第５回消防防災研究講演会資料

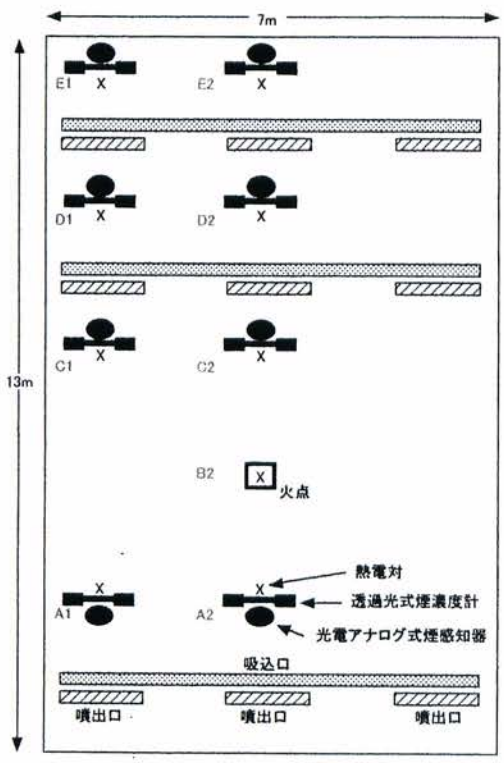
平成14年１月22日

主催：独立行政法人　消 防 研 究 所

正誤表

火災感知器の作動予測に関する検証実験
－住宅、ホテル、事務所模型での実験および空調気流の影響について－

(1) P.57 図7中、計測位置名称(A1,B1,･･･,D1,E1　A2,･･･,D2,E2)
正しくは下図のとおり



(2) P.58 図8のキャプション抜け(P.57の最終行が同キャプション)

(3) P.59 連絡先

河関大祐(こうぜき　だいすけ)
三鷹市中原3-14-1　独立行政法人消防研究所
基盤研究部感知通報研究グループ長
TEL:0422-44-8331(代)　FAX:0422-42-7719
E-mail　kozeki@fri.go.jp

消防用設備等の性能評価手法の構築に向けて

-性能評価に係る技術的検討と研究の現段階-

日　時：平成１４年１月２２日（火）　午前１０：００～午後４：４５
会　場：消防研究所　本館３階　大会議室

－プログラム－

◇ **開会の辞**　10:00-10:10　**消防研究所理事長　平野敏右**

◇ **午前の部**　10:10-12:30　　**（司会　鶴田　俊）**

10:10-10:45　消防総プロの取り組みの概要と総合的防火性能評価のフレームワーク・・　3
消防研究所　関沢　愛

10:45-11:20　火災の初期拡大抑制性能評価の考え方について・・・・・・・・・・・・・　15
清水建設（株）　野竹宏彰

11:20-11:55　防炎カーテンの防火性能検証実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　27
消防研究所　箭内英治

11:55-12:30　防火対象物における火災発生初期の火災シナリオ・・・・・・・・・・・・　37
TOM建築防災研究室　水野智之

◇ **午後の部**　14:00-15:45　**（司会　箭内英治）**

14:00-14:35　火災感知器の作動予測に関する検証実験・・・・・・・・・・・・・・・・・　49
-住宅、ホテル、事務所模型での実験および空調気流の影響について-
消防研究所　河関大祐

14:35-15:10　現状の消火設備の性能の検証実験 -自動消火設備をモデルとして-・・・・・　61
消防研究所　鶴田　俊

15:10-15:45　避難器具および消防活動拠点に必要とされる性能に関する実験的検討・・・　73
消防研究所　山田常圭

◇ **総合討論**　15:55-16:40　**（司会　関沢　愛）**

◇ **閉会の辞**　16:40-16:45　**消防研究所研究統括官　長谷川和俊**

午前１０：１０～午後０：３０

午　前　の　部

「消防総プロ」の取り組みの概要と総合的防火性能評価のフレームワーク

関沢　愛（消防研究所）

1　はじめに－「消防総プロ」について

規制緩和や国際調和という時代の趨勢の中で、性能規定を導入した建築基準法が2000年６月１日に施行された。新しい制度での建築行政、あるいは建築設計が始まって約１年半が経過したが、その影響は建築行政担当者のほか設計・施行業者、建物の所有者、管理者、そして消防関係者、損保業界など、さまざまの関係者に及んでいる。一方、我々消防関係者によく問いかけられたことが、こうした性能基準や性能設計という時代の流れに対する消防側の対応である。

従来から消防用設備等に対しても、新素材、新技術の円滑な導入促進、あるいは技術基準の明確化、性能化等の規制緩和に関する社会的要請は当然あった。こうした要望に対して、これまでは主として消防法施行令第３２条に基づく特例措置によって対応が図られてきた。また、平成７年からはじまった政府の規制緩和推進計画に沿って、一般的基準として消防法令の本則の中で、個々の消防用設備の設置に係る技術上の基準について、逐次、性能に主眼をおいた規定に改める努力[1)]も行われるようになっている。たとえば、スプリンクラーヘッドの設置間隔や同時開放個数の緩和、誘導灯の大きさや設置距離[2)]の技術基準などがそうである。

しかしながら、これらの個々の設備に係る技術基準の規制緩和や性能規定化の対応は、防火対象物の用途や規模に応じた消防用設備等の設置義務規定自体には変更を加えない範囲での変化に止まっている。そこで、スタートしたのが消防庁の「消防総プロ」である。これは、平成11年度から13年度の３年間をかけて実施されている「総合防火安全対策手法の開発調査」（消防総合プロジェクト）の略称である。調査研究レベルではあるが、個別設備における技術基準緩和や性能規定化のみならず、消防用設備間のトレードオフをも視野に入れ、防火対象物の火災危険性に応じた合理的かつ総合的な防火安全対策手法の構築、およびその基盤となる防火性能評価手法や技術データベースを整備することを目標として、研究・開発を行っているものである。消防総プロはまだ検討の途中段階であるが、これらの研究・開発の成果は、規制緩和や性能規定化推進の下支えになるとともに、建築防火安全の従来のレベルを維持した上でのより合理的、総合的な性能設計の促進に役立つことが期待されている。

ここでは、まず性能基準や性能設計への時代の流れに対する消防の対応を考える前提作業として、建築防火安全における消防的対策の特徴を整理した結果[3)]について述べる。そして次に、消防総プロの取り組みの概要と、筆者が属している総合防火安全対策幹事会において検討している総合的防火性能評価のフレームワークについて紹介することとする。

2　建築防火安全に関わる消防的対策の特徴と建築的対策との関係

現行の消防法令で規定されている建築防火安全対策に関する項目を対象として、これらが火災進展フェーズのどのような場面でどのような目的を果たすことが想定され得るかについて整理するとともに、建築的対策（建築基準法関係）との関連性を考察してみた。

表１には、耐火建物火災を例にとり、左側に火災進展のフェーズと各フェーズにおける防火安全対策の目的が、右側には対応していると考えられる現行の消防法および建築基準法で定められている防火安全対策が分野別に示されている。この表は、現行の消防法および建築基準法に定められた防火安全対策がいくつかの基本的な共通の目的で整理できることを示したものであり、各フェーズにおける安全対策、あるいは設備を全て洗い出そうとしたものではない。一つの設備は、火災のさまざまな進展段階で種々の使い方がなされるのが常であり、ここでは設備の主たる用途と目的を抽出することを意図して整理し、示したものであることに留意して頂きたい。

表１においては、火災進展フェーズとして、火災の予防を含む消防的対策の特徴を踏まえて、火災の発生以前の段階をも便宜上０次フェーズとして含めて示したが、本来の火災進展フェーズは火災発生以降の１次から４次の内容である。また、消防用設備等には感知、報知など火災の早期発見という目的のものもあり、消防的対策の位置づけをより分かりやすく示すために、この表では建築防火で通常想定される火災進展フェーズよりは火災初期の段階を細かく区分し、火災成長カーブ（いわゆるαt^2火災）に至る以前のごく初期の火災に相当する段階（１次フェーズ：極初期）も加えているのが特徴である。

以下に、この表から考察された特徴の要点を記す。

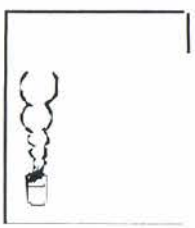
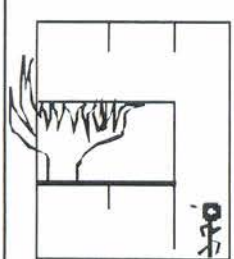
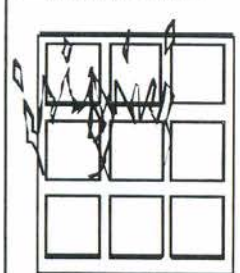
①消防的対策はハード（設備）とソフト（人的対応）のセットで機能する

消防法令によって設置や維持管理が義務付けられている消防用設備等は、建築的対策における設備、施設と異なって、それら自体でたとえば避難安全や延焼拡大防止のために直接的に機能するもの（例えばスプリンクラー）はそれほど多くない。むしろ、これらの設備（ハード対策）を利用して行われるところの火災の発見、報知、初期消火、避難誘導、消防隊による消火、救助活動というように火災事象の流れに沿った人によるアクティブな活動（ソフト対策）を前提として、これらの活動を促し、また支援する機能を有するものが多いのが特徴であり、ハードとソフトがセットとなって機能することを想定したものといえよう。

②消防的対策と建築的対策は相互補完的な関係にある

火災感知、報知設備などは、建築的対策として設置されている防火設備のトリガーとしての役割も果たしており、消防的対策単独で防火安全に寄与するというより、建築的対策を補完し、これと相俟って全体として防火安全対策が有効に機能するための設備という性格をもつものである。一方、同様の関係は、消防活動支援施設に関する建築的防火対策についても言える。建築基準法令では消防車両の建物への寄りつきや消防隊の出火点へのアクセスおよび活動拠点の確保等の規定があり、消防法令で定めている連結送水管など消火

表1　耐火建物における火災進展フェーズと建築防火安全対策

火災進展フェーズ	防火安全対策の目的	防火安全対策				
		消防法関係	建築基準法関係			
			出火拡大防止	避難安全	耐火	消防支援
0．日常管理(予防)	火災発生を防止する	消防機関による予防活動 消防用設備等の設置・維持に関する建物所有者の義務 防火管理者の選任 防炎規制 火気使用室の規制 危険物の貯蔵・取扱に関する規制	維持保全義務 設備の不燃性要求 (冷却塔、給排水管、煙突) 火気使用室の内装制限		危険物施設の構造規制	
1．極初期 	出火危険の高い異常現象を発見し、原因を排除する 火災の成長停止 拡大の可能性のある初期段階の火源を発見し、初期消火する	ガス漏れ火災警報設備 漏電火災警報器 緊急しゃ断装置 防炎規制 自動火災報知設備 消火器、消火器具	内装制限			
2．出火室における延焼拡大 	在館者が建物内の安全な場所まで避難できる 初期成長中火災の自主消火 (F.O.以前)	自動火災報知設備 消防機関へ通報する火災報知設備 誘導灯・誘導標識 スプリンクラー設備 屋内消火栓設備 その他の消火設備	居室の内装制限 居室の不燃材による区画	重複歩行距離の制限 階段までの距離の最大値 非常用照明設備 内開き扉の禁止 階段の最小幅 防煙区画および排煙設備		
3．出火室における火盛り期 	在館者が建物外の安全な場所まで避難できる	非常警報器具・設備 非常用放送設備 誘導灯・誘導標識		階段までの距離の最大値 重複歩行距離の制限 非常用照明設備 内開き扉の禁止 階段の最小幅 防災上主要な間仕切り 縦穴区画の構造(遮煙性) 廊下階段の内装制限 避難階段の構造 附室の構造 開口部の随時閉鎖機構 防煙区画および排煙設備		
4．防火区画内の延焼拡大  	在館者が建物外の安全な場所まで避難できる 防火区画外に延焼拡大しない 消防活動が円滑に遂行できる	避難器具 令8区画，別棟区画 操作盤 消火活動上必要な施設 -消防用水 -排煙設備 -連結散水設備 -連結送水管 -非常コンセント設備 -無線通信補助設備 -非常電源設備(電線保護含む)	敷地内通路幅 二以上の直通階段 一時避難場所		耐火構造(荷重支持部材) 耐火構造(区画部材) 開口部の随時閉鎖機構 防火区画貫通部の延焼防止策 面積区画 縦穴区画 スパンドレル	接道義務 消防車の寄り付き 特別避難階段の附室 非常用エレベータの附室 非常用エレベータ 非常用進入口

活動上必要な施設や総合操作盤（防災センター）と連携して、消防隊の円滑な活動を支援する関係にある。

③火災フェーズによって消防的対策と建築的対策の得意な分野がある

表１の火災フェーズ０次における日常的管理（予防）は、本来の火災フェーズとは言えないものの、主として消防が主役となる場面である。とりわけ、火災発生自体の予防努力、そして消防用設備の日常的な維持管理を図るために、防火管理や消防機関による査察を定めているように、建物のライフタイムに亘る日常的な人的、組織的な努力、対策をも重視しているのが消防的対策の特徴といえよう。

次に、火災発生時の火災フェーズにおける消防的対策の特徴をみると、火災進展の初期の段階（１次、２次フェーズにおける早期発見、初期消火対応）、および在館者による自主消火が困難となった盛期火災以降の後期の段階（４次フェーズにおける消防隊による消火、救助活動）にスプリットして重点があり、一方、建築的対策はその中間段階である火災成長期の段階（２次、３次フェーズにおける自主避難安全を目的とする段階）に重点があるのが特徴として見てとれる。

④消防的対策はアクティブ系の一種の冗長システムである

建築基準法令では、排煙設備のようなアクティブ系対策の規定もなくはないがおおまかな傾向として、建築物の空間構成（面積区画、竪穴区画等及び構造、材料）や施設（階段、附室、避難施設等）の配置等に関する必要条件（パッシブ対策）を規定する条文が多いのが特徴である。これに対して消防法令では、火災そのものに着目して、火災の感知から始まり、避難、消火、救助という火災フェーズのそれぞれの段階に対応した人の防災活動を前提として、それらの活動に使用される設備に関する規定（アクティブ対策）が多い。また、出火防止を含む日常時の防火管理に関する規定があるのも特徴的である。

この意味で、消防法令に規定されている消防的対策は、実際に起こり得る火災事象の諸断面（各火災フェーズ）に対して、少しでも被害を軽減するという目的から、何重にも備えをするという一種の冗長システム（十分条件）を構成しているとも解釈できる。

3　消防総プロの取り組みの概要

3．1　消防総プロの目標

消防総プロは、新技術の円滑な導入や技術基準の性能規定化が求められている状況を踏まえて、建物における防火安全対策の技術的観点からの体系的検討を行うとともに、防火安全対策の性能評価や有効性に係る検証法の技術開発を通じて、防火対象物の火災危険性に応じて、消防用設備等、防火管理、建築構造等を総合的に勘案した防火安全設計手法が可能となることを目標として、研究・開発を実施しているものである。

具体的には、本消防総プロでは、現行の消防用設備等の設置に係る技術基準の体系に対して、次のような段階的目標をたてながら作業を行っていると、位置づけることができる。

① 現行基準の体系的整理および性能的記述

消防用設備等の設置に関して現行技術基準が要求している防火性能の内容を体系的に整理するとともに、その水準を何らかの技術的方法で性能的に表現すること。

② 個別設備の性能評価段階

個別の設備や設置対象部分についての設置方法の技術基準緩和と連動して、現行基準が要求している防火性能水準との同等性を評価するための性能評価ツール、性能評価手順（手続き）、火災安全技術データベース等の整備。

③ 防火対策の総合性能評価段階

防火対象物の用途、規模、計画等の特性に応じ、現行基準が要求している防火性能水準と同等以上の性能を満足しかつフレキシブルな（消防用設備等の）設計を可能とするための総合的防火性能評価手法や性能設計法（ガイドライン、技術指針）の開発。

④ 消防法令の性能化の将来的方向整理

消防用設備等の設置に関する技術的基準の緩和、弾力化方策（性能基準の方向）の検討。

3．2　消防総プロの調査研究体制

総合防火安全対策手法の開発調査検討委員会（消防総プロ）の体制は、本委員会の下に検討対象別に６つの幹事会を設置し、基本的には幹事会ベースで検討を進めているものである。下記に示す各幹事会の検討対象の概要からわかるように、第１幹事会以外の各幹事会においては、当該幹事会がそれぞれ主にカバーしている個別対策や消防用設備の設置基準について、上記②のレベル（個別設備の性能評価段階）の作業を行うことが課題であり、一方、第１幹事会では、設備相互間のトレードオフや各種対策の組み合わせのフレキシビリティを可能とする総合的防火性能評価の方法を模索するという③のレベル（防火対策の総合性能評価段階）に相当する課題に取り組んでいる。

■ 第１幹事会（総合防火安全対策）
現行の防火安全規制の内容整理と体系化、総合的防火性能評価のフレームワークの検討。

■ 第２幹事会（出火拡大防止･防炎）
性能検証における火災シナリオの検討、難燃化・不燃化等の評価手法の検討。

■ 第３幹事会（火災感知）
火災感知予測手法の検討、空調気流の影響の検討。

■ 第４幹事会（火災抑制･消火）
消火設備に要求される性能の同等性評価手法に関する検討。

■ 第５幹事会（避難･消防活動支援）
在館者の避難安全支援、消防隊の消防活動支援に関する対策とその有効性検証法の検討。

■ 第６幹事会（火災通報）
火災の通報・警報システムの検討、音声明瞭度と情報伝達の検討

4　総合的防火性能評価のフレームワークについて

ここでは、第１幹事会で検討を行っている総合的防火性能評価の考え方と、そのフレームワークについて概要を紹介する。第１幹事会では、総合的防火性能評価のフレームづくりにあたって、下記のような基本事項の整理を行い、幹事会における共通理解とした。

(1) 総合的防火性能評価手法とは「防火性能評価の手順」を提供するものである

総合防火性能評価手法は、各種の防火設備、防火対策の組み合わせのフレキシビリティを可能ならしむために用意されるべきものであり、ある防火設計が現行基準の要求している防火安全水準を満たしているかどうかを検証する方法として位置づけられる。したがって、防火設計の検証必要事項に対応して、所定の防火性能を決定論的に検証する方法であり、ランク別設計評価手法やリスク的評価手法という性格や目的のものではない。

(2) 基準の性能規定化と直接リンクしたものではなくCode-equivalency評価ツールである

本消防総プロの調査研究は、大きくは規制緩和、性能規定化の流れを踏まえてのものであるが、当面準備すべき総合防火性能評価フレームは、施行令32条の特認ルート（いわば改正建基法のＣルート）における Code-equivalency（現行法規要求水準との同等性）評価ツールを整備するものである。もちろん、その成果を踏まえて今後本則の中で逐次性能規定化される可能性は意識しないわけではないが、今回いきなりいわば改正建基法のＢルートにおける性能評価に相当する枠組みを整備するわけではないと考える。

この意味では、上記３．１節で示した４段階の目標における[② 個別設備の性能評価段階]も、[③ 防火対策の総合性能評価段階]も、どちらもCode-equivalency評価レベルであり、違いは個別設備基準の性能評価段階であるのか、それとも各種設備を総合してその組み合わせの防火性能を評価できる総合防火性能評価のレベルであるのか、ということである。

(3) 建築防火安全に対する消防的対策の特徴を反映したものとする

消防法令に規定されている建築防火安全関係の対策や設備には、次のような特徴があることを先に述べた。

①ハード（設備）とソフト（人的対応）のセットで機能することを想定
②建築的対策との相互補完的な関係
③火災フェーズによって消防的対策の得意な分野がある
④消防的対策は、防火対策として多重的、冗長的な特徴を有する
⑤消防的対策の目的は、人命安全のほかに火災拡大の局限化による被害軽減を含む

総合防火性能評価のフレームづくりにあたっては、上記の特徴を踏まえて消防的対策（消防法関係で規定する対策）が関係する火災フェーズごとに、防火性能項目や性能要求水準を整理し、火災フェーズに対応して防火性能評価ができる体系とする。したがって、火災進展フェーズ全体をトータルして火災リスクを評価するような枠組みは少なくとも当面は対象とはしない。

以上を考慮して、総合防火性能評価のフレーム素案として示したものが**表２**である。次節以降に、所与の火災シナリオに基づき検証可能な１次フェーズ以降の以下の３つ防火性能項目の概要について紹介する。評価すべき対策としては、消防用設備等を中心とする防火設計上焦点となり、また防火性能の技術的評価になじむハード関係を軸に据えて評価フレームや手法を構築し、人的要素はその中で取り扱うように工夫する。なお、これらの３つの性能項目は、それぞれ独立に評価検証されるものである。

●初期拡大抑制性能
●避難安全性能
●消防活動支援性能

表２　総合防火性能評価のフレームと現行の消防法令による防火対策との相互関連性

総合防火性能評価のフレーム		対応する火災フェーズ*1	現行の消防法令による防火対策	
防火性能項目	防火性能の要素内容		防火安全対策の目的*2	（例示） 具体的防火対策（消防法関係*3）
火災予防管理性能	・出火の予防	0次	出火危険の低減	・火気使用設備に対する規制、管理 ・防炎規制 ・危険物の貯蔵、取扱に関する規制
	・消防用設等の機能維持	0次	消防用設備等の機能の維持および信頼性の確保	・消防用設備等の設置、維持義務 ・防火管理者の選任、防火管理義務 消防機関による予防活動（査察等）
初期拡大抑制性能	・火災の早期覚知	1次、2次	火災の早期発見（感知）	・自動火災報知設備（感知） ・ガス漏れ警報器
			火災の迅速な警報（在館者へ）と、通報（消防機関へ）	・自動火災報知設備（警報） ・警報設備、非常用放送設備 ・総合操作盤 ・消防機関への通報設備
	・火災の初期拡大抑制（初期消火を含んだ概念）	2次	初期消火、火災規模の局限化	・消火器、消火器具 ・屋内消火栓 ・スプリンクラー設備 ・その他の消火設備
避難安全性能（救助は含まず）	・避難安全性の確保	3次	自主避難の安全性の向上、および自主避難の円滑化	・誘導灯、誘導標識 ・自動火災報知設備（警報） ・警報設備、非常用放送設備
	・脱出経路の確保	4次	不測の事態に対する脱出経路の確保	・避難器具 ・非常階段
消防活動支援性能	・消防活動環境の確保（消防活動の円滑化） ・消防隊員の活動安全確保（消防活動の安全性）	4次	被害の軽減による財産の保護	・消火活動上必要な施設 ・総合操作盤 ・排煙設備（消防排煙） ・令8区画、別棟区画
			逃げ遅れた避難者の保護	・消火活動上必要な施設 ・総合操作盤 ・排煙設備（消防排煙）

＊1，＊2、＊3：表1における「火災進展フェーズ」との対応を示し、「防火安全対策の目的」を再整理するとともに、「消防法関係の防火安全対策」を再配置したもの。

4　初期拡大抑制性能とその評価法

総合防火性能評価のフレームにおける「初期拡大抑制性能」では、**表2**における防火性能の要素内容として、「火災の早期覚知」と「火災の初期拡大抑制」が掲げられている。これは、建築物内で発生する火災に対して、なるべく早い段階に発見し、初期拡大を抑制することを要求するものである。初期拡大抑制性能を満足するためには、多岐にわたる防火設備および防火対策の組み合わせによって性能を確保していくことが必要となる。たとえば早期覚知には感知器、消火には屋内消火栓、スプリンクラー設備などが必要となる。ここでは、個々の設備の作動性能または消火性能は、各設備ごとに個別に検討されるという前提のもとに、各種の防火設備、防火対策の組み合わせのフレキシビリティが可能となるような性能評価検証法の構築を行うことを当面の目的として検討をすすめている。

4.1　初期拡大抑制性能の概要

初期拡大抑制性能の機能的要件は、「火災の初期拡大段階において在館者が消火設備を用いて初期消火することが可能となるための体制が整備されていること」と理解される。

そして、初期拡大抑制性能の評価は「評価の対象となる建築物内の場所において、消火設備の作動開始（あるいは当該設備を用いた初期消火開始）時間が、検証用に想定された火源に基づく初期拡大限界時間（当該消火設備を用いた消火限界の火災成長規模、あるいは当該火災空間における滞在可能限界環境に対応）を上回らないこと」を検証するという方法で行う。

4.2　初期拡大抑制性能評価法

(1)評価法の要件

初期拡大抑制に関して、火源モデル成長開始から消火開始までの一連の流れを「系」として捉えるならば、評価すべき系は次の2つに大別される。

①人的な対応行動が絡んだ系（屋内消火栓を用いた消火）

②スプリンクラー設備のように自動的に放水を開始し、放水開始までの間に人的対応が関与しない系

検証法ではこれら2つの系いずれもが評価可能なフレームを構築する必要がある。また、それぞれの系は複数の設備の組み合わせ（たとえば、自火報による火災感知と、屋内消火栓による消火等）によって構成されていることが考えられるため、これらの組み合わせの影響も反映できるようなフレームとすることが要求される。評価においては、建築物の室単位で火源を想定し、評価を行うことが要求される。したがって、室の用途やその室で想定される可燃物の種類に応じた火源の設定が可能となるような火源モデルの整備も要求される。

(2)評価法のイメージ

評価法では、検証用火源モデルに基づく初期拡大抑制限界時間と、導入する対策の放水開始時間を比較することにより、放水開始時間が限界時間以内に収まっているかどうかを確認する。(図1)

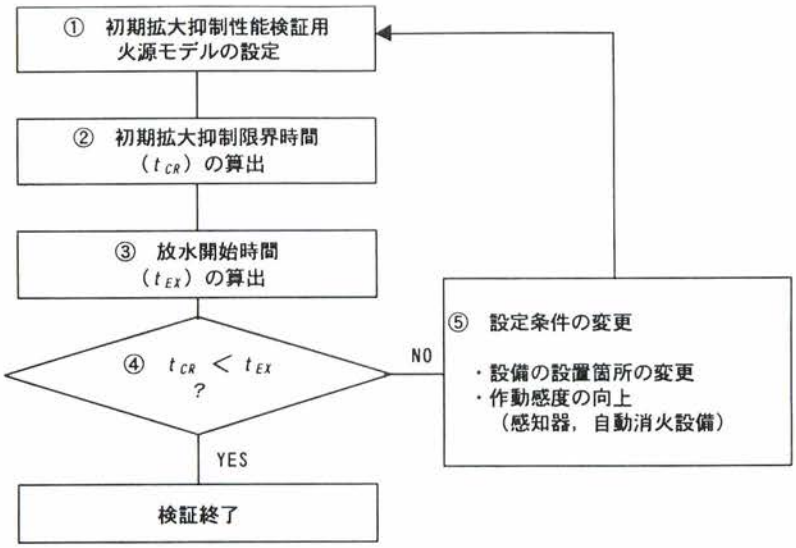


図１　初期拡大抑制性能評価法のフロー

5　避難安全性能とその評価法

消防用設備のうちで避難安全性能に関するものとしては、迅速な避難開始を促す役目を果たす感知・警報設備、避難方向を知らせるための避難誘導灯など避難誘導関連の消防用設備がある。また、逃げ遅れた人のための自主脱出安全に関しても、消防法令による避難設備（器具）が補助的な避難手段として位置づけられているが、これは多数の避難者の利用を前提としたものではない。

ここでは、迅速な避難開始とスムーズな自主避難を支援する避難安全性能の評価法について現在検討を行っている考え方を紹介する。

5.1　避難安全支援性能（警報設備および避難誘導灯）の概要

警報設備および避難誘導灯に要求される性能としては「建築基準法上で準備されている避難施設への円滑な避難を支援できること」とする。そこで、建築物に設置されている感知・警報設備によって避難が開始され、出火階での避難が完了に至るまでの間、避難誘導灯が設置されている空間が避難が円滑に行える環境にあるかどうかを評価するものとする。

なお、ここでの評価方法においては、誘導灯の大きさやタイプの違い、あるいは設置位置（具体的には設置高さ）との関係で、設置間隔などに対する緩和措置を合理的に行えるような体系の構築にも配慮したいと考えている。

5.2　評価法のイメージ

防災センターが設置されている一般事務所ビルを例にとって、評価法の流れについて示す。まず、建築物に導入されている自動火災報知設備の発報に伴って、防災センター要員が火災階に駆け付け、火災確認後、防災センターに連絡し、その後に出火階に避難誘導放

送が行われた時点を火災階の避難開始時間として取り扱うことにする。このことを現段階で考えている性能評価法における標準火源モデルとの関係で表現したものを**図２**に示す。

ここで、防災センター要員の活動時間（T_{staff}）は下記の式を用いて、算定することにする。

$$T_{staff} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad \cdots\cdots (1)$$

T_1：出火階への駆け付けに要する時間

T_2：出火場所の確認に要する時間

T_3：防災センターとの連絡に要する時間

T_4：避難誘導放送実施に要する時間

式(1)中の防災センターとの連絡に要する時間や、避難誘導放送実施に要する時間などは、固定値を与えて対処する必要もあると考えている。なお、ここでは避難時間や誘導灯設置場所（具体的には避難通路）への出火室からの煙の漏量等の計算方法は、建築基準法上で準備されている検証方法を準用することを前提とする。そして、誘導灯設置場所の環境評価におけるクライテリアとしては次に示す内容が考えられる。

○ 誘導灯設置場所が建築基準法で設定されている避難限界になっていないこと

○ 誘導灯設置場所の煙層が２層であることを前提に煙層高さが避難口誘導灯の設置高さの下部まできていないこと

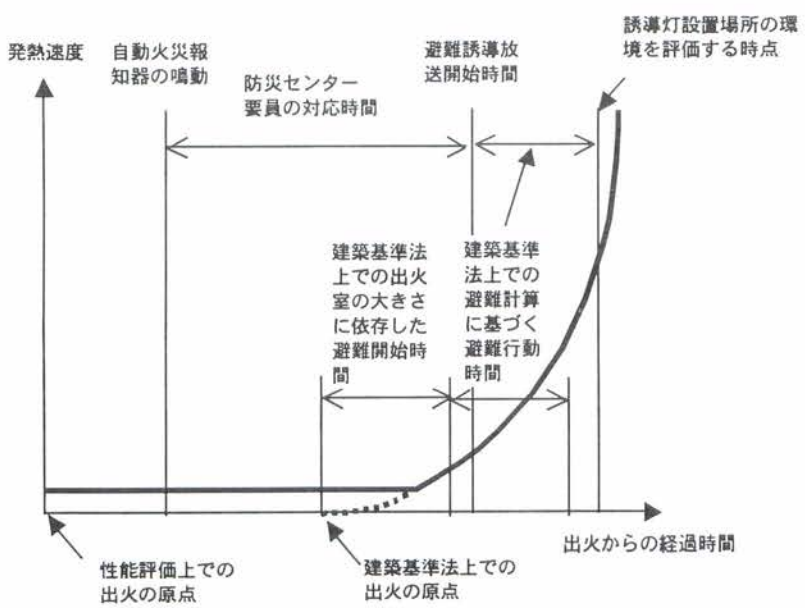


図２　標準火源モデルとの対応関係の概念図

6　消防活動支援性能とその評価法

消防活動支援性能については、建物火災に対して消防隊が建物内において円滑かつ安全な消防活動（救助検索、消火）を行えるようにするために、消防活動拠点等の有すべき性能要件と、こうした消防活動拠点の最低限必要な確保等に関する設置要件の二つの側面から検討する必要がある。

（1）消防活動拠点等の要するべき性能要件

（2）建物規模、階数に応じた最低限必要な消防活動拠点の確保に関する設置要件

6.1　消防活動支援性能の概要

消防活動支援性能の目的は消防活動の円滑さと安全性の確保であり、具体的には「盛期以降の火災の条件下においても、建物内における消防隊の消火活動や救助検索活動が円滑かつ安全に展開できる空間、環境および消防活動上必要な施設が確保されていること」が機能的要件として求められる。

6.2　消防活動支援性能評価法

(1)評価法の要件（表 3）

消防活動支援性能の評価は「当該建物内で消防隊による消火活動や救助検索活動が円滑かつ安全に行われる上で、評価の対象となる消防隊進入（アクセス）経路及び活動拠点が、想定され得る盛期火災によって生じる煙や熱気流の影響に対して支障ない状態であること」を検証するという方法で行う。

また、消防活動拠点や進入経路などの設置要件として、これらの消防活動上必要な施設（注：消防法令においては設備を含む概念）が建物の用途、規模、階数に応じて必要最低限の数確保されているかどうかということも、一方で確認する必要がある。

表 3　消防活動支援性能に関する評価法の要件

評価対象項目	設置要件	安全性評価（検証）
拠点に至る経路の確保	進入経路の数 経路の連続性 （進入円滑性）	遮熱性、遮煙性
活動拠点の確保	設置個数	遮熱性、遮煙性

(2)消防隊進入経路や消防活動拠点の安全性評価法のイメージ（図 3）

消防活動継続中、消防隊進入（アクセス）経路[*1] 及び活動拠点[*2] が支障ない状態[*3]（火災の影響によって構造的な損傷を受けず、また一定以下の温度、煙濃度であることを評価する）であることを検証する。

*1 消防隊進入経路

非常用エレベータ，特別避難階段，あるいはそれに代わる火や煙から守られた直通階段（避難ルートとしても類似施設は必要であろうから）は少なくとも 1 つは要求する。梯子可梯可能高さま

での非常用進入口とその室内側における安全な空間，消防活動用有効なバルコニーは，下記の消防活動拠点との関係で十分な施設とは思われず，あくまで梯子車による救助検索等の非常補助施設と考えるべきものであろう。

*2 活動拠点

非常用エレベータ付室、特別避難階段付室、あるいはそれに代わる、火や煙から守られた直通階段近傍の安全区画、または直通階段区画そのもの。

*3 呼吸器具の装着なしに消防隊員が活動できる環境

進入経路や活動拠点における温度と煙濃度との影響が、呼吸器具の装着なしに滞在するのに支障が生じない許容値を示す。検証方法は、当該空間を構成する区画の遮熱性能や遮煙性能について、想定される盛期火災に対して必要な活動継続時間中に許容値を超えないことを確認する方法が考えられる。

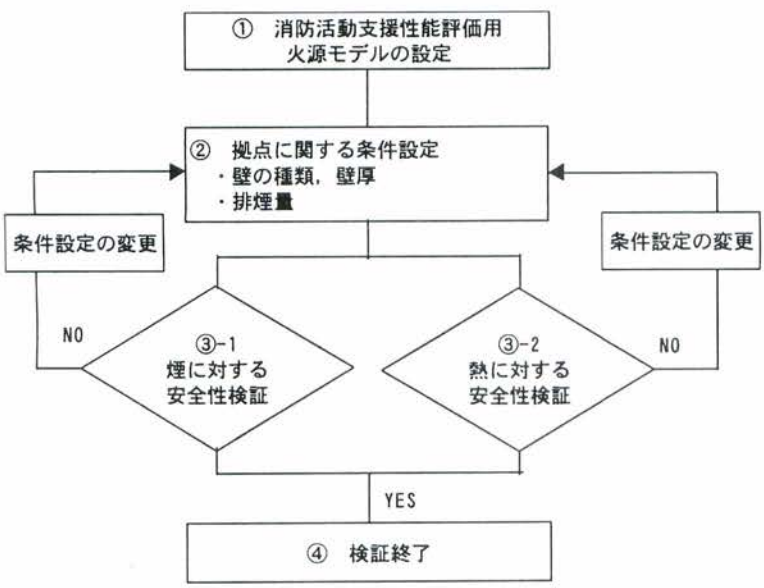


図３　消防活動拠点の安全性検証のフロー

【参考文献】

1)鈴木和男："消防用設備等の規制と規制緩和について"、火災、Vol.49 No.1、1999年2月.
2)神忠久："誘導灯の新設置基準の考え方について"、火災、Vol.49 No.6、1999年12月.
3)関沢愛："建築防火安全への消防の関与と今後の課題"、火災、Vol.51 No.1、2001年2月.

火災の初期拡大抑制性能評価の考え方について

野竹宏彰（大崎総合研究所）

1 はじめに

本稿では，総合的防火性能評価のフレームワークで示された評価法のうち，火災の初期拡大抑制性能評価の考え方について述べる。総合的防火性能評価のフレームにおける「初期拡大抑制性能」では，防火性能の要素内容または目標として，「火災の早期発見」と「火災の初期拡大抑制」を掲げている。これは，建築物内で発生する火災に対して，なるべく早い段階に発見し，初期拡大を抑制することを要求するものである。初期拡大抑制性能を満足するためには，多岐にわたる防火設備および防火対策の組み合わせによって性能を確保していくことが必要となる。たとえば早期発見には感知器，消火には屋内消火栓，スプリンクラー設備などが必要となる。総合的防災性能評価の1つとして位置付けられている初期拡大抑制性能評価においては，個々の設備の作動性能または消火性能は，個別にそれぞれの設備ごとに検討されるという前提のもとに，各種の防火設備，防火対策の組み合わせのフレキシビリティが可能となるような検証法の構築を目的として検討をすすめている。本稿では，検証法の枠組と構成要素の概要について説明し，検証法の特徴を示す。なお本稿の内容については，現在，総合防災安全対策手法の開発調査検討委員会の総合防火安全対策幹事会（第1幹事会）において検討中の段階である。本稿は検討の途中経過を報告するものであり，今後取り組むべき課題についても述べる。

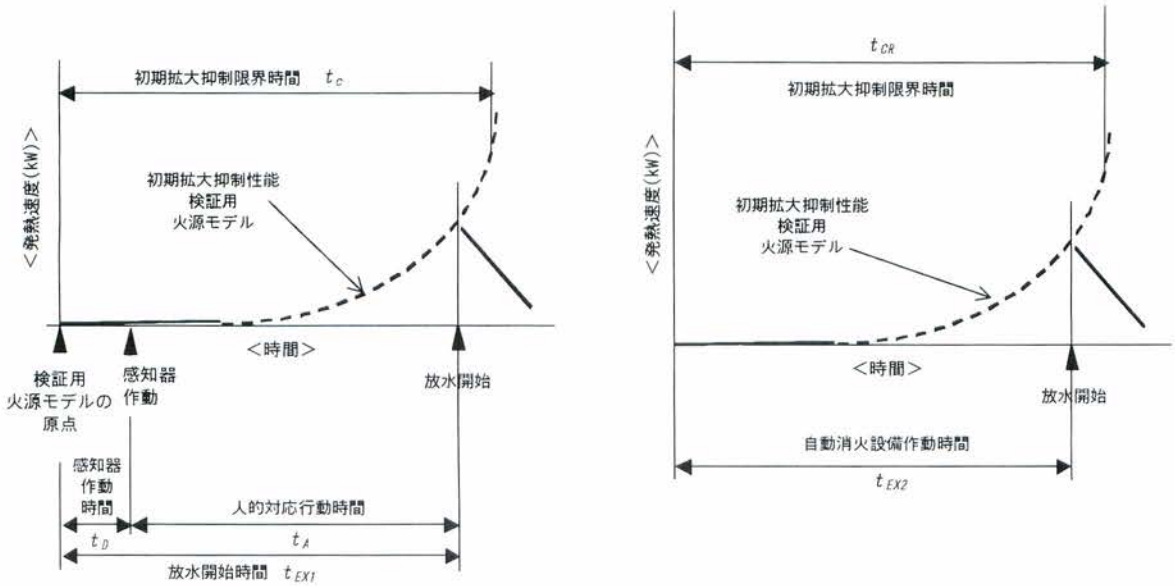
2 初期拡大抑制性能の概要

総合的防火性能評価における初期拡大抑制性能の目的と機能的要件，要求性能は次のとおりである。建築物内で発生する火災に対して初期拡大を抑制する体制を整備し，その検証を行うことが主な目的である。

(1) 目的　　：火災の初期拡大抑制
(2) 機能的要件：建築物内において，火災の初期段階の拡大を抑制する設備が設置・機能維持されるとともに，かつ，火災の初期拡大段階においてその設備を用いて初期消火が可能となるための体制が整備されていること。
(3) 要求性能　：初期拡大抑制性能が要求される建築物内の場所において，初期拡大抑制性能の検証をすべき設備の作動開始（あるいは当該設備を用いた初期消火開始）時間が，初期拡大抑制性能を検証するために想定された火源に基づく初期拡大限界時間（当該消火設備を用いた消火限界の火災成長規模、あるいは当該火災空間における滞在可能限界環境に対応）を上回らないこと。

消火設備が人的な対応行動が関与する場合と，スプリンクラー設備等のような自動消火設備の

場合について，初期拡大抑制の要求性能をイメージで表すと，次の図のようになる。



(a) 人的な対応行動が関係する消火設備の場合

(b) スプリンクラー設備等の自動消火設備の場合

図1 初期拡大抑制の要求性能のイメージ

3 初期拡大抑制性能検証法の概要

初期拡大抑制の要求性能(許容状態)に対して，火源モデル成長開始から消火開始までの一連の流れを「系」として捉えるならば，評価すべき系は次の2つに大別される。1つは人的な対応行動が絡んだ系，もう1つはスプリンクラー設備のように自動的に放水を開始し，放水開始までの間に人的対応が関与しない系である。検証法ではこれら2つの系いずれもが評価可能なフレームを構築する必要がある。また，それぞれの系は複数の設備の組み合わせによって構成されていることが考えられるため，これらの組み合わせの影響も反映されるフレームとすることが要求される。評価

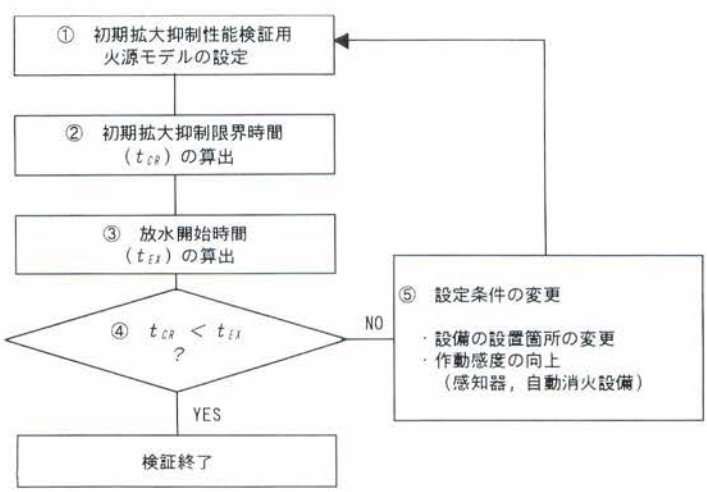


図2 初期拡大抑制性能検証法のフロー

においては，建築物の室単位で火源を想定し，評価を行うことが要求される。室の用途に応じた火源の設定が可能となるような火源モデルの整備も要求される。したがって，検証法を構築するためには①検証用火源モデル，②初期拡大抑制限界時間の設定および算出方法，③初期拡大抑制のための設備作動時間，放水開始時間の算出モデルの3つを整備する必要がある。

検証法においては，検証用火源モデルに基づく初期拡大抑制限界時間と，導入する対策の放水開始時間とを比較することにより，放水開始時間が限界時間以内におさまっているかどうかを確認することになる。検証のフローを図2に示す。

3.1 検証用火源モデル

初期拡大抑制性能検証法における火源モデルは，次の要件を満たす必要がある。

・感知器の作動時間算出に利用できること
・自動消火設備の作動時間算出に利用できること
・初期拡大抑制限界時間の算出に利用できること

上記の要求を満足させるために，初期拡大抑制性能検証用の火源モデルでは，感知器が作動するレベルであるが，建築基準法告示等で想定しているQ=αt^2火源にまでは至っていない火災の段階（微小火源）を想定する。火災モデルは微小火源モデルで記述される段階を経て，建築基準法告示で想定しているQ=αt^2火源に成長するものとする（図3）。

微小火源は，成長火源にいたる前の段階を想定しており，一定の発熱速度が継続する（定常火源）モデルを想定する。微小火源モデルでは，主に可燃物の種類と燃焼の仕方に応じて，発熱速度，煙生成率，微小火源の継続時間（実際の火災では，第1次着火物から第2次着火物に燃え移るまでの時間に相当するような時間と考えられる）を設定する。

微小火源モデルは，第2幹事会で行われてきた火災事例の分析および実験結果から，大きく3つに分類して設定する（表1）。微小火源①は，発熱速度は非常に小さいが煙の発生が多い火源である。微小火源②は，紙類，小型の木製品または合成樹脂製物品，衣類等の（初期段階の）燃焼を想定したものである。微小火源③は，天ぷら油火災や燃料の燃焼を想定したものである。

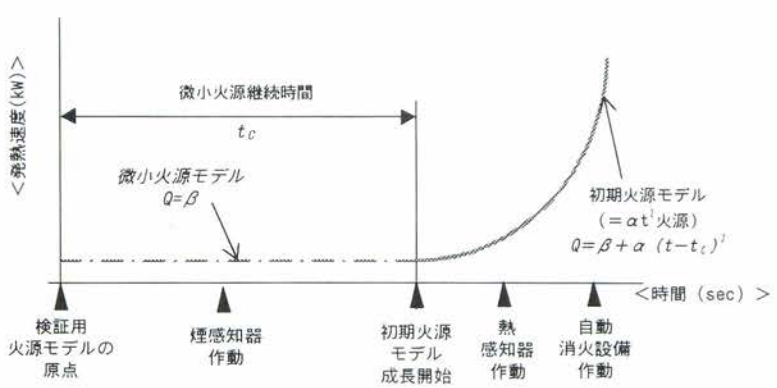


図 3　初期拡大抑制性能検証法における火源モデルのイメージ

各火源には，それぞれ発熱速度，継続時間，煙生成率が設定される。発熱速度は微小火源①

から順に4kW，20kW，100kWである。継続時間は，微笑火源①については，住宅におけるふとん出火やビジネスホテルのベッド出火等の実験結果などから1200秒を設定する。微小火源②，③の継続時間は，室の用途における積載発熱量（建設省告示）等から計算によって算定する。

表1　微小火源の種類と設定値

火源の種類	発熱速度 Q_f[kW]	継続時間 [sec]	煙生成率 ε_s[kg/kg]
微小火源①	4	1200	0.3～0.5
微小火源②	20	個別計算	0.03～0.05
微小火源③	100	個別計算	0.1～0.2

微小火源モデルにおける煙生成率は，煙感知器の作動時間を予測するために必要となる。煙生成率は，実際の火災時や実験などにおいては可燃物の種類や，また同じ可燃物であっても燃焼の仕方によって大きく変動するものであり，現時点では明確な根拠をもって設定値を定めるのは困難であるといわざるを得ない。ここでは，まず各微小火源が想定している燃焼状態や可燃物の種類を考慮して煙生成率の値の範囲を特定化する。燃焼の種類（発炎燃焼／無炎燃焼）を考慮した煙感知器の実作動濃度と煙生成率を用いて，3つの微小火源がカバーしている領域を図4に示す。今後ケーススタディ結果や検証法の目的に適合するか等も勘案して妥当な値を設定したいと考えている。

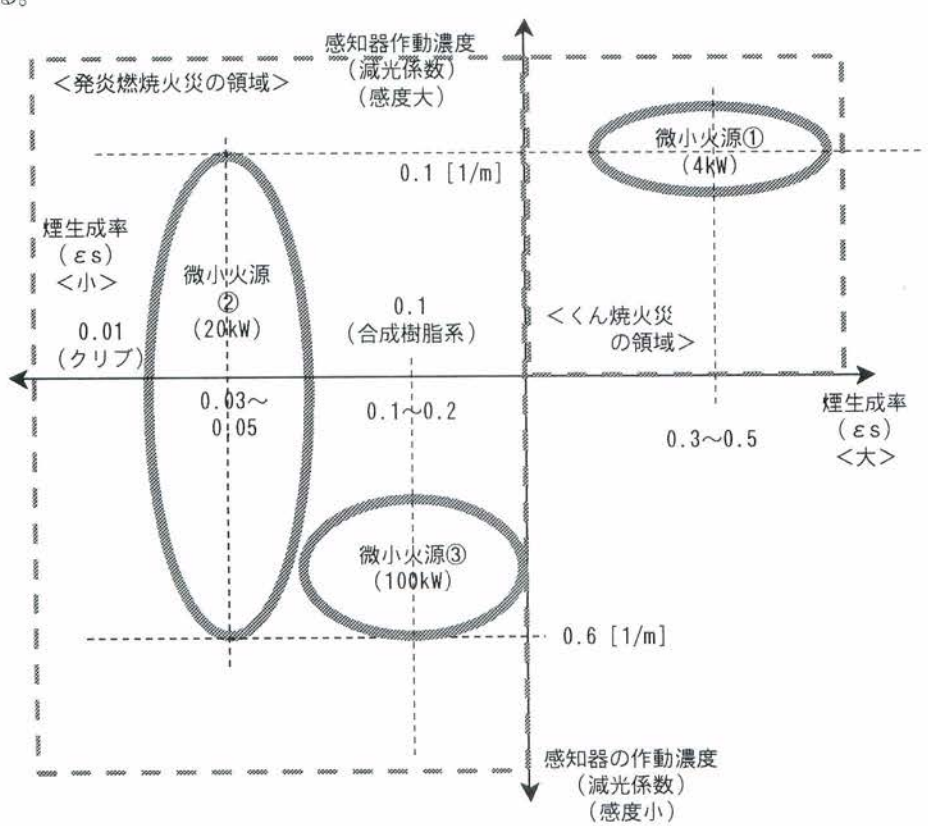
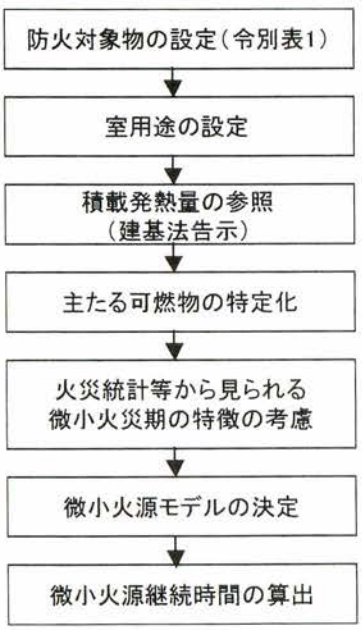


図4　微小火源モデルの位置付け

微小火源②，③における微小火源継続時間の算出は，図5(a)に示す手順に従って行う。まず，防火対象物の種類と室の用途に応じて主たる可燃物の特定化を行う。さらに火災統計等から微小火災期の特徴（放火の可能性や使用火気等）を考慮し，使用する微小火源モデルを決定し，微小火源継続時間を算出する。微小火源継続時間を算出する際には，建築基準法告示に示されている積載発熱量を参照する。いくつかの室用途別について微小火源継続時間の値を算出した例を図5(b)に示す。今後，防火対象物の室用途別に参照が可能な，微小火源継続時間のリストを用意することも検討中である。



(a)微小火源継続時間の算出フロー

防火対象物の種類	事務所	学校	遊技場	物販店舗
室の用途	事務室	教室	遊戯室	売場
積載発熱量 [MJ/m^2]	560	400	480	480
微小火源モデルの種類	②	②	②	③
微小火源継続時間 [sec]	753	999	829	33

(b)室の用途別，微小火源継続時間の算出例

図5　微小火源継続時間の算出フローと算出例

3.2　初期拡大抑制限界時間の算出方法

初期拡大抑制性能評価法に用いる限界時間は，出火室において初期拡大抑制対応行動が実施できなくなる時間を想定して設定する。これは，初期対応行動が主に防災センター要員などの建物管理者によって行われるため，消防隊のような火炎や煙に対して安全性を確保する装備が整っておらず，消火設備の操作方法にも熟達しているとは必ずしも言いがたいことから，消火設備の機器としての消火限界よりもむしろ出火室の環境的要因によって消火行動を実施できなくなる可能性が大きいと考えられるからである。

初期拡大抑制対応行動の限界状態を定式化する要素として，ここでは煙層の降下とふく射を考える。具体的にはこれら2つに関してそれぞれの限界時間を求め，そのうち早い方を初期拡大限界時間として採用する。式で書くと次のように表せる。

$$t_{EDF} = \min\left\{ t_{h_s<h_{critical}}, t_{I_f+I_s>I_{critical}} \right\} \tag{1}$$

ここに,

t_{EDF} :初期拡大限界時間[sec]

$t_{h_s<h_{critical}}$:煙層が限界高さ以下に降下する時間[sec]

$t_{I_f+I_s>I_{critical}}$:煙層及び火源から初期対応者へのふく射熱が限界値以上になる時間[sec]

煙層高さ，輻射熱（初期対応者への入射熱流束）の限界値は，それぞれ次の値を設定する。

$$\begin{cases} h_{critical} = 1.8 \\ I_{critical} = 2.5 \end{cases} \tag{2}$$

ここに,

$h_{critical}$:煙層高さの限界値（床上からの値）[m]

$I_{critical}$:入射熱流束の限界値[kW/m^2]（火源から 5m 離れた場所における値）

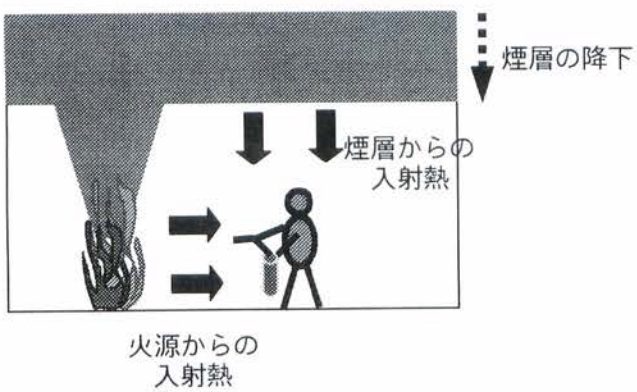


図6　出火室における初期拡大限界時間のイメージ

評価上の原点（微小火源モデル開始時点）を起点とした限界時間は，微小火源継続時間とのつながりを考慮した補正を行って算出される。算出式は次のようになる。

$$t_{CRITICAL} = t_{ICF} + t_{EDF} - t_{OVL} \tag{3}$$

ここに,

$t_{CRITICAL}$:初期拡大抑制性能評価における限界時間[sec]

t_{ICF} :微小火源モデルの継続時間[sec]

t_{EDF} :初期火源モデルに基づく限界時間[sec]
t_{OVL} :初期火源モデルと微小火源モデルの重複時間[sec]

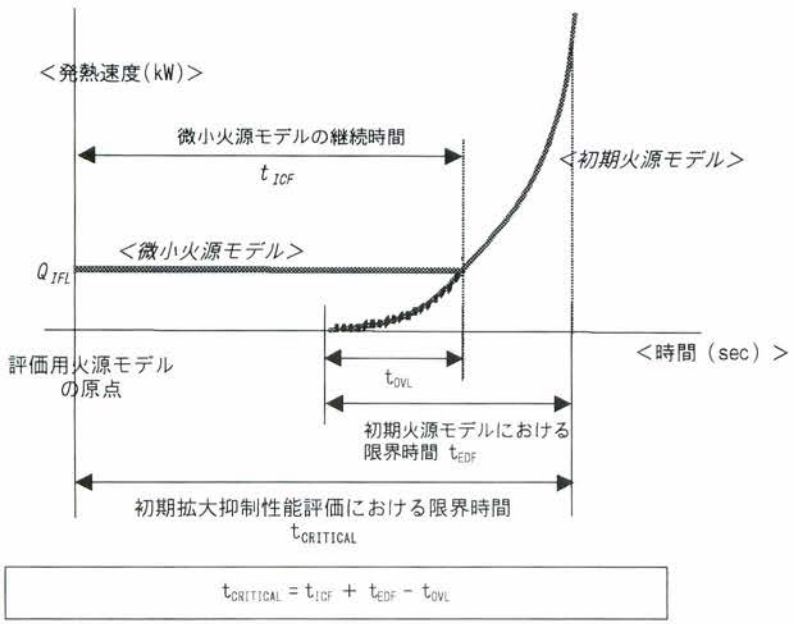


図7 微小火源，初期火源のつながりを考慮した限界時間の求め方(イメージ)

3.3 初期拡大抑制のための設備作動時間，放水開始時間の算出モデル

初期拡大抑制のための対応行動時間を求める手順について示す。人的な対応行動が関係する消火設備の場合には，感知器作動時間と人的対応行動時間の和で対応行動時間(放水開始時間)を求める必要がある。また，自動消火設備の場合には，その設備の作動時間を求めることになる。ここでは，その中でも煙感知器の作動時間予測手順と，人的対応行動時間算出手順について示す。

3.3.1 煙感知器の作動時間の算出手順

煙感知器の作動時間は図7に示す作動時間算出手順に従って求める。ここに示す感知器作動時間予測モデルは，天井流モデルとゾーンモデルを組み合わせた形で計算を行っている。その理由のひとつとして，火源モデルとの組み合わせの問題がある。天井流モデルは通常 αt^2 火源モデルとセットで利用される場合が多いが，この評価法における微小火源モデルは定常火源(発熱速度が時間に依存せず一定の火源)なので，天上流モデルとゾーンモデル併用型の方法を採用した。また，この検証法では，関数電卓等で比較的簡易に計算可能(パソコンの表計算ソフトで計算可能なレベル)なように，二層環境中の煙層温度，煙層濃度の計算をはじめ，全ての手順において簡易式を用いて計算できるようにする。

煙感知器の作動予測モデルにおいては，煙生成率の値によって，作動予測時間が大きく左右される。そのため，パラメータスタディとして煙生成率の値を変えた場合の作動時間の変化傾向について確認を行っている(図9)。

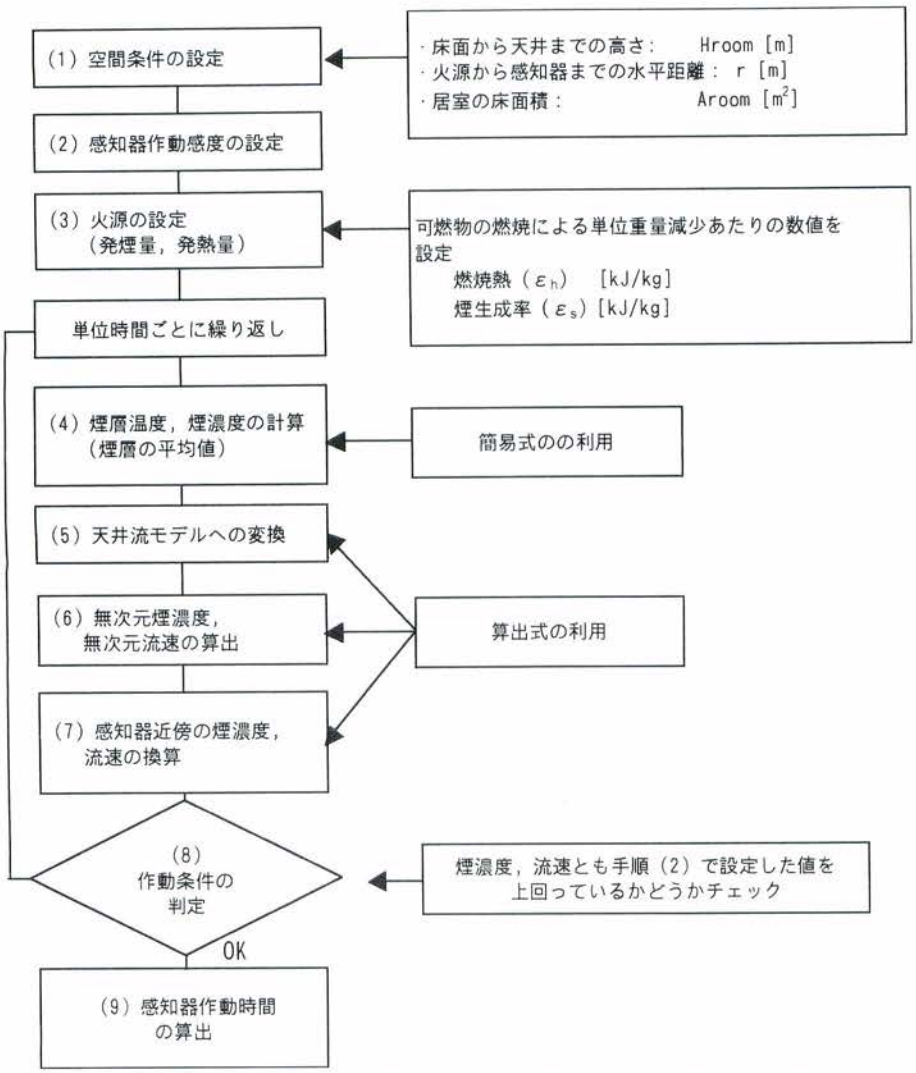


図8 感知器作動時間算出手順(煙感知器を対象とした流れ)

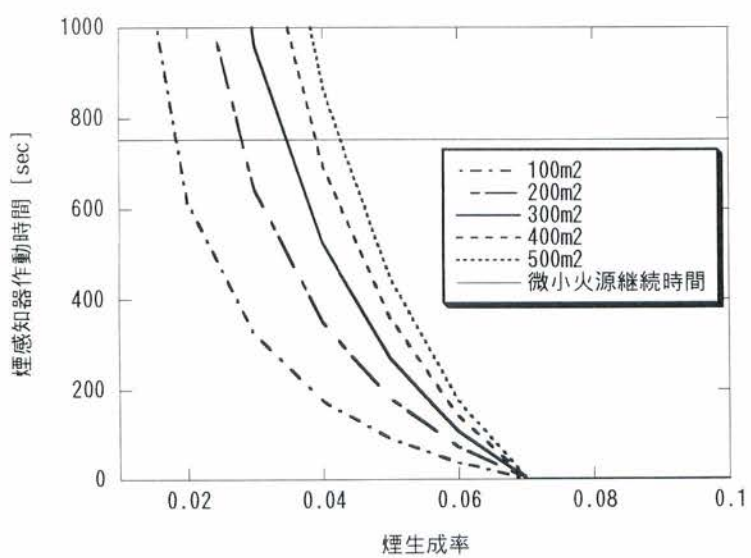


図9 煙生成率を変えた場合の作動時間の変化

(事務室を想定し，微小火源②を使用した場合における，出火室面積別の結果を表す)

3.3.2 人的対応行動時間の算出手順

人的対応行動時間は，自火報が鳴動した後，出火室以外の場所から初期対応者が駆けつけ，消火活動を開始するまでの時間をいう。初期対応者がどこから駆けつけるかについては，次の2つの場合が考えられる。

①非出火階から駆けつける場合

②出火階の他の場所から駆けつける場合

初期拡大抑制を検証する上で，駆けつけの基点を①と②のどちらにするかについては，当該建築物の用途上の特徴などを考慮して実態に即した検証を行う必要があると考えられる。今後ケーススタディ等を通じてさらに検討をしていく必要がある。

人的な消火活動として検証を実施する上で対象としているのは，屋内消火栓による消火であるから，屋内消火栓を使用できる(使用すべき)人の対応行動時間を求めることが必要であり，また放水準備時間(ホースの延長，ポンプの起動等)を考慮する必要がある。非出火階から駆けつけて消火活動を行う場合の算出式は次のように設定する。

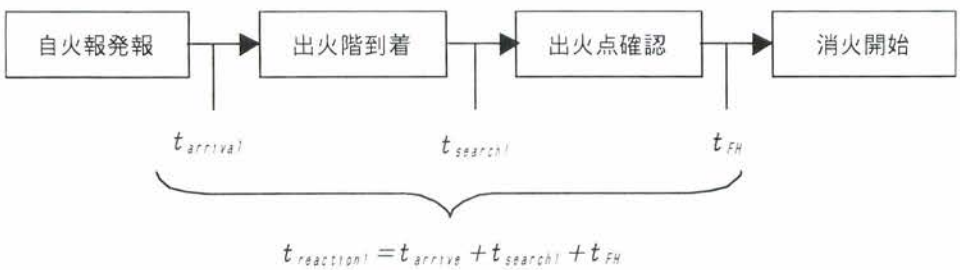


図10　非出火階を起点とした対応行動時間算出フロー

$$t_{reaction1} = t_{arrival} + t_{search1} + t_{FH} \tag{4}$$

ここに，

$t_{arrival}$: 非出火階から出火階までの移動時間(sec)

$t_{search1}$: 出火階における火点探索時間(sec)

t_{FH} : 屋内消火栓放水準備時間(sec)

出火階から駆けつけて消火活動を行う場合の算出式を次のように設定する。

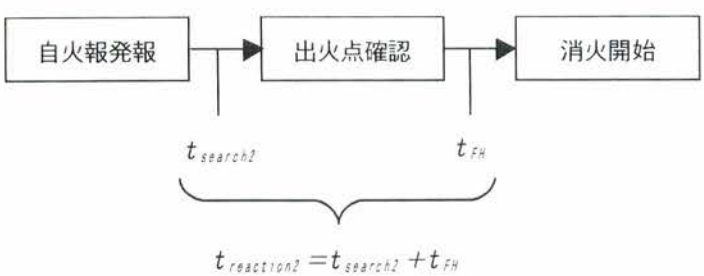


図 11　出火階を起点とした対応行動時間算出フロー

$$t_{reaction2} = t_{search2} + t_{FH} \tag{5}$$

ここに,

$t_{search2}$:出火階における火点探索時間(sec)

t_{FH} :屋内消火栓放水準備時間(sec)

4 ケーススタディ

構築された初期拡大抑制性能検証法の特徴を明らかにするため，主に事務所ビルを対象として，算出例をまとめ，ケーススタディを実施している。室の大きさや，感知器設置間隔，駆けつけ距離等を変えた場合の検討などについて，今後さらに検討をすすめる予定である。

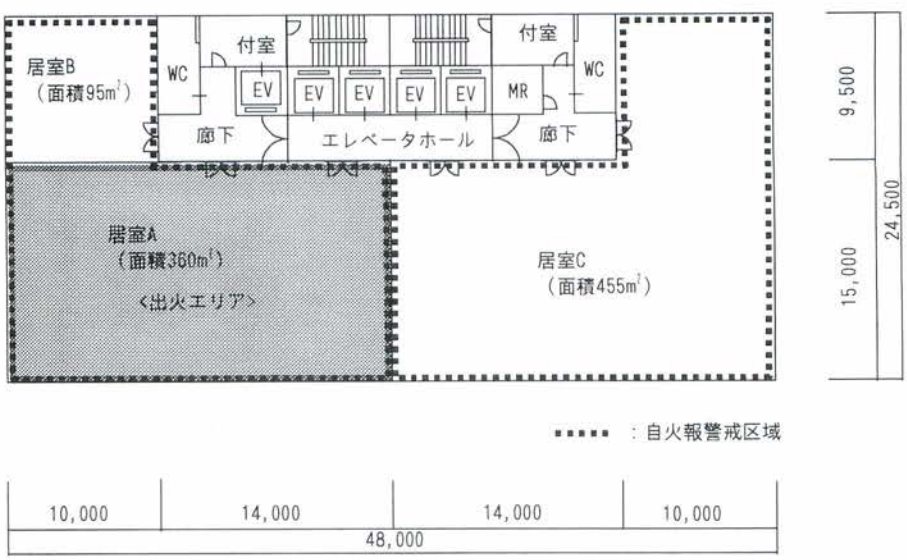
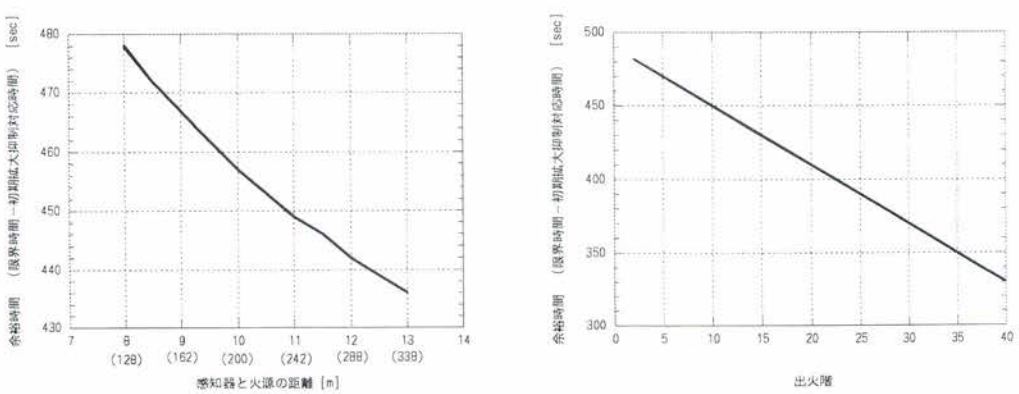


図 12 対象とする建物平面図(基準階)



(a) (b)

図 13 ケーススタディ検討例

(a)感知器設置間隔を変えた場合の余裕時間(限界時間－感知器作動時間)の変化傾向

(b)出火階を変えた場合の余裕時間の変化傾向

5　まとめと今後の課題

本稿では，初期拡大抑制性能の概要を説明するとともに，検証法の流れと各構成要素における算出手順の概略について説明した。現時点までの初期拡大抑制性能検証法の検討項目別進捗状況を図14に示す。なおこの図にも示すように，本稿で示した手順以外にも，各構成要素において代替可能な方法論はあるものと考えている。ただし，モデルを組み合わせるにあたっては，火源モデルと作動時間予測モデルの組み合わせ等，適合性を吟味する必要がある。

今後は熱感知器作動予測モデルやスプリンクラー作動予測モデル等の手順を整理するとともに，ケーススタディを通じて，検証法の特徴や適用上の課題についてさらに検討を続けていく予定である。その他現在第1幹事会では，検証法適用上のメリットは何かということや，適用上の前提となる条件整理（特に人的対応行動や管理面に関すること等）のことなどについても議論されている。

最後になりましたが，いつも貴重なご意見ご助言をいただいている主査をはじめ，第1幹事会の幹事の皆様に謝意を表します。

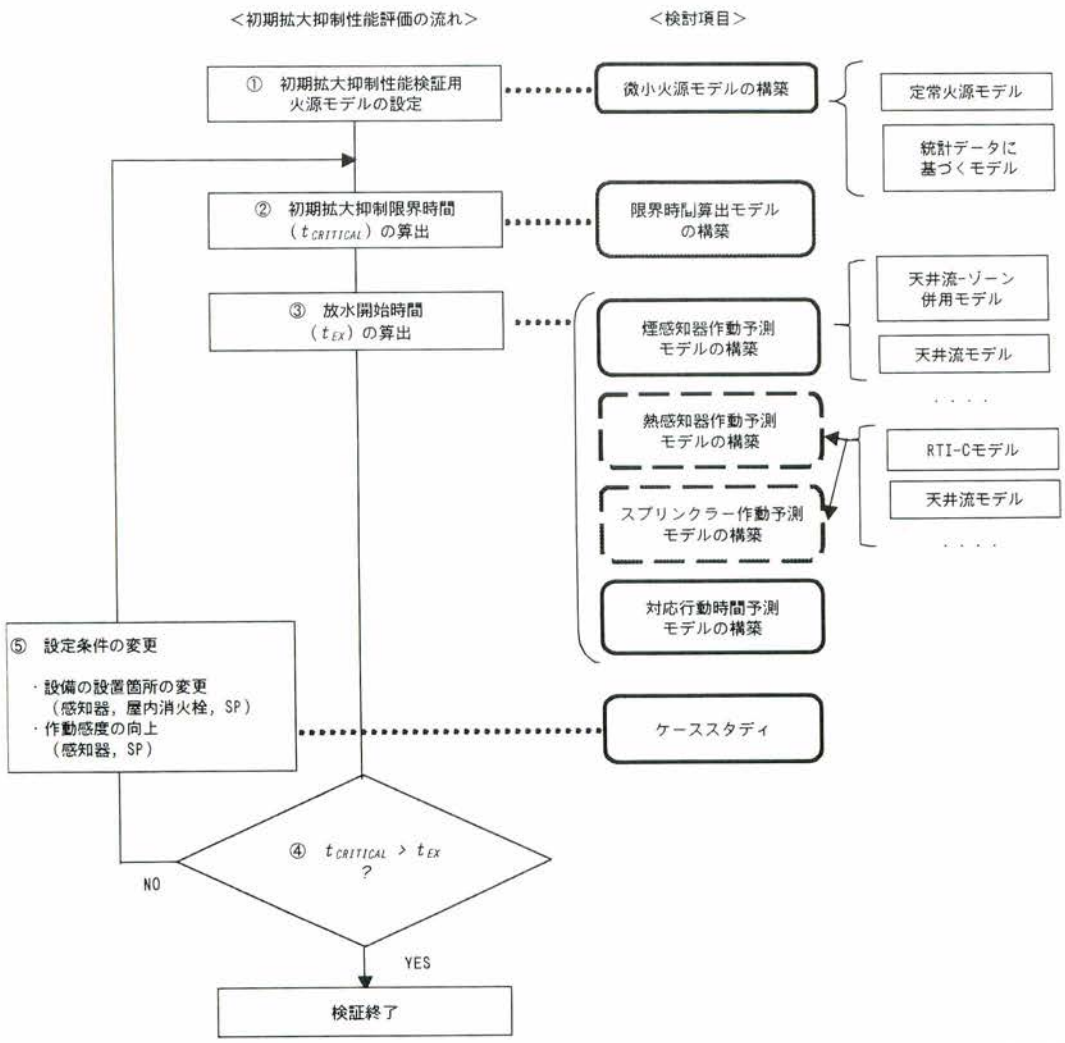


図14　初期拡大抑制性能検証法フローとの進捗状況（点線部分が今後取り組むべき項目）

発表者連絡先：野竹宏彰　電話：03-3508-8011，E-mail: notake@ori.shimz.co.jp

防炎カーテンの防火性能検証実験

箭内英治（独立行政法人　消防研究所）、高橋　済（アイエヌジー株式会社）

1　はじめに

住宅内における繊維製品の内、特にカーテンなど鉛直に吊るされた繊維製品は、一般に着火性・展炎性が高く、その燃焼性の難易が初期火災の進展および住民の安全に大きく影響する。最近では防炎加工が様々な繊維製品に施され、また不特定多数の人々が集まることが予想される防炎防火対象物でのカーテンなどには消防法による防炎物品の使用が義務づけられている。こうした防炎物品は、タバコ、マッチ、ライター程度の小さな口火による着火および着火直後の局部的燃焼性により防炎性能が評価されている。これは防炎規制の目的が小さな火源では着火させない、例え着火しても自己消炎性により消えて火災を起こさせないことにある。すなわち、防炎規制は火災予防の観点からなされている。

我が国の住宅火災の平成 7 年度から 10 年度の火災統計を調べると、出火個所は居室（20,217 件、38.38%）と他の出火個所に比較して最も多く、全体の約 40%にもなる。主な着火物としては、ふとん･座ふとん･寝具が 20.6%、紙屑･わら屑・袋及び紙製品が 13.4%となっており、次の２つのケースが考えられる。

（1）たばこによりふとん・寝具類に着火するケース

（2）ゴミ箱に入った紙屑･わら屑・袋及び紙製品が着火するケース

このような火災の実態を考えると、(2)の着火物か着火してその付近に吊るされていたカーテンへ燃焼拡大して火災となるシナリオは十分起こりえることである。

以上のことを考慮すると、防炎規制で考えているたばこ、マッチ、ライター程度の火源よりも大きなゴミ箱が燃えた程度の火源に対して、現行の防炎規制を満たした防炎カーテンがどのような燃焼挙動を示すかを調べておくことが必要である。

そこで、火災の成長過程の中でのカーテンの振る舞いを調べるために、建築用内装材料の実規模レベルの防火性能試験として規格化されているルームコーナー試験（ISO 9705）を使って、カーテンの燃焼実験を行った。また、建築用内装材料の実規模レベルでの燃焼拡大性状を小型の燃焼性試験（コーンカロリメータ試験：ISO 5660）の結果から予測する手法をカーテンに対して応用し、その実用性を検討した。本稿ではこれらの結果について報告する。

2　実験

2．1　試験体

ポリエステル系、レーヨン系、綿系及びアクリル系の 4 種類の素材について、防炎品、非防炎品など､計 9 種類のカーテン及び防炎レースカーテン 1 種類の合わせて 10 種類を用いた。各試料の仕様を**表 1** に示す。

なお、コーンカロリメータ実験の試験体寸法は、110mm×110mm としたが、そのうち実際に加熱を受ける部分は、90mm×90mm である。

ルームコーナー実験では、一枚のカーテンの大きさを幅 1000mm×高さ 2000mm とし、一回の実験について２枚づつを試験体とした（レース有りの場合は、レース２枚を含めて計４枚）。

表１　カーテン試料の仕様

防炎・非防炎	名　称	組成	目付 (g/m^2)
防炎	ポリエステルドレープカーテン	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ 100%	143
防炎	ｱｸﾘﾙ系/ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙﾄﾞﾚｰﾌﾟｶｰﾃﾝ	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ 51%、ｱｸﾘﾙ系 49%	206
防炎	アクリル系ドレープカーテン	ｱｸﾘﾙ系 100%	285
防炎	レーヨンドレープカーテン	ﾚｰﾖﾝ 100%	337
非防炎	アクリル系ドレープカーテン	ｱｸﾘﾙ系 100%	
防炎	綿ドレープカーテン A	綿 100%	246
非防炎	綿ドレープカーテン B	綿 100%	247
非防炎	綿ドレープカーテン C	綿 100%	270
非防炎	綿ドレープカーテン D	綿 100%	310
防炎	ポリエステルレースカーテン	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ 100%	92

２．２　コーンカロリメータ実験

この実験の目的は、試験体の基本的な燃焼物性を得ることと、燃焼拡大予測手法の入力パラメータを得ることである。

実験は米国アトラス社製 cone Ⅱ タイプのコーンカロリメータ試験装置で行った。試験体に与える加熱条件は、$30kW/m^2$ の一水準とした。試験方法等は ISO 5660 に準じた方法をとった。

２．３　ルームコーナー実験

この実験の目的は、実使用状態での加熱条件（特に外部放射加熱）による着火・燃焼拡大性状の把握である。特に火災のごく初期を想定した火源に対して、カーテンの性能がどのように火災拡大に寄与するかを観測し、防炎カーテンの防火性能を明らかにする。

火源は 17mm×17mm の正方拡散バーナー（燃料：LPG）を用い、発熱速度は 20kW、30kW の２水準に設定した。これらの設定値は、カーテンの燃焼性状が火災拡大に大きく寄与すると考えられるごく初期の火災を想定したもので、小型のゴミ箱の燃焼によって生じる発熱速度に相当する。

カーテンの設置方法については、半分が閉じ、半分が開いた状態を想定して設置した。また実際のカーテンの使い方を再現するために、レースを用いた場合の実験も行った。実験条件を表２に示す。

表２　ルームコーナ実験の条件

試験条件符号	火源強度	レースの有無
30A	30kW	無し
20A	20kW	無し
20B	20kW	有り

発熱速度、CO、CO_2、O_2濃度、煙濃度等の他にカーテンの燃焼状態及びカーテンの燃焼によって生じる火炎及び熱気流の状態を観測するために、カーテン設置面及び天井面の 5mm 下に熱電対、天井下に二方向管を設置して温度と気流速度を測定した。

表３　コーンカロリメータ試験結果

試　験　体		着火時間	最高発熱速度	総発熱量
		[sec]	[kW/m²]	[MJ/m²]
防炎	ポリエステルドレープカーテン	149.29	92.55	2.33
		177.15	114.75	3.79
		163.45	117.33	3.65
防炎	ｱｸﾘﾙ系/ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙﾄﾞﾚｰﾌﾟｶｰﾃﾝ	22.53	92.46	2.68
		53.96	48.02	2.20
		-	12.98	1.88
防炎	アクリル系ドレープカーテン	53.47	80.21	2.35
		43.11	99.09	2.60
		29.02	108.64	3.48
非防炎	アクリル系ドレープカーテン	24.35	-	-
		13.19	520.31	7.82
		22.07	485.33	7.68
防炎	レーヨンドレープカーテン	13.63	87.01	3.75
		13.60	84.98	2.98
		13.58	80.31	4.85
防炎	ポリエステルレースカーテン	129.90	82.41	1.60
		105.11	119.87	2.23
		148.22	87.57	2.45
防炎	綿ドレープカーテンA	9.17	114.22	3.10
		8.87	122.46	3.04
		8.83	125.98	3.22
非防炎	綿ドレープカーテンB	9.93	193.95	4.41
		8.46	221.35	4.43
		8.96	217.29	4.55
非防炎	綿ドレープカーテンC	8.38	213.46	5.02
		6.89	243.33	5.54
		10.53	236.40	5.24
非防炎	綿ドレープカーテンD	14.61	239.32	5.42
		15.53	267.26	4.72
		17.16	257.50	4.74
以下、既存の研究結果[1]　(NI は着火せず、総発熱量は試験期間中の総発熱量)				
非防炎	レーヨン	14	272	8
防炎	レーヨン	NI	37	4
非防炎	綿	11	195	4
防炎	綿	9	57	3
非防炎	アクリル	26	486	9
非防炎	アクリル系	28	230	5
非防炎	ポリエステル	210	207	6
防炎	難燃ポリエステル	55	111	7

3　防炎カーテンの防火性能

3．1　コーンカロリメータ実験

表3に主要な結果（着火時間、最高発熱量、総発熱量（着火後3分間））の一覧を示す。表には同じ条件で行われた既存の実験結果[1]も併記する。また、**図 1～4**には、発熱速度の経時変化の代表例として、アクリル系カーテンと綿カーテンのそれぞれ防炎・非防炎タイプの結果を示す。

着火時間については、過去の結果も含めて、防炎・非防炎というよりも、基材の種類に依存して、長短が決まっているように思われる。一方、発熱速度は一般的に見て防炎処理されたものの方が小さい。4種類の綿カーテンの最大発熱速度をそれぞれの目付重量で除して、単位重量あたりの発熱速度として比較したものが**図5**である。この図より、非防炎カーテンは、種類によらずほぼ一定の値を示しており、防炎製品は単位重量あたりの発熱速度が明らかに小さいことがわかる。

これらの結果から、今回の試験体とした市販防炎カーテンの防炎処理の方法が不明なので断言はできないが、防炎カーテンは着火遅れ時間を遅延させるものでなく、発熱速度を低減させる効果を有していることがわかる。すなわち、燃焼の継続性が小さい材料であるといえる。

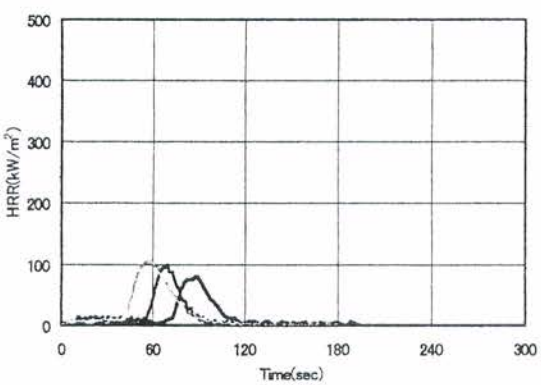


図1　発熱速度（防炎・アクリル系）

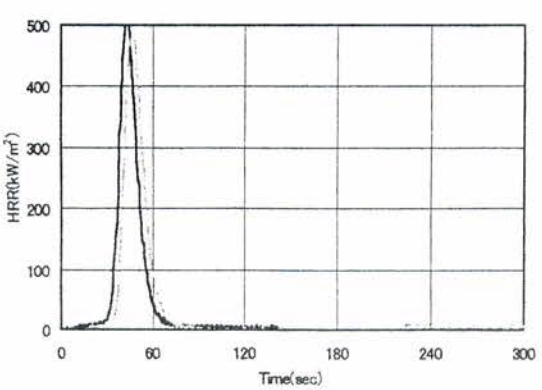


図2　発熱速度（非防炎・アクリル系）

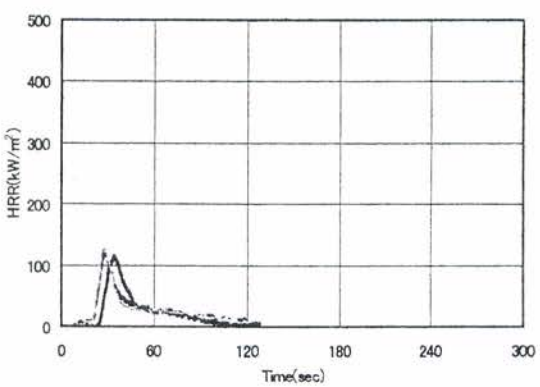


図3　発熱速度（防炎・綿A）

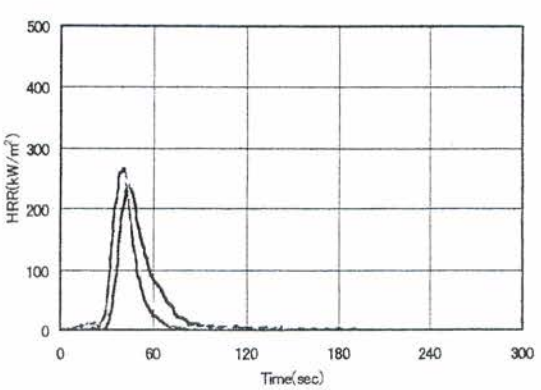


図4　発熱速度（非防炎・綿D）

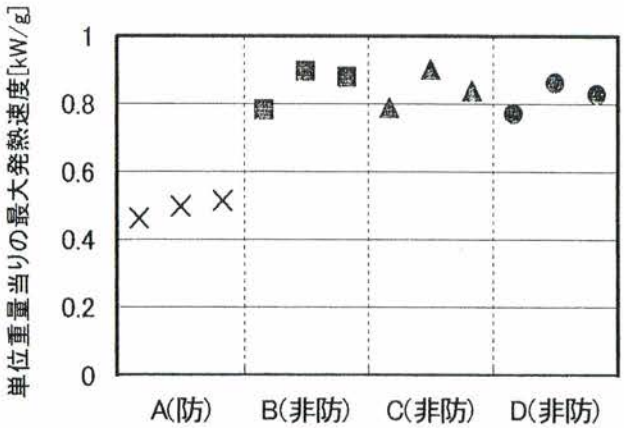


図5　綿カーテンの単位重量当たりの最大発熱速度

3．2　ルームコーナ実験

図 6-1～図 7-2 にカーテン燃焼状況の一例を示す。今回の実験では、カーテンはカーテンレールのような専用の治具に取り付けたものではなく、実験用の架台（アングル）に挟み込んで固定している。そのため、カーテンレールの脱落などがなく、比較的長時間にわたって懸架された状態で燃焼しているものと考えられる。また、今回の実験では溶融などによって実験の早い段階でカーテンが架台から脱落して、可燃物の大半が床上で燃焼するような状況はほとんど見られなかった。

図6-1　燃焼の状態（防炎アクリル）

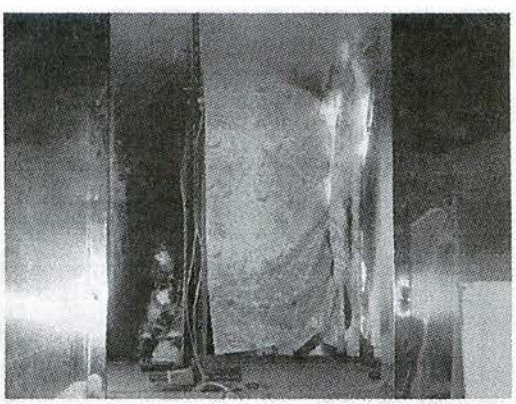


図7－1　燃焼の状態（防炎　綿A）

図6－2　燃焼の状態（非防炎アクリル）

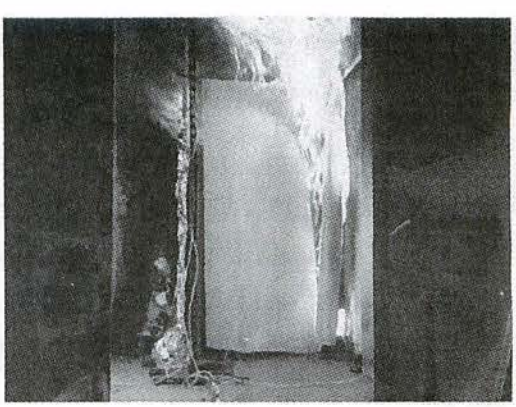


図7－2　燃焼の状態（非防炎　綿D）

観察による一般的な所見として、防炎カーテンは火源バーナーから生じた火炎に接する部分のみが燃焼し、横方向への火炎伝播はほとんどなかった。一方、非防炎カーテンは実験開始後直ちに垂直方向に燃え広がり、続いて水平方向にも火炎が伝播して、最終的にカーテン全てが燃焼しつくした。

図 8-1～図 9-2 は、防炎・非防炎カーテンについて火源強度の燃焼性状への影響を比較したもの（**図 8-1、図 9-1**）、及びレースの有無の影響を比較したもの（**図 8-2、図 9-2**）である。いずれのカーテンも火源からの発熱速度が大きいほど、燃焼が激しくなることを示している。これは文献[1]によれば、カーテンの燃焼は着火源からの発熱速度よりも火源から発生する火炎の形状に依存するためである。

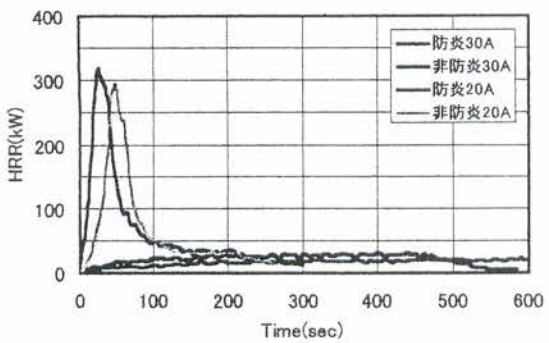


図 8-1　ルームコーナー実験での発熱性状（アクリル）

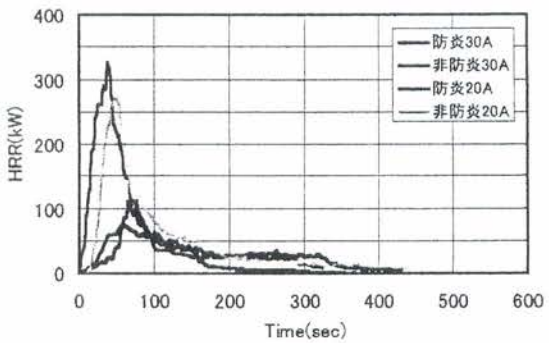


図 9-1　ルームコーナー実験での発熱性状（綿）

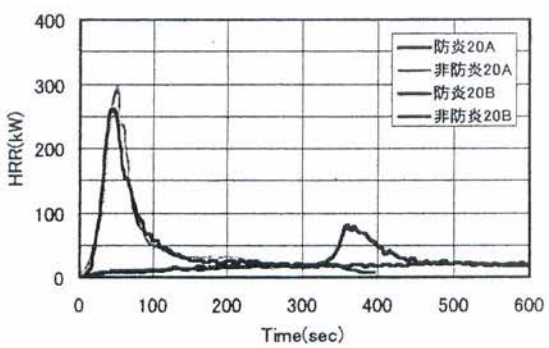


図 8-2　ルームコーナー実験での発熱性状（アクリル）

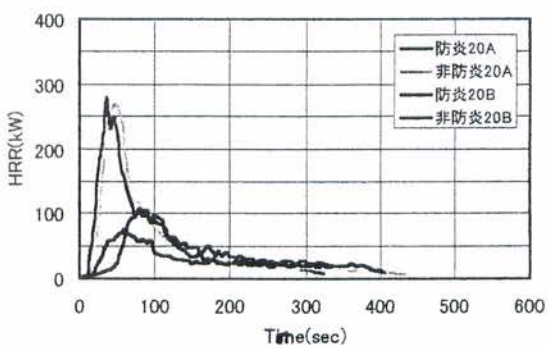


図 9-2　ルームコーナー実験での発熱性状（綿）

レースの有無の効果については、非防炎カーテンはレースの存在によって、発熱量はほとんど変化がない。これはレースカーテンが主カーテンの燃焼にほとんど関与していないことを示している。この理由はカーテンが燃焼する際に、レースカーテン（素材：ポリエステル）はほとんどが溶融し、主カーテンの燃焼に比較して燃焼するのがほんの僅かであるためと考えられる。しかし、防炎カーテンの場合は、主防炎カーテンの燃焼が少ないため（途中で燃焼が止まるため）、レースカーテン燃焼分が加算される分だけ相対的に発熱速度が大きくなっていることが明確に出てきているがその増分は小さい。（ただし、防炎アクリルカーテンに見られる、350 秒でのピークの原因は明らかではない）。したがって、レースカーテンの燃焼拡大に及ぼす影響はほとんどないと言える。

以上のことから、20ｋW～30ｋW 程度のごみ箱火源であれば、カーテンの燃焼性に影響するのは主カーテンが防炎か非防炎かであり、防炎であれば燃焼が途中で燃え止まり、非防

炎であれば急激に燃焼拡大してしまうことを示している。その際に、レースカーテンの燃焼への影響はあまりないことを示している。

図 10-1～図 11-2 は、実験期間中で最大の発熱速度を示す時刻での、天井面直下の温度分布を示したものである。ただし、防炎カーテンでほとんど燃焼しない試験体においては、**図 8-1** の防炎カーテンの結果で見られるように、燃焼による発熱ピークが観測されないので、実験開始後 100 秒での測定データを採用した。

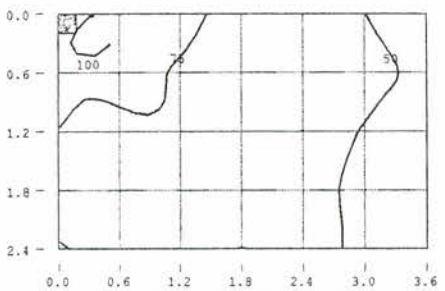


図 10-1　最大発熱時の天井面近傍の温度分布（防炎アクリル、条件：30A）

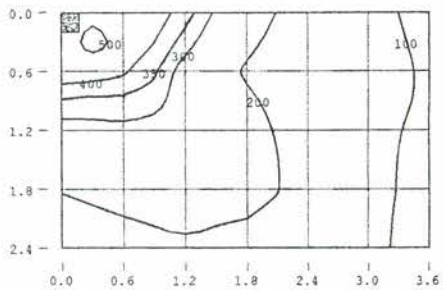


図 11-1　最大発熱時の天井面近傍の温度分布（防炎綿 A、条件：30A）

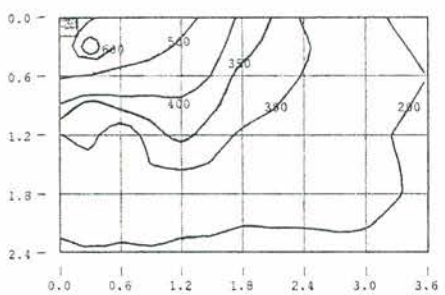


図 10-2　最大発熱時の天井面近傍の温度分布（非防炎アクリル、条件：30A）

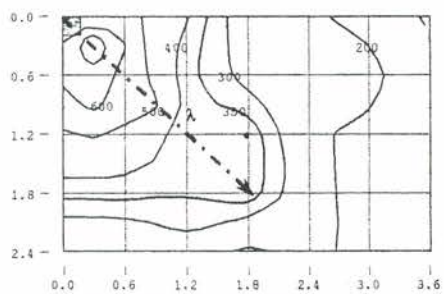


図 11-2　最大発熱時の天井面近傍の温度分布（非防炎　綿 D、条件：30A）

この結果から、火炎の到達点を推定する。既存の研究成果から、プロパンを燃料とした拡散火炎の平均火炎高さ（時間平均的に火炎が到達する高さ）は、温度にして 350℃の位置に相当することがわかっているので、ここでも 350℃の等温度線を求め、火源が置かれたコーナー部からの長さ（**図 11-2** 中の一点鎖線）に天井までの高さ（=2.4m）を加えたものを火炎到達点 L[m]とする。この手順で推定した火炎到達点と最大発熱速度を**表 3** にまとめる。尚、350℃のラインが天井まで到達しなかった、防炎アクリル、防炎ポリエステル及び防炎アクリル／ポリエステルについては、L=2.0[m]（カーテンの高さ）として取り扱う。

表 4 より、綿カーテンを除いた防炎カーテンはほとんど燃焼していないことが、これらの客観的な数値からも明らかである。また、この表からカーテンの種類による燃焼性状の相違も読みとることができる。例えば、非防炎アクリルカーテンと非防炎綿カーテン D とは、実験条件が 30A の場合に、ほとんど発熱性状は変わらない（**図 8-1**、**図 9-1** 参照）が、火炎到達点が大きく異なる。観察すると、アクリルカーテンの場合、加熱を受けて溶融した部分が床上に落ちて燃焼するので、結果として火源面積が広がり、カーテンは横方向に水平に燃焼拡大しているように見える（**図 6-2**）。一方、綿カーテンでの燃焼拡大は主に、カーテン上端で起こっている（**図 7-2**）。このように燃焼している高さ（範囲）が、火炎到達点に反映していると考えられる。

表４　ルームコーナー実験結果

試験体		実験条件	最高発熱速度 [kW]	火炎到達点 L [m]
防炎	ポリエステルドレープカーテン	30A	34.13	2.00
		20A	24.85	2.00
		20B	23.47	2.00
防炎	ｱｸﾘﾙ系/ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙﾄﾞﾚｰﾌﾟｶｰﾃﾝ	30A	49.23	2.00
		20A	35.35	2.00
		20B	68.11	2.00
防炎	アクリル系ドレープカーテン	30A	31.44	2.00
		20A	24.15	2.00
		20B	80.48	2.00
非防炎	アクリル系ドレープカーテン	30A	318.92	4.47
		20A	295.18	4.15
		20B	260.81	3.97
防炎	レーヨンドレープカーテン	30A	－	－
		20A	－	－
		20B	－	－
防炎	綿ドレープカーテン A	30A	112.85	3.70
		20A	76.08	3.03
		20B	105.50	2.94
非防炎	綿ドレープカーテン B	30A	257.16	5.05
		20A	245.64	5.10
		20B	205.93	3.93
非防炎	綿ドレープカーテン C	30A	272.23	5.19
		20A	271.72	5.23
		20B	－	－
非防炎	綿ドレープカーテン D	30A	327.49	5.01
		20A	268.72	3.84
		20B	279.95	3.93

図 12-1～図 13-2 は、実験期間中で最大の発熱速度を示す時刻での熱気流の性状を見るために、天井近傍で測定された温度を火源点からの距離 Z[m]の関数として表現したものである。図中凡例の X はコーナー部から 45° 方向にある測定点の結果を示し、Y は区画の長辺に沿った測定点での温度データである。参照として自由空間での軸上温度性状[2]を実線で併記した。自由空間の性状と比べて、高温度の領域が火源から遠い方向へシフトしているが、温度の減衰傾向は概ね自由空間と同じ性状を示している。この結果は、火炎到達点で考察したように燃焼している範囲を考慮して基点（火炎や熱気流の出発点）を設定すれば、自由空間での熱気流モデルが適用できることを示唆している。

4　燃焼拡大予測モデルへの適用

ルームコーナー実験を実施することによって、カーテンの防炎性能あるいは火災時の燃焼挙動に関する知見を得られることを前節では述べた。しかし、カーテンの種類ごとにルームコーナー試験のような大型の試験を繰り返すことは合理的ではない。小型で取扱いが簡便な試験装置を使って得られる物性値（特性値）から、ルームコーナー試験と同等の評価を可能とする手法の開発が望まれる。

一方、内装材料（室の天井あるいは壁の仕上げ部分）のルームコーナー試験結果をコーンカロリメータの結果から予測する方法[2]が提案されているので、この方法をカーテンに

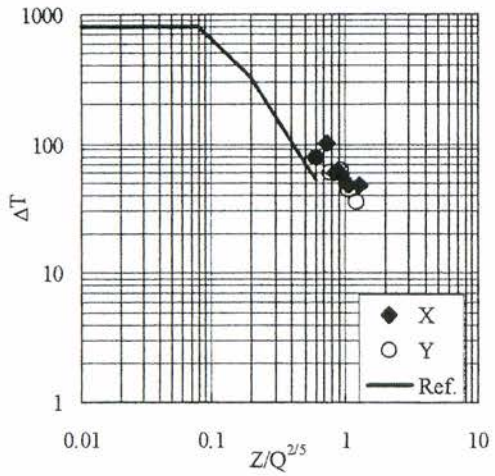


図 12-1　軸上温度性状
（防炎　アクリル、条件：30A）

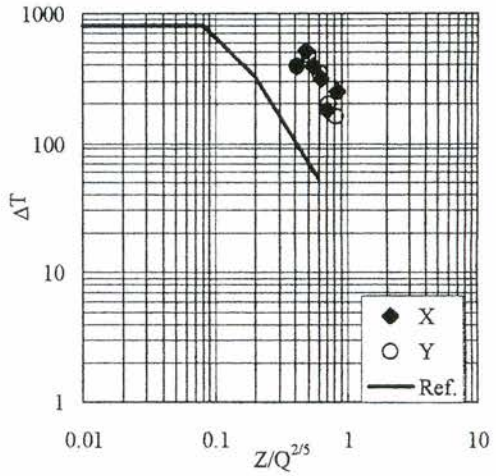


図 13-1　軸上温度性状
（防炎　綿 A、条件：30A）

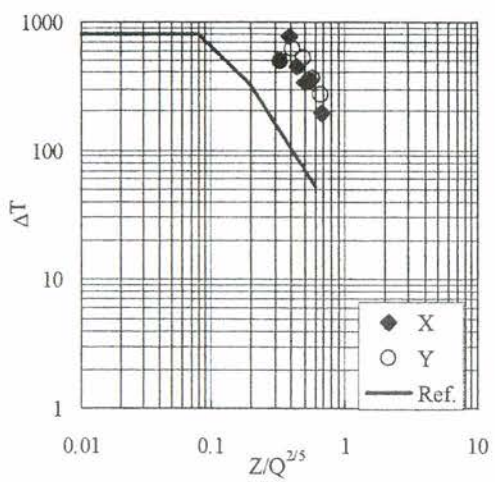


図 12-2　軸上温度性状
（非防炎　アクリル、条件：30A）

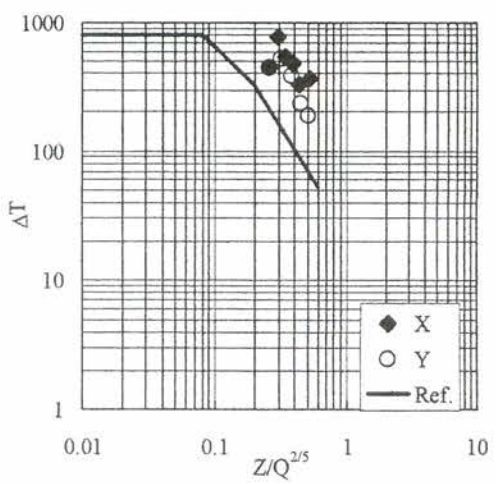


図 13-2　軸上温度性状
（非防炎　綿 D、条件：30A）

適用して、実用の可能性について検討する。理論の詳細は本稿では解説せず、この適用例のケーススタディを次に示す。

4．1　ケーススタディ

カーテンに対するコーンカロリメータ実験の結果を適用した例を**図 14-1** および**図 14-2** に示す。図中の各記号の意味は以下の通りである。

t_{ig}　：　材料の着火温度に達するまでの時間

τ　：　燃焼特性時間と呼ばれ、燃焼の継続性、発熱強度の減衰性状を表す値である。

K　：　内装材料の燃焼によって生じる火炎の長さが単位長さ当たりの発熱速度に比例すると仮定したときの比例係数で、K≒0.01～0.02[m^2/kW]の値をとる。

$\dot{q}''_{mat}$　：　材料の単位面積当たりの最大発熱速度[kW/m^2]である。

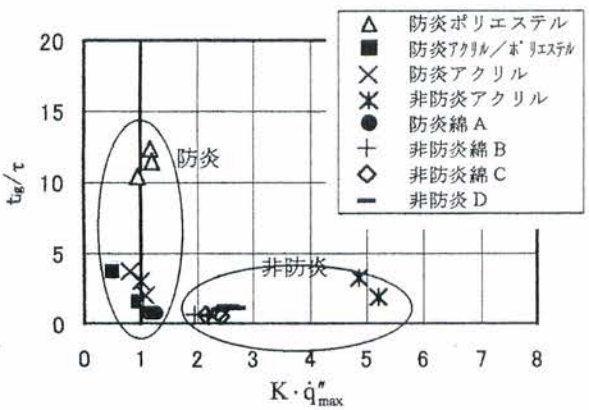


図 14-1　燃焼拡大モデルへの適用結果

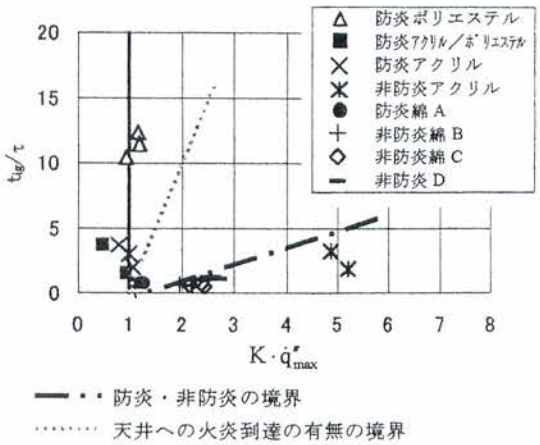


図 14-2　燃焼拡大モデルへの適用結果 (2)

図 14-1 から、プロットは防炎と非防炎を明確に分かれていることがわかる。ルームコーナー試験の結果を見ると、防炎カーテンでも防炎綿 A カーテンは、他の防炎カーテンと異なり、発熱のピークと天井面への火炎の到達が観測された。そこで天井面への火炎の到達を安全／危険のクライテリアとすると、**図 14-2** 中の破線がひける（参考として、防炎／非防炎の境界線を一点破線で示す）。このように、クライテリアを適当に設定することで、防炎／非防炎といった on/off の評価ではなく、より性能的な評価も可能である。

5　まとめ

本稿では、まず防炎規制を性能的に位置づけた上で、防炎カーテンがその効果を発揮すべき火災期を明らかにした。

そして、実験ではその火災を想定した火源を使って、カーテンを加熱し、防炎・非防炎カーテンの燃焼性状についての知見を得た。その結果、防炎カーテンは、ごみ箱火源のようなごく初期の火災からの加熱によって、カーテン自身がほとんど火炎伝播を起こさずに、急激な火災拡大に寄与しないという性能を有していることがわかった。また、試験結果の評価項目として発熱速度だけでなく、火炎到達点を提案した。このような項目を設けることによって、カーテンの燃焼形態（溶融の有無など）を含めた評価も可能となると思われる。

一方、内装の火災拡大モデルをカーテンに応用した結果、防炎と非防炎とを明確に分類することができた。さらにこのような方法を適用すれば、性能的な評価も可能とることが示唆された。

参考文献

[1] 箭内英治、山田常圭：実大規模でのカーテン類の燃焼性状に関する実験的研究報告書、消防研究所研究資料第 43 号、平成 11 年 3 月.

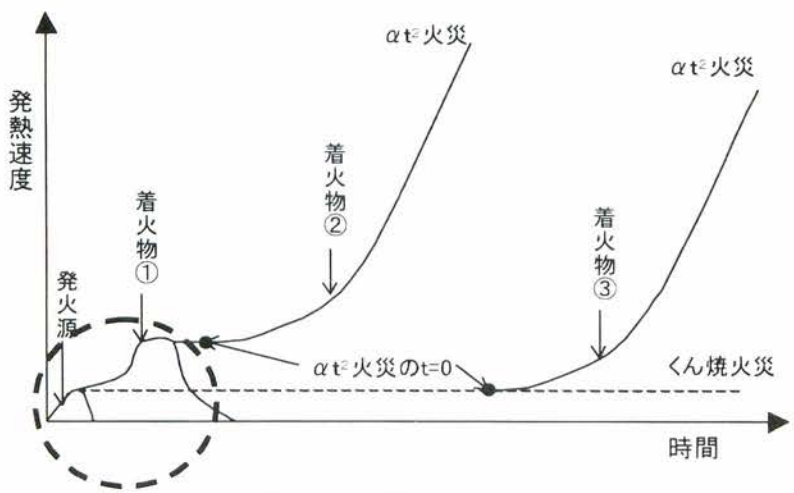
[2] 長谷見雄二、吉田正志、薮田孝敏、若松孝旺、林吉彦、時田岳大：火炎伝播モデルに基づく室内装火災性状の質的分類（その 2）コーンカロリー計によるルームコーナー試験におけるフラッシュオーバー発生時間の簡易予測、日本建築学会大会学術講演会梗概集 A-2、pp. 213-216、1999.

防火対象物における火災発生初期の火災シナリオ

—火源調査と初期火源の燃焼実験—

水野智之（ＴＯＭ建築防災研究室）

1　火災発生初期の火災シナリオ



発火源→着火物→ αt^2 火災のモデル概念図

調査研究の内容

○火災報告データから「発火源—着火物」の分析

○着火物の燃焼性状を調べる燃焼実験

2　各防火対象物における火災での出火源の調査分析

消防の平成７年度～10 年度の「火災報告」の建物火災に関する約４万４千件のデータを用いてクロス集計を行い、防火対象物区分別（（1）イ～（15）項）および出火箇所別（室用途別）に「着火物—発火源」の組み合わせを抽出した。

「表1-10 主な防火対象物区分別・主用途空間の「着火物－発火源」組み合わせ」より

防火対象物の区分		件数	順位 空間用途 件数 割合	上位着火物 件数	上位発火源	着火物 抽出率
(3)ロ	飲食店	2207 4.8%	2 飲食店舗部分 562 25%	動植物性油類 110	こんろ、ガス燃焼機器、炉	
				電線被類 30	配線、配線器具、電気機器	
				布団、座布団等 29	たばこ、不明、ﾗｲﾀｰ	30
			1 調理室 702 32%	動植物性油類 441	こんろ、ガス燃焼機器、電熱器、自然発火物	
				壁軸組 60	こんろ、ガス燃焼機器、炉	
				造作 27	こんろ、ｶﾞｽ燃焼機器、火の粉	75
(4)	百貨店その他の物品販売業を営む店舗・展示場	1993 4.3%	1 物品販売店舗部分 631 31.7%	紙・紙製品 99	ライター、不明、電気機器、たばこ	
				合成樹脂及び製品 83	ライター、電気機器、不明、配線器具	
				衣類 78	ライター、不明、マッチ	41
(5)イ	旅館・ﾎﾃﾙ・宿泊所	725 1.6%	1 宿泊客室 177 24%	布団、座布団、寝具 96	たばこ、ライター、不明	
				床 11	たばこ、油ストーブ	60
			2 調理室 74 10%	動植物性油類 50	こんろ、ガス燃焼機器	
				壁軸組 5	こんろ、ガス燃焼機器、不明	
				ｶﾞｽ類 3	こんろ、ガス燃焼機器、裸火	78
			3 居室 61 8.4%	布団、座布団、寝具 22	たばこ	
				床 7	たばこ	48
(5)ロ	寄宿舎・下宿・共同住宅	18502 40.4%	1 居室 7993 43.2%	布団、座布団、寝具 2517	たばこ、電気ｽﾄｰﾌﾞ、ライター	
				衣類 555	ライター、油ストーブ、たばこ	
				紙屑、わら屑 504	たばこ、ライター、ﾏｯﾁ	45
			2 台所 4610 24.9%	動植物性油類 2976	こんろ、電熱器、ガス燃焼機器	
				合成樹脂及び製品 275	こんろ、電熱器	
				ｶﾞｽ類 182	こんろ、電熱器、ｶﾞｽ燃焼機器	74
			3 共用空間 2252 12.2%	紙、紙製品 767	不明、ライター、マッチ	
				紙屑、わら屑 330	不明、ライター、たばこ	
				合成樹脂及び製品 219	不明、ライター、裸火	58
(6)イ	病院・診療所・助産所	551 1.2%	1 病室 143 26%	布団、座布団、寝具 69	ライター、たばこ、不明	
				衣類 19	ライター、たばこ	
				繊維製品 9	電灯その他、ﾗｲﾀｰ	68
			5 診察室 25 4.5%	繊維製品 4	ガス燃焼機器、油ｽﾄｰﾌﾞ、灯火、ﾗｲﾀｰ	
				合成樹脂及び製品 3	電気機器、電気装置、ガスストーブ	28
(7)	小学校・中学校・高等学校・大学等	1717 3.7%	1 教室 305 18%	紙、紙製品 90	ライター、不明、マッチ	
				紙屑、わら屑 41	ﾏｯﾁ、ライター、不明	
				繊維製品 17	ﾗｲﾀｰ、不明、その他たばこ等	49
			4 体育室(館) 139 8.1%	繊維製品 21	不明、たばこ、ライター	
				紙、紙製品 15	不明、ライター	
				紙屑、わら屑 9	たばこ、ライター	32
			5 実験室、研究室 137 8.0%	合成樹脂及び製品 18	電熱器、電気機器、配線、配線器具	
				紙、紙製品 14	不明、配線、ﾏｯﾁ、ライター	
				電線被類 11	配線、電熱器機、配線器具	31
(12)イ	工場・作業所	10241 22.3%	1 作業所・工場 7018 67%	木屑・かんな屑・のこぎり屑 512	たばこ、火の粉、火花	
				繊維屑 446	摩擦熱、配線、電気機器	
				第一石油類 441	スパーク、油ストーブ、火花	20
(14)	倉庫	3596 7.8%	1 一般倉庫 2178 61%	紙・紙製品 275	不明、ライター、たばこ	
				紙屑、わら屑 168	ライター、不明、たばこ	
				わら及びわら製品 116	不明、ライター、火の粉	26
(15)	前各項に該当しない事業所(事務所)	1455 3.17%	1 一般事務室 408 28%	紙・紙製品 75	不明、ライター、たばこ	
				紙屑、わら屑 49	たばこ、ライター、不明	
				電線被類 38	配線、電気機器、電気装置	40

空間用途の頭に着いている数値は、当該区分における出火件数順位
空間用途の次の数値、割合は、当該区分における出火件数および割合
上位着火物、上位発火源は、各々上位3位を原則として抽出

表１　着火物の分類

着火物区分	抽出された着火物
繊維類	①布団、座布団、寝具
	②衣類、繊維製品、繊維原料
	③わら及びわら製品、山林原野、乾燥草類
紙類	紙・紙製品
屑類	①ごみ屑、繊維屑、紙屑、わら屑、粉塵
	②木屑、かんな屑、のこぎり屑
木質類	木質物
プラスチック類	合成樹脂及び製品、合成樹脂屑、ゴム及びゴム製品
油類	動植物性油類
石油類	①第一石油類、第二石油類、第三石油類、第四石油類
	②ｶﾞｽ類
電線類	電線被類
その他	①壁軸組、床
	②屋外の可燃物、可燃性固体、付帯建築物
	③断熱材、椅子・ソファー

着火物で下線をつけたものが全サンプル 44､130 件における着火物の単純集計で上位のもの（全体に対する割合が 1%以上のもの）である。

２．出火源となる可燃物の燃焼性状に関する燃焼実験

実験は、消防研究所のルームコーナー試験装置で行った。

測定項目は、基本的には発熱速度、煙濃度、重量減少とした。

供試体は、ゴミ箱（ポリプロピレン製のゴミ箱、ティッシュ・ポリスチレントレイ入り）、衣類（綿 100%のシャツ　ハンガーにかけ吊した状態）、布団（綿 100%の中綿、綿 100%の側地）、ｶｰﾃﾝ（非防炎の綿 100%）、段ボール箱（段ボール仕切入り、ポリスチレン製コップ入り）、天ぷら油（油 750ｇ　（比重 0.89））

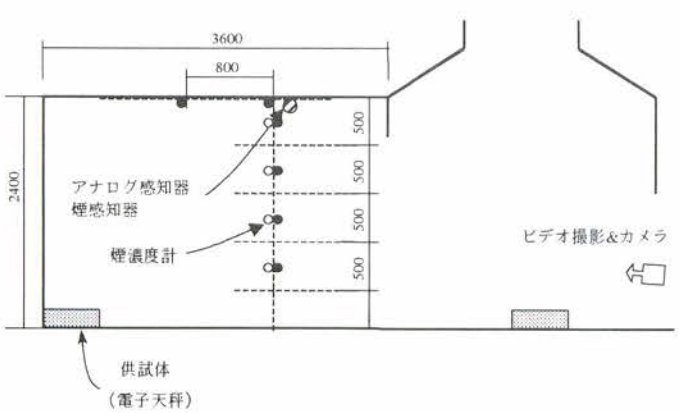


図１　ルームｺｰﾅｰ試験装置の立断面図

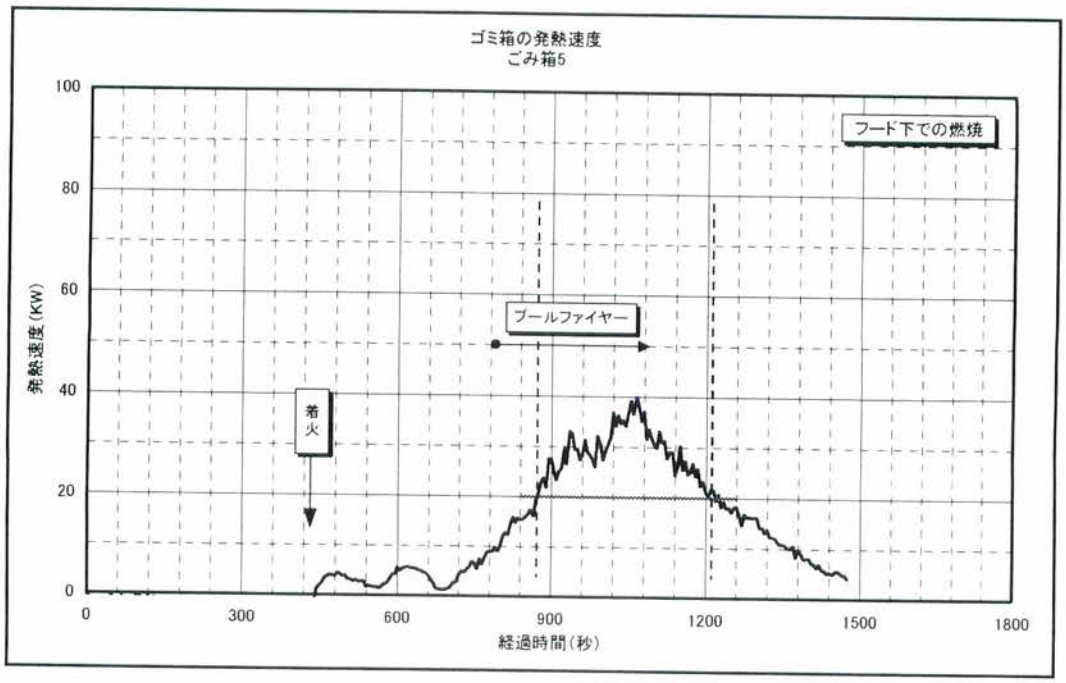


図２　ごみ箱５の発熱速度の経時変化

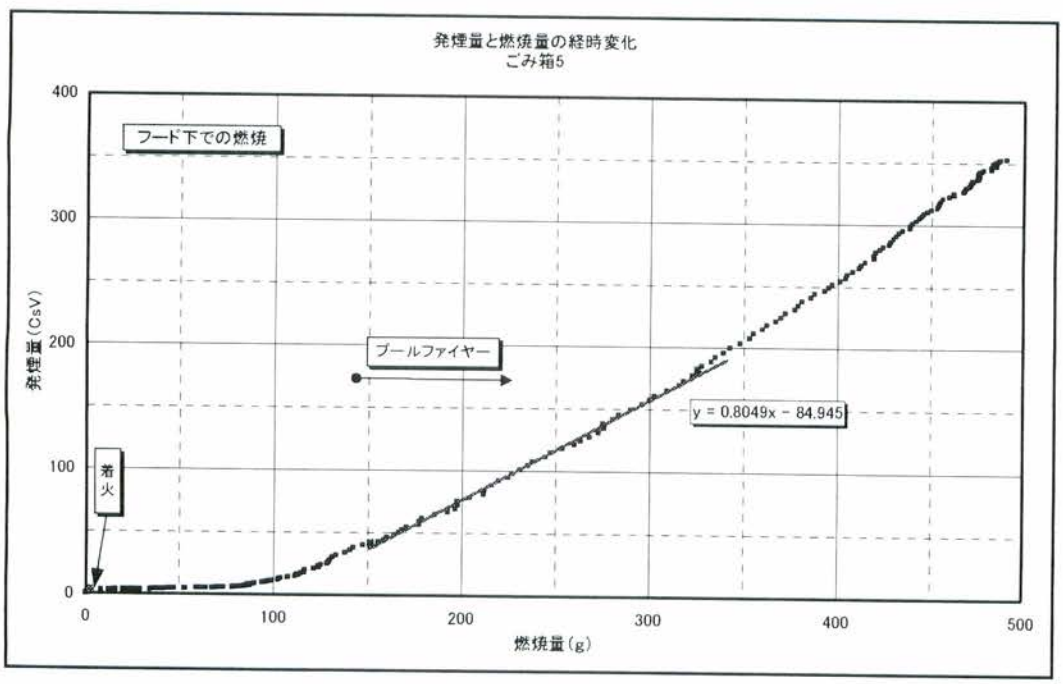


図３　ごみ箱５の燃焼盛期の発煙係数

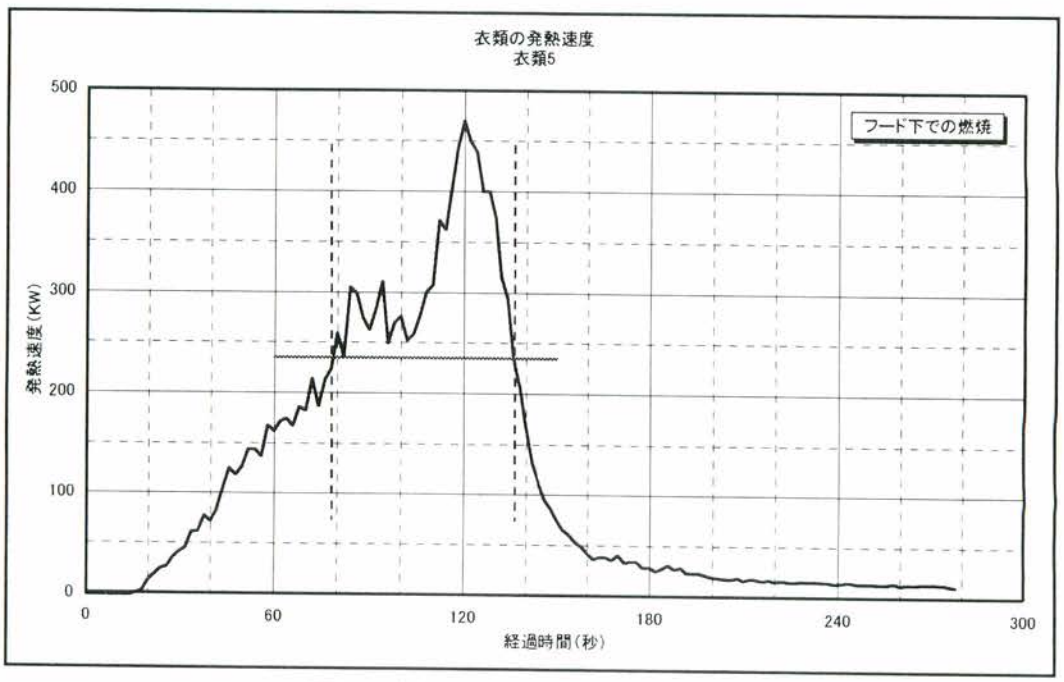


図4　衣類5の発熱速度の経時変化

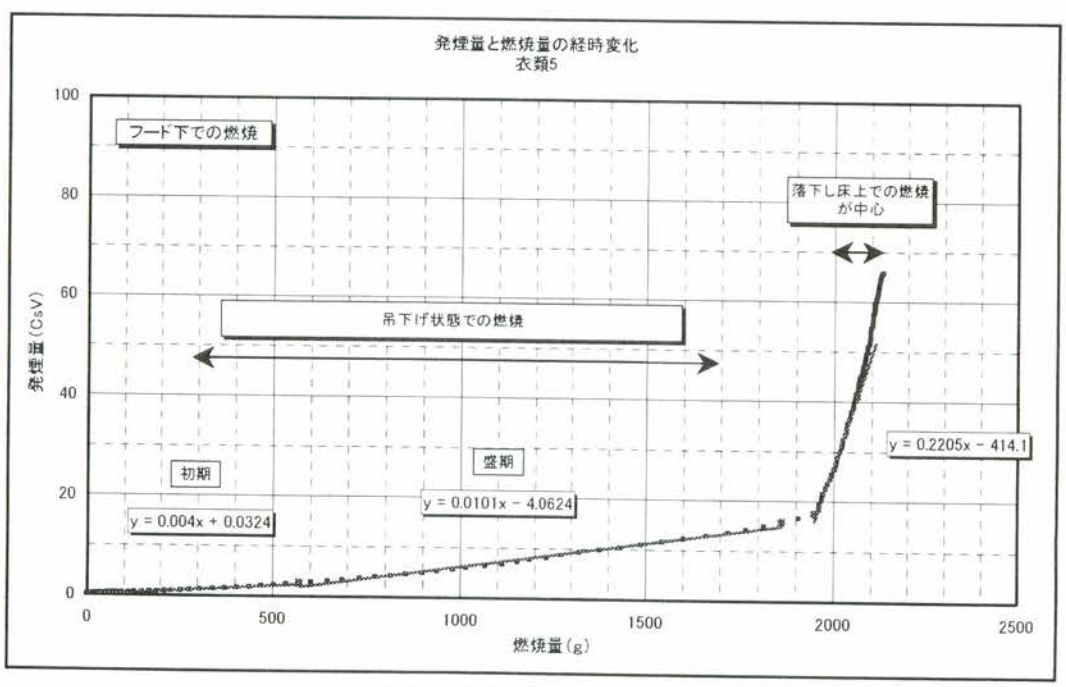


図5　衣類5の発煙係数

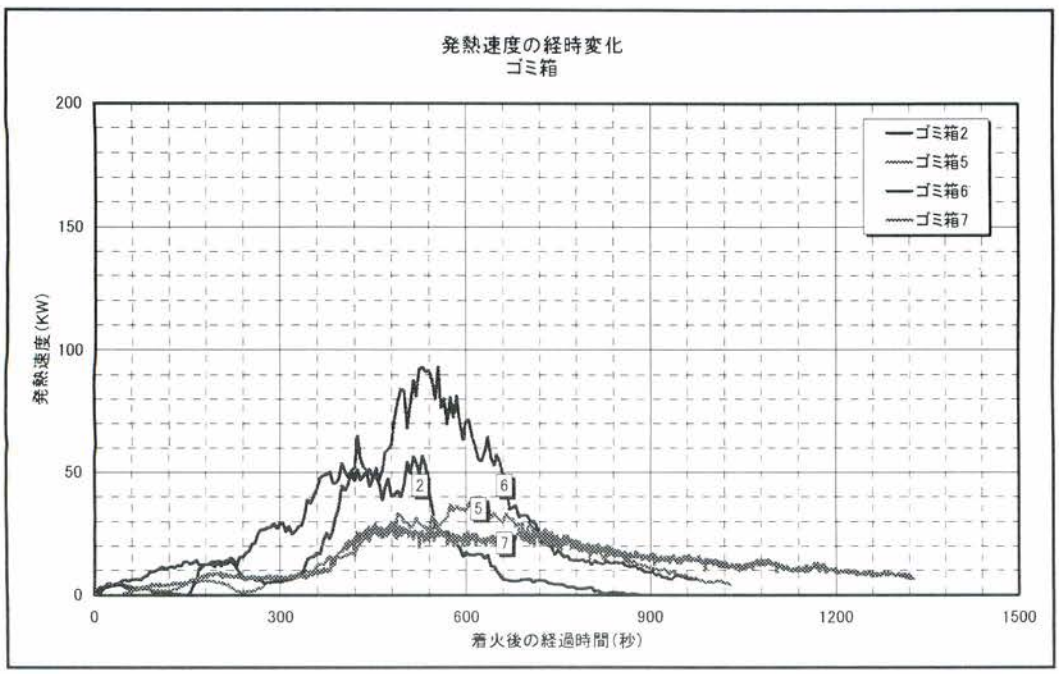


図6　ごみ箱の着火後の発熱速度

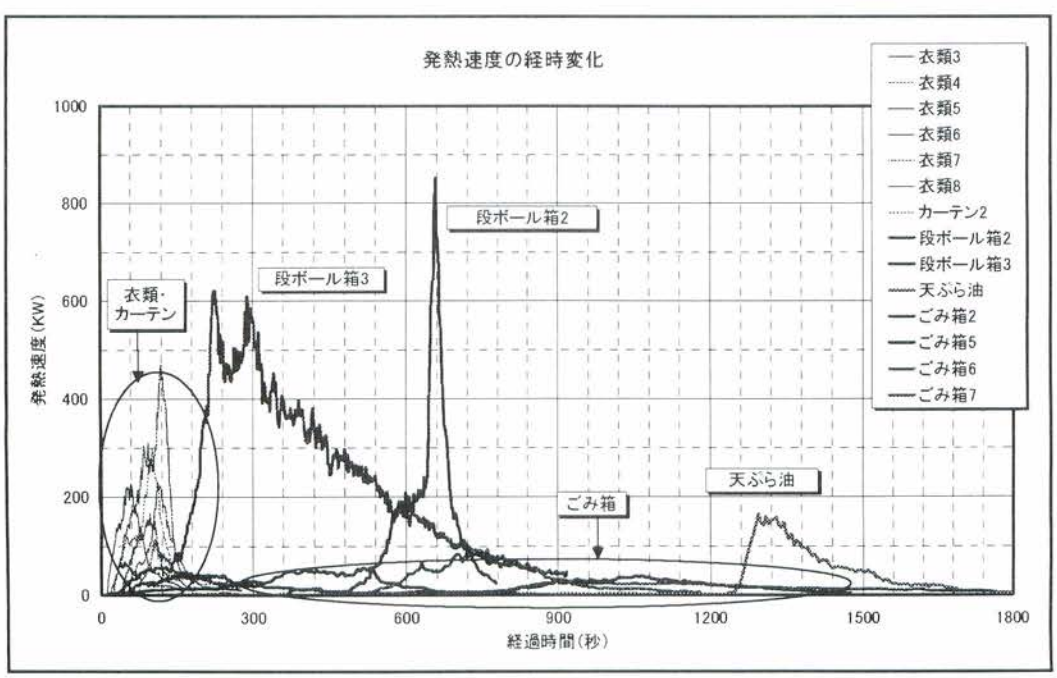
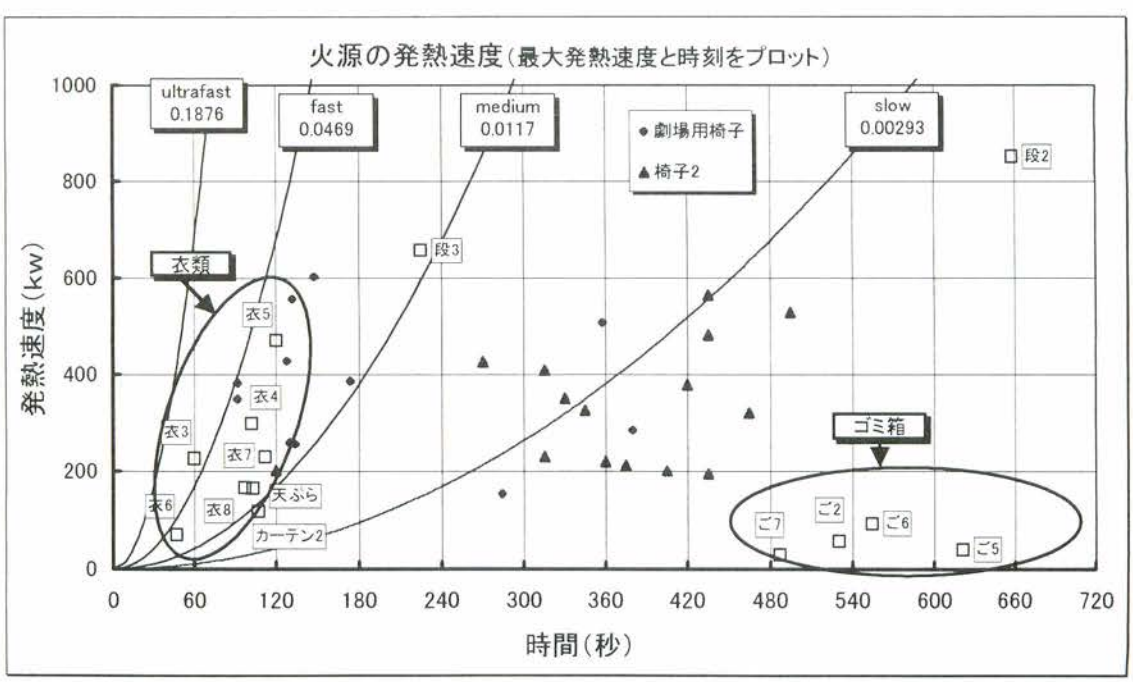


図7　発熱速度

表３　発熱速度測定実験の結果一覧

発熱速度測定実験			発熱速度(KW)						備考
			最大発熱速度		平均発熱速度(燃焼盛期)				
供試体	燃焼位置	重量(g)	最大値	時刻(秒)	平均値	平均期間(秒-秒)	期間長(秒)	発熱量(MJ)	
ごみ箱1	フード下	512.2	燃えず						
ごみ箱2	フード下	513.4	56.8	530	40.3	330-550	220	9.9	
ごみ箱5	フード下	530.5	40.0	621	25.6	426-786	360	10.2	時刻は着火後
ごみ箱6	フード下	863.8	93.2	554	56.8	409-669	260	17.2	時刻は着火後
ごみ箱7	ルーム奥	530.2	30.1	487	21.9	390-912	522	11.4	時刻は着火後
衣類3	フード下	959.1	227.1	60	161.7	26-84	58	9.4	
衣類4	フード下	1501.1	299.1	102	221.9	82-120	38	8.4	
衣類5	フード下	2152.6	470.3	120	319.8	78-136	58	18.5	10着
衣類6	フード下	344.2	70.3	47	52.5	31-78	47	2.5	1着
衣類7	ルーム奥	1409	230.3	112	166.4	100-142	42	7	
衣類8	ルーム奥	1309.7	167.3	97	117	61-125	64	7.5	
カーテン2	ルーム奥	476.2	117.7	107	85.1	94.5-120.5	26	2.2	
布団7	フード下	5353.0	58.8		①6.9(小火炎+くん焼時) ②50.8(燃焼盛期)				
段ボール1	フード下	3904.0	燃えず						
段ボール2	フード下	3916.0	851.9	658	604.9	647-674	27	16.3	
段ボール3	フード下	7128.0	656.3	225	437.7	200-424	224	98	
天ぷら油	ルーム奥	750.0	165.5	103	123.7	83-213	130	16.1	時刻は着火後

発熱量：平均期間における総発熱量
網掛け：アナログ感知器実験



劇場用椅子：防耐火総プロ実験、「椅子の燃焼性状に関する実験的研究」日本建築学会大会 1998.09
椅子２：「閉空間における椅子の燃焼性状に関する実験的研究　その１」日本建築学会関東支部 1984

図９　αt²モデルでの発熱速度

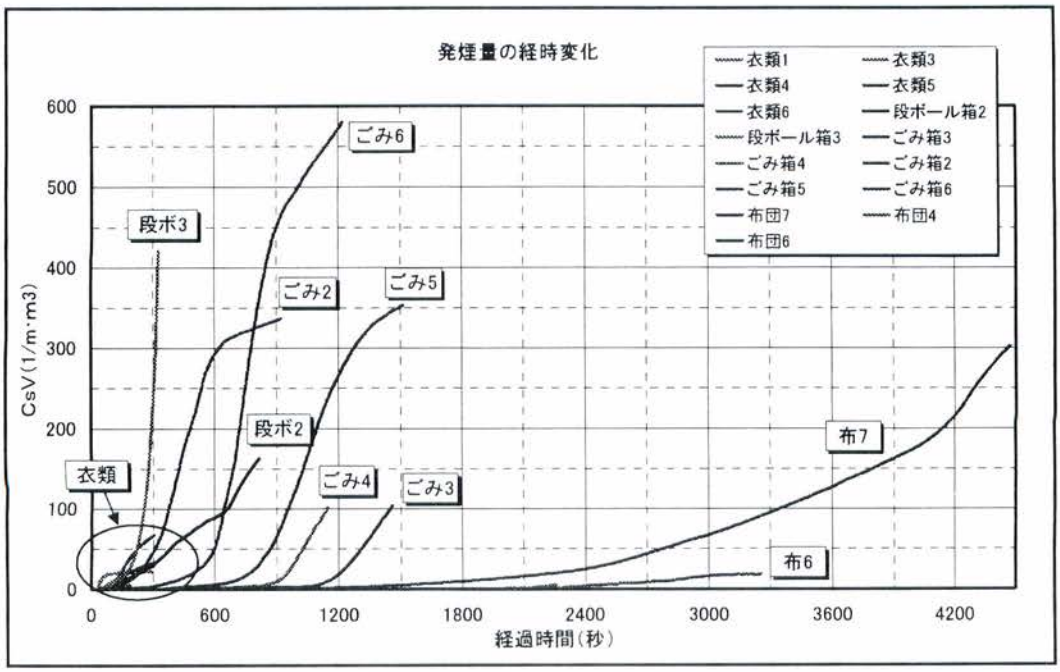


図 10　発煙量

表 4　発煙係数の結果一覧

ごみ箱			発煙係数(m3/m/g)			備考
			着火前くん焼時	有炎燃焼時		
供試体	燃焼位置	重量(g)		初期	盛期	
ごみ箱3	ルーム奥	512.9	*1	*1	0.680	*1:煙不均一により計算不可
ごみ箱4	ルーム奥	526.8	0.490 *1	*1	0.770	*2:煙濃度データドリフト
ごみ箱5	フード下	530.5	0.680	0.037	0.800	
ごみ箱6	フード下	863.8	*2	0.100 *2	0.790	

衣類			発煙係数(m3/m/g)			備考
			有炎時		後期	
供試体	燃焼位置	重量(g)	初期	盛期	床上燃焼	
衣類1	ルーム奥	887.0	0.0065	0.0280	0.1700	
衣類2	ルーム奥	1258.3	*1	*1	*1	*1:煙不均一により計算不可
衣類4	フード下	1501.1	0.0037	0.0061	0.0910	
衣類5	フード下	2152.6	0.0040	0.0100	0.2200	
衣類6	フード下	344.2	0.0024	0.0110	0.1130	

布団			発煙係数(m3/m/g)				備考
			着火前くん焼時		有炎時		①小火炎+くん焼
供試体	燃焼位置	重量(g)	初期	後期	①	②	②燃焼盛期
布団4	ルーム奥	10400.6	0.036	0.136	×	×	着火後データ欠測
布団6	ルーム奥	10128.7	0.027	0.114	×	×	着火後データ欠測
布団7	フード下	5,353	*2	*2	0.161	0.0039	*2:煙濃度データドリフト

段ボール箱			発煙係数(m3/m/g)			備考
			初期		盛期	初期前期:ヘプタン燃焼中
供試体	燃焼位置	重量(g)	前期	後期	燃焼	初期後期:ヘプタン燃焼終了後
段2	フード下	3916	0.0695	0.189	0.0105	

表5　実験結果のモデル化

燃焼状況	発熱速度 KW	発煙量 CsV	発煙係数 (CsV/MJ)	燃焼継続時間	
ごみ箱　小　たばこ着火					・たばこ燃え尽き15～20分
くん焼	≒0	≒0(＜5)	—	3～15分	・くん焼:着火するまで
有炎燃焼	最大40～60				・収容物の燃焼5分
	平均30～45	300～400	20	810秒	・有炎燃焼の主体はポリプロピレンの燃焼
ごみ箱　大　たばこ着火					
くん焼	≒0	≒0(＜5)	—	3～15分	・収容物の燃焼終了後に燃焼盛期
有炎燃焼	最大90				
	平均65	700	20	780秒	
衣類:綿シャツ　1枚　ﾗｲﾀｰ着火					
燃焼盛期	最大70	煙量は少	0.5		
燃焼後期	平均 50		5		燃焼後期:床上に落下し燃焼
		全体5		100秒	
衣類:綿シャツ　5枚　ﾗｲﾀｰ着火					
燃焼盛期	最大230～300	盛5～10	0.5		煙量は少
燃焼後期	平均160～220	後20～25	5		燃焼後期:床上に落下し燃焼
		全体30～40		100～140秒	
衣類:綿シャツ　10枚　ﾗｲﾀｰ着火					
燃焼盛期	最大470	盛20	0.5		煙量は少
燃焼後期	平均320	後40	15		燃焼後期:床上に落下し燃焼
		全体60		160秒	
布団:綿わた　たばこ着火					
くん焼	5(60分時点)	130	25	～数時間	
有炎燃焼①	平均 5～10	—	20	—	10cm以下の小火炎+くん焼
有炎燃焼②	平均 50	—	5	—	数10cm以下の小火炎+くん焼
段ボール箱2　ヘプタン火炎　空箱、内部段ボール紙で仕切					
初期		前期20	5		初期前期:ヘプタン燃焼中
	最大 850	後期60	20	480秒	初期後期:ヘプタン燃焼終了後
盛期	平均 600	20	0.5	240秒	
段ボール箱3　ヘプタン火炎　ポリスチレン製コップ入り					
初期	最大 660	50	5		
盛期	平均 440	—	20	600秒	
天ぷら油750g (比重0.89) ｶﾞｽこんろ加熱					
くん焼	=0	50	—	20分	着火20分
盛期	最大 170	200	10	300秒	750gで燃焼時間約5分
	平均 前期120			130秒	
	平均 後期60			170秒	

午後２：００～午後３：４５

午　後　の　部

火災感知器の作動予測に関する検証実験

－住宅、ホテル、事務所模型での実験および空調気流の影響について－

河関　大祐（消防研究所）

1　はじめに

火災感知幹事会では、火災感知器の作動予測手法の検討ならびに火災感知に対する空調気流の影響の検討を行ってきた。火災感知器の作動予測手法については、過去に行われた火災感知に関係する研究および平成１０年度に消防庁予防課で実施した高天井下での火災感知器の作動に関する研究成果[1]を取り入れた気流予測モデルを採用し、差動式スポット、定温式スポットの両熱感知器及びスポット型煙感知器の３種類について火災感知器の作動予測モデルを検討し、モデルの妥当性検証のための実大規模の火災感知実験を行った。火災感知に対する空調気流の影響については空調の噴出しが感知器に与える影響について実験による検討を行った。

2　火災感知器の作動予測手法

検討対象であるスポット型の熱感知器および煙感知器は天井面下流動拡散する気流の温度や煙濃度を検出することで火災を検知する。そのため、火災感知器の作動予測のためには天井下における火災気流の温度や煙濃度のモデル化が必要である。火災感知幹事会では火災気流予測として、Alpertの式、Heskestad and Delichatsiosの式等のほか、火災感知幹事会のSugawa、Yamauchiから提案されたSugawaの式、Yamauchiの式を用いた。それぞれの火災気流予測式を以下に示す。

Alpertの式[2]

$$\Delta T = \frac{16.9Q^{2/3}}{H^{5/3}} \qquad \left(for \quad \frac{r}{H} \le 0.18\right)$$

$$\Delta T = \frac{5.38(Q/r)^{2/3}}{H} \qquad \left(for \quad \frac{r}{H} > 0.18\right)$$

$$v = 0.96\left(\frac{Q}{H}\right)^{1/3} \qquad \left(for \quad \frac{r}{H} \le 0.15\right)$$

$$v = \frac{0.195Q^{1/3}H^{1/2}}{r^{5/6}} \qquad \left(for \quad \frac{r}{H} > 0.15\right)$$

ΔT　：火災気流の上昇温度（単位　℃）

v　：火災気流の流速（単位　m/s）

Q　：火源の発熱速度（単位　kW）

H　：火源から天井までの距離（単位　m）

r　：火源からの水平距離（単位　m）

Heskestad and Delichatsiosの式[3)]

$$Q_0^* = Q/(\rho C_p T_\infty g^{1/2} H^{5/2})$$

$$\Delta T_0^* = \Delta T/T_\infty/(Q_0^*)^{2/3} = (0.188 + 0.313 r/H)^{-4/3}$$

$$U_0^* = 0.68(\Delta T_0^*)^{1/2}(r/H)^{-0.63} \qquad for \quad r/H \geq 0.3$$

Q_0^* ：発熱量（無次元）

ΔT_0^* ：火災気流の上昇温度（無次元）

U_0^* ：火災気流の流速（無次元）

ρ ：空気密度

C_p ：空気の定圧比熱

g ：重力加速度

H ：火源から天井までの距離

r ：火源からの水平距離

Sugawaの式[4)]

$$\Delta T = a \cdot \left(\frac{H+r}{Q^{2/5}}\right)^{-5/3} \qquad for \quad a = 20\sim22 \quad (\deg \cdot kW^{3/2} \cdot m^{-3/5})$$

$$v = \frac{H}{H+r} \cdot \sqrt{\frac{\Delta T}{T_\infty} \cdot g \cdot H}$$

$$C_s = K_s \cdot \left(\frac{H+2r}{Q^{2/3}}\right)^{-1}$$

$K_s = 15$ 木材の有炎燃焼

$= 1200\sim1800$ 綿シーツ → 布団のくん焼

$= 1200\sim1800$ 綿シーツ → ベッドのくん焼

$= 35$ ポリスチレンフォームの有炎燃焼

$= 15$ ポリウレタンフォームの有炎燃焼

$= 2.5$ $n-$ヘプタンの有炎燃焼

$= 2.5$ プロパンガスの有炎燃焼（拡散火炎）

ΔT ：火災気流の上昇温度

v ：火災気流の流速

C_s ：火災気流の減光率

Q ：火源の発熱速度

H ：火源から天井までの距離

r ：火源からの水平距離

Yamauchiの式[1,5]

$$\frac{K}{\Delta T} = \frac{k_m \varepsilon_s}{k_p \varepsilon_h / \rho_a C_p}$$

$$C_{sm}^{*} = 1/(0.035 + 0.15 \cdot r/H)^{2/3} \qquad for \quad r/H \geq 0.2$$

K :減光係数

ΔT :火災気流の上昇温度

K_m :比例定数(≒7.6;発炎燃焼煙、≒4.4;くん焼煙)

ε_s :煙発生率

ε_h :燃焼熱量

ρ :空気密度

C_p :空気の定圧比熱

H :火源から天井までの距離

r :火源からの水平距離

熱感知器の作動予測には閉鎖型スプリンクラーヘッドの作動予測の分野で用いられるRTI-Cモデル[6]を適用している。RTI-Cモデルの式を以下に示す。

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{u^{1/2}}{RTI}\left\{T_{h,r} - \left(1 + \frac{C}{u^{1/2}} T_e\right)\right\}$$

$$RTI = \tau u^{1/2}$$

T_e :熱感知器の感熱部の温度

u :火災気流の流速

$T_{h,r}$:火源から高さH、水平距離rの位置の温度

C :伝熱係数(熱伝導による感熱部からの失熱)

RTI :応答指数(*ResponseTimeIndex*)

τ :時定数

3　住宅、ホテル、事務所の実大模型での実験

平成１０年度に消防庁予防課で実施した高天井下での火災感知器の作動に関する研究成果および火災感知幹事会での検討により、発熱速度が分かればAlpertの式、Sugawaの式、Yamauchiの式などに閉空間補正を加えることにより、天井面における火災気流の温度、流速、煙濃度が計算でき、感知器の作動予測が可能であるとの結論を得ている。そこで、本実験は、火災の初期段階における室内の温度、煙濃度ならびに気流速度等のデータを収集し、天井面における火災気流の温度、流速、煙濃度の計算精度の向上に必要な各種パラメータを決定するのに参考となる実大火災実験データを得ることとした。

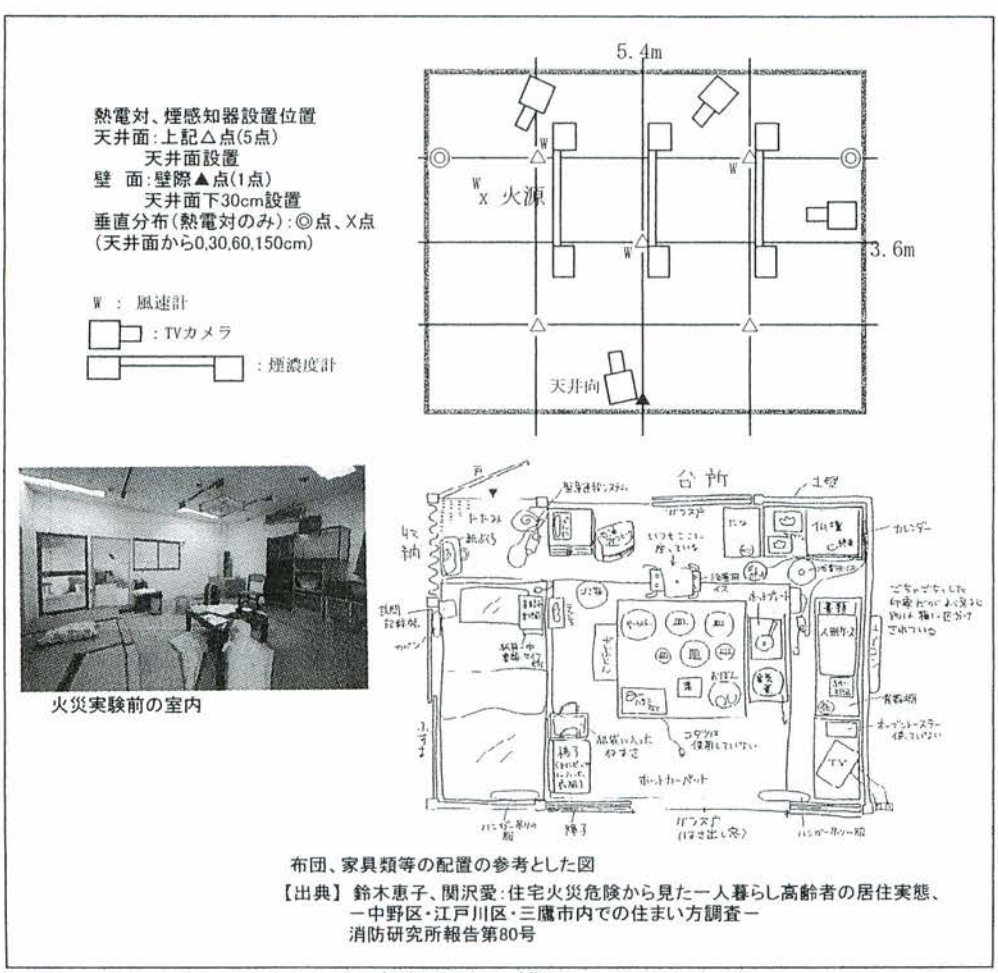
３．１　実験装置

実大模型は消防研究所総合消火研究棟主実験場内に仮設した。測定・記録項目は、温度（熱電対）、風速（微風速計）、煙濃度（透過光式煙濃度計ならびに光電式スポット型煙感知器改造品）、火源の重量変化（ロードセル、電子天秤）、火災の進展状況のVTR記録とした。（計測機器およびTVカメラの設置位置は図１～図３参照）

３．２　火災室の概要

住宅居室

室内寸法3.6m×5.4m（１２畳間；約２０m²）、天井高さ2.7m、床は畳敷、壁は可燃性建材で住宅居室を構成した。家具やテレビ等の生活用品および寝具類の配置は鈴木[7]らが調査した独居老人の住宅実態を参考とした。火災は畳の上に敷かれた布団での寝タバコからの出火とし、タバコ→シーツ→掛布団・敷布団の順に火災拡大するシナリオとした。図１に実験に用いた住宅居室のレイアウトを示す。



布団、家具類等の配置の参考とした図

【出典】鈴木恵子、関沢愛：住宅火災危険から見た一人暮らし高齢者の居住実態、－中野区・江戸川区・三鷹市内での住まい方調査－ 消防研究所報告第80号

図１　住宅居室実大模型レイアウト図

ビジネスホテル客室

居室部分3.6m×4.5m、室内通路部分1.75m×2.5m、天井高さ2.7m（室内通路部分の天井高さ2.4m）、床はカーペット敷、壁は不燃性建材でビジネスホテル客室を構成し、室内にベッド、椅子、机等を設置した。火災はベッドでの寝タバコからの出火とし、タバコ→シーツ→掛毛布・ベッドスプレッドの順に火災拡大するシナリオとした。図２に実験に用いたビジネスホテル客室のレイアウトを示す。

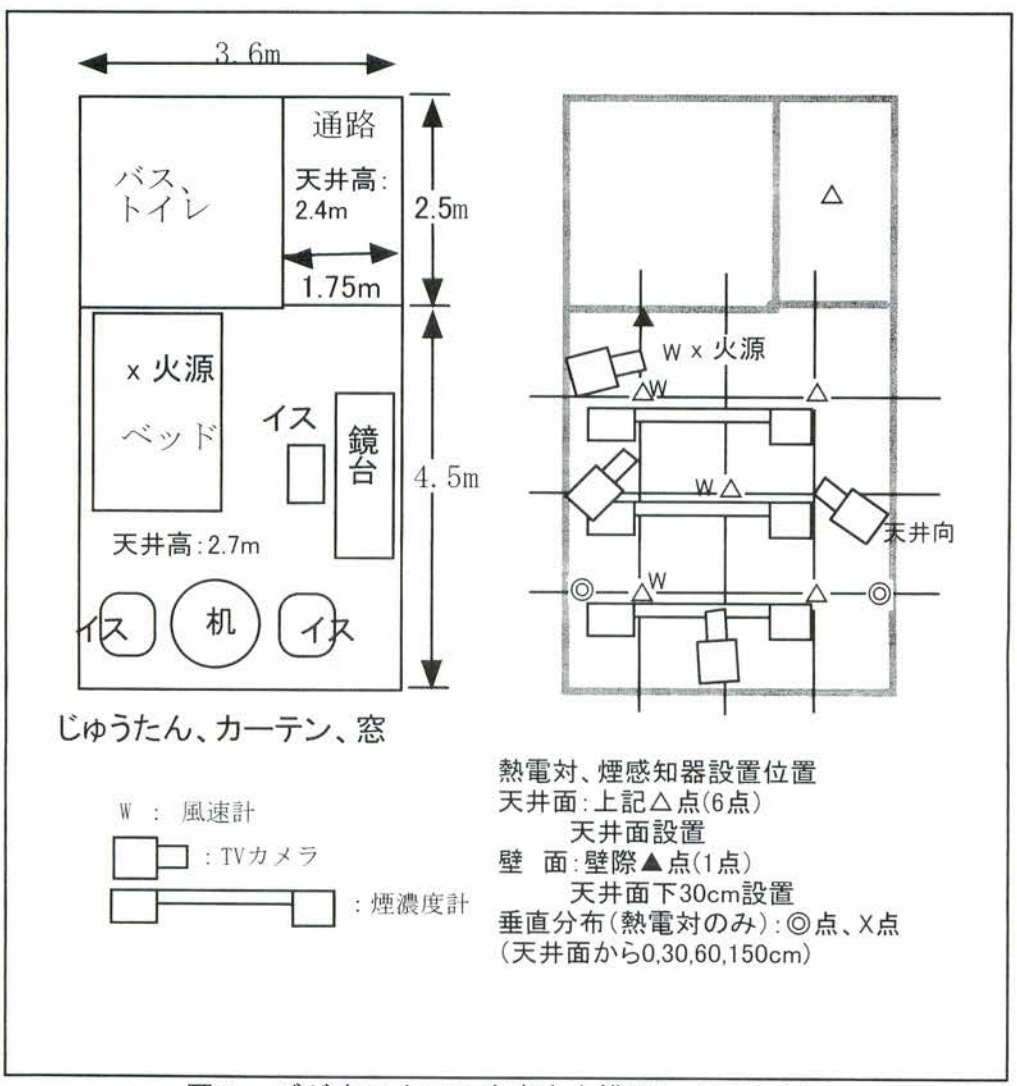


図２　ビジネスホテル客室実大模型レイアウト図

事務所

室内寸法10m×10m、天井高さ2.7m、床はゴミ箱付近のみカーペット敷、壁は不燃性建材により事務所を構成し、室内に事務用の椅子、机、書庫等を設置した。さらに机上には可燃物として書類、パソコンセットを配置した。火災は椅子横の樹脂製ゴミ箱へ捨てたタバコからの出火とし、タバコ→紙ごみ→ゴミ箱→椅子→机上の可燃物の順に火災拡大するシナリオとした。図３に実験に用いた事務所のレイアウトを示す。

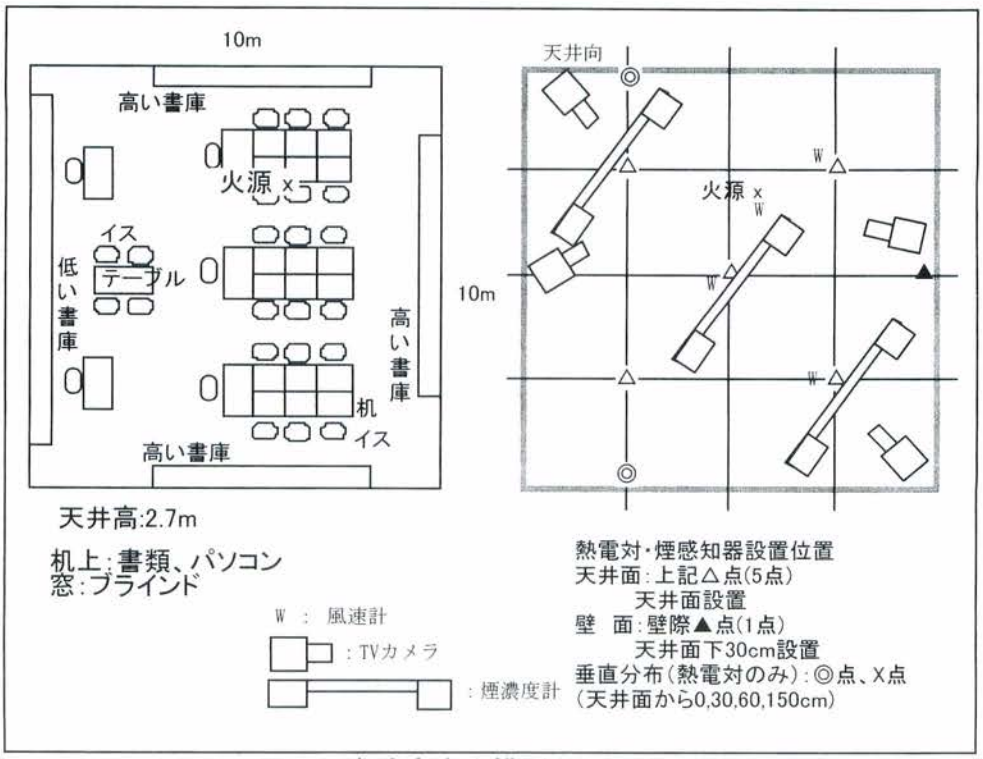


図３　事務室実大模型レイアウト図

３．３　実験結果

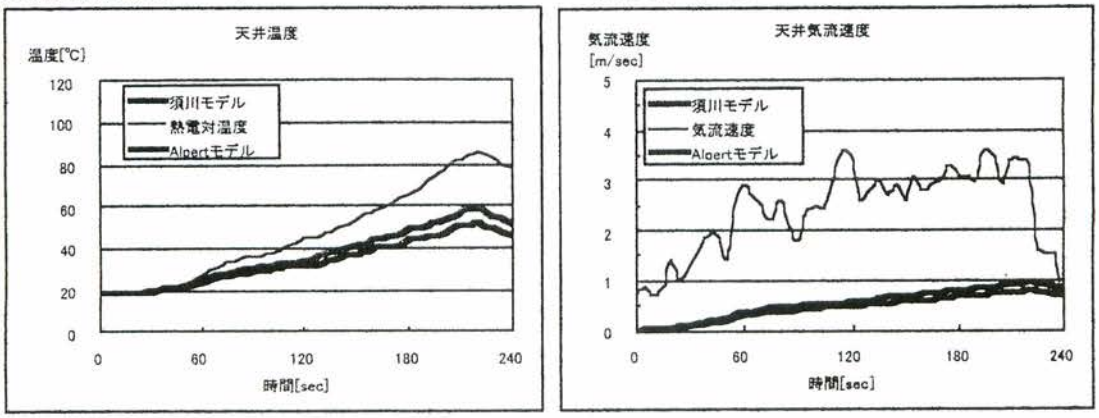
この実験では火源下にロードセルを設置し重量減少を測定して発熱速度を算出しようと試みたがロードセルの耐荷重と分解能の制約から火災感知のタイミングである火災初期段階での良好な重量減少データが得られなかった。そこで、重量減少からの発熱速度の計算に代えて、火源直上の温度データと火災気流予測式を用いて発熱速度を得た。

また、気流速度の測定においても、風速計の分解能や熱特性などの制約のため良好なデータは得られなかった。

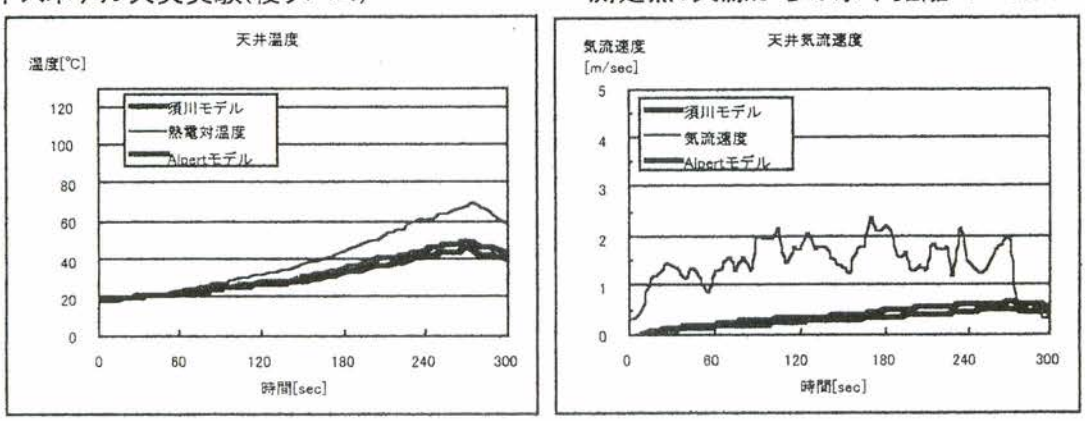
火災気流の温度と風速の計算例

火源直上温度をAlpertの式で逆算して得られた発熱速度を、Alpertの式とSugawaの式に適応して得られて火災気流温度と風速を図４に示す。Alpertの式、Sugawaの式ともに実測値よりも小さな値を示している。また、この傾向は事務所（１００m^2）よりも住宅やビジネスホテル（２０m^2）の方が顕著である。これは計算で閉空間補正を加えていないことによるものと考えられる。なお、実際よりも小さい計算結果は火災感知の検討を行う場合、判断を安全側に導く。

住宅火災実験(寝タバコ)　　測定点：火源からの水平距離　r＝1.8 m



ビジネスホテル火災実験(寝タバコ)　　測定点：火源からの水平距離　r＝2.9 m



事務所火災実験(ゴミ箱出火)　　測定点：火源からの水平距離　r＝2.4 m

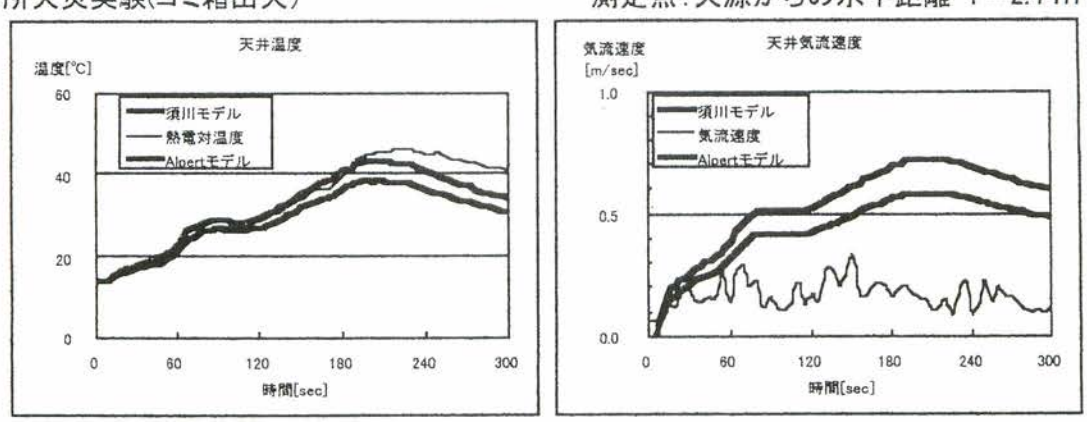


図4　火災気流の温度と風速

火災気流の煙濃度

Sugawaの式による火災気流の煙濃度の計算結果を図５に示す。図はいずれも縦軸が実測値、横軸が計算値である。煙係数K_sの値は、住宅火災実験の場合、K_s＝1200～1800（シーツのくん焼）、ホテル火災実験の場合、K_s＝150～300（シーツのくん焼）、事務所火災実験の場合、K_s＝20を仮定した。このように、火源材質と燃焼形態ごとに適切な煙係数K_sが実験的に得られていれば、初期火災の弱い熱気流の煙濃度を算出できることがわかった。

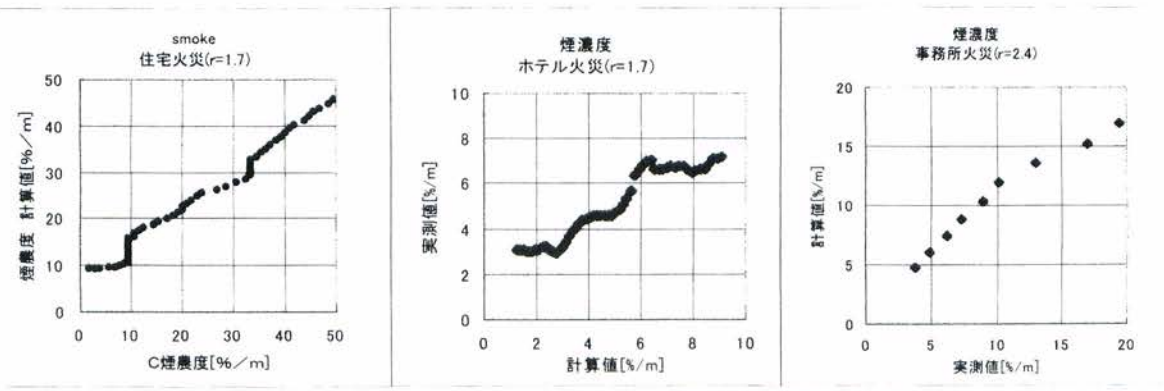
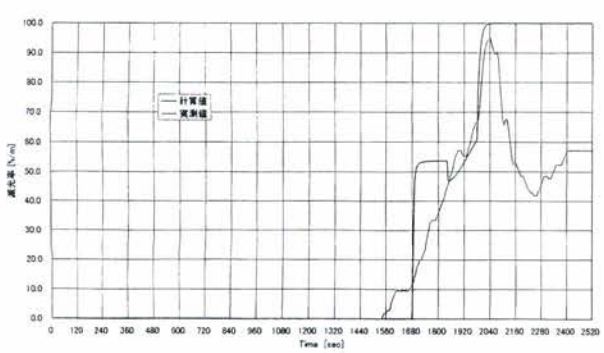
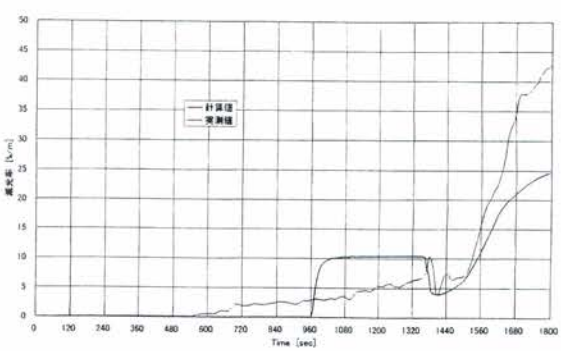


図５　Sugawaの式を用いた火災気流の煙濃度の計算例

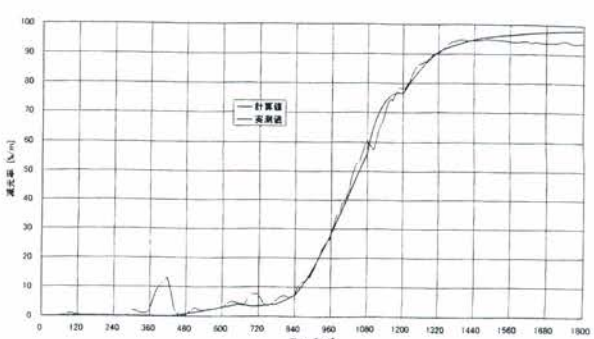
Yamauchiの式による火災気流の煙濃度の計算結果を図６に示す。図はいずれも部屋中央での透過光式煙濃度計の実測値と計算値の時間変化である。この図からもパラメータに適切な値を用いることにより火災気流の煙濃度について良好な値が得られることがわかった。



住宅火災（寝タバコ）



ホテル火災（寝タバコ）



事務所火災（ゴミ箱出火）

図６　Yamauchiの式を用いた火災気流の煙濃度の計算例

4　火災感知に対する空調気流の影響実験

これまでに行ってきた火災感知予測に関する検討では火災室に空調機が設置されていないことを前提としていた。しかし、現実には住宅、ホテル客室、事務室の多くで空調機が使われている。火災感知器の作動時間が空調気流の影響で大幅に変化するのであれば空調気流を前提としていない予測モデルの適用範囲が大幅に制限されることとなる。そこで、火災感知幹事会では空調の噴出しや吸込みが感知器に与える影響についての確認実験を行った。

4．1　実験装置

実験は空調装置が設備されたISO試験火災室で行った。火源にはISO TC21/SC3/WG1における試験火災（TF2：木材クリブくん焼、TF3：綿灯芯くん焼、TF4：ポリウレタン発炎燃焼、TF5：n-ヘプタン発炎燃焼）を用いた。空調装置は噴出口と吸込口ともスリット状でISO試験火災室天井部に設けられている。実験は空調機の換気回数を毎時0回、2回、4回、8回の４種類の運転で実施した。本実験における測定器配置図および空調の噴出口と吸込口位置を図７に示す。

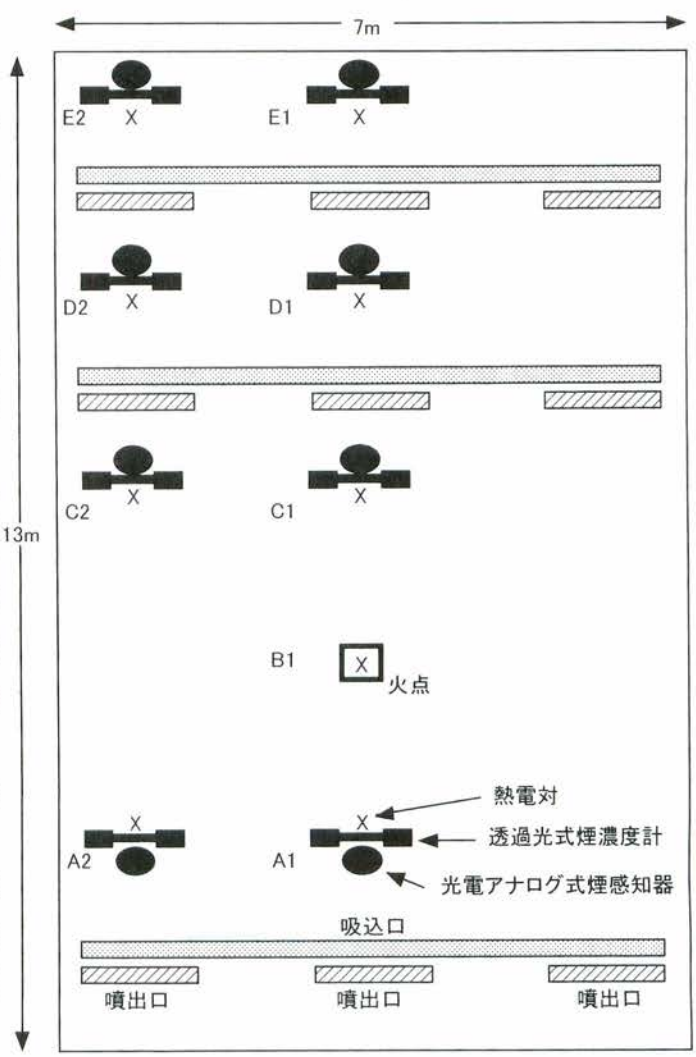


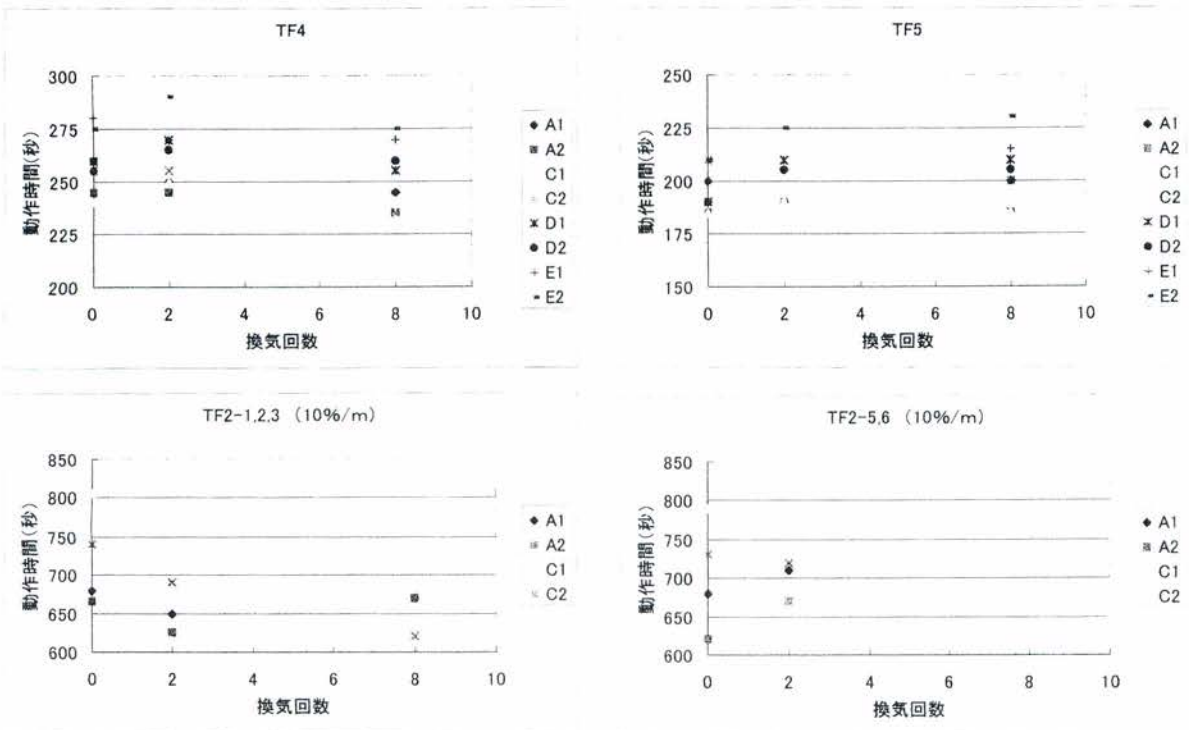
図７　空調吸込口、噴出口および測定機器設置位置

4．2　実験結果の考察

換気回数別の煙感知器、熱感知器の作動時間をそれぞれ図８、図９に示す。この結果によると、TF2,TF4,TF5において、換気回数が変わっても作動時間はほぼ同じであり、今回の実験に限れば、空調が煙感知器の動作を大幅に遅らせるような悪影響を与えることはないといえる。また、TF2では火源遠方の煙感知作動が早まる現象が見られ、空調気流が火災感知に好影響をおよぼす場合があることを示している。TF3は発熱速度が最も遅いため空調の影響を最も大きく受けると思われる。しかし、今回の実験ではTF3の燃焼性状の再現性が悪く検討から除いた。

今回の実験では、多種の空調方式のなかの一方式のみの実験を行ったものである。火災予測モデルの適用範囲を明確にするためにはより多くの種類の実験を行う必要がある。

図８　換気回数別の煙感知器作動予測



時間

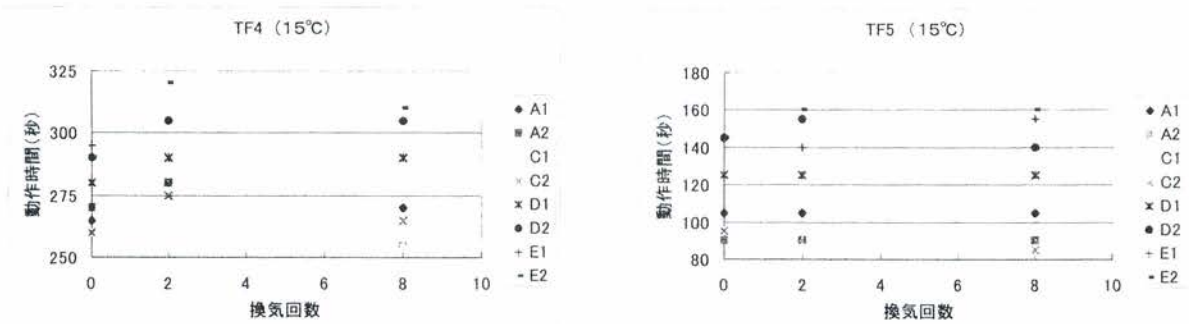


図９　換気回数別の熱感知器作動予測時間

5　おわりに

火災感知幹事会で検討を行っている差動式スポット、定温式スポットの両熱感知器及びスポット型煙感知器の３種類の火災感知器の作動予測に用いる火災気流予測であるAlpertの式、Sugawaの式、Yamauchiの式について実大火災実験を行い計測値との比較を行った結果、良好な値が算出できることがわかった。さらに、火災感知に対する空調気流の影響について空調機を備えたISO試験火災室を用いた実験により、今回の実験に限れば、空調が煙感知器の動作を大幅に遅らせるような悪影響を与えることはないことがわかった。

今回、この報告を作成するにあたり須川修身氏ならびに山内幸雄氏をはじめ火災感知幹事会幹事の皆様から協力を得えました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 火災感知器設置基準等調査研究委員会、火災感知器設置基準等調査研究報告書、平成11年3月
2) Alpert R.L., Calculation of Response Time of Ceiling-Mounted Fire Detectors, Fire Technology, Vol.8, pp.181-195, 1972.
3) Heskestad G. and Delichatsios M.A., Environments of Fire Detectors -- Phase 1: Effect of Fire Size, Ceiling Height and Material. Volume 2. Analysis, National Bureau of Standards (U.S.A.), NBS-GCR-77-95, July 1977.
4) 須川修身,中村直人,松原美之,河関大祐、煙火災感知器作動予測のための煙濃度モデル、平成13年度日本火災学会研究発表会概要集、日本火災学会、pp.280-283、2001年5月
5) Yamauchi Y., Prediction of Response Time of Smoke Detectors in Enclosure Fires, National Bureau of Standards, NBSIR 88-3707, 1988.
6) Heskestad G. and Bill R.G,Jr., Modeling of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinklers, Fire Safety Science, Proceedings of The Second International Symposium, pp.603-612, 1989.
7) 鈴木恵子,関沢愛、住宅火災危険から見た一人暮し高齢者の居住実態　－中野区、江戸川区、三鷹市内での住まい方調査－、消防研究所報告第80号

kozeki@fri.go.jp

現状の消火設備の性能の検証実験－自動消火設備をモデルとして－

鶴田 俊（消防研究所）

1 はじめに

産業界が中心となった規格や基準が国際的な商品やサービスの事実上の国際標準として利用されることが多くなり、これまで国や自治体で定めていた規定や基準についてもその合理性を社会に説明することが必要となっている。従来の国内の規定や基準は、国内における経験をもとに作られ、一定の安全性を維持している。ところが、国際的に通用する基準によって国内の規定や基準を決めることが必要と考えられるようになっている。

従来の基準や規定を新しい性能を中心とした規定で記述する場合、1）どのような性能や特性を判断基準にするのか、2）どのように基準に適合することを判定するのか、3）技術開発によって新規に開発された商品やサービスを柔軟に取り扱えるようにするのかなど考えておくべきことが多数ある。

このような点を念頭に置いて、消火・抑制幹事会は文献や資料調査によって上記の項目に関連する事項を収集、整理し、可能な限り体系化し、必要な部分の実験等をおこなって消火設備の性能の検討を行っている。

火災は、「人間の意図に反して発生し若しくは拡大し、又は放火により発生して消火の必要のある燃焼現象であって、これを消火するために消火設備又はこれと同程度の効果のあるものの利用を必要とするもの、又は人の意図に反して発生し若しくは拡大した爆発現象をいう」と定義されている[1)]。火災の定義では、明確に「人の意図に反して発生し若しくは拡大し」と書かれていることから「人の意図に反して発生し若しくは拡大した事象を想定し」消火設備を用意することになる。そのため社会の安全に対する最低限の要求としては過剰な消火設備ではないかとの疑問が出されている。このような疑問対して合理的な説明が必要と考えられるようになっている。

「火災の発生は想定できないから火災時の対応は重視しなくとも良い」などの考え方に従った建物や施設の運用を行う分野も見られる。しかし、ひとたび火災の発生が確認されると先の命題に従って「火災の発生が確認されたからその火災への対応は重視する必要がある」との結論に至る。このような対応を繰り返すと通常想定できないような事象に対応する設備を設置せざるを得なくなる。

これに対して「通常の火災」に対して「一定の安全性」を満たせば社会の安全に対する最低限の要求は満たしたとする考え方が検討されている。「通常の火災」は、「火災成長率」、「火災荷重」などの観点で記述されている。

ところが、超高層ビルが火災によって2棟も全壊する事象を見て、従来の基準によって「一定の安全性」を満たしていたと社会に向かって建設関係の学会、業界団体が主張しているか見てみると社会の求める「一定の安全性」と建設関係の学会、業界団体の考えていた「一定

の安全性」がそれぞれどのようなものかわかる。大惨事が発生する前にどのような災害が発生し得るかを社会に伝えることが必要である。この例を見ても社会の安全に対する最低限の要求を満たすことを個別に保証する便益とコストは熟慮する必要がある。

規制緩和の目的は、産業界の自己責任に基づく経済活動を達成することである。産業界が自己責任を果たしていることを検証する枠組みを構築することが社会的に必要とされている。つまり、どのような火災が想定され、どうのような視点で安全を確保する目的で、ソフトとハードの防火対策が講じられているかを説明可能な枠組みが望まれている。

2　検討経過

平成１１年度から消火設備に求められる性能を明らかにする目的で、検討が行なわれている。平成１１年度は、基礎的な項目の調査を行っている。平成１２年度は、代表的な固定消火設備（スプリンクラー設備）と人の操作する消火設備等について調査をおこなっている。

２．１平成１１年度の検討内容

２．１．１検討課題

消火理論

基本的な火災に関する物理化学現象を整理し,燃焼現象の支配方程式と境界条件をどのように変化させることによって消火に至るかを検討した。

消火剤の作用

現在使用されている消火剤の作用を消火理論と照らし合わせ,整理を行った。

消火設備

現在の消火設備の作動条件から想定される火災,消火のための条件について検討した。

自主消火に関する要求

建物等に備えられている消火設備,消火器具によって自主的に消火するべき火災について現在の消火設備,消火器具の仕様や火災統計をもとに整理を行った。

２．１．２作業内容

消火理論の基礎となる燃焼現象の整理

消火理論の文献調査

消火設備のデータシートを作成

それぞれの項目に根拠となる文献あるいは資料を記載した。

項目　消火剤の名称
　　消火の機構
　　消火するための必須条件、
　　消火剤等の必要量
　　消火剤の放出方式
　　消火に必要な付加条件
　　設備性能の確認法

消火に適しない火災又は可燃物等
消火の確認方法
その他必要事項、注記

消火設備の種類ごとの基本的な消火原理について解説を加え、データシートの項目の意味を明確にするように作業を行った。

２．２平成１２年度の検討内容

平成 11 年度の検討内容をもとに代表的な固定消火設備であるスプリンクラー設備を対象として検討を行った。

スプリンクラー設備は，水圧を利用し，溶融合金で封じたスプリンクラーヘッドを組み合わせ，火災の感知，火災の報知，散水を自動化している。そのため，設備が適切に維持管理されていれば，火災による温度上昇を感知し，スプリンクラーヘッドが開栓し，散水を行う。同一区画内の在留者は，散水に伴う音，散水状況を聴覚，視覚，触覚によってスプリンクラー設備の稼働を知ることができる。区画外の在留者は，散水開始により生じた水流を感知して作動する報知設備によってスプリンクラーの稼働を知ることができる。スプリンクラー設備の稼働が火災によるものか故障や誤動作によるものかは，人間によって判定される。同様に火災が消火されたかの判定は人間によって行われる。このことからスプリンクラー設備は，消火を判定する機能は持たない。そのため人間がスプリンクラー設備を停止させない限り，水源が尽きるまで散水は継続する。

スプリンクラー設備は，スプリンクラーヘッドから一定の距離内の火災を感知し，その近傍に一定の散水密度で散水する。区画内にスプリンクラーヘッドを取付ける場合，平面を三角形で区画する方法と四角形で区画する方法がある。火災がスプリンクラーヘッドから同一距離の地点で発生し，理想的なスプリンクラーヘッドの開栓が起きたとすると同時に３個または４個開栓する。

スプリンクラーヘッドの散水する面積とスプリンクラーヘッド開栓時の焼損面積の比率が大きくなると焼損面積に比べ水損面積が大きくなる。ところが散水する面積を狭くすると火の粉などの火種が散水する範囲外に到達し，延焼するおそれが生じる。散水する範囲外に延焼した場合，スプリンクラーヘッドは３角形で区画した場合６個，４角形で区画した場合８個が開栓する。同時に開栓するスプリンクラーヘッド個数が増加するにつれ，開栓したスプリンクラーヘッドの水圧が低下し，散水密度が低下する。スプリンクラー設備の機能として重要な点は，スプリクラーヘッドを結ぶ多角形の内部に焼損部分を閉じ込めることである。閉じ込めることができれば，火災の発熱速度の増加を抑制できる。さらに火災の発熱速度を減少させることができればやがて消火できることになる。

２．２．１代表的な固定消火設備(スプリンクラー設備）の評価ツールの検討

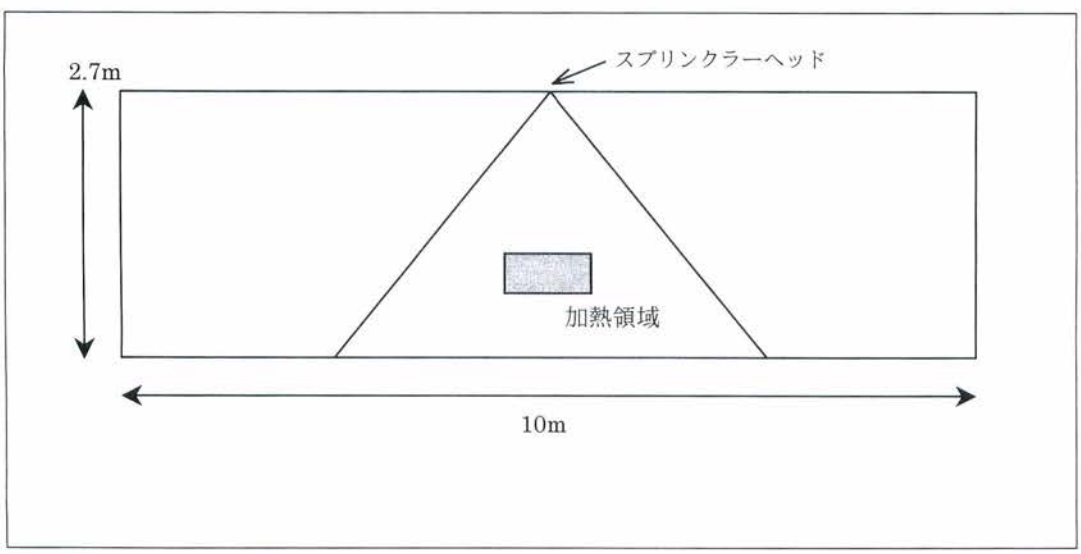
自動化された設備のモデルにスプリンクラー設備を例に検討を行った。評価ツールを検討するためには、①設備の作動シナリオ、②設備による消火の判断基準を与える必要がある。

①についてはスプリンクラー設備の散水開始時の火災規模、散水密度、散水時間を設定した。
②については火災初期の表面火災を消火できることを判断基準とした。

評価ツール作成のための数値シミュレーターを開発した。区画、発熱速度、スプリンクラーの散水領域内の水量を入力することにより区画内の温度分布と流速分布を求めた。散水により区画内の流れ場と温度場が変化し、区画天井近傍から床面に向かう下降流が発熱源の周囲に形成された。

2.2.2 スプリンクラーの計算例

2.2.2.1 計算対象



2.2.2.2 計算条件

計算格子：33×10×1。
散水角度：鉛直軸から４５° の範囲。
散水量：４L/min/m^2×25m^2。
加熱領域：計算領域中央に 1.5m×0.6m
加熱量：酸素濃度[mol/m3]の 10%が単位時間当たりに消費すると過程し、酸素１mol の消費に付き 2×10^6J の発熱があるとした。
初期値：等温(300K)、静止。
ヘッド開放時間：計算開始から５秒後。

2.2.2.3 計算結果

図 1.1 および図 1.2 に３秒後の温度分布および流速分布を示す。図 2.1、図 2.2 および図 2.3 に９秒後の温度分布、流速分布および水蒸気質量分率を示す。図 3.1、図 3.2 および図 3.3 に１８秒後の温度分布、流速分布および水蒸気質量分率を示す。

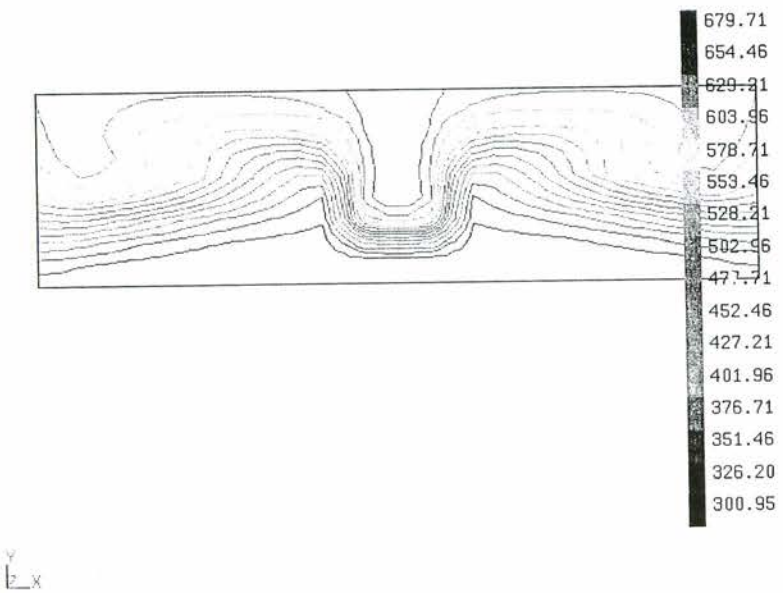


図 1.1　3秒後の温度分布[K]

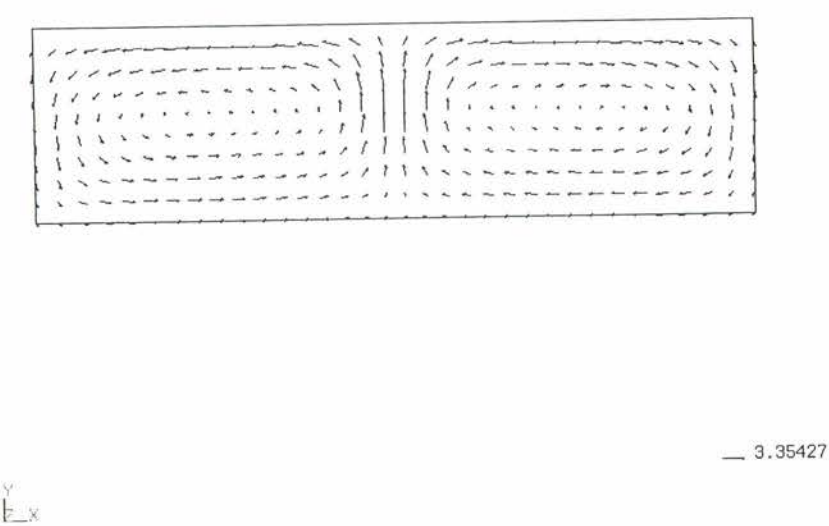


図 1.2　3秒後の流速分布[m/s]

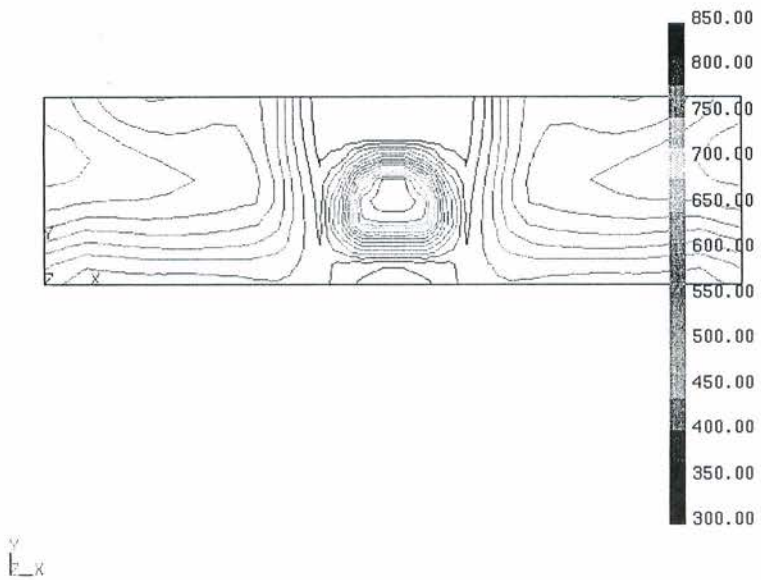


図 2.1　9秒後の温度分布[K]

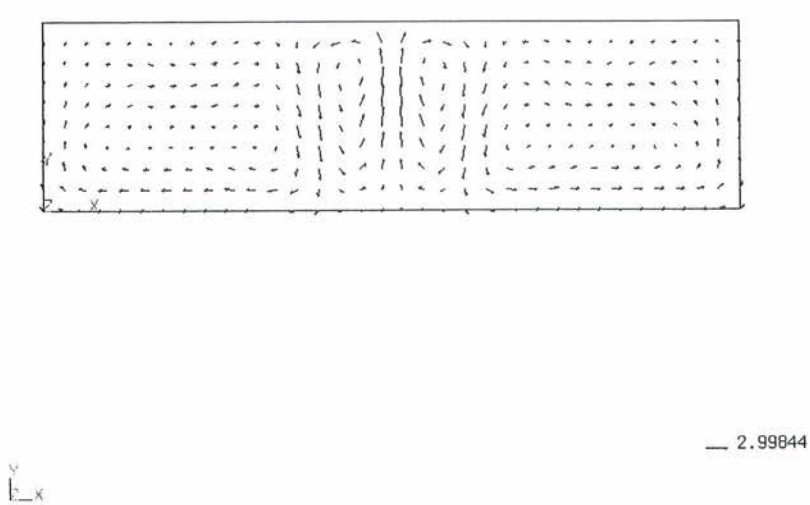


図 2.2　9秒後の流速分布[m/s]

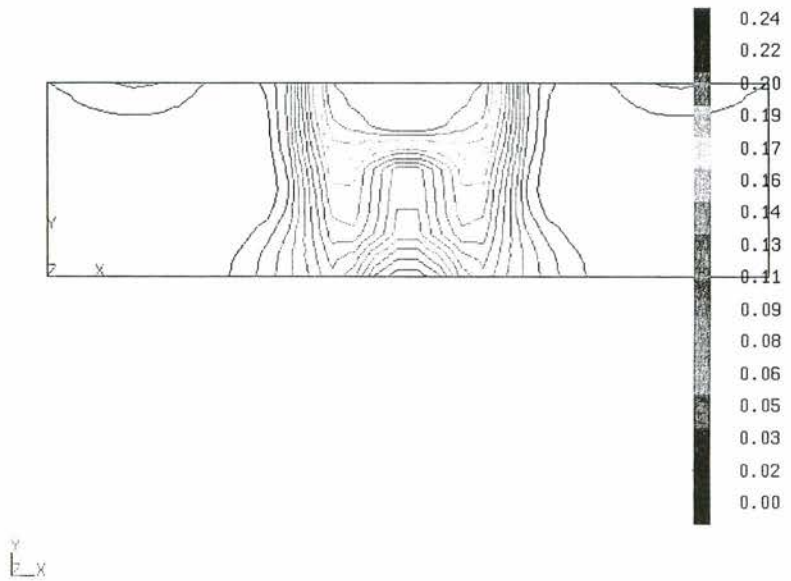


図 2.3　9秒後の水蒸気質量分率

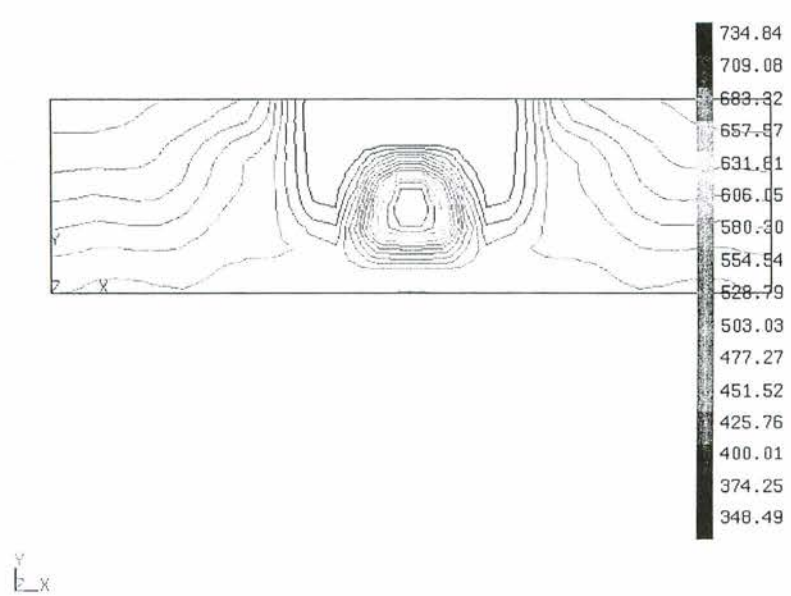


図 3.1　18秒後の温度分布[K]

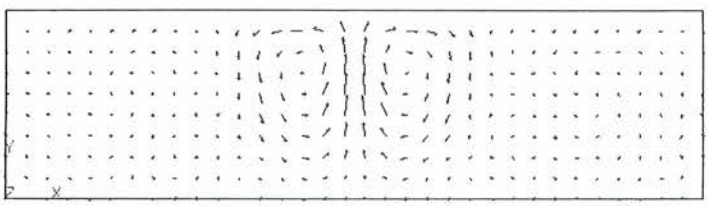


図 3.2　１８秒後の流速分布[m/s]

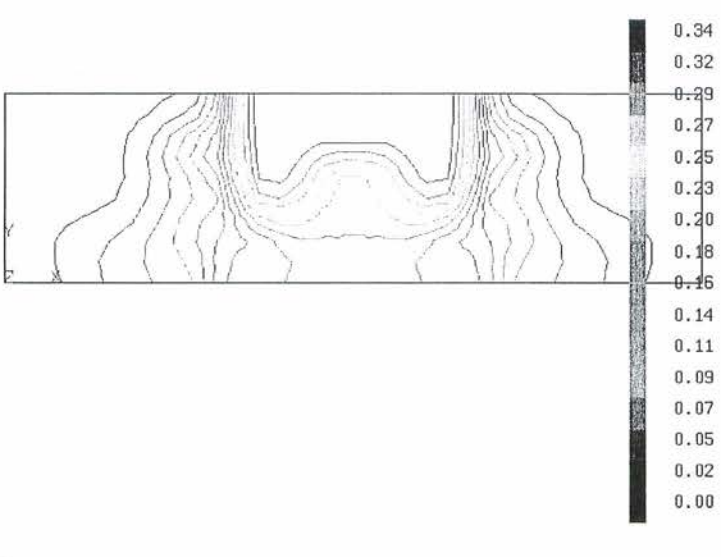


図 3.3　１８秒後の水蒸気質量分率

２．２．３代表的な固定消火設備（スプリンクラー設備）の小規模実験[2)]

評価ツールの基礎データを確認する目的で、ヘッド４個規模の小規模の実験を行った。

無限天井を模擬したスプリンクラー消火試験場の区画を用い、Ａ６クリブ、Ａ１２クリブ、ダンボール箱、模擬事務所家具類を可燃物とし、散水開始時の火災規模を変化させ、散水密度の火災挙動におよぼす効果を調べた。１０分間の散水後、可燃物の表面に火炎がない場合を「消火」と判定した。

実験の結果、「消火」できた場合と「消火」できない場合を観察できた。「消火」できた場合の中には、散水停止後、発炎する場合があった。散水密度を低下させた場合、散水後、人間の頭部付近で煙濃度が急速に上昇し、実験場内の照明が煙、水滴、水蒸気等により著しく減衰する現象が起きた。

クリブの燃焼が比較的高い水準で継続した場合、散水を継続するに従い、実験場内の湿度と温度が上昇する現象が観察できた。この場合、散水前に比べ燃焼生成気体の目や呼吸器に対する刺激性が高くなったように感じられた。スプリンクラーによる散水で消火できない場合や散水停止後発炎した場合、２号消火栓相当のノズル放水で鎮火できた。この作業の従事者は、耐火服、ガスマスク、ゴーグル、安全帽、安全靴、手袋を着装した。

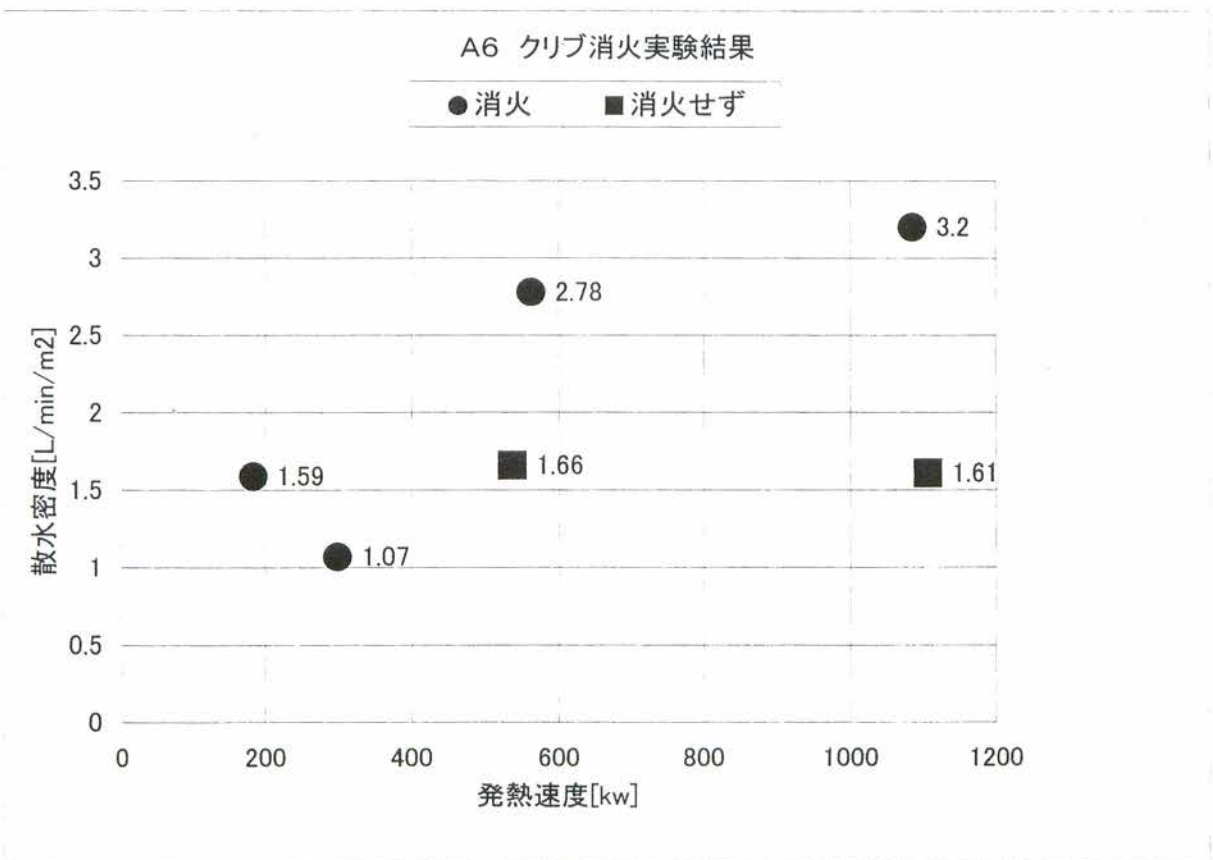


図４．１ Ａ６クリブ消火実験結果

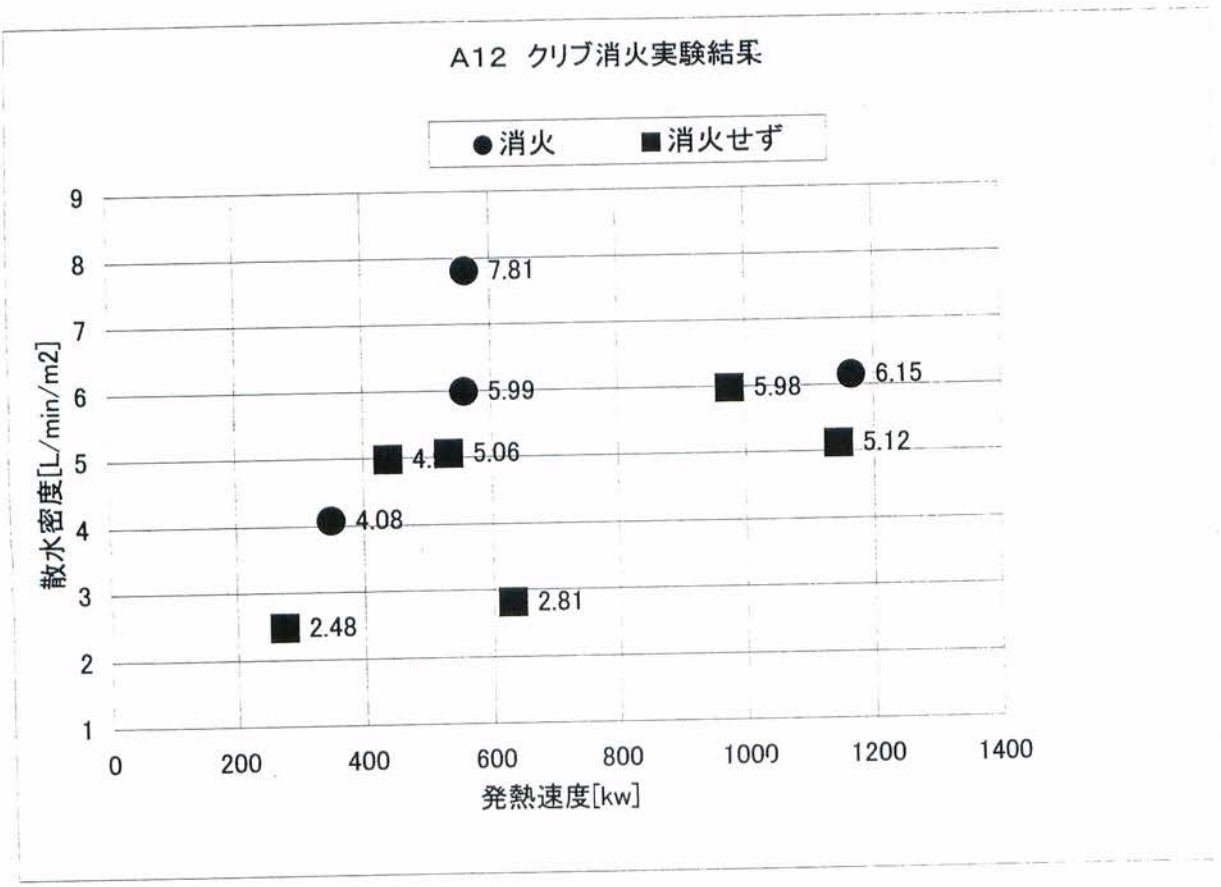


図４．２ Ａ１２クリブ消火実験結果

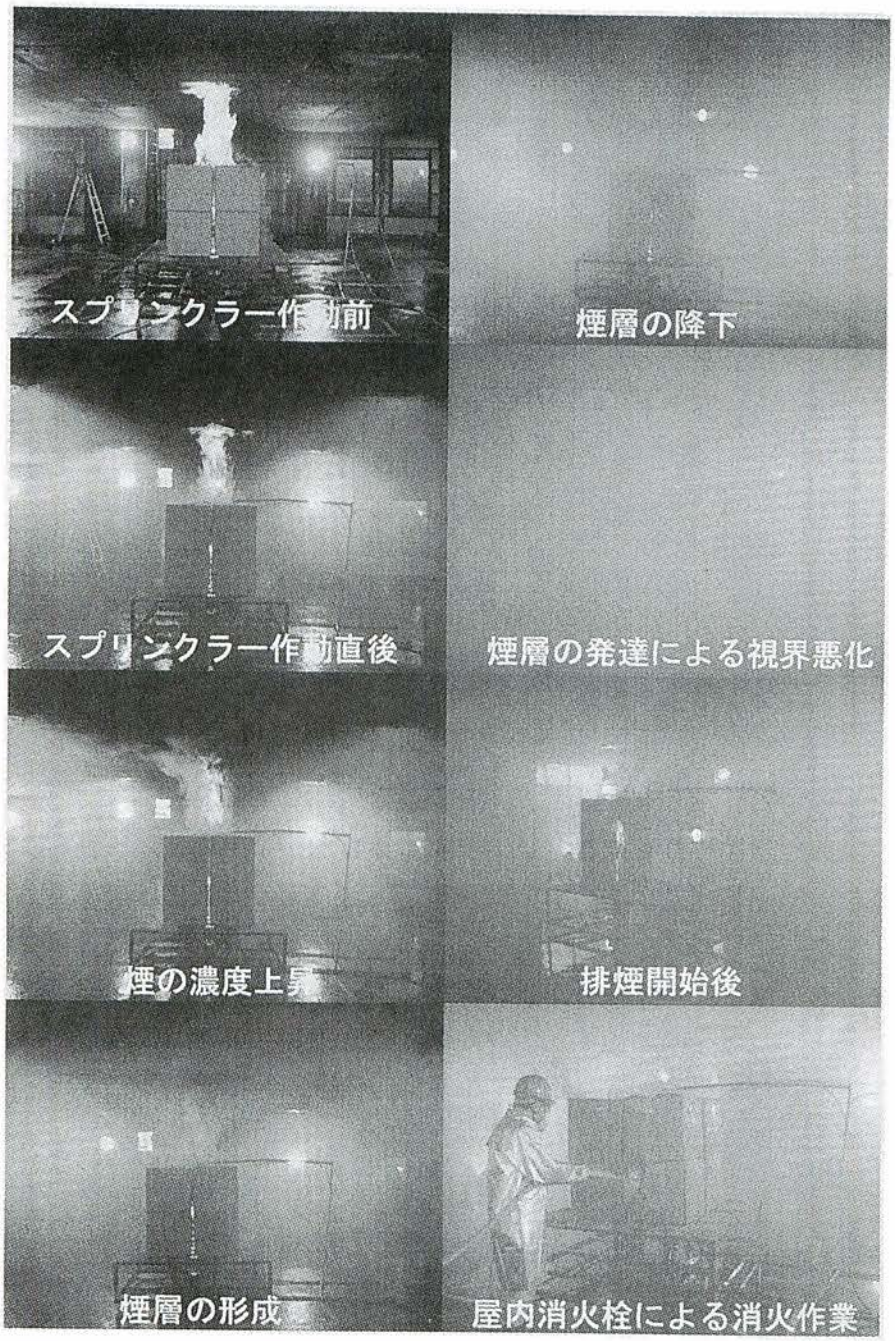


図４．３ ダンボール消火実験の様子

２．２．４人の操作する消火設備等の挙動モデルの検討

人間の操作する機器・設備のモデルに消火器と屋内消火栓を例に検討を行った。挙動モデルの検討を行うためには、①自衛消防活動のシナリオ、②人的要素の取扱い、③自衛消防活動による消火の判断基準を与える必要がある。①については、文献を調査した。②については、統計資料を調査した結果、人間の操作の確実性に分布があり、統計的な整理が必要なことがわかった。③については、人的な要素が影響し、統計的な整理が必要なことがわかった。

文献調査の結果、火災規模１MWを初期消火可能限界とした。消火器の試験は、火災規模２MW程度で行われていると推定できるが、通常の区画の形状を考慮すると火炎が区画の天井に届くまでが限界であると考えた。

消火器操作に関する実験は、未経験者に実験させるのは危険であると判断し、文献調査を行った。消火器に関する研究は、消防研究所山鹿氏の昭和５３年の報告書を参考とした。

屋内消火栓の基準について調査を行い消火能力の根拠について調査した。

消火器の試験を見ると熟練した作業者が、保護具を装着し、天井の高い広い区画の中で拡大した火災を消火していることがわかった。

屋内消火栓の消火能力についても、スプリンクラー設備に関する実験の中で熟練した作業者が、保護具を装着し、スプリンクラー消火試験場の中で、スプリンクラー設備に劣らないことを示すことがわかった。

一般的な火災シナリオの中で想定される作業者が、消火器や屋内消火栓で消火に従事し、消火できるかを判定するためには、作業者が一定の訓練を受けていることを前提とする必要があると思われる。火災区画の天井高さ、面積、内部構造も消火作業に影響を与えると思われる。

参考文献

１）日本火災学会編：火災便覧 第３版、ｐ．２８３、共立出版（１９９７）

２）日本消防検定協会：スプリンクラー設備の性能確認実験報告書（平成１２年)、日本消防検定協会（２００１）

発表者連絡先：電話 ０４２２－４４－８３３１

避難器具および消防活動拠点に必要とされる性能に関する実験的検討

山田常圭(消防研究所)

1　はじめに

消防庁による「総合防火安全対策手法の開発調査委員会（通称消防総プロ）」の第５幹事会では、避難・消防活動支援に係わる種々の対策の要求性能および安全確保上の必要な機能的要件について議論を進めてきた。しかしながら議論の中で、評価手法を構築する以前に、1)過去に研究や調査が系統的に行われていなく、現行規定で要求されている性能そのものがはっきりしないもの、また2)要求される性能は概ね判っているが、具体的な機能的要件のレベルが明らかでないもの、が多々あることが認識された。

例えば、避難（脱出）支援性能としての避難器具は、現行法令において在館者数や用途に応じた設置個数の定めはあるが、その配置・脱出能力は多分に経験的判断によっており合理的な根拠は自明でないし、個々の設備にどの程度の脱出能力が期待されているのか、あるいは現実に付与されているのか判然としない。またさらには、設置・使用時の容易性を含め、避難器具の性能に係わる調査・研究が過去に殆どない状況にある。それ故、先ず既存の避難器具を対象に脱出の実験を行い、明らかになった性能および課題をもとに議論し、本来期待されていると思われる性能を洗い出す作業を実施した。

一方、消防活動支援に関しては、建物内外における拠点の確保という消防戦術上の要求性能は概ね判っているが、現実に消防活動としてどの程度の環境であれば許容できるのか、また作業スペースとしてどの程度の広さが必要なのか？といった設計や評価段階において必要となる具体的なレベルは定かではない。第５幹事会では、必要な環境レベルとスペースについて、過去の文献をもとに議論を行い、併せて被験者の参加を得た実験によってこうした性能レベルについて検討を行った。以下、性能的論議をする上で平成１２年度に実施した実験を簡単に紹介する。

２．避難支援性能としての避難器具の要求性能

2.1　避難支援性能における避難器具位置づけ

消防法上、避難安全を確保するために設置が義務づけられている設備・機器類は，性能的に大きく２つに分類できる。一つは避難誘導灯にみられる火災等が発生した際の一般的な避難の際の助けとなる避難安全支援性能，もう一つは避難器具のような通常時の避難が失敗した場合の次善の策としての脱出安全支援性能である。第５幹事会では、平成１2年度、過去に系統的な研究・調査が少ない後者を対象に、性能面からの議論を行い以下のように目的、機能要件をまとめたが、留意点に記したような検討課題が挙げられたため、現行法令に基づく避難器具の理解という目的も兼ねて実験を実施した。

性能名称：脱出安全支援性能。
目　　的：不測の事態に対しても容易に利用できる避難施設の確保。
機能的要件：容易かつ迅速に利用できること。
要求性能（許容状態）：利用上での適切な指示が記載されており，しかも安全性が確認されていること。
評価法（検証法）：利用上の説明書を読んで一定時間内に展開が可能なことを確認するとともに、利用の見込まれる状況に対して強度面が確保されていることを確認する。
評価法構築上の留意点：現行の避難器具の技術基準は、避難器具の使用時の安全面からの力学的特性に力点が置かれ、使用の容易性についての系統的な検討はされておらず、検討課題として残されている。

2.2　避難器具の性能検証に関する実験

避難器具に関して多くの解説書はあるが、設計・評価に反映できる合理的な調査研究報告は非常に少なく、堀内ら[1)]の報告以降、研究調査文献は殆ど見あたらない。第５幹事会では、数少ない文献の調査および避難器具の設置場所や設置基準を逆読みし、避難器具の個別評価において基礎的資料となる項目を整理する作業を行ってきたが、併せて既設の避難器具がどの程度の避難脱出能力を有しているか、および今後検討する課題を明らかにするため実験を実施した。

(1)　実験概要

本実験は、前述したように既設の避難器具の課題を明らかにすること、および避難上の性能の数値化、特に設置から避難までの時間的要素を明らかにすることを目的に、川崎市消防局の協力のもと実施した。本実験で対象とした項目は以下に示す５項目からなり、のべ25名の被験者の協力を得て行った。なお、安全上、1)～3)については、避難器具の設置と降下する実験は分離して行った。また、設置の実験では、初回は説明がなく被験者が非常時、独力で可能な限り迅速に展開・設置する想定下で行い、２回目は適正な使用方法の説明を消防設備士の専門家からしてもらった後、再度実施した。

1) 緩降機の設置準備、及び降下時間の測定（設置の可否は設備士がチェックシートで判定）
2) 救助袋（垂直）　　〃
3) 救助袋（斜降式）　　〃
4) バルコニー設置の避難はしごの降下時間測定
5) 滑り台の降下時間測定

(2)　実験結果と主な知見

実験毎の参加者数、初回、説明後の設置の成功状況および設置・降下に要した時間の計測結果を表１に、また図１には実験終了後の被験者へのアンケート結果を示す。初回の成功率は期待を大きくはずれる結果となったが、いずれの場合も１度の説明で成功率・所用時間とも著しい改善がみられることが判る。以下、各避難器具について結果をまとめた。

表１　避難器具の設置及び降下時間の測定結果　（数字の単位：秒）

避難器具名	設置状況	測定結果		被験者数	平均値	（標準偏差）	最大	最小	成功率
緩降機	2階設置：地上まで7m	設定時間(s)	1回目	10名	192	47	274	155	50.0%
			2回目		78	27	128	49	100.0%
		降下時間(s)			36	7	50	26	90.0%
救助袋（垂直式）	4階設置：2階まで10．4m	設定時間(s)	1回目	6名	138	10	145	131	33.3%
			2回目		93	14	109	70	83.3%
		降下時間(s)			83	33	143	57	100.0%
救助袋（斜降式）	5階屋上設置：地上まで20.5m、救助袋長さ29m	設定時間(s)	1回目	6名	203	（1名のみ成功）			16.7%
			2回目		118	38	175	94	66.6%
		降下時間(s)			27	14	50	13	100.0%
		地上設定(s)			38	14	55	29	100.0%
避難はしご	3階設置：2階まで	設定時間(s)		10名	19	13	41	6	100.0%
		降下時間(s)			14	5	26	10	100.0%
滑り台	2階設置：地上まで	降下時間(s)		10名	14	3	18	11	90.0%
					27 （10人での降下時間）				100.0%

［緩降器］

- 設置の容易さ：操作の説明なしで５分以内に設置できたのは、被験者１０名中５名で、その内、操作手順が正確だった人は僅か２名であった。一方、説明を受けた後は、全員が設置することができ、学習効果は顕著ではあるものの、操作手順の正確さは４割程度にとどまり、操作方法の平易さが必要と考えられた。
- 操作手順の主な誤り：最初に窓をあけないため、アームを出せないという初歩的な間違いが目立った。その他、装着具の締め付け不足、調速器の取り付けの誤り等、安全な降下に支障のある操作ミスがあった。（表２）
- 被験者のアンケート結果：設定が非常に難しい。説明書の内容がわかりにくいので、操作の順番に番号をつけ、説明書を読まなくてもセットできるようにして欲しい。緩行器で降りるのは怖いという人と、普通という人がほぼ同数、一旦、窓から乗り越え身を空中に乗り出すということに困難をおぼえているようであった。

表２　操作手順のチェック結果（緩降器）

品名	回数	チェック項目	○	×	不備の概要・数	
緩降機	1回目	支持部の固定	0	10	アームの設定順番が違う	4
					窓を開放せず	5
					金具の設定に手間取った	3
		カラビナの設定	4	2	カラビナの開放方法がわからず	1
		安全環の締付	4	2	締付忘れ	1
		リールの設定	4	1		
		ロープのねじれ	4	1		
		着用具の装着	4	2	着装具の締付不足	2
		その他	0	0		
		総合判定	2	8		
	2回目	支持部の固定	8	2	支柱の立ち上げ不十分	2
		カラビナの設定	8	2	最初にリールの操作を行った	1
					取扱いに手間取る	1
		安全環の締付	8	2	締付忘れ	1
					締付方向がわからず	1
		リールの設定	6	4	リールの投下忘れ	1
					ロープとの交差	1
					リールの投下を最後	2
		ロープのねじれ	7	3	本機とロープの交差	3
		着用具の装着	10	0		
		その他	0	0		
		総合判定	4	6		

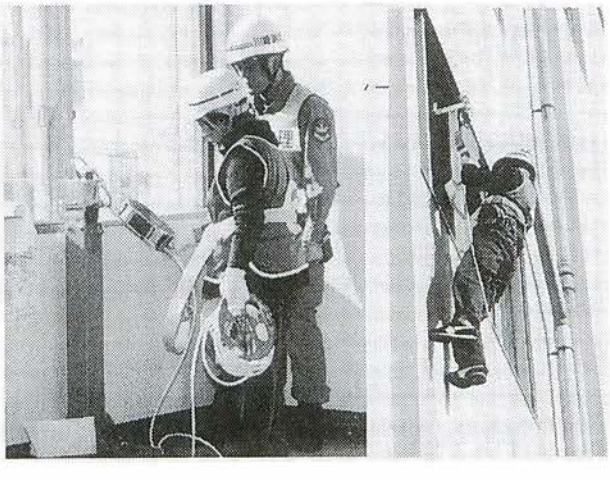


写真１　緩降器の設置・降下実験

かりにくいので、操作の順番に番号をつけ、説明書を読まなくてもセットできるようにして欲しいという意見があった。また、ステップを設置する、袋を窓越しに下に降ろすにあたって、器具が重く持ち上がらないので軽量化を図って欲しいという意見が出た。救助袋で降りるのは不安感を感じる人は少ないが、火災のような非常時に時にこれを使用して避難できる自信のある人は少ない回答結果であった。

[斜降式救助袋]

・ 設置の容易さ：操作の説明なしで５分以内に設置できたのは、被験者６名僅か１名であるが操作手順は不正確であった。また説明を受けた後、６名中４名が設置できるようになったが、操作手順は正確さに欠けた。斜降式救助袋では、避難者だけでなく、地上での設定が必要になる等、操作には複数人による連携のもと事前に充分な訓練が必要と考えられ、他の独力で設置する避難器具とは性格を異にしていると考えられる。

・ 操作手順の主な誤り：ほぼ、垂直式救助袋と同様、格納箱の蓋の取り除き、誘導ロープの取り扱い、その他設定手順にも誤りが散見された。（表４）

・ 被験者の意見：垂直式救助袋とほぼ同様の内容であった。なお、垂直式に比べ、避難階数が大きいにも関わらず、降下時間が短くかつ降下時の恐怖感がなく、非常時にも使用できると感じる人の割合いが、上記二つより高くなる傾向がみられた。

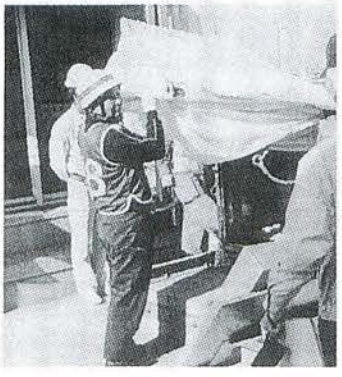


写真３　斜降式救助袋の設置状況

表４　操作手順のチェック結果（斜降式救助袋）

品名	回数	チェック項目	○	×	不備の概要・数	
斜降式救助袋	1回目	格納箱の蓋の取り除き	0	6	最初に蓋を取らなかった	6
		袋を格納	5	1	蓋を取る前に外した	1
		袋本体の落下地点の確認	2	3		
		誘導ロープの取扱い	1	4	袋と一緒に投下した	1
					投下しなかった	1
					ロープを解かず投下	1
		袋本体の落下要領	3	2		
		入口金具の設定	0	3	1段目のスティを持って起こした	3
		ステップの設定	1	0		
		総合判定	0	6		
	2回目	格納箱の蓋の取り除き	5	0		
		袋を格納	5	0		
		袋本体の落下地点の確認	5	0		
		誘導ロープの取扱い	5	0		
		袋本体の落下要領	4	1	たたんである袋を広げながら降ろした	1
		入口金具の設定	1	4	要領が悪く金具が開いてしまった	4
		ステップの設定	1	0		
		総合判定	1	4		

[避難はしご（バルコニータラップ）]

・ 設置の容易さ：操作の説明なしで約40秒以内で正確に設置できた。操作は単純であるが、操作する金具が小さくて見えにくいため、夜間には探しにくい等、改良の必要がある。

・ 操作手順の誤り：なし。

・ 被験者の意見：操作は単純だが、説明書が判りにくい、

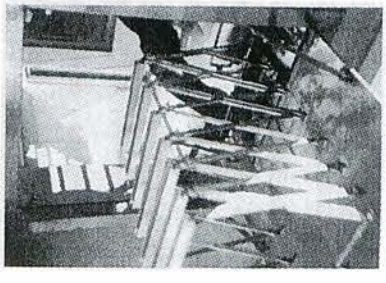
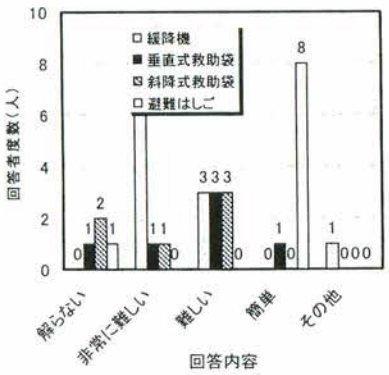
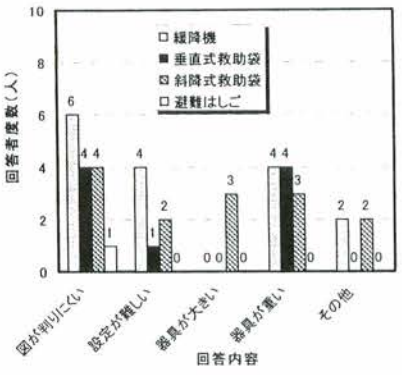


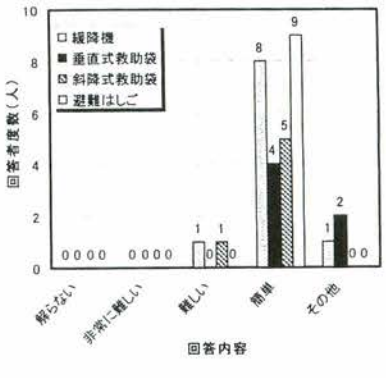
写真４　避難はしご設置状況



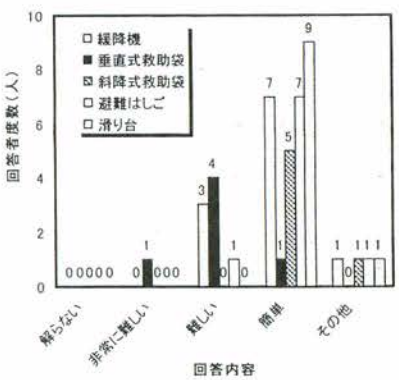
（質問１）１回目（取扱いの説明を受けない場合）の避難器具の設値状況



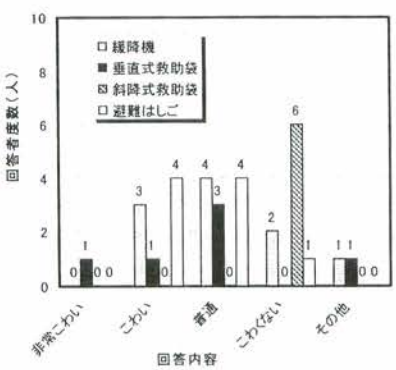
（質問２）１の質問で「解らない」、「(非常に)難しい」と答えた人の理由。



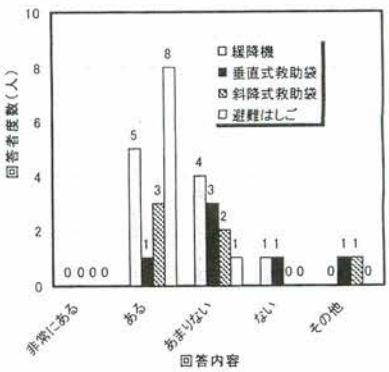
（質問３）説明を受けた後の設置状況



（質問４） 避難器具降下時の状況



（質問５）避難器具降下時の感想



（質問６）火災時に避難器具で避難する自信はありますか。

図１　避難器具の実験後の被験者アンケート回答結果

［垂直式救助袋］

- 設置の容易さ：操作の説明なしで５分以内に設置できたのは、被験者６名中２名で、操作手順は正確であった。また、説明を受けた後で、１名を除いて設置することができた。学習効果は顕著ではあるものの、操作手順を間違えると設置できなくなり、操作方法の平易さが必要と考えられた。
- 操作手順の主な誤り：格納箱の蓋の取り除き、誘導ロープの取り扱い、その他設定手順にも誤りが散見された。（表３）
- 被験者のアンケート結果：緩降器と同様、設置が非常に難しい。説明書の内容がわ

写真２　垂直式救助袋設置状況

表３　操作手順のチェック結果（垂直式救助袋）

品名	回数	チェック項目	○	×	不備の概要・数	
垂直式救助袋	1回目	格納箱の蓋の取り除き	3	3	説明書が理解できず	3
		袋本体の落下地点の確認	1	5		
		誘導ロープの取扱い	1	5	説明書に記載なく取扱いわからず	5
		袋本体の落下要領	4	2	蓋を開けずに落下	1
					別の窓から落下	1
		入口金具の設定	2	4	設定要領わからず	4
		ステップの設定	2	4	注意いかず	1
		ベルトの取り外し	3	2		
		総合判定	2	4		
	2回目	格納箱の蓋の取り除き	6	0		
		袋本体の落下地点の確認	5	1		
		誘導ロープの取扱い	4	2	ロープを解かず投下	2
		袋本体の落下要領	6	0		
		入口金具の設定	5	1	設定要領わからず	1
		ステップの設定	6	0		
		ベルトの取り外し	6	0		
		総合判定	5	1		

[すべり台]

- 設置・操作手順の課題：特別な操作がないので使用上の難易の問題はない。
- 被験者の意見：滑りがよいことと、急勾配で高齢者には使用時に恐怖感が伴う。今回使用したすべり台は、螺旋状で、3階から連続したすべり台となっており、2階の踊り場で合流するようになっている。踊り場で平らになっているため、いったん姿勢を起こす行動が必要となる他、同時に複数の階で使用すると、この合流部で安全上の問題が生じるおそれがある。
- 操作手順の誤り：特になし。
- 被験者のアンケート結果：操作は単純だが、説明書が判りにくい。

今回の避難器具実験全般について共通することであるが、表1にも示したように既往の研究結果[1]と同様、その設置・降下時間は、個々の被験者に依存しばらつきが大きい。また、複数人の同時使用に制約があることから、単位時間に脱出できる能力としては、たかだか1階層毎分2名程度であり、階数が高くなると処理能力は低下する。つまり、連続して避難を可能とする階段の代替とはなりえなく、能力的には全く別の位置づけになるものと考える必要がある。多くの人が避難経路を絶たれて階段の代わりに使うのではなく、収容人員が多い場合、取り残される人が発生する確率が高くなり、そのうちの少人数を効果的な配置によって脱出支援するという観点から、今後の避難器具の性能的検討が必要であると考えている。

3．消防活動拠点の環境に関する要求性能

3.1　消防支援性能における消防活動拠点の機能的要件

消防活動支援性能において、重要なものの一つと考えられるのは、消防活動を安全かつ効率的に進めていくための消防活動拠点の確保であり、以下に示す2つの機能的要件について実験・過去の文献をもとに検討してきた。ここでは本幹事会で実施した実験を紹介する。

消防活動拠点（前線指揮所）
性能名称：消防活動支援性能
目　　的：火災階への救助、消火活動等消防活動を行う上で安全かつ円滑な消防活動に利用できる拠点の確保
機能的要件：1)安全に一定時間利用できること。
2)活動の支障とならない広さが確保されること。
要求性能（許容状態）：消防隊員の活動の安全性およびが確保されるとともに、活動上の適切な指示が記載されており，しかも安全性が確認されていること。
評価法（検証法）：対象とされる活動人数・想定される活動状況（扉の開閉状態を含む）において、生理的に安全な状態が確保されかつ資機材の運用が支障無くできること。

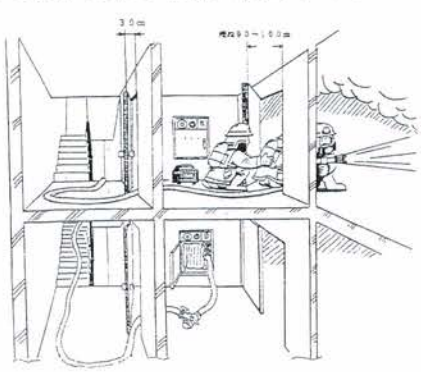


図2　消防隊活動拠点イメージ[2]

評価法構築上の留意点：現行の法規では、付室、非常用EVロビーが活動拠点として想定され、面積、排煙方法について仕様書的に定められているが、拠点としての妥当性という観点からの充分な技術的検討がされている状況ではなく検討課題として残されている。

3.2 消防活動拠点の環境条件に関わる実験

消防活動時には、煙・熱から保護される安全な前進拠点の確保が必要であることは、共通認識となっているが、では、どの程度の環境条件を満足させれば良いのかとなると合意は必ずしも得られていない。この許容値は、使用時の境界条件とともに給排気設備の設計時に不可欠な基本となるものである。本実験では、支配的な要因となってくると考えられる、温熱環境（温度・湿度）および煙濃度の２点について、許容値を検討する上で必要なデータを得るため実験を実施した。

3.2.1 許容温熱環境に係わる実験

(1)実験方法

消防活動時に用いる防火衣、空気呼吸器を装着した被験者が、温度・湿度が予め設定された実験室に１名づつ１５分間滞在し、その間の心拍数変化を連続して計測するとともに、２分毎に体温測定を行った。なお、消防活動時の運動量の影響も考慮するため、実験室に入る前に、自転車エルゴメータ駆動の運動負荷（RMP=5-6(70W 相当)）を 10 分間与えた。この際にも心拍数および体温測定を行った。実験は東京消防庁消防科学研究所の恒温恒湿環境実験室で、以下の２実験を５名の被験者の参加をえて実施した。

設定温湿度　第１実験　35℃　70%　（入室前の環境条件　21℃　40%）
　　第２実験　40℃　60%　（入室前の環境条件　21℃　45%）

これらの環境が消防活動拠点として、15 分以上の比較的長い時間、拠点として適当かどうか、被験者の主観で５つのカテゴリーで判断してもらった。また併せて生理心理的な面からアンケート調査を行った。

環境条件が消防活動拠点として

1.非常に困難である。　2.困難である　3.やや困難である。　4.ほぼ十分である。　5.十分である。

(2) 実験結果と考察

表５に被験者のアンケート結果を示す。第１実験では心理的には”まったく影響なく”、生理的には”やや影響がある”と感じているが、活動拠点としては”特に問題ない”との回答が得られている。一方、第２実験では心理的に”やや影響がある”、生理的には”影響がある”または”やや影響がある”と感じている人が増え、消防活動拠点としては、”困難”、”やや困難”と答えている。

図３は、被験者の恒温恒湿環境実験湿内での静穏時の被験者の体温上昇変化を示している。第１実験では、体温の上昇は比較的少なくかつ安定しているのに対し、第２実験では、一旦体温が低下する人、あるいは滞在時間とともに体温が上昇し安定しない人等、個人差がみられ、こうした結果が”生理的影響がある”との回答に表れているとみることができる。一方、

表５　消防活動拠点としての許容温熱環境に関わる実験後のアンケート結果

1 心理的影響がありましたか。

35℃ 70%	40℃ 70%	
		非常に影響がある
	1	影響がある
1	1	やや影響がある
4	3	影響がない

2 生理的影響がありましたか。

35℃ 70%	40℃ 70%	
		非常に影響がある
	2	影響がある
4	3	やや影響がある
1		影響がない

3 判断力に影響があると思いますか。

35℃ 70%	40℃ 70%	
		非常に影響がある
		影響がある
	1	やや影響がある
5	4	影響がない

4 安全管理上影響があると思いますか。

35℃ 70%	40℃ 70%	
		非常に影響がある
	3	影響がある
3	2	やや影響がある
2		影響がない

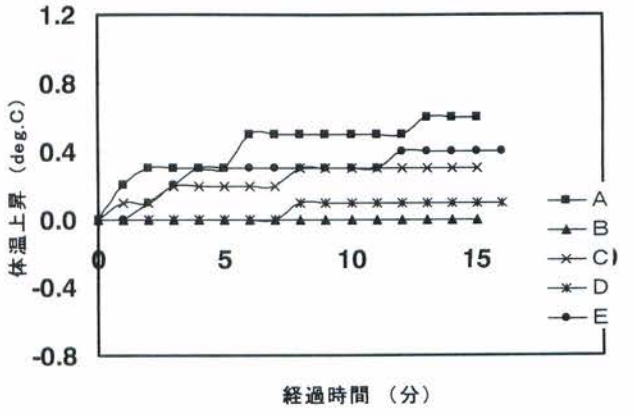
5 活動拠点としてどう思いますか。

35℃ 70%	40℃ 70%	
		非常に困難
	2	困難
	2	やや困難
3	1	普通
2		十分

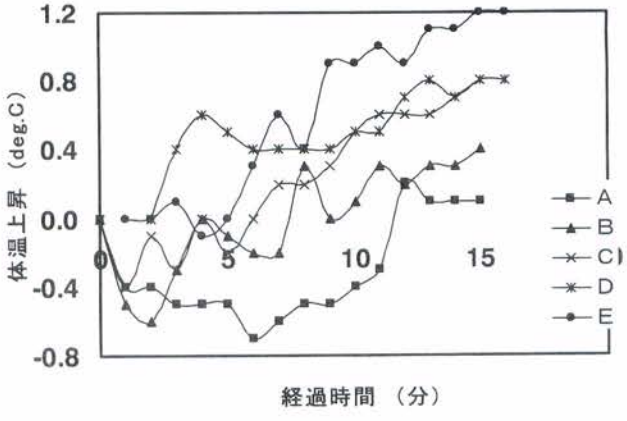
6 その他ご意見がありましたら記入して下さい。

35℃70%の場合
7分後から涼しさを感じ、身体からの発汗が減った感じがした。
湿度が気にかかる。
長時間の待機もなんとか可能レベル
きちんと服を着ているともう少し厚苦しい。

40℃60%の場合
発汗が止まらない。
活動拠点として、この室で作業するには温度が高過ぎる。
入室時服を通じて暑さを感じた。
いったん汗が出れば、後は拠点として使用できるのではないか。
35℃と比較するとかなり暑い。
若干乾燥しているので、発汗での負担感は少ない。
やや頭がぼうっとする感じがある。



第１実験：室温35℃、湿度70%実験時



第２実験：室温40℃、湿度60%実験時

図３　温熱環境実験時の被験者の体温上昇の時間的変化

心拍数に関しては、いずれの場合も静穏化する傾向が認められ、両者に大きな差はなかった。今回行った条件では、湿度の影響に比べ、温度が体温より高いか低いかによる影響が強くでていると考えられる。また、現場での活動経験がある消防隊員の参考意見では、活動拠点としての設定基準として、温度を体温以下に設定すれば、湿度は防火衣内での蒸れできまり、さほど影響はないとの意見もあった。夏期の昼間において、第１実験の条件を満足させることは現実的に困難であるため、外気温度からの上昇温度で設定する方が現実的であるとの議論もある。今後、具体的な許容設定温度環境を設定していく必要はあるが、体温を超えるような場合には、水分補給等、消防隊員の交代等により、熱中症を避けるための手段についても併せて考えていくことが必要である。

3.2.2　許容煙濃度に関する実験

温度と並んで、煙対策が火災時の消防活動拠点として重要である。放水等消防活動上、火災室につながる廊下等の扉の開閉により、多少煙の進入が予想されるため、温度より、煙により環境条件が厳しい条件になるとも考えられる。本実験では、付室、階段室等を消防活動拠点とする場合の消防隊員にとって許容できる煙濃度の環境レベルを実験で調べた。

(1) 実験方法

実験は、消防研究所の煙制御実験廊下で行い、環境条件として煙濃度(減光係数)を　Cs= 0.05, 0.1, 0.15, 0.2　の４段階、計７名の被験者の参加をえて実施した。煙には杉クリブ片を燻焼くさせた刺激臭の白煙を用いた。各条件下で、消防活動拠点として 15 分以上の比較的長い時間滞在するのに適当かどうか、被験者の主観で以下に示す４つのカテゴリーで判断してもらった。またあわせて生理・心理的な面からアンケート調査を行った。

環境条件が消防活動拠点として
1.非常に困難である。　2.困難である
3.ほぼ十分である。　4.十分である。

(2) 実験結果および考察

表６に、各煙濃度の被験者に回答結果を示す。煙濃度が0.2 [1/m]程度の環境状況では、心理的・生理的にも活動拠点とするには”困難”であるとの回答が得られている。煙濃度が薄くなるにつれて、心理・生理的条件は改善されていくが、第１種感知器の作動レベルに相当する0.05程度まで薄まらないと　心理的・生理的に”影響がなく”、活動拠点としては”やや影響がある”というレベルには至らない。この値は、避難時、見透し距離による支障が生ずる煙濃度レベルに比べると非常に低めの閾値となっている。一時的に0.15 程度の煙濃度は許容されるが、長期間の拠点としては、殆ど煙を入れないような対策が拠点の防排煙対策上望まれていることを示唆している。なお、実験中に計算による思考力低下を測ったが、煙濃度0.2程度の範囲内では、有意な差はみられなかった。

表６　許容煙濃度に関する実験アンケート結果

1.心理的影響がありましたか？

煙濃度（Cs）	0.05	0.10	0.15	0.20
非常に影響がある	0	0	0	1
影響がある	0	0	4	4
やや影響がある	5	6	2	1
響がない	2	1	1	1

2.生理的影響がありましたか？

煙濃度（Cs）	0.05	0.10	0.15	0.20
非常に影響がある	0	0	1	3
影響がある	0	0	4	4
やや影響がある	7	1	2	0
影響がない	0	6	0	0

3.判断力に影響があると思いますか？

煙濃度（Cs）	0.05	0.10	0.15	0.20
非常に影響がある	0	0	0	0
影響がある	0	0	4	2
やや影響がある	4	3	1	4
影響がない	3	4	2	1

4.安全管理上影響があると思いますか？

煙濃度（Cs）	0.05	0.10	0.15	0.20
非常に影響がある	0	0	0	4
影響がある	0	2	5	3
やや影響がある	1	5	2	0
影響がない	6	0	0 1	0

5.活動拠点としてどう思いますか？

煙濃度（Cs）	0.05	0.10	0.15	0.20
非常に困難	0	1	1	6
困難	0	2	5	1
やや影響がある	6	4	1	0
影響がない	1	0	0	0

3.2.3　消防活動支援性能面から見た際のバルコニーの有用性に関する実験

脱出および消防活動支援性能を議論する過程の中で、建物の外周に沿って設置されるバルコニーが、建物の防火安全対策上、重要であり未解決の問題も残されており検討の余地があるとの意見がでた。例えば消防活動に関しては具体的にどの程度の奥行き・広さがあれば有効なのかはっきりしない。第5幹事会では、建物内での拠点の広さの検討上参考にもなると考えバルコニーの消防活動上の有用性について基礎データを得るため実験を行った。

(1)実験内容

火災時に消防隊が使う資機材をバルコニーに配置した時、どの程度の活動スペースがあれば有効に消防活動が行えるか明らかにするため、千葉市消防局消防学校の訓練棟3階を利用して実験を行った。実験は、バルコニー幅　6.9mで、奥行きを、0.9,1.2m、1.5mの3ケースについて、「耐火造共同住宅火災で、逃げ遅れが1名ある場合」を想定して以下のシナリオに沿って消防活動を行った。

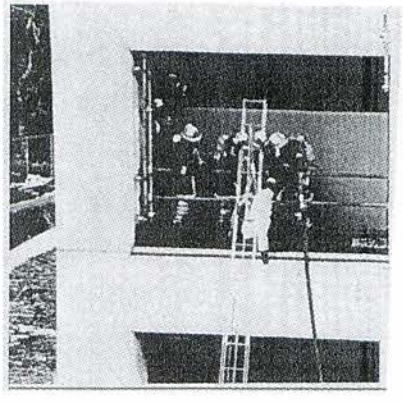


写真５　バルコニーを用いた消防活動実験（救出作業）

『活動開始→三連梯子でバルコニー進入
→建物内部へ進入準備(注水・空気呼吸器)
→逃げ遅れ者をバルコニーから地上へ救出→終了』

結果は、被験者となった消防隊員のアンケートによる回答および安全確認者3名による消防隊の行動容易性のチェックシートへの記載によった。また、バルコニーに消防隊員がロープにより地上にある発動発電機を3階までつりあげる実験を実施し、その難易度も調べられた。

(2)　実験結果と知見

表７には各条件で下での一連の活動に要した時間を示した。表８で示されているように、被験者である消防隊員からの回答では、バルコニー奥行きが0.9mでは、行動の難易度についてのすべての質問に対して”困難”または、”非常に困難”と答えている。奥行き1.2mになると、活動時間も1.5mの場合と同様の25%程度短縮されるが、1.2mの場合、殆どの隊員が”やや困難”と答え、1.5mでは、”普通”または”十分”と回答している。所定の活動に要した時間は、1.2mも、1.5ｍも大差ないが、活動同様に、安全管理者による隊員の行動評価でも、0.9mでは”非常に困難”、１．５mでは”普通”または”十分”との評価がでている。

以上のように、奥行きが0.9m程度では、隊員同士が行き来する際接触し行動が大幅に制約される。1.5m程度の奥行き（約10㎡）は、発電器を使用したりする比較的装備が充実した活動をする上で必要となる。この観点からすると、既存の多くのバルコニーは消防活動時に有効な進入の足がかりにはなるが、拠点として用いるのには要件を十分に満たしていないともいえる。本結果は建物内部における消防活動拠点の必要面積にも言えることであり、非常用エレベータロビーとほぼ同様であれば、最低源の活動拠点となり得ることを示唆している。

表７　消防活動所要時間

実験番号	バルコニーの幅(cm)	バルコニーの奥行(cm)	所用時間	備　考
1	690	90	5分59秒	
2		120	4分35秒	
3		150	4分47秒	ロープが梯子に絡みタイムロス

なお、予備実験において、バルコニーの奥行180cm及び240cmで実施したが、消防活動には支障がなかったため、今回の実験において、最大150cmとして行った。

表８　バルコニーを用いた消防活動の容易性に関する実験のアンケート結果

1.小隊長、１番員、２番員の活動はどうですか。
回答者１名：中隊長

	奥行90cm	奥行120cm	奥行150cm
非常に困難			
困難	1		
やや困難		1	
普通			
十分			1

2.投光器の使用はどうですか。
回答者2名：1番員、２番員

	奥行90cm	奥行120cm	奥行150cm
非常に困難	1		
困難	1		
やや困難			
普通		2	1
十分			1

3.空気呼吸器の使用はどうですか。
回答者3名：小隊長、1番員、２番員

	奥行90cm	奥行120cm	奥行150cm
非常に困難	1		
困難	1		
やや困難	1	3	
普通			1
十分			2

4.ロープの取扱いはどうですか。
回答者２名：1番員、２番員

	奥行90cm	奥行120cm	奥行150cm
非常に困難	1		
困難	1		
やや困難		2	
普通			2
十分			

5.放水器具の使用はどうですか。
回答者１名：小隊長

	奥行90cm	奥行120cm	奥行150cm
非常に困難			
困難	1		
やや困難		1	
普通			1
十分			

５．結語

本文中では、避難・消防活動支援性能に関して平成１２年度中に第５幹事会で実施した実験を紹介した。実験内容が多岐にわたるため、一見すると、盛りだくさんでまとまりがつかないように見られるかもしれないが、実験結果の多くは従来、明らかでなかった事項が多く含まれており、今後の性能論議に貴重な材料が多々含まれている。

例えば、消防活動拠点としての必要な性能は概ね判っているが、評価するための閾値（例えば設定温度・煙濃度や、面積）等については判然としなかった。しかしながら今回の実験を通じ概ね判断となるレベルの程度が明らかになってきた。また、既設の避難器具を実際に使用して、課題となる事項が明らかになるとともに、本来、持つ機能が明らかになり、より合理的な位置づけができるようになったとも考えている。実験直後、避難器具の設置の成功率が低くて避難器具は役に立たないのではないのかと危惧する向きも多かったが、一度の説明で設置の成功率が際だって改善されるということに見られるように、平常時の管理・訓練が重要であり、それが確保されれば、今後とも非常時の脱出支援性能が確保され得ることが共通認識として得られたことは意義深かったと考えている。また、階段の代替として位置付けとは違ったより適切な利用目的のもと、合理的な配置・数量についての検討に向けて一歩踏み出すことができたと考えている。

今回行った一連の実験は、今後の性能規定化の設定レベル等を規定するものではなく、性能規定のスケルトンを作る上での材料の一つであると考えており、性能規定化にあたっては、多くの関係者の方々の意見、あるいは経験を幅広く取り入れていくことが必要であると考えている。

なお、本文中には紙面の都合で割愛したが、バルコニーを経由した避難において従来データが得られていなかった住戸間の隔壁についての実験も実施した。その概要は、別途文献3)を参照していただければ幸いである。

謝辞：最後に、今回の実験に多大なご協力頂いた東京消防庁、千葉市消防局、川崎市消防局をはじめ(財)消防設備安全センター等関係諸機関には謝意を表したい。また本実験は、消防庁「総合防火安全対策手法の開発調査委員会（通称消防総プロ）」の第５幹事会幹事全員の協力により計画され実施されたものである点明記したい。

参考文献

1) 堀内他、「避難器具の避難容量、性能評価および避難計画における位置づけについて」，火災 Vol.28,No.1 (112) pp.22-29、(1978)
2) 東京消防庁「大規模建築物及び特異建築物等の消防防災対策に関する調査研究報告書（高層・深層建築物における排煙設備のあり方）」p.130 平成１１年３月より引用
3) 小林、山田、神、中浜、「避難経路確保のための連続バルコニー仕切板の破壊に関する実験研究」建築学会大会学術講演梗概集（計画系）、(2001)

連絡先

三鷹市中原三丁目１４番１号 独立行政法人消防研究所
プロジェクト研究部 第５プロジェクトリーダ
TEL/FAX (0422)44-8352 E-MAIL:tyamada@fri.go.jp

消　防　研　究　所

平成１４年１月２２日

消防防災研究講演会アンケート

今後の消防防災研究講演会企画の参考のため、ご協力をお願いします。

1. ご職業は何ですか？（いずれかを○で囲んでください）

消防関係機関職員・消防関係機関以外の公務員・大学等教職員・
民間企業（業種：　　）・
その他（　　）

2. 消防防災研究講演会へ参加した感想をお書きください。（いずれかを○で囲んでください）

有意義であった・どちらともいえない・有意義でなかった

（感想または理由　：　　）

3. 消防研究所が行っている研究項目もしくは消防防災に関するの分野の中で、どのような講演の企画を希望しますか？

（　　）

4. 消防防災研究講演会を何で知りましたか？（いずれかを○で囲んでください）

消防研究所ホームページ・前回参加したから・
機関誌（誌名：　　）・
その他（　　）

5. その他の意見、感想などをお書きください。

（　　）