼に対するスプリンクラー設備の抑制効果の検証実験。

表2.4-1 可燃物概要

用途	種類	幅[mm]	奥行[mm]	高さ[mm]	重量[kg]	素材
ホテル・病院等	マット	980	1950	120	10.56	ウレタンフォーム
	掛け布団	210	150	30	1.7	ダウン、ポリエステル
	枕	600	400	130	0.77	フェザー
	ベッドフレーム	975	2060	610	16	スチール
	ゴミ箱(紙屑入り)	200	200	250	0.42	プラスチック
事務所等	A4書類1束	210	297	72	2.0	紙
	段ボール	215	215	305	0.83	紙
	椅子	630	675	835	10.89	ウレタンフォーム
	ゴミ箱(紙屑入り)	200	200	320	0.22	プラスチック
	モニター	376	130	460	5.5	プラスチック、金属
	キーボード	440	170	25	0.66	プラスチック、金属
物販	PC本体	100	410	360	7.3	プラスチック、金属
	棚	1200	420	1500	-	スチール
	プラスチックかご(7個)	390	278	300	1.56	硬質プラスチック
	トイレトーパー(12ロール)	185	185	340	1.2	木質
	クッション	430	430	140	1.1	軟性プラスチック



写真 2.4-1 8m フード外観



写真 2.4-2 散水ヘッド

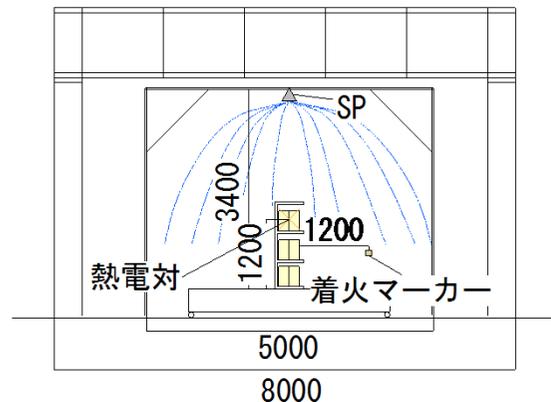


図 2.4-2 実験区画北面立面図

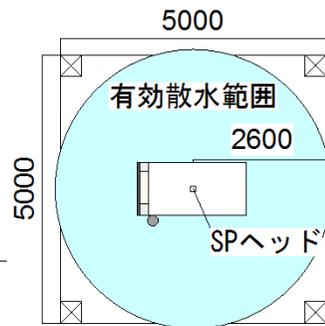
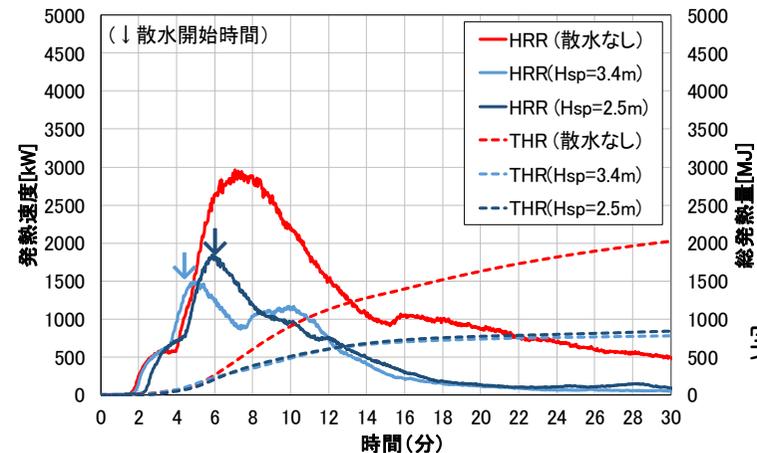


図 2.4-3 実験区画平面図



実験結果例
(発熱速度)

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(a)設計火源に関わる検討

[検討すべき課題] スプリンクラー設備の効果の定量化

実験状況：散水により火勢が抑制されていることがわかる。



着火1分後



着火3分後



着火5分後



着火7分後



着火9分後



着火11分後



着火13分後



着火15分後

写真 2.4-12 事務所系 散水なし



点火1分後



点火3分後



点火5分後



点火7分後 (散水開始)



点火9分後 (散水2分後)



点火11分後 (散水4分後)



点火13分後 (散水6分後)

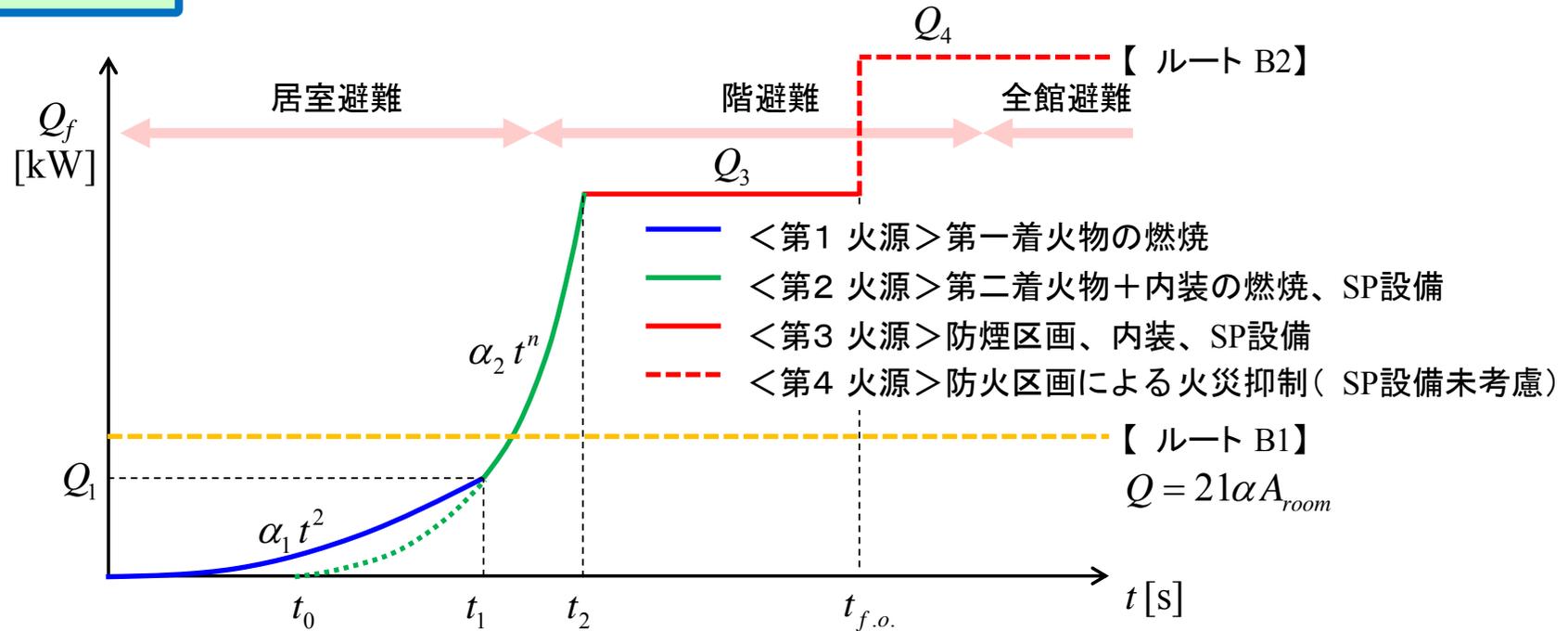


点火15分後 (散水8分後)

写真 2.4-13 事務所系 Hsp=2.7m

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

設計火源(案)



第1火源: 第一着火物の燃烧を想定し、用途によらず一律の火源とする。

第2火源: 第二着火物および内装材の燃烧を想定し、可燃物密度や内装材の仕上げの種類、スプリンクラー設備(以後、SP設備)の有無に応じて設定する。

第3火源: 可燃物密度、防煙区画の性能等に応じて設定する。

第4火源: フラッシュオーバー後の火災を想定する。

居室避難検証⇒第1火源および第2火源(SP設備の効果は考慮しない)

階避難検証⇒第3火源～第4火源

全館避難検証⇒第4火源

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(d) 避難行動に関わる検討

[検討すべき課題] 避難開始に関する検討

出火室となる居室の在室者の避難開始は、煙の視認によって行われると考えることができる。この場合に居室内居室となる子部屋などでは、直接煙を視認できなくても、感知放送などの火災発生情報が伝達されており、確認行動などの行動を起こすと考えられる。ここでは、VRシステムを用いて、子部屋在室者の対応行動について実験的に確認する。



表 5.2-6 各ケースの設定内容

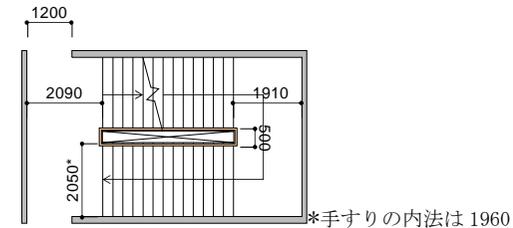
ケース	室種類	警報種類	鳴動パターン	出火階
L1	大部屋	非常放送	感知放送 180 秒	滞在階 7 階
L2			感知放送 40 秒+火災放送 180 秒	滞在階 7 階
L3			火災放送 180 秒	滞在階 7 階
L4			感知放送 40 秒+火災放送 180 秒	下階
L5		非常ベル	ベルのみ 60 秒	不明
M1	子部屋	非常放送	感知放送 180 秒	滞在階 7 階
M2			感知放送 40 秒+火災放送 180 秒	滞在階 7 階
M3			火災放送 180 秒	滞在階 7 階
M4			感知放送 40 秒+火災放送 180 秒	下階
M5		非常ベル	ベルのみ 60 秒	不明

- ・火災に関する情報が与えられることによって、確認行動をとることは期待できる。
- ・出火点と在室者との位置関係について、より詳細な条件設定に基づく知見が必要。

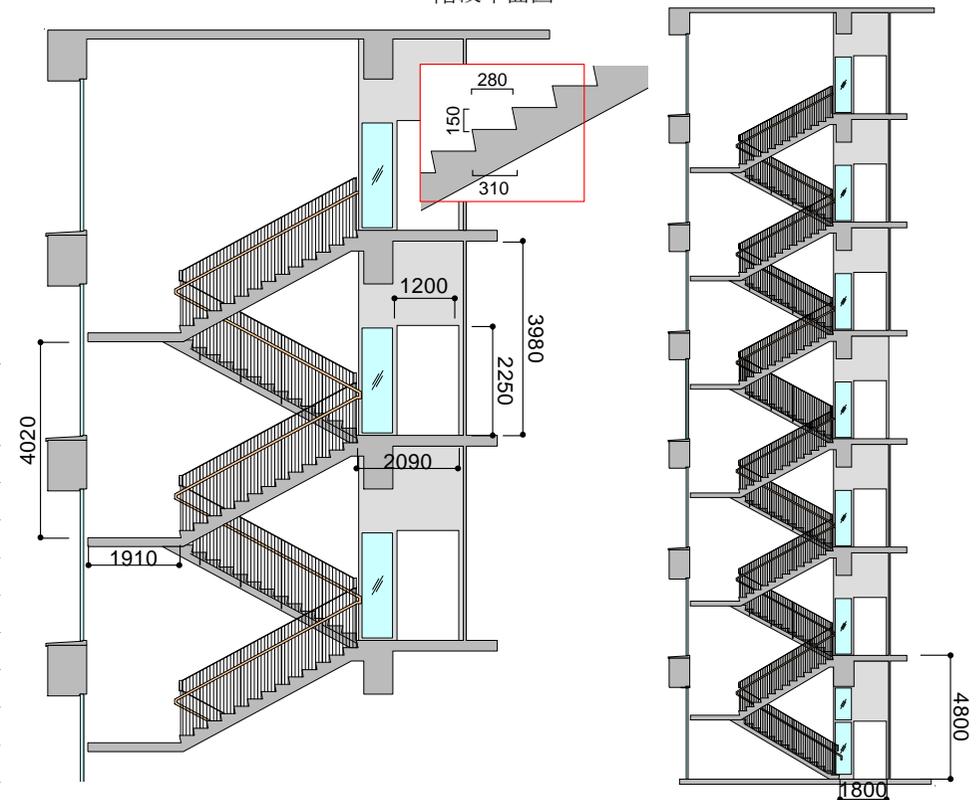
F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(d) 避難行動に関わる検討

[検討すべき課題] 広幅員階段の群集歩行性状に関する検討
 広幅員の階段（約2.0m）を対象とし、各被験者の歩行能力の把握、階段歩行距離（階数）が群集歩行性状に及ぼす影響の把握、合流が群集歩行性状に及ぼす影響の把握、中間踊場幅が階段内の群集歩行性状に与える影響の把握を行う。



階段平面図



階段断面図

実験条件

実験ケース	歩行の方向	スタート階	ゴール階	途中階合流	1回の被験者数	試行数	その他
SU	上り	2階	6階	なし	1	273	
SD	下り	7階	1階	なし	1	273	
M U	上り	1階	4階	2,3階	297	2	順合流
M D 1	下り	4階	1階	2,3階	297	2	順合流
M D 2	下り	4階	1階	2,3階	297	2	対向合流
D U	上り	1階	4階	なし	184	2	
D D	下り	7階	1階	なし	184	2	
W U 1	上り	1階	2階	なし	92	2	中間階踊り場幅1.6m
W U 2					92		中間階踊り場幅1.3m
W U 3					92		中間階踊り場幅1.0m
W D 1	下り	2階	1階	なし	92	2	中間階踊り場幅1.6m
W D 2					92		中間階踊り場幅1.3m
W D 3					92		中間階踊り場幅1.0m

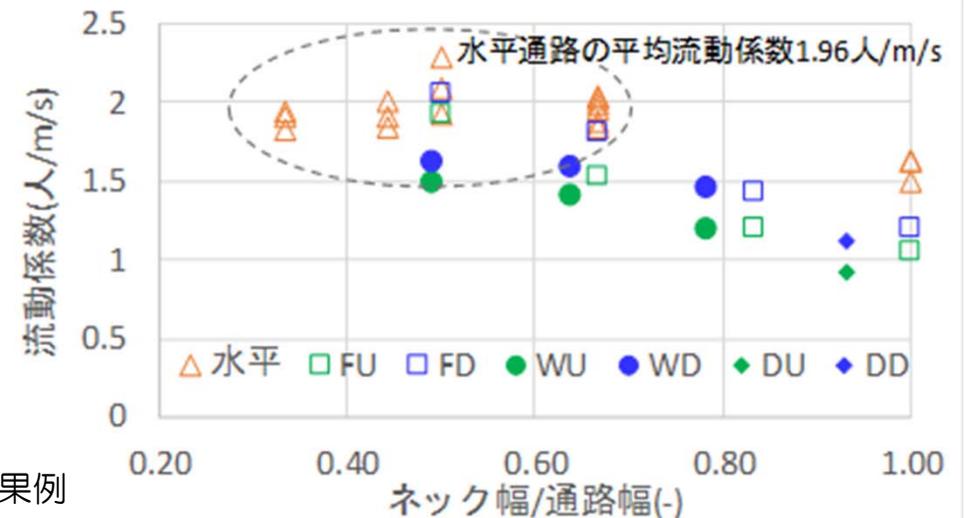
F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(d) 避難行動に関わる検討

[検討すべき課題] 広幅員階段の群集歩行性状に関する検討



実験状況・結果例



・ゴール階での流動係数:

各階で合流がある場合 = 上りで0.9人/m/s、下りで1.1人/m/s

途中階の合流がない場合 = 上り0.72人/m/s、下り0.71人/m/s

⇒合流により群集の密度が高くなるため

・階段幅員約2.0mに対して、踊場幅上り1.0m、下り1.3m以下のときに流動量が低下。

⇒同じ幅員の段部と水平通路では、段部の方が流動量が低くなるため、踊場幅を段部の6~7割程度としても流動量に影響はない。

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(d) 避難行動に関わる検討

[検討すべき課題] 自力避難困難者の避難行動に関する基礎的情報の収集

- 自力避難困難者の移動速度
- 一時避難場所の必要滞留面積
- 搬送回数、など

移動速度に関する情報（収集例）

病院等の搬送形態ごと移動速度実測例

避難手段	標本数	平均速度 [m /s]	標準偏差	レンジ	介助者数
ストレッチャー	2	1.82	—	1.73-1.90	介助者3人
	20	1.77	—	—	介助者2人
	11	2.63	0.09	—	介助者2人、患者なし
	12	2.44	0.15	—	介助者2人、患者あり
ベッド	20	1.36	—	—	介助者2人
シーツ・毛布	20	1.60	—	—	介助者2人
	12	1.87	0.23	—	介助者2人
布団	1	2.28	—	—	介助者2人
担架	2	1.69	—	1.61-1.77	介助者3人
	12	1.24	—	—	介助者2人

車いすの移動速度実測例

避難手段	標本数	平均速度 [m /s]	標準偏差	レンジ
車いす	4	1.60	—	1.36-1.78
	2	1.93	—	1.84-2.02
	16	1.30	0.34	0.84-1.98
	5	2.16	—	—
	4	2.43	—	—
	24	2.93	0.26	—
	23	2.61	0.24	—

引率による低速度者の歩行速度実測例

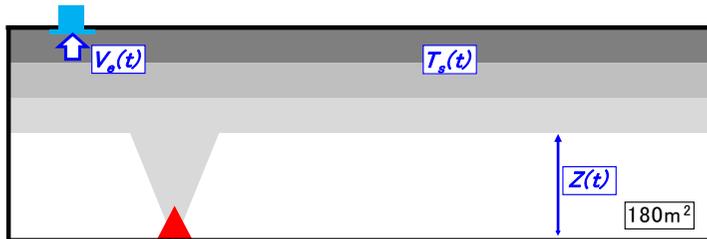
避難手段	標本数	平均速度 [m /s]	標準偏差	レンジ
介助歩行 (成人)	2	0.51	—	0.48-0.54
	33	0.93	0.23	—
	18	0.78	0.34	0.21-1.40
歩行補助具	2	0.83	—	0.81-0.85
	2	0.73	—	0.68-0.80
腕組み	6	1.81	—	—
一本杖	2	0.63	—	0.63-0.63
2歳児	6	0.54	0.04	0.5-0.62
3歳児	—	1.07	0.30	0.65-1.94
	—	1.59	0.41	0.93-2.36
4歳児	—	1.47	0.52	0.60-2.47
	—	1.43	0.50	0.68-2.70
5歳児	—	1.68	0.50	0.85-2.78
	—	1.33	0.20	0.85-1.73

上記の情報に基づき、自力避難困難者の避難時間評価のための諸定数を定める。

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(b) 煙流動に関わる検討

[検討すべき課題] (出火室の) 非定常煙流動性状



新検証法で用いる非定常煙降下時間算定式の精度向上を目的として、実大レベルでの時刻歴データ(煙層高さ、煙層温度、有効排煙量)の取得するために、180m²単室での煙流動実験を実施した。

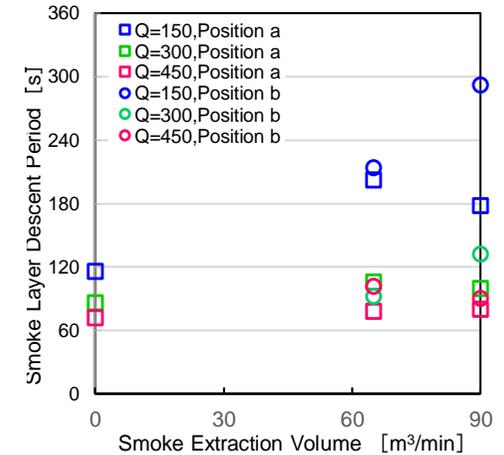
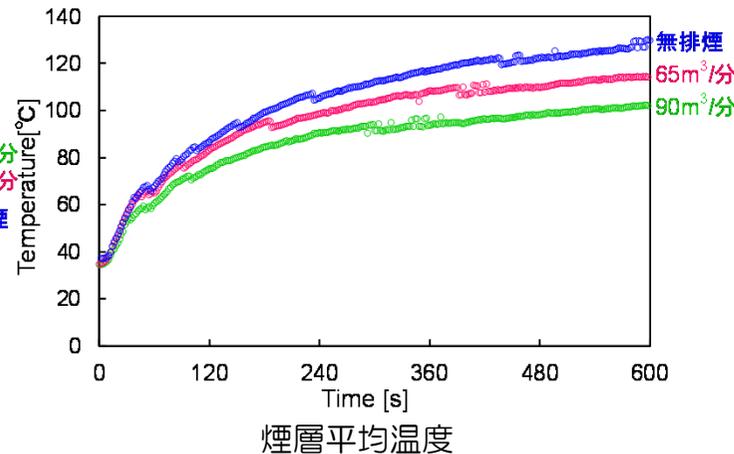
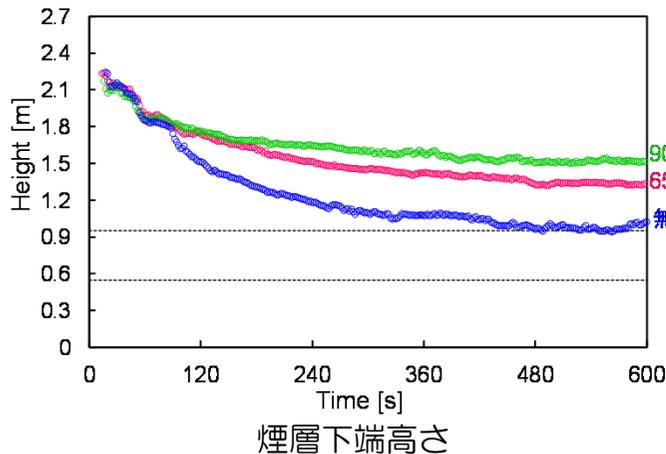
実験条件

火源位置 [-]	排煙口 [-]	排煙風量 V_e [m ³ /分]	発熱速度 Q [kW]
隅角	無排煙		150
			300
			450
	A (火源から4m)	60	150
			300
			450
		90	150
			300
			450
	B (火源から16m)	60	150
			300
			450
90		150	
		300	
		450	
中央	無排煙		150
			300
			450
	A (火源から3.2m)	60	150
			300
			450
		90	150
			300
			450
	B (火源から10.7m)	60	150
			300
			450
90		150	
		300	
		450	

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(b) 煙流動に関わる検討

[検討すべき課題] (出火室の) 非定常煙流動性状



煙層性状の実験結果(例：火源中央、300kW)

- ・排煙量が低下するほど定常状態での煙層下端高さは低くなり、煙層温度は高くなる。
- ・火源位置が変わることで、火源と熱電対ツリーの水平距離に違いが生じると、火源から遠い熱電対ツリーほど鉛直温度分布が低くなる。
- ・発熱速度Qが大きいほど煙層高さが低くなる。
- ・発熱速度が大きい条件では、1.8mまで降下する時間は排煙風量や発熱速度によらずおおむね同値であることがわかる。一方、発熱速度が小さい条件では排煙風量が大きくなるにつれて降下時間が長くなる。

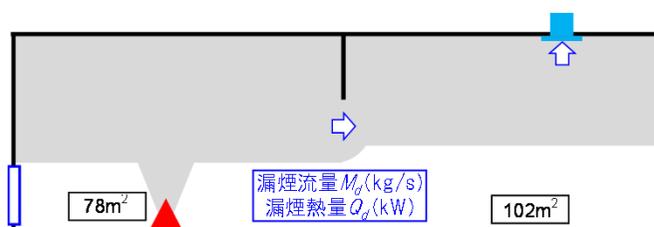
F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(b) 煙流動に関わる検討

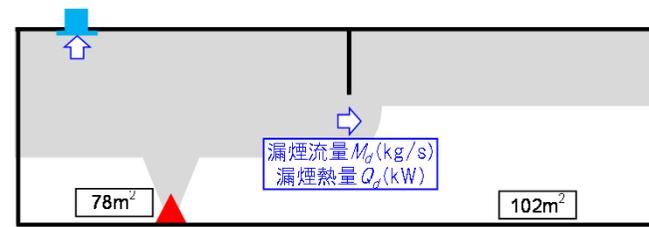
[検討すべき課題] 2室の煙流動性状

出火室から廊下への漏煙に着目し、以下の3つの項目に対して、2室の実大煙流動実験を行った。

- 1) 排煙口・給気口位置と廊下への漏煙防止効果の把握
- 2) 火災室排煙と開口幅低減を組み合わせた場合の廊下への漏煙防止効果の確認
- 3) 新検証法で規定する煙降下時間計算式検証のための非定常データ取得

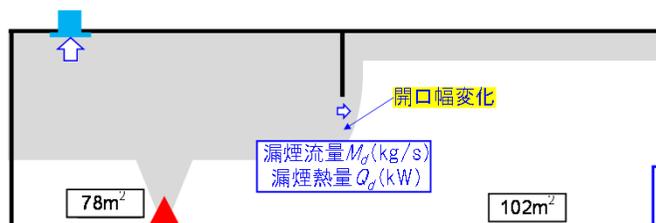


(a) 火災室給気 - 隣接室排煙

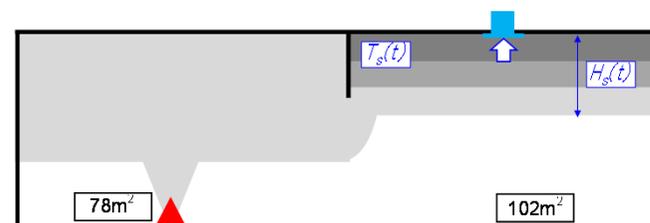


(b) 火災室排煙 - 隣接室給気

- 1) 排煙口・給気口位置と隣接室への漏煙防止効果



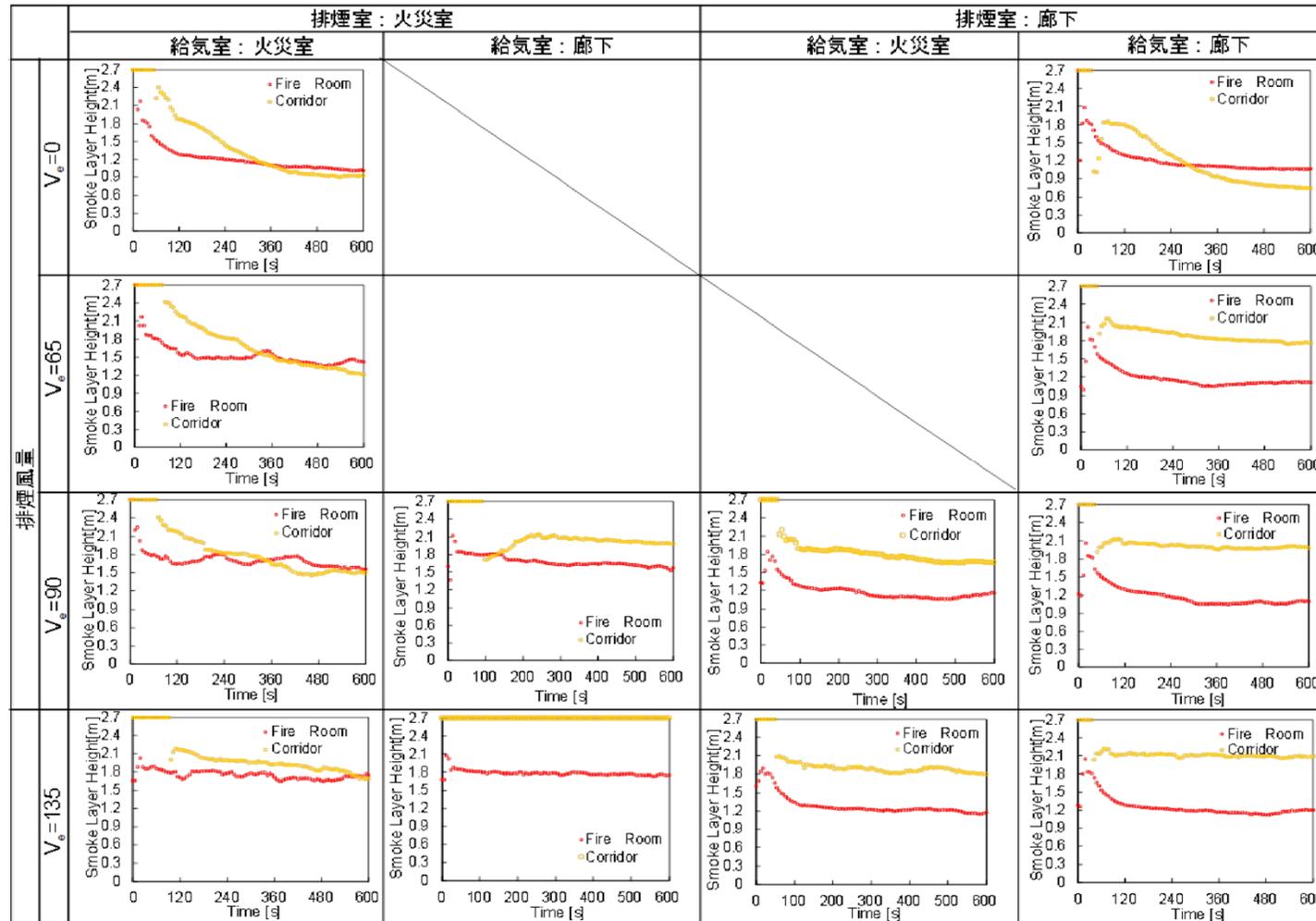
- 2) 火災室排煙と開口幅低減を組合せた場合の隣接室への漏煙防止効果の把握



- 3) 新検証法で規定する煙降下時間計算式検証のための非定常データ取得

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

[検討すべき課題] 2室の煙流動性状



煙層高さの経時変化
 赤色：火災室
 黄色：廊下

- 1) 排煙口・給気口位置と廊下への漏煙防止効果
 - ・火災室排煙—廊下給気が最も漏煙量が小さい。
- 2) 火災室排煙と開口幅低減を組み合わせた場合の廊下への漏煙防止効果
 - ・開口幅を小さくすることで、廊下への漏煙量を低減できることがわかった。

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(c) 防煙区画に関わる検討

[検討すべき課題] 10分遮炎防火設備

10分の防火設備に係る構造方法策定に必要となる情報収集を目的として、防火対策を施した市販パーティション扉の遮炎試験を実施した。

表2.2.1 試験法の加熱中の状況

試験品名	メーカー	試験法概要	試験結果 - 遮炎時間(10分)の試験結果(試験法T-1) (試験法T-1から610mm 遮炎)
試験品A	三和	扉 (H=2000)	
試験品B	イトーホ	扉 (H=2000)	
試験品C-1	ニッパ	引手扉 (シーリング追加)	
試験品C-2	ニッパ	引手扉 (非シーリング追加)	

試験品E	ニッパ	引手扉	試験結果 (試験法T-1から610mm 遮炎) 
試験品C-1	ニッパ	引手扉 (シーリング追加)	試験結果 (試験法T-1から610mm 遮炎) 
試験品D	ニッパ	引手扉 (H=2000)	試験結果 (試験法T-1から610mm 遮炎) 
試験品E-1	ニッパ	引手扉	試験結果 (試験法T-1から610mm 遮炎) 
試験品E-2	ニッパ	引手扉	試験結果 (試験法T-1から610mm 遮炎) 

※本実験は、日本パーティション工業会
のご協力を受けて実施した。

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

(c) 防煙区画に関わる検討

[検討すべき課題] 10分遮炎防火設備

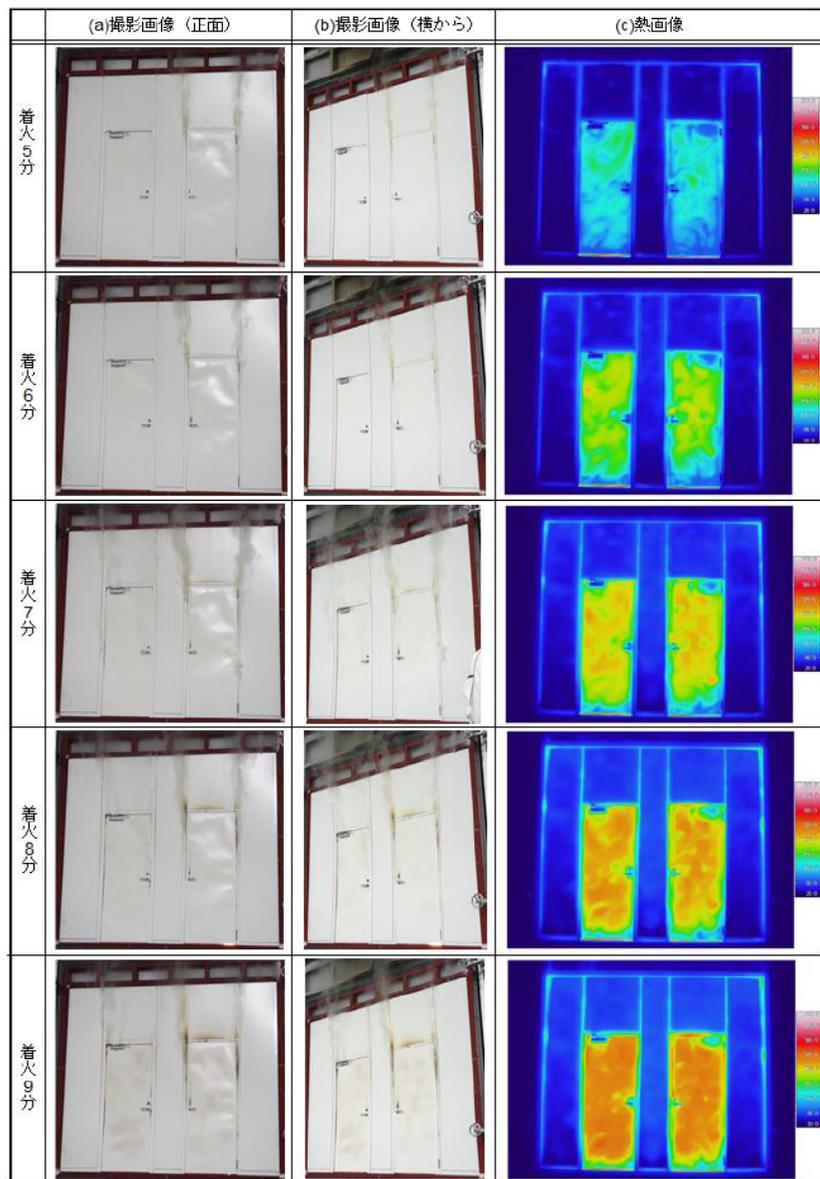


写真 3.3.2 加熱中の時系列の画像および熱画像(つづき)

以下の仕様で10分の遮炎性能があることが確認できた。

【片開き扉】

- ・扉寸法は1023×2408以下。
- ・扉の表面材の鋼板の厚さは0.5mm以上。
- ・骨組はスチール製
- ・芯材はペーパーハニカムコア
- ・加熱変形を抑制するための措置を設けること
- ・窓を設ける場合、強化ガラス5mmとし、寸法は674×2110以下。

【引き戸】

- ・扉寸法は1381×2225以下。
- ・扉の表面材の鋼板の厚さは0.8mm以上。
- ・芯材はペーパーハニカムコア
- ・扉には、表面材の加熱変形を抑制するための措置を設けること
- ・また、扉と枠との間の隙間発生を防ぐための措置を設けること
- ・レール樹脂等の熔融物が非加熱面へ噴出および脱落しないこと
- ・窓の設置は不可。

【ガラスパーティション】

- ・ガラスは強化ガラス5mmとし、最大寸法は1250×2832とする。
- ・縦枠はスチール材とする。(ただし、アルミカバーは可)

【スチールパーティション】

- ・充填材としてロックウールを詰める場合、鋼板厚さは0.5mm以上。
- ・充填材としてロックウールを詰めない場合、鋼板厚さは0.6mm以上。
- ・最大寸法は1654×3000とする。

※各仕様とも一定の遮煙性能を有していることを確認している。

F15 多様なニーズに配慮した避難安全確保に係る規定の合理化に関する検討

新たな避難検証手法の提案

従来の避難検証法の課題と、本事業の検討に基づく提案

項目	従来の検証法(ルートB1)	今回の検討に基づく提案
(i)解析方法	定常応答解析	避難完了時の煙の状態で安全性の評価を行うこととすることで、従来よりも精度の高い煙性状予測が可能となった。
(ii)在館者の属性	健全者の利用が前提 自力避難困難な者が専用利用する用途は適用不可	既往のデータを取りまとめることによって、自力避難困難者が専用利用する用途に対する、設定値(歩行速度など)を提案した。
(iii)設計火源	定常火源	設計火源を4段階に分割し、各段階で、床に置かれた可燃物の燃焼性状、内装材料の燃焼性状、スプリンクラー設備の効果などを見込んだ設計火源を提案した。
(iv)避難開始時間	一斉避難 居室: $2\sqrt{A_{\text{area}}}$ 階: $2\sqrt{A_{\text{floor}}} + 180$ 秒 全館: $8\sqrt{A_{\text{floor}}} + 180$ 秒	煙拡散性状の予測手法の精度が上がったことから、在室者の煙の視認により、避難行動を開始するモデルを提案した。尚、階避難・全館避難開始時間は、従来検証式と同様の遅れ時間を見込む。
(v)避難行動時間	歩行時間+出口通過時間	歩行時間と出口通過時間のうち長い方の時間とする。階段形状の評価手法として、実験結果に基づき流動係数の算定方法を提案した。
(vi)煙発生量等	火災室: 火災プルームモデル(煙層温度一定) 非火災室: 開口部流量モデル(常温仮定)	煙の状態での避難安全性の成否を評価するため、火災室・非火災室のいずれについても、煙層温度変化に依存する火災プルームモデルの適用を提案した。
(vii)防煙区画	防火設備以外の開口部は評価されない。	現行の不燃扉に相当する開口設備の評価方法を提案した。