

リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法に関する研究

平成 24 年

道越 由華

## 目次

### 第1章 序論

1.1	はじめに	1-1
1.2	避難検証法の現状	1-1
1.3	居室避難安全検証における技術的課題	1-4
1.4	既往の研究	1-5
1.5	本研究の目的と本評価法の基本フレーム	1-9
1.6	本論文の構成	1-12
1.7	用語の定義	1-15

### 第2章 リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法の基本フレーム

2.1	はじめに	2-1
2.2	本評価法の基本概念	2-1
2.3	本評価法の枠組み	2-3
2.4	設計火災シナリオ	2-4
2.5	設計火源	2-6
2.6	検証免除および簡易検証	2-10
2.7	詳細検証	2-12
2.8	まとめ	2-14

### 第3章 統計的分析に基づく許容避難リスク

3.1	はじめに	3-1
3.2	統計データによる避難リスク	3-1
3.3	統計データの概要	3-1
3.4	成長火災の出火率	3-2
3.5	成長火災1件あたりの死傷者数	3-6
3.6	避難リスク	3-11
3.7	設計許容避難リスクに関する検討	3-13
3.8	まとめ	3-19

<b>第4章 防火対策の作動信頼性と効果の定義</b>	
4.1 はじめに	4-1
4.2 本評価法で対象とする防火対策と検討方法	4-1
4.3 スプリンクラー設備の作動信頼性と設計火源	4-3
4.4 排煙設備の作動信頼性	4-30
4.5 防火シャッター・防火扉の作動信頼性	4-31
4.6 まとめ	4-34
<b>第5章 リスク概念に基づく居室避難の「検証免除」手法</b>	
5.1 はじめに	5-1
5.2 「検証免除」の基本概念	5-1
5.3 「検証免除」の基準面積 $A_{sc}$ の算出方法	5-2
5.4 まとめ	5-7
<b>第6章 スプリンクラー設備が無設置の場合の居室避難の「簡易検証」手法</b>	
6.1 はじめに	6-1
6.2 基本概念	6-1
6.3 限界歩行距離および必要出口幅の算出方法	6-4
6.4 限界歩行距離および必要出口幅の算出式および入力条件が与える影響	6-16
6.5 限界歩行距離および必要出口幅による他の基準値との比較	6-20
6.6 まとめ	6-23
<b>第7章 スプリンクラー設備が設置された場合の居室避難の「簡易検証」手法</b>	
7.1 はじめに	7-1
7.2 基本概念	7-1
7.3 限界歩行距離および必要出口幅の算出方法	7-2
7.4 限界歩行距離および必要出口幅の算出式および入力条件が与える影響	7-12
7.5 スプリンクラー設備設置室の限界歩行距離および必要出口幅のまとめ	7-18
7.6 ルート C 評価で設計された居室の歩行距離および扉幅との比較	7-21
7.7 まとめ	7-31
<b>第8章 居室避難安全検証のケーススタディ</b>	
8.1 はじめに	8-1

8.2	居室避難検証の概要	8-1
8.3	ケーススタディ	8-4
8.4	まとめ	8-13

## 第9章 総括

### 発表論文リスト

### 謝辞

### 参考資料

## 第1章 序論

### 1.1 はじめに

現在の多様化する建築物へ対応するために、2000年の建築基準法改正で防火規定の一部に性能規定が導入された。避難安全性に関しては、建築基準法施行令第129条の2および同第129条の2の2で階避難、全館避難に関して建築物の避難安全に関する性能が定義され、性能的手法に基づく避難安全検証法<sup>1)</sup>(以降、避難検証法という)が平成12年建設省告示第1441号、1442号として導入された。このような性能的手法によれば、従来の仕様のな基準に縛られず、自由度の高い設計を行うことが可能となる。

性能的手法が法規制に取り入れられたのは非常に望ましいことであるが、現行の避難検証法の問題点として次のようなことがあげられる。初めに、仕様規定との不整合である。仕様規定では規模の大きな空間の規制を厳しくするなど、経験的ながら火災リスクに対する考慮が働いていたが、現行の避難検証法では火災リスクの観点の欠如していると考えられ、火災リスクの点では些末な対象である小規模居室において評価が厳しくなる傾向がみられる。次に、検証で考慮する設備の作動信頼性をスプリンクラー設備0%、排煙設備、防火扉・防火シャッター100%とアンバランス、かつ、決定論的に扱っている問題がある。100%作動すると設定した防火対策が不奏功になった場合のフェイルセーフの考え方が欠如し、防火対策の技術開発を不活性化する恐れがある。さらには、検証作業において、労力がかかる部分と避難安全上重要な部分に不整合が生じている問題があげられる。居室、階、全館では出火率、避難対象者に格段の差があり、また過去の火災事例を鑑みても階、全館避難に関わる避難施設の重要性は高い。しかし、現在の避難検証法では居室内の間仕切りを考慮した検証に対応するため、居室避難の検証に多大の労力と時間が費やされ、評価の重点が完全に逆転しており階避難、全館避難の検証に対して注力できていない状況にある。

火災リスクを考慮すれば階避難、全館避難は現在より綿密な安全検証が求められる反面、居室避難については簡易化することが可能と考えられる。階避難、全館避難の検証方法については引き続き検討が必要だが、本研究ではリスク概念に基づき、適切に防火対策の効果や居室の火災危険度を考慮し、避難リスクの小さい室の検証を簡便に行うことが可能な居室避難安全評価手法の検討を行う。

### 1.2 避難検証法の現状

#### (1) 仕様規定との整合性

従来の仕様規定では、大規模な建築物や出火危険性の高い部分ほど基準を厳しくするなど、明示的でないながらも極めて経験的に火災リスクの考えが反映されている。しかし、現在の決定論的な避難検証法にはこのような重要な火災リスクへの配慮がなされず、建物の規模や出火危険性に関わらず可燃物密度と内装材料のグレードに応じた同一の設計火源の下で同一のクライテリア（「避難完了時間 $\leq$ 煙降下時間」）を満足すれば安全と見なされる設計法となっているため、小規模な居室での評価が厳しくなるなど、従来の仕様規定とのギャップあるいは逆転が生じている。

## (2) 設備的対策の扱い

現行の居室避難検証法では、排煙設備、防火扉、防火シャッターの作動は確実に行われるとした条件をもとに、評価の対象となる建築物が安全上の基準を満足するかどうかを判断する決定論的手法が用いられている。決定論的手法では想定した条件が想定される全ての事象の中でどの程度の影響度を持つかが不明である。また想定した条件によって評価結果が異なる可能性がある。

逆に、火災初期の火災抑制効果が高いとされるスプリンクラー設備は評価に考慮されていない。排煙設備や防火シャッターが効果的に機能しない場合への一定の配慮がなされる一方で、現在の避難安全検証では考慮されていないスプリンクラー設備の評価が可能となれば、設置コストに見合った設計の自由度が設計段階で得られ、設計者も現在よりも防火対策の実施に積極的になると考えられる。

## (3) 避難検証法の居室避難の作業量と適用状況

防火対策の合理化や設計の自由度を目的として、避難検証法は現在までに多くの建築物に適用されている<sup>2),3)</sup>。避難検証法には階避難と全館避難があり、階避難検証法では避難施設、排煙設備、内装制限等、全館避難検証法では上記に加え防火区画、物販店舗の階段幅等の規定の一部が適用されず、より多様な計画が可能となる。これらの避難検証法については平成12年建設省告示第1441号、1442号に示されており、階避難では居室、階の2段階に分け、全館の避難検証法では、居室、階に加え全館の避難安全性を確認する。当然のことながら、全館避難検証は階避難検証と比較して、評価対象階が多くなるため作業量が非常に多くなる。例えば、40階建の事務所ビルの基準階に居室数が100以上あれば、建物全体では居室数が4000室以上となる。仕様規定では規模の小さな室には既定の除外項目を設けるなどの措置が取られているが、現行の避難検証法は居室避難検証において、火災リスクが小さいと思われる極小規模な居室や避難者が少ない用途も含めて全ての室の検証を行う必要がある。そのため、上記の4000室の例のような場合では、避難安全上危険性の低い小規模居室の検証作業に時間を費やし、避難上重要な廊下や階段の設計が疎かになる可能性がある。

国土交通省では階避難、全館避難の大臣認定取得した建築物を公表している<sup>4)</sup>。認定を受けた構造方法等の名称が同じ建築物を変更申請（以降、変更）と判断し、新規と変更別に件数を集計した結果を図 1.1 に示す。新規の認定件数をみると、2000 年の性能規定の導入から 2003 年までは認定件数が急激に増加し、2005 年から 2008 年までは年間約 50 件で定常状態で推移し、2009 年から減少傾向がみられる。2010 年の新規件数は半数以下になっている。一方、変更件数は 2008 年に急増し、2008 年以降は新規の件数を上回っている。認定回数をみると、変更申請は半数以上で行われており、一番多いもので 11 回の変更申請を提出しているものがあつた。これは、2007 年の改正建築基準法による審査の厳格化により、建築物が竣工するまでの間の設計変更に従って必要となる変更申請が多く行われていることが関係していると思われる。このように、認定業務は近年変更申請対応に労力が費やされていることがわかる。現行の避難検証法は基本的に図面との整合性を問うので、居室のような間仕切り変更が多い場合は、その都度検証を行う必要があり非常に過大な作業量を強いられる。また、図 1.1 をみると、全館避難件数は認定取得件数の約 8 割を占めており、認定 1 件の作業量が多いことが読みとれる。防火設計者へのアンケート調査<sup>5)</sup>では、「設計手間のかからない仕様規定の方が経済的である」などの作業量や手間の多さに関する多くの問題点が寄せられており、作業量や申請対応の煩雑さは性能的手法に基づく設計の普及の障害となっている。この問題は国土交通省建築指導課でも認識されており、「あらかじめの検証」により検証の範囲を定めておき、変更がその範囲に収まっていれば改めて大臣認定を取り直す必要がないよう考えられている。しかし、どのような変更が生ずるかの予測が難しいため、広く変更内容を取り込むためのルールが複雑化する傾向があり、また、それでもなお「あらかじめの検証」範囲を外れる計画もあつて成功しているとは言い難い。

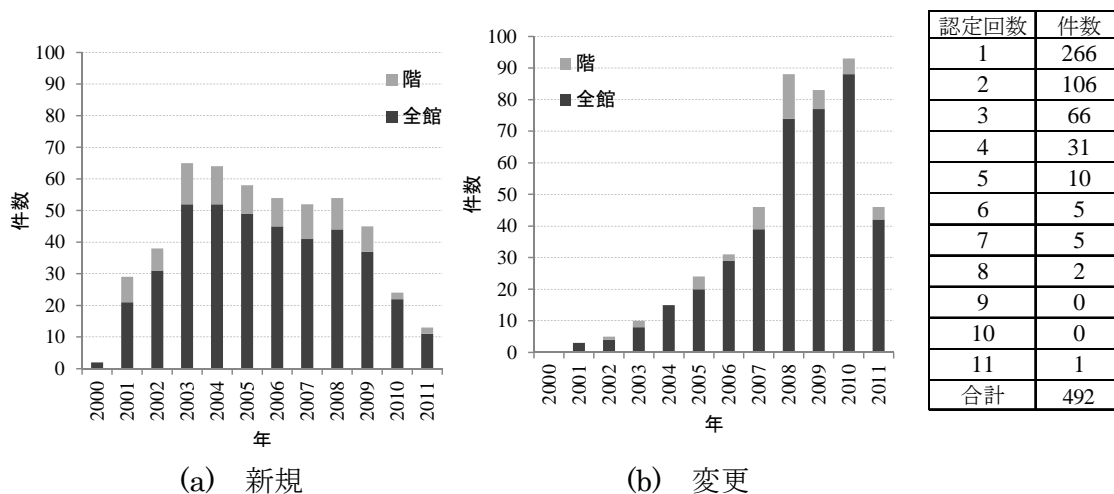


図 1.1 大臣認定取得件数<sup>4)</sup>（制度開始から 2011 年 8 月 18 日までの件数）

### 1.3 居室避難安全検証における技術的課題

上記は避難検証法の問題点の一部であるが、これらの問題点を解決することを目標として、リスクの概念を取り入れた避難安全設計法（以降、リスク避難安全設計法）の検討が行われている<sup>6)~14)</sup>。本研究では上記の避難検証法における問題点を改善するために、リスク避難安全設計法の枠組みを利用した居室避難安全評価手法の構築が有効であると考えられる。居室避難安全検証における技術的課題を以下に示す。

#### (1) 建築物の用途や規模に応じた火災リスクを考慮した避難安全性評価

規模の大きな空間では火災発生時に多数の在館者が被害にあう可能性があり、また、用途により出火率も異なる。仕様規定では過去の火災事例を教訓に規模や空間の火災危険度に応じて防火対策が強化されてきた。このように仕様規定は長年に渡って培われた知見が凝縮された結果であるため、仕様規定の火災危険度に応じた規制など仕様規定の水準の必要な部分を踏襲する必要がある。よって、現行の仕様規定に準拠し設計された建築物の火災リスクを明確化し、これらの規模や出火率の違いを考慮可能な火災リスクの概念に基づいた居室避難安全評価手法の構築が必要である。

#### (2) スプリンクラー設備等の防火対策の作動信頼性を考慮した避難安全性評価

建築物の火災時の避難安全性は、1つの火災安全対策のみで達成するものではなく、スプリンクラー設備や排煙設備等の設備的な対策、避難階段の容量や避難施設に至るまでの歩行距離の制限等の建築的対策、公的消防の消火・救助など、複数の対策の組合せで確保されている。防火設備（防火戸）や排煙設備等の設備的対策は、火災拡大や煙伝播防止を図るために設けられるが、いずれも100%の信頼性を有するものではなく、これらが正常に機能するか否かは避難安全性に大きな影響を与える。これらを評価上100%の効果があるとして決定論的に扱うと失敗した場合致命的な結果を導く恐れがある。逆に、現行の性能評価ではスプリンクラー設備の効果を見込むことはできず、スプリンクラー設備の効果を適正に評価に考慮する必要がある。建築物の性能的避難安全評価は、設計火源を用いて避難経路の各部分の安全性が確保されていることを確認するが、合わせて設備的対策の作動信頼性を考慮した設計火災シナリオの設定が必要である。

#### (3) 居室避難検証の省力化

現行の居室避難検証法では、出火の恐れのある全ての室を対象として、火災リスクの大きさに関わらず、同じ労力をかけて検証を実施する。火災リスク、すなわち出火率と火災による潜在的な死傷者数の大きさを考えると、階避難や全館避難の検証に注



力する必要がある。このため、居室避難の検証においては、火災リスクの小さい室の検証省略や簡易な条件をチェックするのみの簡易検証法により、居室避難の詳細検証を必要とする居室数を減らし、居室避難検証の省力化を図る手法の構築が必要である。

## 1.4 既往の研究

リスク概念に基づいた居室避難安全評価法を構築するためには、火災シナリオに基づく評価手法の構築、許容レベルの設定、リスク概念に基づいた火災規模（設計火源）の決定、スプリンクラー設備の奏功率の設定、その設計火源の下でスプリンクラー設備の効果を考慮し在館者避難を完了するまでの間、避難経路の各部分の煙が避難上支障ないことを簡易に検証するための手法の構築が不可欠である。関連する既往研究を以下に示す。

### 1.4.1 避難安全設計法に関わる研究

#### (1) 決定論的な避難安全設計法

建築物の大規模化、複合化に伴い、建築基準法の防火規定は仕様規定で不合理が生じるものが増加した。このような背景のもとに、建設省総合技術開発「建築物の総合防火設計法の開発」（通称：総合防火設計法）<sup>15)</sup>は、建築基準法の制度の中で運用されることを想定し、仕様書的防火規定に代わる性能的な防火設計法を開発する目的で1982年から5年間に亘って実施された。総合防火設計法は建築学会の防火委員会に作業が受け継がれ、建築物の火災安全設計指針<sup>16)</sup>が作られた。総合防火設計法は、仕様規定によるものと同等の安全性があると認められたものには規定を適用しないことを大臣が認定する建築基準法旧第38条（以降、旧第38条）の制度に基づき多くの建築物に利用された。総合防火設計法を用いた性能評価では、空間の避難安全性を確保するための設備的対策を考慮した火災シナリオを設計者が想定しながら評価を実施していた。また、吹抜けの区画緩和など防火シャッターが数か所不動作な場合のシナリオを考慮するなど、複数の火災シナリオによる評価も行われていた。しかし、設備的対策の考慮の方法は確立されておらず、設備の作動信頼性は評価委員により異なるなど、想定条件の一貫性に欠ける部分があった。

また、旧第38条では、仕様規定に抵触する項目の性能的な評価に加え、防災計画指針に基づく避難計算<sup>17)</sup>（以降、指針法）による確認が必要となる。指針法の目的の一つは設計者に経路上の過度の滞留発生等、避難動線について意識させることにあり、防火対策や想定火源は明示しないが、居室面積や避難経路までの歩行距離等の空間的な条件から避難のし易さを評価する。設計者にとって比較的わかりやすい手法である。

次に、2000年には改正建築基準法が施行され、避難関連規定（建築基準法施行令第129条の2および同第129条の2の2）に性能規定が導入された。性能を確認す

る方法については、平成12年建設省告示第1441号、1442号で定められた避難検証法を用いる方法（ルートB）と高度な検証法を用いて国土交通大臣の認定を受ける方法（ルートC）がある。ルートBは告示で定められた設定条件や計算式を用いて評価を行うため、専門知識を持たない設計者でも検証を行うことが可能な設計手法である。建築物の避難安全性を性能的に評価することで、歩行距離の上限や排煙設備の容量等を仕様の基準にとらわれず設計することを可能としている。しかし、火災時の避難行動や煙の性状に関連する空間の条件は評価結果に関係するため、空間条件の拾い出しや検証に用いた条件の確認作業などに労力を要する。また、現状の検証においては、建築基準法で規定がなされる防火対策（防火設備、排煙設備）については確実に作動するとして評価を行っているが、対策の作動信頼性の扱いが明確になっていないため、火災覚知システム等の新しい対策やスプリンクラー設備の効果を評価法に導入することは容易ではない。防火対策を付加したことによる安全性能の向上が評価に反映されないことは、設計者、建物オーナーの安全性向上の意識の低下を招く恐れがある。

## (2)信頼性を考慮した火災危険度の評価法

避難検証法を始めとする現在存在する性能的火災安全設計では、基本的に1つの火災シナリオに従って避難者が煙による危険に対して支障がなく避難可能なことを確認するが、実際は防火対策の作動の有無などにより複数の火災のパターンが存在する。

このような複数の火災シナリオを評価する設計法の試みとして、志田らは建築物の危険度を定量化することを目的として「各空間で滞在時間当たり火災により死亡する回数」を危険度と定義し、機器類と人間側の対応の時間経過を考慮したイベントツリーを作成し、各シナリオに基づいて煙性状予測、避難行動予測を行い、危険度を算定する手法を提案している<sup>18)</sup>。掛川も同様に火災シナリオに基づき、火災時の様々な不確定要因を考慮した避難安全評価手法の提案を行っている<sup>19)</sup>。これらの手法により、防火対策を設置した場合としていない場合の効果や平面計画の比較を定量的に比較することが可能となる。

しかし、これらの評価手法は全てのシナリオについて避難安全性を評価するため作業量が膨大になる。実務においてはできるだけ簡易に検証ができる方が望ましいため、妥当性のあるシナリオの選定方法が必要となる。また、これらのリスク評価手法では設計火源は可燃物種類により決定され、評価する居室の規模が考慮されないため、小規模居室の評価が厳しくなる可能性がある。また、算出されたリスクによりプランや防火対策の有効性を相対比較することが可能となるが、リスクがゼロではないことが一般の利用者に受容されにくい問題がある。

### 1.4.2 火災統計等を利用した設計許容避難リスクに関わる研究

リスク評価を行うためには基準とする許容値が必要となる。許容値は事象の種類や

時代背景などによって左右され、主観的な考えも入ることから許容値の決定は困難が存在する。

Starr は経年に従って危険度が収束したレベルを受認限界であると提案した<sup>20)</sup>。また、これと同じ考えで辻本は建築物の用途別（住宅、病院、旅館・ホテル）に火災死亡率の1970年～2000年の経年変化を統計データから明らかにし、調査した30年間で住宅などの私的空間は殆ど変化がないのに対し、病院や旅館・ホテルの公共空間は火災死亡率が1970年では住宅よりも高いのに対し、2000年では住宅よりも低くなることを明らかにしている。特に病院ではゼロに近いリスクが求められ、生活が豊かになるにつれて公共空間では低い死亡リスクが要求されるようになっていると報告している<sup>21)</sup>。また、火災などの災害では死亡リスクの減少が激しいものの方が人々に危険と認識されていることも報告している<sup>22)</sup>。

これらのような統計データを用いた研究は非常に貴重であるが、分析が行われた時期が古いものが多い。近年は情報開示の観点から今まで未公開であった統計データが利用できるようになるなど、利用可能な統計データが増えている。よって、近年のデータを利用しての再分析や、今まで仮定条件で設定されていた項目に対して統計データを用いた分析を行う必要がある。また、既報は小火を含んだ出火率を扱っているものが多いが、避難安全設計では小火は考慮しないため、成長した火災を対象として統計データを分析する必要がある。

#### 1.4.3 設計火源に関わる研究

建築火災時の避難安全評価の一般的な方法は、在館者の避難が完了するまでの間、火災により発生した煙が避難安全上支障ある状態にならないことを確認するものである。この煙性状の予測は設計火源に基づいて行われるため、設計火源の設定如何で評価空間の安全性は大きく異なることとなる。

建築基準法旧第38条大臣特認で避難安全性能評価を実施していた時期は、総合防火設計法に基づき、発熱速度の経時変化を3タイプに分類した設計火源によって、煙流動予測を実施していた。その設計火源はゴミ箱を想定した火源（最大発熱速度1,000kW）、ソファの燃焼を想定した火源（最大発熱速度3,000kW）、山積みの衣類の燃焼を想定した火源（最大発熱速度25,000kW）である。

2000年以降は旧第38条が廃止され、性能評価においては基本的に避難検証法で設定されている建築物の用途に基づく可燃物量に基づく火災成長率を利用して検証が行われている。一方で、避難の性能規定の高度な検証法（ルートC）を用いる方法においては、告示で規定されている設計火源によらず、実験や解析で求められた設計火源を評価に適用することが可能とされている。空間の使用実態に見合った合理的な火源設定を目指し、掛川らは事務室用途の代表的な可燃物レイアウト（主な可燃物は机、

椅子、書類) を可燃物調査により設定し、燃焼実験<sup>23)</sup>を行った結果、火災成長率  $\alpha$  が 0.011~0.017kW/s<sup>2</sup> という結果を得ている。また、総務省消防庁では、掛川らの実験と同様の執務空間の可燃物を対象とした燃焼実験に加えて、応接椅子、書類の詰まった段ボール箱、コピー機を加えた可燃物レイアウトを想定した燃焼実験を行い、 $\alpha=0.0139$  kW/s<sup>2</sup> (机、椅子) ~0.701 kW/s<sup>2</sup> (ソファ、椅子、段ボール) という結果を得ている。また、同時に物販店舗の可燃物レイアウトを想定した燃焼実験<sup>24)</sup>では、 $\alpha=0.0776$ ~0.421 kW/s<sup>2</sup> という結果を得ている。

現行の避難検証法ではスプリンクラー設備を考慮できず、スプリンクラー設備が作動した場合の設計火源は用意されていない。スプリンクラー設備は火災初期の抑制効果が高く、この効果を避難安全性に反映させるための試みとして掛川らは先に示した事務所の執務机周辺の可燃物レイアウトに対する燃焼実験でスプリンクラー設備を散水させ、発熱速度の抑制効果を把握する実験を実施している。この実験によりスプリンクラー設備の散水により、散水がない場合のピーク時の発熱速度と比較して、最大発熱速度は削減され、作動時の発熱速度よりも低下することが確認された。また、机の下などの散水量が少なくなるところや近年のパソコン等のプラスチック系材料が使用された可燃物では溶解した樹脂がプール火災のように燃焼を継続するので完全に消火できないことが報告された。同様に、総務省消防庁でも事務所可燃物などを対象にスプリンクラー設備を散水させた燃焼実験を実施している。この2つの実験はスプリンクラー設備を散水させ、酸素消費法により発熱速度を測定する数少ない貴重な実験である。

また、建築学会防火委員会火災安全設計小委員会では、可燃物の燃焼拡大に関するデータベースを構築することを目標とし、論文発表されたデータを収集し、可燃物の形状や種類、発熱速度のデータなどをまとめる取り組みを実施している<sup>25)</sup>。

なお、実験において代表的な可燃物レイアウトに対して火災成長率  $\alpha$  を実験的に求めているが、火災成長率  $\alpha$  は同じ用途でも材質や着火位置の違いにより異なるため、このような条件のばらつきによる火災成長率  $\alpha$  の分布を考慮することはできない。

#### 1.4.4 スプリンクラー設備の作動信頼性に関する研究

スプリンクラー設備はヘッドの感熱部が規格温度に達した場合に溶融し自動的に散水されるので、人為的な判断を介さず、また感知器と比較して誤作動も非常に少ない非常に信頼性の高い設備として知られている。過去には、百貨店や病院での大きな火災の多発に伴い、スプリンクラー設備の設置が強化されるなどの対応がとられてきた。このように、スプリンクラー設備は火災死亡リスクの高かった病院のリスクを低減する<sup>26)</sup>など、火災被害を軽減する効果の高い設備である。スプリンクラー設備の効果を評価に導入するためには、スプリンクラー設備の作動信頼性に関する統計データ

が必要となる。このスプリンクラー設備の作動信頼性を推定するための方法には、大きくわけて過去の火災事例に基づく調査と日常時の定期点検に基づく調査がある。

過去の火災事例に基づく分析では米国の NFPA の調査がある<sup>26)</sup>。米国ではスプリンクラー設備が保険料の支払いとも関係するため、古くからスプリンクラー設備の作動信頼性に関する火災事例をもとにした統計調査が積極的に行われてきた<sup>26)</sup>。

一方、機器の定期点検データを利用し、故障発生部位、個数の集計により故障率を算出する別のアプローチでは、掛川らが都内の 3652 施設のデータを利用し、スプリンクラー設備の重大な故障率を算出し、スプリンクラー設備の作動率を算出している<sup>27)</sup>。

上記のような作動率算出に関するいくつかの研究があるが、作動に関わる確率として、奏効率、作動率があり、その定義は統一されていない。避難安全設計に利用するための定義を明確化し、作動に関わる確率を設定する必要がある。

## 1.5 本研究の目的と本評価法の基本フレーム

本論文は、1.2 節にあげた現行の避難検証法の問題点を解決するための、火災シナリオを利用したリスクの概念に基づく居室の避難安全評価手法を提案することを目的とし、以下の 6 つの内容に関する検討を行う。これらの検討により、空間の危険度に応じた設計が可能となるため、従来 of 経験的に火災リスクの概念を取り入れていた仕様規定との整合性を図ることが可能となる。また、今まで考慮されていなかったスプリンクラー設備の信頼性に基づいたイベントツリーにより、避難システムの信頼性を考えつつ評価を行うことが可能となる。さらに、3 段階の検証システムにより、居室避難検証の省力化を図ることが可能となる。

- (1) リスクの概念に基づく居室避難検証の枠組みの検討
- (2) 統計データに基づく設計許容避難リスクの算出
- (3) スプリンクラー設備の作動信頼性と火源シナリオの定義
- (4) 避難リスクが許容避難リスク以下となる居室面積の算出 (検証免除)
- (5) 煙に曝されずに避難可能な居室条件の算出 (簡易検証)
- (6) 実務的適用性の検討

本評価法の基本フレームを図 1.2 に示す。なお、本評価法に関する詳細は次章以降で説明を行う。

本評価法が基本としている概念は図 1.2 の頂点に示すように、当該居室の避難リスクを許容避難リスク以下に抑えることである。許容避難リスクは実態に即した値とするた

めに統計データの標準建物における避難リスクを基準とし、各用途の出火率で基準化することにより、各用途の設計許容避難リスクを算出する。そして、設備的対策の避難安全確保に関わる効果を適切に評価するために、設備的対策の成否に基づく火災シナリオを用いる。許容避難リスクを各シナリオに分配し、各火災シナリオの評価を行う。各シナリオに分配した許容避難リスクをもとに、あるシナリオにおける避難不能者は火災成長率の関数であると仮定し、安全側に（ある限界火災成長率を超えると避難不能者＝在館者とする）設計火災成長率を算出する。この設計火災成長率をもとに安全検証を行えば避難リスクが許容避難リスク以下であることが安全側に検証できることになる。以上が本評価法の基本部分である。

また、実験等により煙性状や避難性状予測に関する工学的知見の蓄積が進み、それらの知見の性能評価への適用によって、より実態に近い評価を行うことが可能である。しかし、設計法は難解な条件設定で現実に近づけた評価を行うことが必ずしも重要ではなく、安全側の条件設定を用いた上で適切に検証の簡易化を図ることが重要である。そこで、本評価法の居室避難検証においても作業の省力化を図るために、「検証免除」「簡易検証」「詳細検証」の3段階の検証方法で検証する仕組みとしている。「検証免除」の条件に満たない空間は「簡易検証」を行い、「簡易検証」の条件に満たない空間は「詳細検証」により検証を行う。「検証免除」は居室面積、「簡易検証」は歩行距離、出口幅で簡易に検証を可能としている。「簡易検証」は煙に曝されずに避難可能な限界歩行距離と必要出口幅を煙性状と避難性状の簡易予測式を用いることにより算出した値と比較することにより行う。これらの値を満足していれば、居室の避難リスクが許容避難リスク以下であるのと同様であると考えられる。「詳細検証」は設備的対策の作動信頼性に基づいた火災シナリオを用いる評価を行い、設計火災成長率  $\alpha_D$  に基づいて煙に曝されずに避難可能かどうかを一般の避難安全評価と同様に決定論的に安全検証を行うものである。「検証免除」「簡易検証」「詳細検証」はいずれも目標基準に基づき構築されているので、検証が成立する場合には避難リスクが許容避難リスク以下であることが確認されたことになる。

本居室避難検証システムは、統計データに基づき各用途の火災危険度を適正に組み込んだ設計火源を用い、安全側の条件設定で適正な簡易化を行った2つの検証手法を用い居室避難検証の省力化を図ったことを特徴としている。

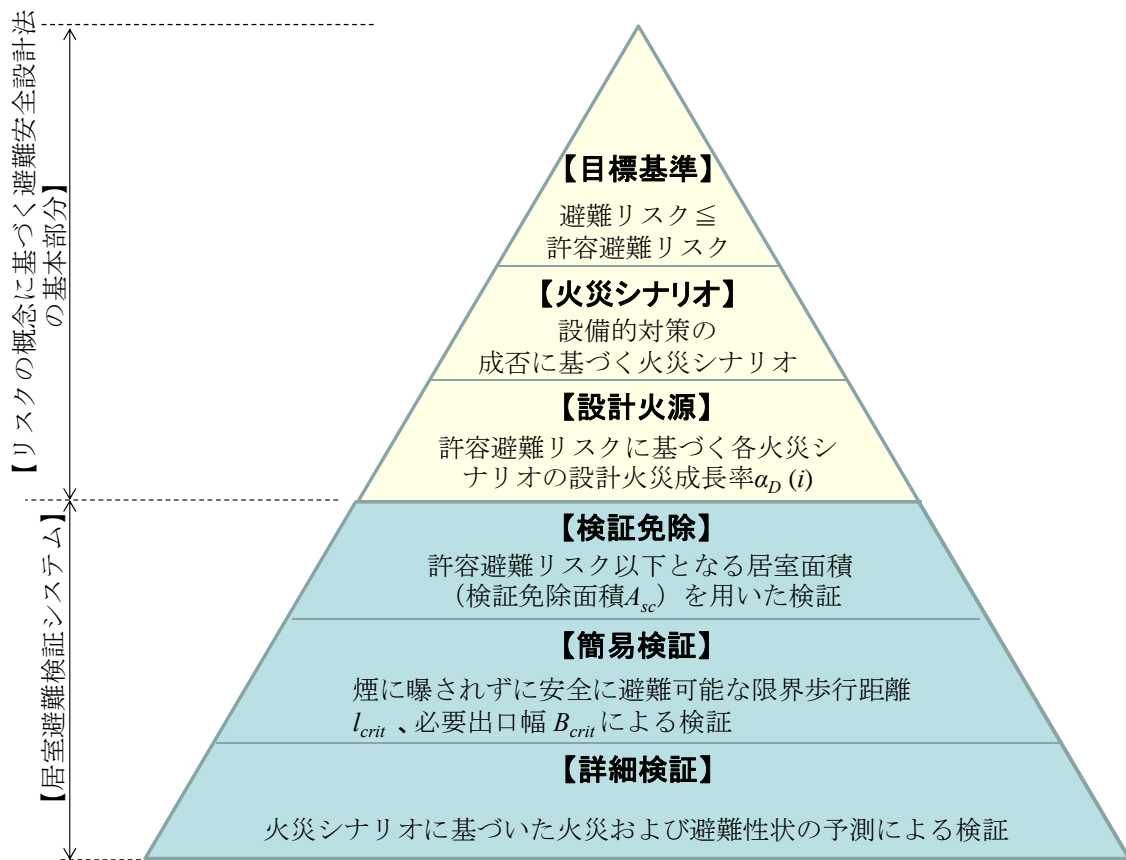


図 1.2 本評価法の基本フレーム

## 1.6 本論文の構成

本論文の構成を図 1.3 に示す。本論文は 9 章からなり、第 1 章は研究の背景、目的、本研究に関わる既往の研究及び本研究の概略、また第 9 章は総括である。図 1.3 では、本論文の主要部である第 2 章から第 8 章までの関わりを示している。

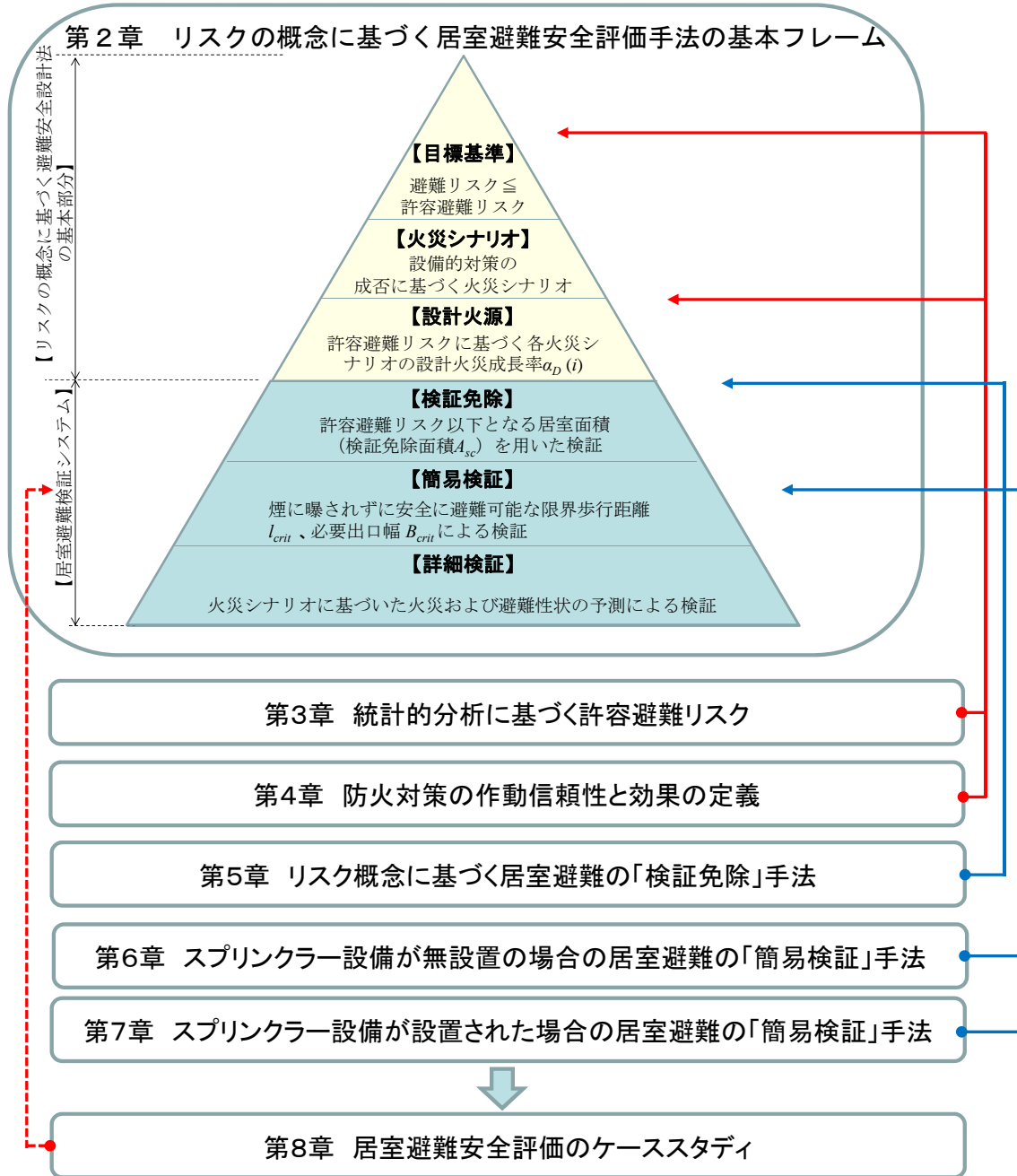


図 1.3 本論文の構成



第2章は、リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法の枠組みについて述べ、第3章、第4章では、本評価手法に適用するための設計許容避難リスクおよびスプリンクラー設備の作動信頼性を統計データに基づいて検討する。設計許容避難リスクは本評価手法での設計目標となり、スプリンクラー設備の作動信頼性は火災シナリオの生起確率の計算に利用する。第5章～第7章は、居室避難検証の省力化を図るための検証手法に関わる章であり、第5章は居室の避難リスクが許容避難リスク以下となる居室面積の基準値で検証を行う「検証免除」、第6章は煙に曝されずに避難可能な限界歩行距離および必要出口幅で検証を行う「簡易検証」でスプリンクラー設備が設置されていない場合、第7章は同じく「簡易検証」のスプリンクラー設備が設置されている場合について述べる。第8章では第3章から第7章で検討した内容を用いて、本評価法に基づき事務室のケーススタディを実施している。

以下に各章の概要を示す。

## 第2章 リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法の基本フレーム

リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法の枠組みについて述べている。リスク概念に基づく居室避難安全評価手法の基本フレームは、当該居室の避難リスクを許容避難リスク以下に抑えることを目標基準とし、リスクの概念に基づいて算出した設計火災成長率をもとにした検証免除、簡易検証、詳細検証の3つの検証システムからなる。本評価手法での基本概念やリスクの定義、検証手順について述べる。

## 第3章 統計的分析に基づく許容避難リスク

火災リスクの概念をベースに設計火源の大きさを決定することを目的として、統計データに基づく各用途の設計許容避難リスク（避難不能者数期待値に対する許容安全基準）に関する検討を行う。設計許容避難リスクは検証免除、簡易検証、詳細検証での設計目標となる。本章では各用途の現行の仕様規定に従い設計された建築物の成長火災時の避難リスクを統計データより明らかにし、基準とする空間の避難リスクをもとに、用途、床面積に応じて設計許容避難リスクを算出する方法の提案を行う。許容避難リスクとしては各用途の代表的な規模の避難リスクをとした場合と事務所、住宅を用いた場合の設計許容避難リスクを算出する。

## 第4章 防火対策の作動信頼性と効果の定義

本評価法で考慮する防火対策の整理、既往の文献調査の調査に基づいた作動信頼性の整理、特にスプリンクラー設備については統計データに基づいた検討により、今まで明確に定義されていなかった避難安全設計のためのスプリンクラー設備の作動に

関わるパターンを整理し、統計データをもとに各パターンの生起確率を設定する。また、スプリンクラー設備がある場合の火源シナリオの設定に関する検討を行い、本評価法で利用するための条件を設定する。

## 第5章 リスク概念に基づく居室避難の「検証免除」手法

居室は用途や規模によって避難リスクが異なる。避難リスクの小さい室は仕様規定において対策が免除になるなど、暗黙に火災リスクの小さい室の対策を軽減する配慮がなされている。本章では居室避難検証の省略化を図ることを目的とし、リスクの概念に基づいた算出方法により、スプリンクラー設備を考慮しない場合と考慮した場合の避難リスクが許容避難リスク以下となる居室面積を算出する。

## 第6章 スプリンクラー設備が無設置の場合の居室避難の「簡易検証」手法

居室避難検証の簡易化を図るためのスプリンクラー設備が無設置の場合の簡易検証法について検討を行う。「簡易検証」の基準値として、リスクの概念に基づいて算出された設計火災成長率  $\alpha_D$  のもとで煙に曝されずに避難可能な居室条件（限界歩行距離および必要出口幅）を算出する。対象とした用途は、事務所、物販店舗、飲食店舗、共同住宅である。既往の評価法（防災計画指針に基づく手法、建築基準法告示に基づく手法）と本評価法の設計水準の比較を行うことにより、各設計手法が要求している水準の傾向を明らかにする。

## 第7章 スプリンクラー設備が設置された場合の居室避難の「簡易検証」手法

スプリンクラー設備設置の室を対象とし、リスクの概念に基づいて算出された設計火災成長率  $\alpha_D$  のもとで煙に曝されずに避難可能な居室条件（限界歩行距離および必要出口幅）を算出する。対象とした用途は、第6章と同様に事務所、物販店舗、飲食店舗、共同住宅である。スプリンクラー設備の有無で要求される居室条件の差やルート C で設計された実在の居室の歩行距離および出口幅を調査し、本評価法の簡易検証条件と比較することにより、実務適用性の検討を実施する。

## 第8章 居室避難安全評価のケーススタディ

第2章～第7章の検証手法および条件設定に基づき、事務室を対象に居室避難検証のケーススタディを実施する。ケーススタディにより、「検証免除」「簡易検証」で検証の省力化を図ることが可能な居室の状況を確認し、実務適用性を確認する。

## 1.7 用語の定義

ここでは、本評価法で用いる主な用語の定義を行う。各々の用語の詳細な説明は末尾に示した各章で行う。

- 避難不能者  
評価空間で避難不能となる避難者。実火災では火災による死者および軽傷者までを含む負傷者。避難検証では居室から廊下へ避難するまでに居室内で煙に曝されることと定義。
- 成長火災  
小火以外の拡大する火災。本研究では小火を火災報告データの  $0\text{m}^2$  とした。本研究では避難安全設計に利用するため、成長火災を対象とする。
- 火災シナリオ  
居室内で成長火災が発生した場合に、居室内に設置される火源の成長、煙の制御に関わる対策の作動の有無をモデル化した火災進展シナリオ。本研究は避難の不確実要因は考慮しない。
- 避難リスク  $R$   
対象空間での成長火災の出火率とその火災における避難不能者数との積。
- 設計避難リスク  $R^D$   
避難安全設計において、対象空間で成長火災が発生することを前提としたときの避難不能者数。
- 許容避難リスク  $R_A$   
避難リスクの許容値[人/年]。本研究では、標準建物における避難リスクを許容避難リスクとして定義し、統計データを用いて成長火災の出火率、代表的な規模の建物面積、成長火災 1 件あたりの死傷者数から各用途の代表的な規模の避難リスクを算出した。
- 設計許容避難リスク  $R^D_A$   
成長火災の発生を前提としたときの許容避難リスク[人/件]。許容避難リスクを成長火災の出火率で除して基準化したもの。
- 設計火災成長率  $\alpha_D$   
設計火源の発熱速度  $Q_f[\text{kW}]$  が時間  $t[\text{s}]$  の 2 乗に比例するとしたときの係数  $[\text{kW}/\text{s}^2]$ 。
- 防火対策の作動信頼性：  
火災発生時に、防火対策が意図した機能を果たす確率。
- 検証免除  
本評価法の居室避難検証システムの 1 つで、居室の避難リスクが許容避難リスク以下になる居室面積を基準値として、居室避難の安全性を検証する手法。
- 簡易検証

本評価法の居室避難検証システムの1つで、リスク概念に基づいた設計火災成長率に基づき簡易計算式により算出した、煙に曝されずに避難可能な限界の歩行距離、必要な扉幅、親室率を基準値として、居室避難の安全性を検証する手法。

- 詳細検証

本評価法の居室避難検証システムの1つである。設備的対策の作動/不作動に関連した複数の火災シナリオにおいて、リスク概念に基づいた設計火災成長率のもとで、煙に曝される避難不能者が発生しないことを検証する手法。

- 親室率  $\beta$

居室の内部が間仕切りで仕切られている場合で、廊下への出口を有する室を親室といい、居室面積に対する親室面積の割合。

- 限界歩行距離  $l_{crit}$

居室内から煙に曝されずに廊下まで避難可能な限界の歩行距離。

- 必要出口幅  $B_{crit}$

居室内の避難者全員が煙に曝されずに避難するために必要な出口幅。

- 許容避難時間  $t_{crit}$

避難を開始してから煙が危険な高さまで降下する避難可能な時間。

## 第1章の参考文献

- 1) 平成12年建設省告示第1441号、同第1442号
- 2) 佐藤雅史：性能規定の適用状況、建築防災、No.325、pp.7-10、2005.2
- 3) 吉田正友：構造・材料分野／展開に向けた課題、pp.27-33、2008年度日本建築学会大会（中国）防火部門研究協議会資料、2008
- 4) 構造方法等の認定に係る帳簿、国土交通省、2000～2011年、  
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/register.html>
- 5) 土屋伸一：防火性能規定化に関するアンケート調査、pp.34-39、2008年度日本建築学会大会（中国）防火部門研究協議会資料、2008
- 6) 山口純一、伊藤彩子、田中哮義：リスクの概念に基づく避難安全設計火源の決定方法、日本火災学会論文集、Vol.58、No.3、pp.11-20、2008.10
- 7) Tanaka, T: Risk-based Selection of Design Fires to ensure an Acceptable Level of Evacuation Safety, Fire safety Science 9: 49-61, 2009  
(<http://dx.doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.9-49>)
- 8) 仁井大策他：その1 フレームワークの概要 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、pp.331-334、2011
- 9) 出口嘉一他：その2 設計火源 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、pp.335-338、2011
- 10) 野竹宏彰他：その3 居室避難検証の免除 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、pp.339-342、2011
- 11) 山口純一他：その4 階避難検証 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、pp.343-346、2011
- 12) 野竹宏彰、池島由華、山口純一、田中哮義：住宅・共同住宅火災の統計的分析に基づく設計避難リスクの算出－火災安全設計における設計避難リスクに関する研究－、日本火災学会論文集、Vol.61、No.2、pp.1-11、2011.08
- 13) 池島由華、野竹宏彰、山口純一、田中哮義：統計データに基づく用途別の避難リスクの算出－火災安全設計における設計基準避難リスクに関する研究－、日本火災学会論文集、Vol.61、No.3、2011.
- 14) 出口嘉一、野竹宏彰、抱 憲誓、仁井大策、山口純一、池島由華：リスクの概念に基づく避難安全設計法に用いる火災成長率の分布の推定、日本火災学会論文集、Vol.61、No.2、pp.13-23、2011.08
- 15) 建築物の総合防火設計法、日本建築センター、1989
- 16) 建築物の火災安全設計指針、日本建築学会、2002
- 17) 新・建築防災計画指針、(財)日本建築センター、1995
- 18) 志田弘二、辻本誠、柳澤忠：火災発生に伴う人命危険の評価法、日本建築学会計画

系論文報告集第 368 号、p69-p78、1986.10

- 19)掛川秀史：火災シナリオに基づく避難安全性評価手法に関する研究、学位論文（名古屋大学）、1997
- 20)Starr: Social Benefit versus Technological Risk, Sciences, Vol.165, 1969
- 21)辻本誠：リスク比較と認知、建築雑誌 Vol.116、No.1476、p22-p25、2001
- 22) 辻本誠：防災における安全管理—建築分野における規制とリスクの変化、「システム／制御／情報」／システム制御情報学会、Vol.47, No.8, pp.13-19, 2003
- 23)掛川他：事務所ビルにおける可燃物の実大燃焼実験—事務所の避難安全設計火源に関する研究 その 3—、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、p.201～p.202、2002.8
- 24)総務省消防庁予防課、防火対象物の総合防火安全評価基準のあり方検討会報告書（平成 16 年度）、2005.3
- 25)局所火災に対する耐火設計を考える 魅力ある耐火設計に向けて、社団法人日本建築学会局所火災に対する耐火設計 WG、2005.2
- 26) 本江豊治：スプリンクラ設備の効用と限界、火災、22 卷 1 号通巻 84 号、pp.23-25, 1972
- 27)掛川秀史，井上 義郎，倉井 克行：定期点検データに基づくスプリンクラー設備の作動信頼性の分析、日本建築学会学術講演梗概集. A-2, pp.29-30, 1997

## 第2章 リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法の基本フレーム

### 2.1 はじめに

現行の避難検証法<sup>1)</sup>では室用途のみによって一律に規定される火源を与条件としており、仕様規定において暗黙的に考慮されている空間用途の出火危険性や空間規模への配慮が欠けている。また、排煙設備、防火シャッター、防火扉の限定された設備的対策が必ず作動すると想定した単一のシナリオでの安全性を検証の対象としており、その他の火災シナリオへの配慮を欠いている。これらの設備的対策の作動信頼性への配慮と同時に、今まで評価に組み込まれていなかったスプリンクラー設備の効果を評価に入れる必要がある。さらに、現行の避難検証法では、全ての居室の安全性を検証する必要がある、居室条件の抽出、評価、整合性の確認などに手間を要し、設計者・技術者には多くの負荷がかかっている。本来重要な非火災室での安全性を評価する階避難、全館避難の検証に注力できる仕組みが必要である。設備的対策を考慮した火災シナリオに対して十分な安全を確保した設計をするには、決定論的手法では限界があり、リスク評価に基づく確率論的手法が適している。

以上のような背景から、本研究は火災リスクの概念を取り入れた火災シナリオに基づき、建物の規模や出火率、スプリンクラー設備などの建築物の避難安全に関わる設備的対策の性能や信頼性を考慮可能な手法を検討している<sup>2),3)</sup>。本章では、リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法の基本フレームの説明を行う。

### 2.2 本評価法の基本概念

#### 2.2.1 前提条件

本評価法では火災時の避難リスクを安全側に評価するために、現行の性能的避難安全検証で通常用いられる決定論的なメリットを考慮して、以下の前提条件に基づくものとする。

- ① 小火、放火を除いた出火後に拡大する成長火災を前提とする。
- ② 評価空間は満員の在館者で占められる。
- ③ 在館者の避難安全性は致死レベルではなく、煙に曝された時点（例えば、煙層下端高さ1.8mに降下）で避難不能と判定する。
- ④ リスクの概念に基づいた設計火源、火災シナリオのもとで予測される避難不能者は0となることを要求する。

## 2.2.2 設計目標

本評価法の基本的な概念は、式(2-1)に示すように設計する空間の避難リスク  $R$  を許容避難リスク  $R_A$  以下に抑えることである。

$$R \leq R_A \quad (2.1)$$

### (1) 許容避難リスク

リスクの概念を用いた避難安全設計では、確率を考慮して算出された損失の期待値を評価するために、基準とする許容値が必要となる。本研究では評価空間において一年あたりに許容される避難不能者数を許容避難リスク  $R_A$  と定義する。詳細は第3章で説明するが、本研究においては、統計データを用いて許容避難リスクの算出を試みた。基準値を具体的に設定するには、社会的な規範や避難安全設計の安全目標の設定等について十分な議論が必要であるが、第5章～第8章では住宅用途の統計データを用いた許容避難リスクにより検討を行った。

### (2) 設計許容避難リスク

性能的避難安全設計では成長火災となる空間の検証を前提とするため、出火率で基準化し、成長火災1件あたりの許容避難リスク（以降、設計許容避難リスク  $R_A^D$ ）を用いる方が都合が良い。本研究では許容避難リスクを各用途の出火率で除した以下の式の右辺を各用途の設計許容避難リスク  $R_A^D$  と定義する。各用途の設計許容避難リスク  $R_A^D$  の算出方法などについての詳細は第3章に示す。

$$C_{cas}(K) \leq \frac{R_A}{P_{hf}(K)A(K)} = R_A^D \quad (2.2)$$

## 2.2.3 避難リスクの定義

本研究における「リスク」とは、火災安全設計というコンテキストの中で定義されるリスクである。本研究では対象を避難安全の問題に絞り、式(2-2)に示すように対象とする火災の生起確率  $P$  とその火災における避難不能者数  $C$  との積として定義する。

$$R = PC \quad (2.3)$$

避難検証法をはじめとするその他の避難安全性の評価においては、出火後の避難安全性を評価するため、本研究でも小火を除いた出火後に拡大する放火以外の成長火災となる出火を前提とする。成長火災の出火率が居室面積  $A_r$  に比例すると仮定し、空間内の



成長火災1件あたりの避難不能者数  $C_{cas}$  との積で任意の空間の避難リスクとして式(2-4)のように表せる。なお、成長火災1件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  は空間内の在館者  $C_0$  が  $p_{cas}$  の割合で死傷すると考えることもできる。なお、避難不能者の定義については従来の避難安全評価法に倣い、本評価法では煙に曝される避難者を避難不能と定義した。

$$R(K) = P_{hf}(K)A_r(K)C_{cas}(K) = P_{hf}(K)A_r(K)p_{cas}(K)C_0(K) \quad (2.4)$$

### 2.3 本評価法の枠組み

本評価法は、居室避難検証においては居室プランの少々の変更があった場合に再検証の必要がないことを目標としている。図 2.1 は、本研究のリスクの概念に基づく居室避難安全評価手法の枠組みを図示したものである。本評価法は、図 2.1 に示すように「検証免除」、「簡易検証」、「詳細検証」の3段階の検証システムからなっている。「検証免除」の条件に適合しなかった場合は「簡易検証」を実施し、「簡易検証」の条件に適合しなかった場合は「詳細検証」を実施する。この3つの検証はいずれも避難リスクを許容避難リスク以下にする概念のもと構築している。「検証免除」、「簡易検証」、「詳細検証」の概要を以下に示す。

- ・「検証免除」：居室面積の確認のみで検証を行う。
- ・「簡易検証」：スプリンクラー設備設置の有無を考慮し、親室率  $\beta$  を考慮した煙に曝されずに居室から避難可能な限界歩行距離  $l_{crit}$  と必要出口幅  $B_{crit}$  で評価する。
- ・「詳細検証」：設備的対策の成否に伴うイベントツリーによる火災シナリオに対して、現行の性能的避難安全の検証と同様に、煙流動性状および避難性状予測を行い、避難不能者が発生しないことを確認する。「詳細検証」の詳細については本論文では扱わない。

このように、本評価法は詳細な検証が必要な室のみに注力できるしくみとなっている。「検証免除」および「簡易検証」の詳細については、第5章～第7章で説明を行う。

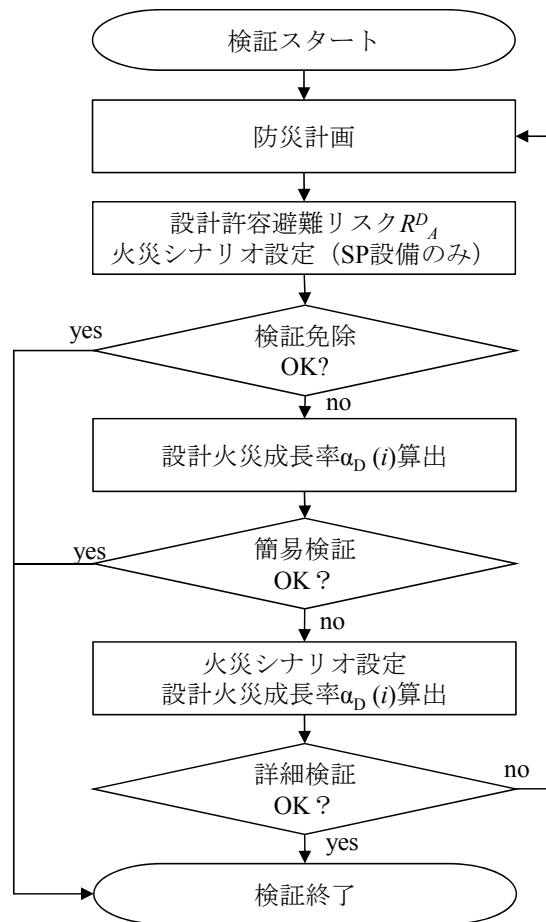


図 2.1 本研究における居室避難安全評価手法の枠組み

これら 3 つの検証システムを備えた本評価法のメリットは以下のとおりである。

- ①室用途の出火率と規模から定められる設計許容避難リスク  $R_A^D$  の値をもとに設計火源を設定することにより、空間の危険度に応じた設計が可能となる。
- ②防火対策の信頼性に基づいた火災シナリオにより、避難安全システムの信頼性を考えることが可能となる。
- ③居室避難の検証を簡易化することができる。

以降に本評価法の構成要素の説明を簡単に行う。詳細な検討を実施する項目については掲載する章を記載する。

## 2.4 設計火災シナリオ

ある建築物の計画が火災時の避難に対して安全か否かの判断は、設計火源、安全性判

断基準の他に、下記に示す避難安全性能に関わる火災安全システムの性能の設定に依存する。性能の設定にはシステムの作動信頼性と処理能力が関わる。

・避難安全性能に関わる火災安全システムの機能

- |                   |              |
|-------------------|--------------|
| i)スプリンクラー設備       | : 火災拡大制御     |
| ii)煙制御システム        | : 煙伝播の制御     |
| iii)防火区画 (防火戸を含む) | : 火災拡大・煙伝播制御 |
| iv)避難経路           | : 円滑な避難      |

本評価法においては、火災および煙の拡大に影響を及ぼす対策を火災シナリオで考慮する。「検証免除」、「簡易検証」ではスプリンクラー設備、「詳細検証」ではスプリンクラー設備以外の対策（排煙制御システム、区画の扉）を対象として、設備の奏功/不奏功の分岐による設計火災シナリオを設定する。避難安全に関連する設備的対策の奏功/不奏功のシナリオに基づいたイベントツリーを作成することで、各シナリオの生起確率が設備的対策の信頼性に帰着され、複数の設備的対策による冗長性の効果を評価可能となり、評価者にとって防火対策の効果がわかりやすくなる。なお、イベントツリー解析は原子力発電所の安全評価で用いられている手法である。図 2.2 は、スプリンクラー設備と排煙制御システムが設置された居室の「詳細検証」を行うためのイベントツリーの例である。図 2.2 に示すようにこの例において扱う設計火災シナリオは 4 つとなる。

初めに、各防火対策の作動に関する生起確率  $p_i$  をイベントの分岐に設定する。各シナリオの生起確率はそれぞれの防火対策の奏功（作動）率あるいは不奏功（不作動）率を掛け合わせて求める。本評価法は成長火災を対象とするため、成長火災に対する火災シナリオとなる。この場合、本来の意味でのシナリオの生起確率  $p_i$  は、成長火災となる確率がかかるが、本評価法では成長する火災のみを対象とするため、

$$\sum p_i = 1 \tag{2.5}$$

である。次に設計火災シナリオ  $i$  における避難不能者数とシナリオ  $i$  の生起確率の積がシナリオ  $i$  の避難リスクである。複数シナリオがある場合の火災時の任意の居室の避難リスク  $R$  は式(2-6)に示すように、火災シナリオの生起確率  $p_i$  とその火災シナリオにおける避難不能者数  $C_i$  との積の総和（火災により避難不能となる在館者の期待値）と定義する。

$$R^D = \sum p_i C_i \tag{2.6}$$

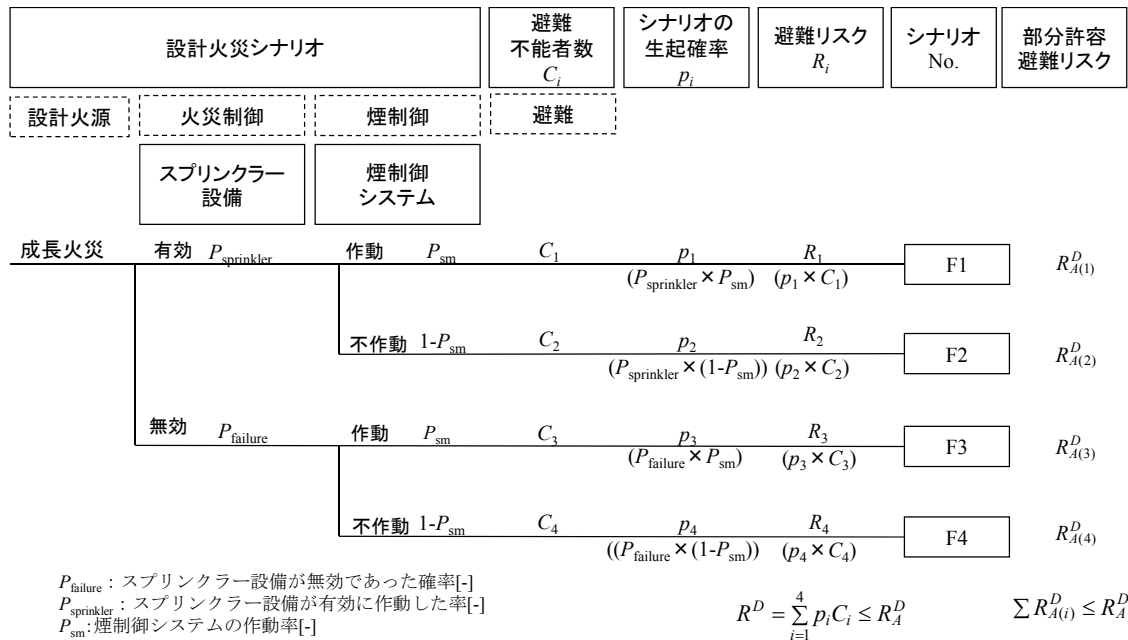


図 2.2 スプリンクラー設備と排煙制御システムが設置された居室のイベントツリー例

次に、設計目標として各シナリオに部分許容避難リスク  $R_{A(i)}^D$  を与える。次式のように部分許容避難リスクはその総和が設計許容避難リスク以下となるよう任意に配分すればよい。

$$\sum R_{A(i)}^D \leq R_A^D \quad (2.7)$$

各シナリオの設計火災成長率  $\alpha_D$  は部分許容避難リスク  $R_{A(i)}^D$  をもとに算出する。算出方法の詳細は次節で説明する。部分許容避難リスク  $R_{A(i)}^D$  に基づいた設計火災成長率  $\alpha_D$  で避難者が 0 になることを検証すれば、許容避難リスク以下であることが安全側に検証できることになる。

「詳細検証」では、各シナリオで与えられた設計火源の下では常に避難不能者数  $C_i=0$  とするので、評価が必要な火災シナリオの選定を実施する。

## 2.5 設計火源

### 2.5.1 設計火源の発熱速度

通常の性能的避難安全設計における設計火源は、火災初期は時間  $t$  の 2 乗に比例して大きくなる火災を想定<sup>4)</sup>しており、本評価法においても、図 2.3 に示すように火災初期

は  $Q_f = \alpha t^2$  で拡大する火源を与え、その後は、収納可燃物量もしくは換気量で定まるピーク値  $Q_{max}$ 、スプリンクラー設備の作動による  $Q_{sp}$  になると想定する<sup>5)</sup>。

$$Q_f = \max(\alpha t^2, Q_{max}, Q_{sp}) \quad (2.8)$$

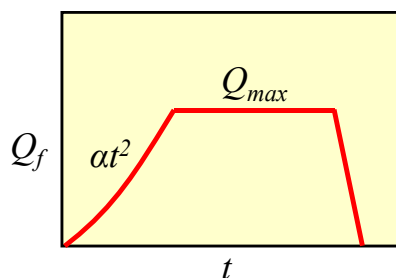


図 2.3 発熱速度

### 2.5.2 設計火災成長率

平成 12 年建設省告示第 1441 号、1442 号の避難検証法<sup>1)</sup>では、評価空間の用途の単位面積当たりの積載可燃物の発熱量  $q_l$  に応じて下記に示す式のように火災成長率  $\alpha_f$  を算出する。

$$\alpha_f = 2.6 \times 10^{-10} \times q_l^{5/3} \quad (2.9)$$

この方法によると室面積の大きさは関係なく、同じ用途であれば同じ火災成長率  $\alpha_f$  が適用される。しかし、同じ用途でも可燃物の種類、形状、着火位置が異なると、可燃物の燃焼拡大は異なる性状を示す<sup>6)</sup>ため、火災成長率は非一様の分布を持つと考えられる。建築空間内には様々な種類、材料の可燃物が存在するため、ある用途の空間で発生する火災の火災成長率には確率分布が存在するものとして扱うのが自然である。

本評価法においては、設計火災成長率を当該居室の設計許容避難リスクの大きさに基づき決定する。設計許容避難リスクに基づくことで居室面積による避難リスクの違いを考慮することが可能となる。設計火災成長率の決定方法は文献[7] [8]の手法を用いる。以下に文献[7] [8]による設計火災成長率の算出方法を示す。

文献[7]では、火災成長率を確率変数としてとらえ、当該居室の在館者数や出火率を考慮して確率論的に設計火災成長率  $\alpha_D$  を決定する。文献[7]では焼損床面積の統計データを利用して事務所、物販店舗、飲食店舗、共同住宅の火災成長率の分布を推定し、設計火災成長率  $\alpha_D$  の算出を行っている。ここでは、一例として物販の火災成長率の分布

を図 2.4 に示す（積載可燃物量 30kg/m<sup>2</sup>）。

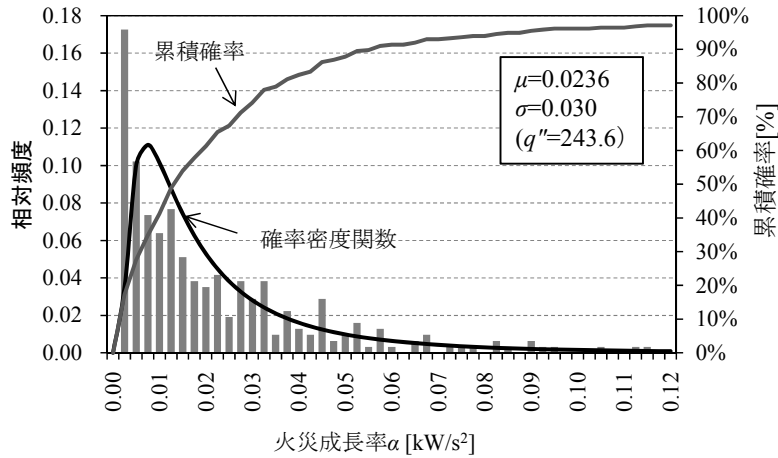


図 2.4 物販における火災成長率の分布<sup>7)</sup>

図 2.5 は文献[8]で報告された設計許容避難リスクと火災成長率の関係を模式的に示したものである。図 2.5 左下の避難不能者数の関数は、火災成長率  $\alpha$  がある値  $\alpha_c$  より小さい間は避難不能者が発生せず、ある値  $\alpha_c$  から点線で示すように避難不能者が発生し上昇していくと考えられる。しかし、火災成長率の大きさが避難不能者数の増加傾向にどのような影響を与えるかは、空間の条件等多くの要因に依存するので本質的に不明である。しかし、火災成長率が  $\alpha_c$  以上の条件では全ての避難対象者  $C_0$  ( $=p_{den}A$ ) が死傷するものと安全側の仮定を行うと設計火災シナリオ  $i$  における設計避難リスク  $R_{(i)}^D$  を火災成長率の関数として表すことができる。

$$R_{(i)}^D = p_i \int f(\alpha) C(\alpha) d\alpha \leq p_i C_0 \int_{\alpha_c}^{\infty} f(\alpha) d\alpha \leq R_{A(i)}^D \quad (2.10)$$

同様に、避難安全性能レベルの指標である設計許容避難リスク  $R_{A(i)}^D$  を火災成長率の関数として表せば、設計火源に用いるべき火災成長率  $\alpha_D$  を求めることができる。

$$R_{(i)}^D \leq p_i C_0 \int_{\alpha_c}^{\infty} f(\alpha) d\alpha \leq p_i C_0 \int_{\alpha_D}^{\infty} f(\alpha) d\alpha \equiv R_{A(i)}^D \quad (2.11)$$

この  $\alpha_D$  を設計火災成長率と呼び、設計火災成長率  $\alpha_D$  で検証して死傷者が出ないことを確かめれば、必然的に設計避難リスク  $R_{(i)}^D$  は設計許容避難リスク  $R_{A(i)}^D$  を下回ることとなる。本論文では設計許容避難リスク  $R_{A(i)}^D$  は一般住宅の避難リスクを許容避難リスク  $R_A$  とみなして火災統計より求める。

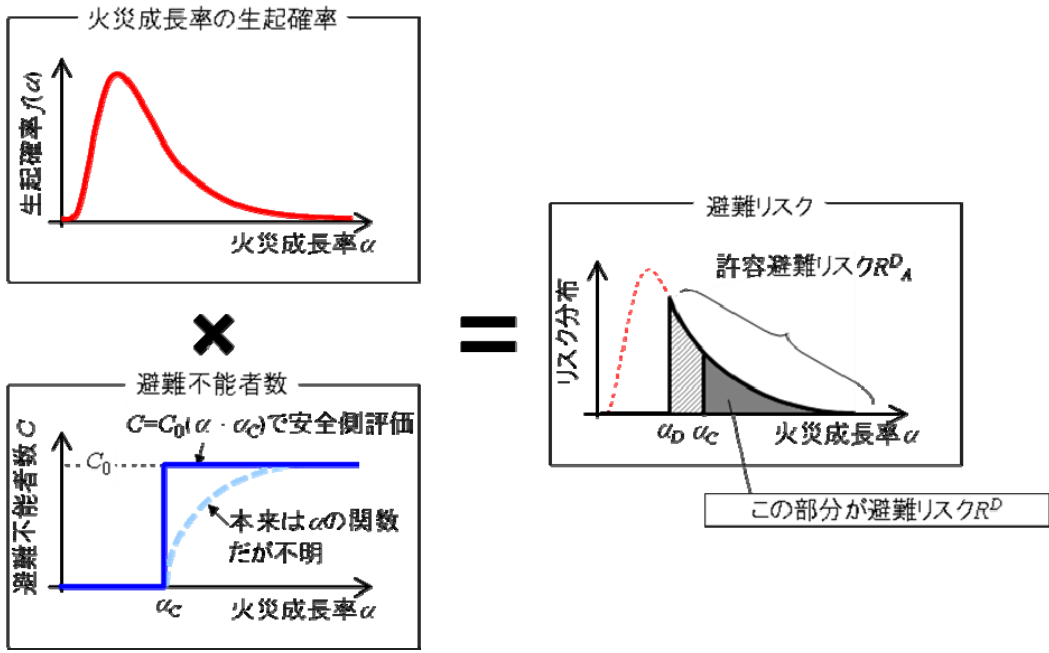


図 2.5 設計許容避難リスクと火災成長率 (文献[8]より引用)

## 2.6 検証免除および簡易検証

本評価法の「詳細検証」では複数のシナリオを検討するので、簡易に検証可能な「検証免除」や「簡易検証」を導入し、避難安全上配慮すべき居室に対してのみ複数のシナリオを考慮した検証を行えるようにする。

「検証免除」および「簡易検証」の流れを図 2.6 に示す。「検証免除」および「簡易検証」では、安全側の設定として排煙設備を考慮せず、スプリンクラー設備のみを考慮して検証基準を算出する。また、スプリンクラー設備を考慮しない場合の火災シナリオを図 2.7 に、考慮する場合の火災シナリオを図 2.8 に示す。

図 2.7、図 2.8 より、スプリンクラー設備を考慮しない場合の火災シナリオは 1 つ、スプリンクラー設備を考慮する場合のスプリンクラー設備が有効な場合と無効な場合の 2 つの火災シナリオに対して安全でなければならない。これは、先の「2.2.1 前提条件④」より、本評価法は各シナリオで部分許容避難リスク以下となるように設計することを方針としているためである。

「検証免除」は避難リスク $\leq$ 許容避難リスクとなる基準面積を算出し、基準面積と居室面積の比較のみで検証を行う。本研究においては、安全側の設定として在室者全員が避難不能になると想定した場合と住宅程度の死傷率とした場合の許容避難リスク以下になる基準面積を算出する。また、スプリンクラー設備を考慮した場合の基準面積も算出する。

「簡易検証」は「検証免除」の基準面積よりも大きい居室について検証を行う。「簡易検証」はリスク概念に基づいて設計火源を決定し、その下で煙に曝されずに避難可能な限界歩行距離、必要出口幅および親室率の条件を与える方法である。スプリンクラー設備が設置されている室では、スプリンクラー設備が有効に機能する場合と無効な場合の 2 つのシナリオのうち厳しい方の条件が適用される。各シナリオの設計火災成長率は部分設計許容避難リスクに基づき決定する。「簡易検証」では、スプリンクラー設備が有効なシナリオでは火源の発熱速度の上限が限定されていることから許容避難リスクの分配を 0 とし、設計許容避難リスクを全て無効なシナリオに分配することにより設計火災成長率を算出する。本論文では「簡易検証」における検証基準を導出するにあたり、煙性状の簡易式を利用している。これにより、安全に避難可能な条件を条件式として与えることが可能となる。

居室面積、歩行距離、出口幅が基準を満足すれば、避難不能者が発生しないことが確認され、検証が終了となる。「検証免除」および「簡易検証」の算出方法の詳細は第 5 章～第 7 章で説明する。



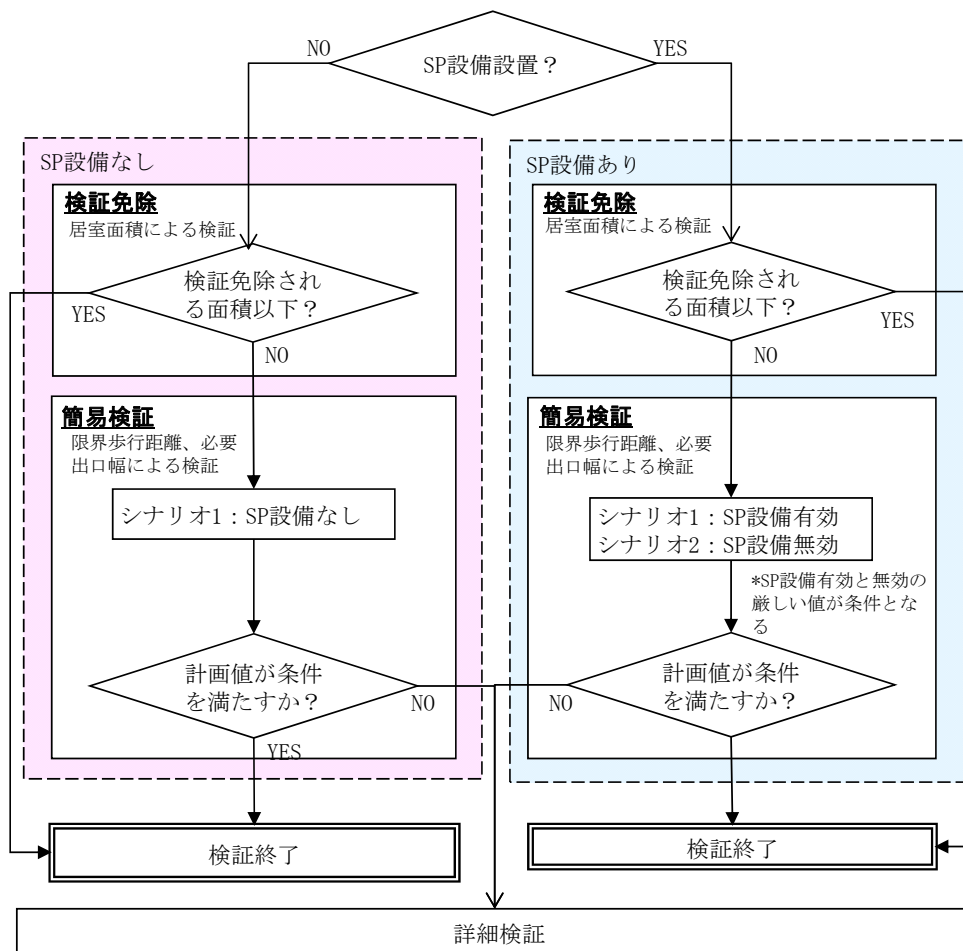


図 2.6 検証免除と簡易検証

	居室避難設計火災シナリオ	避難不能者数 $C_i$	生起確率 $P_i$	避難リスク $R_i$	部分避難リスク $R_A^{D_i}$	シナリオ
成長火災		$C_1$	$P_1$	$R_1$	$R_A^{D_{A1}}$	シナリオ1
		$C_0 P_{cas}$	1	$C_0 P_{cas}$	$R_A^D$	

図 2.7 スプリンクラー設備を考慮しない場合の火災シナリオ

	居室避難設計火災シナリオ	避難不能者数 $C_i$	生起確率 $P_i$	避難リスク $R_i$	部分避難リスク $R_A^{D_i}$	シナリオ
成長火災	SP設備					
	○SP有効 (抑制)	$C_1$	$P_1$	$R_1$	$R_A^{D_{A1}}$	シナリオ1
	$P_{sprinkler}$	0	$P_{sprinkler}$	$P_{sprinkler} \times 0$	0	
×SP無効 (不奏功)	$C_2$	$P_2$	$R_2$	$R_A^{D_{A2}}$	シナリオ2	
$P_{failure}$	$C_0 P_{cas}$	$P_{failure}$	$P_{failure} C_0 P_{cas}$	$R_A^D$		

$$\text{※} P_{extinguish} + P_{sprinkler} + P_{failure} = 1$$

図 2.8 スプリンクラー設備を考慮する場合の火災シナリオ

## 2.7 詳細検証

「詳細検証」の設計手順を図 2.9 に、設計火災シナリオの例を図 2.10 に示す。

「詳細検証」は、①設計火災シナリオツリーの作成・選定、②設計許容避難リスク  $R^D_A$  の算定、③設計火源の設定、④避難時間・限界煙層時間の算定および⑤許容基準との比較の 5 つのステップを基本としている。

初めに、図 2.9 に示すように、当該居室に設置されている設備に基づく火災シナリオツリーを作成し、各シナリオの生起確率  $p_i$  を設定する。検証では全ての設計火災シナリオ  $i$  に対して安全性が確保されていることを確認するが、次に示すようなシナリオの選定の工夫により、実際に計算を行うシナリオ数を削減することが可能である<sup>8)</sup>。各シナリオ  $(i)$  に対応した設計目標（部分許容避難リスク  $R^D_{A(i)}$ ）として、部分許容避難リスクの合計が設計許容避難リスク  $R^D_A$  以下となるように分配し、検証を行うシナリオの選定を行う。この分配は設計者が任意に設定できる。設計火災成長率  $\alpha_D(i)$  は部分許容避難リスク  $R^D_{A(i)}$  やシナリオの生起確率  $p_i$  に応じて決定されるため<sup>8)</sup>、部分許容避難リスク  $R^D_{A(i)}$  の設定は生起確率や対策の効果を考慮して決めることが必要である。ここでの安全性の判断基準は、当該シナリオの避難リスク  $p_i C_i$  が部分許容避難リスク  $R^D_{A(i)}$  以下であることである。

- ・ある火災シナリオにおいて、当該居室の在館者全員 ( $C_0$ [人]) が避難不能と見なした時の避難リスク  $p_i C_0$  が部分許容避難リスク  $R^D_{A(i)}$  以下である場合（すなわち  $p_i C_0 \leq R^D_{A(i)}$ ）は、当該火災シナリオに対する検証は不要になる。従って、在館者数  $C_0$  が大きくても多重の火災安全対策が施され当該火災シナリオ  $i$  の生起確率  $p_i$  が十分小さくなる場合は、当該火災シナリオ  $i$  は検証不要となる。
- ・配分する設計許容避難リスクの調整により複数の火災シナリオで同じ設計火源とし、最も厳しい条件の火災シナリオのみ検証する。設計火源を同じにするためには、部分避難許容リスクを 0 として定常火源を用いるか、あるいは、火災シナリオの生起確率に比例して部分許容リスクを配分する。図 2.10 は、スプリンクラー設備が作動するシナリオは避難不能者が発生しないとし、シナリオ F1、F2 で厳しい条件のみ検証を行うことが可能となる例である。

部分許容避難リスク  $R^D_{A(i)}$  を分配し、評価が必要なシナリオの選定を行った後は、リスク概念に基づいて決定した設計火源に基づき煙性状予測と避難行動予測を実施する。避難検証法と同様に、避難者が煙に曝されずに避難可能かどうかを検証する。避難時間の安全基準については従来と同様に煙層降下高さや煙層温度とし、本研究では煙層降下高さが 1.8m 以下を煙の支障のある高さとする。各シナリオの煙性状予測に用いる設計火源は、部分許容避難リスクをもとに算出した設計火災成長率  $\alpha_{D(i)}$  である。

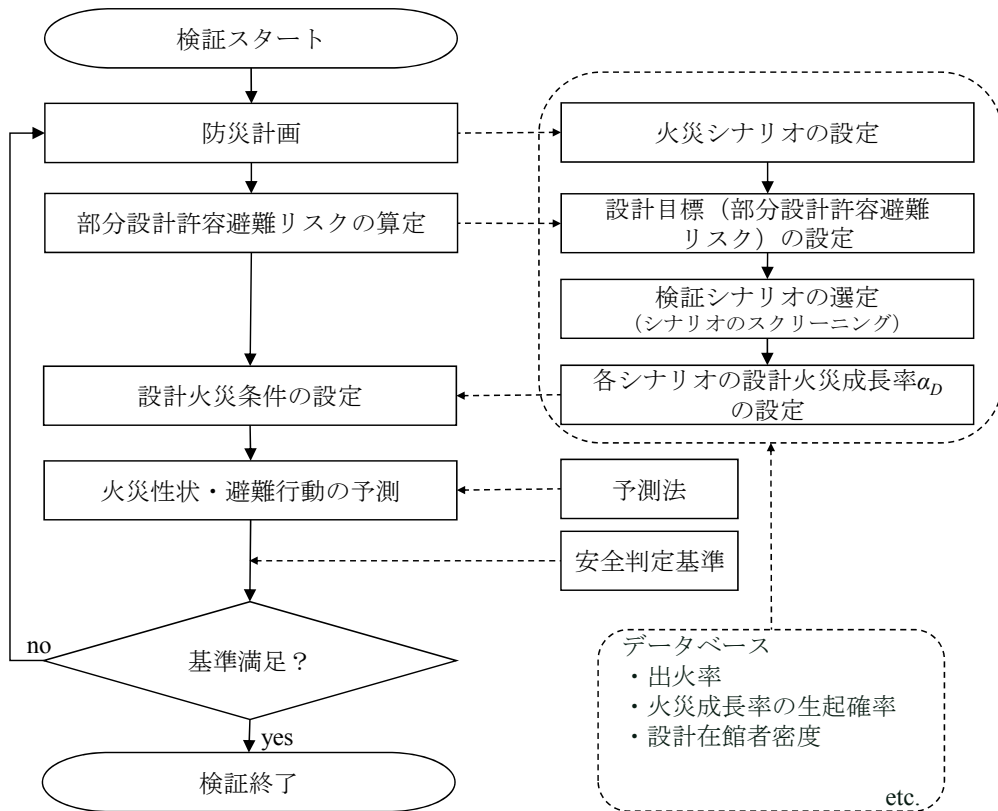


図 2.9 詳細検証の手順

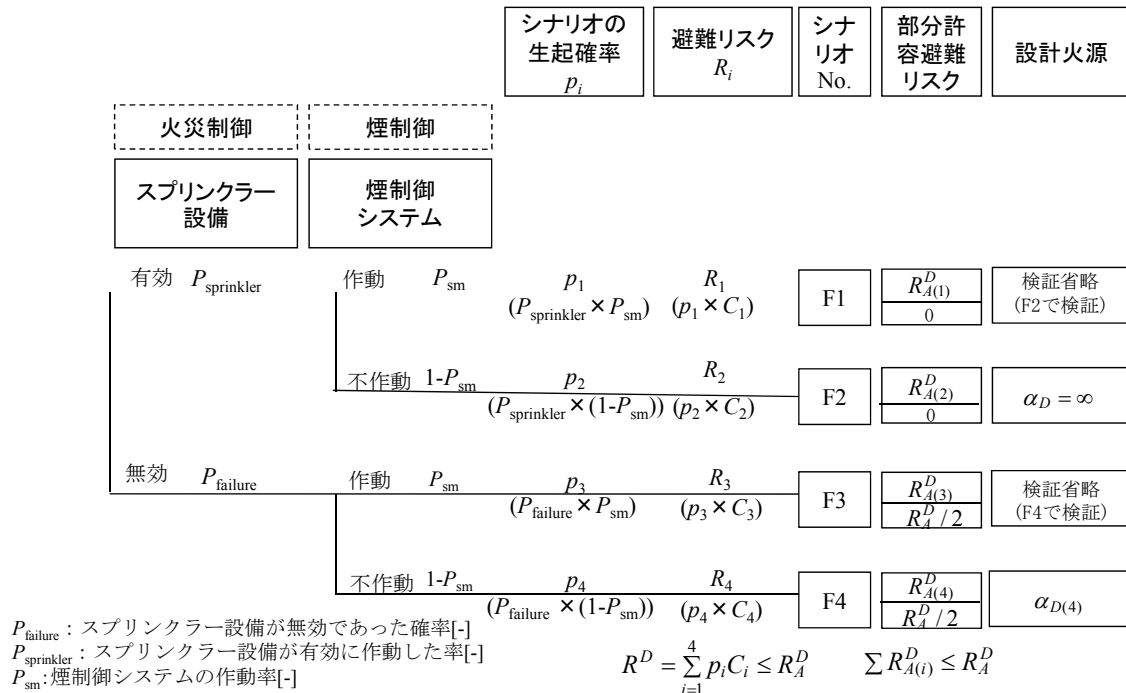


図 2.10 設計火災シナリオの例

## 2.8 まとめ

本章では、リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法の流れを示し、その構成要素の概要を整理した。

本評価法では、リスクの概念を取り入れることにより、評価対象空間の規模を考慮した「検証免除」や歩行距離、出口幅の確認により簡易に検証を行う「簡易検証」の手法を導入し、居室避難検証の省力化を図ることが可能となる。さらに、防火対策の作動の成否に基づくイベントツリーを用いることにより、防火対策の信頼性が評価可能となり、建築物の設計者や所有者が火災安全システムの重要性を確認しやすい構造となった。従来は評価する設備的対策の種類と作動信頼性が100%と決まっているため、1つの火災シナリオについて評価を行っていた。また、複数のシナリオを評価する場合でも経験に基づき評価する火災シナリオが選定されていたが、避難リスクの概念を用いることにより妥当性のある火災シナリオの選定が可能となった。また、本評価法では、目標安全水準としての設計許容避難リスクを設計火源と関連付けており、避難行動と煙性状の予測手法や安全性の確認方法は従来の検証法と変わらない。よって、安全基準として直接リスクを判定することがなじまない現状の問題点を解決することが可能であると思われる。

## 記号

$A_r$  : 居室面積[m<sup>2</sup>]

$C_{cas}$  : 成長火災 1 件あたりの避難不能者数[人/件]

$C_i$  : 火災シナリオ  $i$  の避難不能者数[人]

$C_o$  : 在館者数[人]

$K$  : 任意の用途

$P$  : 対象とする火災の生起確率[-]

$p_{cas}$  : 成長火災時における在館者の死傷率[1/件]

$p_{den}$  : 在館者密度[人/m<sup>2</sup>]

$P_{failure}$  : スプリンクラー設備が有効に機能しなかった確率[-]

$p_i$  : 火災シナリオ  $i$  の生起確率[-/年]

$P_{hf}$  : 床面積あたりの成長火災件数[件/m<sup>2</sup>/年]

$P_{hf}^*$  : 戸建住宅との出火率比[-]

$P_{sm}$  : 排煙設備の作動確率[-]

$P_{sprinkler}$  : スプリンクラー設備が有効に機能した確率[-]

$q''$  : 単位床面積あたりの発熱速度[kW/m<sup>2</sup>]

$Q_f$  : 火源発熱速度[kW]

$Q_{sp}$  : スプリンクラー設備で抑制された発熱速度[kW]

$q_l$  : 収納可燃物の単位面積あたりの発熱量 [MJ/m<sup>2</sup>]

$R$  : 避難リスク[人/年]

$R_A$  : 許容避難リスク[人/年]

$R^D$  : 設計避難リスク[人/件]

$R_A^D$  : 設計許容避難リスク[人/件]

$t$  : 時間[s]

$\alpha$  : 火災成長率 [kW/s<sup>2</sup>]

$\alpha_D$  : リスク概念に基づいた設計火災成長率 [kW/s<sup>2</sup>]

$\mu$  : 火災成長率  $\alpha$  の平均値[kW/s<sup>2</sup>]

$\sigma$  : 火災成長率  $\alpha$  の標準偏差[kW/s<sup>2</sup>]

## 第2章参考文献

- 1) 平成12年建告第1441号, 同第1442号
- 2) Tanaka, T., Nii, D., Yamaguchi, J., Notake, H., Ikehata, Y.: The Risk-based Evacuation Safety Design Method and Its Practicability in the Safety Verification of Realistic Buildings, Fire Sci. Tech., 8th Asia-Oceania Symp., Melbourne, 2010.12
- 3) 山口純一他: リスクの概念に基づく避難安全設計火源の決定方法, 日本火災学会論文集, Vol.58, No.3, pp.11-20, 2008
- 4) 田中哮義: 改訂版建築火災安全工学入門, 日本建築センター, pp.232-pp.235, 2002
- 5) 例えば、大宮喜文他: 建築物の空間および可燃物特性を考慮した設計火源, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) A-2, pp.117-120, 1998.9
- 6) 抱憲誓、城明秀、佃めぐみ、松山賢、大宮喜文、原田和典: 立体的に燃焼する可燃物の発熱速度および火炎高さに関して、日本建築学会学術講演梗概集(中国), pp.219-222, 2008
- 7) 出口嘉一, 野竹宏彰, 抱 憲誓, 仁井大策, 山口純一, 池島由華: リスクの概念に基づく避難安全設計法に用いる火災成長率の分布の推定, 日本火災学会論文集, Vol.61, No.2, pp.13-23, 2011.08
- 8) 仁井大策, 山口純一, 池島由華, 出口嘉一, 野竹宏彰, 抱 憲誓, 田中哮義: その1 フレームワークの概要 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2, pp.331-334, 2011

## 第3章 統計的分析に基づく許容避難リスク

### 3.1 はじめに

リスクの概念に基づく建築物の避難安全評価手法では、評価する損失に対する許容基準が必要となる。リスクの概念に基づく評価法は今までに数多く提案されている<sup>1)</sup>が、評価上死傷者の発生を陽に許容することが法規制になじまないことやリスクの許容基準などが明確にされていないため、実際の避難安全設計に適用された例はない。また、設計基準とする許容基準（避難リスク）の具体的な数値は未検討である。

そこで本章では、統計データを用いて現状の法規制のもとでの各用途の避難リスクの算出、設計時に基準とする許容避難リスクの設定に関する基礎的な検討を行った<sup>2),3)</sup>。

### 3.2 統計データによる避難リスク

本章で扱う避難リスクの定義は第2章の通りである。よって、統計データを用いた避難リスクの算出も下式に示すように、任意の用途  $K$  の避難リスク  $R$  は、成長火災の出火件数が床面積に比例する仮定<sup>注1)</sup>の下で、成長火災の出火頻度（成長火災の出火率  $P_{hf}$  × 床面積  $A$ ）と成長火災1件あたりの死傷者数<sup>注2)</sup>  $C_{cas}$  の積として式(3.1)のように定義する。

$$R(K) = P_{hf}(K)A(K)C_{cas}(K) \quad (3.1)$$

本研究では、式(3.1)の各変数を統計データから求め、現状の法規制下の各用途の避難リスク  $R$  を算出する。検討を行った用途は劇場等、飲食店等、物販店舗、ホテル、共同住宅、病院、学校、事務所の8つである。なお、本研究では複合用途を含めていないので、各用途の統計データにはホテル、物販店舗、事務所等が複合化している高層ビルは含まれていない。

### 3.3 統計データの概要

成長火災<sup>注3)</sup>の出火件数、死傷者数、全国の建築物の用途別総延べ面積に関する統計データより、成長火災の出火率  $P_{hf}$ 、成長火災1件あたりの死傷者数  $C_{cas}$ 、出火建築物の延べ面積中央値及び平均値を算出する。

出火件数、死傷者数、出火建築物の延べ面積等の火災に関するデータは、1995年～

2004 年の総務省消防庁火災報告<sup>5)</sup>（以後、火災報告という）の建物火災データを利用した<sup>注4)</sup>。

全国の建築物の総延べ面積については、共同住宅以外の用途は 1995 年～2004 年のエネルギー経済統計<sup>6)</sup>、共同住宅は既報<sup>2)</sup>と同様に固定資産の価格等の概要調書<sup>7)</sup>を基に算出した<sup>注5)</sup>。

### 3.4 成長火災の出火率

#### 3.4.1 建物規模と出火件数の関係

初めに、床面積あたりの出火率を算出する根拠となる出火件数と床面積の関係について検討を行う。延べ面積別の建築物棟数データがあれば、延べ面積ごとに 1 棟あたりの出火件数を算出し、出火件数と床面積の関係を分析することが可能である。しかし、延べ面積別の建築物棟数データを得ることができなかつたため、4 階建て以上の建物棟数を公表している東京都の共同住宅の統計データ<sup>8)</sup>を利用し、下記に示す手順により建物規模と出火件数の検討を行った。なお、共同住宅を対象としたのはデータ数がある程度得られるためである。出火件数および建物棟数は 2003 年の統計データを利用し、建物階数別の平均延べ面積は 1 年分のデータであるとデータ数が少ない階数の建築物もあるため、1995 年～2004 年の小火を含んだ火災が発生した建築物の統計データを利用して算出した。

- ①火災報告から建築物の階数別の平均延べ面積を算出し、階数と平均延べ面積の関係を確認する。
- ②東京都の統計データから階数別の建物棟数を集計する。
- ③火災報告から階数別の成長火災件数を集計する。
- ④③で求めた階数別の成長火災件数と②で求めた階数別の建物棟数から、建物 1 棟あたりの成長火災の出火件数[件/棟]を算出する。

東京都の共同住宅の階数別の平均延べ面積と建物 1 棟あたりの成長火災の出火件数を図 3.1 に示す。

図 3.1 に示す□のプロットを見ると、建物階数が高くなるほど延べ面積は大きくなる傾向がみられる。同様に、建物 1 棟あたりの火災件数（●のプロット）は建物階数が高くなるほど増加する傾向が見られた。火災件数は階数に概ね比例し、階数は延べ面積と比例するため、共同住宅については既往研究<sup>4)</sup>と同様に火災件数と床面積に比例の関係がある傾向が得られた。



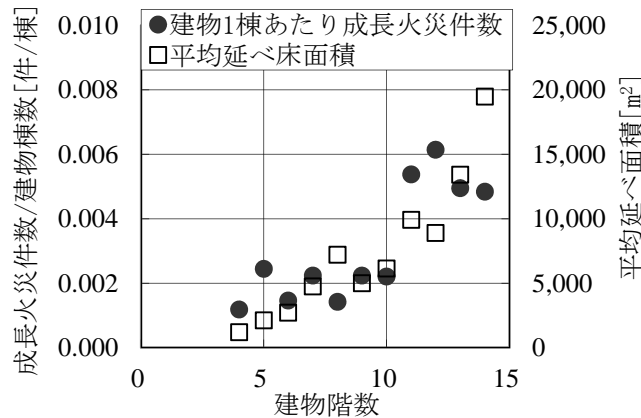


図 3.1 東京都の共同住宅における建物階層別成長火災の出火率(2003)

しかし、既往研究<sup>4)</sup>で報告されているように、事務所のように大規模になると防火対策や防火管理が徹底され成長火災の出火率が低減されることも考えられる。そこで、延べ面積の区分毎に全火災件数に対する小火が占める割合を求め、建築物の規模が火災に及ぼす影響の参考とする。物販店舗、共同住宅、病院、事務所を一例として図 3.2 に示す。

延べ面積が大きくなるにつれ小火の割合が高くなり、3000m<sup>2</sup> 以上で小火の割合が一定値に近づく。病院は一定値になる延べ面積が 1000m<sup>2</sup> と他用途と比較して小さく、小規模の建物においても他用途と比較して防火対策が徹底していると思われる。4000m<sup>2</sup> 以上では図 3.2 に示す 4 用途の小火の割合は大きな差はない。ここで示していない用途についても、延べ面積 1000m<sup>2</sup> 未満の小火の割合は 4 割程度と低い結果であった。防火対策は床面積に応じて規定されていることが多いため、成長火災に発展するか否かは建築物の規模と関連が深いと考えられる。

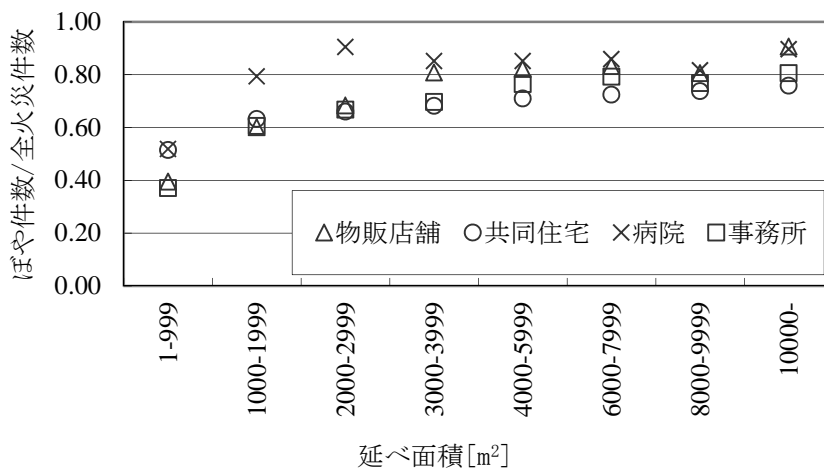


図 3.2 火災が発生した建築物の延べ面積における小火火災の発生割合

なお、本評価法が設置の要否を評価する防火対策のうちスプリンクラー設備は成長火災の出火率の低減に寄与する可能性がある。そこで、焼損面積が1m<sup>2</sup>未満の火災でスプリンクラー設備が効果的に作動した件数を火災報告で確認したところ、その件数は少なく<sup>注6)</sup>、成長火災の出火率にスプリンクラー設備が及ぼす影響は少ないと考えられる。しかし、スプリンクラー設備以外にも防火管理のソフトの徹底等により、出火件数が床面積に比例しない用途も存在することを言及しておく。

### 3.4.2 用途別床面積

建築物の用途別総延べ面積の推移を表3.1に示す。また、1995年の総延べ面積で割った比率を図3.3に示す。

8用途では共同住宅の総延べ面積が最も大きい。物販店舗、学校、事務所が同程度の総延べ面積となっている。各用途とも10年間でゆるやかに上昇し、1995年の床面積に対して2004年は1.1~1.4倍となっている。

表 3.1 建築物の用途別の総延べ面積（全国の集計値）

用途 年	総延べ面積 [×10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> ]							
	劇場等	飲食店等	物販店舗	ホテル	共同住宅	病院	学校	事務所
1995	29.3	56.9	355.6	88.8	902.6	75.0	329.0	394.0
1996	30.3	57.9	366.1	89.7	942.3	77.3	332.0	403.0
1997	31.4	58.8	375.7	91.0	985.3	79.9	334.0	413.0
1998	32.0	60.2	387.4	92.4	1030.2	83.4	338.0	422.0
1999	33.0	61.1	397.5	93.0	1068.3	86.5	341.0	430.0
2000	33.3	61.9	405.9	93.2	1102.2	89.6	343.0	435.0
2001	33.7	62.8	415.4	93.8	1137.1	92.9	346.0	442.0
2002	34.2	63.5	419.3	94.0	1171.5	95.2	349.0	445.0
2003	34.7	64.2	423.5	93.8	1204.0	97.8	354.0	448.0
2004	34.9	64.5	428.8	93.9	1240.3	100.3	354.0	454.0

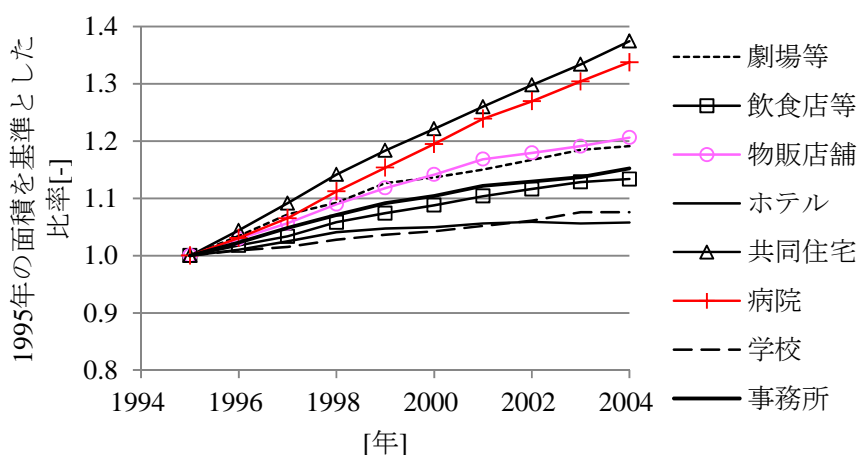


図 3.3 建築物の用途別総延べ面積の経時変化（1995年の面積基準）

### 3.4.3 用途別成長火災の出火件数

10年間の用途別成長火災件数を表3.2に示す。また、1995年の件数を基準とした比率を図3.4に示す。

表3.2より、成長火災の件数は共同住宅が最も多く、次いで、飲食店等、事務所となっている。図3.4より、成長火災件数の経年変化は飲食店等で若干増加しているが、その他の用途の件数は定常あるいは若干の減少傾向を示している。

表 3.2 用途別の成長火災件数

用途 年	成長火災件数 [件]							
	劇場等	飲食店等	物販店舗	ホテル	共同住宅	病院	学校	事務所
1995	77	305	168	69	1,992	31	121	294
1996	84	302	158	95	2,117	38	116	311
1997	96	315	152	85	2,050	34	113	319
1998	81	342	176	82	2,005	18	109	313
1999	71	342	185	91	1,979	17	104	302
2000	78	364	161	84	1,931	33	88	290
2001	73	371	125	88	2,050	25	103	295
2002	67	368	159	98	1,993	23	84	278
2003	51	333	133	64	1,959	18	70	254
2004	71	369	124	89	2,009	29	78	278

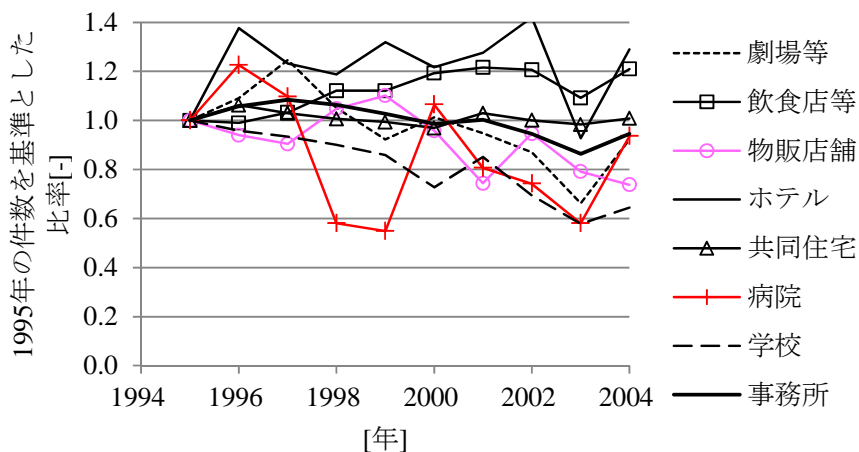


図 3.4 成長火災件数の経時変化（1995年の件数基準）

### 3.4.4 用途別成長火災の出火率

表3.1の総延べ面積及び表3.2に示した成長火災の出火件数から成長火災の出火率  $P_{lf}$  を算出した結果を図3.5に示す。なお、図中右側表の数値は10年間のデータから算出した成長火災の出火率の平均値と標準偏差である。

図3.5より、成長火災の出火率の経年変化は共同住宅、劇場等は減少傾向、その他の用途は大きな変化は見られない。また、各用途の成長火災の出火率は大きく3つのグル

ープに分けられ、最も高いのは飲食店等で5.6件/百万m<sup>2</sup>/年、次いで劇場等、共同住宅がそれぞれ2.3件/百万m<sup>2</sup>/年、1.9件/百万m<sup>2</sup>/年となっている。ホテル、事務所、学校、病院、物販店舗は1.0件/百万m<sup>2</sup>/年以下の出火率の低いグループである。飲食店等や共同住宅など、火気を扱う用途は出火率が高い傾向を示す。なお、図3.5右側の平均と標準偏差に住宅の値を参考として示す。

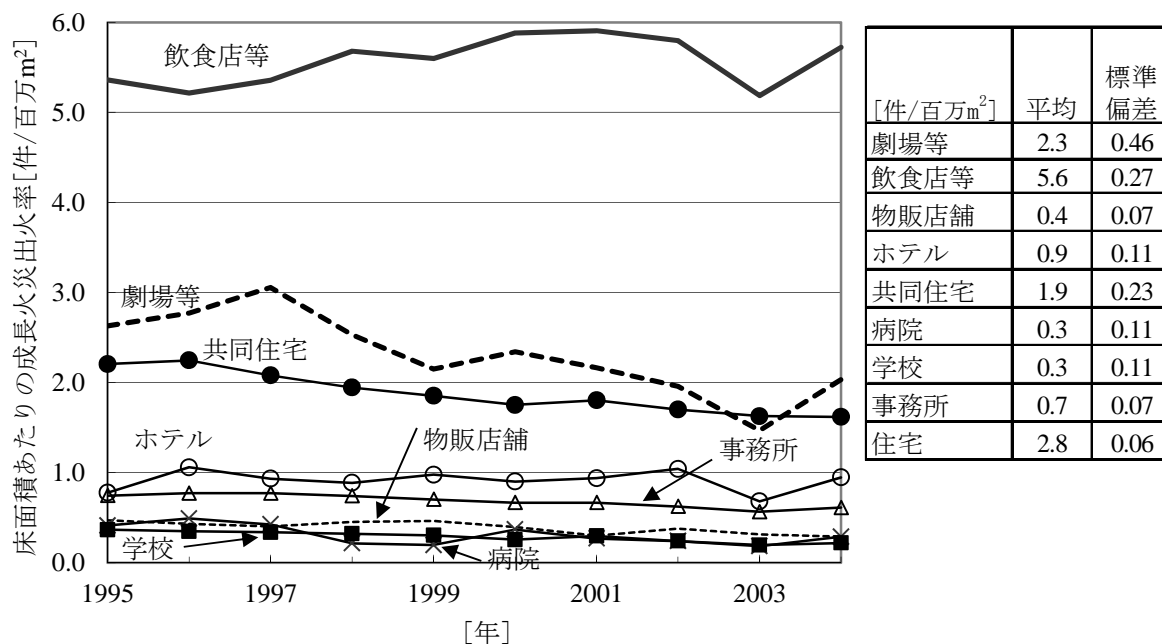


図 3.5 成長火災の発生率

### 3.5 成長火災 1 件あたりの死傷者数

#### 3.5.1 成長火災件数、死傷者数、成長火災 1 件あたりの死傷者数

建築物の利用時間は用途毎に特徴があり、火災や人的被害の発生状況にも時間帯による違いがあると思われるため、1時間単位で整理を行う。成長火災発生時刻別の死傷者数、成長火災の発生件数及び成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  を図 3.6 に示す。なお、死傷者の対象に自損によるものは含めていない<sup>註4)</sup>。また、分析は 10 年間のデータを合計して行った。

成長火災の発生件数は、殆どの用途において朝方（4～6 時あたり）が他の時間帯と比較して少ない。飲食店等や共同住宅は火気が多く使用される夕方～夜間の火災件数が多く、学校は日中の火災件数が多い。このように、火災発生件数は在館者の施設利用時間帯と火気の利用時間帯に関係していることがうかがえる。

一方、成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  は、ホテルや共同住宅のような就寝を伴う

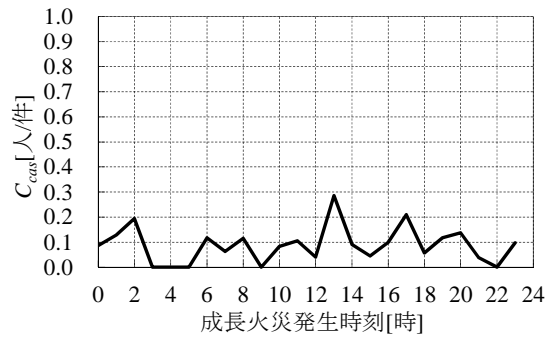
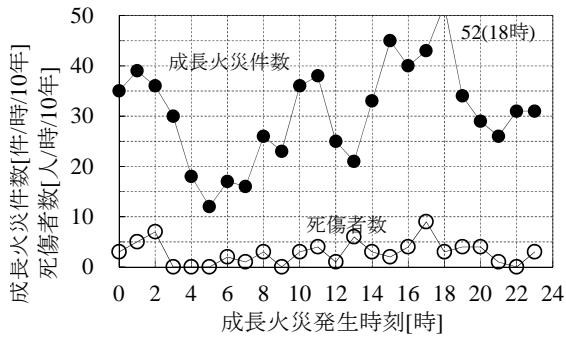
用途では深夜から早朝の就寝時間帯に多い。病院では外来部門の利用者が滞在する時間帯である 12 時が最も多い。次いで就寝時間帯である 3 時、22 時が多いが値に変動が大きく、他の就寝用途と比較して就寝時間帯に継続して値が高くない。これは病院火災件数の母数が少ない影響を受けていることや看護師等のスタッフの働きで就寝時間帯の火災が抑制されているとも考えられる。一方、物販店舗、学校、事務所等は日中の値が多い。このことから、死傷者の発生は人の滞在時間と就寝等の在館者の状態が関連していることがわかる。

図 3.6 の成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  の全時刻の平均（以後、平均）及び各時刻の最大値（以後、時刻別最大）を表 3.3 に示す。なお、表 3.3 には住宅の値<sup>2)</sup>も参考として示している。また、本検討は避難安全評価での利用を目的としているため、負傷者を含めた死傷者を対象としている。負傷者には軽症も含まれ、被害の程度に幅があると考えられるため、各用途の人的被害の深刻度合いを確認するために、各用途の死者と負傷者の 10 年間の合計人数と死傷者数に占める死者の割合を表 3.3 に併せて示す。成長火災 1 件あたり死傷者数と死者発生割合の関係を図 3.7 に示す。

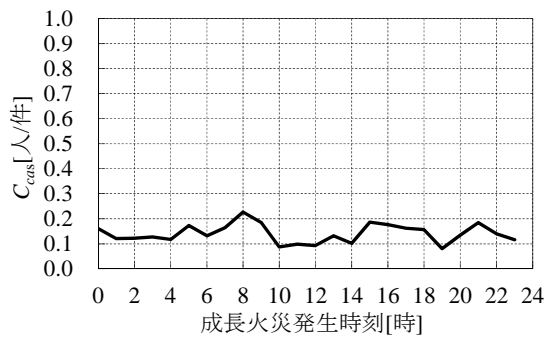
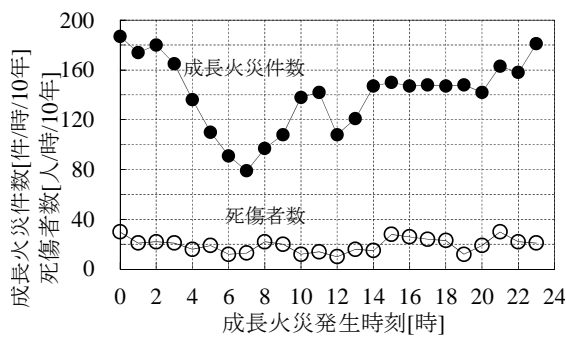
成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  の平均に着目すると、共同住宅、住宅、ホテルの値が他用途と比較して多い。一方、時刻別最大では、ホテルが 1.67 人/件と他用途と比較して特に多い。また、就寝を伴う用途である共同住宅や自力避難が困難な病院、未成年者が多くを占める学校も成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  が 0.5 人/件を超え、他用途と比較すると多い。これは、図 3.6 をみると共同住宅は深夜～明け方の就寝時間帯の成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  が漸進的であるのに対し、ホテルは深夜～明け方、学校は登校後～午前中の人々が最も滞在していると思われる時間帯の成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  が多い傾向にあるが値が変動している。病院は値が変動し特に傾向が見いだせない。これについて、ホテル、学校、病院のデータの詳細をみるとホテル、学校は 1 度の火災で多数の死傷者が発生した火災事例の影響を受け、病院は母数の影響も受けている。就寝を伴う用途や避難が一般よりも困難な在館者が存在する用途では火災が拡大すると多数の死傷者が発生する危険性があることを示唆していると思われる。従って、特にホテルについては火災 1 件で 15 人、30 人の死傷者が発生した火災があるため、平均が高めになっていると思われる。

また、共同住宅の成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  は住宅と比較して平均と時刻別最大でそれぞれ 1.3 倍、1.1 倍である。共同住宅は複数の住戸の集合であるため、非火災住戸の在館者も影響を受けるためと考えられる。

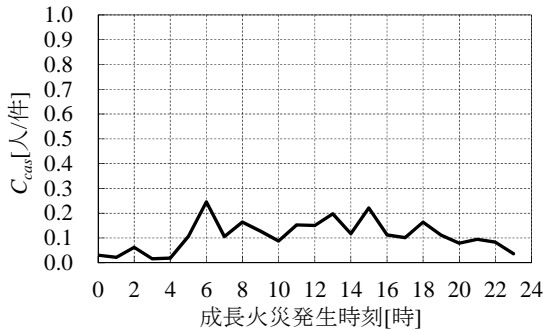
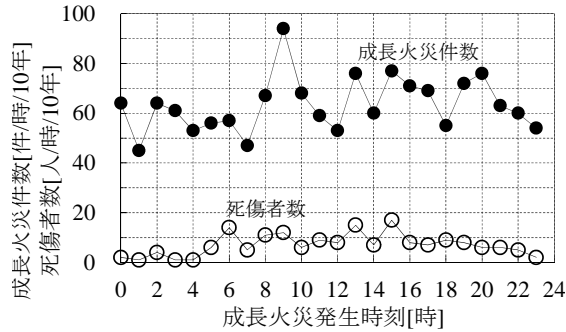
次に、死傷者数に占める死者の割合は住宅系用途で高く、次いで病院、物販店舗が高い。学校は死者が発生していない。既存の統計データを用いた分析<sup>例えば 9)</sup>は死亡リスクを指標としているものが多いが、図 3.7 を見ると、死者割合、成長火災 1 件あたりの死傷者数も公共空間に比べて、住宅、共同住宅の私的な空間の値が高くなっている。



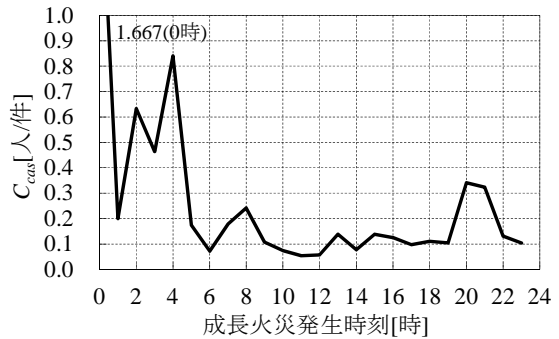
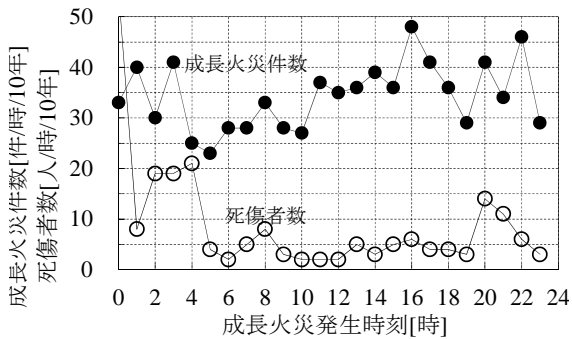
(a)劇場等



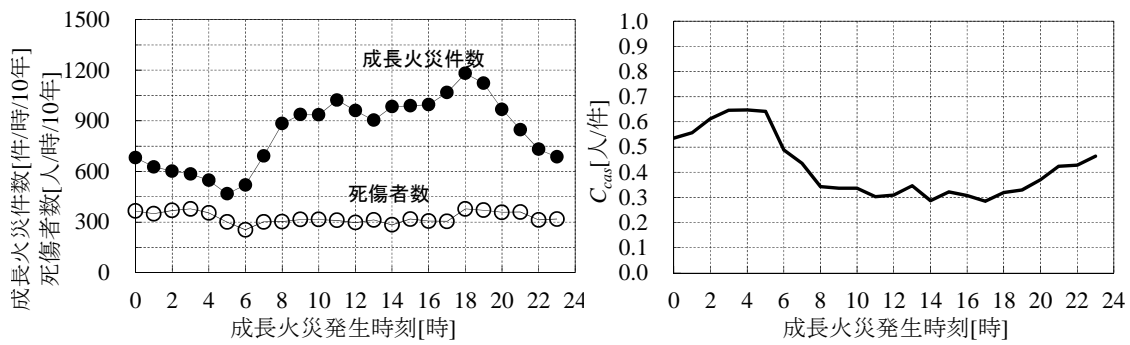
(b)飲食店等



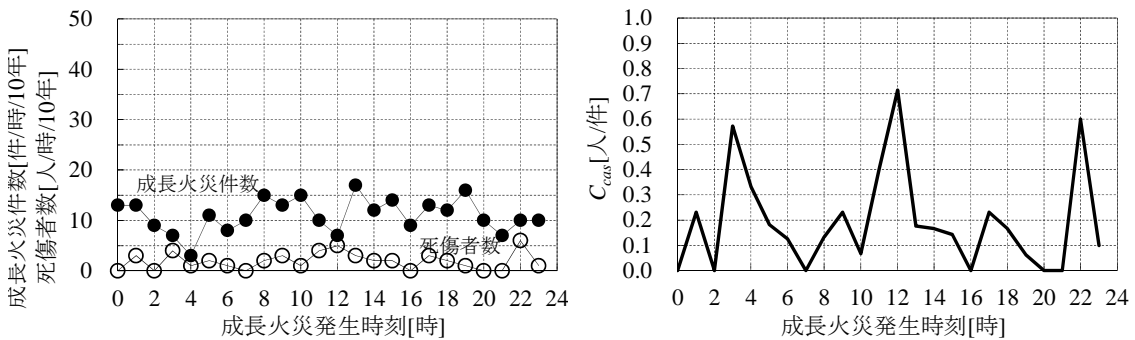
(c)物販店舗



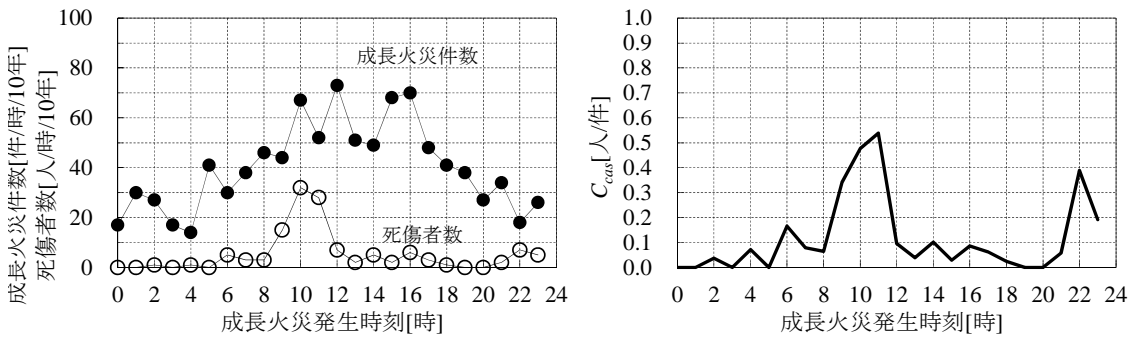
(d)ホテル



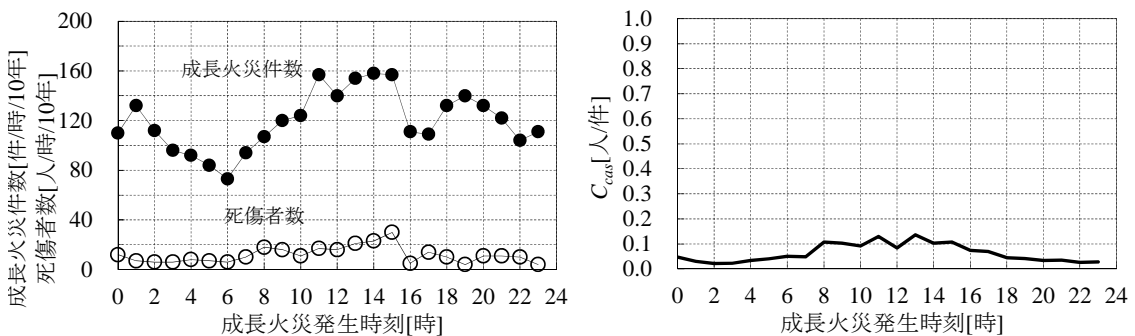
(e)共同住宅



(f)病院



(g)学校



(h)事務所

図 3.6 成長火災の件数、成長火災発生時の死傷者数、成長火災 1 件当たり死傷者数

表 3.3 成長火災 1 件あたり死傷者数、死者発生割合

人的損失		用途	劇場等	飲食店等	物販店舗	ホテル	共同住宅	病院	学校	事務所	住宅	
		成長火災1件あたり死傷者数	[人/件]	平均	0.09	0.14	0.11	0.26	0.39	0.17	0.13	0.10
			時刻別最大	0.29	0.23	0.25	1.67	0.65	0.71	0.54	0.14	0.54
死者数	[人]		2	21	14	13	1132	4	0	18	6826	
負傷者数	[人]		66	470	170	220	7865	46	128	283	18999	
死者割合	[-]		0.03	0.04	0.08	0.06	0.14	0.09	0.00	0.06	0.26	

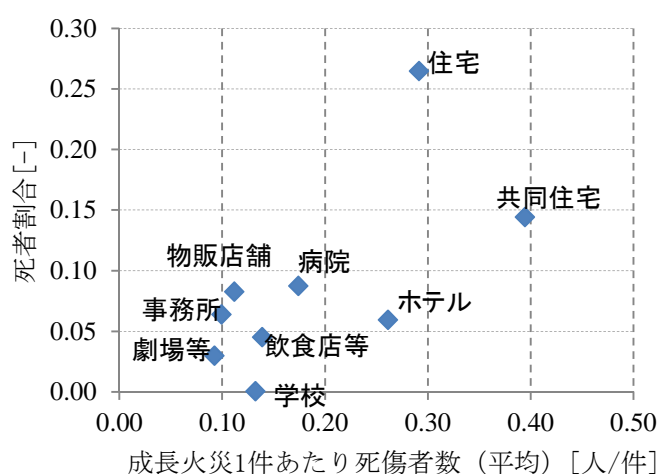


図 3.7 成長火災 1 件あたり死傷者数と死者発生割合

### 3.5.2 受傷時の行動別の火災 1 件あたり負傷者

火災時に消火活動を積極的に行うと負傷の危険性が高くなると思われるが、火災報告は消火活動も含めた様々な行動中の死傷者を集計したものである。避難安全設計では避難中の死傷者を対象としているため、統計データでも避難中の死傷者を選別できるとよい。火災報告では死者の行動は明らかになっていないため、避難中に死傷した人数を集計することができない。しかし、住宅用途を除いては表 3.3 に示すように死傷者の殆どが負傷者なので、本研究では各用途の負傷者の受傷時の行動を分析することで、成長火災における死傷者の死傷時の行動の参考とする。なお、火災報告では負傷者の受傷時の行動を①消火中、②避難中、③就寝中、④作業中、⑤その他（家事従事、飲食、休憩、救助中等）に分類している。

表 3.3 の各用途の負傷者数を受傷時行動別に分類し、成長火災 1 件あたりの負傷者数を算出した結果を図 3.8 に示す。

「避難中」の負傷者が多いのはホテル、共同住宅である。就寝を伴う用途は避難開始の遅れ等から「避難中」に負傷する人数が増えると考えられる。ホテル、病院以外の用途は「消火中」の負傷者数が最も多い。避難安全設計としてどのような死傷理由を対象



とすべきか今後の議論が必要であるが、本研究では、消火等による能動的な死傷者を含めた成長火災 1 件あたり死傷者数  $C_{cas}$  を今後の分析に利用する。

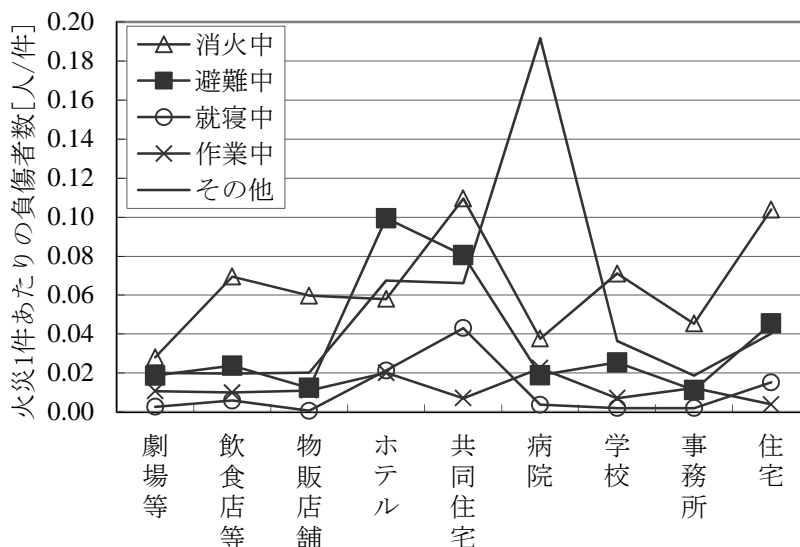


図 3.8 受傷時の行動別の成長火災 1 件あたりの負傷者数

### 3.6 避難リスク

建築物は法規制や自主的な対応等で暗黙的に許容できる避難リスク以下となるように対策が取られ避難安全性が確保されている。しかし、その目標水準は用途毎に異なるのか、用途に限らず同一になっているのか定かではない。そこで、成長火災が発生した平均的な規模の建築物について避難リスクの算出を行い、この値をもとに現行法規下での各用途の避難安全水準の傾向を分析する。なお、ここでの平均的な規模は、延べ面積の中央値及び平均値とする。

1995 年～2004 年の火災報告の成長火災が発生した建築物の延べ面積の中央値及び平均値を表 3.4 に示す。なお、本研究は成長火災が発生した事例の延べ面積の中央値、平均値を求めたが、大規模な建築物では防火対策や管理体制の充実等で火災が小火以下に抑えられている可能性があるため、実際の延べ面積の分布は表 3.4 の値より大きくなる可能性があると思われる。延べ面積の中央値をみると、成長火災が発生した建築物の延べ面積は飲食店舗等と事務所で小さく、学校で大きい。

表 3.4 成長火災が発生した建築物の延べ面積

		劇場等	飲食店等	物販店舗	ホテル	共同住宅	病院	学校	事務所	住宅
延べ面積 [m <sup>2</sup> ]	中央値	291	187	261	625	464	805	1731	155	155
	平均値	859	531	2728	2270	1942	4463	3770	1269	1269

表 3.4 の各用途の延べ面積の中央値及び平均値に対する避難リスク（それぞれ  $R_{med}$ 、 $R_{ave}$ ）を式(3.1)により算出する。なお、成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  は在館者数と正の比例の関係があることも考えられるが、ここでは平均的な値を求めるため表 3.5 の平均値を用いた。また、成長火災の出火率  $P_{hf}$  は図 3.2 中の括弧内の平均値を用いた。算出した避難リスク  $R_{med}$ 、 $R_{ave}$  を表 3.5 に示す。図 3.9 は表 3.5 の避難リスク  $R_{med}$ 、 $R_{ave}$  を図にしたものである。

避難リスクは式(3.1)の成長火災の出火率  $P_{hf}$ 、床面積中央値  $A_{med}$ 、成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  の大きさにより決定され、同じ避難リスクでも出火しやすいか死傷者が発生しやすいか、各変数の寄与する度合いが用途により異なる。各用途の平均的な規模の建物の避難リスクについて、各変数の傾向を踏まえつつ用途間の比較を行う。

初めに、成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  に着目すると用途によって建物規模の分布が異なるにも関わらず、就寝用途以外は平均値では 2.0 人/件以下の同程度に抑えられている。現行法規では、就寝用途以外の火災 1 件あたりの死傷者が同程度の水準に保たれるように対策が行われていると考えられる。就寝系用途では、先に示したように就寝時間帯の成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  が多く、他の用途と比較して時間帯による差が大きい傾向があるため、避難リスクを削減するには、就寝時間帯の死傷者を減らす対策をとることが有効であると考えられる。

次に、 $P_{hf}C_{cas}$  は床面積あたりの死傷者数であるが、床面積あたりの死傷者数  $P_{hf}C_{cas}$  は大まかに 3 つのグループに分類できる。床面積あたりの死傷者数  $P_{hf}C_{cas}$  が  $0.7 \times 10^{-6}$  人/ $m^2$  以上の最も大きいグループは「住宅、飲食店等、共同住宅」、中間は「劇場、ホテル」、「物販店舗、病院、学校、事務所」は  $0.1 \times 10^{-6}$  人/ $m^2$  以下の小さいグループになる。ホテルは火災 1 件で死傷者数は多めであるが、出火率が小さいため、床面積あたりの死傷者数  $P_{hf}C_{cas}$  としては中間のグループに属する。一方、飲食店等は出火率が高いので床面積あたりの死傷者数  $P_{hf}C_{cas}$  が大きいグループになる。

代表的な床面積  $A_{med}$ 、 $A_{ave}$  それぞれの用途間の大小関係は、代表的な床面積  $A_{med}$ 、 $A_{ave}$  で同様の傾向を示すため、ここでは床面積中央値の  $R_{med}$  を用いて考察を行う。避難リスク  $R_{med}$  は共同住宅 ( $0.34 \times 10^{-3}$  人/年) が最も大きい結果となった。共同住宅は成長火災の出火率  $P_{hf}$ 、成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$ 、代表的な床面積  $A_{med}$  が他の用途と比較して大きいためである。次いでホテル ( $0.15 \times 10^{-3}$  人/年)、飲食店等 ( $0.14 \times 10^{-3}$  人/年) となり、避難リスク  $R_{med}$  が最も小さいのは物販店舗、事務所の  $0.01 \times 10^{-3}$  人/年である。劇場等と病院の避難リスク  $R_{med}$  はそれぞれ  $0.06 \times 10^{-3}$  人/年、 $0.04 \times 10^{-3}$  人/年と同程度である。避難リスク  $R_{med}$  が大きい共同住宅、ホテルは全ての変数が他の用途と比較して大きく、逆に、物販店舗、事務所は小さい傾向がある。病院は劇場等と比較すると成長火災の出火率  $P_{hf}$  は小さいが、床面積  $A_{med}$ 、成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  が大きいいため、避難リスク  $R_{med}$  が同程度となる。住宅は、床面積あたりの死傷者数  $P_{hf}C_{cas}$

は9用途の中で最も大きい、床面積が小さいため避難リスクとしては飲食店等と学校との間の値となり、小さいリスク群にはいる。このように、各用途で多くみられる延べ面積で比較すると、現行法下の避難リスクは用途間でいくつかのグループに分かれることがわかる。本検討によると、各用途で最も多い規模の建物1棟では、共同住宅が最も死傷者が発生し、物販店舗、事務所、病院、劇場、学校が死傷者の発生を抑えていることになる。特に学校、病院、物販店舗が低く抑えられ、火災による避難不能者への対策が取られていると考えられる。

表 3.5 用途別の避難リスク

		劇場等	飲食店等	物販店舗	ホテル	共同住宅	病院	学校	事務所	住宅
$P_{hf}$	$10^{-6}$ 件/ $m^2$	2.3	5.6	0.4	0.9	1.9	0.3	0.3	0.7	2.8
$C_{cas}$	人/件	0.09	0.14	0.11	0.26	0.39	0.17	0.13	0.10	0.29
$P_{hf}C_{cas}$	$10^{-6}$ 人/ $m^2$	0.21	0.77	0.04	0.24	0.74	0.05	0.04	0.07	0.82
$A_{med}$ (中央値)	$m^2$	291	187	261	625	464	805	1731	155	118
$A_{ave}$ (平均値)	$m^2$	859	531	2728	2270	1942	4463	3770	1269	151
$R_{med}$	$10^{-3}$ 人/年	0.06	0.14	0.01	0.15	0.34	0.04	0.07	0.01	0.10
$R_{ave}$	$10^{-3}$ 人/年	0.18	0.41	0.12	0.54	1.44	0.24	0.14	0.09	0.12

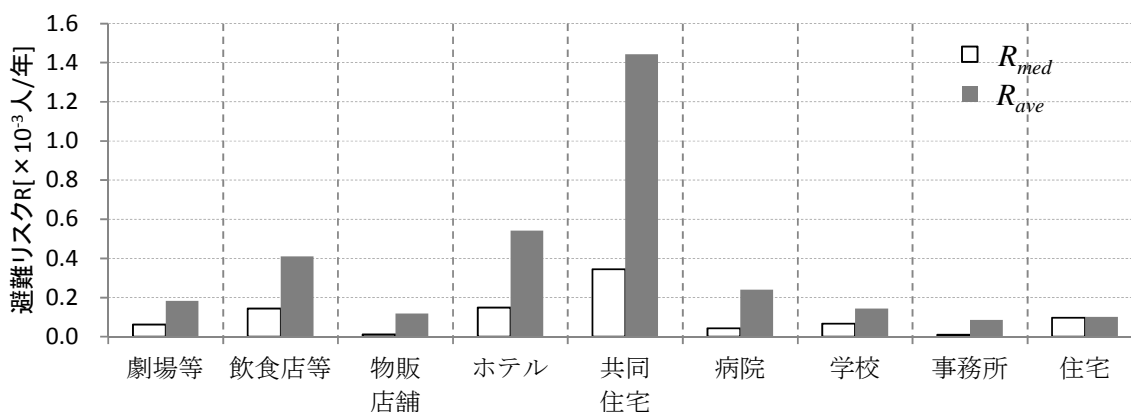


図 3.9 代表的な建物規模（床面積：中央値、平均値）における避難リスク

### 3.7 設計許容避難リスクに関する検討

本研究は建築物の用途、規模に応じた設計時に基準として用いる避難リスク（以降、設計許容避難リスク  $R_A^D$ ）を設定することを将来的な目標としている。評価の基準値に対しては、基準値のあるべき論や実務への適用性を確認する等、慎重に検討を進める必要がある。しかし、議論を進展させるためにも、本研究では標準的な空間の避難リスク

の値を許容避難リスクとして利用する既報の考え方<sup>10)</sup>に統計データから得た値を適用し、設計許容避難リスク  $R_A^D$  を算出することを試みた。そして、同面積での各用途の設計許容避難リスク  $R_A^D$  の違いや設定をする上での課題について述べる。算出方法<sup>10)</sup>および算出例を以下に示す。

### 3.7.1 算出方法

本評価法の基本的な概念は、式(3.2)に示すように設計段階における当該建築物の避難リスク  $R(K)$  を許容避難リスク  $R_A$  以下に抑えることである。

$$R(K) = P_{hf}(K)A(K)C_{cas}(K) \leq R_A \quad (3.2)$$

第2章で示したように本評価法では、成長火災の出火を前提とした出火後の火災シナリオツリーを設定し、各シナリオに対する生起確率と避難不能者数の積和から避難リスク  $R$  を算出する。この避難リスクが許容避難リスク  $R_A$  以下に抑えられているかを評価する。避難安全設計では成長火災となる火災を前提とするため、式(3.2)の  $R_A$  を一年あたりの成長火災の平均出火件数で除すことにより得られる式(3.3)の右辺を式(3.4)に示すように設計基準避難リスク  $R_A^D$  とする。

$$C_{cas}(K) \leq \frac{R_A}{P_{hf}(K)A(K)} \quad (3.3)$$

$$R_A^D(K) = \frac{R_A}{P_{hf}(K)A(K)} \quad (3.4)$$

さて、防火規定の強化は、例えばスプリンクラー設備の設置規制の強化<sup>11)</sup>のように、許容される死傷者数が明確ではないながらも、過去の火災被害発生状況をもとに許容値を目指し、死傷者数を減じさせる目的で行われる。辻本は建物用途別（病院、旅館・ホテル、住宅）の火災死亡リスクの1970年～2000年までの経年変化を統計データから求めている<sup>11)</sup>。この報告によると30年の間に住宅は殆ど火災死亡リスクに変化がなく、病院は1970年代、旅館・ホテルは1980年代に火災死亡リスクは住宅より大きかった。しかし、病院は1980年頃、旅館・ホテルは1990年頃になると住宅よりも小さな値となり、火災死亡リスクに変化がなくなっている。これは病院や旅館・ホテルの火災がこの当時多発し、スプリンクラー設備等の規制が強化されたことが原因であるといえる<sup>11)</sup>。Starr は「死亡率は特定の行動もしくは技術が社会に受け入れられる過程で次第に減少するものの、ある一定のレベル（受忍限度）に漸近し、それ以降は下がらなくなる」と提案している<sup>9),12)</sup>。この考え方に基づき、避難安全設計においては目標とする死傷者数

をもとに設計するものと考え、本研究では許容避難リスク  $R_A$  を式(3.5)に示すように基準とする空間（用途  $S$ 、床面積  $A$  の空間、以降、基準空間）の避難リスクであると仮定する。基準の用途については、用途に関わらず同じ基準値とする方法や用途毎に重要度や特性を考慮し異なる基準値とする方法が考えられる。式(3.5)を式(3.4)に代入すると設計許容避難リスク  $R_A^D$  は式(3.6)のようになる。つまり、本研究で提案する評価法によれば、式(3.6)で明らかなように設計許容避難リスク  $R_A^D$  の大きさは、基準空間の成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$ 、基準空間  $S$  と評価対象空間  $K$  の成長火災の出火率比、床面積の比により決定されることになる。辻本<sup>9)</sup>は統計データの火災死亡リスクの経年変化の分析から、公共の空間が私的な場より危険が高いのは社会的に容認されにくいと報告している。また、人は低い発生確率でも発生時に大きな被害を出す事象に対してより嫌悪感を持つといわれている<sup>13)</sup>。よって、許容避難リスク  $R_A$  についても、公共の用に供される施設は個人用施設よりも値を厳しく設定する等、値を採用した際の防火対策への影響の検討に加え、用途に対する基準値のあり方、値に対する社会的な受容等、今後十分な検討が必要である。許容避難リスク  $R_A$  については、現行の避難検証法が用途に関わらず同じ安全基準（煙層下端高さ  $\geq$  床面 + 1.8m）を採用しているように、用途によらず同じ値を採用することが考えられる。しかし、表 3.5 に示すように各用途の避難リスクは大きいものと小さいもので約 30 倍の差があり、用途間で安全基準に差がある場合も考えられる。また、同一基準の場合もどの水準にすべきかを現段階で決定することは難しい。そこで、本章においては許容避難リスク  $R_A$  を用途ごとに設定する場合と用途に関わらず同一の基準を用いる場合について検討する。

$$R_A = P_{hf}(S)A(S)C_{cas}(S) \quad (3.5)$$

$$R_A^D(K) = \frac{R_A}{P_{hf}(K)A(K)} = C_{cas}(S) \left( \frac{P_{hf}(S)}{P_{hf}(K)} \right) \left( \frac{A(S)}{A(K)} \right) \quad (3.6)$$

### 3.7.2 算出例

ここでは上記の考え方に従って算出した床面積  $100\text{m}^2$  の空間の設計許容避難リスク  $R_A^D$  を一例として示す。

成長火災の出火率  $P_{hf}$  は図 3.3 中の括弧内の平均値を用いた。用途ごとに許容避難リスク  $R_A$  を設定する場合は表 3.5 の既存建物の避難リスク  $R_{med}$  であるとし以降の議論を行う。避難リスク  $R_{med}$  は延べ面積中央値に対する避難リスクで、成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  は平均値を用いて算出した値である。成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  は時間別最大を用いると平均値よりも多くの死傷者を許容することになるため、今回は平均値を用いた。基準とする用途  $S$  は、基準空間の避難リスク  $R_{med}$  が最小の事務所及び

既往の研究<sup>14)</sup>でも基準値として用いられ、統計データ量が豊富で延べ面積のばらつきが他の用途と比較して小さい住宅を用いることとした。既往の研究<sup>14)</sup>では住宅の死亡リスクの経年変化が定常状態であることから、住宅を基準リスクとしてとらえているが、住宅は公共空間より死亡リスクが高いため、公共空間は私的な空間より基準値を低くする必要があり、暫定的に住宅の死亡リスクの1/100を基準として評価を実施している。本研究では負傷者を含む避難リスクを扱っており、図3.9で住宅の死傷者に対する避難リスクは公共空間と同程度であることから住宅を基準値と考えた。

ところで、建築物の在館者数は時間帯等で変動があるが、避難安全設計は在館者数を安全側に設定して検討が行われる。火災時の死傷者数は在館者数に比例して大きくなるのが考えられるが、火災統計における成長火災1件あたりの死傷者数 $C_{cas}$ は設計で想定する在館者密度より低い状態で発生した事例が含まれる中で集計された値である。そのため、設計で基準値として利用するためには表3.7の成長火災1件あたりの死傷者数 $C_{cas}$ を設計で想定する在館者(数)に基づく成長火災1件あたりの死傷者数 $C_{cas}^D$ に変換した値とした方がよい。住宅は世帯人数や在宅時間等の統計データが存在するため<sup>2)</sup>、設計ベースの値に変換することを試みた。

(1) 各用途の避難リスクを基準とした場合

表3.5の各用途の避難リスク $R_{med}$ を許容避難リスク $R_A$ とした場合の設計許容避難リスク $R_A^D$ を表3.6に示す。

基準空間と評価空間は同一用途なので、式(3.6)の出火率比は1になり、用途間の設計許容避難リスク $R_A^D$ の違いは、基準空間の床面積 $A(S)$ 及び成長火災1件あたりの死傷者数 $C_{cas}(S)$ の大きさで決定する。同じ面積の場合は事務所の設計許容避難リスク $R_A^D$ が一番小さい値となった。「飲食店等、劇場等、物販店舗」、「病院、ホテル、共同住宅」は同程度の値となった。また、学校は基準空間の床面積 $A(S)$ が特に大きいため最も大きい値となった。設計許容避難リスク $R_A^D$ が小さいほど、より厳しい対策が必要になるため、図3.3で示したように、時間帯で死傷者数に差がある用途では、平均値を利用すると基準値が大きくなる。死傷者が多い時間帯の避難リスクを低下させるために、基準値の決定には用途毎の特性を考慮することも必要である。

表 3.6 各用途の避難リスクの代表値を許容避難リスクとした場合の $R_A^D$

		劇場等	飲食店等	物販店舗	ホテル	共同住宅	病院	学校	事務所	住宅
$R_A$	$10^{-3}$ 人/年	0.06	0.14	0.01	0.15	0.34	0.04	0.07	0.01	0.10
$P_{hf}$	$10^{-6}$ 件/ $m^2$	2.3	5.6	0.4	0.9	1.9	0.3	0.3	0.7	2.8
$A$	$m^2$	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$P_{hf}^*$	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$R_A^D$	人/件	0.27	0.26	0.29	1.63	1.83	1.40	2.29	0.15	0.34

(2) 事務所を基準とした場合

事務所の避難リスク  $R_{med}$  を許容避難リスク  $R_A$  とした場合の設計許容避難リスク  $R_A^D$  を表 3.7 に示す。設計許容避難リスク  $R_A^D$  は用途間の出火率比の大小関係に従い、出火率の低い物販店舗、病院、学校の設計許容避難リスク  $R_A^D$  が大きくなる。逆に設計許容避難リスク  $R_A^D$  が小さい用途は飲食店等、劇場等、住宅、共同住宅である。

表 3.7 事務所の代表的な避難リスクを許容避難リスクとした場合の  $R_A^D$

		劇場等	飲食店等	物販店舗	ホテル	共同住宅	病院	学校	事務所	住宅
$R_A$	$10^{-3}$ 人/年	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$P_{hf}$	$10^{-6}$ 件/m <sup>2</sup>	2.3	5.6	0.4	0.9	1.9	0.3	0.3	0.7	2.8
$A$	m <sup>2</sup>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$P_{hf}^*$	-	0.3	0.1	1.8	0.8	0.4	2.2	2.4	1.0	0.2
$R_A^D$	人/件	0.05	0.02	0.27	0.12	0.06	0.34	0.37	0.15	0.04

(3) 住宅を基準とした場合（設計在館者密度ベース）

既報[2]の住宅の世帯人数や在宅時間等の統計データから火災時に滞在していた人数を想定し、統計値の成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  を設計在館者密度ベースの成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}^D$  に変換した値を利用する。変換方法<sup>2)</sup>を以下に示す。

- ①設計在館者密度ベースの成長火災 1 件における死傷者数  $C_{cas}^D$  は、下式に示すように設計で想定する在館者人数と死傷率の積となる。式(3.7)の床面積  $A$  はここでは住宅・土地統計調査 (2003 年) から得られた戸建住宅の平均住戸面積 125m<sup>2</sup> を用いる。また、 $p_{den}$  は在館者密度で建築基準法告示<sup>15)</sup> より住宅の居室 0.06 を用いる。

$$C_{cas}^D = A \times p_{den} \times p_{cas} \quad (3.7)$$

- ② $p_{cas}$  は空間内の在館者の死傷率で、火災統計の成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  に対して、火災時に滞在していた平均世帯人数で割ることにより求められる。火災時に滞在していた平均世帯人数は、住宅の平均的な滞在時間の統計データより算出した一日の平均在宅率  $p_{sty}$  と平均世帯人数  $N_{ave}$  の積により算出する。

$$p_{cas} = C_{cas} / (N_{ave} \times p_{sty}) \quad (3.8)$$

ここで、成長火災 1 件における死傷者数  $C_{cas}$  は住宅の統計データから 0.30、平均世帯人数  $N_{ave}$  は住宅・土地統計調査 (1998 年) の住宅タイプ別世帯人員 3.2 人を利用する。

- ③平均在宅率  $p_{sty}$  は国民生活時間調査(2005 年)<sup>16)</sup>から得られる住宅の平均的な滞在時間 (15.8 時間) の統計データより算出した一日の在宅率 0.66 とした (15.8 時間/24 時間=0.66)。成長火災 1 件における死傷者数は 1.1 人 (=7.5×0.14) となる。
- ④③を②に代入し住宅の死傷率を算出する。住宅の死傷率  $p_{cas}$  は 0.30/2.11=0.14 となる。
- ⑤④を①に代入すると、設計在館者密度ベースの成長火災 1 件における死傷者数  $C_{cas}^D$  は 1.1 となる。

式(3.6)に住宅の基準値を適用したものが式(3.9)である。成長火災 1 件あたりの死傷者数  $C_{cas}^D$  を用いた設計許容避難リスク  $R_A^D$  を表 3.8 に示す。なお、参考として表 3.5 の延べ面積平均値の場合の設計許容避難リスク  $R_A^D$  を併せて示す。

同一基準を用いる場合には先の (2) と用途間の大小関係の傾向は変わらないが、住宅の設計在館者密度ベースの許容避難リスク  $R_A$  を基準とした場合には設計許容避難リスク  $R_A^D$  の値が大きくなるため、用途間の差がより鮮明になる。

$$R_A^D(K) = C_{cas}^D(H) \left( \frac{P_{hf}(H)}{P_{hf}(K)} \right) \left( \frac{A(H)}{A(K)} \right) = C_{cas}^D(H) P_{hf}^* \left( \frac{A(H)}{A(K)} \right) \quad (3.9)$$

$$= 1.1 \left( \frac{2.8 \times 10^{-6}}{P_{hf}(K)} \right) \left( \frac{125}{A(K)} \right) = \frac{0.39 \times 10^{-3}}{P_{hf}(K) A(K)}$$

表 3.8 住宅の代表的な避難リスクを許容避難リスクとした場合の  $R_A^D$   
(床面積  $A=100\text{m}^2$  の場合)

		劇場等	飲食店等	物販店舗	ホテル	共同住宅	病院	学校	事務所	住宅
$R_A$	$10^{-3}$ 人/年	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
$P_{hf}$	$10^{-6}$ 件/ $\text{m}^2$	2.3	5.6	0.4	0.9	1.9	0.3	0.3	0.7	2.8
$A$	$\text{m}^2$	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$P_{hf}^*$	-	1.2	0.5	7.2	3.1	1.5	9.0	9.7	4.1	1.0
$R_A^D$	人/件	1.67	0.69	9.85	4.21	2.04	12.44	13.29	5.60	1.38

(床面積  $A$  が表 3.5 の延べ面積平均値の場合)

		劇場等	飲食店等	物販店舗	ホテル	共同住宅	病院	学校	事務所	住宅
$R_A$	$10^{-3}$ 人/年	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
$P_{hf}$	$10^{-6}$ 件/ $\text{m}^2$	2.3	5.6	0.4	0.9	1.9	0.3	0.3	0.7	2.8
$A$	$\text{m}^2$	859	531	2728	2270	1942	4463	3770	1269	125
$P_{hf}^*$	-	1.2	0.5	7.2	3.1	1.5	9.0	9.7	4.1	1.0
$R_A^D$	人/件	0.19	0.13	0.36	0.19	0.11	0.28	0.35	0.44	1.10

※住宅のみ延べ面積平均値は住宅・土地統計調査 (2003 年)から得られた値を利用した。



### 3.7.3 許容避難リスクの設定に関する課題

以上の計算例より、同じ面積の空間に対する許容避難リスク  $R_A$  の違いによる用途間の設計許容避難リスク  $R_A^D$  の違いを示した。許容避難リスク  $R_A$  を用途毎に設定する場合と同一基準を用いる場合で設計許容避難リスク  $R_A^D$  の傾向が大きく異なったのは、物販店舗（各用途：小、同一基準：大）、ホテル、共同住宅（各用途：大、同一基準：小）である。このように許容避難リスク  $R_A$  の違いにより、設計許容避難リスク  $R_A^D$  の値は大きく異なる。設計許容避難リスク  $R_A^D$  が大きくなると設計に自由度が大きくなるため、基準の設定については各用途に設定すべきか、どの値を基準とすべきかなど更なる検討が必要である。基準値は統計データから得られる用途毎の傾向を鑑み、各用途の安全レベルの設定目標を明確にし、ケーススタディを重ね慎重に決めていく必要がある。

### 3.8 まとめ

本章ではリスクの概念に基づく避難安全評価手法で活用するため、代表的な用途の統計データの分析を行い、成長火災が発生した平均的な建物規模について統計データに基づき避難リスクの算出を行った。また、設計許容避難リスクの検討を実施した。主な結果は以下の通りである。

- ・成長火災の出火件数が床面積に比例する仮定の下で、成長火災の出火率を算出した。出火率は飲食店舗等の火気を扱う用途で高く、8用途の出火率は大きく3つのグループに分類に分けられた。
- ・成長火災1件あたりの死傷者数は在館者の滞在時間帯と関係があり、就寝用途は夜間に多く発生している。
- ・火災報告の延べ面積中央値、平均値についての避難リスクを算出した。死傷者の発生する避難リスクは用途間で異なり、特に共同住宅で大きく、物販店舗、事務所で小さい結果となった。
- ・設計許容避難リスクは、用途毎に基準を設定すると、基準とした延べ面積中央値と成長火災1件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  の両方の関係性から、学校、病院、共同住宅、ホテルが高くなり、同一の基準を用いると、各用途の出火率の大小関係から、学校、病院、物販店舗が高くなった。

設計許容避難リスクの設定は防火対策の取捨選択の決定に重大な影響を与えるため、設計目標とする安全レベルの設定について十分な検討を行う必要がある。また、ケーススタディを実施し、評価法を適用した場合の避難計画の妥当性についても十分な検討が必要である。また、本評価法では設計許容避難リスク  $R_A^D$  を求めるための成長火災の出火率  $P_{hf}$  や成長火災1件あたりの死傷者数  $C_{cas}$  などに統計データを利用している。近年、これらの値は定常状態にあるが、将来的にさらに厳しい許容値を求めるなどこれらの値

が変化することも考えられる。このような場合は統計データによって算出した数値を更新することにより、時代背景に見合った評価を行うことが可能である。

なお、火災報告においては、スプリンクラー設備が設置されている建築物の割合が低いため、その使用率も低い<sup>注7)</sup>。しかし、本報はスプリンクラー設備を含んだ規模に応じた防火対策が取られている結果であることに注意が必要である。

## 注

注1) 事務所以外の用途は延べ面積によらず出火率がほぼ一定であることが既往研究で報告されている<sup>4)</sup>。事務所は規模による管理水準の違い等が出火率に影響を及ぼしていると考えられるが、規模によらず一律として扱う方が規模の大きな建築物に対して評価上厳しい設定となるため、本報では出火率が床面積に比例すると定義する。

注2) 死傷者の対象は火災報告の死者の分類の「死者数その他」に自損が含まれるため、住宅以外の用途については「死者数その他」を除いた、死者：「消火義務者」、負傷者：「消火義務者」及び「その他のもの」とし、自損は含まない条件で実施した。住宅については「死者数その他」の死者数が多いことから、「火災による死者の調査表」のデータを用いて、火災報告の「死者数その他」の自損以外の人数を加えている。なお、負傷者の負傷程度は軽症以上とした。

注3) 成長火災：焼損床面積または焼損表面積が1m<sup>2</sup>以上あったもの、放火以外：過失による建物内の火災を対象とするため、出火原因分類表2表経過が放火、放火の疑い以外のもの、出火箇所が外周部以外の火災と定義した。

注4) 火災報告データは、総務省消防庁へ行政文書開示請求手続きを行うことによって入手した。データは全てコード化されているが、入力されている数値の意味等の詳細は文献<sup>5)</sup>の解説に記載されており、必要な項目の抽出・分析が可能である。なお、火災件数は兵庫県南部地震に伴う火災も含む。

注5) 固定資産の価格等の概要調書では共同住宅は非木造の延べ床面積については戸建て住宅と合算されている。住宅土地統計調査(5年毎)では木造と非木造別に共同住宅の床面積が得られるため、1998年の面積比率を用いて固定資産概要調書の共同住宅の値を按分し、非木造共同住宅の床面積を算出した。

注6) 病院：約4% (効果的に作動した火災40件/焼損0m<sup>2</sup>の火災1016件)、劇場等約3% (効果的に作動した火災3件/焼損0m<sup>2</sup>の火災104件)、その他は1%かそれ以下)

注7) 設置割合は病院を除く用途の平均は6%、病院は28% (火災報告の成長火災が発生した事例を対象)。スプリンクラー設備の火災時の使用率(火災報告の成長火災発生件数に対する使用率)は、病院が約12%、物販約3%、ホテルが約2%、劇場等が約1%、その他が0.2%以下である。

記号

$A$  : 床面積[m<sup>2</sup>]

$A_{ave}$  : 延べ面積の平均値[m<sup>2</sup>]

$A_{med}$  : 延べ面積の中央値[m<sup>2</sup>]

$C_{cas}$  : 成長火災 1 件あたりの避難不能者数[人/件]

$C_{cas}^D$  : 設計在館者密度ベースの成長火災 1 件あたりの避難不能者数[人/件]

$K$  : 任意の用途

$N_{ave}$  : 平均世帯人数[人]

$p_{cas}$  : 成長火災時における在館者の死傷率[/件]

$p_{den}$  : 在館者密度[人/m<sup>2</sup>]

$P_{hf}$  : 床面積あたりの成長火災件数[件/m<sup>2</sup>/年]

$P_{hf}^*$  : 戸建住宅との出火率比[-]

$p_{sty}$  : 住宅の平均的な滞在時間の統計データより算出した一日の平均在宅率[時間/時間]

$R$  : 避難リスク[人/年]

$R_A$  : 許容避難リスク[人/年]

$R_{ave}$  : 延べ面積の平均値における避難リスク[人/年]

$R_A^D$  : 設計許容避難リスク[人/件]

$R_{med}$  : 延べ面積の中央値における避難リスク[人/年]

$S$  : 避難リスクを許容避難リスクとみなす基準空間の用途

### 第3章参考文献

- 1) 例えば, 志田弘二他: 火災発生に伴う人命危険の評価法, 日本建築学会計画系論文報告集 No.368, 1986
- 2) 野竹宏彰, 池島由華, 山口純一, 田中哮義: 住宅・共同住宅火災の統計的分析に基づく設計避難リスクの算出—火災安全設計における設計避難リスクに関する研究—, 日本火災学会論文集, Vol.61, No.2, pp.1-11, 2011.08
- 3) 池島由華, 野竹宏彰, 山口純一, 田中哮義: 統計データに基づく用途別の避難リスクの算出 —火災安全設計における設計基準避難リスクに関する研究—, 日本火災学会論文集, Vol.61, No.3, 2011.
- 4) 朴哲也他: データベースを利用した非常用照明設備の故障率と出火率の解析, 日本建築学会構造系論文報告集第 418 号, pp.117-126, 1990.12
- 5) 防災行政研究会 編: 火災報告取扱要領ハンドブック 11 訂版, 東京法令出版, 2007.5.
- 6) EDMC/エネルギー・経済統計要覧 (2008 年版), 財団法人日本エネルギー経済研

- 研究所エネルギー計量分析センター， 2008.2
- 7) 固定資産の価格等の概要調書，1995～2004年，総務省
  - 8) 東京消防庁統計書平成15年，東京消防庁，2004.11
  - 9) 辻本誠：リスク比較と認知，建築雑誌，日本建築学会，Vol.116, No.1479, pp.22-25,2001
  - 10) TANAKA Takeyoshi.: Risk-based selection of design fires to ensure an acceptable level of evacuation safety, The 9th symposium, Fire safety Science, IAFSS, (2008), Karlsruhe, Germany
  - 11) 辻本誠：防災における安全管理—建築分野における規制とリスクの変化，「システム／制御／情報」／システム制御情報学会，Vol.47, No.8, pp.13-19, 2003
  - 12) Starr: Social Benefit versus Technological Risk, Sciences, Vol.165, 1969
  - 13) 関沢愛他：火災危険分析モデルを記述するための一般的な概念的フレームワーク，災害の研究第24巻，1993
  - 14) 掛川秀史：火災シナリオに基づく避難安全性評価手法に関する研究，学位論文（名古屋大学），1997
  - 15) 平成12年建告第1441号，同第1442号
  - 16) 2005年国民生活時間調査報告書、NHK放送文化研究所、2006

## 第4章 防火対策の作動信頼性と効果の定義

### 4.1 はじめに

本評価法はスプリンクラー設備などの建築物の避難安全に関わる防火対策の性能の程度や信頼性に関するイベントツリーを用いた火災シナリオに基づく評価<sup>1),2)</sup>を実施する。このようなイベントツリーに基づく評価では、防火対策の作動確率やその効果の定義によって結果が大きく異なるものとなる。これらの防火対策の作動信頼性については、定期点検報告や火災統計データを利用した検討が過去に行われている<sup>3)-9)</sup>が、奏効の定義が明確ではなく、本評価法のイベントツリーにそのまま利用できるものに必ずしもなっていない。例えば、避難安全評価ではスプリンクラー設備の散水で火源を一定以下に抑制する場合についても効果があるとみなすが、火災統計上は効果があったとみなされていない可能性もある。

本章では、本評価法の居室避難で想定される防火対策について、作動信頼性のデータを既往文献の調査によって収集・整理する。特に、スプリンクラー設備については、作動時の火源パターンを分類し、統計データを利用し各火源パターンの作動信頼性の算出を行った。また、スプリンクラー設備が設置されている空間の設計火源の設定を行った。

### 4.2 本評価法で対象とする防火対策と検討方法

#### 4.2.1 本評価法で対象とする防火対策

ここでは、居室避難検証で対象とする防火対策の種類と評価法での効果について整理する。

居室避難検証に関係する防火対策を表4.1に示す。居室の中に天井まで達する壁で区画された子室が存在する場合は、子室の扉、防火シャッターの作動信頼性と効果が親室の避難安全性に影響を及ぼすため、本評価法においては、居室避難検証での火災進展に関わりのある表4.1に示すスプリンクラー設備、排煙設備、防火シャッター、区画の扉の4つの防火対策を対象とした。

評価には、設備の作動の成否に関わる生起確率と設備の火災・煙性状に対する効果が関係する。本評価法では第2章で示したように、シナリオの生起確率に基づいて設計火災成長率が算出される（例えば、火災シナリオの生起確率が小さい場合には設計火災成長率が大きく算出される）ため、各防火対策の成否の生起確率の設定は重要となる。また、各防火対策の評価上の効果の扱いについては、スプリンクラー設備は有効に作動すれば火源は抑制され、最大発熱速度の設定に反映される。排煙設備が作動した場合には煙が排出され、煙層下端が避難限界高さに達する時間が延長される。防火シャッターと

区画の扉は隣接区画への煙伝播防止に関係し、特に居室内に床面積の小さい廊下状の親室を持つような計画では、子室からの漏煙を制御するのに大きな影響を与える。

表 4.1 居室避難検証に関係する防火対策

防火対策	本評価法における扱い		
	生起確率	評価に反映される効果	
スプリンクラー設備	設計火災 成長率	火災性状	最大発熱速度の抑制
排煙設備		煙性状	煙排出による煙降下時間の遅延
防火シャッター（子室がある場合）			隣接区画への煙伝播防止
区画の扉（子室がある場合）			

#### 4.2.2 検討方法

本章では、上記の4つの防火対策の作動信頼性の調査および分析を行う。スプリンクラー設備については、散水の効果を設計火源に反映させるため、作動信頼性に加え、評価法で取り扱う設計火源についても設定を行う。各防火対策の作動信頼性の調査および分析方法を以下に示す。

##### ① スプリンクラー設備

既往の調査結果を整理する。また、スプリンクラー設備については統計データに基づいて作動に関する確率を設定する。ただし、公開されている統計データでは本研究の意向に沿う形でデータが提供されていないので、設計で想定すべき散水の発熱速度への効果を分類し、各火源パターンを焼損床面積に基づき定義する。その定義を用いて統計データで作動に関する確率を算出する。また、統計データを用いてスプリンクラー設備作動に伴う避難安全への影響や焼損床面積と消火効果の関係を分析する。

##### ② 排煙設備

既往文献の調査結果に基づき、作動/不作動確率を設定する。

##### ③ 防火シャッター

既往文献の調査結果、および近年に行われた定期点検に関する報告をもとに閉鎖/不閉鎖確率を設定する。

##### ④ 防火戸

既往文献の調査結果に基づき、閉鎖/不閉鎖確率を設定する。

### 4.3 スプリンクラー設備の作動信頼性と設計火源

居室の避難安全評価に利用するために、スプリンクラー作動時の消火、抑制などの火源パターンの分類を行う。また、スプリンクラー設備の散水による消火、抑制について焼損床面積で定義を行い、その定義に基づきスプリンクラー設備の作動に関する生起確率を統計データを利用して算出する。さらに、スプリンクラー設備が設置されている場合の設計火源の設定を行う。

#### 4.3.1 スプリンクラー設備がある場合の火源パターン

スプリンクラー設備が設置されている場合に起こりうる火源パターンの整理を行った。図 4.1 にスプリンクラー設備が設置されている場合の火源のパターンを示す。

スプリンクラー設備はヘッドが火災による熱を受けて作動温度に達した時点で散水するが、火源が小さい場合や他の消火器具で初期消火が奏功した場合の小火や、スプリンクラー設備が作動しない発熱速度で燃焼が継続する作動条件に至らない火災がある。また、スプリンクラー設備が作動する条件に達する火災にも関わらず、スプリンクラー設備が作動しない場合があり、この原因としては機器の故障、バルブの閉め忘れによる管理不良などがある。不作動時は火災が成長していくと考えられ、本研究ではスプリンクラー設備不作動時の火源パターンを S4 とする。同様にスプリンクラー設備が作動条件に達する火災で作動した場合に、図 4.1 に示すよう散水により発熱速度が減衰し消火成功するパターン (S1)、散水直後に消火に至らなかったものの、発熱速度を一定の状態に抑制するパターン (S2) がある。設計火源としては、海外ではスプリンクラー設備がある場合は S1 のように作動後に発熱速度が減少するモデルが用いられている<sup>10),11)</sup>が、消火が成功した場合は小火となり安全に避難可能であると考えられることから、本研究ではスプリンクラー設備が効果的に機能する場合を S1 と S2 に分けて考えた。なお、作動条件に至らない火災でも、燃焼が継続する場合は避難安全性を評価する必要があるので、本研究では作動条件に満たない発熱速度で燃焼が継続する火災を S2 に含めて検討を行うものとする。消火に失敗した火災では、スプリンクラー設備が作動したにも関わらず、散水が燃焼拡大に追い付かずに火災が拡大し続ける抑制失敗パターン (S3) がある。既往の研究では、本評価法の火源パターンに基づく生起確率の算出は行われた例はない。そこで、本研究ではスプリンクラー設備作動時の火源パターン S1～S4 をもとに、生起確率の設定を行う。なお、S2 については散水による抑制火源の最大発熱速度の設定についても検討を行う。

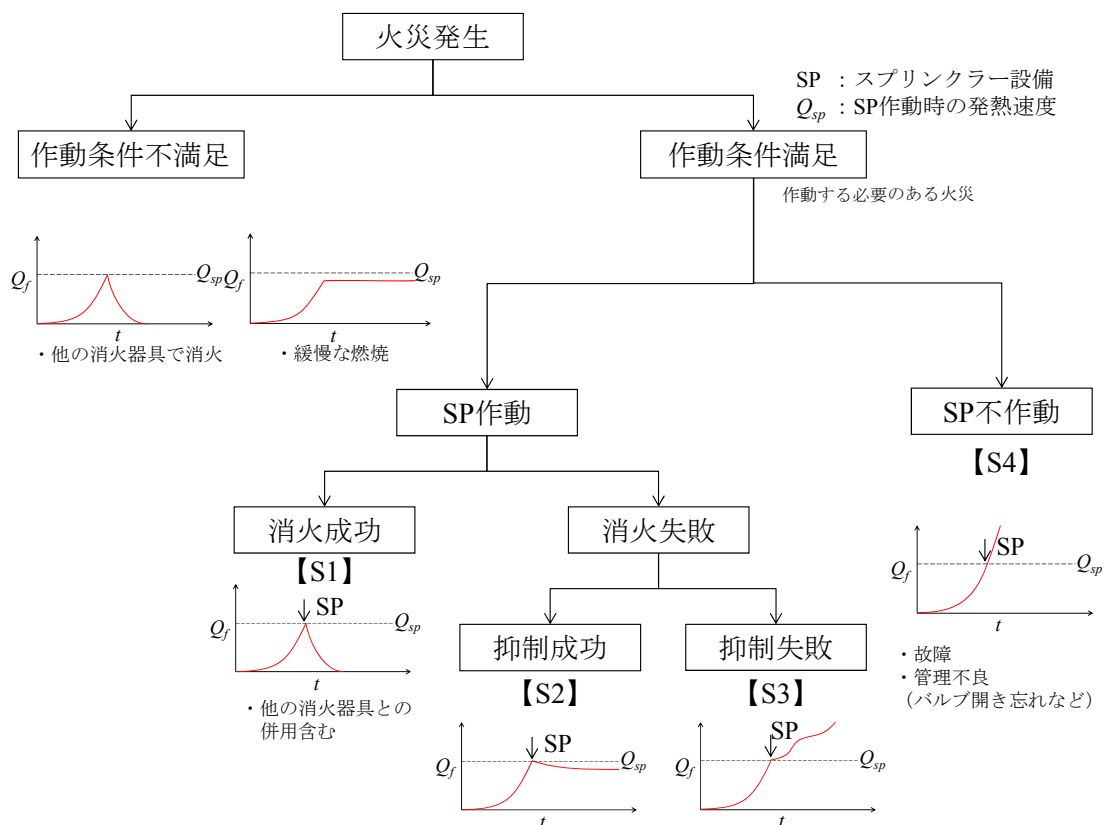


図 4.1 スプリンクラー設備が設置されている場合の火源のパターン

#### 4.3.2 作動信頼性に関する既往の研究

防災設備の作動確率について間瀬らが既往の文献調査を実施<sup>6)</sup>しており、ISO の Guidance on Fire Risk Assessment<sup>7)</sup>の中では、スプリンクラー設備の奏功率は 95.0%と設定していると報告している。また、表 4.2 に示すように文献[8]では 17 文献のスプリンクラー設備の奏功率がまとめられており、最小が 87.6%、最大が 99.5%と報告されている。しかし、奏効の定義は必ずしも明確にはなっていない。



表 4.2 スプリンクラー設備作動信頼性に関する既往研究（文献[8]を加筆して作成）

Reference	Reliability of Success[%]	Comments	調査対象	発行年	文献
Marryat	99.5	Inspection, testing, and maintenance exceeded normal expectations and higher pressures	Australia	1986	[8]
Maybee	99.4	Inspection, testing, and maintenance exceeded normal expectations and higher pressures	USA	1988	
Powers	98.8	Office buildings only in New York City	USA	1979	
Powers	98.4	Other than office buildings in New York City	USA	1979	
Finucane et al.	96.9-97.9		Scotland	不明	
Milne	96.6/97.6/89.2		不明	不明	
NFPA	88.2-98.2	Data provided for individual occupancies – total for all occupancies was 96.2%.	USA	1970	
Linder	96.0		USA	1993	
Richardson	96.0		Canada	1985	
Miller	95.8		不明	1974	
Powers	95.8	Low rise buildings in New York City	USA	1979	
US Navy	95.7	1964 – 1977	USA	2003	
Smith	95.0	UK data	UK	1983	
Miller	94.8		不明	1974	
Budnick	92.2/94.6/97.1	Values are lower in commercial uses (excludes institutional and residential)	不明	2001	
Kook	87.6	Limited data base	USA	1990	
Ramachandran	87.0	Increases to 94 percent if estimate number of fires not	USA	1998	
日本損害保険協会	97.9	政令指定都市10市10年分(1982～1991年)のスプリンクラー設備が作動した建物火災234件(消火器や消火栓の併用により消火された事例を含む)	日本	1994	[4]

機器が作動しない事象のうち、機器の故障に基づくものについては、掛川らが東京都の建築物の定期点検データに基づいて、スプリンクラー設備の軽微な不良、重大な不良の発生率を算出している<sup>9)</sup>。不作動に関係する場合として重大な不良の発生率に基づき、故障率 1.6%を設定している。

#### 4.3.3 スプリンクラー設備作動に関する火災の統計データの調査項目

火災時のスプリンクラー設備の作動に関しては消防機関で統計が取られている。ここでは、消防機関から公表されている統計データのスプリンクラー設備に関わる項目を整理する。利用したデータは2種類で、一つは全国の消防機関で調査された統計データを集計した総務省消防庁により公開されている「火災報告<sup>12)</sup>」である。もう一つは東京消防庁が火災報告の調査項目以外に独自の項目で調査を行い、消防設備に関する効果を報告している「火災の実態<sup>13)</sup>」である。

##### 1)火災報告

「火災報告」のスプリンクラー設備に関する調査項目を図 4.2 に示す。「火災報告」ではスプリンクラー設備の設置の有無、作動の有無の調査が行われているが、不作動の場合の作動の必要性の区別がされていない。不作動の場合には、作動の必要があったが故障・管理不良で作動しない、天井高が高い等で作動条件に到達せず燃焼が継続する火

災、および小火で作動の必要のない火災が混在していると思われる。また、初期消火に用いた器具1点のみについてその効果を尋ねているため、スプリンクラー設備を初期消火器具に挙げていない場合はスプリンクラー設備の効果は明らかにならない。例えば、消火器で初期消火に失敗し、その後スプリンクラー設備で消火に成功した場合には、消火器が効果なしの回答のみでスプリンクラー設備の効果は記載されない。スプリンクラー設備が作動した火災でも初期消火なしと回答されている事例もあり、スプリンクラー設備が初期消火に使用されたと判断されない場合も存在する。初期消火器具の効果についても明確な定義は存在しない。つまり、「火災報告」では本評価法で必要な作動条件を満足した火災か否かが区別できず、消火、抑制の分類もないため、S1～S4 生起確率の算出を単純にはできない。

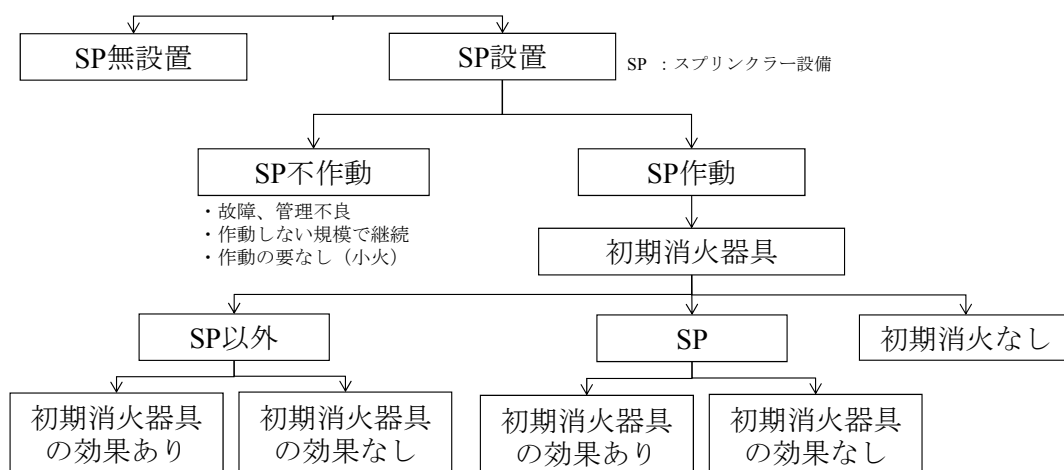


図 4.2 「火災報告」によるスプリンクラー設備に関する調査項目

## 2)東京消防庁「火災の実態」の調査項目

「火災の実態」のスプリンクラー設備が関連する統計の調査項目を図 4.3 に示す。「火災の実態」ではスプリンクラー設備が作動する必要のあった火災か否か、作動した場合に効果のあった件数を集計している。また、不作動の場合の理由も調査している。故障率だけではスプリンクラー設備の不作動率を小さめに見積もる恐れがあるが、不作動の要因には機器の故障以外に管理不良の件数が含まれるため、故障および管理不良を含めた不作動率の算出が可能である。

しかし、「火災の実態」のデータについても、「火災報告」と同様に効果や作動の必要性は明確に定義されておらず、スプリンクラー設備の「消火成功」、「抑制成功」については判断できない。

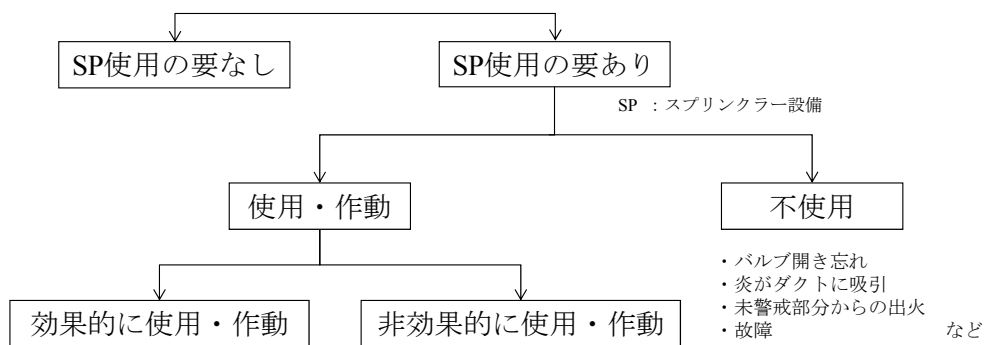


図 4.3 東京消防庁によるスプリンクラー設備に関する調査項目

このように、消防機関による火災統計データを単純に集計して、S1～S4 生起確率の算出はできない。「スプリンクラー設備の効果があつた火災」はおそらくその多くが S1 の「消火成功」を示していると思われるが、効果があつたと判断された火災の被害も明らかになっていない。本評価法においては、成長拡大する火災を対象としているので「消火成功」は小火（焼損床面積  $0\text{m}^2$ ）で検証対象外とし、スプリンクラー設備が有効な場合については、「抑制成功」での避難安全性を確認する。「抑制成功」では散水により抑制された発熱速度  $Q_{sp}$  を設計火源とし、発熱速度  $Q_{sp}$  はスプリンクラー設備が作動しない条件を考慮するため焼損床面積が小さいと考える。よって、焼損床面積を指標として、統計データを用いて「消火成功」および「抑制成功」の確率の算出を行うことを考えている。設計での定義が実火災の現状と乖離しすぎることは好ましくないため、消防機関でスプリンクラー設備の効果があつたと判断した火災の焼損床面積を調べ、「消火成功」および「抑制成功」の定義の参考とする。

#### 4.3.4 「消火成功」と「抑制成功」の定義に関する統計データに基づく分析

S1～S4 の各火源パターンの生起確率を得るために、下記に示す確率が必要となり、統計データでの算出条件の設定が必要となる。

- ・スプリンクラー設備が作動条件に達する火災の割合
- ・作動条件を満足した場合の作動率： $p_{sp}$ 、または不作動率： $1-p_{sp}$
- ・スプリンクラー設備が作動した場合の消火率： $p_{ex}$
- ・スプリンクラー設備が作動した場合の抑制率： $p_{cont}$
- ・作動条件に達しないで燃焼が継続する火災の割合： $p_{st}$

本評価法では、下記に示す条件を統計データでの算出条件と設定した。

- ・スプリンクラー設備が作動した場合の「消火成功」：焼損床面積  $0\text{m}^2$

- ・スプリンクラー設備が作動した場合の「抑制成功」：焼損床面積 1m<sup>2</sup>
- ・作動条件に達しないで燃焼が継続する火災：スプリンクラー設備不作動で焼損床面積が「抑制成功」と同じ火災

本評価法では「消火成功」を焼損床面積 0m<sup>2</sup>の火災と想定し、検証を行わないこととしている。しかし、スプリンクラー設備は作動する前にある程度の火源規模に到達していることも考えられる。また、検証対象外と設定した火災の条件で多数の死傷者が発生し、検証対象外と想定できないことも考えられる。そこで、下記に示すような消防機関が効果があったと判断した火災の焼損床面積やスプリンクラー設備作動時の死傷者数を分析することにより、「消火成功」、「抑制成功」の定義の参考とする。なお、消防による本格消火の実施有無を分析したのは焼損床面積が本格消火の影響を受けていないかを確認するためである。

- ・初期消火器具の効果有無と焼損床面積
- ・初期消火器具の効果有無別の本格消火実施有無と焼損床面積
- ・スプリンクラー設備作動時の死傷者数（率）と焼損床面積

#### (1) 消防機関の判断による初期消火器具の効果的な消火と焼損床面積の関係

既往研究<sup>4)</sup>ではスプリンクラー設備の奏功率を消防機関が判断した「スプリンクラー設備の効果あり」のデータに基づき算出が行われているが、「火災報告」ではスプリンクラー設備が効果的に機能した件数を把握できない。また、本評価法ではスプリンクラー設備の奏功を「消火成功」、「抑制成功」に分け、焼損床面積で定義することを考えている。スプリンクラー設備が作動するためには火災がある程度成長していることが考えられるため、「火災報告」のスプリンクラー設備が作動した火災で初期消火器具が効果的であったと消防機関が判断した火災の焼損床面積を分析することで、本評価法で設定した「消火成功」、「抑制成功」の定義の参考とする。

#### 1)調査方法

第3章と同様に1995年～2004年の10年間の「火災報告」データを利用する。ここでは第3章で示した住宅用途以外の7用途のスプリンクラー設備が作動した火災<sup>注1)</sup>497件のデータで分析を行った。なお、第3章では成長火災を対象としているが、スプリンクラー設備の効果を確認するために、ここでは小火も対象としている。

初期消火に用いた器具を1種類について初期消火の効果の有無を回答する項目がある。これを初期消火器具と効果の有無で以下の5つに分類し、データの分析を行う<sup>注5)</sup>。

- ①スプリンクラー設備以外の消火器具で初期消火に効果があった火災
- ②スプリンクラー設備が初期消火に効果があった火災
- ③初期消火なし
- ④スプリンクラー設備以外の消火器具が初期消火に効果がなかった火災
- ⑤スプリンクラー設備が初期消火に効果がなかった火災

また、「火災報告」には火災現場で消防隊が放水をした場合には放水開始時刻が記録されているため、放水が行われた場合を本格消火ありとし、①～⑤それぞれについて、消防隊の本格消火件数を火災件数で除すことにより得られる本格消火実施率により、初期消火の効果と本格消火の必要性を検討した。さらに、①～⑤を本格消火実施有無でデータをさらに分類し、それぞれの焼損床面積の平均値を集計した。

## 2)調査結果

①～⑤の件数とそれぞれの平均焼損床面積を算出した結果を表 4.3 に示す。また、①～⑤の焼損床面積の超過確率を図 4.4 に示す。焼損床面積の統計値は整数であるが、図 4.4 は対数表示しているため、焼損床面積  $0\text{m}^2$  を  $0.1\text{m}^2$  として表示している。

表 4.4 より、スプリンクラー設備が作動した火災のうち、初期消火器具に効果があった(①+②)割合は約 0.7、初期消火なし(③)の割合が約 0.1、初期消火に効果がなかった(④+⑤)割合が約 0.2 である。表 4.3 と図 4.4 の焼損床面積をみると、最も小さいのは①の他の器具で初期消火が成功した場合である。初期消火が成功した場合(①、②)が他と比べて小さく、殆どが  $2\text{m}^2$  未満となっている。しかし、スプリンクラー設備の効果があった場合(②)でも焼損床面積が大きい事例も数件みられる。逆に初期消火がないまたは失敗した場合(③～⑤)でも焼損床面積が  $0\text{m}^2$  を超過する確率は約 0.2 と低い。スプリンクラー設備が作動しているにも関わらず焼損床面積が  $0\text{m}^2$  であるのは、統計上小数点以下は四捨五入されることと、床面以外の壁が燃える場合の焼損表面積が入っていないことが理由として考えられる。ところで、③、④の焼損床面積が小さい事例は、初期消火が行われていない、あるいは他の器具で初期消火失敗でもスプリンクラー設備の効果があったものが含まれていると考えられる。また、⑤はスプリンクラー設備の効果がないと判断された事例であるが、効果がないにも関わらず平均焼損床面積が小さい。この理由として、「スプリンクラー設備の効果なし」には作動する必要のない火災やダクト火災等も含まれていると考えられる。

表 4.3 スプリンクラー設備が作動した火災の初期消火の状況と平均焼損床面積

初期消火器具の 効果	① 他の器具で 効果あり	② スプリンク ラー設備の 効果あり	③ 初期消火 なし	④ 他の器具の 効果なし	⑤ スプリンク ラー設備の 効果なし
火災件数 (割合)	174 (0.35)	167 (0.34)	47 (0.09)	85 (0.17)	24 (0.05)
平均焼損床面積[m <sup>2</sup> ]	0.2	0.7	3.7	14.3	1.8
焼損床面積1m <sup>2</sup> 未満件数	159	149	37	67	20

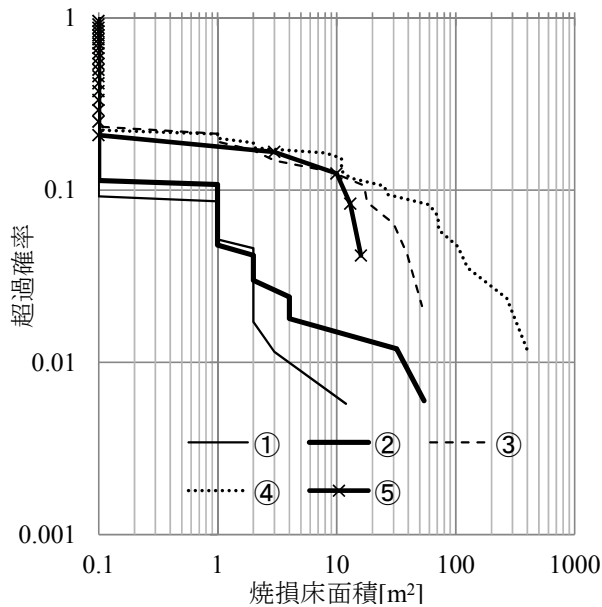


図 4.4 スプリンクラー設備が作動した火災の初期消火の状況別焼損床面積の超過確率

以上のように、スプリンクラー設備に初期消火器具の効果がなかったと回答された火災でも焼損床面積が小さい火災があり、「火災報告」の初期消火器具の効果の有無の回答だけではスプリンクラー設備の効果は判断しがたい。また、焼損床面積だけではスプリンクラー設備の効果ではなく、消防隊により消火された結果であることも考えられる。

そこで、消防隊による本格消火が実施されたかどうかでスプリンクラー設備の効果を確認する。初期消火の状況別の本格消火実施率を表 4.4 に示す。

「初期消火が成功した場合（①、②）」の消防隊による本格消火の実施率は「初期消火なしあるいは失敗（③～⑤）」と比較すると低い。「初期消火なしあるいは他の器具の効果なし（③～④）」についても約 6 割は消防隊による消火が必要ない結果となっている。

表 4.4 スプリンクラー設備が作動した火災の初期消火の状況別本格消火実施率

初期消火器具の 効果	① 他の器具で 効果あり	② スプリンク ラー設備の 効果あり	③ 初期消火 なし	④ 他の器具の 効果なし	⑤ スプリンク ラー設備の 効果なし
火災件数 (割合)	174 (0.35)	167 (0.34)	47 (0.09)	85 (0.17)	24 (0.05)
本格消火件数	28	27	19	36	9
本格消火率	0.16	0.16	0.40	0.42	0.38

次に、初期消火の状況と本格消火実施有無別の平均焼損床面積を表 4.5 に示す。初期消火器具に効果があった場合は本格消火実施有無に関わらず平均焼損床面積は小さく、初期消火器具により消防隊の到着前に殆ど火災が鎮圧されているものと考えられる。一方、初期消火器具に効果がなかった場合（③～⑤）は本格消火を実施している方が平均焼損床面積が大きい。③、④の他の器具および消防隊による消火が行われていない場合では焼損床面積が 1m<sup>2</sup>未満と小さいことからスプリンクラー設備の効果もあったと考えられる。⑤は③、④よりも焼損床面積が小さいので、散水が燃焼拡大に追いつかなかったというより、ダクトに炎が吸引される等のスプリンクラー設備が効果を発揮できない火災で焼損床面積が小さくなったものと考えられる。

表 4.5 初期消火の状況別の本格消火実施有無による平均焼損床面積

初期消火器具の 効果	①		②		③		④		⑤		平均	
	他の器具で 効果あり		スプリンク ラー設備の 効果あり		初期消火 なし		他の器具の 効果なし		スプリンク ラー設備の 効果なし		あり	なし
本格消火 件数	あり 28	なし 146	あり 27	なし 140	あり 19	なし 28	あり 36	なし 49	あり 9	なし 15	-	-
平均焼損床面積[m <sup>2</sup> ]	0.8	0.1	0.2	0.8	8.9	0.1	33.4	0.2	3.2	0.9	9.3	0.4

### 3)まとめ

「火災報告」のスプリンクラー設備が作動した火災について、初期消火器具の効果と焼損床面積の分析を行った結果、初期消火器具の効果があった火災の「初期消火器具の効果あり」の殆どが焼損床面積 1m<sup>2</sup>未満であった。焼損床面積は消防隊による本格消火の影響を受けていることも考えられるため、本格消火の実施有無と結びつけることにより、初期消火器具の効果の確認を行った。初期消火器具の効果があった火災で本格消火がない場合の平均焼損床面積は 1m<sup>2</sup>未満であった。消防機関では焼損床面積が 1m<sup>2</sup>未満の場合をスプリンクラー設備を含めた初期消火器具で効果的に消火されたと判断していることがわかった。

## (2) スプリンクラー設備の作動有無別の焼損床面積と死傷者率の関係

本評価法において「消火成功」は小火で検討対象外とするため、焼損床面積 1m<sup>2</sup>未満の死傷者の発生状況の確認を行っておく必要がある。また、スプリンクラー設備は、避難中に作動すると煙層を拡散し避難に支障を与える可能性を指摘されている。避難安全評価にスプリンクラー設備の効果を導入する場合には、スプリンクラー設備の散水による危険性の検討は避けて通れない課題である。よって、スプリンクラー設備作動の有無による死傷者率の違いを統計データを用いて分析することによりスプリンクラー設備が避難安全上の効果にどのような影響を及ぼしたかを検討する。なお、統計データで報告されている火災はスプリンクラー設備がない場合でも非常に小さいものが殆どである。また、負傷者には軽傷のものも含まれるため、死傷者だけではスプリンクラー設備の効果なのかスプリンクラー設備がなくても被害が小さかったのかを判断しがたい。そこで、人的被害を死者、負傷者、死傷者（死者と負傷者の合計）に分け、スプリンクラー設備の作動した火災としなかった火災について焼損床面積別に人的被害の程度をみることにより、スプリンクラー設備の人的被害への影響を検討することとした。

### 1)調査方法

「火災報告」（1995年～2008年）のデータ<sup>注3)</sup>のうち、スプリンクラー設備が作動した件数が比較的多い用途として、出火箇所が①店舗、客室、客席部分（物販系）13,902件および②一般事務、教育教養、研究室（事務所系）10,004件を対象とした<sup>注4)</sup>。スプリンクラー設備が作動した場合（①399件、②100件）と作動しない場合（①13,503件、②9,904件）別<sup>注5)</sup>に焼損床面積を0m<sup>2</sup>、1m<sup>2</sup>、2m<sup>2</sup>、3m<sup>2</sup>以上の4つに分類し、火災1件あたりの死者数（人/火災）、火災1件あたりの負傷者数（人/火災）、火災1件あたりの死傷者数（人/火災）を算出した。なお、死傷者数と焼損床面積の被害に関しては、スプリンクラー設備が設置されていない室もスプリンクラー設備が作動しない状況と同じであるため、本検討ではスプリンクラー設備が作動しない場合はスプリンクラー設備が設置されていない室での火災を含んでいる。

### 2)調査結果

表 4.6-1～表 4.6-3 に火災統計に基づく焼損床面積別の死傷者率等の算出結果を示す。

スプリンクラー設備が作動した場合の死者率をみると、特殊な場合<sup>注b)</sup>を除いて焼損床面積に関わらず死者の発生する確率は0であることがわかる。また、スプリンクラー設備が不作動の場合であっても、焼損床面積が1m<sup>2</sup>以下であれば死者の発生する確率は非常に低い（火災1000件当たり1～2人）。次に、負傷率をみると、焼損床面積2m<sup>2</sup>以下の場合ではスプリンクラー設備の作動の有無で負傷率に大きな差はない。火災時の負傷は非常に軽症のものも含まれるため、負傷のみを対象とするとスプリンクラー設備の有無の違いが現れない。スプリンクラー設備作動ありの場合で焼損床面積3m<sup>2</sup>以上の負傷率が高いのは1件で多数の負傷者を出した火災の影響である<sup>注a)</sup>。ただし、スプリン



クラー設備が作動した場合は件数が少ないため、値のばらつきが結果に影響を与えている。死傷者数は全体的に②の事務所系の方が少ないが、スプリンクラー設備が作動した場合は死者が少ないこと、スプリンクラー設備が作動した場合でも焼損床面積が2 m<sup>2</sup>以上になると死傷者数が多くなる傾向は店舗系と事務所系で類似している。

表 4.6-1 「火災報告」に基づく死傷者率等の算出結果（①店舗、客室、客席）

		死者率[人/火災]		負傷者率[人/火災]		死傷者率[人/火災]		火災件数[件]	
		SP作動あり	SP作動なし	SP作動あり	SP作動なし	SP作動あり	SP作動なし	SP作動あり	SP作動なし
焼損床面積 [m <sup>2</sup> ]	0m <sup>2</sup>	0	0.002	0.081	0.109	0.081	0.111	347	9,150
	1m <sup>2</sup>	0	0.002	0.118	0.109	0.118	0.112	17	403
	2m <sup>2</sup>	0	0.014	0.231	0.249	0.231	0.263	13	289
	3m <sup>2</sup> 以上	0	0.030	0.591 <sup>注a)</sup>	0.236	0.591 <sup>注a)</sup>	0.266	22	3,661

表 4.6-2 「火災報告」に基づく死傷者率等の算出結果

（②一般事務、教育教養、研究室）

		死者率[人/火災]		負傷者率[人/火災]		死傷者率[人/火災]		火災件数[件]	
		SP作動あり	SP作動なし	SP作動あり	SP作動なし	SP作動あり	SP作動なし	SP作動あり	SP作動なし
焼損床面積 [m <sup>2</sup> ]	0m <sup>2</sup>	0.012 <sup>注b)</sup>	0.003	0.116	0.107	0.128	0.110	86	5,518
	1m <sup>2</sup>	0	0	0	0.073	0	0.073	3	465
	2m <sup>2</sup>	0	0.004	0	0.089	0	0.093	3	259
	3m <sup>2</sup> 以上	0	0.020	0.375 <sup>注c)</sup>	0.145	0.375 <sup>注c)</sup>	0.165	8	3,662

表 4.6-3 「火災報告」に基づく死傷者率等の算出結果（①+②）

		死者率[人/火災]		負傷者率[人/火災]		死傷者率[人/火災]		火災件数[件]	
		SP作動あり	SP作動なし	SP作動あり	SP作動なし	SP作動あり	SP作動なし	SP作動あり	SP作動なし
焼損床面積 [m <sup>2</sup> ]	0m <sup>2</sup>	0.002 <sup>注b)</sup>	0.002	0.088	0.108	0.090	0.111	433	14,668
	1m <sup>2</sup>	0	0.001	0.100	0.090	0.100	0.091	20	868
	2m <sup>2</sup>	0	0.009	0.188	0.173	0.188	0.182	16	548
	3m <sup>2</sup> 以上	0	0.025	0.533 <sup>注a,c)</sup>	0.191	0.533 <sup>注a,c)</sup>	0.216	30	7,323

注 a) ①店舗、客室、客席において、焼損床面積 3 m<sup>2</sup>以上となったスプリンクラー設備作動ありの火災は1件発生し、1件の火災において13人の負傷者が発生している。火災状況を調査した結果を以下に示す。

「2005年5月19日、水戸市の長崎屋上水戸店の2階玩具売場から出火した。陳列棚に展示されていた花火から爆竹が破裂するような音がして、店員が気づいた。店の従業員が初期消火、避難誘導等を行った。火災により展示してあった花火、玩具及び棚など58平方メートルが焼失した。スプリンクラーヘッドは5個作動し、消火器を15本使用した。放火未遂の疑いで少年2人が逮捕された。」

注 b) ②一般事務、教育教養、研究室において、焼損床面積 0 m<sup>2</sup>となった SP 作動ありの火災1件で死者が1名発生している。火災状況を調査した結果を以下に示す。

「18日午前10時半ごろ、名古屋市緑区黒沢台、特別養護老人ホームで火災報知機が作動。職員が駆け付けると、二階喫煙室でたばこを吸っていた入所者の男性(88)の衣服が燃えていた。スプリンクラーで火はすぐに消し止められたが上半身にやけどを負った。緑署は、喫煙中にたばこの火

が衣服に燃え移ったとみている。調べなどによると、同ホームはこの男性のほか約六十五人が入所しているが全員無事だった。<http://www.chunichi.co.jp/chubunews/14170279.shtml>」  
注 c) 3 m<sup>2</sup>以上となった SP 作動ありの火災は 8 件発生し、3 人の負傷者が発生している (6 件×0 人、1 件×1 人、1 件×2 人)

### 3)まとめ

スプリンクラー設備が作動した場合には死者を殆ど発生させておらず、スプリンクラー設備が避難安全性を向上させていることがわかった。また、焼損床面積が 2 m<sup>2</sup>まではスプリンクラー設備作動の有無で死傷者率の差が殆どないため、初期火災時のスプリンクラー設備作動に伴う煙拡散による避難安全性への影響は少ないと考えられる。焼損床面積が 2m<sup>2</sup> 以上から死傷者率が高くなっている。

#### (3) 「火災報告」の分析に基づく「抑制成功」の焼損床面積

本評価法では、「抑制成功」を散水直後の消火に失敗し、スプリンクラー設備で最大発熱速度が低減された火災、または作動に至らない発熱速度が継続する火災であると定義している。よって、評価上、「抑制成功」はスプリンクラーヘッドが作動しない限界の発熱速度と考えることができ、焼損床面積を 1m<sup>2</sup>～2m<sup>2</sup>程度と考える。そこで、「火災報告」で初期消火の「効果あり」と判断された火災の焼損床面積 1m<sup>2</sup> 以上の分布を調べ、「抑制成功」火災の統計上の定義に関する検討を行う。

##### 1)検討方法

(1)の初期消火器具の効果に対する分類の①②の「消火成功」以外（焼損床面積が 1 m<sup>2</sup>以上）の火災 33 件を対象とし、焼損床面積の分布を確認する。

##### 2)検討結果

初期消火器具の効果があった場合の焼損床面積が 1 m<sup>2</sup>以上の火災の焼損床面積を表 4.7 に示す。初期消火器具の効果があった場合は焼損床面積 2m<sup>2</sup> までの割合が 0.8 以上と小規模で抑えられている。焼損床面積が 32m<sup>2</sup>、54m<sup>2</sup> と大きな火災は、いずれもスプリンクラー設備が初期消火に効果があった②で本格消火が実施されていない火災である。スプリンクラー設備の効果があったと回答され、かつ本格消火が実施されていないので、散水直後に消火に至らなかったがスプリンクラー設備により火災が抑制されたと考えられる。

表 4.7 初期消火器具の効果があつた場合の焼損床面積 1m<sup>2</sup>以上の火災の焼損床面積

焼損床面積	件数	累積割合
1m <sup>2</sup>	18	0.55
2m <sup>2</sup>	9	0.82
3m <sup>2</sup>	1	0.85
4m <sup>2</sup>	2	0.91
12m <sup>2</sup>	1	0.94
32m <sup>2</sup>	1	0.97
54m <sup>2</sup>	1	1.00
合計	33	

### 3)まとめ

初期消火器具の効果があつた場合の焼損床面積 1m<sup>2</sup>以上の火災の焼損床面積の分布により、統計上のスプリンクラー設備の「抑制成功」について検討を行った。

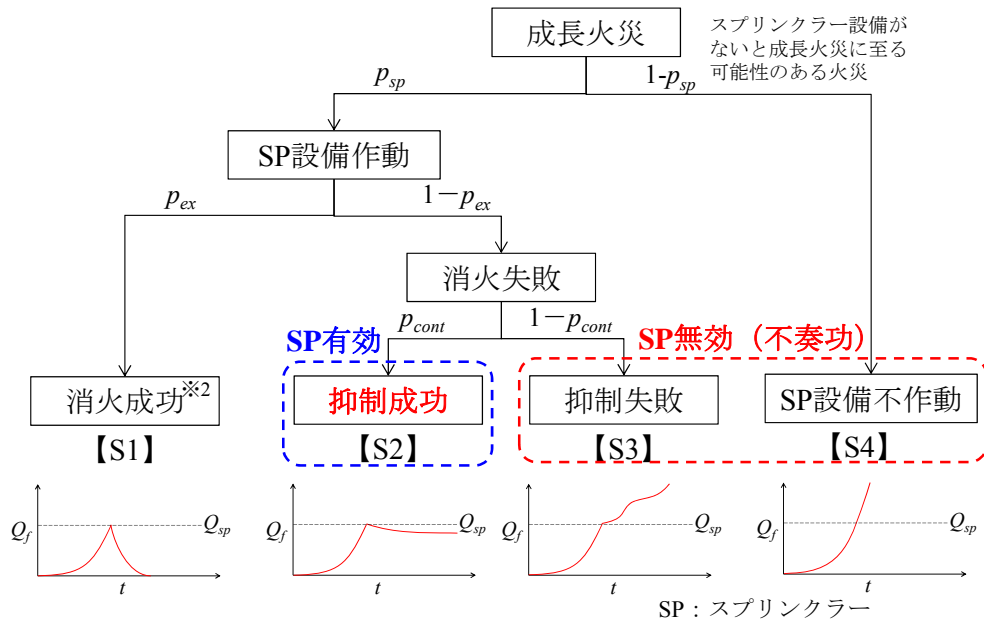
スプリンクラー設備が作動し焼損床面積 1m<sup>2</sup>以上の火災で、初期消火器具に効果があつたと回答された場合の 80%以上は焼損床面積が 2m<sup>2</sup>以下で抑制されていることがわかつた。また、件数は少ないが、焼損床面積が大きい場合でも消防隊の消火によらずスプリンクラー設備で消火されている場合は効果があつたと判断されていることがわかつた。

本研究においては焼損床面積で判断する場合に統計データでは 1 m<sup>2</sup>を「抑制成功」と定義しているが、表 4.7 に示すようにスプリンクラー設備が作動条件に達するまでに焼損床面積が 1m<sup>2</sup>より火災が進展している場合もあるので、参考として消防機関の判断を利用した“スプリンクラー設備作動火災で初期消火器具の効果があつた焼損床面積 1m<sup>2</sup>以上”を「抑制成功」とした場合についても以降で生起確率の算出を行う。

#### 4.3.5 本評価法におけるスプリンクラー設備の作動信頼性

4.3.4 で示した「消火成功」および「抑制成功」の定義に基づき、S1～S4 の火源パターンの生起確率の算出を行う。図 4.1 に示した火源パターンのうち、本評価法で用いるスプリンクラー設備の作動状況をイベントツリーで表した結果を図 4.5 に、スプリンクラー設備が設置された場合の火災シナリオを図 4.6 に示す。

本研究では成長火災を前提としているので成長火災になる確率を 1 とする。また、本研究では、スプリンクラー設備の信頼性を算出するための成長火災の定義をスプリンクラー設備がない場合に成長火災に至る可能性があつた火災とする。先の検討で定義した「消火成功」の統計上の判断基準の「焼損床面積 1m<sup>2</sup>未満」は小火であるが、スプリンクラー設備が作動しなかつた場合にこれらの火災が小火で収まらなかつたと考え、スプリンクラー設備の信頼性を算出するための成長火災のカテゴリーに含めている。しかし、検証では小火は対象外とするので、図 4.6 に示すように避難安全性を評価する火災シナリオからは除外する。



※1 火災統計上は焼損床面積0.5㎡未満は0㎡となる  
 ※2 SP設備が作動したことによって火災統計上の焼損床面積が1㎡未満となったものに限る

図 4.5 本評価法におけるスプリンクラー設備の作動状況のイベントツリー

	居室避難設計火災シナリオ	避難不能者数 $C_i$	生起確率 $P_i$	避難リスク $R_i$	部分避難リスク $R_A^{D_i}$	シナリオ
成長火災	○消火成功					検証不要
	$P_{extinguish}$	0	$P_{extinguish}$		0	
	○SP有効 (抑制)	$C_1$	$P_1$	$R_1$	$R_A^{D_1}$	シナリオ1
	$P_{sprinkler}$	0	$P_{sprinkler}$	$P_1 C_1$	0	
×SP無効 (不奏功)	$C_2$	$P_2$	$R_2$	$R_A^{D_2}$	シナリオ2	
$P_{failure}$		$P_{failure}$	$P_2 C_2$	$R_A^D$		

※ $P_{extinguish} + P_{sprinkler} + P_{failure} = 1$

図 4.6 スプリンクラー設備が設置された場合の火災シナリオ

また、本評価法では、「抑制失敗」と「不動作」は、スプリンクラー設備の効果がなく火災が拡大するので、「不奏功」として同じシナリオで扱う。よって、本評価法のスプリンクラー設備がある場合のシナリオは、「抑制成功」「不奏功」の2つを考慮し、シナリオで扱う場合は、それぞれ「スプリンクラー設備が有効」と「スプリンクラー設備が無効」と称する。

以上の「消火成功」、「抑制成功」、「不奏功」の各生起確率（それぞれ、 $P_{extinguish}$ 、 $P_{sprinkler}$ 、 $P_{failure}$ ）を「火災報告」データを用いて算出する。本研究ではスプリンクラー

設備の効果があつたとする「消火成功」と「抑制成功」を分けている点に特徴があり、焼損床面積を指標として分類した。なお、消防機関が「効果あり」と判断した火災件数を利用した場合の生起確率を参考として示す。表 4.8 に統計データの分析条件を示す。

- ・方法 1：焼損床面積で判断する方法
- ・方法 2、3：初期消火器具の効果と焼損床面積から判断する方法（参考）

表 4.8 統計データの分析条件

算出方法		消火成功	抑制成功	不奏功
方法1	条件	焼損床面積1m <sup>2</sup> 未満	焼損床面積1m <sup>2</sup>	作動する必要がある火災のうち、効果的に作動しない件数
	統計データ	火災報告	火災報告	火災の実態
方法2、3	条件	焼損床面積1m <sup>2</sup> 未満	初期消火器具が有効で焼損床面積が1m <sup>2</sup> 以上であった火災	同上
	統計データ	火災報告	火災報告	同上

各生起確率の算出式は以下の通りである。

$$P_{extinguish} = p_{sp} \cdot p_{ex} \quad (4.1)$$

$$P_{sprinkler} = p_{sp} \cdot (1 - p_{ex}) \cdot p_{cont} \quad (4.2)$$

$$P_{failure} = 1 - P_{extinguish} - P_{sprinkler} \quad (4.3)$$

(1) スプリンクラー設備が作動する確率  $p_{sp}$  ・スプリンクラー設備の不作動率  $p_{fail}$

スプリンクラー設備が作動する確率は、下式に示すように、スプリンクラー設備が故障や管理不良により不作動とならない確率である。

$$p_{sp} = 1 - p_{fail} \quad (4.4)$$

機器の故障に基づく不作動率は先に示した掛川らの調査結果に基づく故障率 1.6%<sup>9)</sup> が明らかにされているが、点検で開栓し忘れた等の管理不良を含んだ不作動率  $p_{fail}$  は点検データでは算出できないため、火災事例データを利用して検討する。表 4.9 は東京消防庁の 2000 年から 2010 年のスプリンクラー設備が作動する必要のあつた火災 219 件の中の「使用・作動しなかつた」43 件の理由<sup>注 6)</sup> である。「使用・作動しなかつた」理由には、「ヘッドがなかつた」の故障に起因するものや「止水弁が止めてあつた」等の管理不良に係る事例がみられる。また、「法定警戒不要部分」、「起動・操作方法を知らなかつた」などの故障および管理不良に関わらないものも含まれる。よつて、対象

外の理由が含まれるため若干高めに算出されると思われるが、「使用・作動しなかった」火災の件数を利用することで、故障と管理不良による不作動率が算出可能と思われる。

表 4.9 スプリンクラー設備が作動の要ありで「使用・作動しなかった」火災の理由  
(東京消防庁調べ)

不作動の理由									合計
法定警戒不要部分	未警戒部分から出火した	炎がダクトに吸引	止水弁が止めてあった	ダクトから出火	ヘッドがなかった	起動・操作方法を知らなかった	天井裏から出火	その他	
7	5	5	3	3	1	1	1	17	43

#### 1) スプリンクラー設備の不作動率 $p_{fail}$ の算出方法

東京消防庁「火災の実態」ではスプリンクラー設備が作動する必要があるにも関わらず、「使用・作動しなかった」火災の件数と理由を調査している<sup>13)</sup>。しかし、「使用・作動しなかった火災」には天井高が高いなどの理由で、「スプリンクラー設備が作動せずに燃焼が継続する火災（以降、作動条件以下継続火災）」も含まれていると考えられる。よって、「使用・作動しなかった火災」件数の中から「作動条件以下継続火災」の件数を差し引き、「故障等による不作動」件数  $N_{fail}$  とし、下式により不作動率  $p_{fail}$  を算出する。

$$p_{fail} = N_{fail} / N_{opn} \quad (4.5)$$

「故障等による不作動」件数  $N_{fail}$  は以下の方法によって算出する。

- ①「火災報告」より、スプリンクラー設備が設置されていた火災事例で不作動であった件数を集計する。
- ②「火災報告」の不作動は、「作動の必要なし」、「故障等による不作動」、「作動条件以下継続火災」が混在すると仮定し、焼損床面積で分類する。
- ③焼損床面積は「作動の必要なし」を  $0\text{m}^2$ 、「作動条件以下継続火災」を  $1\text{m}^2$  と定義する。「作動条件以下継続火災」は「抑制成功」で考慮するので  $1\text{m}^2$  とした。
- ④③の定義に基づき、「作動の必要なし」、「故障等による不作動」、「作動条件以下

継続火災」の件数を集計する。

⑤東京消防庁「火災の実態」の「使用・作動しなかった」は、作動する必要のある火災であるため、「故障等による不作動」と「作動条件以下継続火災」とであると仮定する。

④を利用し、「故障等による不作動」と「作動条件以下継続火災」の比率を算出する。

⑥「使用・作動しなかった火災」件数と⑤の「故障等による不作動」の比率の積で「故障等による不作動」件数を算出する。

## 2) スプリンクラー設備の不作動率 $p_{fail}$ の算出結果

表 4.10 は 1986 年～2010 年までの東京消防庁「火災の実態」によるスプリンクラー設備の作動状況である。「作動する必要のあった火災」、「使用・作動しなかった」件数を以下に示す。なお、表 4.10 で「使用・作動しなかった」件数が 2001 年以前と比較して 2002 年から増加しているのは東京消防庁の統計処理システム変更の影響があることが考えられるため<sup>注7)</sup>、参考として 2001 年までの集計結果を括弧内に示す。

・作動する必要のあった火災 (A+B) 件数  $N_{opn}$  : 376 件 (186 件)

・使用・作動しなかった火災 (B) : 47 件 (6 件)

次に、表 4.11 に示すように「火災報告<sup>注8)</sup>」から「作動の必要なし」、「故障等による不作動」、「作動条件以下継続火災」を算出する。「故障等による不作動」と「作動条件以下継続火災」の比率は、それぞれ、 $0.85(=82/97)$ 、 $0.15(=15/97)$ となる。

よって、東京消防庁「火災の実態」の「故障等による不作動」件数は、 $40(=47 \times 0.85)$  件となり、不作動率  $p_{fail}$  は、

$$p_{fail} = 40/376 = 0.1 \quad (4.6)$$

となる。

表 4.10 東京消防庁「火災の実態」によるスプリンクラー設備の作動状況

		1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
使用の 要あり	A 使用・作動した	10	10	8	14	10	14	11	8	8	10	12	15	13
	A1効果的に使用・作動した	10	10	5	14	10	14	11	8	7	10	12	15	13
	A2効果的に使用・作動しなかった	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	B 使用・作動しなかった	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
使用の 要なし	C 使用・作動する必要がなかった	32	37	46	33	35	47	53	70	83	109	91	117	129
	D 警戒されていない部分から出火	25	29	22	29	27	29	24	26	6	2	2	0	3
合計		67	76	76	77	73	90	88	105	97	121	105	132	145

		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	合計
使用の 要あり	A 使用・作動した	11	14	12	14	17	22	10	19	21	18	12	17	330
	A1効果的に使用・作動した	11	12	10	13	13	20	9	17	21	14	12	15	306
	A2効果的に使用・作動しなかった	0	2	2	1	4	2	1	2	0	4	0	2	24
	B 使用・作動しなかった	1	3	0	7	2	4	2	3	1	8	10	3	47
使用の 要なし	C 使用・作動する必要がなかった	107	135	161	158	157	194	204	156	185	238	263	319	3159
	D 警戒されていない部分から出火	0	1	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	225
合計		119	153	173	179	176	220	216	178	207	264	285	339	3761

\*2006 年～2010 年の「D」のデータは未収集

表 4.11 「火災報告」を利用した不動作件数の算出結果

不動作理由	件数	備考
作動の必要なし	953	焼損床面積0m <sup>2</sup> と定義
故障等による不動作	82	
作動条件以下継続火災	15	焼損床面積1m <sup>2</sup> と定義
不動作合計	1050	

以上より、スプリンクラー設備が作動する確率  $p_{sp}$  は下式に示すように 0.90 となる。

$$p_{sp} = 1 - 0.10 = 0.90 \quad (4.7)$$

(2) 「消火成功」確率  $P_{extinguish}$  の算出

1) 算出方法

「消火成功」はスプリンクラー設備が作動したことによって焼損床面積が 1 m<sup>2</sup>未満となった火災と定義しているが、火災が発生した場合には様々な器具で初期消火が行われるため、スプリンクラー設備がない場合でも焼損床面積が 1m<sup>2</sup>未満となる火災件数は多い。図 4.7 は、建物火災においてスプリンクラー設備有無別に焼損床面積  $A_f$  ごとの割合を示した概念図である。ここで、図中の「a」はスプリンクラー設備の作動に関わらず焼損床面積  $A_f$  が 0 m<sup>2</sup>となる火災の割合、「b」はスプリンクラー設備の作動により焼損床面積  $A_f$  が 0 m<sup>2</sup>となった火災の割合、「c」は焼損床面積  $A_f$  が 1 m<sup>2</sup>以上となる火災の割合を示している。

図 4.7 に示された a+b (スプリンクラー設備作動ありの  $A_f=0$  m<sup>2</sup>) のうち、a (スプリンクラー作動なしの  $A_f=0$  m<sup>2</sup>) に相当する火災については、スプリンクラー設備が作動しなくても  $A_f=0$  m<sup>2</sup>になったと考えられる。従って、スプリンクラー設備作動ありの火災のうち a を除いた、b+c をスプリンクラー設備が作動する必要のあった火災、b をスプリンクラー設備が作動したことによって火災統計上の焼損床面積が 1 m<sup>2</sup>未満となった火災と考える。従って、消火割合  $p_{ex}$  は下式より得られる。

$$p_{ex} = \frac{b}{b+c} = \frac{(a+b)-a}{b+c} \quad (4.8)$$



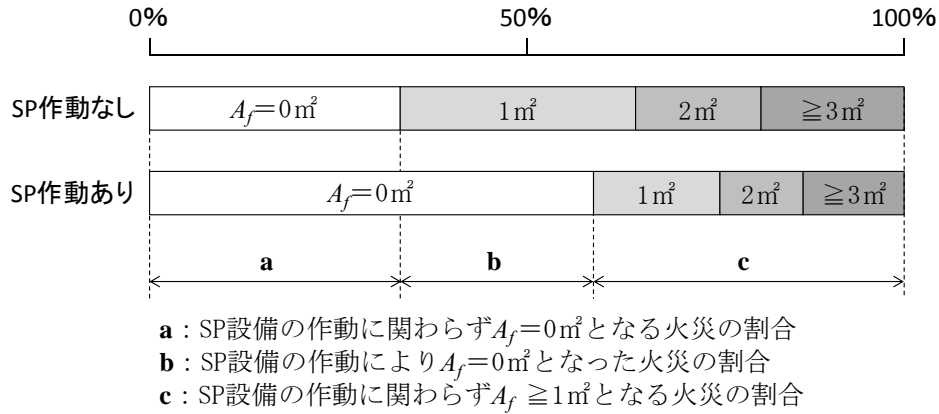


図 4.7 スプリンクラー設備作動の有無による焼損床面積  $A_f$  の割合の概念図

上記の方法に基づいて算出した、スプリンクラー設備の作動有無別焼損床面積の火災件数、消火割合を表 4.12-1～表 4.12-3 に示す。本検討は 1995 年～2008 年の「火災報告」を用いて行った。ここでも①店舗、客室、客席および②一般事務、教育教養、研究室を対象とし、スプリンクラー設備が作動しない火災 23,407 件、作動した火災 499 件を用いて分析を行った。

2) 算出結果

図 4.7 に示す a の消火件数は表 4.12-3 より、「スプリンクラー設備作動なし」の焼損床面積  $0\text{m}^2$  の a の割合が 0.63、a+b が「スプリンクラー設備作動あり」焼損床面積  $0\text{m}^2$  の割合で 0.87、b+c が「スプリンクラー設備作動なし」の焼損床面積  $1\text{m}^2$  以上の割合なので 0.37 である。これより、 $p_{ex}=(0.87-0.63)/0.37 \doteq 0.65$  となる。

表 4.12-1 消火割合の算出結果 (①店舗、客室、客席)

		SP作動なし		SP作動あり		消火割合 $p_{ex}$
		火災件数	割合	火災件数	割合	
焼損床面積 [ $\text{m}^2$ ]	0 $\text{m}^2$	9150	0.68	347	0.87	0.60
			a		a+b	
	1 $\text{m}^2$ 以上	4353	0.32	52	0.13	$p_{ex} = \frac{b}{b+c}$
			b+c	c	$= \frac{(a+b)-a}{b+c}$	
	合計	13503	1.00	399	1.00	

表 4.12-2 消火割合の算出結果 (②一般事務、教育教養、研究室)

		SP作動なし		SP作動あり		消火割合 $p_{ex}$
		火災件数	割合	火災件数	割合	
焼損 床面積 [ $m^2$ ]	0 $m^2$	5518	0.56	86	0.86	0.68
			$a$		$a+b$	
	1 $m^2$ 以上	4386	0.44	14	0.14	$p_{ex} = \frac{b}{b+c}$ $= \frac{(a+b)-a}{b+c}$
		$b+c$		$c$		
	合計	9904	1.00	100	1.00	

表 4.12-3 消火割合の算出結果 (①+②)

		SP作動なし		SP作動あり		消火割合 $p_{ex}$
		火災件数	割合	火災件数	割合	
焼損 床面積 [ $m^2$ ]	0 $m^2$	14668	0.63	433	0.87	0.65
			$a$		$a+b$	
	1 $m^2$ 以上	8739	0.37	66	0.13	$p_{ex} = \frac{b}{b+c}$ $= \frac{(a+b)-a}{b+c}$
		$b+c$		$c$		
	合計	23407	1.00	499	1.00	

2) 「消火成功」の確率  $P_{extinguish}$

図 4.5 より「消火成功」の確率  $P_{extinguish}$  はスプリンクラー設備が作動する確率  $p_{sp}$  と作動した火災のうち消火に至る確率  $p_{ex}$  の積であるため、下式に示すように 0.55 となる。

$$P_{extinguish} = p_{sp} \cdot p_{ex} = 0.90 \times 0.65 = 0.59 \quad (4.9)$$

(3) 「抑制成功」確率  $P_{sprinkler}$  の算出

1) 抑制割合  $p_{cont}$

a) 検討方法

「抑制成功」は、図 4.1 に示すように消火失敗した火災シナリオを想定し、先の検討で焼損床面積が 1 $m^2$  と定義した。よって、焼損床面積が 1 $m^2$  以上の火災を対象とし、焼損床面積 1 $m^2$  毎に火災件数を集計し、それぞれの焼損床面積に抑制される割合  $p_{cont}$  を算出した。例えば、「焼損床面積 2 $m^2$  以下」は、焼損床面積が 1 $m^2$  ~ 2 $m^2$  に抑制される割合を意味し、焼損床面積 1 $m^2$  と 2 $m^2$  のそれぞれの件数を合計する。用途による違いを見るために、出火箇所が①店舗、客室、客席部分(物販系)(スプリンクラー設備作動あり 52 件、作動なし 4,353 件) および②一般事務、教育教養、研究室(事務所系)(スプリンクラー設備作動あり 14 件、作動なし 4,386 件) を対象とした。

b) 算出結果

スプリンクラー設備作動有無別の火災抑制割合  $p_{cont}$  を表 4.13-1～表 4.13-2 に示す。スプリンクラー設備が作動しない火災はスプリンクラー設備が設置されていない空間のデータも含む。

店舗系用途①の方が事務所系用途②と比較して、若干焼損床面積を小規模に抑制する割合が高くなっている。この違いはスプリンクラー設備が作動した火災件数が少ないためであると思われる。2つの用途を合計した表 4.13-2 をみると、スプリンクラー設備が作動した場合は作動しない場合に比べて、焼損床面積を抑制する割合が高い。スプリンクラー設備が焼損床面積 1 m<sup>2</sup>に抑制する割合は 0.30 である。

表 4.13-1 火災抑制割合

用途		①店舗・客室・客席部分						②一般事務・教育教養・研究室					
		SP作動なし (参考)			SP作動あり			SP作動なし (参考)			SP作動あり		
		火災 件数	累積 件数	抑制割合 $p_{cont}$	火災 件数	累積 件数	抑制割合 $p_{cont}$	火災 件数	累積 件数	抑制割合 $p_{cont}$	火災 件数	累積 件数	抑制割合 $p_{cont}$
焼損 床面積 [m <sup>2</sup> ]	1m <sup>2</sup>	403	403	0.09	17	17	0.33	465	465	0.11	3	3	0.21
	2m <sup>2</sup>	289	692	0.16	13	30	0.58	259	724	0.17	3	6	0.43
	3m <sup>2</sup>	180	872	0.20	6	36	0.69	159	883	0.20	0	6	0.43
	4m <sup>2</sup>	95	967	0.22	3	39	0.75	108	991	0.23	1	7	0.50
	5m <sup>2</sup>	156	1,123	0.26	2	41	0.79	106	1,097	0.25	0	7	0.50
	6m <sup>2</sup>	80	1,203	0.28	0	41	0.79	75	1,172	0.27	3	10	0.71
	7m <sup>2</sup>	59	1,262	0.29	0	41	0.79	70	1,242	0.28	1	11	0.79
	8m <sup>2</sup>	63	1,325	0.30	0	41	0.79	84	1,326	0.30	1	12	0.86
	9m <sup>2</sup>	45	1,370	0.31	1	42	0.81	62	1,388	0.32	0	12	0.86
	10m <sup>2</sup>	127	1,497	0.34	0	42	0.81	198	1,586	0.36	0	12	0.86
	11m <sup>2</sup> 以上	2856	4,353	1.00	10	52	1.00	2800	4,386	1.00	2	14	1.00
	合計	4353	-	-	52	-	-	4386	-	-	14	-	-

表 4.13-2 火災抑制割合 (①+②)

用途		①+②					
		SP作動なし (参考)			SP作動あり		
		火災 件数	累積 件数	抑制割合 $p_{cont}$	火災 件数	累積 件数	抑制割合 $p_{cont}$
焼損 床面積 [m <sup>2</sup> ]	1m <sup>2</sup>	868	868	0.10	20	20	0.30
	2m <sup>2</sup>	548	1,416	0.16	16	36	0.55
	3m <sup>2</sup>	339	1,755	0.20	6	42	0.64
	4m <sup>2</sup>	203	1,958	0.22	4	46	0.70
	5m <sup>2</sup>	262	2,220	0.25	2	48	0.73
	6m <sup>2</sup>	155	2,375	0.27	3	51	0.77
	7m <sup>2</sup>	129	2,504	0.29	1	52	0.79
	8m <sup>2</sup>	147	2,651	0.30	1	53	0.80
	9m <sup>2</sup>	107	2,758	0.32	1	54	0.82
	10m <sup>2</sup>	325	3,083	0.35	0	54	0.82
	11m <sup>2</sup> 以上	5656	8,739	1.00	12	66	1.00
	合計	8739	-	-	66	-	-

c) まとめ

スプリンクラー設備が作動する火災のうち、焼損床面積が  $1 \text{ m}^2$  に「抑制成功」する割合  $p_{cont}$  は 0.3 である。なお、「抑制成功」の定義を焼損床面積が  $2 \text{ m}^2$  とする場合には、検証時に設計火源として  $2 \text{ m}^2$  未満となる火源  $Q_{sp}$  を想定すると図 4.8 に示すように未考慮の部分が生じるので、 $2 \text{ m}^2$  とする場合には検証時の発熱速度の設定に注意が必要である。

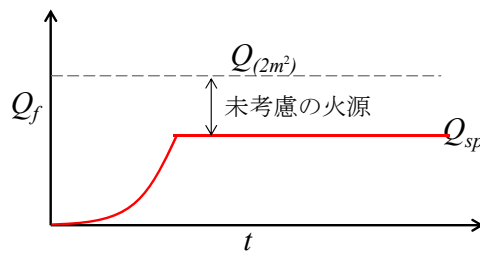


図 4.8 「抑制成功」を焼損床面積  $2 \text{ m}^2$  とする場合の未考慮の部分が生じる火源設定例

2) 「抑制成功」確率  $P_{sprinkler}$

「抑制成功」は、下式のようにスプリンクラー設備が作動する確率、消火に失敗する確率、火災を抑制する確率の積となる。

$$P_{sprinkler} = p_{sp} \cdot (1 - p_{ex}) \cdot p_{cont} = 0.90 \times (1 - 0.65) \times 0.30 = 0.09 \quad (4.10)$$

(4) 「不奏功」確率  $P_{failure}$

不奏功率  $P_{failure}$  は下式となる。

$$P_{failure} = 1 - P_{extinguish} - P_{sprinkler} = 1 - 0.59 - 0.09 = 0.32 \quad (4.11)$$

(5) 初期消火器具の「効果あり」を考慮し「消火成功」、「抑制成功」を求める場合  
(方法 2、方法 3)

「火災報告」における初期消火器具の「効果あり」(1)の①②)の項目を利用し、生起確率を算出した結果を参考として示す。

1) 各火源パターンの定義

a) スプリンクラー設備が作動する確率  $p_{sp}$

スプリンクラー設備が作動する確率  $p_{sp}$  は(1)と同様に 0.90、不作動率  $p_{fail}$  は 0.10 とする。

b) 「消火成功」確率  $P_{extinguish}$ 、「抑制成功」確率  $P_{sprinkler}$ 、「抑制失敗」確率  $P_{failure}$

「消火成功」、「抑制成功」、「抑制失敗」は下記の定義に基づき分類した。分類

区分を表 4.14 に示す。

- ・「消火成功」
  - 方法 2：焼損床面積が 1m<sup>2</sup>未満の火災
  - 方法 3：焼損床面積が 1m<sup>2</sup>未満で、スプリンクラー設備以外の器具との併用で焼損床面積が 1m<sup>2</sup>未満となった火災を除外した場合
- ・「抑制成功」（方法 2,3）
  - 初期消火器具が有効な場合で焼損床面積が 1m<sup>2</sup>以上
- ・「抑制失敗」（方法 2,3）
  - 初期消火器具が無効な場合（③～⑤）で焼損床面積が 1m<sup>2</sup>以上

表 4.14 「消火成功」「抑制成功」「抑制失敗」の統計データでの分類方法

初期消火の有効性			初期消火有効		初期消火無効		
初期消火器具と効果			① 他の器具で 効果あり	② スプリンク ラー設備の 効果あり	③ 初期消火 なし	④ 他の器具の 効果なし	⑤ スプリンク ラー設備の 効果なし
方法 2	焼損 床面積	1m <sup>2</sup> 未満	消火				
		1m <sup>2</sup> 以上	抑制		抑制失敗		
方法 3	焼損 床面積	1m <sup>2</sup> 未満	対象外	消火			
		1m <sup>2</sup> 以上	抑制		抑制失敗		

## 2) 算出結果

### a) 方法 2

方法 2 による各確率を表 4.15 に示す。

$$P_{extinguish}=0.90 \times 0.87=0.78 \quad (4.12)$$

$$P_{sprinkler}=0.90 \times 0.07=0.06 \quad (4.13)$$

$$P_{failure}=1-0.78-0.06=0.16 \quad (4.14)$$

表 4.15 「消火成功」、「抑制成功」、「不奏功」の確率（方法 2）

初期消火器具と効果	① 他の器具で 効果あり	② スプリンク ラー設備の 効果あり	③ 初期消火 なし	④ 他の器具の 効果なし	⑤ スプリンク ラー設備の 効果なし	
火災件数	174	167	47	85	24	
焼損 床面積	1m <sup>2</sup> 未満件数	159	149	37	67	20
	1m <sup>2</sup> 以上件数	15	18	10	18	4

凡例	消火成功	抑制成功	抑制失敗	合計
件数	432	33	32	497
割合	0.87	0.07	0.06	
	消火成功	抑制成功	不奏功	
			抑制失敗	不作動
	0.78	0.06	0.06	0.10
	0.16			

b) 方法 3

方法 3 による各確率を表 4.16 に示す。

$$P_{extinguish}=0.90 \times 0.81=0.73 \quad (4.15)$$

$$P_{sprinkler}=0.90 \times 0.10=0.09 \quad (4.16)$$

$$P_{failure}=1-0.73-0.09=0.18 \quad (4.17)$$

表 4.16 「消火成功」、「抑制成功」、「不奏功」の確率（方法 3）

初期消火器具と効果	① 他の器具で 効果あり	② スプリンク ラー設備の 効果あり	③ 初期消火 なし	④ 他の器具の 効果なし	⑤ スプリンク ラー設備の 効果なし	
火災件数	174	167	47	85	24	
焼損 床面積	1m <sup>2</sup> 未満件数	159	149	37	67	20
	1m <sup>2</sup> 以上件数	15	18	10	18	4

凡例	消火成功	抑制成功	抑制失敗	合計
件数	273	33	32	338
割合	0.81	0.10	0.09	
	消火成功	抑制成功	不奏功	
			抑制失敗	不作動
	0.73	0.09	0.09	0.10
	0.18			

(6) 作動信頼性の算出結果

方法 1～3 の作動信頼性の算出結果を表 4.17 に示す。

表 4.17 作動信頼性の算出結果

	消火成功	抑制成功	不奏功
	$P_{extinguish}$	$P_{sprinkler}$	$P_{failure}$
方法1	0.59	0.09	0.32
方法2	0.78	0.06	0.16
方法3	0.73	0.09	0.18

#### 4.3.6 発熱速度のモデル化

本評価法では小火は対象外なので「消火成功」は検証不要とし、上記の「抑制成功」「不奏効」の評価で用いる発熱速度について設定を行う。

##### (1) 「抑制成功」の場合

「抑制成功」の設計火源は、スプリンクラー設備の散水により発熱速度が定常になった状態を想定する。「抑制成功」はスプリンクラー設備が作動してもすぐには消火には至らない場合であるが、図 4.4 でも示されているように、初期消火に成功した場合の多くは実際には焼損床面積は大きくなく、図 4.8 に示すようにスプリンクラー設備により一定時間経過後に消火に至ると考えられる。抑制モデルとして、図 4.8 に示すような一定時間経過後に発熱速度が減衰するモデルも考えられるが、図 4.1 に示したスプリンクラー設備作動時の火源パターンで、スプリンクラー設備が作動せずに燃焼し続ける火災の方が厳しい設定になる場合も起こり得る。そこで、「抑制成功」は安全側にスプリンクラー設備が作動しない発熱速度で燃焼が継続する火災を包含するように、出火からスプリンクラー設備が作動しない発熱速度で燃焼が継続する定常火源を設定する。出火から定常としたのは、スプリンクラー設備が有効な場合に避難リスクが 0 になると想定し、設計目標の部分許容避難リスクを 0 とすると、第 2 章で示したリスク概念に基づく設計火災成長率の決定方法では設計火災成長率が $\infty$ と算出されることと、煙性状の計算で定常火源を用いることができ、安全側の設定となるためである。なお、実際にはスプリンクラー設備は燃焼拡大の早い火災の消火が困難であるが、設定した設計火災成長率で抑制可能かの検討はここでは行わない。

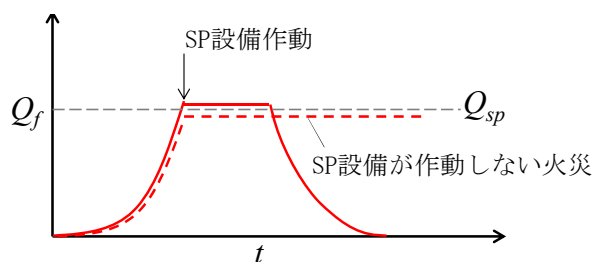


図 4.8 スプリンクラー設備で抑制された場合及び作動条件に達しない場合の発熱速度

スプリンクラー設備が作動しない発熱速度の算出は下記の方法で行った。

- ・発熱速度は出火から一定とする。

$$Q_f = Q_{sp} \quad (4.18)$$

- ・スプリンクラーヘッドの位置の気流温度および速度を Alpert 式<sup>14)</sup>を用いて算出する。

$$\Delta T_g = \begin{cases} 16.9(Q_f^{2/3} / H^{5/3}) & (r/H \leq 0.18) \\ 5.38(Q_f^{2/3} / H^{5/3})(r/H)^{-2/3} & (r/H > 0.18) \end{cases} \quad (4.19)$$

$$u = \begin{cases} 0.95(Q_f / H)^{1/3} & (r/H \leq 0.15) \\ 0.2Q_f^{1/3} H^{1/2} / r^{5/6} & (r/H > 0.15) \end{cases} \quad (4.20)$$

- ・スプリンクラーヘッド温度を RTI モデルにより算出する。

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{u^{1/2}}{RTI} (T_g - T_e) \quad (4.21)$$

- ・スプリンクラーヘッド作動温度  $T_{sp}$  にならない<sup>注9)</sup>最大発熱速度を逐次計算で算出する。

RTI=67、 $T_{sp}=72^\circ\text{C}$ 、スプリンクラーヘッドと火源の離隔距離  $r=2.6\text{m}$  の高感度型スプリンクラー設備を想定して、天井高を変化させた場合のスプリンクラー設備が作動しない発熱速度を算出した結果を図 4.9 に示す。例えば、天井高 3.0m では約 400kW の定常火源を想定する。図 4.9 の結果を回帰式で表すと下式のようなになる。

$$Q_{sp} = 194H_p - 177 \quad (4.22)$$



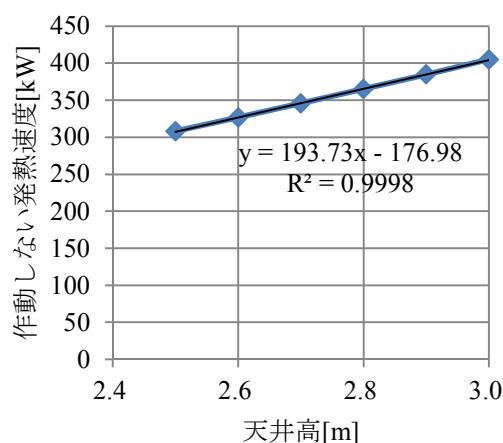


図 4.9 天井高の違いによるスプリンクラー設備が作動しない発熱速度

## (2) 不奏功の場合

避難安全評価では火災の成長を時間の 2 乗で拡大する想定で行うことが一般的であり、本評価法においても火災初期の拡大は下式に示す発熱速度で成長すると設定する。設計火災成長率  $\alpha_D$  は第 2 章の方法で算出する。

$$Q_f = \alpha_D t^2 \quad (4.23)$$

### 4.3.6 スプリンクラー設備が設置された場合の設計火源と生起確率のまとめ

本評価法におけるスプリンクラー設備が設置された場合の「消火成功」「抑制成功」「不奏功」の生起確率と設計火源のまとめを図 4.10 に示す。

図 4.10 の生起確率は、スプリンクラー設備の火源パターンの分類「消火成功」「抑制成功」に対して、焼損床面積を指標に統計データを分析した方法 1 の値である。既往研究によるスプリンクラー設備の奏功率は奏効の定義が様々であるが 0.95 と報告されているものが多く<sup>6),8)</sup>、本評価法の「消火成功」と「抑制成功」の和が奏功であるとする、0.68 となり既往文献の値と比較すると低い値となっている。これは、不作動率の設定が高いためである。

本評価法では小火を検証対象外としているので、「消火成功」した場合は火災シナリオでは考慮しない。従って、本評価法では「抑制成功」を「スプリンクラー設備有効」、「抑制失敗」および「不作動」の不奏功を「スプリンクラー設備無効」と定義し、2 つのシナリオの検証を行う。

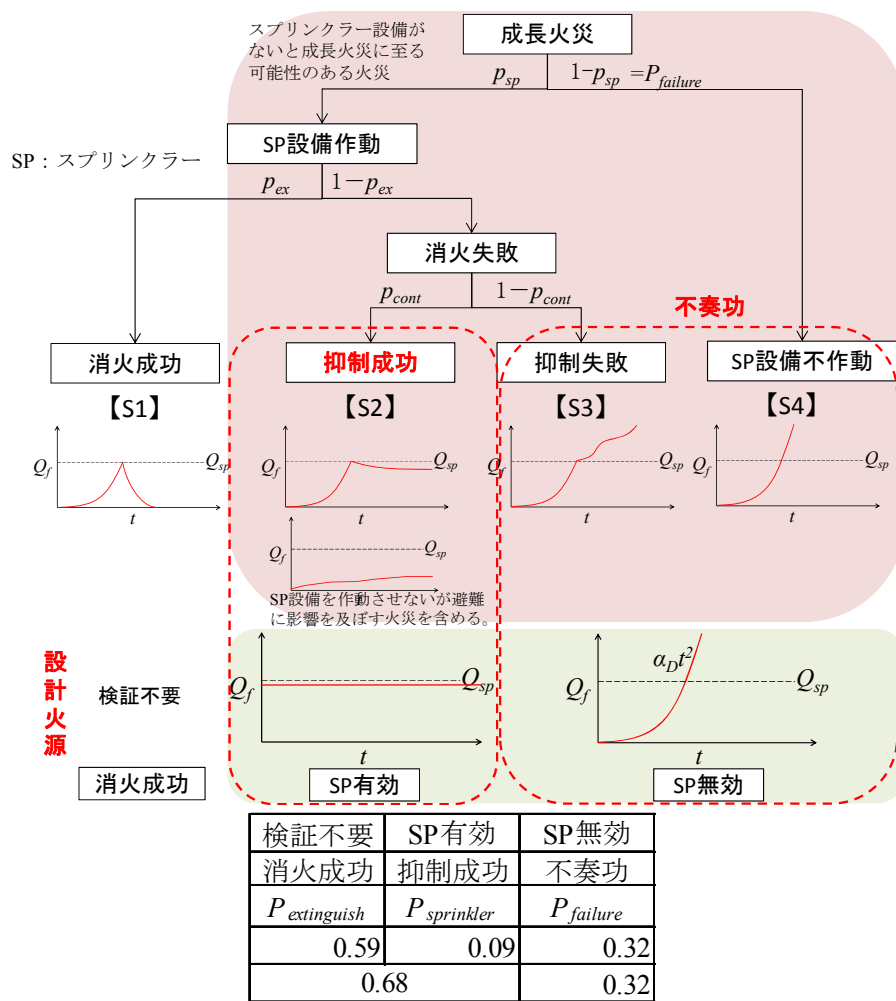


図 4.10 スプリンクラー設備が設置された場合の設計火源と生起確率のまとめ

#### 4.4 排煙設備の作動信頼性

本評価法の火災シナリオイベントツリーにおいて、排煙設備の作動確率を設定するために既往文献の調査を実施する。

##### 4.4.1 既往文献の調査結果

排煙設備の作動信頼性に関する調査分析は数少なく、掛川が1987年に建築基準法第12条第2項に基づき検査報告を行った東京都内の特殊建築物および事務所を対象としたものがある<sup>9)</sup>。このデータは検査報告を提出したものが対象であり、都内の定期検査対象建築物の約1/3にあると推定されている。検査結果は改善が必要なものに検査が必要な項目番号が記されているたけなので、自然排煙と機械排煙の区別はできない。また、各建築物に設置されている排煙設備の台数も明らかではないので、機器単位の作動率を算出できていない。そこで、掛川は表4.18に示すように建物用途毎の建物単位で

の要改善指摘率を排煙設備の不作動確率として設定している。

表 4.18 掛川により定期点検データに基づく排煙設備の作動確率<sup>9)</sup> (文献[9]をもとに作成)

検査結果	物販 店舗	飲食 店舗	旅館・ ホテル	病院	学校	事務所	共同 住宅
対象建物数	350	94	104	112	105	725	202
要改善指摘率	0.049	0.074	0.019	0.036	0.029	0.046	0.025
作動確率	0.951	0.926	0.981	0.964	0.971	0.954	0.975

その他には表 4.19 に示す東京消防庁が 1999 年度に実施した定期点検に基づく調査がある<sup>15)</sup>。文献[15]では点検で検査結果が良好なものの割合を作動率として設定している。

表 4.19 東京消防庁による排煙設備の作動確率<sup>15)</sup>

年度	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	計
作動確率	0.972	0.973	0.971	0.976	0.975	0.976	0.975	0.971	0.976	0.974

また、ISO の Guidance on Fire Risk Assessment<sup>7)</sup>の中では、機械排煙、自然排煙ともに 90.0%と設定されている<sup>6)</sup>。

#### 4.4.2 まとめ

排煙設備は火災時に作動したかどうかの統計が取られていない。また、作動信頼性の調査文献は非常に少なく、調査結果は機器の故障に基づく不作動率である。排煙設備の作動には機器の信頼性と同時に起動するまでに介在する人的要因が大きく影響する。階避難、全館避難のフェーズでは付室等の避難経路の排煙を行う余裕があると思われるが、居室避難の段階で排煙は間に合わない可能性が高い。大規模な居室を除いて、排煙設備は居室避難の許容避難時間を延長するよりも、他の区画への煙拡大を防止する効果を期待されている設備であると考えられる。本研究では表 4.18 に基づく値を利用するが、居室排煙の実施率は十分な検討が必要であると思われる。

### 4.5 防火シャッター・防火扉の作動信頼性

排煙設備と同様に、本評価法の火災シナリオイベントツリーにおいて、防火シャッター・防火扉の閉鎖確率を設定するために既往文献の調査を実施する。

#### 4.5.1 既往文献の調査結果

##### (1) 障害物による閉鎖障害

防火シャッターに関しては、表 4.20 に示すように江田らが都内の 8 件の百貨店における閉鎖障害の発生頻度を調査、報告している<sup>16)</sup>。この調査の閉鎖障害は閉鎖する動線上に障害物が置かれている場合の確率であり、平面区画と縦穴区画に分けて調査を行っている。

表 4.20 江田らによる防火戸・防火シャッターの開閉障害発生率<sup>16)</sup>

防火区画の種類	平面区画				縦穴区画			
	閉鎖障害発生数	調査対象数	閉鎖障害発生率	作動率	閉鎖障害発生数	調査対象数	閉鎖障害発生率	作動率
防火扉	22	228	0.10	0.90	45	1,413	0.03	0.97
巻き上げ式シャッター	594	1,987	0.30	0.70	300	3,368	0.09	0.91
スライド式シャッター	-	-	0.33	0.67	1	20	0.05	0.95

## (2) 定期点検に基づく不具合件数

防火設備であるシャッター、扉については、これまで設置状況が調査項目として示され状態を目視確認で実施していたのに対し、2008年4月より実施されている新たな特殊建築物の定期調査報告制度においては、損傷の程度や実際に設備を作動させて検査を行う作動の状況を確認する項目が追加された。(社)日本シャッター・ドア協会では点検したシャッターの降下障害不良の台数を報告している<sup>17)</sup>。表 4.21 に (社)日本シャッター・ドア協会による定期点検に基づく降下障害件数(2008年6月～8月の3か月のメーカー4社の合計値)を示す。シャッター区分は、管理シャッター、防火シャッターおよび管理と防火の併用シャッターで、閉鎖機構が電動か手動かで区分している。表 4.21 によると降下障害は1.7%の割合で発生しており、いずれも閉鎖装置の不具合である。管理シャッターを除いた点検台数は450台で、降下障害率は2.7%となる。なお、文献[18]には表 4.21 のもととなっている原因項目の結果も記載されており、「降下位置障害」の件数は0件であった。点検時には建物所有者が注意を払うため、(1)の建物利用時の目視確認による調査と比較すると、障害物による開閉障害の割合は低くなっていると思われる。

表 4.21 (社) 日本シャッター・ドア協会による定期点検に基づく降下障害件数<sup>17)</sup>

建物区分	シャッター区分	点検台数	降下障害台数	割合
特殊建築物	管理・電動	187	0	0.0%
	防火・電動	181	6	3.3%
	防火・手動	62	0	0.0%
	併用・電動	90	0	0.0%
特殊建築物以外	管理・電動	63	0	0.0%
	防火・電動	68	6	8.8%
	防火・手動	21	0	0.0%
	併用・電動	28	0	0.0%
合計		700	12	1.7%

(注) 点検契約に基づき点検が行われているものについて集計

また、上記の定期的な点検で把握された不具合件数に加え、故障などにより所有者等から連絡があり点検修理を行った際に把握された不具合件数も報告されている(2006年4月～9月の6か月のメーカー4社の合計値)。建築物用途、経過年数別の重量シャッターの不具合件数を表 4.22、表 4.23 に示す。なお、文献[18]では防火シャッターの不具合件数 b の 1,793 件は報告されているが、防火シャッターの設置数 a は区別されていないため、同資料で報告されている防火シャッターと管理シャッターの構成比率(防火シャッター65.6%)を用いて防火シャッターの設置数を算出した(29,300×0.656≒19,221)。不具合の発生率が高い用途は、工場・倉庫、公共施設、事務所、物販店舗の順となっている。防火シャッター設置推定数を母数として不具合率を算出すると9%となった。表 4.22 は修理を依頼してきた場合の件数を加算しているため、先の定期点検データのみとの値と比較して当然不具合率が高くなっている。

また、表 4.23 より、経過年数が過ぎるほど不具合の発生割合が高くなることが示されている。

表 4.22 用途別の重量シャッターの不具合件数<sup>18)</sup>

用途	設置数a	不具合b	b/a
百貨店・大型店舗	9,804	1,239	13%
事務所	7,814	1,196	15%
工場・倉庫	3,002	850	28%
公共施設	2,482	454	18%
共同住宅	906	68	8%
その他	5,292	391	7%
合計	29,300	4,198	14%
防火シャッター	19,221*	1,793	9%
	19,221	1,793	9%

\*防火シャッターと管理シャッターの構成比率から推定した値  
(2006年4月～9月の6か月のメーカー4社の合計値)

表 4.23 経過年数別の重量シャッターの不具合件数<sup>18)</sup>

経過年数	重量シャッター			防火シャッター設置数推定		
	設置数a	不具合b	b/a	設置数a'	不具合b'	b'/a'
5年未満	2,580	103	4%	1,692	36	2%
5～10年未満	5,707	408	7%	3,744	155	4%
10～15年未満	8,909	1,105	12%	5,844	331	6%
15年以上	12,104	2,582	21%	7,940	1,271	16%
合計	29,300	4,198	14%	19,221	2,754	14%

(2006年4月～9月の6か月のメーカー4社の合計値)

### (3)海外の設定例 (防火戸)

ISO の Guidance on Fire Risk Assessment<sup>7)</sup>の中では、防火戸の奏功確率は0.7と設定されている<sup>6)</sup>。

#### 4.5.2 まとめ

防火シャッターの閉鎖障害に関する文献調査を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ・平面区画の防火シャッターは障害物の設置により、堅穴区画よりも閉鎖障害が発生する割合が高い。
- ・定期点検データは障害物による閉鎖障害の件数が少なくなる可能性がある。
- ・用途により閉鎖障害の発生割合が異なる。

定期点検データに基づく閉鎖障害率は障害物による閉鎖障害が少なめに見積もられる可能性があるため、本検討では安全側を考慮して表 4.20 の値を利用する。

#### 4.6 まとめ

本章では、本評価法の居室避難検証の火災シナリオイベントツリーに用いるための防火対策の作動信頼性を既往の文献の調査や統計データを分析することにより設定を行った。また、スプリンクラー設備がある場合の設計火源のモデルの考え方を示した。主な結果は以下の通りである。

- ・本研究で対象とする居室避難で考慮する防火対策は、スプリンクラー設備、排煙設備、防火シャッター、防火戸である。
- ・避難安全評価のためのスプリンクラー設備の効果による火災の制御状態を「消火成功」「抑制成功」「不奏功」に分類した。本評価では「消火成功」を焼損床面積 1m<sup>2</sup> 未満、「抑制成功」を焼損床面積 1m<sup>2</sup> と定義した。「消火成功」「抑制成功」の定義について

て焼損床面積、初期消火器具の効果、消防隊の消火の有無に関して統計データを用いて分析を行った。

- ・「消火成功」「抑制成功」の定義に基づき、統計データを利用して、スプリンクラー設備の作動に関する生起確率を算出し、「消火成功」0.59、「抑制成功」0.09、「不奏功」0.32と設定した。
- ・設計火源として用いる際の発熱速度のモデル化を行った。スプリンクラー設備有効(抑制成功)のシナリオの設計火源については、スプリンクラー設備有効は安全側の想定として、スプリンクラー設備が作動しないまま定常火源で燃焼する火源を考慮し、出火からスプリンクラー設備が作動しない発熱速度の定常火源を採用した。スプリンクラー設備が作動しない発熱速度はスプリンクラーヘッドの感熱部の温度予測から求め、天井高を考慮可能とした。スプリンクラー設備無効(不奏功)は火災初期に設計火災成長率 $\alpha_D$ で拡大する成長火源を設定した。
- ・排煙設備、防火シャッター、防火戸については、既往文献の調査により生起確率の設定を行った。

## 注

注1) 火災報告データの抽出条件は次の通りである。

- a) 「火災種別」が建物火災(コード番号:1)のもの
- b) 「防火対象物等の区分」が住宅系用途以外(コード番号:11、12、14~18、21、24、36~38)のもの
- c) 「出火箇所」が電気室やベランダ等のスプリンクラー設備で消火を想定していない室以外(コード番号:1430~1620、2250~9999)
- d) 「消防用設備等の設置状況・住宅防火対策」のスプリンクラー設備(78)で作動した火災(コード番号:1、4、6、8)

注2) 火災報告データの「初期消火器具」の抽出条件は次の通りである。効果の定義は火災鎮圧に主として効果があったものである。

- ①スプリンクラー設備以外の消火器具で初期消火に効果があった火災(コード番号:61以上、82を除く)
- ②スプリンクラー設備が初期消火に効果があった火災(コード番号:82)
- ③初期消火なし(コード番号:0)
- ④スプリンクラー設備以外の消火器具が初期消火に効果がなかった火災(コード番号:11~44で32を除く)
- ⑤スプリンクラー設備が初期消火に効果がなかった火災(コード番号:32)

注3) 火災報告データの抽出条件は次の通りである。

「火災種別」が建物火災（コード番号：1）のもの  
「爆発」が爆発火災ではない（コード番号：0）のもの  
「焼損棟数」が1棟（コード番号：1）のもの

注4) 火災報告データの抽出条件は次の通りである。

「出火箇所」が店舗、客室、客席部分（コード番号：1710～1760）のもの、一般事務、教育教養、研究室（コード番号：1910～2020）のもの。

注5) 火災報告データの抽出条件は次の通りである。

「消防用設備等の設置状況・住宅防火対策」のスプリンクラー設備(78)で作動した火災の区分番号のうち、スプリンクラー設備が作動した場合は「コード番号：1、4、6、8」、不作動の場合は「コード番号：0、2、3、5、7、9」

注6) 東京消防庁予防部調査課提供データ

注7) 東京消防庁予防部調査課に2002年からの「B 使用・作動しなかった」件数増加について問い合わせたところ、統計処理方法のシステムが変更になったことも一つの要因として考えられるとの回答があった。

注8) 火災報告データの抽出条件は次の通りである。データは1995年～2004年。

a) 「火災種別」が建物火災（コード番号：1）のもの

b) 「防火対象物等の区分」が住宅系用途以外（コード番号：11、12、14～18、21、24、36～38）のもの

c) 「出火箇所」が電気室やベランダ等のスプリンクラー設備で消火を想定していない室以外（コード番号：1430～1620、2250～9999）

d) 「消防用設備等の設置状況・住宅防火対策」のスプリンクラー設備(78)で設置され不作動であった火災（コード番号：2、5）

注9) 本研究では1時間以内にスプリンクラー設備が作動しない条件で検討を行った。

## 記号

$A_f$  : 焼損床面積[m<sup>2</sup>]

$H$  : 居室天井高[m]

$N_{fail}$  : スプリンクラー設備の故障・管理不良による件数[件]

$N_{opn}$  : スプリンクラー設備が作動する必要のあった火災件数[件]

$p_{cont}$  : スプリンクラー設備が作動後に消火に失敗した火災のうち火災を抑制する確率

$p_{ex}$  : スプリンクラー設備が作動した火災のうち作動後に消火に至る確率

$P_{extinguish}$  : スプリンクラー設備の「消火成功」確率

$p_{fail}$  : スプリンクラー設備の不作動率

$P_{failure}$  : スプリンクラー設備の「不奏効」確率



$p_{hf}$  : 発生した火災のうち、スプリンクラー設備がないと成長火災に至る可能性のある火災の確率

$p_{sp}$  : 成長火災のうちスプリンクラー設備が作動する確率

$P_{sprinkler}$  : スプリンクラー設備の「抑制成功」確率

$Q_{sp}$  : スプリンクラー設備を考慮した発熱速度[kW]

$Q_f$  : 発熱速度[kW]

$r$  : スプリンクラーヘッドと火源の離隔距離[m]

$RTI$  : スプリンクラーヘッドの感度指数[m<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup>]

$t$  : 時間[s]

$T_e$  : スプリンクラーヘッドの温度[K]

$T_g$  : 天井下の気流温度[K]

$T_{sp}$  : スプリンクラーヘッドの公称作動温度[K]

$u$  : 天井下の気流速度[m/s]

$\alpha_D$  : 設計火災成長率[kW/s<sup>2</sup>]

#### 第4章参考文献

- 1) Tanaka, T., Nii, D., Yamaguchi, J., Notake, H., Ikehata, Y.: The Risk-based Evacuation Safety Design Method and Its Practicability in the Safety Verification of Realistic Buildings, Fire Sci. Tech., 8th Asia-Oceania Symp., Melbourne, 2010.12
- 2) 仁井大策、山口純一、池島由華、出口嘉一、野竹宏彰、抱 憲誓、田中哮義：その1 フレームワークの概要 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.331-334、 2011
- 3) 掛川秀史、井上 義郎、 倉井 克行：定期点検データに基づくスプリンクラー設備の作動信頼性の分析、日本建築学会学術講演梗概集. A-2、 pp.29-30、 1997
- 4) 山下誠治他：我が国のスプリンクラーの消火効果について、火災、Vol.44、No.5、1994.10
- 5) 本江豊治：スプリンクラー設備の効用と限界、火災、22 巻 1 号通巻 84 号、pp.23-25、1972
- 6) 間瀬亮平、山口純一、田中哮義：防災設備の作動確率に関する調査、平成 21 年度日本火災学会研究発表会概要集、pp.48-49、2009
- 7) ISO Guidance on Fire Risk Assessment
- 8) William E. Koffel, P.E.: Reliability of Automatic Sprinkler Systems, <http://www.fcia.org/articles/sprinklerreliability-9-05.pdf>
- 9) 掛川秀史：火災シナリオに基づく避難安全性評価手法に関する研究、学位論文（名古屋大学）、1997
- 10) Lougheed, G. D.: Expected Size of Shield Fires in Sprinklered Office Buildings, ASHRAE Transactions, 103, 1997
- 11) Madrzykowski, D. and Vettori, R.: A Sprinkler Fire Suppression Algorithm for the GSA Engineering Fire Assessment System, NISTIR 4833, pp.1-35, 1992
- 12) 防災行政研究会 編：火災報告取扱要領ハンドブック 11 訂版、東京法令出版、2007.5.
- 13) 火災の実態、東京消防庁、2000～2006
- 14) Alpert, R.L.: Calculation of Response Time of Ceiling-Mounted Sprinkler, Fire Technology, Vol.8, No.181, 1972
- 15) 建築物の防災特性に応じた防火安全性の評価（火災予防審議会答申）、東京消防庁火災予防審議会、1999 年度版
- 16) 江田敏男、森脇哲男：防火区画の有効性、日本建築学会学術講演梗概集. 構造系、2107-2108, 1978-09
- 17) 防火設備の実態等について（社会資本整備審議会建築分科会建築物等事故・災害対策部会定期報告制度等 WG 第 2 回資料）、（社）日本シャッター・ドア協会、2008、<https://www.mlit.go.jp/common/000042695.pdf>

## 第5章 リスク概念に基づく居室避難の「検証免除」手法

### 5.1 はじめに

建築物は多くの居室を有し、その用途、居室面積は様々であり、各居室が有する避難リスクの大きさも千差万別であるため、全ての居室に同じ労力を注いで検証を行うことは不合理である。そこで、避難リスクが許容避難リスク以下となる居室面積を基準とし、居室面積のみで検証が行えることができれば検証業務の軽減につながる。本章では、在館者数が少ない居室や出火率の小さい居室は在館者全員が避難不能と安全側に仮定したとしても当該居室の避難リスクが許容避難リスクを超えないことに着目し、居室の避難リスクが許容避難リスク以下となる居室面積を基準値とした検証を居室避難の「検証免除」と定義し、その「検証免除」手法の検討<sup>1)</sup>を実施する。

### 5.2 「検証免除」の基本概念

「検証免除」の基本概念は、明らかに当該空間の避難リスクが許容避難リスク以下である室を簡易な方法で検証することである。本研究では、当該空間の避難リスクが許容避難リスク以下となる居室面積（以降、検証免除面積  $A_{sc}$ ）により検証を実施する。以下に本評価法の居室避難の「検証免除」の検証手順の説明を行う。「検証免除」の検証手順を図 5.1 に、「検証免除」による検証イメージを図 5.2 に示す。

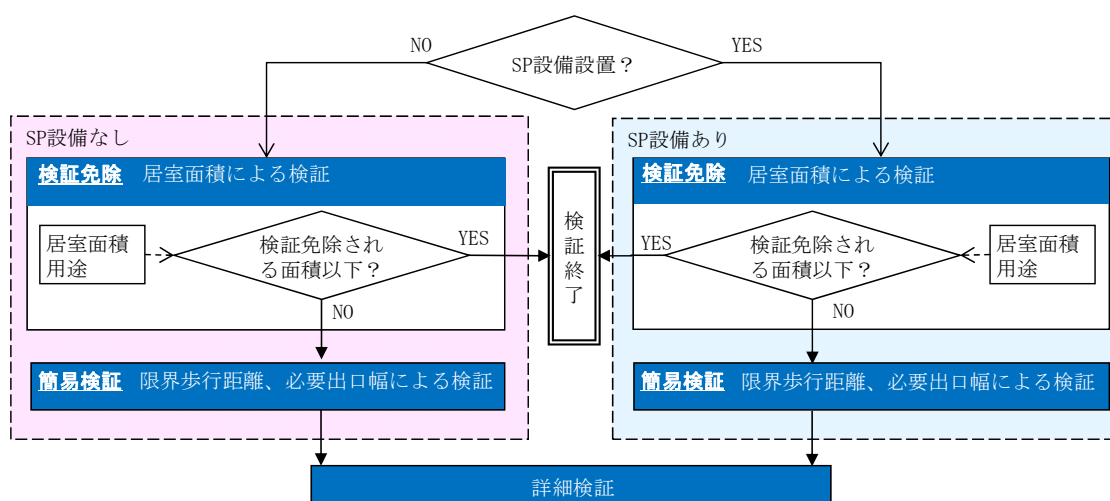


図 5.1 「検証免除」の検証手順

「検証免除」では、図 5.1 に示すように検証免除面積にスプリンクラー設備の効果を考慮している。検証実施者はスプリンクラー設備の有無と居室面積のみを入力条件とし、

検証免除面積  $A_{sc}$  以下の面積の居室は居室避難検証が終了となる。図 5.2 のような小規模居室を多く有する室は居室面積の確認のみで多くの居室の検証が終了する。

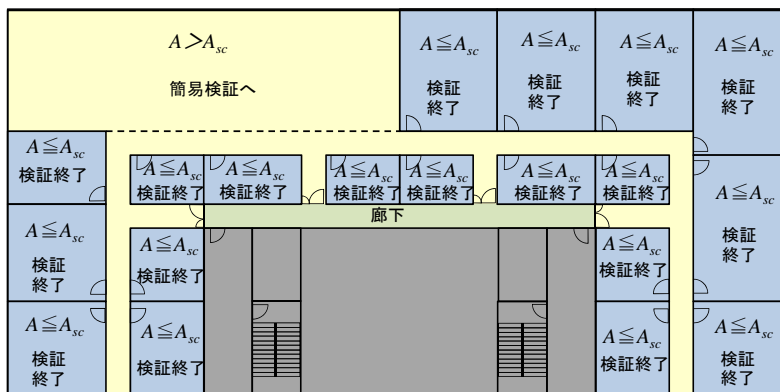


図 5.2 「検証免除」による検証イメージ

### 5.3 「検証免除」の基準面積 $A_{sc}$ の算出方法

「検証免除」では式(5.1)に示すように、スプリンクラー設備が作動または不作動のシナリオ  $i$  において（その生起確率を  $P_i$  とする）、居室  $K$  の設計避難リスク（＝避難不能者数の期待値  $P_i C_0(K) P_{cas}(K)$  が居室  $K$  に対する設計許容避難リスク  $R_A^D(K)$  以下であれば安全と判断し、式(5.1)の条件を満足する居室面積をもって検証を行うため、以下に検証免除面積  $A_{sc}$  の算出方法を示す。

$$R^D(K) = P_i C_0(K) P_{cas}(K) \leq R_A^D(K) \quad (5.1)$$

#### 5.3.1 スプリンクラー設備を考慮しない場合の検証免除面積 $A_{sc}$

スプリンクラー設備を設置していない居室やスプリンクラー設備を設置している場合でもスプリンクラー設備を考慮しない場合は、図 5.3 に示すように複数の火災シナリオを想定する必要はないため、式(5.1)のシナリオ  $i$  の生起確率は  $P_i = 1.0$  となる。よって、式(5.1)は式(5.2)のようになる。

	居室避難設計火災シナリオ	避難不能者数 $C_i$	生起確率 $P_i$	避難リスク $R_i$	部分避難リスク $R_A^{D_i}$	シナリオ
成長火災		$C_1$	$P_1$	$R_1$	$R_A^{D_1}$	シナリオ1
		$C_0 P_{cas}$	1	$C_0 P_{cas}$	$R_A^D$	

図 5.3 スプリンクラー設備を考慮しない場合の火災シナリオ

$$R^D(K) = C_0(K)p_{cas}(K) \leq R_A^D(K) \quad (5.2)$$

ここで、在館者数  $C_0(K)$  は、居室  $K$  の在館者密度  $p_{den}(K)$  と床面積  $A_r(K)$  の積で表現する。

$$C_0(K) = p_{den}(K)A_r(K) \quad (5.3)$$

また、式(5.2)における居室  $K$  の設計許容避難リスク  $R_A^D(K)$  は文献[2]～[4]に従い、本章においては戸建住宅の避難リスクを基準として設計許容避難リスクを設定する。式(5.4)の 1.1 は戸建住宅の統計データから算出した成長火災 1 件あたりの死傷者数を設計密度ベースに換算した値である。また、125 は統計データから求めた戸建住宅の平均面積である。

$$R_A^D(K) = 1.1 \times P_{hf}^*(K) \times \left( \frac{125}{A_r(K)} \right) \quad (5.4)$$

ただし、 $P_{hf}^*(K)$  は用途毎の成長火災の出火率比で、

$$P_{hf}^*(K) = \frac{P_{hf}(H)}{P_{hf}(K)} \quad (5.5)$$

である。なお、出火率比  $P_{hf}^*$  は第 3 章の検討結果をもとに決定することができる。

式(5.3)及び式(5.4)を式(5.2)に代入し居室面積  $A_r(K)$  について整理すると式(5.6)を得る。従って、居室面積  $A_r(K)$  が式(5.6)を満足する居室は、対策の如何に関わらず死傷率  $p_{cas}(K)$  の上限値を与えることができれば設計避難リスクが設計許容避難リスク以下となることが自明となるため、それ以上の検証を行う必要はない。本論文においては、式(5.6)の右辺を検証免除面積  $A_{sc}(K)$  と定義する。

$$A_r(K) \leq \sqrt{\frac{1.1 \times 125 \times P_{hf}^*(K)}{p_{den}(K)p_{cas}(K)}} \equiv A_{sc}(K) \quad (5.6)$$

各用途の在館者密度は建築基準法告示<sup>5)</sup>、出火率比  $P_{hf}^*(K)$  は文献[2]をもとに設定した。なお、式(5.6)中の避難不能者率  $p_{cas}$  は火災時に在室している避難者のうち避難不能になる割合であるが、「火災報告」には火災時の滞在者数のデータはないため、統計データに基づいて各用途の避難不能者率  $p_{cas}$  を算出することは困難である。最も安全側の設定は在室者全員が避難不能となる条件であるため、 $p_{cas}=1$  とした場合の検証免除面積  $A_{sc}(K)$  を算出する。また、住宅の避難不能者率  $p_{cas}$  は第3章で示したように統計データを利用して0.14が算出された。そこで、他の用途も住宅と同等の避難不能者率  $p_{cas}$  であると仮定した場合の検証免除面積  $A_{sc}(K)$  の算出も行った。式(5.6)に基づき算出した検証免除面積  $A_{sc}(K)$  を表5.1に示す。参考として検証免除面積  $A_{sc}(K)$  の設計許容避難リスク  $R_A^D$  を示す。

避難不能率  $p_{cas}=1$  ( $C_{cas}=C_0$ ) は最も安全側の設定であり、劇場等や飲食店等の検証免除面積  $A_{sc}(K)$  は  $10\text{m}^2$  程度となる。これは、式(5.6)から明らかなように、リスクの高い(在館者密度や出火率比の大きい)用途の検証免除面積  $A_{sc}(K)$  は小さくなるためである。避難リスクの小さい学校さえも  $44\text{m}^2$  であり普通教室の約  $64\text{m}^2$  よりも小さい値である<sup>6)</sup>。共同住宅は一般のファミリータイプは  $70\text{m}^2$  以上のものが多いため、比較的小規模な単身者向けの住戸の検証を省力化することが可能となる。ホテルは、一般的にシングル  $15\sim 20\text{m}^2$ 、ダブル  $20\sim 25\text{m}^2$ 、ツイン  $25\sim 35\text{m}^2$  程度で分布していると思われるため、スイートルームなどの特別に大きい客室以外は殆ど「検証免除」で検証を行うことが可能であると思われる。病室は6床で  $40\text{m}^2$  程度<sup>7)</sup> であるため、殆どの病室の検証が省力化可能となる。また、戸建住宅であっても  $48\text{m}^2$  を超える場合は居室避難検証が必要となる。住宅の火災統計上の避難不能率  $p_{cas}$  は0.14であるが、表5.1では安全側に  $p_{cas}=1$  として計算を行っているので、平均的な住宅の面積よりも小さくなっている。検証免除面積  $A_{sc}(K)$  の設計許容避難リスク  $R_A^D$  をみると、住宅の許容避難リスク  $R_A$  を基準にし、出火率比と在館者密度の大きさが設計許容避難リスク  $R_A^D$  の住宅との差となっている。任意の用途の死傷率を住宅と同等とした場合の検証免除面積は死傷率を1.0と設定した場合の検証免除面積  $A_{sc}(K)$  と比較して約2.7倍となっている。

表 5.1 スプリンクラー設備を考慮しない場合の検証免除面積  $A_{sc}(K)$

	在館者 密度 $P_{den}$ [人/m <sup>2</sup> ]	出火率比		検証免除基準面積 (SPなし) $A_{sc}$ [m <sup>2</sup> ]		$A_{sc}$ の $R^D_A$		避難リスク $R_A$ ×10 <sup>-3</sup> [人/年]
		$P_{hf}^*$ [-]	$1/P_{hf}^*$ [-]	$p_{cas}(K)=1.0$	$p_{cas}(K)=0.14$	$p_{cas}(K)=1.0$ [人/件]	$p_{cas}(K)=0.14$ [人/件]	
劇場等	1.5	1.2	0.8	11	28	15.8	5.9	0.39
飲食店等	0.7	0.5	2.0	10	26	6.9	2.6	0.39
物販店舗	0.5	7.2	0.1	44	119	22.2	8.3	0.39
ホテル	0.16	3.1	0.3	51	137	8.2	3.1	0.39
共同住宅	0.06	1.5	0.7	58	156	3.5	1.3	0.39
病院	0.125	9.1	0.1	100	267	12.5	4.7	0.39
学校	0.7	9.7	0.1	44	116	30.5	11.4	0.39
事務所	0.125	4.1	0.2	67	179	8.4	3.1	0.39
戸建住宅	0.06	1.0	1.0	48	128	2.9	1.1	0.39

### 5.3.2 スプリンクラー設備を考慮した場合の検証免除面積

スプリンクラー設備を考慮した場合の検証免除面積は、図 5.4 に示すようにスプリンクラー設備が消火成功した場合と消火失敗した場合の 2 つの火災シナリオに分けて考えて算出する。スプリンクラー設備が消火成功した場合には小火となり、死傷者が発生しない ( $C_1=0$ ) とみなせることを前提とすれば、スプリンクラー設備で消火失敗したシナリオに設計許容避難リスクを全て分配し、スプリンクラー設備が設置されていない場合と同様に、スプリンクラー設備が設置されている場合の検証免除可能な面積を算出することが可能となる。スプリンクラー設備が消火失敗した確率を  $1-P_{extinguish}$  とすると、 $P_i=1-P_{extinguish}$  として、式(5.1)は式(5.7)のようになる。

	居室避難設計火災シナリオ	避難不能者数 $C_i$	生起確率 $P_i$	避難リスク $R_i$	部分避難リスク $R_A^{D_i}$	シナリオ
成長火災	○消火成功	0	$P_{extinguish}$		0	検証不要
	×SP消火失敗	$C_1$	$P_1$	$R_1$	$R_A^{D_1}$	
	$1-P_{extinguish}$	0	$1-P_{extinguish}$	$P_1 C_1$	$R_A^D$	シナリオ1

図 5.4 スプリンクラー設備が設置されている室の火災シナリオ

$$R^D(K) = (1 - P_{extinguish}) C_0(K) p_{cas}(K) \leq R_A^D \quad (5.7)$$

先と同様に、式(5.3)及び式(5.4)を式(5.7)に代入し居室面積  $A_r(K)$  について整理すると式(5.8)を得る。式(5.8)より、消火失敗した確率  $1-P_{extinguish}$  が小さくなるほど  $A_{sc}(K)$  は大きくなるのがわかる。

$$A(K) \leq \sqrt{\frac{1.1 \times 125 \times P_{hf}^*(K)}{(1 - P_{extinguish}) \times p_{den}(K) p_{cas}(K)}} \equiv A_{sc}(K) \quad (5.8)$$

スプリンクラー設備の消火成功確率  $P_{extinguish}$  は第4章で算出しており、第4章の生起確率の算出方法の方法1の値を用いると消火失敗確率は  $1 - P_{extinguish} = 1 - 0.59 = 0.41$ 、方法2では  $1 - P_{extinguish} = 1 - 0.78 = 0.22$  となる。

ここでも、避難不能者率  $p_{cas}$  を安全側に1 ( $C_{cas} = C_0$ ) とした場合と0.14とした場合について算出する。

スプリンクラー設備の消火失敗確率を0.41および0.22とした場合の算出結果を表5.2に示す。式(5.8)より、スプリンクラー設備がない場合との違いはスプリンクラー設備の消火失敗確率であるため、用途間の違いは同じとなる。スプリンクラー設備がある場合の検証免除面積  $A_{sc(SP)}(K)$  はスプリンクラー設備がない場合の検証免除面積  $A_{sc}(K)$  と比較して消火失敗確率0.41で約1.5倍、消火失敗確率0.22で約2.1倍となる。消火失敗確率0.23の場合は建築基準法施行令第112条1項のスプリンクラー設備を設けた場合の面積を倍読みと同等の値となる。避難不能率  $p_{cas}$  を1.0とした場合のスプリンクラー設備を考慮した検証免除面積  $A_{sc(SP)}(K)$  では、スプリンクラー設備がない場合に検証が満足しなかった共同住宅の平均的なファミリータイプを満足させることが可能となる。劇場等および飲食店等はスプリンクラー設備がない場合と同様に小さい面積となった。避難不能率  $p_{cas}$  を0.14とした場合のスプリンクラー設備を考慮した検証免除面積では、小規模の飲食店等であれば「検証免除」できる結果となった。

表 5.2 スプリンクラー設備を考慮した場合の検証免除面積  $A_{sc(SP)}(K)$

	在館者 密度  $p_{den}$ [人/m <sup>2</sup> ]	出火率比		検証免除基準面積 (SPあり)			
				$A_{sc(SP)} [m^2]$			
		$P_{hf}^*$ [-]	$1/P_{hf}^*$ [-]	失敗確率0.41		失敗確率0.22	
				$p_{cas}(K)=1.0$	$p_{cas}(K)=0.14$	$p_{cas}(K)=1.0$	$p_{cas}(K)=0.14$
劇場等	1.5	1.2	0.8	16	44	22	60
飲食店等	0.7	0.5	2.0	15	41	21	56
物販店舗	0.5	7.2	0.1	69	185	95	253
ホテル	0.16	3.1	0.3	80	214	109	292
共同住宅	0.06	1.5	0.7	91	244	125	333
病院	0.125	9.1	0.1	156	416	213	569
学校	0.7	9.7	0.1	68	182	93	248
事務所	0.125	4.1	0.2	104	279	143	381
戸建住宅	0.06	1.0	1.0	75	200	102	273



## 5.4 まとめ

リスクの概念に基づく避難安全設計法の考え方にに基づき、スプリンクラー設備が設置されていない室（以下、スプリンクラー設備なし）、およびスプリンクラー設備が設置されている室（以下、スプリンクラー設備あり）のそれぞれの条件について、居室避難の詳細検証を免除可能な居室面積を検討した。

対策の有無に関わらない詳細検証免除可能な居室の床面積は、用途の出火率、在館者密度の違いを考慮して設定することが可能である。

死傷率を 1.0 と設定した場合の検証免除面積  $A_{sc}(K)$  は非常に小さい面積の用途もあるため、今後は死傷率の検討が必要であると思われる。

### 記号

$A_r$  : 居室面積[m<sup>2</sup>]

$A_p$  : 親室の床面積[m<sup>2</sup>]

$A_{sc}$  : 検証免除床面積[m<sup>2</sup>]

$A_{sc(sp)}$  : スプリンクラー設備を考慮した場合の検証免除床面積[m<sup>2</sup>]

$C_{cas}$  : 避難不能者数[人/件]

$C_o$  : 在館者数[人]

$K$  : 任意の用途

$p_{cas}$  : 避難不能率[-]

$p_{den}$  : 在館者密度[人/m<sup>2</sup>]

$P(i)$  : 火災シナリオ  $i$  の生起確率[-]

$P_{hf}$  : 床面積あたりの成長火災件数[件/m<sup>2</sup>/年]

$P_{hf}^*$  : 基準用途に対する出火率比（基準用途の出火率/任意の用途の出火率） [-]

$P_{extinguish}$  : スプリンクラー設備に消火される確率[-]

$R^D$  : 設計避難リスク[人/件]

$R^D_A$  : 設計許容避難リスク[人/件]

## 第5章参考文献

- 1) 野竹宏彰他：その3 居室避難検証の免除 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.339-342、 2011
- 2) 池島由華、野竹宏彰、山口純一、田中哮義：統計データに基づく用途別の避難リスクの算出ー火災安全設計における設計基準避難リスクに関する研究ー、日本火災学会論文集、Vol.61、No.3、2011.
- 3) 仁井大策、山口純一、池島由華、出口嘉一、野竹宏彰、抱 憲誓、田中哮義：その1 フレームワークの概要 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.331-334、 2011
- 4) 野竹宏彰、池島由華、山口純一、田中哮義：住宅・共同住宅火災の統計的分析に基づく設計避難リスクの算出ー火災安全設計における設計避難リスクに関する研究ー、日本火災学会論文集、Vol.61、No.2、 pp.1-11、 2011.08
- 5) 平成12年建告第1441号、同第1442号
- 6) 府立支援学校施設整備基本方針、大阪府教育委員会、2009  
<http://www.pref.osaka.jp/attach/6168/00000000/shiengakkou%20seibikihonhousin.doc>
- 7) 河口豊：国際比較からみたわが国の病室面積基準-病院の建築計画に関する研究-、日本建築学会大会学術講演梗概集、1993

## 第6章 スプリンクラー設備が無設置の場合の居室避難の「簡易検証」手法

### 6.1 はじめに

本章においては、スプリンクラー設備無設置時の「簡易検証」手法の提案を行う。「簡易検証」はリスクの概念に基づいて算出された設計火災成長率で煙に曝されずに避難可能な居室条件（限界歩行距離および必要出口幅）を算出し、安全性を確認する手法である。また、事務所、物販店舗（以降、物販）、飲食店舗（以降、飲食）、共同住宅の4用途に「簡易検証」を適用した場合の避難安全性が従来の仕様規定や避難検証法と比較してどの水準に位置するのかを、従来の仕様規定との比較が可能な歩行距離および出口幅に着目して検討を行った。なお、「簡易検証」は排煙設備の効果を考慮しない。

### 6.2 基本概念

「簡易検証」は以下の基本概念に従って構築した。なお、基本概念は次章のスプリンクラー設備を考慮する場合も同様である。

#### 6.2.1 特徴と検証フロー

「簡易検証」の避難安全基準等の特徴を以下に示す。

- ・リスク概念に基づいた設計火災成長率  $\alpha_D$  のもとで煙に曝されずに安全に避難可能とする。避難検証法<sup>1)</sup>と同様に煙による限界は床面から1.8mまで煙が降下した時点（以降、限界煙層高さ）とする。
- ・居室の中の間仕切りを考慮した煙に曝されずに避難可能な歩行距離（以降、限界歩行距離  $l_{crit}$ ）、出口幅（以降、必要出口幅  $B_{crit}$ ）の基準値を算出し、図6.1に示すように設計者は計画する居室の歩行距離、出口幅が基準を満足することを確認する。
- ・スプリンクラー設備の設置有無のみ考慮（設置されている場合のみ）し、排煙設備などのその他の対策の効果は考慮に入れない（簡易予測式を利用する都合による）。
- ・内装材料の燃焼は何れの方法についても考慮していない。
- ・限界歩行距離および必要出口幅の算出は、入力条件を用途、居室面積、天井高、親室率（居室内に間仕切りがある場合で、廊下への出口を有する親室の面積が居室面積に占める割合）に限定し簡易式を用いることにより、表計算ソフトなどで簡易に行える。

リスク概念に基づいた設計火災成長率  $\alpha_D$  のもとで算出した煙に曝されない限界歩行距離、必要出口幅を満足すれば、許容避難リスク以下と考えることができる。煙に曝されずに避難可能であることは式(6.1)に示すように煙が危険な高さに降下する時間まで

に避難が終了することである。

$$t_e \leq t_s \tag{6.1}$$

また、居室内の間仕切りを考慮し、工学的煙性状予測手法を用いた検証法とすることで、間仕切り変更を行う場合も簡易に安全性の確認を行える。歩行距離  $l$  は出口までの最も遠い距離とする。出口幅は廊下等への出口幅の合計とし、本評価法では出口間の離隔距離や、出口近傍で出火した時の放射熱の影響は考慮していない。

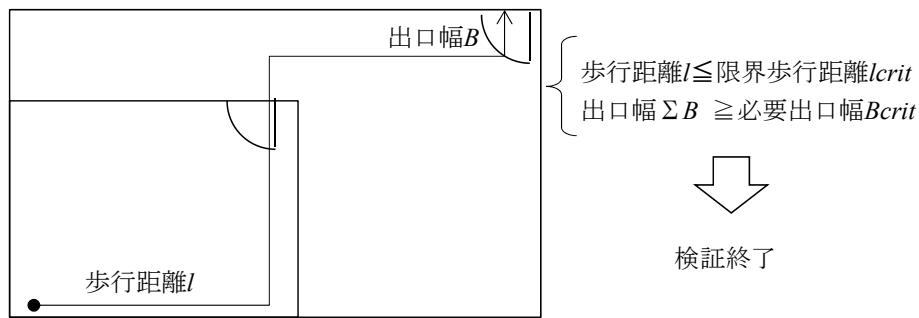


図 6.1 「簡易検証」の居室検証方法

スプリンクラー設備が無設置の場合の火災シナリオを図 6.2 に、「簡易検証」の検証フローを図 6.3 に示す。スプリンクラー設備が無設置の場合は図 6.2 に示すように評価すべきシナリオは 1 つである。設計者は、当該居室の条件が「簡易検証」の適用範囲であることを確認し、計画値が居室面積、用途、親室率、天井高を条件値として算出された限界歩行距離および必要出口幅を満足するか否かで評価を行う。満足する場合は検証終了となり、満足しない場合は「詳細検証」の対象の居室となる。なお、親室率  $\beta$  は下式により算出する。

$$\beta = A_p / A_r \tag{6.2}$$

居室避難設計火災シナリオ	避難不能者数 $C_i$	生起確率 $P_i$	避難リスク $R_i$	部分避難リスク $R_A^D P_i$	シナリオ
成長火災	$C_1$ $C_0 P_{cas}$	$P_1$ 1	$R_1$ $C_0 P_{cas}$	$R_A^D P_1$ $R_A^D P_{cas}$	シナリオ1

図 6.2 スプリンクラー設備が無設置の場合の火災シナリオ

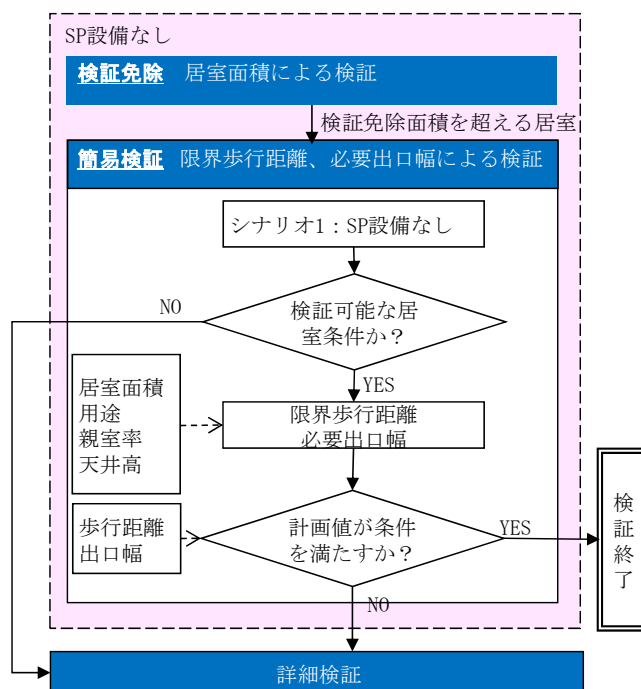


図 6.3 「簡易検証」に基づく検証フロー

### 6.2.2 前提条件

「簡易検証」は計算手法の簡易化を行っているため適用範囲が存在する。以下に「簡易検証」で想定している前提条件を示す。

#### (1) 室の構成

「簡易検証」では当該空間が親室（廊下への出口を有する室）と子室（親室への出口を有する室）に間仕切られている状態を検証可能とする。

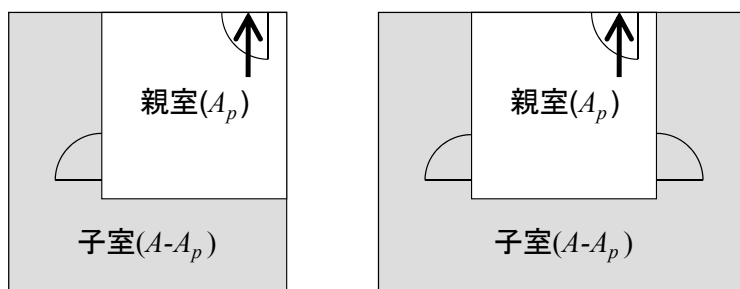


図 6.4 親室と子室

#### (2) 火災室

火災室は親室とする。

#### (3) 避難開始

親室、子室のどちらで火災が発生しても一斉に避難可能な状況を想定する。

また、火災室は他の室よりも避難を先に実施すると考え、親室の出口の先の滞留は考慮しない。

#### (4) 用途

設計火災成長率を文献[2]の方法に基づき設定するので、現状では文献[2]で火災成長率の分布形状の推定を行った事務所、物販、飲食、共同住宅が対象となる。なお、家具・書籍の火災成長率の分布は文献[2]で得られていないが、本研究では物販の値を参考に設計火災成長率の推定を行った（詳細は 6.3.6(1)）。

#### (5) 子室の条件

子室の可燃物密度および在館者密度は親室以下とする。簡易化の都合上親室と子室の条件を同じに扱っているため、親室の条件以下であれば安全側となるためである。また、親室出口以外の部分で滞留が発生する恐れがない居室を前提としている。

### 6.3 限界歩行距離および必要出口幅の算出方法

ここでは、限界歩行距離および必要出口幅の基本式、算出手順、算出式の構成要素の説明を行う。

#### 6.3.1 限界歩行距離および必要出口幅の基本式

「簡易検証」の基本的な考え方は先の式(6.1)に示すように、煙が限界高さに達する時間までに避難時間が完了することであり、避難を開始してから煙が限界高さに達するまでの時間に居室から避難できればよい。この避難に利用可能な時間を下式に示すように許容避難時間  $t_{crit}$  とする。

$$t_{crit} = t_s - t_{start} \quad (6.3)$$

避難開始時間  $t_{start}$  は居室（親室）に煙層が一定厚さ蓄積される時を避難が強いられる指標と考え、その時点として評価する。避難時間  $t_e$  は前提条件に示したように、居室出口からの扉通過時間よりも時間を要するようなネックとなる場所がない居室を想定しているため、出口に到達する時間と出口扉を通過する時間の長い方の時間と避難開始時間  $t_{start}$  の和とする。また、出口の先での滞留を考慮していないため、流動係数  $N$  は一定値の 1.5 人/m/s を利用する<sup>1)</sup>。式(6.1)、式(6.3)～式(6.4)より、煙に曝されないための避難の条件は式(6.5)のようになる。

$$t_e = t_{start} + \max\left(\frac{l_r}{v}, \frac{p_{den} A_r}{NB}\right) \quad (6.4)$$

$$\max\left(\frac{l_r}{v}, \frac{p_{den}A_r}{NB}\right) \leq t_s - t_{start} = t_{crit} \quad (6.5)$$

式(6.5)で算出される歩行距離と扉幅をそれぞれ避難者が煙に曝されない限界の値とすると限界歩行距離  $l_{crit}$  は、

$$\frac{l_r}{v} \leq t_{crit} \quad (6.6)$$

$$l_r \leq t_{crit}v \equiv l_{crit} \quad (6.7)$$

したがって、

$$l_{crit} \leq t_{crit}v \quad (6.8)$$

同様に、必要出口幅  $B_{crit}$  は、

$$\frac{p_{den}A_r}{NB} \leq t_{crit} \quad (6.9)$$

$$B \leq \frac{p_{den}A_r}{Nt_{crit}} \equiv B_{crit} \quad (6.10)$$

したがって、

$$B_{crit} \leq \frac{p_{den}A_r}{Nt_{crit}} \quad (6.11)$$

式(6.8)および式(6.11)中の許容避難時間  $t_{crit}$  は、避難開始時間  $t_{start}$  と煙降下時間  $t_s$  をともに煙層高さで判定するため、煙降下時間  $t_s$  および避難開始時間  $t_{start}$  の算出は、二層ゾーンの概念に基づく簡易予測式<sup>3)</sup>を用いることを前提とする。歩行速度  $v$  は避難検証法<sup>1)</sup>に基づく値とし、事務所 1.3m/s、物販、飲食および共同住宅は 1.0m/s とする。同様に在館者密度  $p_{den}$  も避難検証法に基づく値とし、事務所 0.125 人/m<sup>2</sup>、物販 0.5 人/m<sup>2</sup>、飲食 0.7 人/m<sup>2</sup> および共同住宅は 0.06 人/m<sup>2</sup> とする（次章以降も同様とする）

### 6.3.2 算出手順

限界歩行距離および必要出口幅の算出手順を図 6.5 に示す。避難開始時間  $t_{start}$  および煙降下時間  $t_s$  は設計許容避難リスクに基づいて設計火災成長率を算出し、煙降下時間を

計算して求める。室面積が大きくなるなどの理由で対象とする煙降下時間が長くなると火源も大きくなるのが考えられるので、煙降下における煙層密度の変化と仮想点熱源の影響が無視できなくなる可能性がある。本論文で煙層降下の計算は簡易式を用いて行うが、その際、煙層密度の変化と仮想点熱源に対する補正を行うため、補正係数  $k_p$  を算出する。補正係数  $k_p$  を用いて補正を行った簡易予測式により許容避難時間を算出し、歩行速度等の用途に基づく条件を入力することで限界歩行距離および必要出口幅が算出される。

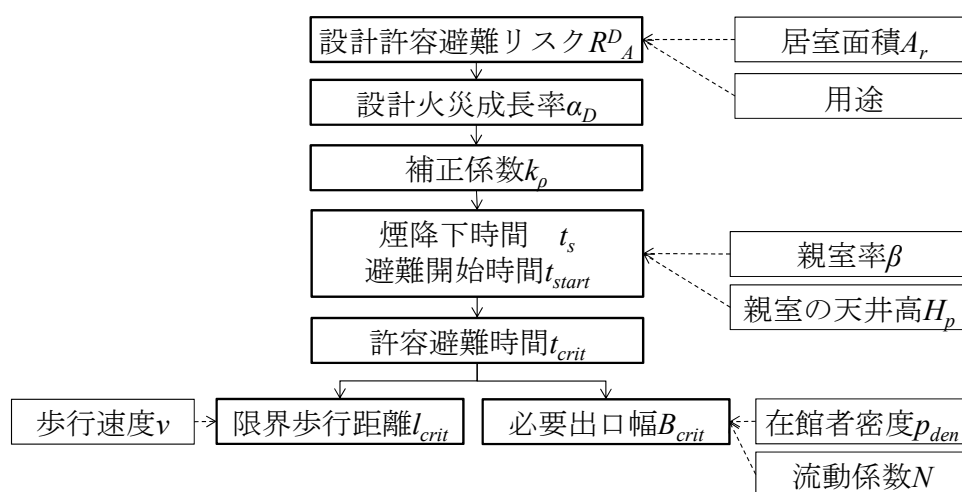


図 6.5 限界歩行距離および必要出口幅の算出手順

### 6.3.3 設計火源

スプリンクラー設備が無設置の場合は、すなわちリスク概念に基づき算出される設計火災成長率  $\alpha_D$  で発熱速度が拡大する成長火源を想定する。

$$Q_f = \alpha_D t^2 \quad (6.12)$$

### 6.3.4 煙降下時間 $t_s$

煙降下時間  $t_s$  は親室での出火を想定し、親室の蓄煙のみを考えた時にその煙層下端が避難上支障のある高さ  $H_{lim}$  ( $=1.8\text{m}$ ) に達するまでの時間とする。煙降下時間  $t_s$  の予測は、式(6.13)に示すように、設計火災成長率  $\alpha_D$  の成長火源のもとで、二層ゾーン概念に基づく簡易予測式<sup>3)</sup>を用いる。また、簡易予測式は一般に煙層密度を一定 ( $1.0\text{kg/m}^3$ ) として扱い、また、仮想点熱源を考慮しないことを前提としているが<sup>3)</sup>、床面積や設計火災成長率の大きな場合への適用性が課題である。そこで本研究では、この簡易予測式を床面積の大きな室にも適用するため、煙層密度および仮想点熱源に対する補正係数  $k_p$



を用いて煙降下時間を補正して用いることとした（詳細は 6.3.6(2) 参照）。

$$t_s = \left\{ \frac{5}{2} \cdot \frac{\rho_s k_\rho A_p}{C_m \alpha_D^{1/3}} \left( \frac{1}{H_{\text{lim}}^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right) \right\}^{3/5} \quad (6.13)$$

ただし、 $\rho_s=1.0$  とする（以降、同様）。

### 6.3.5 避難開始時間 $t_{start}$

避難開始時間  $t_{start}$  の予測は、親室全体に煙が拡散した時点で親室及び子室の在館者が一斉に避難開始すると考える。煙が親室全体に拡散する時間は煙降下時間  $t_s$  と同じ計算式を用い、避難開始時点の煙層下端高さ  $z$  は親室天井高さの 90% ( $0.9H_p$ ) とした<sup>4)</sup>。

$$t_{start} = \left\{ \frac{5}{2} \cdot \frac{\rho_s k_\rho A_p}{C_m \alpha_D^{1/3}} \left( \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right) \right\}^{3/5} \quad (6.14)$$

避難開始時間についても補正係数  $k_\rho$  を用いて煙降下時間と同様に煙降下時間を補正して用いる。

### 6.3.6 許容避難時間

式(6.13)および式(6.14)を式(6.3)に代入すると式(6.15)の許容避難時間  $t_{crit}$  となる。

$$t_{crit} = \left( \frac{5}{2C_m} \right)^{3/5} \left\{ \left( \frac{1}{H_{\text{lim}}^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right)^{3/5} - \left( \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right)^{3/5} \right\} \left( \frac{(\rho_s k_\rho A_p)^{3/5}}{\alpha_D^{1/5}} \right) \quad (6.15)$$

#### (1) 設計火災成長率 $\alpha_D$

火災成長率は同じ形状の室であっても着火位置や可燃物の配置、材質等様々な要因により異なる。火災成長率  $\alpha$  を確率変数としてとらえ、設計許容避難リスクの値をもとに、確率論的に火災成長率を決定する文献[2]による手法を用いる。文献[2]の統計データに基づく火災成長率の分布を図 6.6-1～図 6.6-4 に示す。文献[2]によれば、火災成長率の分布は対数正規分布で良好に近似される。ある火災シナリオ  $i$  に対する設計火災成長率  $\alpha_D(i)$  は、火災シナリオ  $i$  に対する設計許容避難リスク  $R_A^D(i)$ 、当該居室の在館者数  $C_0$  ( $=p_{den}A_r$ ) および火災シナリオ  $i$  の生起確率  $P(i)$  を用いて式(6.16)より算定される。この手法によれば、設計許容避難リスクの値が小さい居室は大きな設計火災成長率  $\alpha_D$  が

算出される。この設計火災成長率の決定方法により、居室面積による避難リスクの違いを考慮することが可能となる。この設計火災成長率  $\alpha_D(i)$  の下で死傷者が出ないこと ( $C(\alpha_D(i))=0$ ) を確かめれば、必然的に設計避難リスクは設計許容避難リスクを下回ることとなる。

$$\int_{\alpha_{D(i)}}^{\infty} f(\alpha) d\alpha = \frac{R_{A(i)}^D}{P_{(i)} C_0} \quad (6.16)$$

ただし、

$$f(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi\alpha} \exp\left[-\frac{(\log(\alpha) - \lambda)^2}{2\xi^2}\right] \quad (6.17)$$

$$\mu = \ln \mu - \frac{1}{2}\xi^2 \quad (6.18)$$

$$\xi^2 = \ln\left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}\right) \quad (6.19)$$

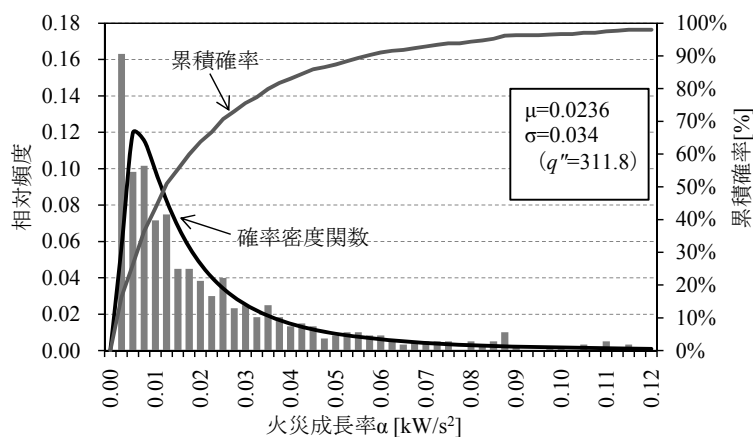


図 6.6-1 事務所における火災成長率の分布<sup>2)</sup>

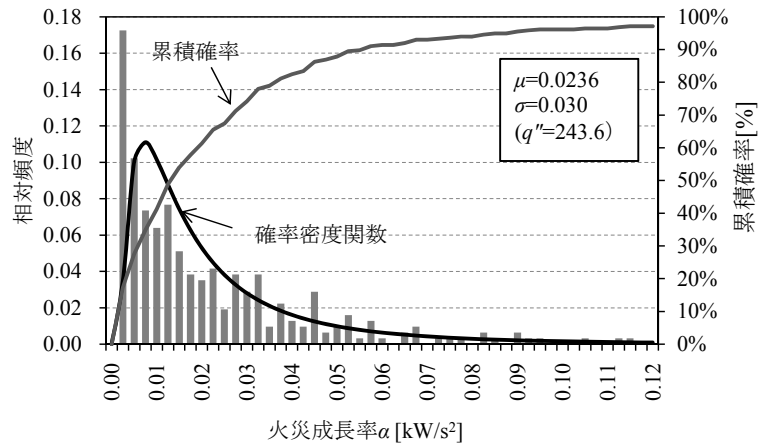


図 6.6-2 物販店舗における火災成長率の分布<sup>2)</sup>

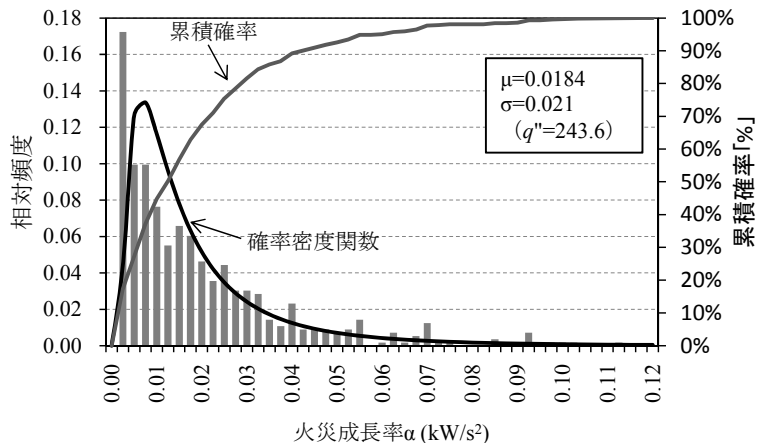


図 6.6-3 飲食店舗における火災成長率の分布<sup>2)</sup>

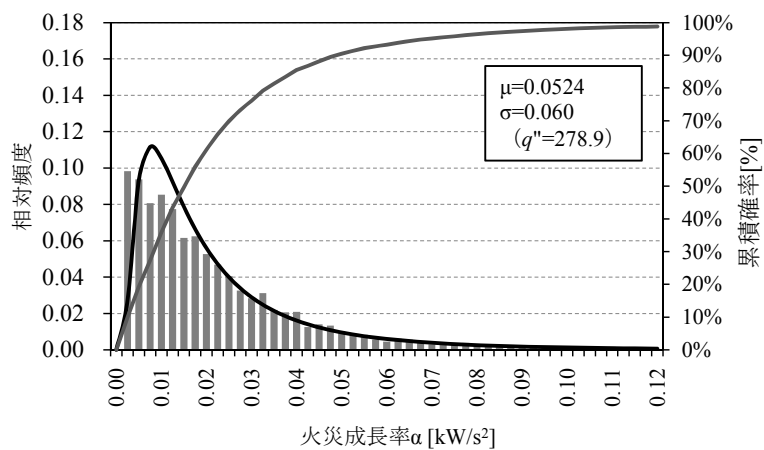


図 6.6-4 住宅における火災成長率の分布<sup>2)</sup>

図 6.6-1～図 6.6-4 に示す火災成長率の分布を用いて、事務所、物販店舗、飲食店舗、家具・書籍売場、共同住宅<sup>註1)</sup>の居室の設計火災成長率  $\alpha_D$  を式(6.16)で算出した結果を図

6.7-1～図 6.7-4 に示す。ただし、この場合、スプリンクラー設備は設置されていないので火災シナリオは 1 つしかない。従って、火災シナリオ  $i$  の生起確率  $P(i)$  は 1.0 とし、在館者数  $C_o(K)$  は居室  $K$  の在館者密度  $p_{den}(K)$  と床面積  $A_r(K)$  の積で、設計許容避難リスク  $R^D_A(i)$  は前章の式(5.4)より算定した。ここで、家具・書籍売場の火災成長率の推定は文献[2]では行われていないが、文献[2]において床面積当たりの発熱速度が可燃物密度量の 1/3 乗に比例（床面積あたりの可燃物表面積は可燃物密度の 1/3 乗に比例）する関係を利用する。具体的には、家具・書籍売場の積載可燃物量は避難検証法において物販の 2 倍( $60[\text{kg}/\text{m}^2]/30[\text{kg}/\text{m}^2]$ )に設定されている関係を利用し、物販の設計火災成長率  $\alpha_D$  に  $2^{1/3}$  を乗じることにより算出した。なお、図 6.7-1～図 6.7-4 には避難検証法により算出した火災成長率  $\alpha_f$  も併せて示す。

式(6.16)に基づき設計火災成長率  $\alpha_D$  を設定した場合、居室面積（または潜在的なリスク）が大きい居室ほど設計火災成長率  $\alpha_D$  も大きくなるのが特徴である。また、本評価法の設計火災成長率  $\alpha_D$  の始点が居室面積  $0\text{m}^2$  と一致しないのは、居室面積の小さい居室はたとえ在室者全員が避難不能となったとしても避難リスクが許容避難リスクを超えることはなく、そのような場合は本評価法によると設計火災成長率  $\alpha_D$  が 0 となるためである<sup>5)</sup>。なお、火災成長率  $\alpha_D$  が  $0\text{m}^2$  となる居室面積は第 5 章で示した検証免除面積  $A_{sc}$ （ただし、 $p_{cas}(K)=1.0$  の場合）と一致する。一方、避難検証法の火災成長率  $\alpha_f$  は用途（可燃物密度）のみによって決定されるため床面積によらず一定値を取る。本評価法では床面積に比例して出火率が高くなり避難リスクが大きくなると考えているため、設計火災成長率  $\alpha_D$  は居室面積とともに大きくなる。本評価法における物販と家具・書籍売場の設計火災成長率  $\alpha_D$  の差が避難検証法の火災成長率  $\alpha_f$  より小さいのは避難検証法の火災成長率  $\alpha_f$  は可燃物密度の 5/3 乗に比例するのに対し、本評価法では 1/3 乗に比例すると考えているためである。避難検証法よりも本評価法での設計火災成長率  $\alpha_D$  が大きくなる居室面積は、物販  $205\text{m}^2$ 、家具・書籍売場  $666\text{m}^2$ 、飲食  $66\text{m}^2$  である。居室面積が大きくなると本評価法の方が避難検証法に比べ火源設定が厳しくなり、出火率の高い飲食は特に厳しい設定となる（ $1500\text{m}^2$  で約 5.8 倍）。共同住宅は設計許容避難リスクの値が同じ面積の飲食よりも出火率や在館者密度が低いため小さくなるが、設計火災成長率  $\alpha_D$  が大きい値の分布となっているため、飲食よりも大きい値となった。なお、以降は、図 6.7-1～図 6.7-4 に示す設計火災成長率  $\alpha_D > 0$  になる各用途の最小居室面積から  $1500\text{m}^2$  までの居室を対象に検討を実施する。

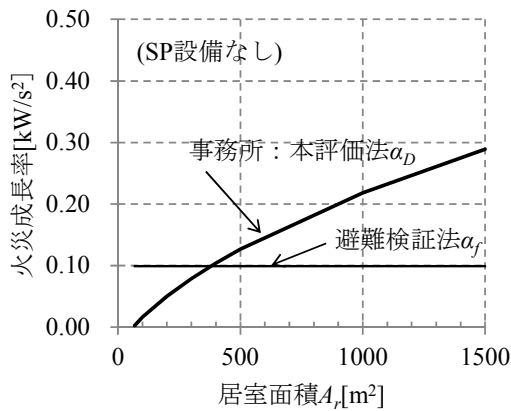


図 6.7-1 設計火災成長率（事務所）

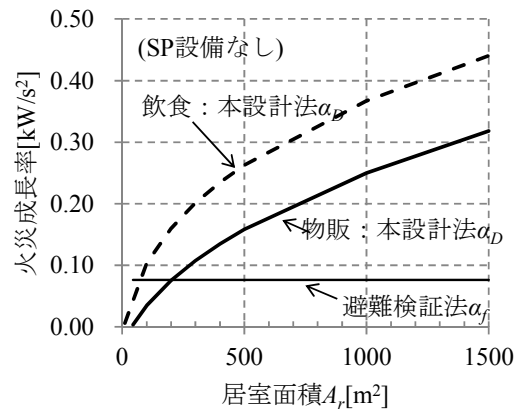


図 6.7-2 設計火災成長率（物販・飲食）

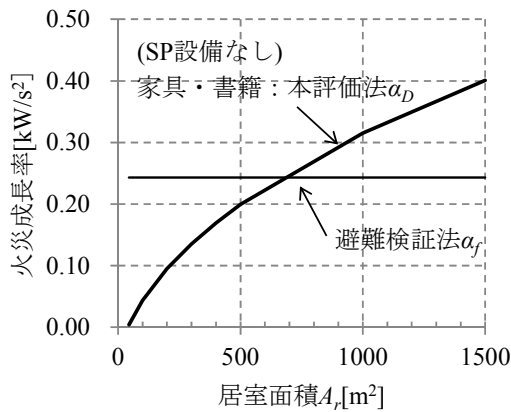


図 6.7-3 設計火災成長率（家具・書籍売場）

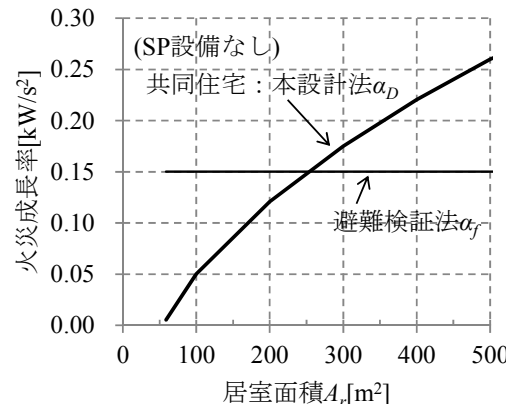


図 6.7-4 設計火災成長率（共同住宅）

## (2) 補正係数 $k_p$

簡易予測式は仮想点熱源や煙層密度の時間変化を考慮しないため、非定常の煙性状予測モデル（以降、非定常モデル）と比較して、大規模な居室で危険側の予測結果となる恐れがある。一方、非定常モデルはこれらを考慮することが可能であるが、一般の設計者には扱いつらいという課題がある。そこで、設計火災成長率  $\alpha_D$  の下で、非定常モデルに基づき算出した許容避難時間  $t_{crit(com)}$  と本評価法の許容避難時間  $t_{crit}$  が等しくなるように、以下の手順に従い補正係数  $k_p$  を算出する。ここでは、非定常モデルとして久次米らの提案する詳細計算<sup>6)</sup>（以降、詳細計算法という）を用いた。なお、本報において詳細計算法を用いる際には、仮想点熱源補正を行った上で火災プルーム流量を算出した（詳細は補足参照）。よって、補正係数  $k_p$  は煙層密度<sup>注2)</sup>と仮想点熱源の影響を総合的に考慮した値として算出される。また、詳細計算法においても、煙層下端高さが天井高の90% ( $0.9H_p$ ) に達した時点を避難開始時間、限界煙層高さ  $H_{lim}$  ( $=1.8\text{m}$ ) に達した時点を煙降下時間とした。

詳細計算法により得られた許容避難時間  $t_{crit(com)}$  と許容避難時間  $t_{crit}$  には式(6.20)に示す

関係が成り立つので、補正係数  $k_\rho$  を式(6.21)により算出した。

$$t_{crit} = k_\rho^{3/5} t_{crit(\rho_s=1.0)} = t_{crit(com)} \quad (6.20)$$

$$k_\rho = \left( \frac{t_{crit(com)}}{t_{crit(\rho_s=1.0)}} \right)^{5/3} \quad (6.21)$$

図 6.8-1～図 6.8-5 は、居室面積  $A_r$  (=親室面積  $A_p$ ) および天井高  $H_p$  をパラメータとして詳細計算法により許容避難時間  $t_{crit(com)}$  を算出し、その結果から式(6.21)を用いて補正係数  $k_\rho$  を算出した結果である。なお、天井高 4.0m の居室面積  $A_r$  と補正係数  $k_\rho$  のプロットに対して算出した回帰式を併せて示している<sup>注3)</sup>。また、図 6.8-6 は図 6.7-3 に示される避難検証法に基づき算出した物販の火災成長率  $\alpha_f$  の下で同様の計算を行った結果を参考として示す。ただし、避難検証法に基づく場合において  $\alpha_D$  は  $\alpha_f$  に読み替えて計算している。補正係数  $k_\rho$  は、居室面積  $A_r$  の増加にともない徐々に小さくなるが、いずれも天井高に対する依存性は低いことが分かる。図 6.8-2 の本評価法ベースと図 6.8-6 の避難検証法ベースの結果の違いは、火災成長率の設定方法の差であるが、この差が補正係数  $k_\rho$  に与える影響は居室面積 500 m<sup>2</sup> では 1 割程度、1500 m<sup>2</sup> では 4 割程度である。飲食の補正係数  $k_\rho$  の結果は物販と比較して幾分小さい値を示しているが、定性的な傾向は物販のそれと同じである。補正係数  $k_\rho$  は事務所で若干大きくなるが他の用途は殆ど違いはなかった。

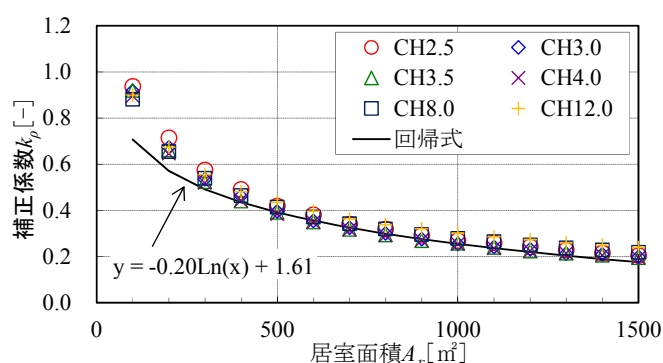


図 6.8-1 事務所における補正係数  $k_\rho$  の算出結果 (本評価法ベース)

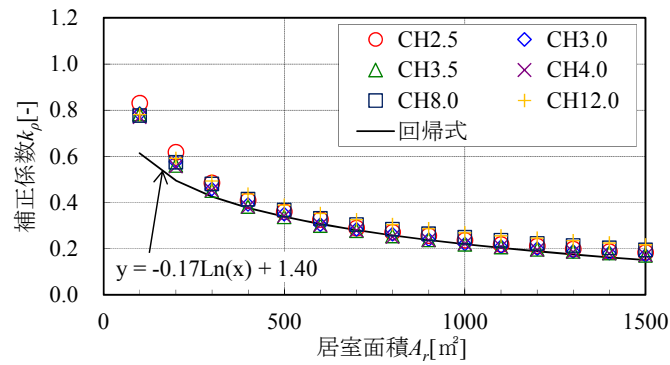


図 6.8-2 物販における補正係数  $k_p$  の算出結果 (本評価法ベース)

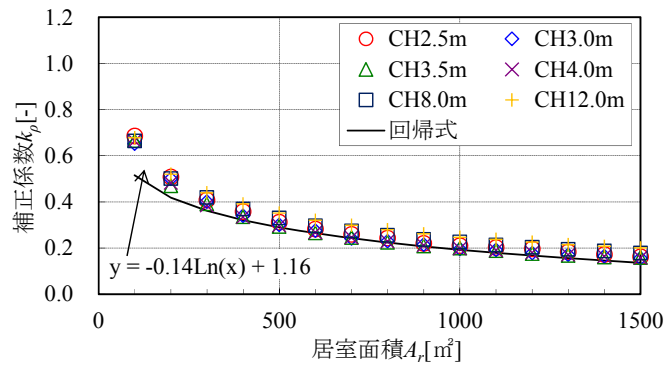


図 6.8-3 飲食における補正係数  $k_p$  の算出結果 (本評価法ベース)

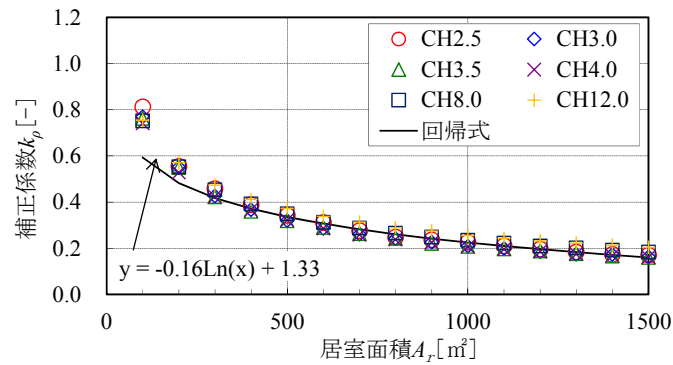


図 6.8-4 家具・書籍における補正係数  $k_p$  の算出結果 (本評価法ベース)

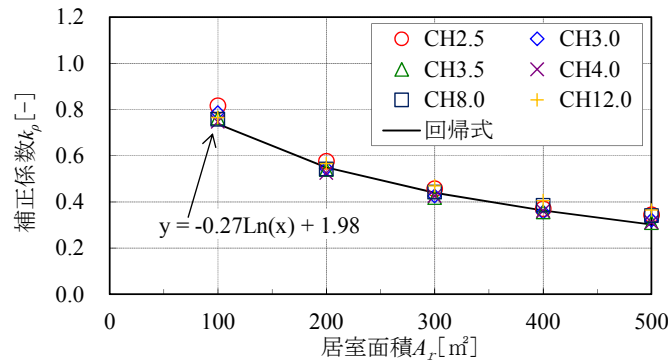


図 6.8-5 共同住宅における補正係数  $k_p$  の算出結果（本評価法ベース）

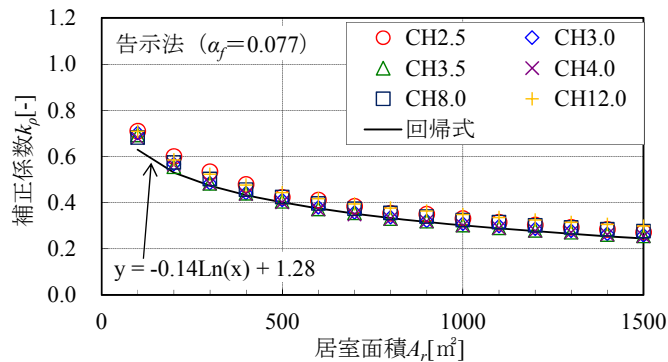


図 6.8-6 物販における補正係数  $k_p$  の算出結果（避難検証法ベース）

### (3) 許容避難時間の予測精度の確認

ここで、補正係数  $k_p$  で補正した煙降下時間、避難開始時間により算出した許容避難時間と煙層密度を一定値 ( $0.7\text{kg/m}^3$ ) として簡易予測式を用いた場合<sup>注4)</sup>および詳細計算法を用いた場合の許容避難時間の比較を行う。

天井高 3.0m の物販を対象に、図 6.8-2 に示される回帰式に基づき補正係数  $k_p$  を算出し簡易予測式を用いた場合、煙層密度を一定値 ( $0.7\text{kg/m}^3$ ) として簡易予測式を用いた場合<sup>注4)</sup>および詳細計算法を用いた場合の許容避難時間を図 6.9 に示す。補正係数  $k_p$  を用いた場合は詳細計算法と比較して幾分安全側の値となるが、同等の結果となることがわかる。ここで、本評価法と詳細計算法の居室面積 100 m<sup>2</sup>付近の許容避難時間が最小となっているのは、本評価法の設計火災成長率  $\alpha_D$  は図 6.7-2 に示すとおり居室面積に依存し、物販については 100 m<sup>2</sup>以下では居室面積に対する設計火災成長率  $\alpha_D$  の低下率が非常に大きくなり、居室面積が小さくなるほど許容避難時間が長くなるためである。一方、煙層密度を一定値 ( $0.7\text{kg/m}^3$ ) とした場合は居室面積が大きくなるほど詳細計算法との差が大きくなる。居室面積 1500m<sup>2</sup>における両者の時間差は約 100 秒であり、これを単純に歩行速度 1.0m/s として歩行距離に換算すると 100m となる。煙層密度を一定値



( $0.7\text{kg/m}^3$ ) とする場合は、居室面積が大きくなるほど許容避難時間すなわち歩行距離等の制限に余裕が生まれることになる。

図 6.9 より、詳細計算法の計算値と補正係数  $k_p$  を用いた簡易計算法の計算値は良く一致することが示されたので、以降の検討において、煙降下時間および避難開始時間に示される簡易予測式に基づき避難安全性を評価する場合は、図 6.8 に示す回帰式による補正係数  $k_p$  を用いることとする。

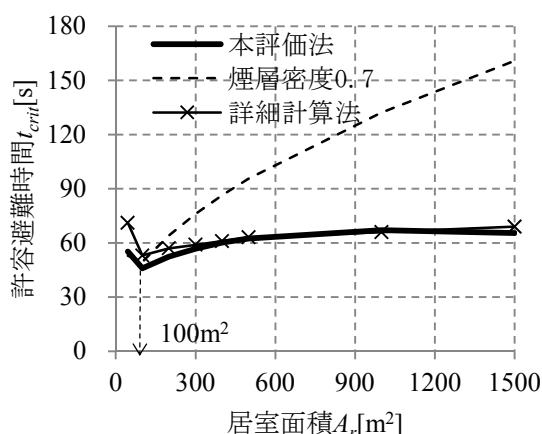


図 6.9 許容避難時間の比較 (物販：天井高 3.0m)

## (2) 避難検証法の火災成長率を用いた許容避難時間との比較

本評価法の設計火災成長率  $\alpha_D$  に基づく許容避難時間（以降、本評価法ベース許容避難時間という）と避難検証法の火災成長率  $\alpha_f$  に基づく許容避難時間（以降、避難検証法ベース許容避難時間という）の比較を行う。傾向は用途の違いで変わらないので、ここでは物販を例として取り上げる。本評価法ベース許容避難時間は、図 6.7-2 に示す本評価法の設計火災成長率  $\alpha_D$  および図 6.8-2 に示された回帰式による補正係数  $k_p$  を式(6.15) に用いることにより算出した。また、避難検証法ベース許容避難時間は、避難検証法の火災成長率  $\alpha_f$  を式(6.15)の  $\alpha_D$  とし、図 6.8-6 に示された補正係数  $k_p$  を用いて算出した。いずれも天井高 3.0m の居室について算出し、その結果を図 6.10 に示す。

図 6.10 より、本評価法ベース許容避難時間は居室面積が大きくなるに従い許容避難時間の増加は緩やかになり、500 m<sup>2</sup>以降は一定になる傾向がみられる。用途による傾向は、事務所が最も緩い値となる。また、居室面積が小さい時には物販の計算結果の方が飲食より大きな値を示すが、居室面積が大きくなるに従いその差は小さくなる。一方、避難検証法ベース許容避難時間は、火災成長率  $\alpha_f$  が居室面積によらず一定であるため、居室面積に対する許容避難時間の増加の割合は本評価法と比較して大きく、また一定値に収束する傾向は見られない。本評価法ベース許容避難時間と避難検証法ベース許容避難時間を比較すると、避難検証法ベースの許容避難時間は小規模居室で本評価法ベース

の許容避難時間よりも厳しくなる傾向が顕著に表れた。小規模居室を除いては本評価法ベースの許容避難時間の方が短くなり安全側となる。

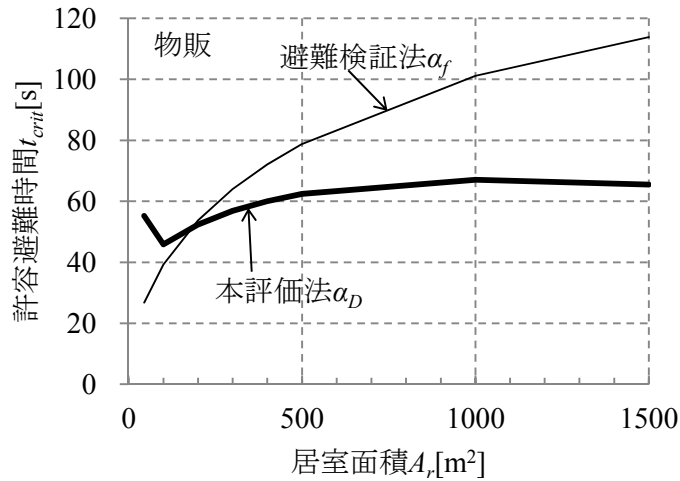


図 6.10 物販の許容避難時間 (CH 3.0m)

#### 6.4 限界歩行距離および必要出口幅の算出式および入力条件が与える影響

以上の条件に基づき、限界歩行距離  $l_{crit}$  および必要出口幅  $B_{crit}$  を算出する。

##### 6.4.1 限界歩行距離 $l_{crit}$ の算出式

式(6.15)を式(6.8)に代入すると次式を得る。補正係数  $k_p$  は図 6.8 に示す回帰式で算出した値を用いる。

$$\begin{aligned}
 l_{crit} &= \left( \frac{5}{2C_m} \right)^{3/5} \left\{ \left( \frac{1}{H_{lim}^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right)^{3/5} - \left( \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right)^{3/5} \right\} \left( \frac{(\rho_s k_p A_p)^{3/5}}{\alpha_D^{1/5}} \right) v \\
 &= 8.1 \left\{ \left( \frac{1}{H_{lim}^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right)^{3/5} - \left( \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right)^{3/5} \right\} \left( \frac{(\rho_s k_p A_p)^{3/5}}{\alpha_D^{1/5}} \right) v \quad (6.22) \\
 &= M \left( \frac{(\rho_s k_p A_p)^{3/5}}{\alpha_D^{1/5}} \right) v = MK_l (\beta A)^{3/5}
 \end{aligned}$$

ただし、式(6.22)中の  $M$ 、 $K_l$  はそれぞれ次式により与えられる。

$$M = 8.1 \left\{ \left( \frac{1}{H_{\text{lim}}^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right)^{3/5} - \left( \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right)^{3/5} \right\} \quad (6.23)$$

$$K_l = v \frac{(\rho_s k_\rho)^{3/5}}{\alpha_D^{1/5}} \quad (6.24)$$

また、 $\beta$  は親室率で  $\beta = A_p / A_r$  である。

例えば、天井高 3.0m の居室の場合  $M = 1.96$  となり、煙層密度  $\rho_s = 1.0$  とするので、式(6.22)は、

$$l_{\text{crit}} = \begin{cases} 2.55 \frac{k_\rho^{3/5}}{\alpha_D^{1/5}} (\beta A_r)^{3/5} & (v = 1.3 \text{m/s の用途 例えば事務所 CH3.0m}) \\ 1.96 \frac{k_\rho^{3/5}}{\alpha_D^{1/5}} (\beta A_r)^{3/5} & (v = 1.0 \text{m/s の用途 例えば物販 CH3.0m}) \end{cases} \quad (6.25)$$

となる。

#### 6.4.2 必要出口幅 $B_{\text{crit}}$ の算出式

限界歩行距離  $l_{\text{crit}}$  と同じ手順で算出すると、必要出口幅  $B_{\text{crit}}$  は下式により得られる。

$$B_{\text{crit}} = \frac{p_{\text{den}} A_r}{N t_{\text{crit}}} \quad (6.26)$$

$$\begin{aligned} B_{\text{crit}} &= \frac{p_{\text{den}} A_r}{NM} \left( \frac{\alpha_D^{1/5}}{(\rho_s k_\rho A_p)^{3/5}} \right) = \frac{p_{\text{den}}}{NM} \frac{\alpha_D^{1/5}}{(\rho_s k_\rho)^{3/5}} \frac{A_r^{2/5}}{\beta^{3/5}} \\ &= (K_B / M) (A_r^{2/5} / \beta^{3/5}) \end{aligned} \quad (6.27)$$

ただし、式(6.27)中の  $K_B$  は下式により算定し、 $M$  は式(6.23)により算出する。

$$K_B = \frac{p_{\text{den}} \alpha_D^{1/5}}{N (\rho_s k_\rho)^{3/5}} \quad (6.28)$$

天井高 3.0m の居室の場合、 $M = 1.96$  であるから、流動係数  $N = 1.5$ 、煙層密度  $\rho_s = 1.0$ 、各用途の在館者密度  $p_{\text{den}}$  を事務所 0.125 人/m<sup>2</sup>、物販 0.5 人/m<sup>2</sup>、飲食 0.7 人/m<sup>2</sup>、共同住宅 0.06 人/m<sup>2</sup> とすると式(6.27)は式(6.29)のようになる。

$$B_{crit} = \begin{cases} 0.04 \cdot \frac{\alpha_D^{1/5} A_r^{2/5}}{k_\rho^{3/5} \beta^{3/5}} & \text{(事務所 CH3.0m)} \\ 0.17 \cdot \frac{\alpha_D^{1/5} A_r^{2/5}}{k_\rho^{3/5} \beta^{3/5}} & \text{(物販 CH3.0m)} \\ 0.24 \cdot \frac{\alpha_D^{1/5} A_r^{2/5}}{k_\rho^{3/5} \beta^{3/5}} & \text{(飲食 CH3.0m)} \\ 0.02 \cdot \frac{\alpha_D^{1/5} A_r^{2/5}}{k_\rho^{3/5} \beta^{3/5}} & \text{(共同住宅 CH3.0m)} \end{cases} \quad (6.29)$$

#### 6.4.3 用途、親室率、天井高が限界歩行距離、必要出口幅に及ぼす影響

本評価法で用途、親室率、天井高が限界歩行距離、必要出口幅に及ぼす影響を検討する。初めに、用途の違いを確認するため、天井高 3.0m、親室率 1.0 における限界歩行距離  $l_{crit}$  および必要出口幅  $B_{crit}$  の算出結果を図 6.11 に示す。

図 6.11 より、飲食の設計火災成長率  $\alpha_D$  は物販に比べ大きくなるため、飲食の限界歩行距離  $l_{crit}$  および必要出口幅  $B_{crit}$  は事務所、物販よりも厳しい条件となる。限界歩行距離  $l_{crit}$  の物販と飲食の差は居室面積が大きくなるにつれ小さくなるが、必要出口幅  $B_{crit}$  の両者の差は逆に大きくなる。これについては、必要出口幅  $B_{crit}$  は式(6.26)によると、在館者密度  $p_{den}$ 、居室面積  $A_r$  に比例し、許容避難時間  $t_{crit}$  に反比例するが、先の図 6.10 で居室面積が大きくなるにつれて物販と飲食の許容避難時間  $t_{crit}$  の差がなくなるため、同じ居室面積であれば在館者密度  $p_{den}$  の設定の違いによるものである（飲食の必要出口幅  $B_{crit}$  は物販のその概ね 1.4 倍（ $=0.7/0.5$ ））。

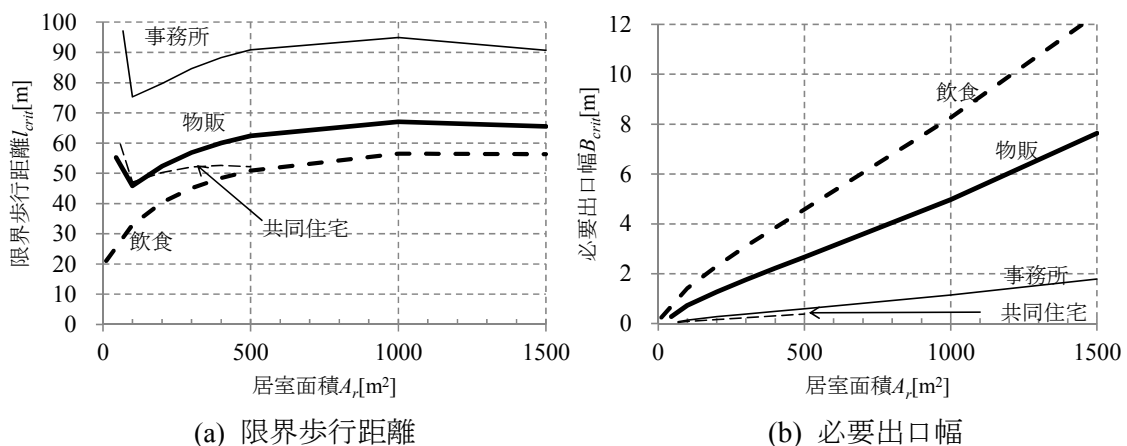


図 6.11 事務所、物販、飲食、共同住宅の限界歩行距離、必要出口幅 (CH3.0m、親室率 1.0)

次に、親室率  $\beta$  を 0.5、1.0 と変化させた場合の限界歩行距離  $l_{crit}$  と必要出口幅  $B_{crit}$  への影響について検討する。なお、用途の差は上記に示した親室率 1.0 の場合と同じ傾向を示すので、以降は基本的に物販の結果を用いて考察を行う。天井高 3.0m における物販の限界歩行距離  $l_{crit}$  と必要出口幅  $B_{crit}$  の算定結果を図 6.12-1～図 6.12-2 に示す。

図 6.12-1 より、親室率が小さくなると許容避難時間が短くなるため、例えば、500m<sup>2</sup> の物販では親室率が 1.0 から 0.5 になることで限界歩行距離  $l_{crit}$  は約 20m 短くなり、必要出口幅  $B_{crit}$  は約 1.4m 広がる。これは、式(6.22)または式(6.26)から分かるように、限界歩行距離  $l_{crit}$  は親室率  $\beta$  の 3/5 乗に比例し、必要出口幅  $B_{crit}$  は親室率  $\beta$  の 3/5 乗に反比例するためである。

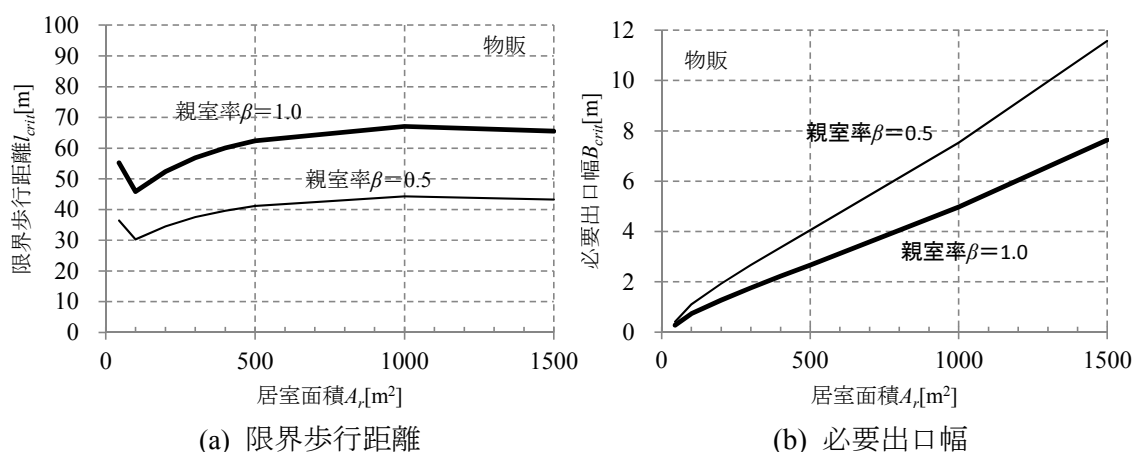


図 6.12 物販の限界歩行距離、必要出口幅 (CH 3.0m、親室率 0.5、1.0)

次に、親室率 1.0 の物販の天井高を 2.4m、2.7m、3.0m と変化させた場合の限界歩行距離  $l_{crit}$ 、必要出口幅  $B_{crit}$  の算出結果を図 6.13-1～図 6.13-2 に示す。式(6.22)において、限界歩行距離は係数  $M$  に比例し、係数  $M$  は式(6.23)より天井高が高くなるほど大きくなるのがわかる。天井高 3.0m、2.7m および 2.4m における  $M$  はそれぞれ 1.96、1.57 および 1.07 である。一方、図 6.13-2 の必要出口幅は式(6.27)でわかるように係数  $M$  と反比例の関係になっており、天井高が高くなると、必要出口幅が減少する結果となる。

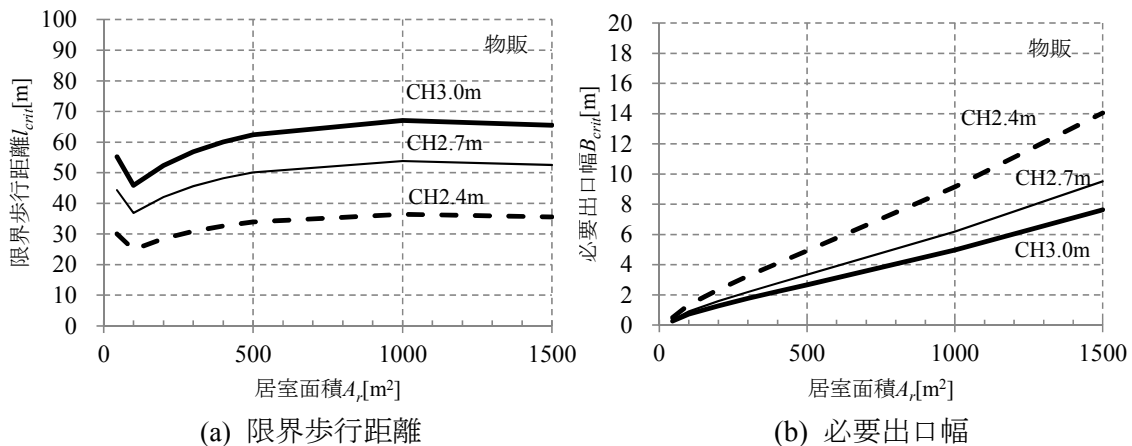


図 6.13 天井高の違いによる物販の限界歩行距離、必要出口幅（親室率 1.0）

## 6.5 限界歩行距離および必要出口幅による他の基準値との比較

仕様規定（ただし建築基準法の規定に限る）や防災計画指針法<sup>7)</sup>（以降、指針法という）と本評価法の設計水準の比較を行う。なお、本研究においては、「簡易検証」で算出される限界歩行距離および必要出口幅と、仕様規定ならびに指針法で要求される歩行距離および出口幅との比較を行った。

### 6.5.1 仕様規定と防災計画指針法との比較

仕様規定や指針法と本評価法の設計水準の比較を行う。

#### (1) 仕様規定と防災計画指針法の考え方

##### 1) 仕様規定

仕様規定では、直通階段までの歩行距離<sup>注5)</sup>が用途により定められているが、居室面積に関わらず一定値である。例えば、物販、飲食の階段に至るまでの歩行距離は、主要構造部が準耐火構造であるか内装の仕上げの種類が不燃材料以外の場合に 40m となる。また、出口幅については居室から共用廊下への扉幅の制限は特に設けられておらず、物販店舗のみ避難階段等に通ずる出入口の幅が各階ごとの床面積 100m<sup>2</sup>につき地上階で 27cm の制限がある<sup>注6)</sup>。

##### 2) 指針法

指針法は式(6.30)に示すように、歩行距離と出口幅に制限を設けているが、用途に関わらず、居室面積に応じて許容避難時間が定められている。検証は歩行時間と扉通過時間の最大値と許容避難時間（ $=2\sqrt{A_r}$ [s]）の比較により行われる。

$$\max(l_r / v, p_{den} A_r / NB) \leq 2\sqrt{A_r} \quad (6.30)$$

式(6.30)をもとに、指針法の許容避難時間以内に避難可能な限界歩行距離  $l_{crit}$ 、必要出口幅  $B_{crit}$  を求めると式(6.31)、式(6.32)のようになる。

$$l_{crit} = 2\sqrt{A_r}v = F_l A_r^{0.5} \quad (6.31)$$

$$B_{crit} = p_{den}A_r / 2\sqrt{A_r}N = F_B A_r^{0.5} \quad (6.32)$$

ここで、 $F_l$ は2.0、 $F_B$ は流動係数  $N$  を1.5人/m/s と与えた場合  $p_{den}/3$  である。

## (2) 設計水準の比較

本評価法を適用した場合に、従来の設計法である仕様規定および指針法の条件と比較し、どの程度の水準が求められるか物販を対象に検討する。

本評価法（ただし親室率1.0、天井高3.0m、2.4m）および指針法に基づき算定した物販の限界歩行距離  $l_{crit}$  と居室面積  $A_r$  の関係を図6.14に示す。なお、仕様規定で定められている限界歩行距離（但し、直通階段までの歩行距離で40m、50m）<sup>注4)</sup>を併せて示す。

図6.14より、仕様規定の限界歩行距離は居室面積によらず一定値であり、指針法は式(6.30)でも明らかのように居室面積の1/2乗に比例する傾向がある。本評価法は居室面積約500m<sup>2</sup>以上から床面積に依存しない傾向を示す。これは居室が大きくなっても避難出口は均等にバランス良く設ける必要があることを示唆しているように思われる。仕様規定は天井高2.4mでは本評価法の基準値を満足しないが、天井高3.0mでは本評価法に基づく基準を概ね満足することになる。指針法が要求している条件のみで考えると、仕様規定のみの物販より小規模居室において厳しい基準となるが、居室面積200m<sup>2</sup>以下を除き本評価法による天井高2.4mの基準は満たさず、3.0mの基準は十分満足する傾向を示す。ただし、指針法は仕様規定に適合していることが前提となるため、仕様規定の歩行距離40mの場合は約400m<sup>2</sup>、歩行距離50mの場合は約650m<sup>2</sup>から一定の歩行距離が要求される。

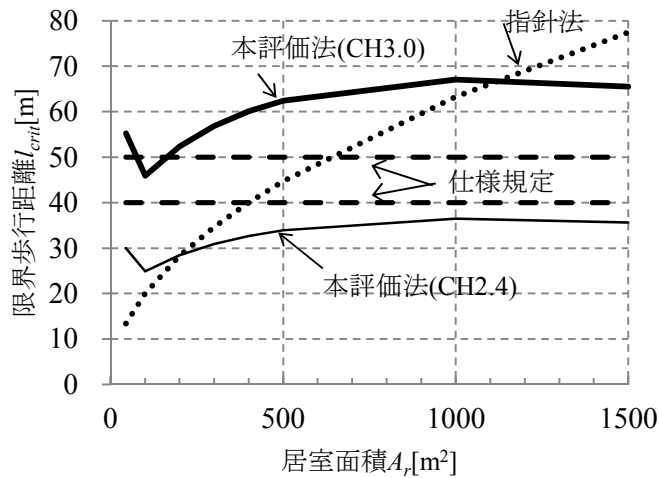


図 6.14 仕様規定、指針法、本評価法の限界歩行距離の比較（物販、親室率 1.0）

次に、本評価法（ただし、親室率 1.0、天井高 3.0m、2.4m）および指針法の必要出口幅を図 6.15 に示す。なお、指針法は  $200\text{m}^2$  を超える居室は扉を 1 箇所使用不可として計算を行うが、図 6.15 の扉幅は避難に使用可能な有効幅員を表している。また、図 6.15 には仕様規定 ( $A_r/100 \times 0.27[\text{m}]$ ) の必要出口幅を併せて示した。

図 6.15 より、最も緩い条件は仕様規定の必要出口幅である。本評価法と仕様規定の必要扉幅は、居室面積に対して一定の割合で要求されており、本評価法の天井高 2.4m、3.0m の場合の必要出口幅を包含するための一人あたりに必要な扉幅<sup>注7)</sup>を算出するとそれぞれ約 19mm、約 10mm で、仕様規定の 5.4mm よりも大きな値となる。仕様規定の限界歩行距離  $l_{crit}$  では本評価法の天井高の低い場合と近い値であったが、出口幅は天井高の高い必要出口幅  $B_{crit}$  よりも要求する条件が緩いことから、仕様基準は出口幅よりも歩行距離を厳しく制限し、一方、本評価法は歩行距離よりも出口幅を厳しく制限していると考えられる。指針法の必要出口幅は居室面積約  $300\text{m}^2$  以下では本評価法の天井高 2.4m の値と近く、 $300\text{m}^2$  以上では本評価法の天井高 3.0m の値と比較的近くなる。これは、指針法の居室面積あたりの必要出口幅 ( $B_{crit}/A_r$ ) は式(6.32)に示されるように居室面積の 1/2 乗に反比例するため、小規模居室での居室面積あたりの必要出口幅が大きくなり、本評価法における天井高の低い結果に近づき、逆に、居室面積が大きくなるに従い居室面積の影響が小さくなり、天井高の高い結果に近づいたと思われる。



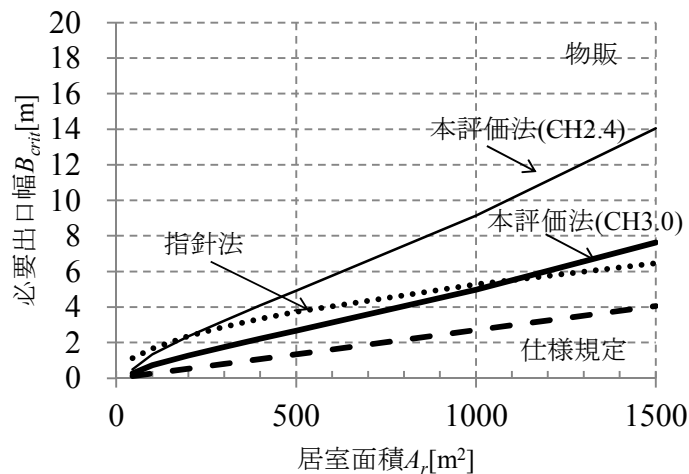


図 6.15 仕様規定、指針法、本評価法の必要出口幅の比較（物販、親室率 1.0）

本評価法は火災成長率および煙層降下に基づき避難安全性を判定しているため、天井高や親室率 $\beta$ に応じて限界歩行距離が変化する。その点で本評価法は、仕様規定や指針法と比べて火災時の危険性をより忠実に配慮することのできる評価法と言える。しかし、本評価法は天井高を高くした場合に制限が緩くなる可能性があるため、天井高の高い居室に本評価法を適用した場合の評価については今後検討が必要である。

## 6.6 まとめ

リスクの概念を取り入れた居室の避難安全検証において、用途の違いや天井高、親室率の条件がスプリンクラー設備無設置時の「簡易検証」の基準値である限界歩行距離および必要出口幅に及ぼす影響について検討した。また、既往の評価方法と比較した場合の本評価法の設計水準の検討を行った。その結果、以下の傾向が明らかとなった。

- ・設計火源の設定において、本評価法は避難検証法よりも、飲食が大きい値となる。居室面積に応じた避難リスクを考慮し、小規模居室の設計火源は小さくなるため、避難検証法と比較して小規模居室の評価を行いやすくなると考えられる。
- ・本評価法は許容避難時間を煙の降下高さで評価しており、仕様規定や指針法と比べて天井高と親室率が結果に与える影響が大きい。
- ・本評価法、仕様規定、指針法が要求している限界歩行距離の比較を行うと、限界歩行距離は、本評価法は居室面積が大きくなるほど居室面積に依存する傾向が低くなるため、居室面積が小さい場合に居室面積に関わらず同じ限界歩行距離を要求している使用規定よりも厳しい条件となる場合がある。また、本評価法は、天井高により限界歩行距離が異なるため、天井高により仕様規定、指針法との限界歩行距離の大小関係が異なる。指針法は仕様規定に適合していることが前提となるため、指針法+仕様規定

の基準は小規模居室では仕様規定より厳しく、ある規模の床面積から一定値を要求することになる。この傾向は本評価法と同様の傾向である。

- ・本評価法、仕様規定、指針法が要求している必要出口幅の比較を行うと、居室面積に比例して必要出口幅が増える傾向が共通して見られた。本評価法は限界歩行距離と同様に天井高に応じて要求される必要出口幅が増えるが、比較的天井高が高い場合でも仕様規定よりも厳しい値が要求される結果となった。指針法との比較においては、小規模の居室では、本評価法の天井高が低い場合の要求条件と近く、居室面積が大きくなると本評価法の天井高が高い場合の要求条件と近くなる。居室面積が大きい場合は本評価法よりも指針法の方が要求条件が緩くなる。本評価法の必要出口幅は居室面積あたりで一定値を要求している。

現状設計されている居室の歩行距離は、階段までの避難安全性の結果を受けて最終的に決定され、扉幅は居室避難検証で必要とされている扉幅となっている。つまり、扉幅は居室避難検証の結果のみで決定するため、天井高の高い居室への適用などさらに検討を重ねる必要がある。また、「簡易検証」は親室、子室とも一斉に避難可能であることを前提としており、子室に避難開始遅れが生じる具体的な条件は検討を行っていない。避難開始が遅れる条件の検討は今後の課題である。

## 補足

詳細計算は、久次米らの「必要排煙量に基づいた居室避難安全評価手法」<sup>6)</sup>の中で用いられている煙層高さの詳細計算予測方法に仮想点熱源補正を加えて行った。計算法を以下に示す。

以下に示す①～⑧の手順に従い1秒間隔 ( $\Delta t = 1$ 秒) で煙降下の詳細計算予測を行い、避難開始時間および限界煙層高さとなる時間の算定を行う。

①火源発熱速度の算定

$$Q_f(t) = \alpha_D t^2 \quad (1)$$

②火源代表径の算定

$$D(t) = \sqrt{Q_f(t)/q''} \quad (2)$$

③仮想点熱源高さの算定

$$z_0(t) = 1.02D(t) - 0.083Q_f(t)^{2/5} \quad (3)$$

④火災プルーム量の算定

$$m_p(t) = C_m Q_f(t)^{1/3} \{Z(t-1) + z_0(t)\}^{5/3} \quad (4)$$

⑤煙層に接する周壁面積の算定

$$A_w(t) = A_r + L_w \{H_p - Z(t-1)\} \quad (5)$$

⑥煙層温度の算定

$$T_s(t) = T_s(t-1) + \frac{Q(t) - c_p m_p(t)(T_s(t-1) - T_\infty) - h_k A_w(t)(T_s(t-1) - T_\infty)}{c_p \rho_s(t-1) A_r (H_p - Z(t-1))} \Delta t \quad (6)$$

⑦煙層密度の算定

$$\rho_s(t) = 353/T_s(t) \quad (7)$$

⑧煙層下端高さの算定

$$Z(t) = Z(t-1) - \frac{1}{A_r} \left[ \frac{Q(t) - h_k A_w(t)(T_s(t) - T_\infty)}{c_p \rho_\infty T_\infty} + \frac{m_p(t)}{\rho_\infty} \right] \Delta t \quad (8)$$

初期値 ( $t=0$  秒のとき) は、煙層下端高さ  $Z(0)=H_p$ 、火源発熱速度  $Q_f(0)=0$ 、煙層温度  $T_s(0)=T_\infty$  とし、 $t=1$  秒から計算を開始する。また、②で用いる単位床面積当たりの発熱速度  $q''$  は文献[2]に従い、事務所  $311.8\text{kW/m}^2$ 、物販および飲食  $243.6\text{kW/m}^2$ 、共同住宅  $278.9\text{kW/m}^2$ 、④の火災プルームの巻き込み係数  $C_m$  は  $0.076 \text{ kg/kJ}^{1/3}/\text{m}^{5/3}/\text{s}^{2/3}$ 、⑤の計算で使用する周壁長さ  $L_w$  は室形状が正方形 ( $L_w=4\sqrt{A_r}$ ) として算出し、⑥の実効熱伝達率  $h_k$  は  $0.015\text{kW/m}^2\text{K}$ 、定圧比熱  $c_p$  は  $1.0\text{kJ/kgK}$  とした。また、床面積  $A_r$  は親室の床面積  $A_p$  (子室がない場合を想定)、天井高さ  $H$  は親室の天井高さ  $H_p$  を用いた。避難開始時点の煙層下端高さは簡易予測式 (式(6.13)および式(6.14)) と同様に、天井高さの 90%

(0.9H)、限界煙層高さ  $H_{lim}$  は 1.8m とした。

参考として、天井高 4.0m の飲食の詳細計算法による煙層が床面から 1.8m に降下した時点の煙層密度を下図に示す。図より煙層が床面から 1.8m に降下した時点の煙層密度は  $1500\text{m}^2$  で約  $0.82\text{kg/m}^3$  である。この密度は煙層温度とすると約  $150^\circ\text{C}$  である。

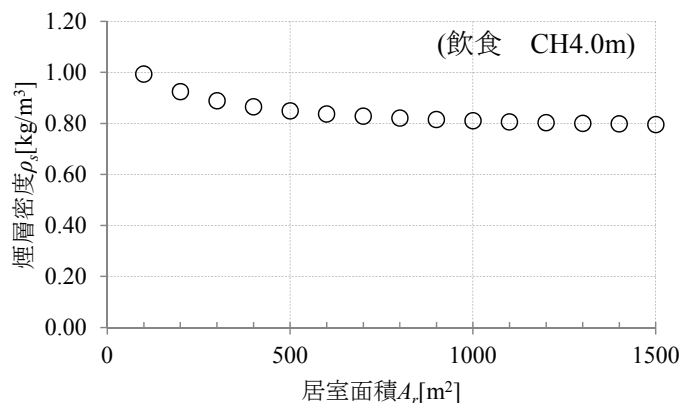


図 詳細計算法による煙層が床面から 1.8m に降下した時点の煙層密度  
(飲食、CH4.0m)

## 記号

$A_r$  : 居室面積 [ $\text{m}^2$ ]

$A_p$  : 親室の床面積 [ $\text{m}^2$ ]

$A_{sc}$  : 検証免除面積 [ $\text{m}^2$ ]

$B$  : 出口幅 [m]

$B_{crit}$  : 煙に支障なく避難可能な必要出口幅 [m]

$C_m$  : 巻き込み係数 [ $\text{kg/kJ}^{1/3}/\text{m}^{5/3}/\text{s}^{2/3}$ ] (=0.076)

$C_o$  : 在館者数 [人]

$H_{lim}$  : 避難上支障のある煙層下端高さ [m]

$H_p$  : 親室の天井高さ [m]

$K$  : 任意の用途

$k_p$  : 補正係数 [-]

$l$  : 歩行距離 [m]

$l_{crit}$  : 煙に支障なしで避難可能な限界歩行距離 [m]

$N$  : 流動係数 [人/m/s]

$P(i)$  : 火災シナリオ  $i$  の生起確率 [-]

$p_{den}$  : 在館者密度 [人/ $\text{m}^2$ ]

$q''$  : 単位床面積あたりの発熱速度 [ $\text{kW/m}^2$ ]

$R_A^D$  : 設計許容避難リスク [人/件]

$t_{crit}$  : 許容避難時間[s]

$t_{crit(com)}$  : 非定常モデルに基づき算出した許容避難時間[s]

$t_e$  : 避難完了時間[s]

$t_{queue}$  : 滞留解消時間[s]

$t_s$  : 煙層下端が避難上支障のある高さに達するまでの時間（煙降下時間） [s]

$t_{start}$  : 避難開始時間[s]

$t_{travel}$  : 歩行時間[s]

$v$  : 歩行速度[m/s]

$z$  : 煙層下端高さ[m]

$\alpha$  : 火災成長率 [kW/s<sup>2</sup>]

$\beta$  : 親室率[-]

$\mu$  : 火災成長率  $\alpha$  の平均値[kW/s<sup>2</sup>]

$\sigma$  : 火災成長率  $\alpha$  の標準偏差[kW/s<sup>2</sup>]

$\rho_s$  : 煙層密度[kg/m<sup>3</sup>]

## 注

注1) 共同住宅の火災成長率の分布は戸建住宅と等しいとして算定した。

注2) 詳細計算法における限界煙層高さ時点の煙層温度は補足に示すように約 150℃であるため、フラッシュオーバーに至るとされている温度には達していない。本評価法では煙層高さによる評価を実施する。

注3) 共同住宅のみ 500m<sup>2</sup>までの回帰式。他は 1500m<sup>2</sup>

注4) 避難検証法では煙層密度を一律 0.7kg/m<sup>3</sup>と仮定して煙降下時間の計算を行っているため、避難検証法に基づく計算を行う場合の煙層密度は一定値 (0.7kg/m<sup>3</sup>) とした。

注5) 建築基準法施行令第 120 条（直通階段の設置）。内装が不燃材料の場合に 10m 加算される。本来は居室避難に対する基準ではないが、本報の限界歩行距離の値との比較に利用した。

注6) 建築基準法施行令第 124 条（物品販売業を営む店舗における避難階段等の幅）本来は居室避難に対する基準ではないが、本報の必要出口の値との比較に利用した。

注7) 各居室面積での人数は避難検証法に基づいた値とした。

## 第6章参考文献

- 1) 平成12年建告第1441号、同第1442号
- 2) 出口嘉一、野竹宏彰、抱 憲誓、仁井大策、山口純一、池畠由華：リスクの概念に基づく避難安全設計法に用いる火災成長率の分布の推定、日本火災学会論文集、Vol.61、No.2、pp.13-23、2011.08
- 3) 田中哮義：改訂版建築火災安全工学入門、日本建築センター、pp.232-pp.235、2002
- 4) 山口純一、長岡勉、野竹宏彰、桑名秀明、池畠由華、高橋済、佐野友紀、萩原一郎：新しい避難安全検証手法の開発：その1 避難開始時間の設定方法、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.287-290、2010
- 5) 仁井大策他：その1 フレームワークの概要 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.331-334、2011
- 6) 久次米真美子、田中哮義：必要排煙量に基づいた居室避難安全評価手法、日本建築学会環境系論文集 No.586、pp.1-8、2004.12
- 7) 新・建築防災計画指針、(財)日本建築センター、1995

## 第7章 スプリンクラー設備が設置された場合の居室避難の「簡易検証」手法

### 7.1 はじめに

本章ではリスクの概念を取り入れた設計火源を導入した居室避難の「簡易検証」において、スプリンクラー設備を設置した居室の限界歩行距離および必要出口幅の算出を行った。また、スプリンクラー設備無設置の居室の限界歩行距離および必要出口幅との比較を行った。なお、第6章と同様に、本章においても排煙設備の効果は考慮せず、事務所、物販、飲食、共同住宅の4用途について検討を行った。

### 7.2 基本概念

スプリンクラー設備を設置した場合の「簡易検証」の基本的な考え方はスプリンクラー設備無設置時と同じである。ここでは、スプリンクラー設備無設置の場合と異なる点について説明する。

スプリンクラー設備が設置されている室の設計火災シナリオを図7.1に、検証フローを図7.2に示す。図7.1に示すように、スプリンクラー設備が設置されている場合は、スプリンクラー設備が有効に作動する場合と無効であった場合の2つのシナリオを考える。なお、この場合の有効、無効は第4章で示したように、有効はスプリンクラー設備が「抑制成功」、無効は不作動および効果的でなかった場合の「不奏功」を扱っている。本評価法は第2章で示したように、各シナリオの部分許容避難リスクに基づいた火源により、避難不能者が0になることをそれぞれのシナリオで決定論的に評価することをコンセプトとしている。よって、図7.2に示すように、スプリンクラー設備が有効に作動する場合と無効であった場合の2つのシナリオにおいて安全であることを確認する。つまり、限界歩行距離および必要出口幅はそれぞれ算出されるので、厳しい方の条件を満たす必要がある。

居室避難設計 火災シナリオ	避難不能者数 $C_i$	生起確率 $P_i$	避難リスク $R_i$	部分許容避難リスク $R_{A(i)}^D$	シナリオ	
SP設備						
成長火災	○SP有効 (抑制) $P_{sprinkler}$	$C_1$	$P_1$	$R_1$	$R_{A1}^D$	シナリオ1
	×SP無効 (不奏功) $P_{failure}$	0	$P_{sprinkler}$	$P_{sprinkler} \times 0$	0	
		$C_2$	$P_2$	$R_2$	$R_{A2}^D$	シナリオ2
	$C_0 P_{cas}$	$P_{failure}$	$P_{failure} C_0 P_{cas}$	$R_A^D$		

$\ast P_{extinguish} + P_{sprinkler} + P_{failure} = 1$ 
 $\Sigma R_{A(i)}^D \leq R_A^D$

図 7.1 スプリンクラー設備が設置されている室の設計火災シナリオ

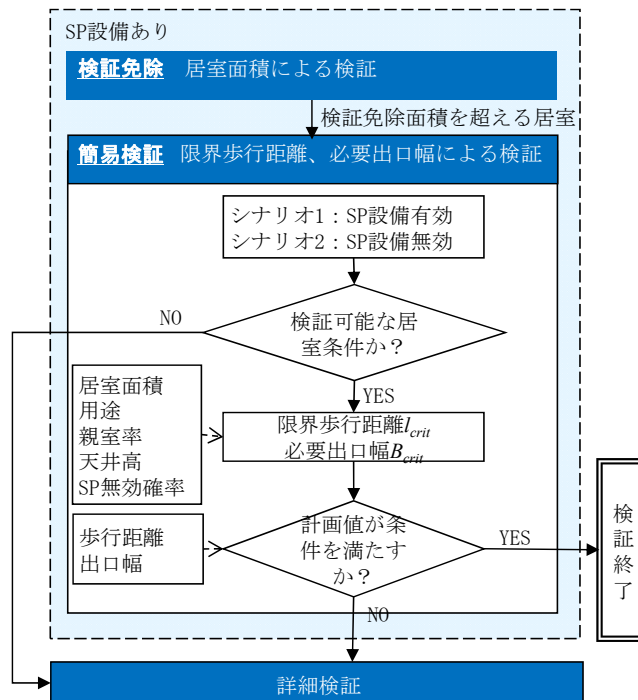


図 7.2 「簡易検証」検証フロー（スプリンクラー設備設置の場合）

### 7.3 限界歩行距離および必要出口幅の算出方法

#### 7.3.1 スプリンクラー設備が有効なシナリオ（シナリオ 1）

##### (1) 算出手順

図 7.1 に示すスプリンクラー設備が有効なシナリオ 1 では次式に示すように、スプリンクラー設備の火災抑制効果により避難不能者数  $C_1$  を 0 人とできると考える。第 4 章の検討で特異な事例を除けば、スプリンクラー設備が作動した場合に死者が発生しないことと、「抑制成功」の場合は焼損床面積が  $1\text{m}^2$  の火災を対象としており、避難不能者の発生割合が低い。よって、本検討ではスプリンクラー設備が有効なシナリオ 1 は部分許容避難リスク  $R_{A(1)}^D$  を 0 と設定し、検証を行う。シナリオ 1 の限界歩行距離および必要出口幅の算出手順を図 7.3 に示す。シナリオ 1 の設計火源はスプリンクラー設備で抑制された火災を扱い、本研究では定常火源  $Q_{sp}$  として表現する。スプリンクラー設備によって抑制された発熱速度  $Q_{sp}$  のもとで煙降下時間および避難開始時間の算出を行い、許容避難時間を求める。その後はスプリンクラー設備無設置の場合の手順と同様に限界歩行距離および必要出口幅を算出する。

$$R_1(K) = P_{sprinkler} C_1 = P_{sprinkler} \times 0 \leq R_{A(1)}^D = 0 \quad (7.1)$$



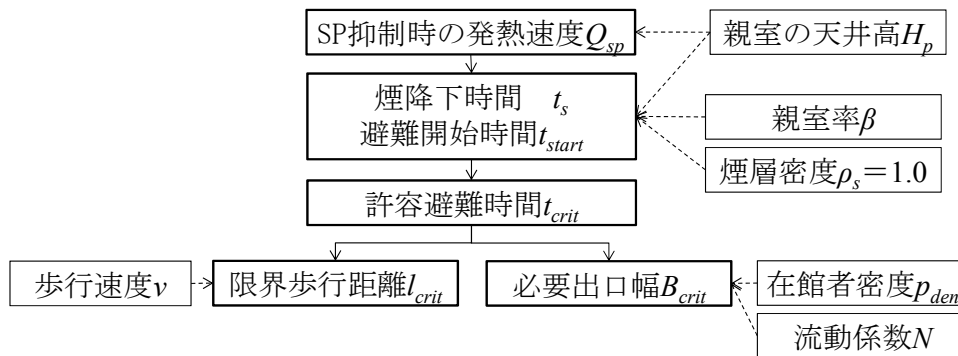


図 7.3 限界歩行距離および必要出口幅の算出手順 (シナリオ 1)

### (2) 設計火源

本評価法の考え方では、部分設計許容避難リスク  $R_A^D(i)$  を 0 とする場合には第 2 章の図 2.4 に示すように設計火災成長率  $\alpha_D = \infty$ <sup>注1)</sup> となる。よって、図 7.4 に示すように出火時から定常火源で燃焼する想定のもと、安全となる居室条件を算出する。スプリンクラー設備が有効なシナリオの発熱速度の大きさは、第 4 章で示したようにスプリンクラー設備が作動しない発熱速度を図 4.4 の回帰式 (式(4.22)) を利用して算出する。この式により、天井高による発熱速度への影響を考慮可能である。

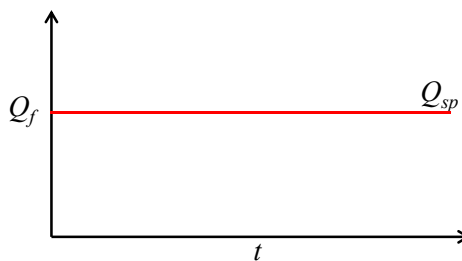


図 7.4 スプリンクラー設備が有効なシナリオの発熱速度

$$Q_f = Q_{sp} = 194H_p - 177 \quad \text{再掲(4.22)}$$

### (3) 煙降下時間 $t_s$

煙降下時間  $t_s$  の予測は式(7.2)に示すように、定常火源での二層ゾーン概念に基づく簡易予測式<sup>1)</sup>を用いる。なお、煙層密度  $\rho_s$  はスプリンクラー設備の火災抑制効果により煙層温度が低いと考えて  $1.0\text{kg/m}^3$  とする。なお、スプリンクラー設備の作動後に小規模居室では煙層が乱れるため煙の二層化を想定できないが、小規模居室はスプリンクラー設備の作動前に避難限界時間となり避難が完了しており、また、ある程度の規模の居室では煙層が乱れる範囲が限定的であると考えて、本検討では式(7.2)を用いることとした。

また、その他のスプリンクラー設備作動による避難への影響は本検討で考慮しないものとしている。

$$t_s = \frac{3}{2} \frac{\rho_s}{C_m Q_{sp}^{1/3}} A_p \left( \frac{1}{H_{lim}^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right) \quad (7.2)$$

(4) 避難開始時間  $t_{start}$

煙降下時間  $t_s$  と同様に、定常火源の二層ゾーン概念に基づく式(7.3)の簡易予測式を用いる。

$$t_{start} = \frac{3}{2} \frac{\rho_s}{C_m Q_{sp}^{1/3}} A_p \left( \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right) \quad (7.3)$$

(5) 許容避難時間  $t_{crit}$

許容避難時間は式(7.2)および式(7.2)を式(6.3)に代入すると式(7.4)となる。

$$t_{crit} = \frac{3}{2} \frac{\rho_s}{C_m Q_{sp}^{1/3}} A_p \left( \frac{1}{H_{lim}^{2/3}} - \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} \right) \quad (7.4)$$

避難時間の考え方により、許容避難時間の長さの持つ意味が変わるため、単純に比較することはできないが、本評価法と避難検証法<sup>2)</sup>の煙降下の計算式および避難検証法ベースの許容避難時間の比較を行う。天井高 3.0m の事務室を例として、スプリンクラー設備が有効な場合の許容避難時間（以降、スプリンクラー有効許容避難時間という）を算出した結果を図 7.5 に示す。スプリンクラー設備が有効な場合の発熱速度は 405kW となる。なお、図 7.5 には避難検証法の火災成長率  $\alpha_f=0.099$  のもとで煙降下時間を算出した事務所の許容避難時間、第 6 章で示した避難検証法ベースの値も併せて示している。

図 7.5 より本評価法ではスプリンクラー設備が有効な場合は式(7.4)に示すように許容避難時間が居室面積（親室面積）に比例し、居室面積に関わらず同じ天井高であれば同じ発熱速度の定常火源を用いるので、居室面積が大きくなるほど許容避難時間が長くなる。式(7.4)に示すように、スプリンクラー設備が有効な場合は、天井高に基づいた設計火源を用いるので、許容避難時間に用途による違いはない。

また、避難検証法の計算式による許容避難時間は、本評価法と同様に居室面積が大き

くなるほど長くなるが、両者の許容避難時間には大きな差が生じている。

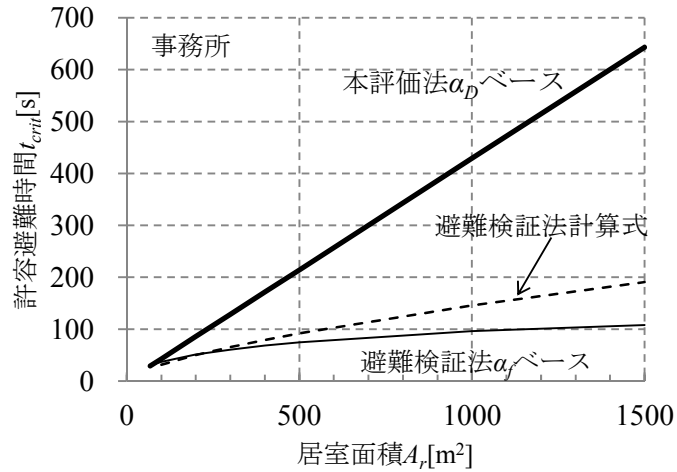


図 7.5 スプリンクラー設備が有効な場合の許容避難時間（事務所、CH 3.0m）

### 7.3.2 スプリンクラー設備が無効なシナリオ（シナリオ 2）

#### (1) 算出手順

図 7.1 に示すように部分許容避難リスクの合計を設計許容避難リスク  $R_A^D(K)$  以下とするので、シナリオ 1 の部分許容避難リスクを  $R_{A(1)}^D=0$  とすることにより、スプリンクラー設備が無効なシナリオ 2 では、式(7.5)のようにシナリオ 2 に設計許容避難リスク  $R_A^D(K)$  を全て割り振ることが可能となる。設計許容避難リスク  $R_{A(2)}^D$  に基づき設計火災成長率  $\alpha_{D(2)}$  を式(6.16)により算定し、 $Q_f=\alpha_{D(2)}t^2$  に従って拡大する火源の下で避難不能者数  $C_2$  が 0 人となる限界歩行距離および必要出口幅を算出する。シナリオ 2 の限界歩行距離および必要出口幅の算出手順を図 7.6 に示す。基本的にはスプリンクラー設備無設置時の手順と同じであるが、シナリオ 2 においてはスプリンクラー設備が無効な確率をもとに設計火災成長率  $\alpha_{D(2)}$  を算出する。

$$R_2(K) = P_{failure} C_2 \leq R_{A(2)}^D = R_A^D(K) \quad (7.5)$$

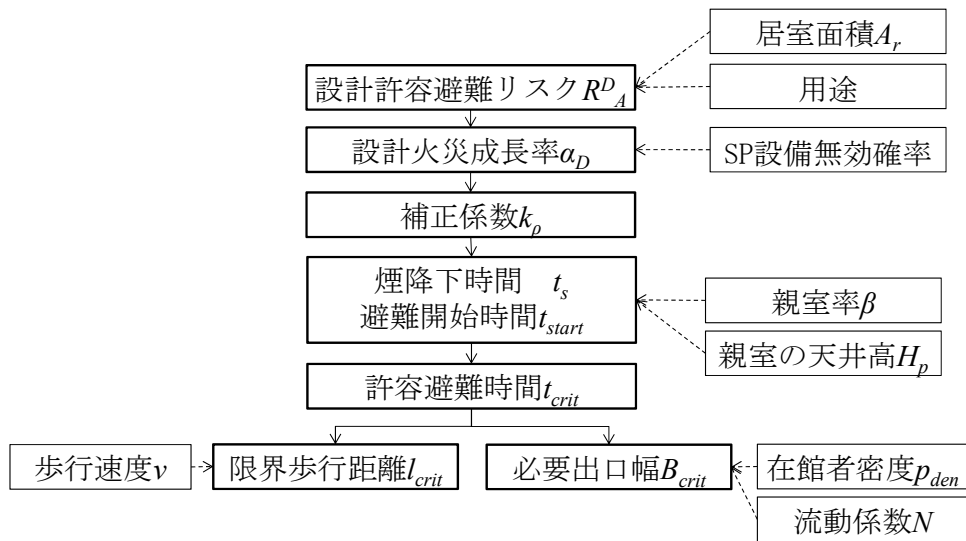


図 7.6 限界歩行距離および必要出口幅の算出手順（シナリオ 2）

(2) 煙降下時間  $t_s$ 、避難開始時間  $t_{start}$ 、許容避難時間  $t_{crit}$

煙降下時間  $t_s$ 、避難開始時間  $t_{start}$ 、許容避難時間  $t_{crit}$  の算出式は第 6 章と同じであるため、式のみ再掲する。

$$t_s = \left\{ \frac{5}{2} \cdot \frac{\rho_s k_p A_p}{C_m \alpha_D^{1/3}} \left( \frac{1}{H_{lim}^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right) \right\}^{3/5} \quad (\text{再掲})(6.13)$$

$$t_{start} = \left\{ \frac{5}{2} \cdot \frac{\rho_s k_p A_p}{C_m \alpha_D^{1/3}} \left( \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right) \right\}^{3/5} \quad (\text{再掲})(6.14)$$

$$t_{crit} = \left( \frac{5}{2C_m} \right)^{3/5} \left\{ \left( \frac{1}{H_{lim}^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right)^{3/5} - \left( \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} - \frac{1}{H_p^{2/3}} \right)^{3/5} \right\} \left( \frac{(\rho_s k_p A_p)^{3/5}}{\alpha_D^{1/5}} \right) \quad (\text{再掲})(6.15)$$

1) 設計火災成長率

スプリンクラー設備が無設置の場合はシナリオの生起確率  $P_{(1)}=1.0$  であったが、スプリンクラー設備が無効な場合は式(6.16)の火災シナリオの生起確率を  $P_{(2)}=P_{failure}$  として設計火災成長率  $\alpha_D$  を算出する。ここでは、火災シナリオの生起確率の違いを見るために、第 4 章の方法 1 および方法 2 で算出した  $P_{failure}$  を用いて設計火災成長率  $\alpha_D$  を算出する。スプリンクラー設備が無効な場合の設計火災成長率  $\alpha_D$  を図 7.7-1～図 7.7-5 に示す。図 7.7-1～図 7.7-5 では、参考としてスプリンクラー設備無設置の場合の設計火災成長率  $\alpha_D$  も併せて示す。なお、第 6 章と同様の方法で家具・書籍の設計火災成長率  $\alpha_D$  も参考

として算出した。スプリンクラー設備が無効な場合の設計火災成長率  $\alpha_D$  は無効となる確率がかかるため、スプリンクラー設備無設置の場合よりも小さくなる。火災シナリオのスプリンクラー設備の無効の確率が高いと設計火災成長率  $\alpha_D$  は大きくなり、居室面積  $1500\text{m}^2$  では方法 1 と方法 2 では約 1.2~1.3 倍の差となる。

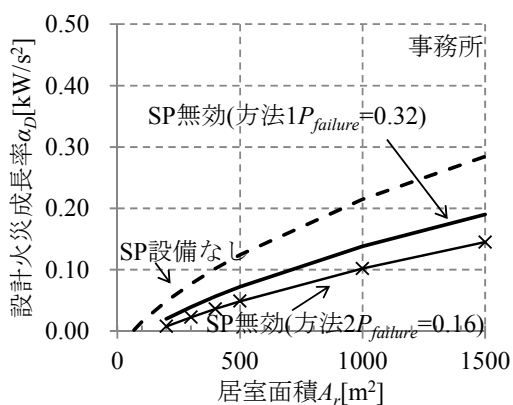


図 7.7-1 設計火災成長率 (事務所)

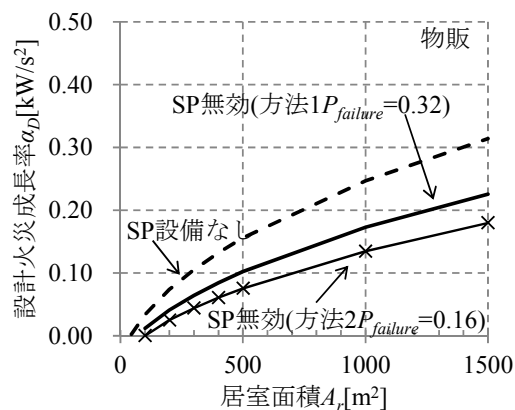


図 7.7-2 設計火災成長率 (物販)

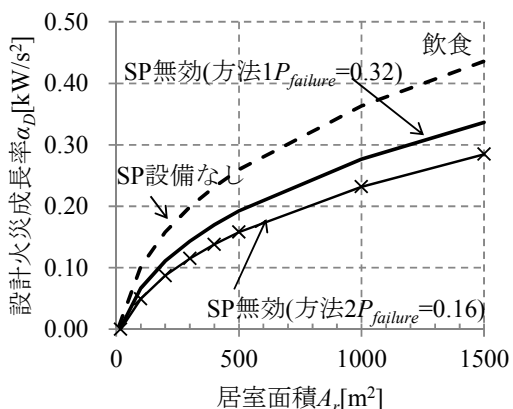


図 7.7-3 設計火災成長率 (飲食)

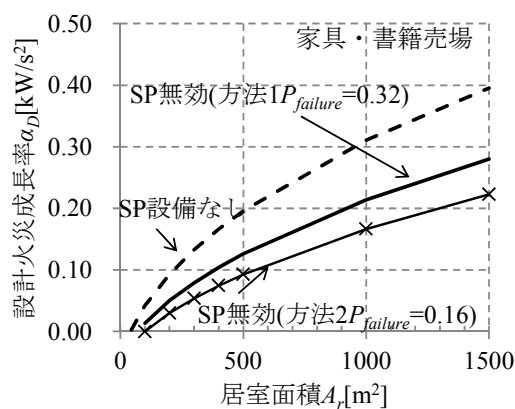


図 7.7-4 設計火災成長率 (家具・書籍売場)

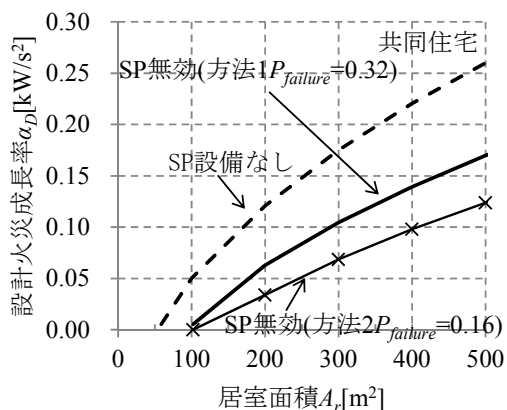


図 7.7-5 設計火災成長率 (共同住宅)

2) 補正係数  $k_p$

スプリンクラー設備が無効な場合の補正係数  $k_p$  を図 7.8-1～図 7.8-5 に示す。算出方法は第 6 章と同様である。参考としてスプリンクラー設備が無設置の場合の補正係数  $k_p$  の回帰式<sup>注3)</sup>も図 7.8-1～図 7.8-5 に示す。

スプリンクラー設備無設置の補正係数  $k_p$  と比較すると、スプリンクラー設備が無効な場合の方が設計火災成長率  $\alpha_D$  が小さくなるため、補正係数  $k_p$  は大きくなっている。

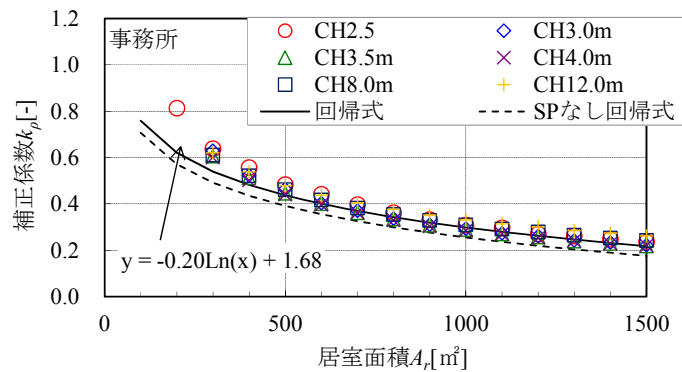


図 7.8-1 事務所における補正係数  $k_p$  の算出結果 (スプリンクラー設備無効)

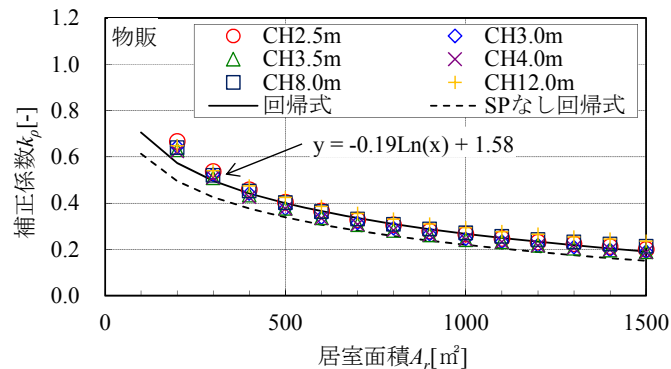


図 7.8-2 物販における補正係数  $k_p$  の算出結果 (スプリンクラー設備無効)

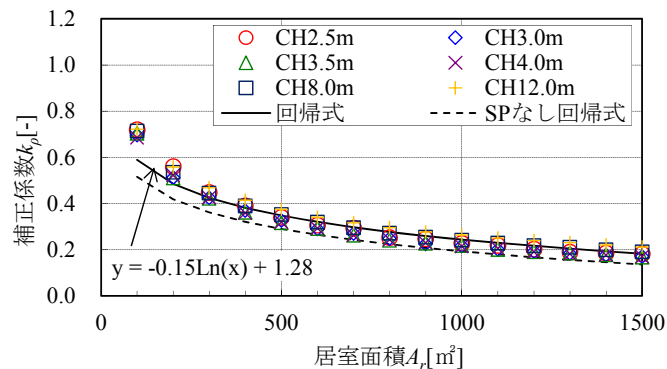


図 7.8-3 飲食における補正係数  $k_p$  の算出結果 (スプリンクラー設備無効)

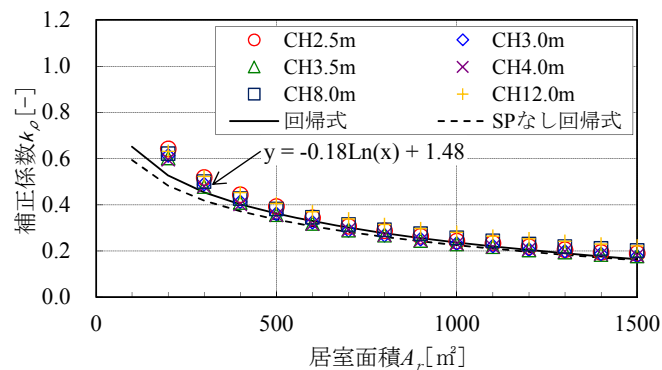


図 7.8-4 家具・書籍売場における補正係数  $k_p$  の算出結果（スプリンクラー設備無効）

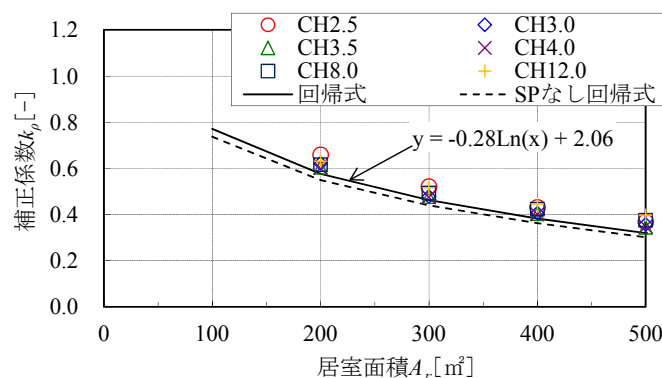


図 7.8-5 共同住宅における補正係数  $k_p$  の算出結果（スプリンクラー設備無効）

### 3) 許容避難時間の比較

スプリンクラー設備が無効な場合の許容避難時間（以降、スプリンクラー無効許容避難時間という）は、スプリンクラー設備が無設置の場合（第6章）と同様の式(6.15)に、図7.7に示すスプリンクラー設備が無効な場合の設計火災成長率  $\alpha_D$  および図7.8に示された回帰式による補正係数  $k_p$  を用いて算出した。天井高 3.0m の事務所、物販、飲食、共同住宅を例として許容避難時間を算出した結果を図7.9-1～図7.9-2に示す。なお、図7.9-1～図7.9-2には第6章で示した避難検証法ベースの値も併せて示している。

本評価法のスプリンクラー設備が無効な場合の許容避難時間は、事務所、共同住宅で 200 m<sup>2</sup>、物販で 100 m<sup>2</sup>、飲食で 1000 m<sup>2</sup> 付近から一定になる傾向がみられる。スプリンクラー無効許容避難時間と避難検証法ベース許容避難時間を比較すると、事務所は居室面積が約 700 m<sup>2</sup> 以降では物販、共同住宅が 350 m<sup>2</sup> 付近で本評価法の方が避難検証法ベースよりも厳しくなる。飲食では小規模居室を除いては本評価法ベースの許容避難時間の方が避難検証法ベースと比較すると厳しい設定となる。

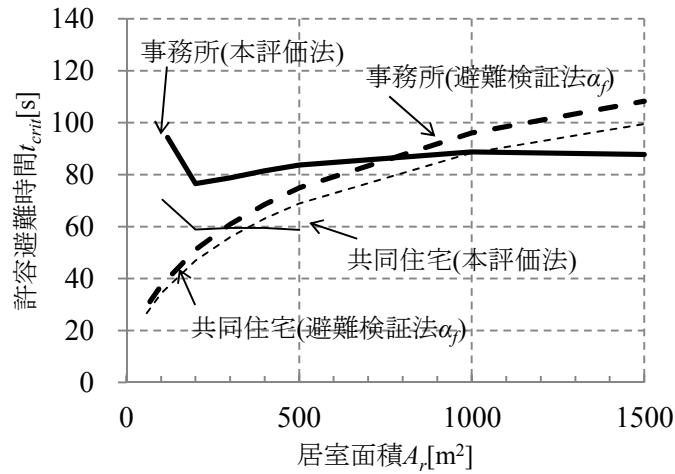


図 7.9-1 スプリンクラー設備が無効な場合の許容避難時間(事務所、共同住宅 CH 3.0m)

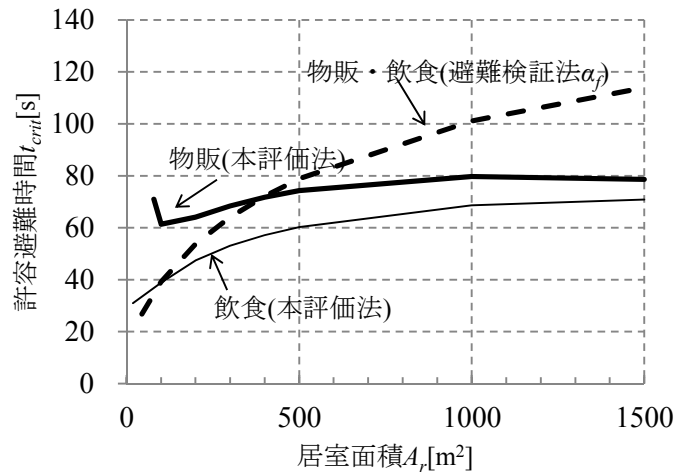


図 7.9-2 スプリンクラー設備が無効な場合の許容避難時間(物販、飲食 CH 3.0m)

### 7.3.3 スプリンクラー設備が設置されている室の簡易検証条件のまとめ

スプリンクラー設備が設置されている室は、スプリンクラー設備が有効に作動するシナリオ1と無効の場合のシナリオ2の両方を満足する必要があるため、2つのシナリオの厳しい方の値(限界歩行距離は2つのシナリオで算出された最小値、必要出口幅は最大値)をスプリンクラー設備が設置されている場合の限界歩行距離  $l_{crit}$  および必要出口幅  $B_{crit}$  とする。これを限界歩行距離についてグラフで表したのが図 7.10 である。小規模の居室ではスプリンクラー設備が有効なシナリオの方が無設置よりも限界歩行距離  $l_{crit}$  が厳しくなる。スプリンクラー設備が有効なシナリオでは出火からの定常火源と扱っているため、 $Q_f = \alpha_{DQ} t^2$  に従って拡大する火源よりも小規模の居室でスプリンクラー設備が有効なシナリオが無設置の場合よりも発熱速度が大きくなるためである。スプリンクラ



一設備が設置されている方が避難安全性が向上するのは明らかなので、式(7.6)、式(7.7)、図 7.10 に示すように、同じ居室面積のスプリンクラー設備無設置の条件より厳しくなった場合は、スプリンクラー設備無設置の値 ( $l_{crit(no-SP)}, B_{crit(no-SP)}$ ) を採用する。また、スプリンクラー設備が無効な場合に設計火災成長率  $\alpha_D \leq 0$  となる居室面積を  $A_{sp}$  とおくと、居室面積  $A_{sp}$  以下では設計避難リスク  $R^D$  が設計許容避難リスク  $R^D_A(K)$  以下になることが自明であるため、スプリンクラー設備が無効なシナリオ 2 を満足したと言える。よって、居室面積  $A_{sp}$  以下ではスプリンクラー設備が有効な場合の条件（無設置の場合の条件）によって決まる。

$$l_{crit} = \begin{cases} \max\{l_{crit(sp)}, l_{crit(no-SP)}\} \\ \max\{\min\{l_{crit(sp)}, l_{crit(failure)}\}, l_{crit(no-SP)}\} \end{cases} \quad (7.6)$$

$$B_{crit} = \begin{cases} \min\{B_{crit(sp)}, B_{crit(no-sp)}\} \\ \min\{\max\{B_{crit(sp)}, B_{crit(failure)}\}, B_{crit(no-sp)}\} \end{cases} \quad (7.7)$$

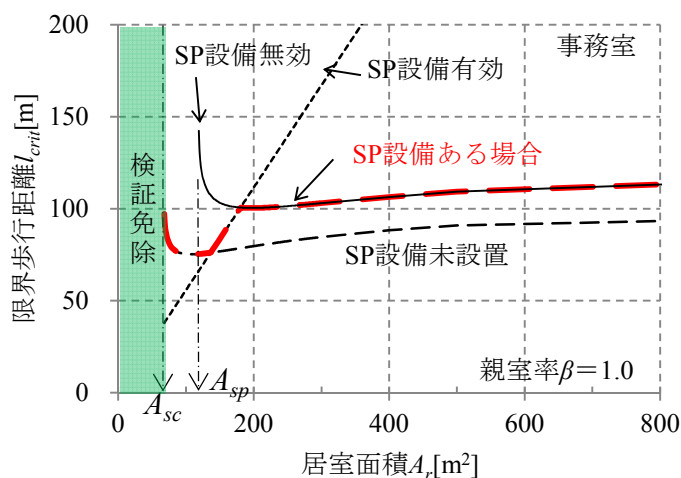


図 7.10 スプリンクラー設備がある場合の限界歩行距離の決定方法の例

以上より、スプリンクラー設備が設置されている室の簡易検証を満足するための条件を整理すると表 7.1 のようになる。

表 7.1 スプリンクラー設備が設置されている室の簡易検証条件と成立条件

		シナリオ 1 スプリンクラー設備有効 (抑制成功)	シナリオ 2 スプリンクラー設備無効 (不奏効)
		生起確率	$P_{sprinkler}$
部分設計許容避難リスク		0	$R_A^D$
設計火源	$\alpha_D$	$\infty$	$\alpha_D$
	$Q_{max}$	$Q_{sp}$	—
	タイプ	定常火源	成長火源
計算結果		$l_{crit(sp)}, B_{crit(sp)}$	$A_{sp}, l_{crit(failure)}, B_{crit(failure)}$
居室避難 成立条件	$A \leq A_{sp}$	$l \leq \max(l_{crit(sp)}, l_{crit(no-sp)})$ $B \geq \min(B_{crit(sp)}, B_{crit(no-sp)})$	
	$A > A_{sp}$	$l \leq \max\{\min(l_{crit(sp)}, l_{crit(failure)}), l_{crit(no-sp)}\}$ $B \geq \min\{\max(B_{crit(sp)}, B_{crit(failure)}), B_{crit(no-sp)}\}$	

#### 7.4 限界歩行距離および必要出口幅の算出式および入力条件が与える影響

ここでは、以上の条件に基づいた限界歩行距離  $l_{crit}$  および必要出口幅  $B_{crit}$  の算出式の提案とスプリンクラー設備が有効な場合と無効な場合について、居室用途、天井高(CH)、親室率を変化させた場合における限界歩行距離および必要出口幅への影響についてそれぞれ検討を行った。

##### 7.4.1 スプリンクラー設備が有効なシナリオの限界歩行距離と必要出口幅の算出式

式(7.2)および式(7.3)を式(7.4)に代入すると次式を得る。

$$l_{crit} = v \frac{3}{2} \frac{\rho_s}{C_m Q_{sp}^{1/3}} A_p \left( \frac{1}{H_{lim}^{2/3}} - \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} \right) \quad (7.8)$$

例えば、天井高 3.0m の事務所、物販、飲食、共同住宅の居室について、 $\rho_s=1.0$ 、 $C_m=0.076$ 、 $Q_{sp}=405$ 、 $v=1.3$  (事務所)、1.0 (店舗、飲食、共同住宅)、 $H_{lim}=1.8$  として式(7.8)を整理すると、下式のようなになる。

$$l_{crit} = \begin{cases} 0.56A_p = 0.56\beta A_r \\ 0.43A_p = 0.43\beta A_r \end{cases} \quad (7.9)$$

同様に、必要出口幅は

$$\begin{aligned} B_{crit} &\leq \frac{P_{den}}{\frac{3}{2} \frac{\rho_s}{C_m Q_{sp}^{1/3}} \left( \frac{1}{H_{lim}^{2/3}} - \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} \right) N} \frac{A_r}{A_p} \\ &= \frac{P_{den}}{\frac{3}{2} \frac{\rho_s}{C_m Q_{sp}^{1/3}} \left( \frac{1}{H_{lim}^{2/3}} - \frac{1}{(0.9H_p)^{2/3}} \right) N} \cdot \frac{1}{\beta} \end{aligned} \quad (7.10)$$

ここで、必要出口幅についても、天井高 3.0m の事務所、物販、飲食、共同住宅の居室について式(7.10)を整理すると、下式のようなになる。設計火源が用途による違いがないため、必要出口幅は在館者密度が大きい用途で広い幅を要求される。

$$B_{crit} = \begin{cases} 0.19 \frac{A_r}{A_p} = \frac{0.19}{\beta} \\ 0.78 \frac{A_r}{A_p} = \frac{0.78}{\beta} \\ 1.09 \frac{A_r}{A_p} = \frac{1.09}{\beta} \\ 0.09 \frac{A_r}{A_p} = \frac{0.09}{\beta} \end{cases} \quad (7.11)$$

#### 7.4.2 用途、親室率、天井高が限界歩行距離、必要出口幅に及ぼす影響

(スプリンクラー設備が有効なシナリオ)

##### (1) 用途の影響

スプリンクラー設備が有効な場合の限界歩行距離について、事務室、物販、飲食、共同住宅の用途の比較を天井高 3.0m の居室を例として算出した結果を図 7.11-1 に、親室率を横軸としたものを図 7.11-2 に示す。

図 7.11-1 より、限界歩行距離は床面積に比例して増加することがわかる。用途による限界歩行距離の違いは式(7.8)を見て分かるように歩行速度の差である。現行の避難検証法の歩行速度を利用すると、不特定の人が滞在する用途とそれ以外の用途の 2 種類の限

界歩行距離となる。これは、スプリンクラー設備の火災抑制効果で火源が小さくなり、用途による差が生じないことと、スプリンクラー設備の火災抑制効果を本評価法では用途に関わらず同じ設定としていることが影響している。また、限界歩行距離は図 7.11-2、式(7.9)からわかるように親室率に比例する。

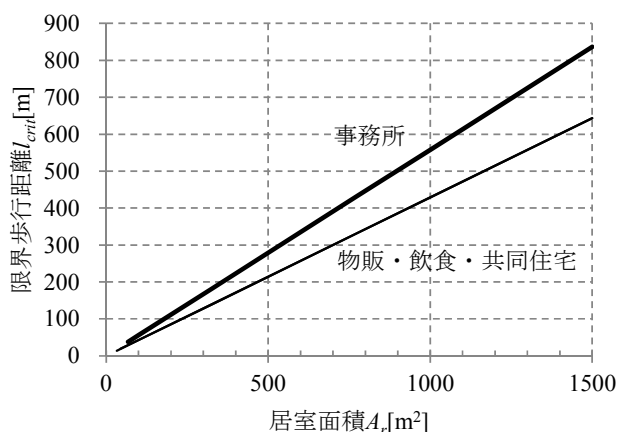


図 7.11-1 スプリンクラー設備有効シナリオの限界歩行距離 (天井高 3.0m、親室率 1.0)

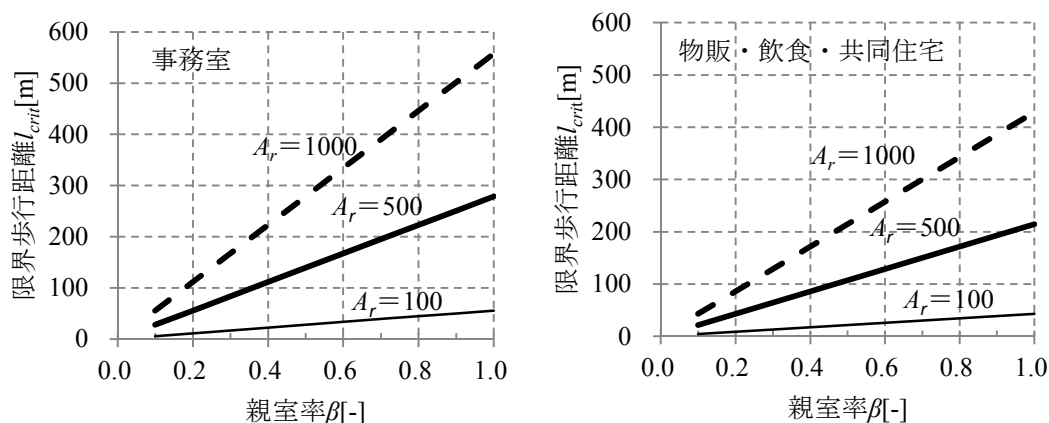


図 7.11-2 スプリンクラー設備有効シナリオの限界歩行距離 (天井高 3.0m)

次に、スプリンクラー設備が有効な場合の必要出口幅について、天井高 3.0m、親室率 1.0 の事務所、物販、飲食、共同住宅の居室を例として算出した結果を図 7.12(a)に示す。図 7.12(a)より、必要出口幅は居室面積には依存せず、飲食、物販、事務所、共同住宅の順に必要な扉幅が大きい結果となることがわかる。式(6.7)に示すように、必要出口幅は室面積に比例して増えるが、スプリンクラー設備が有効な場合は分母である許容避難時間も居室面積とともに増加するためである。また、用途間の差は在館者密度の違いにより生じている。

天井高 3.0m の居室の必要出口幅と親室率の関係を図 7.12(b)に示す。図 7.12(a)で明らか

かなように居室面積には依存しないため、同じ用途であればどの居室面積でも図 7.12(a)の値となる。式(7.10)から明らかなように、必要出口幅は在館者密度  $p_{den}$  に比例し親室率に反比例するため、親室の在館者密度 ( $p_{den}/\beta$ ) に比例することになる。

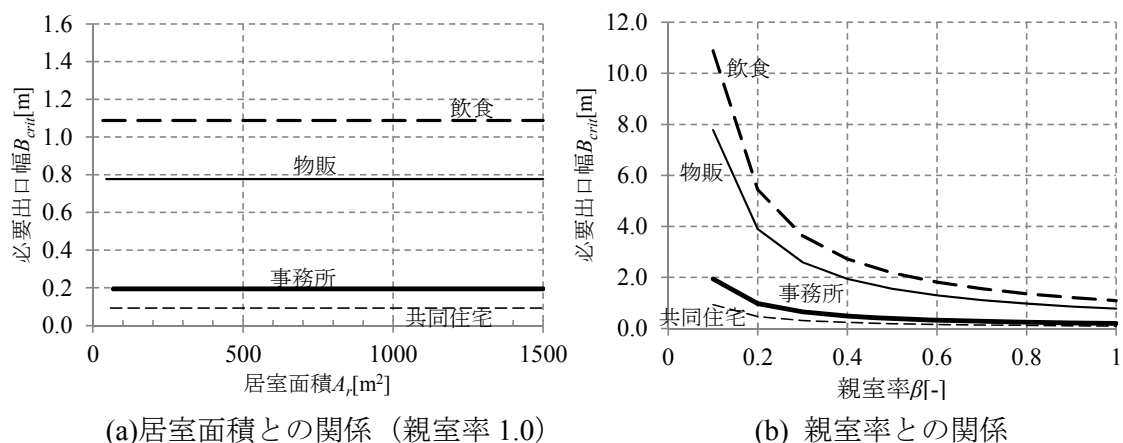


図 7.12 スプリンクラー設備有効シナリオの必要出口幅 (天井高 3.0m)

## (2) 天井高の影響

天井高を変化させた場合の限界歩行距離  $l_{crit}$ 、必要出口幅  $B_{crit}$  への影響は各用途で同じ傾向を示すので、ここでは親室率 1.0 の物販を例に天井高を 2.4m、2.7m、3.0m と変化させた場合の限界歩行距離  $l_{crit}$ 、必要出口幅  $B_{crit}$  の算出結果を図 7.13 に示す。

式(7.8)の括弧内の天井高に関係した係数は、天井高 3.0m、2.7m および 2.4m でそれぞれ 0.16、0.12 および 0.08 となるため、天井高が高くなるにつれて限界歩行距離が長くなる。一方、必要出口幅は式(7.10)でわかるように天井高に関係した同じ係数が反比例の関係になっており、天井高が高くなると必要出口幅が減少する結果となる。

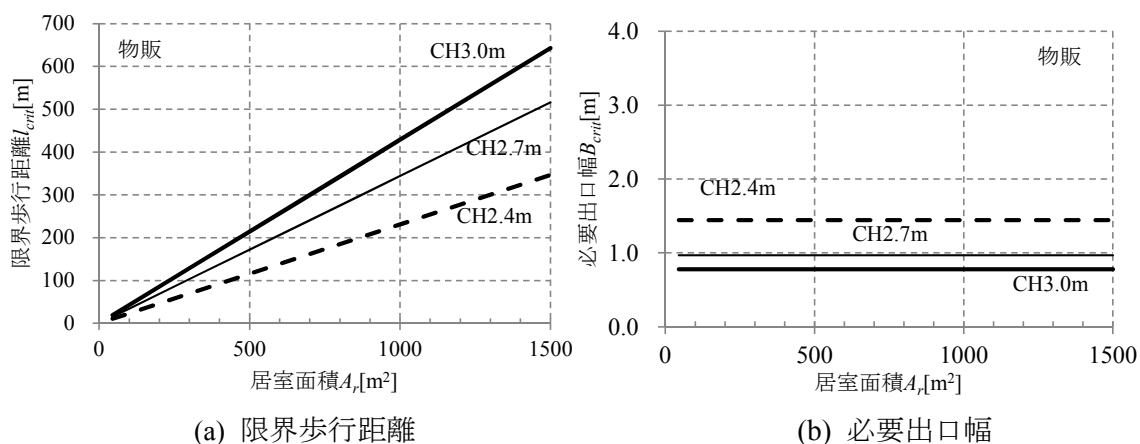


図 7.13 天井高が限界歩行距離、必要出口幅に与える影響 (物販、親室率 1.0)

### 7.4.3 スプリンクラー設備無効シナリオの限界歩行距離と必要出口幅の算出式

(1) スプリンクラー設備無効シナリオで設計許容避難リスク以下となる居室面積  $A_{sp}$

スプリンクラー設備が無効のシナリオにおいて、設計許容避難リスク以下となる居室面積  $A_{sp}$  (以降、無効時判断面積) 以下では、設計火災成長率  $\alpha_D$  が計算上 0 以下となる。設計許容避難リスク以下となるので、無効時判断面積  $A_{sp}$  以下では避難安全性が検証されることが自明である。

無効時判断面積  $A_{sp}$  は、式(7.5)に示すように設計許容避難リスクを全てスプリンクラー設備が無効なシナリオに分配した場合で、式(7.12)で求められる。

$$A(K) \leq \sqrt{\frac{1}{P_{failure}} \frac{1.1 \times 125}{p_{den}(K) p_{cas}(K)} P_{hf}^*(K)} \equiv A_{sp}(K) \quad (7.12)$$

無効時判断面積  $A_{sp}(K)$  の算出結果を表 7.2 に示す。表 7.2 には、第 5 章で掲載した防火対策を考慮しない場合に設計許容避難リスク以下になる検証免除面積  $A_{sc}$  を併せて示す。なお、各用途の在館者密度及び出火率比  $P_{hf}^*$  は表 5.1 と同じである。スプリンクラー設備の不奏功率は第 4 章の方法 1 および 2 とした。

無効時判断面積  $A_{sp}(K)$  は、検証免除面積  $A_{sc}$  と比較すると不奏功率  $P_{failure}=0.32$  の場合が 1.8 倍、 $P_{failure}=0.16$  の場合が 2.5 倍となる。また、建築基準法におけるスプリンクラー設備を設置することによる面積区画の倍読みを避難安全の側面から式(7.12)をもとに考えると、不奏効率が 0.25 となる。

表 7.2 スプリンクラー設備無効シナリオで許容避難リスク以下となる居室面積  $A_{sp}(K)$

	在館者 密度 $p_{den}$ [人/m <sup>2</sup> ]	出火率比 $P_{hf}^*$ [-]	無効時判断面積 $A_{sp}$		検証免除面積 $A_{sc}$ (再掲) [m <sup>2</sup> ]
			( $P_{failure}=0.32$ ) [m <sup>2</sup> ]	( $P_{failure}=0.16$ ) [m <sup>2</sup> ]	
劇場等	1.5	1.2	19	26	11
飲食店等	0.7	0.5	18	25	10
物販店舗	0.5	7.2	78	111	44
ホテル	0.16	3.1	91	128	51
共同住宅	0.06	1.5	103	146	58
病院	0.125	9.1	176	249	100
学校	0.7	9.7	77	109	44
事務所	0.125	4.1	118	167	67
戸建住宅	0.06	1.0	85	120	48

(2) 限界歩行距離  $l_{crit}$

スプリンクラー設備が無効なシナリオはスプリンクラー設備の効果が火源に及ばず、成長火災を想定するので、スプリンクラー設備無設置の場合と同じ式となる。

設計火災成長率  $\alpha_D$  は図 7.7 に示した値、補正係数  $k_p$  は図 7.8-1～図 7.8-5 に示す回帰式で算出した値を用いる。

$$l_{crit} = Mv \frac{(\rho_s k_p A_p)^{3/5}}{\alpha_D^{1/5}} \quad (7.13)$$

ただし、式(7.13)中の  $M$  は式(6.23)と同様である。

(3) 必要出口幅  $B_{crit}$

必要出口幅についても算出式はスプリンクラー設備無設置の場合と同様である。

$$B_{crit} = \frac{p_{den} \alpha_D^{1/5} A_r^{2/5}}{NM(\rho_s k_p)^{3/5} \beta^{3/5}} \quad (7.14)$$

$M$  は式(6.23)と同じである。

#### 7.4.4 スプリンクラーの不奏功率が限界歩行距離、必要出口幅に及ぼす影響

(スプリンクラー設備が無効なシナリオ)

(1) スプリンクラーの不奏功率の影響

スプリンクラー設備が無効な場合の限界歩行距離および必要出口幅の算出式は、スプリンクラー設備無設置と同じで、設計火災成長率  $\alpha_D$  が異なる。よって、天井高、用途等の条件を変化させた場合の傾向はスプリンクラー設備無設置の場合と同じとなる。ここでは空間条件の違いの検討は省略し、スプリンクラー設備が無効なシナリオのスプリンクラー設備の不奏功率  $P_{failure}$  を第4章のスプリンクラー設備の不奏功率の算出方法の方法1 (0.32) および方法2 (0.16) とした場合の限界歩行距離、必要出口幅に及ぼす影響を検討する。ここでは天井高3.0mの物販を例に限界歩行距離を算出した結果を図7.14に示す。限界歩行距離はスプリンクラー設備無設置時よりも小規模の面積から一定傾向となる。不奏功率  $P_{failure}$  が 0.32 と 0.16 の場合の限界歩行距離の差は、不奏功率  $P_{failure}$  が 0.18 に対して 10m 未満であり、居室面積が大きくなるにつれ両者の差は小さくなる。図 7.7 に示すように不奏功率  $P_{failure}$  の違いによる設計火災成長率  $\alpha_D$  の差は大きくないため、限界歩行距離の差も小さい。

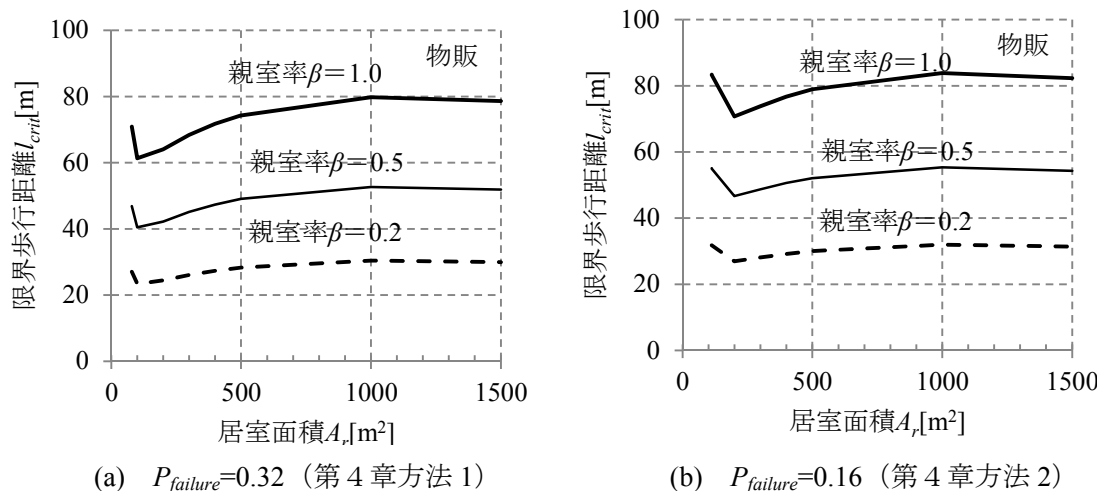


図 7.14 スプリンクラー設備が無効なシナリオの限界歩行距離（物販、天井高 3.0m）

同様に、スプリンクラー設備の不奏功率  $P_{failure}$  を 0.32、0.16 とした場合のスプリンクラー設備が無効なシナリオの天井高 3.0m の物販の必要出口幅を図 7.15 に示す。

スプリンクラー設備の不奏功率  $P_{failure}$  の大きさが必要出口幅に及ぼす影響についても、不奏功率  $P_{failure}$  が 0.32 と 0.16 で比較すると 0.3m 未満と差が小さい。

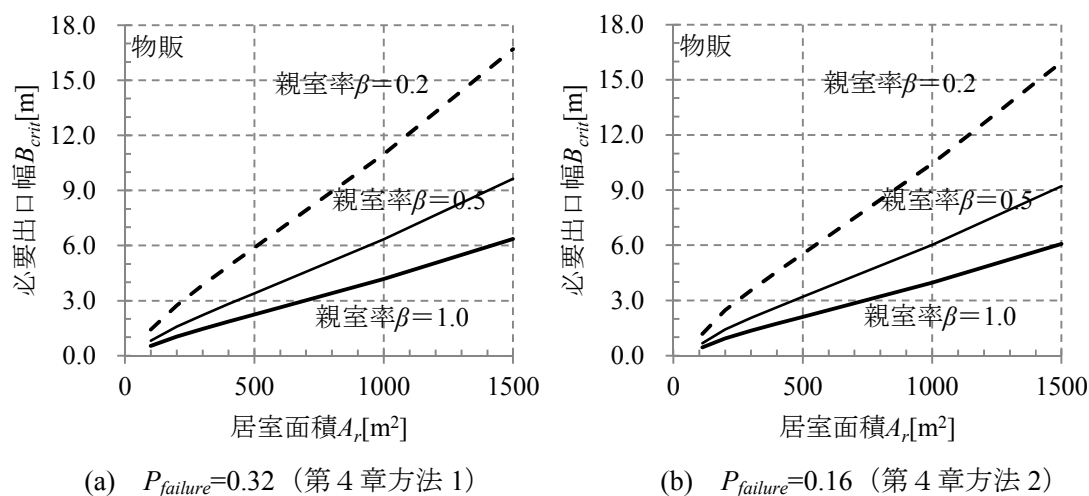


図 7.15 スプリンクラー設備が無効なシナリオの必要出口幅（物販、天井高 3.0m）

## 7.5 スプリンクラー設備設置室の限界歩行距離および必要出口幅のまとめ

スプリンクラー設備が設置されている室はスプリンクラー設備が有効なシナリオと無効なシナリオの両方を満足する必要がある。つまり、表 7.1 に示したように両者のシナリオにおいて不利な値を採用すればよい。スプリンクラー設備が設置されている室の限界歩行距離を図 7.16-1～図 7.16-4 に示す。ここでは、スプリンクラー設備が無効なシ



ナリオはスプリンクラー設備の不奏功率を 0.32 とした。スプリンクラー設備が設置されている室の両シナリオを満足する限界歩行距離は図中の太点線である。いずれの用途においても、小規模居室ではスプリンクラー設備の効果がみられないが、約  $100\text{m}^2$  以降はスプリンクラー設備の効果が表れる。居室面積が非常に小さい居室はスプリンクラー設備無設置の条件、約  $100\text{m}^2\sim 300\text{m}^2$  ではスプリンクラー設備が有効なシナリオの条件、居室面積が大きい場合はスプリンクラー設備が無効シナリオの条件で限界歩行距離が決まる。居室面積が事務所約  $200\text{m}^2$ 、物販・共同住宅約  $150\text{m}^2$ 、飲食約  $100\text{m}^2$  未満では限界歩行距離は居室面積に比例して増加している。これは小規模面積では避難限界に達するまでの煙層温度が比較的 low、居室の蓄煙面積に応じて許容避難時間が長くなることによると考えられる。居室面積が大きくなると居室面積によらず限界歩行距離のスプリンクラー設備有無の差はほぼ一定となり、スプリンクラー設備設置の有無による限界歩行距離の差は、事務所約  $20\text{m}$ 、物販約  $12\text{m}$ 、飲食・共同住宅約  $10\text{m}$  となる。限界歩行距離の算出には歩行速度が関係するため、歩行速度が大きい設定の事務所がスプリンクラー設備設置の距離の差が大きくなる。事務所以外の用途については、設計火災成長率が大きい用途の方がスプリンクラー設備の効果が若干小さくなるが、スプリンクラー設備の有無による限界歩行距離の差は同程度である。

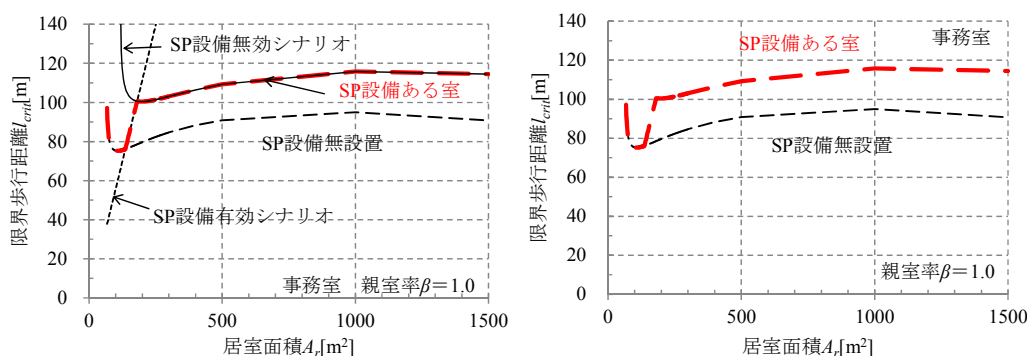


図 7.16-1 スプリンクラー設備が設置されている室の限界歩行距離（事務所）

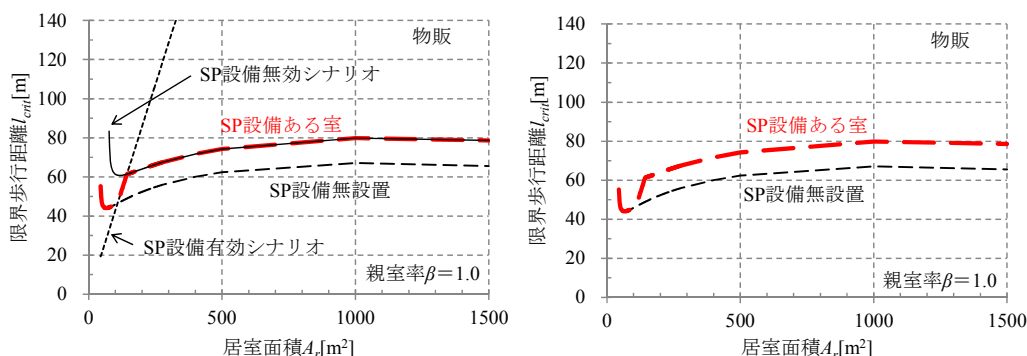


図 7.16-2 スプリンクラー設備が設置されている室の限界歩行距離（物販）

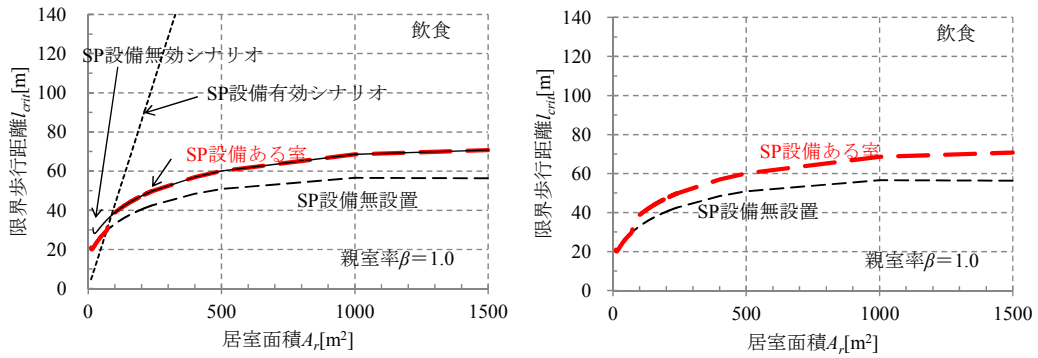


図 7.16-3 スプリンクラー設備が設置されている室の限界歩行距離（飲食）

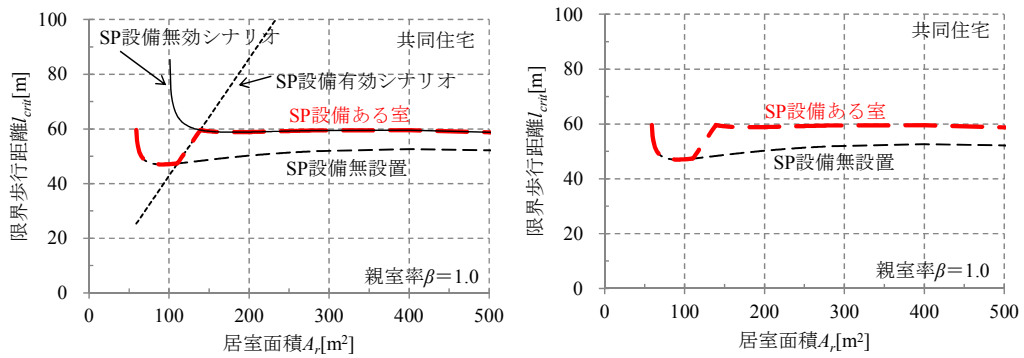


図 7.16-4 スプリンクラー設備が設置されている室の限界歩行距離（共同住宅）

スプリンクラー設備が設置されている室の必要出口幅を図 7.17-1～図 7.17-4 に示す。スプリンクラー設備のある室の必要出口幅の条件が決まる傾向も限界歩行距離と同様で、居室面積が小さい場合はスプリンクラー設備無設置の条件で決まり、居室面積が大きくなるとスプリンクラー設備が無効なシナリオの条件で必要出口幅が決定する。

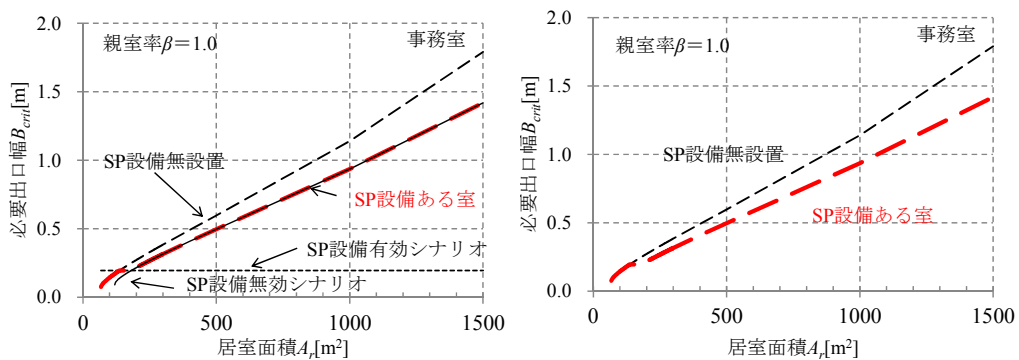


図 7.17-1 スプリンクラー設備が設置されている室の必要出口幅（事務室）

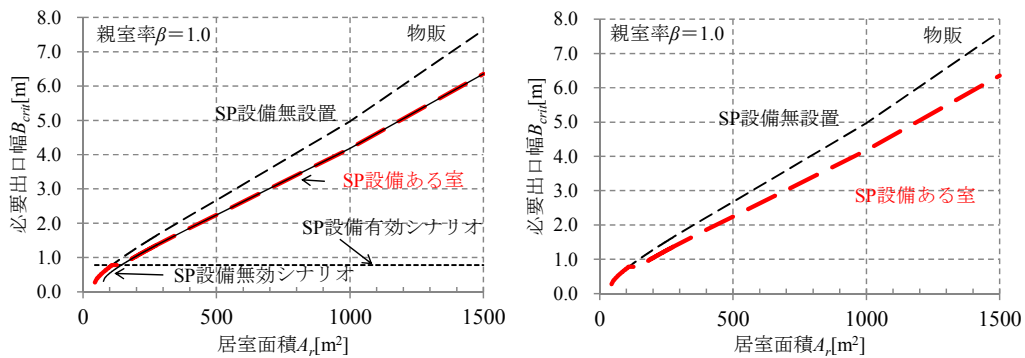


図 7.17-2 スプリンクラー設備が設置されている室の必要出口幅（物販）

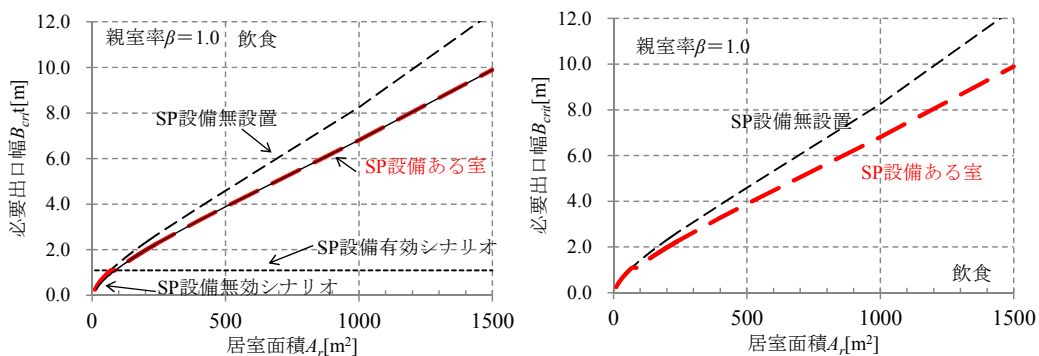


図 7.17-3 スプリンクラー設備が設置されている室の必要出口幅（飲食）

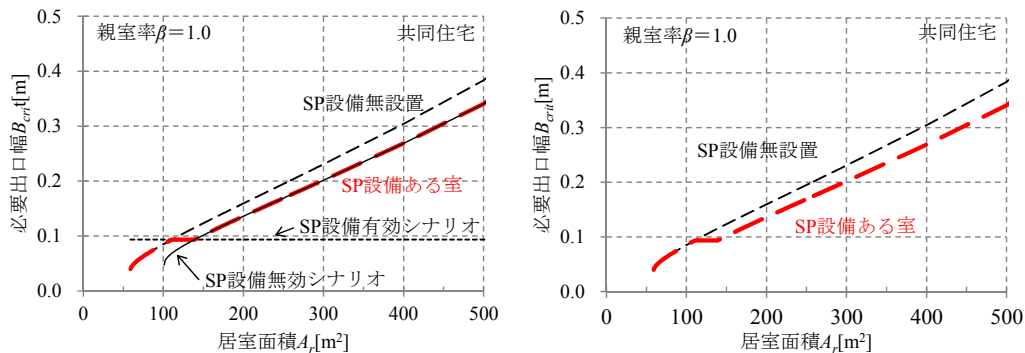


図 7.17-4 スプリンクラー設備が設置されている室の必要出口幅（共同住宅）

## 7.6 ルート C 評価で設計された居室の歩行距離および扉幅との比較

事務室、物販、飲食を対象として、現行の避難安全性能検証（ルート C）で設計された居室（以降、ルート C 評価の居室）の面積、親室率、歩行距離、扉幅を防災性能評価資料より調査し、本評価法の限界歩行距離  $l_{crit}$ 、必要出口幅  $B_{crit}$  と比較する。調査した室数は、事務室 81 室、物販 273 室、飲食 56 室である。

### 7.6.1 居室面積と親室率

ルート C 評価の居室の居室面積と親室率の関係を図 7.18-1～図 7.18-3 に示す。図 7.18-1～図 7.18-3 より、事務室は親室率が約 0.1 から 1.0 まで幅広く分布しており、親室率 0.2 付近と親室率 0.8 付近で大きく 2 つのグループに分かれる傾向がみられる。親室率 0.2 付近は会議室ゾーンのような親室が廊下タイプで、親室率が大きいグループは親室が事務室の使われ方をしているものが殆どである。一方、物販の約 0.96 が親室率 1.0 で飲食は親室率が 0.75 付近に集中し、物販と飲食は親室率が比較的高めに設定されていることがわかる。また、事務室、物販の居室面積は 1500m<sup>2</sup> までの大きな居室が多く存在するが、飲食では殆どが 300m<sup>2</sup> 以下に集中している。

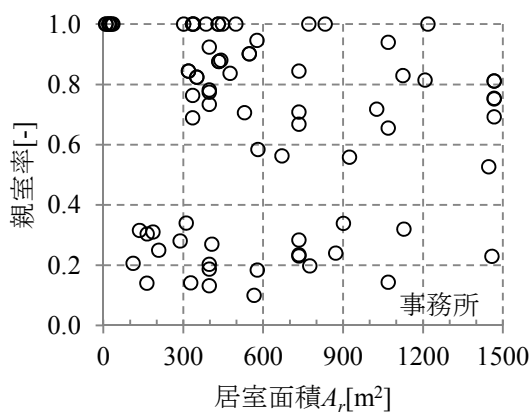


図 7.18-1 ルート C 評価の居室の面積と親室率（事務室）

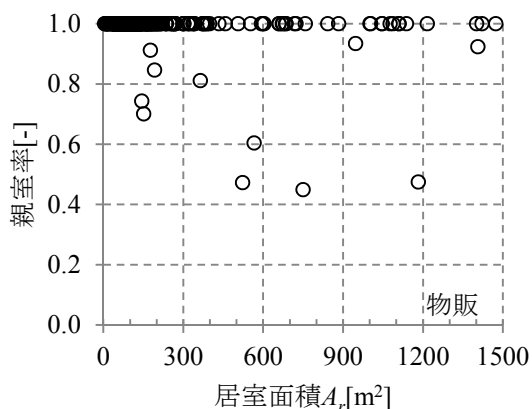


図 7.18-2 ルート C 評価の居室の面積と親室率（物販）

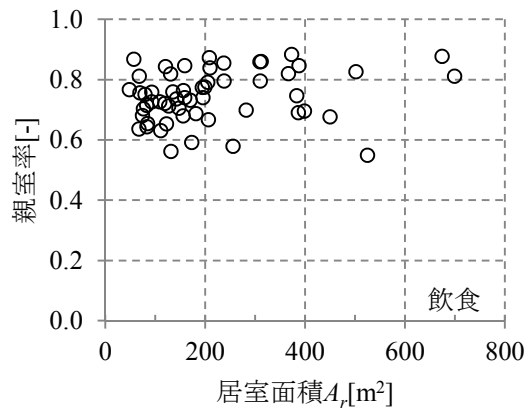


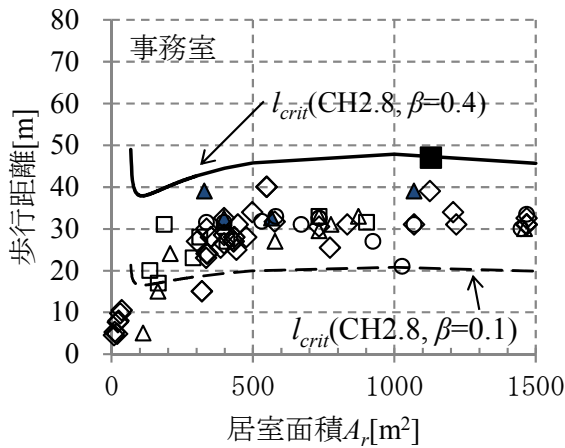
図 7.18-3 ルート C 評価の居室の面積と親室率（飲食）

## 7.6.2 限界歩行距離とルート C 評価を実施した居室の歩行距離の比較

### (1) 居室面積と歩行距離

本評価法における限界歩行距離とルート C 評価の居室の歩行距離（以降、設計歩行距離）との比較を図 7.19-1～図 7.19-6 に示す。図中には、図 7.18-1～図 7.18-3 の各用途の最小親室率（事務所 0.1、物販 0.4、飲食 0.5）と、各用途の歩行距離を包含する親室率で算出した限界歩行距離を示した。なお、設計値を全て包含する親室率がない場合は親室率 1.0 の限界歩行距離とした。計算に用いた天井高は実寸法ではなく、各用途で見られる代表的な高さとし、事務室 2.8m、物販および飲食は 3.0m とした。なお、ルート C 評価の居室は「簡易検証」の適用条件の親室、子室が一斉に避難する想定範囲外の居室内の見通しの悪い居室も存在するがここでは見通しの悪さは考慮しないものとした。図 7.19-1～図 7.19-6 ではルート C 評価の居室の居室面積と親室率に対するスプリンクラー設備がない場合と設置されている場合の限界歩行距離を本評価法の手法で算出<sup>注 2)</sup> し、 $l > l_{crit}$  である場合を「NG」と評価し、プロットを塗りつぶして表現した。

図 7.19-1 より、ルート C 評価の居室の歩行距離は 500m<sup>2</sup> までは面積が大きくなるにつれて増加し、それ以降は面積に依存せず歩行距離の長さに変化がない。居室面積が大きくなった場合に歩行距離が殆ど変化がなくなる傾向は本評価法と同様である。しかし、ルート C 評価の居室の歩行距離は親室率による差は殆どないが、本評価法は親室率が限界歩行距離に与える影響は大きい。ルート C 評価では階段までの歩行距離の規定と重複距離の規定で居室の歩行距離が制限されることと、天井チャンバー方式の排煙設備などで親室の蓄煙面積の影響があまりでなかったと考えられる。スプリンクラー設備がない場合の限界歩行距離との比較においては、ルート C 評価の事務室で本評価法の限界歩行距離  $l_{crit}$  の条件を満たさなかったのは、親室率が 0.25 未満の 7 室、0.25 以上 0.5 未満の 1 室（81 室中 8 室（約 10%））であった。

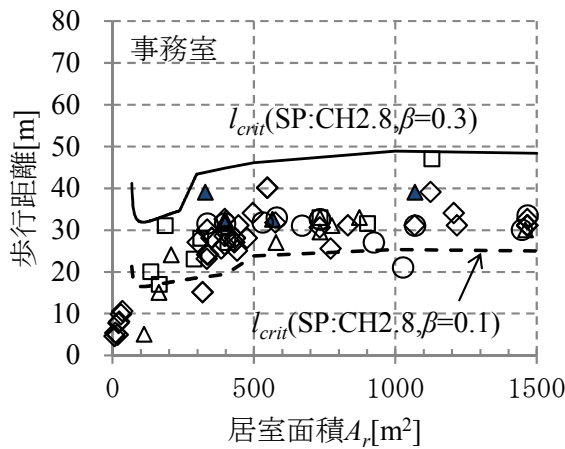


親室率 $\beta$	OK		NG	
	凡例	件数	凡例	件数
0.25未満	△	9	▲	7
$0.25 \leq \beta < 0.5$	□	8	■	1
$0.5 \leq \beta < 0.75$	○	12	●	0
0.75以上	◇	44	◆	0
合計		73		8

\* $l_{crit} \geq l$  「OK」

図 7.19-1 ルート C 評価の居室との歩行距離の比較（事務所 天井高 2.8m）  
（スプリンクラー設備がない場合）

次に、図 7.19-2 で同じ事務所の調査データをスプリンクラー設備が設置されている室の限界歩行距離と比較すると、親室率が 0.25 未満の 4 室が「簡易検証」条件を満たさない結果となった。



親室率 $\beta$	OK		NG	
	凡例	件数	凡例	件数
0.25未満	△	12	▲	4
$0.25 \leq \beta < 0.5$	□	9	■	0
$0.5 \leq \beta < 0.75$	○	12	●	0
0.75以上	◇	44	◆	0
合計		77		4

\* $l_{crit} \geq l$  「OK」

図 7.19-2 ルート C 評価の居室との歩行距離の比較（事務所）  
（スプリンクラー設備が設置されている場合の  $l_{crit}$ ）

次に、物販のスプリンクラー設備無設置の限界歩行距離との比較結果を図 7.19-3 に、スプリンクラー設備が設置されている場合の限界歩行距離との比較結果を図 7.19-4 に示す。物販も事務所と同様に小規模の居室において、居室面積が大きくなるにつれ設計歩行距離が長くなる傾向がみられる。ルート C 評価の物販の居室は本評価法の親室率 0.8 の限界歩行距離で包含される。ルート C 評価の物販の居室の歩行距離は親室率 0.6 未満（▲）の 1 室（273 室中 1 室（約 0.4%））を除いて本評価法の限界歩行距離の条件を満たしている。図 7.19-4 より、スプリンクラー設備が設置されている場合は「簡易

検証」の条件を満たすことが確認された。

次に、飲食の比較結果を図 7.19-5～図 7.19-6 に示す。スプリンクラー設備が無設置の場合では、飲食においては親室率が 1.0 でも全ての設計歩行距離を包含することができなかった。5室（56室中5室（約9%））が限界歩行距離を満たさない結果となった。スプリンクラー設備が設置されている室の限界歩行距離と比較を行ったところ、設計歩行距離はスプリンクラー設備が設置されていれば、「簡易検証」の条件を満たすことが確認された。親室率が 0.8 以上あれば、全ての設計歩行距離を包含可能である。

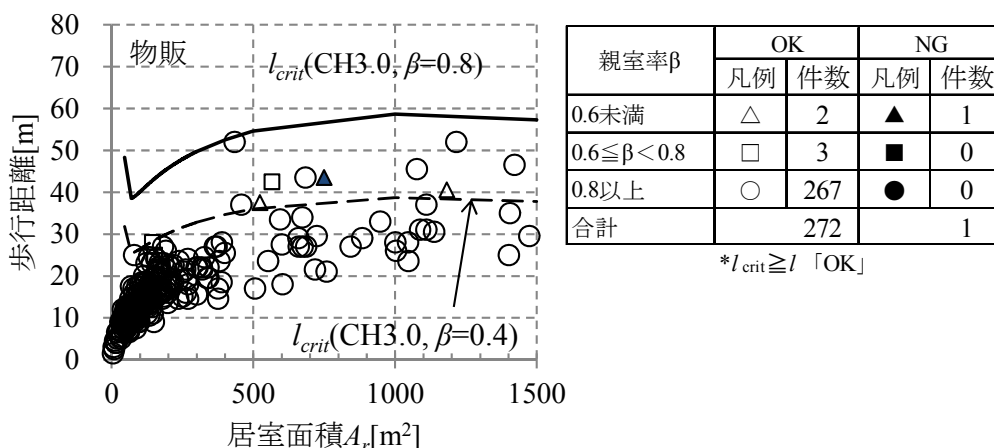


図 7.19-3 ルート C 評価の居室との歩行距離の比較（物販）  
（スプリンクラー設備無設置の  $l_{crit}$ ）

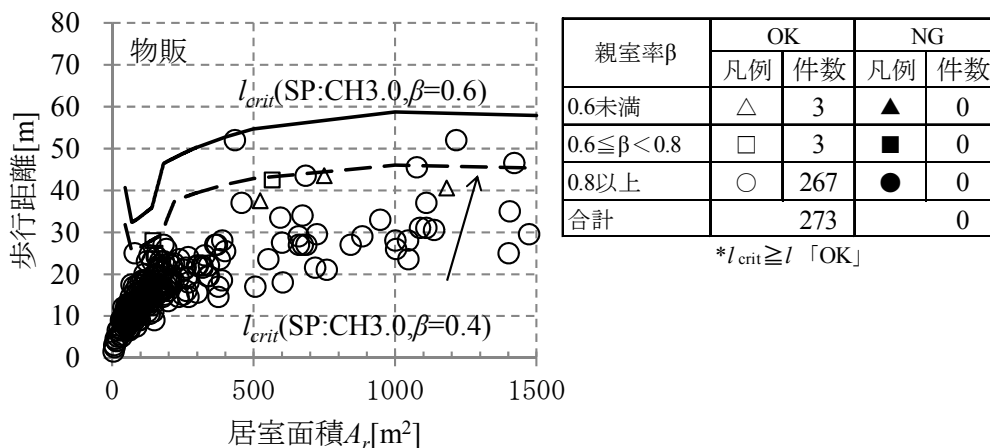


図 7.19-4 ルート C 評価の居室との歩行距離の比較（物販）  
（スプリンクラー設備が設置されている場合の  $l_{crit}$ ）

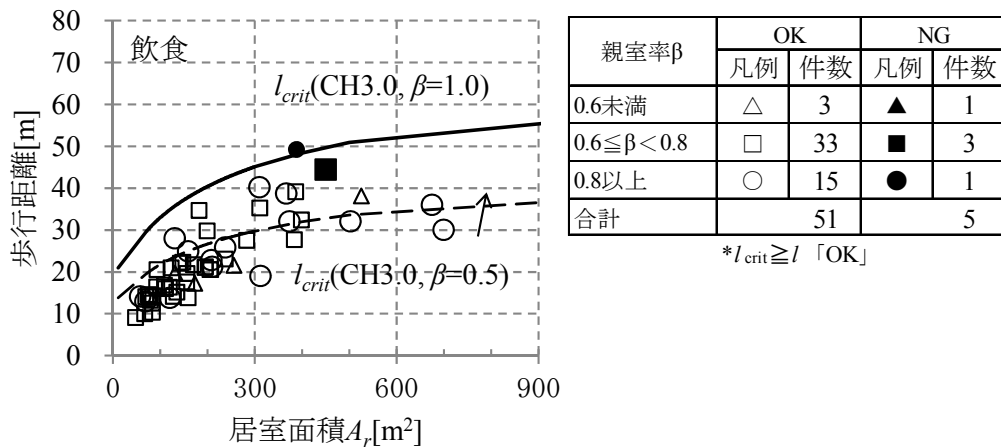


図 7.19-5 ルート C 評価の居室との歩行距離の比較（飲食）  
（スプリンクラー設備無設置の  $l_{crit}$ ）

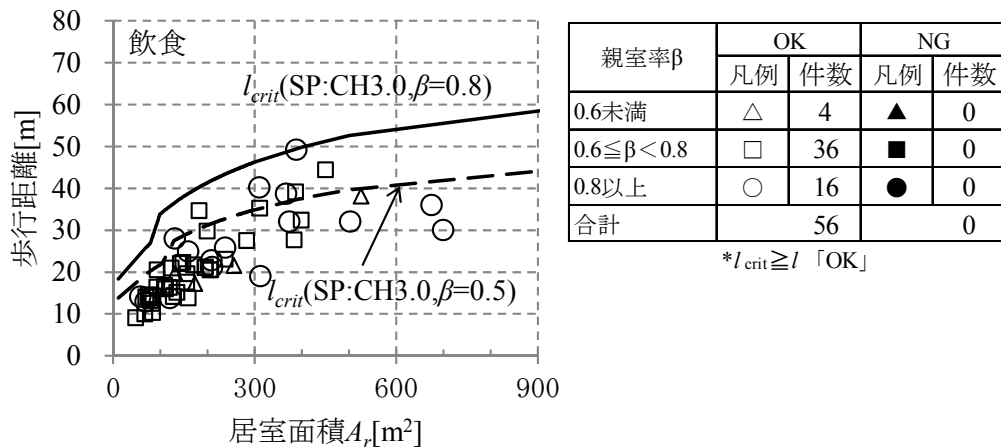


図 7.19-5 ルート C 評価の居室との歩行距離の比較（飲食）  
（スプリンクラー設備が設置されている場合の  $l_{crit}$ ）

## (2) 限界歩行距離と設計歩行距離の比較

図 7.19 ではルート C 評価の居室の条件に対する限界歩行距離がわかりにくいので、横軸にルート C 評価の居室の条件で算出した限界歩行距離、縦軸に設計歩行距離を示した図をスプリンクラー設備が設置されていない場合について図 7.20-1 に、スプリンクラー設備が設置されている場合について図 7.20-2 に示す。

本評価法のスプリンクラー設備が設置されていない場合の限界歩行距離とルート C で設計された歩行距離を比較すると、事務所の設計歩行距離は 30m 付近に多く分布し、限界歩行距離の値が大きくなっている。物販の設計歩行距離は限界歩行距離の 1/3 付近、飲食については約 1/2 以上の値となっている。



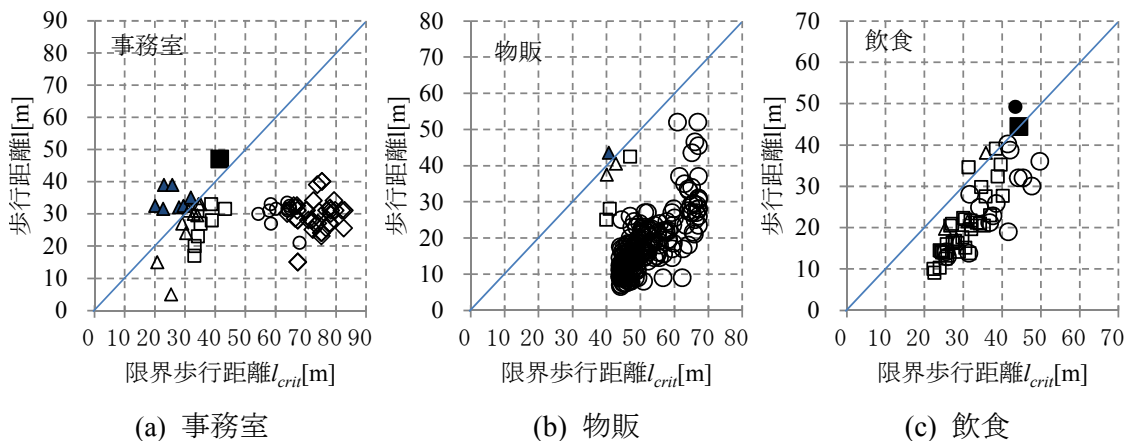


図 7.20-1 限界歩行距離と設計歩行距離の比較（スプリンクラー設備無設置）

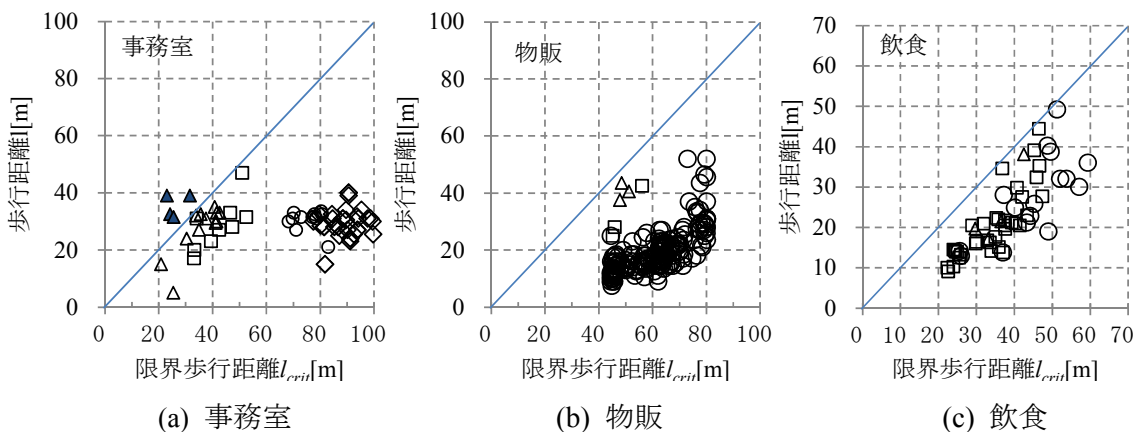


図 7.20-2 限界歩行距離と設計歩行距離の比較（スプリンクラー設備設置）

### 7.6.3 限界歩行距離とルートC評価を実施した居室の出口幅の比較

#### (1) 居室面積と歩行距離

先の歩行距離の比較と同様の条件で、本評価法の必要出口幅とルートC評価の居室の扉幅（以降、設計出口幅）との比較を図 7.21-1～図 7.21-6 に示す。なお、図 7.21-1～図 7.21-6 についても、全ての設計出口幅を包含する親室率および図 7.18 の最小親室率で必要出口幅を算出した結果を併せて示している。

3つの用途に共通して設計出口幅は居室面積ともに増加傾向がみられる。事務室の必要出口幅は広範囲に分布している。自社で使用する事務室では出口幅を狭く計画し、テナント割りなどを想定している事務所では広めに出口幅を確保する傾向があるため、このようにばらつきのある結果になっていると思われる。また、本評価法の値との比較においては、設計出口幅の方が大きい値となっている。スプリンクラー設備がない場合の必要出口幅  $B_{crit}$  の条件を満たしていない事務室の1室について、図 7.21-2 でスプリンクラー設備が設置されている室の必要出口幅  $B_{crit}$  と比較を行ったところ、設計出口幅 1.7m

に対して必要出口幅  $B_{crit}$  が 1.8m 必要なことがわかった。

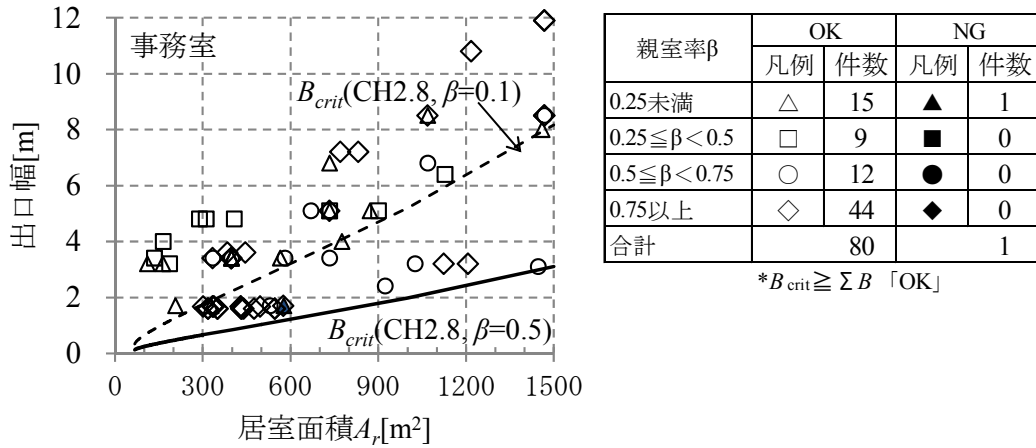


図 7.21-1 ルート C 評価の居室との扉幅の比較（事務所）  
（スプリンクラー設備無設置の  $B_{crit}$ ）

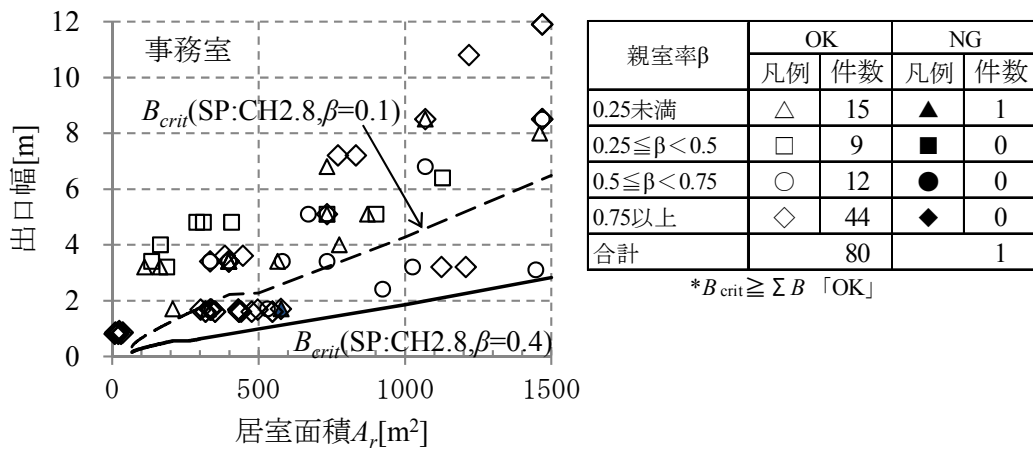


図 7.21-2 ルート C 評価の居室との扉幅の比較（事務所）  
（スプリンクラー設備が設置されている場合の  $B_{crit}$ ）

次に、ルート C 評価の物販は小規模面積においては面積に依存していないが、居室面積が大きくなると居室面積に依存する傾向がみられる。本評価法の必要出口幅を満たしていない室数は物販で 273 室中 17 室（約 7%）であった。扉幅の方が歩行距離よりも本評価法の値を満足していない事例が多い結果となった。本評価法の設計水準はルート C 評価の居室より、限界歩行距離については緩めの設定だが、必要扉幅は厳しめの設定になっていることがわかる。これについては、設計歩行距離は建築基準法において重複距離の制限がかかっているため、本評価法の限界歩行距離  $l_{crit}$  と比較して短くなっていると考えられる。次に、スプリンクラー設備がない場合の必要出口幅  $B_{crit}$  の条件を

満たしていない17室について、スプリンクラー設備が設置されている室の必要出口幅  $B_{crit}$  と比較を行ったところ、11室が「簡易検証」の条件を満たさない結果となった。

飲食についても出口幅は居室面積に依存する傾向が見られ、本評価法の傾向と類似している結果が得られた。スプリンクラー設備無設置の場合の必要出口幅を満たしていない室数は飲食で56室中の35室（約63%）であった。スプリンクラー設備が設置されている場合の必要出口幅では、飲食は30室が「簡易検証」の条件を満たさない結果となった。飲食の設計出口幅が本評価法の必要出口幅を満たさなかったものが多い理由については、実際の計画において、飲食の子室は厨房用途の場合が多く、ルートC評価の在館者密度設定では飲食が  $0.7 \text{ 人/m}^2$  に対し、厨房  $0.125 \text{ 人/m}^2$  である。本評価法では子室も同じ在館者密度  $0.7 \text{ 人/m}^2$  としているため、ルートC評価の居室よりも人数が多くなり、必要出口幅  $B_{crit}$  がルートC評価の居室よりも厳しい設定となったと考えられる。

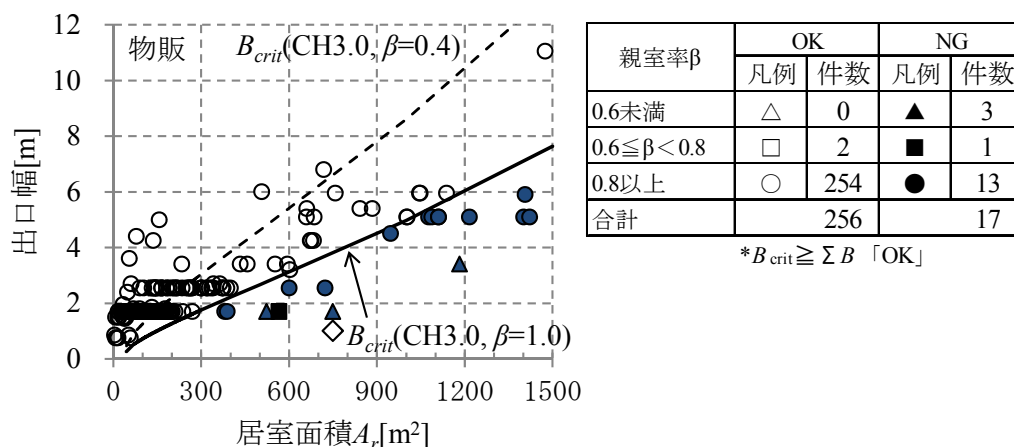


図 7.21-3 ルートC評価の居室との扉幅の比較（物販）  
（スプリンクラー設備無設置の  $B_{crit}$ ）

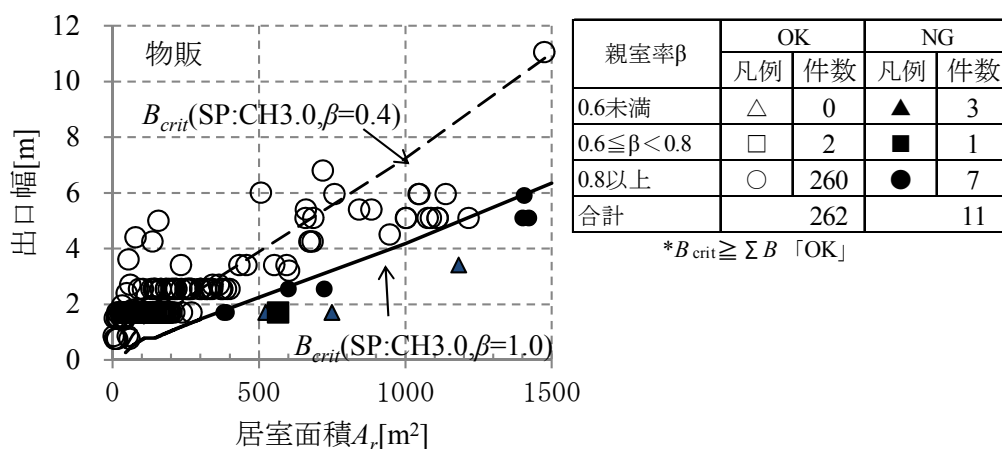


図 7.21-4 ルートC評価の居室との扉幅の比較（物販）  
（スプリンクラー設備が設置されている場合の  $B_{crit}$ ）

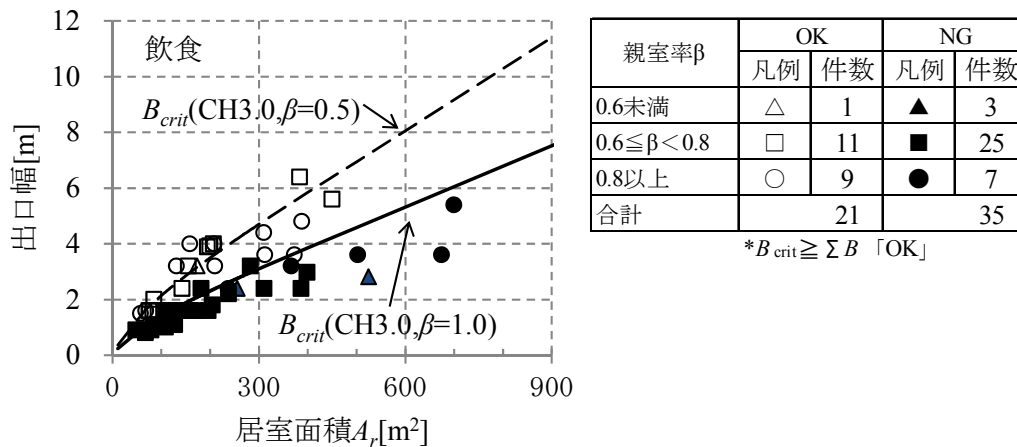


図 7.21-5 ルート C 評価の居室との扉幅の比較 (飲食)  
(スプリンクラー設備無設置の  $B_{crit}$ )

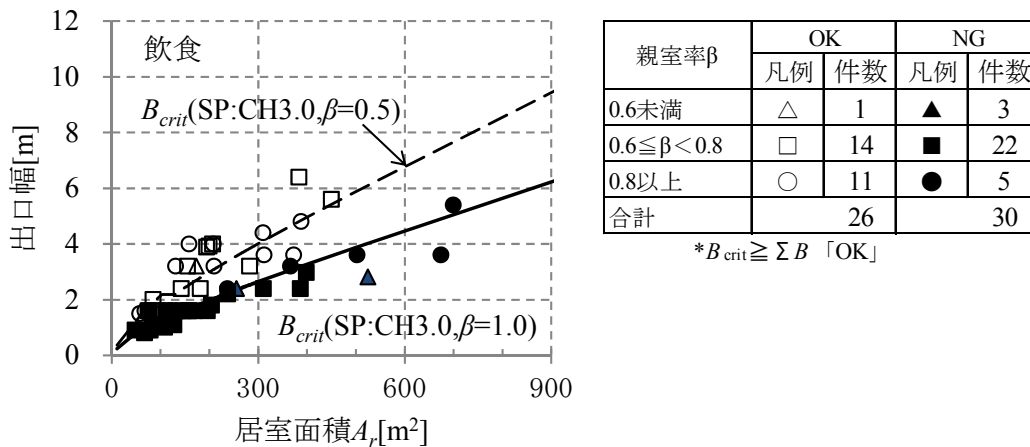


図 7.21-6 ルート C 評価の居室との扉幅の比較 (飲食)  
(スプリンクラー設備が設置されている場合の  $B_{crit}$ )

(2) 必要出口幅と設計出口幅の比較

限界歩行距離と同様に、横軸にルート C 評価の居室の条件で算出したスプリンクラー設備が設置されていない場合の必要出口幅、縦軸に設計出口幅を示した図を図 7.22-1～図 7.22-3 に示す。

本評価法のスプリンクラー設備が設置されていない場合の必要出口幅と設計出口幅を比較すると、事務所は設計出口幅の方がかなり大きな値となっている。飲食は本評価法の必要出口幅と設計出口幅の傾向が近いが、大きな扉幅を要求する居室面積の大きな居室の方が設計出口幅と必要出口幅の乖離が大きくなっている。

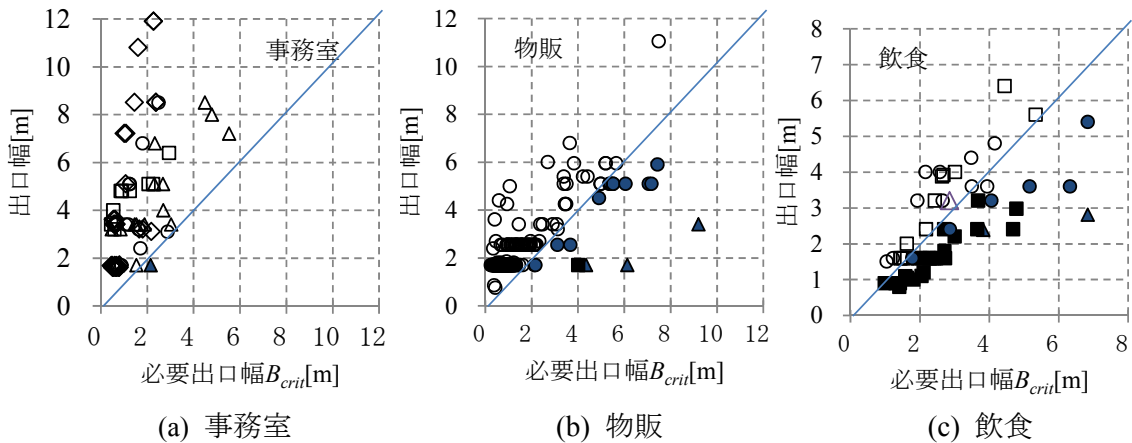


図 7.22-1 限界歩行距離と設計歩行距離の比較（スプリンクラー設備無設置）

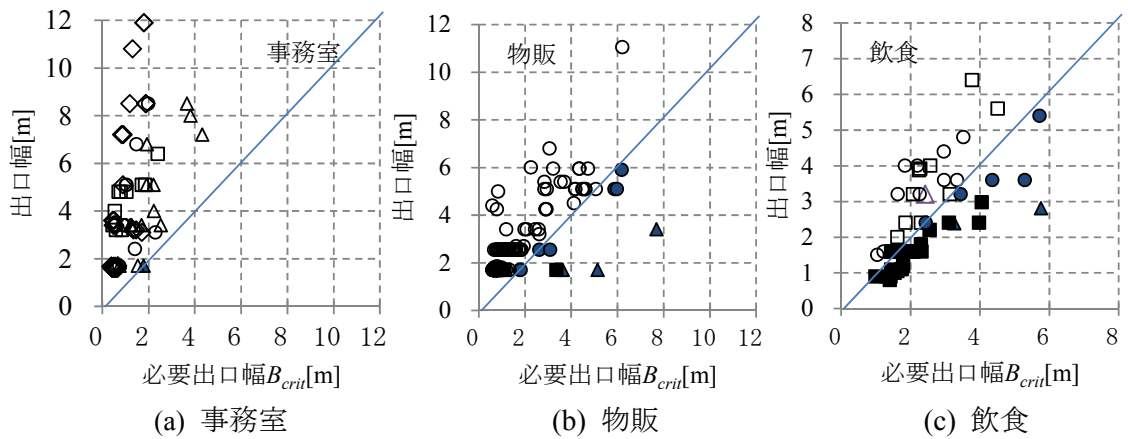


図 7.22-2 限界歩行距離と設計歩行距離の比較（スプリンクラー設備設置）

## 7.7 まとめ

リスクの概念に基づく避難安全設計法の考え方にに基づき、スプリンクラー設備が設置されている室について、親室率に応じた煙に曝されずに避難可能な限界歩行距離および必要出口幅の「簡易検証」を検討した。そして、実際にルート C で設計された居室の歩行距離、扉幅を調査し、本評価法の「簡易検証」により算出された条件値との比較を行った。

本評価法の「簡易検証」において、スプリンクラー設備は極小規模の居室ではスプリンクラー設備無設置の条件よりも厳しくなりその効果が現れない。スプリンクラー設備の効果が表れる面積以降は、居室面積が小さい間はスプリンクラー設備が有効である条件で決まり、居室面積が大きくなるとスプリンクラー設備が無効な条件で決定することがわかった。

ルート C で設計された居室との比較においては、「簡易検証」の示す限界歩行距離は

現行基準で評価された建築物の歩行距離をほぼ満たすことが確認された。一方、出口幅はルート C 評価の居室の半数以上が本評価法のスプリンクラー設備無設置の場合の条件を満たさない結果となった。スプリンクラー設備を設置することにより、条件を満たす室数が増えたが、歩行距離と比較すると条件に合致しない割合が高い。歩行距離は階段までの歩行距離や重複距離の規定（階避難の条件）で制限されるが、居室の出口幅は階避難の条件では制限を受けないため、安全率を多く設定した「簡易検証」の条件より厳しい結果となったと思われる。

本評価法の限界歩行距離は、小規模面積を除いて居室面積によらず一定の条件を要求している。このように、本評価法は規模の大きな居室の避難リスクを考慮した評価法になっている。

## 記号

$A_r$  : 床面積[m<sup>2</sup>]

$A_p$  : 親室の床面積[m<sup>2</sup>]

$A_{sc}$  : 検証免除面積[m<sup>2</sup>]

$A_{sp}$  : スプリンクラー設備が無効な場合に設計火災成長率  $a_D \leq 0$  となる床面積[m<sup>2</sup>]

$B_{crit}$  : 煙に曝されず避難可能な必要出口幅[m]

$B_{crit(failure)}$  : スプリンクラー設備が無効なシナリオで算出された必要出口幅[m]

$B_{crit(no-sp)}$  : スプリンクラー設備が無設置のシナリオで算出された必要出口幅[m]

$B_{crit(sprinkler)}$  : スプリンクラー設備が有効なシナリオで算出された必要出口幅[m]

$C_{cas}$  : 避難不能者（死傷者）数[人/件]

$C_m$  : 火災プルームの巻き込み係数[kg/kJ<sup>1/3</sup>/m<sup>5/3</sup>/s<sup>2/3</sup>]

$C_o$  : 在館者数[人]

$H_{lim}$  : 避難上支障のある煙層下端高さ[m]

$H_p$  : 親室の天井高さ[m]

$K$  : 任意の用途

$l$  : 歩行距離[m]

$l_{crit}$  : 煙に支障なく避難可能な限界歩行距離[m]

$l_{crit(failure)}$  : スプリンクラー設備が無効なシナリオで算出された限界歩行距離[m]

$l_{crit(no-sp)}$  : スプリンクラー設備が無設置のシナリオで算出された限界歩行距離[m]

$l_{crit(sprinkler)}$  : スプリンクラー設備が有効なシナリオで算出された限界歩行距離[m]

$N$  : 流動係数[人/m/s]

$p_{den}$  : 在館者密度[人/m<sup>2</sup>]

$P(i)$  : 火災シナリオ  $i$  の生起確率[-]

$P_{sprinkler}$  : スプリンクラー設備により火災が抑制される確率[-]

$P_{extinguish}$  : スプリンクラー設備に消火される確率[-]

$P_{failure}$  : スプリンクラー設備が無効な場合の生起確率[-]

$q''$  : 単位床面積あたりの発熱速度[kW/m<sup>2</sup>]

$R^D$  : 設計避難リスク[人/件]

$R^D_A$  : 設計許容避難リスク[人/件]

$t_{crit}$  : 本評価法の許容避難時間[s]

$t_e$  : 避難完了時間[s]

$t_s$  : 煙層下端が避難上支障のある高さに達するまでの時間（煙降下時間）[s]

$t_{start}$  : 避難開始時間[s]

$v$  : 歩行速度[m/s]

$z$  : 煙層下端高さ[m]

$\alpha_D$  : 設計火災成長率 [kW/s<sup>2</sup>]  
 $\beta$  : 親室率 ( $\equiv A_p/A$ ) [-]  
 $\mu$  : 火災成長率  $\alpha$  の平均値[kW/s<sup>2</sup>]  
 $\sigma$  : 火災成長率  $\alpha$  の標準偏差[kW/s<sup>2</sup>]  
 $\rho_s$  : 煙層密度[kg/m<sup>3</sup>]  
 $k_p$  : 補正係数[-]

## 注

注1) スプリンクラー設備は燃焼速度が急激であると散水による火災抑制が追いつかない。そのため、本来であれば設計火災成長率  $\alpha_D=\infty$  であれば抑制することはできないと思われる。しかし、スプリンクラー設備が有効であったシナリオは設定した設計火災成長率でスプリンクラー設備によって火災を抑制できるかを評価するのではなく、抑制されて出火から定常で燃焼する発熱速度を考慮することに主眼をおいているので、ここでは設計火災成長率  $\alpha_D$  の大きさとスプリンクラー設備の抑制可能性については考慮しないこととした。

注2) 本評価法を用いてルート C 評価の居室の条件で限界歩行距離を算出する際に、各居室の天井高さは考慮せず、事務所を 2.8m、物販、飲食を 3.0m として算出した。また、ルート C 評価の居室のスプリンクラー設備の有無は調査していない。

注3)補正係数  $k_p$  の一覧を示す。

用途	スプリンクラー設備無設置	スプリンクラー設備無効
事務所	$-0.20\text{Ln}(A_r)+1.61$	$-0.20\text{Ln}(A_r)+1.68$
物販	$-0.17\text{Ln}(A_r)+1.40$	$-0.19\text{Ln}(A_r)+1.58$
飲食	$-0.14\text{Ln}(A_r)+1.16$	$-0.15\text{Ln}(A_r)+1.28$
家具・書籍売場	$-0.16\text{Ln}(A_r)+1.33$	$-0.18\text{Ln}(A_r)+1.48$
共同住宅	$-0.27\text{Ln}(A_r)+1.98$	$-0.28\text{Ln}(A_r)+2.06$

## 第7章参考文献

- 1) 田中哮義：改訂版建築火災安全工学入門、日本建築センター、pp.232-pp.235、2002
- 2) 平成12年建告第1441号、同第1442号



## 第8章 居室避難安全検証のケーススタディ

### 8.1 はじめに

第8章では、本評価法を典型的な事務所ビルに適用する際の「検証免除」「簡易検証」の計算手順と検証結果を示す。また、「詳細検証」が必要な室について、「詳細検証」の手順を示す。

### 8.2 居室避難検証の概要

図8.1～図8.4はリスクの概念に基づく居室避難安全検証の手順を示したものである。これに従って計画（火災制御、煙制御計画、避難計画）や設計目標の設定の妥当性を検証する。

図8.1に示すように、本評価法は、①「検証免除」、②「簡易検証」、③「詳細検証」で構成されている。①、②の条件を満足した居室は検証が終了となる。つまり、必要な室のみ「詳細検証」を行う仕組みとなっている。

図8.2の「検証免除」の判断は、居室面積（詳細は第5章参照）で、また、図8.3の「簡易検証」の判断は歩行距離、扉幅、親室率で簡便に行うことが可能である（詳細は第6章、第7章参照）。これらの検証の判断基準は、スプリンクラー設備の効果のみを考慮し、リスクの概念に基づき煙に曝されずに避難可能なことを予め検証した上で決定するため、これらの基準値を満たしていれば検証を行った場合と同じまたは安全側の検証を行ったことになる。ただし、これらの検証には、室形状や用途に対する適用範囲（判断基準を算出する際に使用した簡易計算法の適用範囲）が存在するので、その適用範囲を満足することがその前提としてある。

判断基準またはその適用範囲を満たさない場合は、図8.4の「詳細検証」を行う（詳細は第2章2.8節参照）。「詳細検証」では、火災制御対策や煙制御対策の作動の有無に基づき設定された設計火災シナリオ*i*に対して、当該火災シナリオの避難リスク $P_i C_i$ が部分許容避難リスク $R_{A(i)}^D$ 以下であることを検証する。検証手順は、火災シナリオ*i*を設定し、設計目標（部分許容避難リスク $R_{A(i)}^D$ ）を設定する。次に、当該火災シナリオ*i*の生起確率 $P_i$ や部分許容避難リスク $R_{A(i)}^D$ などに基づき設定される設計火災成長率 $\alpha_{D(i)}$ およびスプリンクラー設備の作動条件に基づき設定される発熱速度 $Q_{sp}$ から設計火源 $Q_i$ を決定する。設計火源 $Q_i$ の設定以降は、現行の避難検証法<sup>1)</sup>と同様に避難行動予測、煙性状予測を行い死傷者が発生しないことを確認する（ $C(Q_i)=0$ ）。ここで、設計火災成長率 $\alpha_{D(i)}$ の下で死傷者が出ないこと（ $C(Q_i)=0$ ）を確かめれば、必然的に避難リスク $P_i C_i$ は部分許容避難リスク $R_{A(i)}^D$ を下回ることになる<sup>2),3)</sup>。

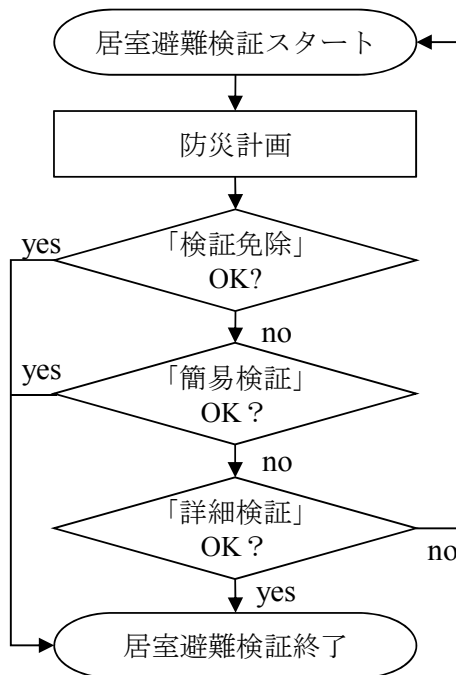


図 8.1 居室避難検証の流れ

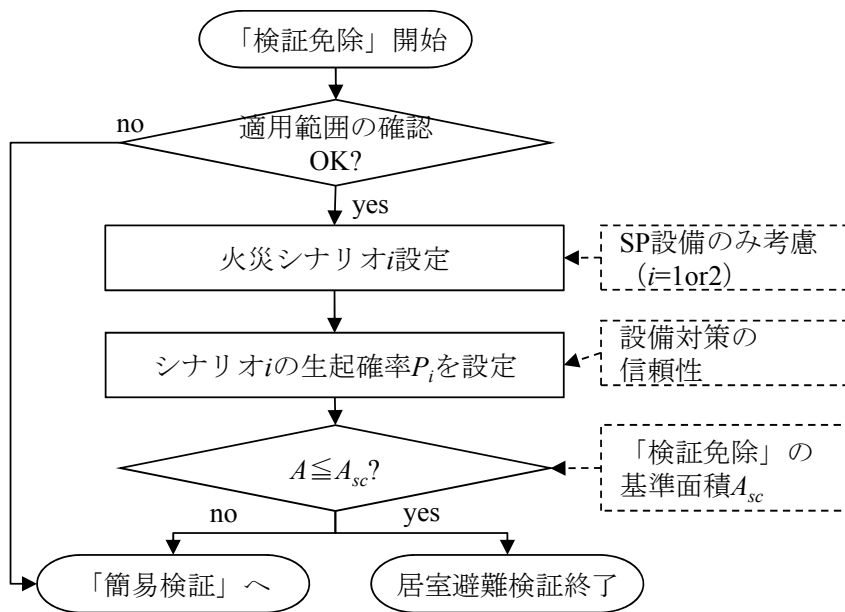


図 8.2 「検証免除」の流れ

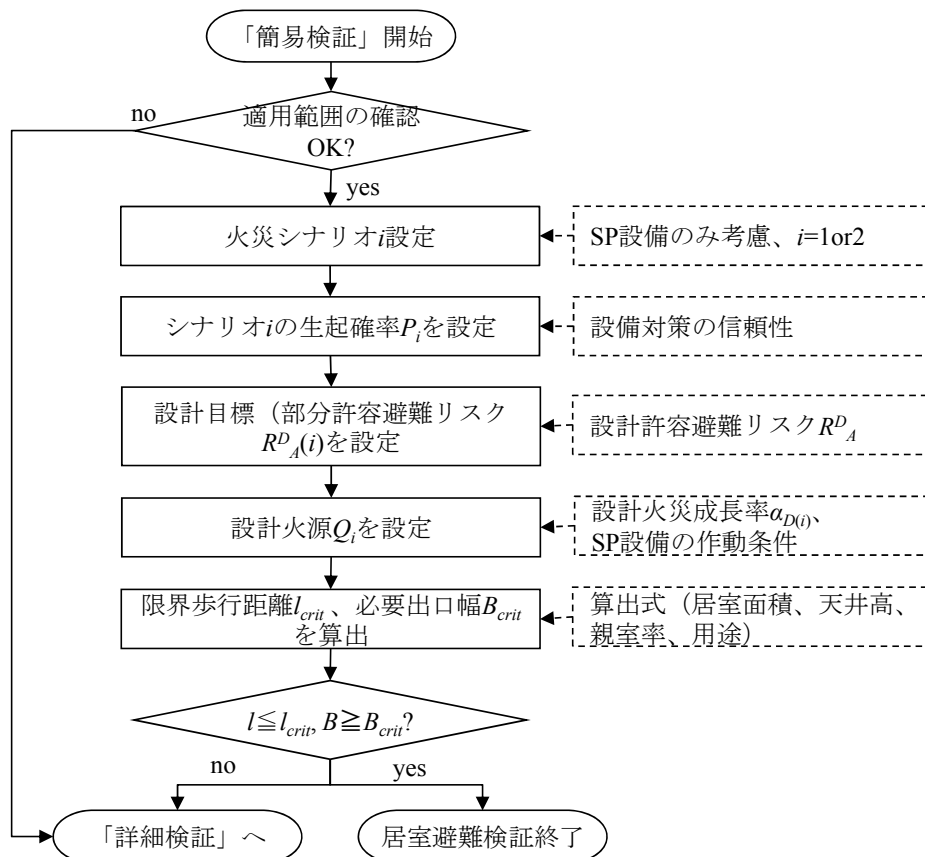


図 8.3 「簡易検証」の流れ

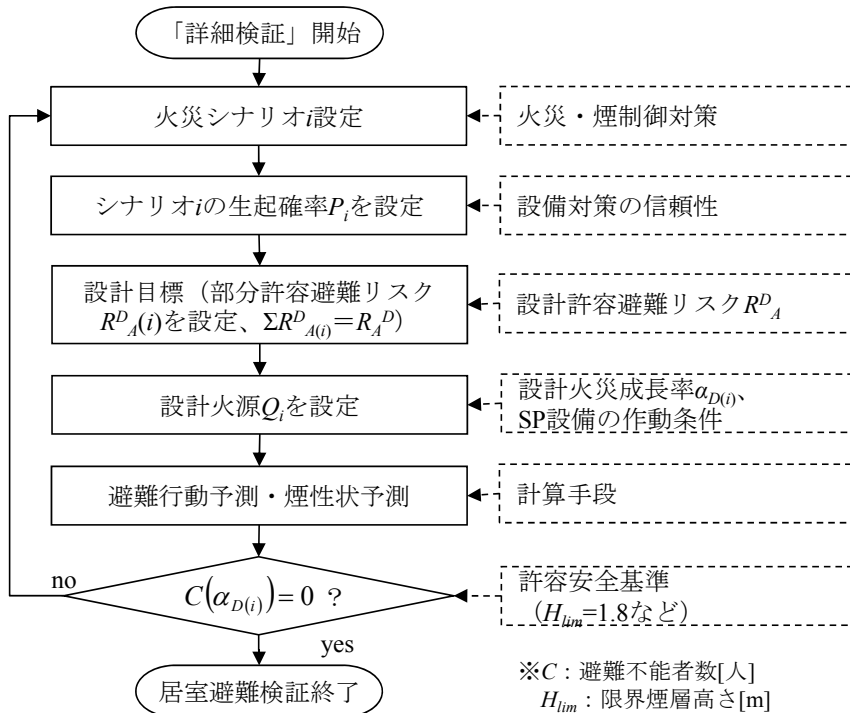


図 8.4 「詳細検証」の流れ

図 8.3 に示す「簡易検証」の適用範囲を表 8.1 に示す。適用範囲は第 6 章および第 7 章で示した用途、室形状、子室条件としてまとめたものであり、用途などの適用範囲を変える場合は変更後の適用範囲に基づき検証省略条件を再設定することも可能である。なお、室形状と子室条件は主に避難開始時間の設定に関わる適用範囲を示している。

表 8.1 「簡易検証」の適用範囲

項目	「簡易検証」の適用範囲
用途（親室、子室）	事務室、物販店舗、飲食店舗、書籍・家具売場の何れか
火災室	親室（親室が廊下である場合は適用範囲外）
子室の可燃物密度	親室の可燃物密度以下
子室の在館者密度	親室の在館者密度以下
子室の床面積	親室の床面積以下

### 8.3 ケーススタディ

事務所を想定した居室避難検証を行う。なお、本ケーススタディの居室避難検証は第 5 章（検証免除）または第 6 章、第 7 章（簡易検証）に基づき行う。なお、本ケーススタディでは複数の子室を有する居室についても避難開始の遅れがないものと扱い、「簡易検証」を適用する。また、1 室を例として取り上げ、「詳細検証」の手順を示す。

#### 8.3.1 想定プラン

想定プランを表 8.2、図 8.5 に示す。事務所で多くみられる、居室内に複数の子室を保有する場合について、居室面積 200 m<sup>2</sup>の小規模居室 2 プラン、居室面積 1200 m<sup>2</sup>の中規模居室 1 プランを想定した。天井高さは親室、子室ともに 2.8m、子室の扉寸法は w0.9m × h2.2m（箇所）、親室の扉寸法は w1.8m × h2.2m（箇所）とする。親室は共用廊下への扉を有する室である。



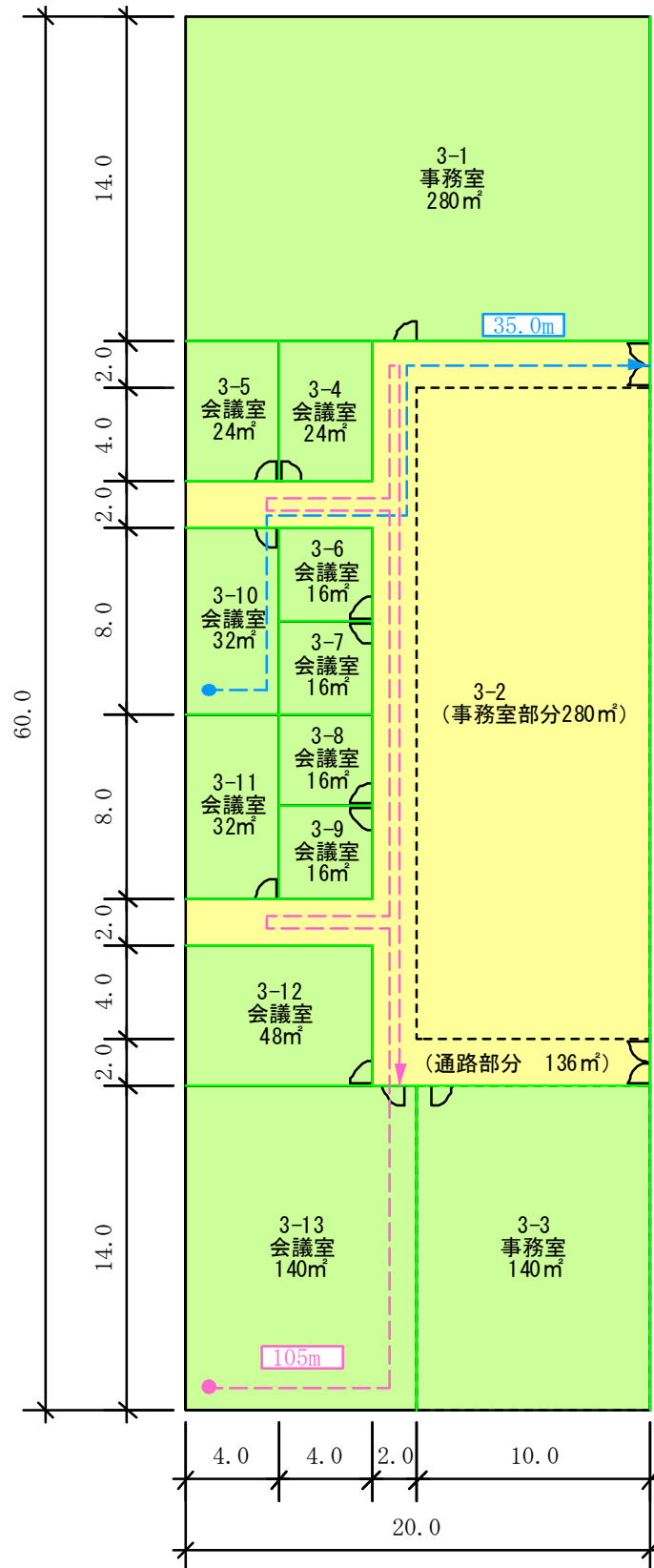


図 8.5 プラン 3 (居室面積 1200 m<sup>2</sup>) (単位 : m)

### 8.3.2 「検証免除」による検証

#### (1) 適用範囲の確認

第5章で提案した「検証免除」の方法に従い、各居室について検証する。

プラン1～3の「検証免除」適用性について整理した結果を表8.2に示す。倉庫は、在室者が存在しないため、居室避難検証は対象外である。また、会議室は在館者密度0.125人/m<sup>2</sup>と想定した。プラン1-cの廊下を親室とした場合の評価は、事務室よりも可燃物量の多い倉庫の扉に防火設備を設置したものとして大部屋として検証を実施する。

表 8.2 各居室の「検証免除」適用性

プラン	室番号	用途		居室面積 $A_r$ [m <sup>2</sup> ]	「検証免除」 適用性	備考
		親室	子室			
プラン1	1-1	事務室	なし	20	○	
	1-2	事務室	なし	20	○	
	1-3	事務室	なし	40	○	
	1-4	倉庫	なし	20	—	居室避難検証対象外
	1-5	会議室	なし	20	○	在館者密度 $p_{den}=0.125$ 人/m <sup>2</sup> と想定
	1-6	会議室	なし	20	○	
	1-7	会議室	なし	20	○	
	1-c	廊下	事務室、倉庫、会議室		200	○
プラン2	2-1	会議室	なし	20	○	$p_{den}=0.125$ 人/m <sup>2</sup> と想定
	2-2	事務室	なし	20	○	
	2-3	事務室	なし	20	○	
	2-4	事務室	事務室、会議室	200	○	大部屋として検証
プラン3	3-1	事務室	なし	280	○	
	3-2	事務室	事務室、会議室	1200	○	大部屋として検証
	3-3	事務室	なし	140	○	
	3-4	会議室	なし	24	○	$p_{den}=0.125$ 人/m <sup>2</sup> と想定
	3-5	会議室	なし	24	○	
	3-6	会議室	なし	16	○	
	3-7	会議室	なし	16	○	
	3-8	会議室	なし	16	○	
	3-9	会議室	なし	16	○	
	3-10	会議室	なし	32	○	
	3-11	会議室	なし	32	○	
	3-12	会議室	なし	48	○	
	3-13	会議室	なし	140	○	

#### (2) 火災シナリオの設定

ここでは、スプリンクラー設備を考慮せず検証を行う。

#### (3) 検証結果

ここでは、第5章の表5.1のスプリンクラー設備を考慮しない場合の「検証免除」面積 $A_{sc}$ の在室者全員の避難不能とした場合( $p_{cas}=1.0$ )の値を利用して判断を行う。

検証結果を表8.3に示す。居室の大部分(プラン1～プラン3では76%)は検証免除となることが確認された。「検証免除」面積を満足した室は避難安全性が確認されたの

で、ここで検証は終了となる。「検証免除」面積を満足しない6室は「簡易検証」を実施する。

表 8.3 居室の「検証免除」の検証結果

プラン	室番号	親室の用途	SP設備有無	居室面積 $A[m^2]$	「検証免除」面積 $A_{sc}[m^2]$	判定	備考
プラン1	1-1	事務室	なし	20	67	OK	検証終了
	1-2	事務室	なし	20		OK	検証終了
	1-3	事務室	なし	40		OK	検証終了
	1-4	倉庫	なし	20		OK	検証終了
	1-5	会議室	なし	20		OK	検証終了
	1-6	会議室	なし	20		OK	検証終了
	1-7	会議室	なし	20		OK	検証終了
	1-c	廊下	なし	200		NG	「簡易検証」へ
プラン2	2-1	会議室	なし	20		OK	検証終了
	2-2	事務室	なし	20		OK	検証終了
	2-3	事務室	なし	20		OK	検証終了
	2-4	事務室	なし	200		NG	「簡易検証」へ
プラン3	3-1	事務室	なし	280		NG	「簡易検証」へ
	3-2	事務室	なし	1200		NG	「簡易検証」へ
	3-3	事務室	なし	140		NG	「簡易検証」へ
	3-4	会議室	なし	24	OK	検証終了	
	3-5	会議室	なし	24	OK	検証終了	
	3-6	会議室	なし	16	OK	検証終了	
	3-7	会議室	なし	16	OK	検証終了	
	3-8	会議室	なし	16	OK	検証終了	
	3-9	会議室	なし	16	OK	検証終了	
	3-10	会議室	なし	32	OK	検証終了	
	3-11	会議室	なし	32	OK	検証終了	
	3-12	会議室	なし	48	OK	検証終了	
	3-13	会議室	なし	140	NG	「簡易検証」へ	

:入力条件

### 8.3.3 「簡易検証」による検証

#### (1) 適用範囲の確認

第6章、第7章で提案した「簡易検証」の方法に従い、「検証免除」の条件を満足しなかった6室について各居室について検証する。

「検証免除」の条件を満足しなかった6室の「簡易検証」適用性について整理した結果を表8.4に示す。1-cは親室が廊下であり対象用途外であるが、安全側の想定として事務室として検証を行う。プラン2-4、プラン3-2は見通しが悪い空間であるが、見通しの良否は本研究では対象にしていけないので、避難開始の遅れが生じないものとして「簡



「簡易検証」の検証を行う。

表 8.4 各居室の「簡易検証」適用性

プラン	室番号	用途		居室面積 $A_r[m^2]$	「簡易検証」 適用性	備考
		親室	子室			
プラン1	1-c	廊下	事務室、倉庫、会議室	200	△	親室が廊下、廊下状空間
プラン2	2-4	事務室	事務室、会議室	200	○	見通しが悪い空間
プラン3	3-1	事務室	なし	280	○	
	3-2	事務室	事務室、会議室	1200	○	見通しが悪い空間
	3-3	事務室	なし	140	○	
	3-13	会議室	なし	140	○	

#### (2) 火災シナリオの設定

ここでは、スプリンクラー設備を考慮せず検証を行うため、考慮すべき火災シナリオは1つである。

#### (3) 設計目標と設計火源の設定

スプリンクラー設備を考慮しないため、居室の設計許容避難リスクを全て設計目標値（部分許容避難リスク）とする。設計火源は  $Q_f = \alpha_D t^2$  で拡大する成長火災を想定し、部分許容避難リスクをもとに設計火災成長率  $\alpha_{D(i)}$  を算出する。

表 8.5 部分許容避難リスクと設計火災成長率  $\alpha_{D(i)}$

プラン	室番号	用途		居室面積 $A_r[m^2]$	部分避難許容 リスク $R^D_{A(i)}[人/件]$	設計火災 成長率 $\alpha_{D(i)}$
		親室	子室			
プラン1	1-c	廊下	事務室、倉庫、会議室	200	2.80	0.049
プラン2	2-4	事務室	事務室、会議室	200	2.80	0.049
プラン3	3-1	事務室	なし	280	2.00	0.072
	3-2	事務室	事務室、会議室	1200	0.47	0.244
	3-3	事務室	なし	140	4.00	0.030
	3-13	会議室	なし	140	4.00	0.030

#### (4) 検証結果

第6章のスプリンクラー設備を考慮しない場合の「簡易検証」の手法を用いて、限界歩行距離  $l_{crit}$  および必要出口幅  $B_{crit}$  の算出を行うための入力条件を表 8.6-1、表 8.6-2 に、結果を表 8.6-3 に示す。

表 8.6-1 および表 8.6-2 で入力条件は網掛けしたセルで、設計者は用途、居室面積、親室面積、天井高、スプリンクラー設備の有無を入力する。そして、居室面積と用途から算出される設計許容避難リスクの値をもとに部分許容避難リスクを設定する。本ケーススタディはスプリンクラー設備を考慮しないので、全ての設計許容避難リスクを当て

はめている。その他のセルは自動で値が計算される。

表 8.6-3 の結果より、設計値は「簡易検証」の限界歩行距離  $l_{crit}$  および必要出口幅  $B_{crit}$  を満足することが確認された。避難が一斉に行われる条件であれば、想定プランについては「簡易検証」で検証が終了する。

表 8.6-1 「簡易検証」入力条件（限界歩行距離  $l_{crit}$ ）

プラン	室番号	親室の用途	居室面積 $A_r$ [m <sup>2</sup> ]	親室面積 $A_p$ [m <sup>2</sup> ]	親室率 $\beta$ [-]	天井高 $H$ [m]	歩行速度 $v$ [m/s]	SP設備有無	シナリオ生起確率 $P_i$	部分許容避難リスク $R^D_{A(i)}$ [人/件]	設計火災成長率 $\alpha_{D(i)}$ [kW/s <sup>2</sup> ]	補正係数 $k_p$
プラン1	1-c	廊下	200	40	0.20	2.8	1.3	なし	1.0	2.8	0.05	0.55
プラン2	2-4	事務室	200	140	0.70	2.8	1.3	なし	1.0	2.8	0.05	0.55
プラン3	3-1	事務室	280	280	1.00	2.8	1.3	なし	1.0	2.0	0.07	0.48
	3-2	事務室	1200	416	0.35	2.8	1.3	なし	1.0	0.5	0.24	0.19
	3-3	事務室	140	140	1.00	2.8	1.3	なし	1.0	4.0	0.03	0.62
	3-13	会議室	140	140	1.00	2.8	1.3	なし	1.0	4.0	0.03	0.62

：入力条件

表 8.6-2 「簡易検証」入力条件（必要出口幅  $B_{crit}$ ）

プラン	室番号	親室の用途	居室面積 $A_r$ [m <sup>2</sup> ]	親室面積 $A_p$ [m <sup>2</sup> ]	親室率 $\beta$ [-]	天井高 $H$ [m]	在館者密度 $p_{den}$ [人/m <sup>2</sup> ]	SP設備有無	シナリオ生起確率 $P_i$	部分許容避難リスク $R^D_{A(i)}$ [人/件]	設計火災成長率 $\alpha_{D(i)}$ [kW/s <sup>2</sup> ]	補正係数 $k_p$
プラン1	1-c	廊下	200	40	0.20	2.8	0.125	なし	1.0	2.8	0.05	0.55
プラン2	2-4	事務室	200	140	0.70	2.8	0.125	なし	1.0	2.8	0.05	0.55
プラン3	3-1	事務室	280	280	1.00	2.8	0.125	なし	1.0	2.0	0.07	0.48
	3-2	事務室	1200	416	0.35	2.8	0.125	なし	1.0	0.5	0.24	0.19
	3-3	事務室	140	140	1.00	2.8	0.125	なし	1.0	4.0	0.03	0.62
	3-13	会議室	140	140	1.00	2.8	0.125	なし	1.0	4.0	0.03	0.62

：入力条件

表 8.6-3 「簡易検証」結果

プラン	室番号	親室の用途	設計歩行距離 $l$ [m]	限界歩行距離 $l_{crit}$ [m]	判定	設計出口幅 $\Sigma B$ [m]	必要出口幅 $B_{crit}$ [m]	判定	備考
プラン1	1-c	廊下	23.0	26.0	OK	1.8	0.8	OK	検証終了
プラン2	2-4	事務室	31.0	55.0	OK	1.8	0.4	OK	検証終了
プラン3	3-1	事務室	22.0	71.4	OK	0.9	0.4	OK	検証終了
	3-2	事務室	35.0	40.7	OK	3.6	3.2	OK	検証終了
	3-3	事務室	21.0	65.4	OK	0.9	0.2	OK	検証終了
	3-13	会議室	21.0	65.4	OK	0.9	0.2	OK	検証終了

### 8.3.4 「簡易検証」を適用範囲外の室の避難安全検証に関わる計算方法（詳細検証）

ここでは、プラン 1-c を例として「詳細検証」の方法を示す。本研究は「詳細検証」の計算方法の詳細を示すことが目的ではないので、避難行動予測と煙性状予測は実施し

ない。

### 1) 火災シナリオの設定と生起確率

プラン 1-c にはスプリンクラー設備および排煙設備が設置されているとする。この場合の評価するシナリオは図 8.6 に示すように 4 つとなる。ここで、シナリオの生起確率は第 4 章の検討結果より、スプリンクラー設備は有効 0.09、無効 0.32、排煙設備は表 4.13 の事務所の作動確率の 0.95 とする。また、プラン 1-c の親室用途は廊下で火災発生の恐れのない室に該当するので、ここでは子室で最も居室面積の大きい 1-3 事務室出火時の安全性の検討を行う。

居室避難設計火災シナリオ		生起確率 $P_i$	シナリオ No.	部分許容避難リスク $R_{A(i)}^D$	設計火源	
プラン1-c 17.5人 1-3事務室						
SP設備		排煙設備				
成長火災	○有効 $P_{sprinkler}$ 0.09	○奏功 $P_{sm}$ 0.95	$P_1$ $p_1 p_2$	0.0855	F01	$R_{A(1)}^D$ 0 検証省略 F02で検証
		×不奏功 $1-P_{sm}$ 0.05	$P_2$ $p_1(1-p_2)$	0.0045	F02	$R_{A(2)}^D$ 0 定常火源 $Q_{sp}=367kW$
	×不奏功 $P_{failure}$ 0.32	○奏功 $P_{sm}$ 0.95	$P_3$ $(1-p_1)p_2$	0.304	F03	$R_{A(3)}^D$ 2.52 成長火源 0.0144
		×不奏功 $1-P_{sm}$ 0.05	$P_4$ $(1-p_1)(1-p_2)$	0.016	F04	$R_{A(4)}^D$ 0.28 検証不要※ 許容リスク割当
				$\Sigma R_{A(i)}^D$	2.80	
				$R_A^D$	2.80	

注) 消火成功は0.59

※在室者全員を避難不能とした場合の避難リスクを部分許容リスクとして割り当てた<sup>4)</sup>

図 8.6 プラン 1-c の火災シナリオ (1-3 事務室出火)

### 2) 設計目標の設定

次に、各シナリオに部分許容避難リスクを分配し設計目標を設定する。各シナリオの部分許容避難リスクの分配を図 8.6 に示す。当該シナリオの避難リスク  $P_i C_i$  が部分許容避難リスク  $R_{A(i)}^D$  以下となるように分配を行う (ただし、 $\Sigma R_{A(i)}^D = R_A^D$ )。例えば、当該居室の在館者全員 ( $C_0$ [人]) を避難不能と見なした時の避難リスク  $P_i C_0$  が部分許容避難リスク  $R_{A(i)}^D$  以下である場合 (すなわち  $P_i C_0 \leq R_{A(i)}^D$ ) は、安全であることが自明であるため、当該火災シナリオに対する検証は不要になる。従って、在館者数  $C_0$  が大きくても多重の火災安全対策が施され当該火災シナリオ  $i$  の生起確率  $P_i$  が十分小さくなる場合は、当該火災シナリオ  $i$  は検証不要となる。図 8.6 ではシナリオ F04 は在室者全員が避難不能であるとした場合の避

難リスクの値を部分許容避難リスクとして割り当てることにより、検証不要とした。スプリンクラー設備が有効である場合は、避難不能者が 0 人となることを確認できると考え、シナリオ F01 とシナリオ F02 の部分許容避難リスクを 0 とした。シナリオ F02 を検証し避難安全が確認できれば、シナリオ F01 は安全であることは明らかであるため検証を省略する。よって、残りの許容避難リスクをシナリオ F03 に割り振り設計火源を設定する。

### 3) 設計火源 $Q_f$

#### ・シナリオ F02

スプリンクラー設備が有効な場合の設計火源は下式に示す定常火源を想定した。発熱速度の大きさは第 4 章に示した考えに基づき算出する。スプリンクラー設備が作動しない発熱速度を採用した値である。親室の天井高は 2.8m であるので 367kW である。

$$Q_f = Q_{sp} = 194H_p - 177 \quad \text{再掲(4.22)}$$

#### ・シナリオ F03

設計火源は下式に示す成長火源を想定した。設計火源はリスク概念に基づく設計火災成長率  $\alpha_D$  をもとに設定する。

$$Q_f = \alpha_D t^2 \quad \text{再掲(6.12)}$$

設計火災成長率  $\alpha_D$  の設定方法は第 6 章以下に示した部分許容避難リスク、当該居室の在館者数  $C_0$  とシナリオの生起確率をもとに火災成長率の分布から設定する方法で算出した<sup>5)</sup>。(式(6.16))

この設計火災成長率  $\alpha_{D(i)}$  の下で死傷者が出ないこと ( $C(\alpha_{D(i)})=0$ ) を確かめれば、必然的に設計避難リスクは設計許容避難リスクを下回ることとなる。式(6.16)で図 8.6 のシナリオ F03 の設計火災成長率  $\alpha_{D(3)}$  を算出した結果を図 8.6 に示す。

$$\int_{\alpha_{D(i)}}^{\infty} f(\alpha) d\alpha = \frac{R_{A(i)}^D}{P_{(i)} C_0} \quad \text{再掲(6.16)}$$

### 4) 煙降下時間 $t_s$ および避難完了時間 $t_e$ の算出による安全性の判定

以上の設計火源のもとで、シナリオ F02、シナリオ F03 のそれぞれについて煙降下時間と避難完了時間の算出を行う。下式に示すように避難完了時間が煙降下時間以下であ

ることを確認する。

$$t_e \geq t_s \quad (8.1)$$

#### 8.4 まとめ

リスクの概念に基づく設計法に基づき、典型的な事務所（居室面積 200 m<sup>2</sup>と 1200 m<sup>2</sup>）の居室避難検証を実施して、本評価法の実務適用性を検証した。

##### (1) 「検証免除」

大部分の居室は「検証免除」で検証が終了した。「検証免除」により、居室面積のみで検証を行うことが可能となるので、今回対象としたプランのように多くの子室を有する計画では居室避難検証の作業時間が大幅に短縮される。「検証免除」面積以下になる居室は親室率の制限もないため、間仕切り変更後も再検証の必要がなくなり、検証作業の軽減につながる。

##### (2) 「簡易検証」

「検証免除」の条件を満足しない居室 6 室について「簡易検証」を実施した。「簡易検証」は親室での蓄煙時間を利用しているため、一斉に避難開始するという条件のもとで検証を実施した。その結果、6 室すべてが「簡易検証」の条件を満足した。なお、親室が「簡易検証」の適用範囲外の廊下である場合も、親室を事務室とすることで安全側の想定として検証を行うことが可能である。

##### (3) 「詳細検証」

1 室を例として、スプリンクラー設備および排煙設備がある場合の「詳細検証」の手順を示した。2 つの設備の奏功/不奏功で検証すべきシナリオは 4 つとなり、設計目標（部分許容避難リスク）を設定することにより、検証するシナリオの削減が可能となる。例えば、避難リスクを安全側に想定した場合でも設計目標の許容避難リスク以下となるシナリオは検証が不要とすることができる。また、1 つの設備に対して複数のシナリオがある場合に不利な条件で検証することにより、有利な条件のシナリオの検証を省略可能とすることができる。対象としたプランではスプリンクラー設備が有効に作動し、排煙設備が不作動の場合のシナリオ、スプリンクラー設備が無効で排煙設備が作動のシナリオの 2 つを検証すればよいことが示された。

##### (4) 本評価法の実務適用性

本評価法においては、簡易な条件設定で多くの小規模居室の検証が行えるため、「検証免除」および「簡易検証」の有効性が確認された。ただし、「簡易検証」については、統計データに起因する対象用途の制限の問題、避難開始の遅れ、煙拡散の問題などに基づいて適用範囲が存在する。実務では例として挙げたような単純な矩形ではないプランも多く存在し、現状の実務における評価では見通しの悪い居室に避難開始遅れを設けて

いる。居室内の見通しの悪い部分に負荷を与えた検証は、不合理な排煙設備や防火扉の増強につながる場合もあると考えられるため、十分な検討が必要であると思われる。しかし、現状の「簡易検証」では階レベルの規模の居室でも比較的自由に設計することが可能となるので、階避難での制限や二方向避難の要求、新たな避難開始時間の設定などの「簡易検証」の適用範囲拡大のための検討が課題である。

## 記号

$A_r$  : 居室面積[m<sup>2</sup>]

$A_{sc}$  : 検証免除床面積[m<sup>2</sup>]

$B$  : 設計出口幅[m]

$B_{crit}$  : 煙に支障なく避難可能な必要出口幅[m]

$H_{lim}$  : 避難上支障のある煙層下端高さ[m]

$k_\rho$  : 補正係数[-]

$l$  : 歩行距離[m]

$l_{crit}$  : 煙に支障なしで避難可能な限界歩行距離[m]

$p_{den}$  : 在館者密度[人/m<sup>2</sup>]

$P_{extinguish}$  : スプリンクラー設備に消火される確率[-]

$P_{failure}$  : スプリンクラー設備が無効な場合の生起確率[-]

$P_{sprinkler}$  : スプリンクラー設備により火災が抑制される確率[-]

$R^D_A$  : 設計許容避難リスク[人/件]

$Q_f$  : 火源発熱速度[kW]

$Q_{sp}$  : スプリンクラー設備の作動条件に基づき設定される発熱速度[kW]

$C$  : 避難不能者数[人]

$t$  : 時間[s]

$t_e$  : 避難完了時間[s]

$t_s$  : 煙降下時間[s]

$\alpha$  : 火災成長率 [kW/s<sup>2</sup>]

$\alpha_D$  : 設計火災成長率 [kW/s<sup>2</sup>]

## 参考文献

- 1) 平成 12 年建設省告示第 1441 号、同第 1442 号
- 2) Tanaka, T., Nii, D., Yamaguchi, J., Notake, H., Ikehata, Y.: The Risk-based Evacuation Safety Design Method and Its Practicability in the Safety Verification of Realistic Buildings, Fire Sci. Tech., 8th Asia-Oceania Symp., Melbourne, 2010.12
- 3) 山口純一他：リスクの概念に基づく避難安全設計火源の決定方法，日本火災学会論文集，Vol.58,No.3, pp.11-20,2008
- 4) 山口純一他：その 4 階避難検証 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.343-346、 2011
- 5) 出口嘉一，野竹宏彰，抱 憲誓，仁井大策，山口純一，池畠由華：リスクの概念に基づく避難安全設計法に用いる火災成長率の分布の推定，日本火災学会論文集，Vol.61, No.2, pp.13-23, 2011.08

## 第9章 総括

本研究では実務設計で多くの課題が指摘されている性能的避難安全評価に対し、居室の避難検証に着目し、検証作業の省力化、スプリンクラー設備等の防火対策の効果を適切に評価するための手法としてリスクの概念に基づく居室避難安全評価手法の提案を行った。さらに、本評価法で提案した「検証免除」および「簡易検証」について、実在する居室の条件との比較や事務室の居室内に間仕切りが設置される典型的な構成を例としたケーススタディの実施により実務適用性を検討し、検証作業が大幅に削減可能となることが示された。以下に各章のまとめを述べる。

### 第1章 序論

本研究の背景および目的、本論文の構成および既往の研究について述べた。

### 第2章 リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法の基本フレーム

建築物の避難安全設計は、居室避難検証、階避難検証および全館避難検証で構成されるが、その中で居室避難検証に着目し、居室避難検証の省力化や小規模居室の評価に対する不合理さを解決する手段として、リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法を示し、またその基本的な考え方ならびに基本フレームを提案した。居室避難安全評価手法は、当該居室の避難リスクが許容避難リスク以下となることを基本とし、防火対策の成否に基づく火災シナリオのもとでリスクの概念に基づいて算出された設計火災成長率で避難安全性を検証する。居室面積、歩行距離、扉幅の居室条件で簡易に居室避難安全性を検証可能な「検証免除」、「簡易検証」を導入し、避難安全上配慮すべき居室のみ「詳細検証」を行う仕組みとした。

### 第3章 統計的分析に基づく許容避難リスク

リスクの概念に基づく居室避難安全評価手法を実行するために必要となる設計許容避難リスク（避難不能者数期待値に関する許容安全基準）の設定方法を提案することを目的として、総務省消防庁の保有する火災統計データ等に基づき8つの用途の成長火災の出火率や実火災時の避難リスクの分析を行った。そして、各用途の実火災時の避難リスクの状態を明らかにし、その結果、物販、事務所および住宅の避難リスクはその他の用途と比較して低いレベルに位置することを示した。また、基準とする避難不能者数（許容避難リスク）から、評価対象空間の出火率、床面積から設計許容避難リスクを算出する方法を提案した。

### 第4章 防火対策の作動信頼性と効果の定義

本評価法では居室の火災時の避難安全に関わるスプリンクラー設備、排煙設備、防火



シャッターなどの防火対策の作動/不作動の条件に基づき居室避難の火災シナリオを構築する。それらの各シナリオの生起確率を設定するため、各防火システムの作動信頼性を統計データの分析および既往の文献調査によって収集・整理した。特に、スプリンクラー設備については、その作動状況、火災の抑制状況に応じて、「消火成功」、「抑制成功」、「抑制失敗」および「不作動」の4つの火源パターンに分類し、「消火成功」、「抑制成功」をそれぞれ焼損床面積  $0\text{m}^2$ 、 $1\text{m}^2$  の火災と定義した。総務省消防庁の「火災報告」の焼損床面積等のデータを利用し、設計火源との関係を整理した。また、総務省消防庁の「火災報告」を利用して、それぞれの火源パターンの生起確率を明らかにした。

#### 第5章 リスク概念に基づく居室避難の「検証免除」手法

在館者数が少ない居室や出火率の小さい居室は在館者全員が避難不能と安全側に仮定したとしても当該居室の避難リスクが許容避難リスクを超えないことに着目し、当該居室の避難リスクが許容避難リスク以下となる居室面積を、詳細な検証を免除可能な床面積の上限値として用途ごとに算出した。本研究では目標とする許容避難リスクは標準的な規模の住宅における避難リスクとした。その結果、空間用途の出火率、在館者密度が高いほど検証免除面積は小さい値が算出され、火災あたりの死傷者の発生率を最も安全側の設定の1.0とした場合、劇場等や飲食店等の検証免除面積は非常に小さい値となり、「検証免除」による検証の省略化が期待できず、出火率の低い病院では殆どの病室の検証を省力化できる可能性を示した。任意の用途の死傷者の発生率を住宅と同等の0.14とした場合の検証免除面積は死傷者の発生率を1.0と設定した場合の数値と比較して約2.7倍となることを示した。また、同様の手法を用いて、スプリンクラー設備が設置された居室の検証免除面積を算出し、スプリンクラー設備が設置されていない居室の数値と比較して約1.5倍になることを示した。

#### 第6章 スプリンクラー設備が無設置の場合の居室避難の「簡易検証」手法

スプリンクラー設備が設置されない居室を対象とし、避難リスクを許容避難リスク以下に保つために、避難出口までの最大歩行距離、出口幅、親室率が満たすべき条件を与える計算式を導いた。計算式は煙性状の簡易予測式を利用し、リスクの概念に基づいて算出された設計火災成長率のもとで煙に曝されずに避難可能な限界歩行距離、必要出口幅を算出する。また、この設計式を事務所、物販店舗、飲食店舗の3用途に適用し、既往の評価法（防災計画指針に基づく手法、建築基準法の避難安全検証法に基づく手法）と本評価法の設計水準の比較を行った。その結果、本評価法に基づくと限界歩行距離の居室面積に対する依存性は低く、仕様規定と同様に居室面積に関わらず概ね一定値となることが明らかとなった。

#### 第7章 スプリンクラー設備が設置された場合の居室避難の「簡易検証」手法

スプリンクラー設備が設置された居室を対象とし、スプリンクラー設備の奏功、不奏功に応じて設定された設計火災シナリオの下で、リスクの概念に基づいて算出された設計火災成長率で煙に曝されずに避難可能な居室条件（限界歩行距離および必要出口幅）を算出するための設計式を提案した。また、スプリンクラー設備が設置されている場合の奏功と不奏功のシナリオ、ならびにスプリンクラー設備が設置されていない場合について算出される居室条件の設計式の関係性を整理し、その上でスプリンクラー設備が設置されている居室の居室条件の算出方法を提案した。また、スプリンクラー設備が設置されている場合と設置されていない場合で要求される居室条件の差の比較やルート C で設計された実在の居室の歩行距離および出口幅の調査結果と本評価法の簡易検証条件（限界歩行距離および必要出口幅）と比較を行った。

## 第 8 章 居室避難安全検証のケーススタディ

第 2 章～第 7 章の検証法および条件設定に基づき、親室と子室の避難開始が一斉に行われる仮定のもとで、事務所階でみられる居室内に間仕切りが設けられているレイアウトを対象にケーススタディを実施し、居室避難安全検証作業の省力化の可能性について確認した。子室を多数保有するレイアウトにおいて、事務所の会議室程度の小規模な子室については「検証免除」で検証を終了し、中規模の居室は「簡易検証」で検証可能であることが確認できた。親室と子室の避難開始が一斉に行われる場合には、今回想定したような親室のレイアウトでも「簡易検証」で検証可能であることが確認できた。

「簡易検証」は親室の用途や避難開始の条件など、いくつかの仮定を用いて構築しているため、今後は実務設計で多くみられる居室内の間仕切り構成についてさらに検証を行い、「簡易検証」の実務適用性の向上を図りたい。

## 発表論文リスト

### [1]研究論文

1. 池畠由華、野竹宏彰、山口純一、田中哮義：統計データに基づく用途別の避難リスクの算出－火災安全設計における設計基準避難リスクに関する研究－、日本火災学会論文集、Vol.61、No.3、2011.
2. 野竹宏彰、池畠由華、山口純一、田中哮義：住宅・共同住宅火災の統計的分析に基づく設計避難リスクの算出－火災安全設計における設計避難リスクに関する研究－、日本火災学会論文集、Vol.61、No.2、pp.1-11、2011.08
3. 出口嘉一、野竹宏彰、抱 憲誓、仁井大策、山口純一、池畠由華：リスクの概念に基づく避難安全設計法に用いる火災成長率の分布の推定、日本火災学会論文集、Vol.61、No.2、pp.13-23、2011.08
4. 池畠由華、道越真太郎、中村正寿、小林裕、西村光太、桑名秀明、宮本圭一：初期火災時のフロートガラスの挙動に関する実験的研究 ガラスの構成条件や加熱条件の違いが及ぼす影響、日本建築学会環境系論文集 76(667)、751-760、2011-09

### [2]発表論文

1. 林広明、室崎益輝、西垣太郎、池畠由華：T字路における避難方向の選択に通路幅員が与える影響に関する研究:その2 模型シミュレーターによる実験、日本建築学会学術講演会、pp. 215-216、1995
2. 池畠由華、室崎益輝、林広明、西垣太郎：T字路における経路選択に通路幅員が及ぼす影響に関する実験-VTR画像を使用した実験-、pp.213-214、1995
3. 北後明彦、鈴木恵子、中平和孝、池畠由華、林広明、掛川秀史：阪神・淡路大震災時の火災と市民行動に関する調査研究 その3 地震直後の家屋内の状況と火気への対応、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 234-237、1996.5
4. 池畠由華、林広明、掛川秀史、北後明彦、中平和孝、辻本誠：阪神・淡路大震災時の火災と市民行動に関する調査研究 その4 市街地火災地域内の共同住宅における住民の避難行動、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 238-241、1996.5
5. 中平和孝、辻本誠、池畠由華、林広明、掛川秀史、北後明彦：阪神・淡路大震災時の火災と市民行動に関する調査研究 その5 火災が発生した共同住宅の建物被害と避難行動について、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 242-245、1996.5
6. 林広明、室崎益輝、関沢愛、鈴木恵子、西垣太郎、池畠由華：建物内 T 字路における避難経路選択に関する研究-実大モデル T 字路による実験研究-、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 106-109、1996.5
7. 中平和孝、辻本誠、池畠由華、林広明、掛川秀史、北後明彦：阪神・淡路大震災

の火災が発生した共同住宅内の避難行動に関する研究、日本建築学会学術講演会、pp. 105-106、1996

8. 久次米真美子、金子弘幸、久保田勝明、池畠由華、海老原学、大宮喜文：避難経路の安全性評価方法について、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.168-171、1997.5
9. 池畠由華、海老原学、大宮喜文、久次米真美子、久保田勝明、金子弘幸：居室避難に関するリスクの評価方法について、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 172-175、1997.5
10. 林広明、西垣太郎、池畠由華、室崎益輝：避難経路選択に通路幅員が与える影響に関する研究、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.432-433、1997.5
11. 林広明、室崎益輝、西垣太郎、池畠由華：建物火災時の避難経路選択に通路の床面照度が与える影響、日本建築学会学術講演会、pp. 95-96、1997
12. 池畠由華、海老原学、野竹宏彰、大宮喜文：居室避難のリスク評価に関する考察-残留避難者数の変化の推測値と避難計算結果の違い-、日本建築学会学術講演会、pp. 99-100、1997
13. 池畠由華、西垣太郎：階避難に関するリスクの評価方法の提案、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 228-231、1998.5
14. 池畠由華、西垣太郎：建築物の空間構成の違いが避難安全性に与える影響、日本建築学会学術講演会、pp. 115-116、1998
15. Ikehata, I., Ebihara, M., Notake, H. and Ohmiya, Y., "Assessment Method for Evacuation Safety from Room under consideration of uncertainty of human behavior and fire", Proceedings of the 1st International Symposium on Human Behaviour in Fire, 1998.9
16. 池畠由華、関沢愛、海老原学：避難行動に着目した火災事例文献の統一フォーマットの検討とその活用、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 198-201、1999.5
17. 中濱慎司、池畠由華、海老原学、野竹宏彰：エレベーターと階段による避難安全性の比較 -広島基町高層住宅を例にして-、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.190-193、1999.5
18. 池畠由華、林広明、佐藤知己、中川雄一郎、高橋広直、中濱慎司：大規模屋内スタジアムにおける避難退出実験、日本建築学会学術講演会、pp. 243-244、2000
19. 池畠由華、笠原勲、森川泰成、林広明、中濱慎司、佐藤知己：大規模屋内スタジアムにおける避難性状に関する研究、日本建築学会学術講演会、pp. 101-104、2001
20. 栗岡均、佐藤博臣、矢代嘉郎、掛川秀史、笠原勲、池畠由華、若松孝旺、松山賢：可燃物調査方法と結果（事務所の避難安全設計火源に関する研究 その1）、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.360-363、2002.5

21. 池畠由華、笠原勲、佐藤博臣、栗岡均、矢代嘉郎、掛川秀史、若松孝旺、須川修身：事務所の避難安全設計火源に関する研究-その 2- 代表的な家具の燃焼実験、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 364-367、2002.5
22. 掛川秀史、矢代嘉郎、佐藤博臣、栗岡均、笠原勲、池畠由華、斎藤直、鶴田俊、大橋正満、菊池正道：事務所の避難安全設計火源に関する研究-その 3-事務所ビルにおける可燃物の実大燃焼実験、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.368-371、2002.5
23. 吉葉裕毅雄、斎藤直、鶴田俊、佐藤博臣、栗岡均、矢代嘉郎、掛川秀史、笠原勲、池畠由華、菊池正道：事務所の避難安全設計火源に関する研究-その 4-スプリンクラーの火災抑制効果、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.372-375、2002.5
24. 鶴田俊、斎藤直、佐藤博臣、栗岡均、矢代嘉郎、掛川秀史、笠原勲、池畠由華、大橋正満、菊池正道：事務所の避難安全設計火源に関する研究-その 5-モデル区画内の熱気流挙動、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.376-379、2002.5
25. 浅見高志、岡山義昭、石田博志、大宮喜文、斎藤直、鶴田俊、池畠由華：区画火災制御に関する研究 その 7 スプリンクラー作動時の温度、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.28-31、2002.5
26. 栗岡均、佐藤博臣、矢代嘉郎、掛川秀史、笠原勲、池畠由華、若松孝旺、松山賢：可燃物の調査結果:事務所ビルの避難安全設計火源に関する研究その 1、日本建築学会学術講演会、pp. 197-198、2002
27. 池畠由華、笠原勲、佐藤博臣、栗岡均、矢代嘉郎、掛川秀史、若松孝旺、須川修身：事務所の避難安全設計火源に関する研究-その 2- 代表的家具の燃焼実験、日本建築学会学術講演会、pp. 199-200、2002
28. 掛川秀史、矢代嘉郎、佐藤博臣、栗岡均、笠原勲、池畠由華：事務所ビルにおける可燃物の実大燃焼実験:事務所の避難安全設計火源に関する研究その 3、日本建築学会学術講演会、pp. 201-202、2002
29. 砂原弘幸、吉川昭光、大宮喜文、油野健志、栗岡均、松山賢、山口純一、池畠由華：室火災における燃焼抑制効果に関する研究:その 2 ウォーターミスト作動時の発熱速度、日本建築学会学術講演会、pp. 135-136、2002
30. 掛川秀史、矢代嘉郎、佐藤博臣、栗岡均、笠原勲、池畠由華、鶴田俊、尾川義雄、稲村勝正、浅見高志、菊池正道、辻利秀：初期火災時における事務室机ユニット間の延焼拡大性状 事務所の避難安全設計火源に関する研究-その 6-、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.310-313、2003.5
31. 浅見高志、掛川秀史、矢代嘉郎、佐藤博臣、栗岡均、笠原勲、池畠由華、鶴田俊、尾川義雄、稲村勝正、辻利秀、石田博志：スプリンクラーによる火災抑制における衝立の影響 事務所の避難安全設計火源に関する研究-その 7-、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.314-317、2003.5

32. 池畠由華、笠原勲、佐藤博臣、栗岡均、矢代嘉郎、掛川秀史、鶴田俊、尾川義雄、稲村勝正、浅見高志、辻利秀、石田博志：スプリンクラー作動時の避難安全に及ぼす影響 事務所の避難安全設計火源に関する研究-その8-、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 318-321、2003.5
33. スプリンクラー作動時の隣接空間に及ぼす影響 事務所の避難安全設計火源に関する研究-その4-、笠原勲、佐藤博臣、栗岡均、矢代嘉郎、掛川秀史、日本建築学会学術講演会、pp.15-16、2003
34. 掛川秀史、佐藤博臣、栗岡均、池畠由華、笠原勲、鶴田俊、尾川義雄、稲村勝正、浅見高志、石田博志：コンピュータ機器の燃焼性状 事務所の避難安全設計火源に関する研究-その9-、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.152-155、2004.5
35. 池畠由華、掛川秀史、佐藤博臣、栗岡均、笠原勲、鶴田俊、尾川義雄、稲村勝正、浅見高志、石田博志：開架式書架の燃焼性状 事務所の避難安全設計火源に関する研究-その10-、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 156-159、2004.5
36. 中濱慎司、池畠由華、関沢愛、海老原学、野竹宏彰：高層ビルにおけるエレベータ避難の可能性に関する研究（その1）-エレベータ避難モデルの開発-、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.586-589、2004.5
37. 関沢愛、中濱慎司、池畠由華、海老原学、野竹宏彰：高層ビルにおけるエレベータ避難の可能性に関する研究（その2）-人員輸送効率から見たエレベータ利用避難の検討-、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.590-593、2004.5
38. Ikehata, Y., Kasahara, I., Satoh, H., Kurioka, H., Kakegawa, S. and Yashiro, Y., "A STUDY ON DESIGN FIRES FOR OCCUPANT SAFETY IN OFFICE SURROUNDINGS", , Fire Science and Technology 2004, Proceedings of the 6th Asia-Oceania Symposium, 2004.3.
39. 池畠由華、笠原勲、佐藤博臣、栗岡均、矢代嘉郎、掛川秀史：事務所ビルにおける避難安全設計用火源、日本建築学会学術講演会、pp.113-116、2004
40. 中濱慎司、海老原学、関沢愛、池畠由華、野竹宏彰：エレベータ避難の利用可能性に関する研究(その1):エレベータ避難モデルの開発、日本建築学会学術講演会、pp.247-248、2004
41. 海老原学、中濱慎司、関沢愛、池畠由華、野竹宏彰：エレベータ避難の利用可能性に関する研究(その2):エレベータ避難モデルの感度分析、日本建築学会学術講演会、pp.249-250、2004
42. 中村正寿、中村昌宏、中濱慎司、小林裕、笠原勲、中村孝明：道路トンネルの火災安全評価に関する研究、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.568-571、2005.5
43. 中濱慎司、池畠由華、関沢愛、海老原学、野竹宏彰：火災シナリオを考慮したエレベータ避難の有効性に関する検討、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.552-555、2005.5

44. 池島由華、中村正寿、中浜慎司、小林裕、笠原勲、中村孝明、中村昌宏：道路トンネルの避難安全評価に関する研究:その1 評価手法の概要および火災発生頻度、日本建築学会学術講演会、pp.265-266、2005
45. 中村正寿、池島由華、中浜慎司、小林裕、笠原勲、中村孝明、中村昌宏：道路トンネルの避難安全評価に関する研究:その2 煙に曝露される避難者数の算出、日本建築学会学術講演会、pp.267-268、2005
46. 中浜慎司、海老原学、関沢愛、池島由華、野竹宏彰：エレベータ避難モデルの感度分析と火災シナリオを考慮したリスク評価、日本建築学会学術講演会、pp.183-186、2005
47. 池島由華、中村昌宏：道路トンネルの避難安全評価に関する研究:その3 メディア情報等を活用した事例調査、日本建築学会学術講演会、pp.311-312、2006
48. 池島由華、中村昌宏、小林裕：火災統計等を利用した道路トンネル火災発生状況に関する研究、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.160-163、2007.5
49. 関沢愛、中浜慎司、池島由華、海老原学、野竹宏彰：超高層ビルを対象としたエレベータ利用避難の有効性に関する考察:エレベータ乗降時の流入出調査とエレベータ利用避難の運行方法の検討、日本建築学会学術講演会、pp.275-278、2007
50. 池島由華、林広明：高層建築物の避難に関する研究:階段への合流比率が階避難に及ぼす影響、日本建築学会学術講演会、pp.309-310、2007
51. 池島由華、道越真太郎、中村正寿、小林 裕、桑名秀明、宮本圭一、栗岡 均、大内富夫：盛期火災時の網入ガラスの挙動に関する研究、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 116-117、2008.5
52. 中浜慎司、池島由華、関沢愛、海老原学、野竹宏彰：超高層住宅を対象とした非常用エレベータ利用避難に関する研究、日本火災学会研究発表会梗概集、pp.82-85、2008.5
53. 桑名秀明、大内富夫、栗岡均、宮本圭一、小林裕、道越真太郎、池島由華、中村正寿：初期火災時のフロートガラスの挙動に関する研究その1 開口部を形成するガラス条件がクラック発生に与える影響、日本建築学会学術講演会、pp.75-76、2008
54. 池島由華、道越真太郎、中村正寿、小林 裕、桑名秀明、宮本圭一、栗岡 均、大内富夫：初期火災時のフロートガラスの挙動に関する研究その2 放射加熱を受けるガラスの遮煙性能把握実験、日本建築学会学術講演会、pp.77-78、2008
55. 中村正寿、西村光太、大内富夫、栗岡均、宮本圭一、桑名秀明、小林裕、道越真太郎、池島由華：初期火災時のフロートガラスの挙動に関する研究その3 直火を受けるガラスの挙動、日本建築学会学術講演会、pp.79-80、2008
56. 西村光太、大内富夫、栗岡均、宮本圭一、桑名秀明、小林裕、道越真太郎、池島由華、中村正寿：初期火災時のフロートガラスの挙動に関する研究その4 直火

- を受けるガラスの遮煙性能把握実験、日本建築学会学術講演会、pp.81-82、2008
57. 中濱慎司、関沢愛、池畠由華、海老原学、野竹宏彰：超高層住宅を対象としたエレベータ利用避難に関する研究、日本建築学会学術講演会、pp.73-74、2008
  58. 野竹宏彰、田中哮義、山口純一、池畠由華：避難安全設計における許容リスクに関する研究 その1 住宅・共同住宅火災における出火および死傷者発生状況の統計的分析、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 50-51、2009.5
  59. 池畠由華、野竹宏彰、田中哮義、山口純一：避難安全設計における許容リスクに関する研究 その2 建物用途別の出火および死傷者発生状況の統計的分析、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 52-53、2009.5
  60. 岡田隆男、山本勝也、大宮喜文、吉野摂津子、山口純一、桑名秀明、萩原一郎、佐野友紀、池畠由華：警報パターン別の避難開始行動に関する実験的研究 その1 研究背景と実験概要、日本建築学会学術講演会、pp.1-2、2009
  61. 桑名秀明、岡田隆男、山本勝也、大宮喜文、吉野摂津子、山口純一、萩原一郎、佐野友紀、池畠由華：警報パターン別の避難開始行動に関する実験的研究 その2 単独避難時の対応行動に着目した観察分析、日本建築学会学術講演会、pp.3-4、2009
  62. 山本勝也、桑名秀明、岡田隆男、大宮喜文、吉野摂津子、山口純一、萩原一郎、佐野友紀、池畠由華：警報パターン別の避難開始行動に関する実験的研究 その3 複数避難時の対応行動に着目した観察分析、日本建築学会学術講演会、pp.5-6、2009
  63. 池畠由華、山本勝也、大宮喜文、吉野摂津子、岡田隆男、山口純一、桑名秀明、萩原一郎、佐野友紀：警報パターン別の避難開始行動に関する実験的研究 その4 対応行動に至るまでのプロセスに着目したヒアリング分析、日本建築学会学術講演会、pp.7-8、2009
  64. 吉野摂津子、山本勝也、桑名秀明、岡田隆男、大宮喜文、山口純一、萩原一郎、佐野友紀、池畠由華：警報パターン別の避難開始行動に関する実験的研究 その5 避難時の行動決定プロセスに着目した分析、日本建築学会学術講演会、pp.9-10、2009
  65. 仁井大策、山口純一、池畠由華、野竹宏彰、出口嘉一、抱憲誓、田中哮義：リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発 その1 フレームワークの概要、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 362-365、2010.5
  66. 野竹宏彰、池畠由華、山口純一、仁井大策、田中哮義：リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発 その2 統計データに基づく住宅・共同住宅の避難リスクの算出、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 366-369、2010.5
  67. 池畠由華、野竹宏彰、山口純一、仁井大策、田中哮義：リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発 その3 統計データに基づく用途別の避難リスクの算出、



日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 370-373、2010.5

68. 出口嘉一、抱憲誓、仁井大策、山口純一、池畠由華、野竹宏彰、田中哮義：リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発 その4 火災成長率 $\alpha$ の分布、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 374-377、2010.5
69. 山口純一、仁井大策、池畠由華、野竹宏彰、田中哮義：リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発 その5 オフィスビルのケーススタディ、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 378-381、2010.5
70. 山口純一、長岡勉、野竹宏彰、桑名秀明、池畠由華、高橋済、佐野友紀、萩原一郎：新しい避難安全検証手法の開発 その1 避難開始時間の設定方法、日本建築学会学術講演会、pp.287-290、2010
71. 池畠由華、山口純一、広田正之、竹市尚広、萩原一郎：新しい避難安全検証手法の開発 その2 居室避難における滞留解消時間の検討、日本建築学会学術講演会、pp.291-294、2010
72. 桑名秀明、佐野友紀、土屋伸一、池畠由華、野竹宏彰、吉野攝津子、新谷祐介、遠田敦、萩原一郎：新しい避難安全検証手法の開発 その3 災害時要援護者を考慮した評価法の検討、日本建築学会学術講演会、pp.295-298、2010
73. 山口純一、水落秀木、広田正之、長岡勉、池畠由華、桑名秀明、萩原一郎、野秋政希、大宮喜文：新しい避難安全検証手法の開発 その4 非火災室の煙流動性状計算法、仁井大策、日本建築学会学術講演会、pp.299-302、2010
74. 山本勝也、佐野友紀、桑名秀明、大宮喜文、岡田隆男、山口純一、吉野攝津子、池畠由華、萩原一郎：警報パターン別の避難開始行動に関する実験的研究 その6 確認行動、避難開始行動と警報の関係、日本建築学会学術講演会、pp.245-246、2010
75. 出口嘉一、野竹宏彰、抱憲誓、仁井大策、山口純一、池畠由華、田中哮義：リスクの概念に基づく避難安全設計法に関する研究 その1 事務室における設計火災成長率分布の提案、日本建築学会学術講演会、pp.363-364、2010
76. 野竹宏彰、出口嘉一、抱憲誓、仁井大策、山口純一、池畠由華、田中哮義：リスクの概念に基づく避難安全設計法に関する研究 その2 火災報告データに基づく室用途別の火災成長率分布の分析、日本建築学会学術講演会、pp.365-366、2010
77. Yuka IKEHATA, Hiroaki NOTAKE, Jun' ichi YAMAGUCHI, Takeyoshi TANAKA: Analysis of Fire Statistics for Establishing Benchmark Fire Risk for Evacuation Safety Designs of Buildings, 8th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Method, pp.85-96, 2010
78. Daisaku NII, Jun' ichi YAMAGUCHI, Hiroaki NOTAKE, Yuka IKEHATA, Takeyoshi TANAKA: Risk-Based Selection of Design Fire Scenarios in

Performance Based Evacuation Safety Designs of Buildings, 8th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Method, pp.97-108, 2010

79. Tanaka, T., Nii, D., Yamaguchi, J., Notake, H., Ikehata, Y.: Fire Sci. Tech.: The Risk-based Evacuation Safety Design Method and Its Practicability in the Safety Verification of Realistic Buildings, 8th Asia-Oceania Symp., Melbourne, 2010
80. 仁井大策、山口純一、池畠由華、出口嘉一、野竹宏彰、抱 憲誓、田中哮義：その 1 フレームワークの概要 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.331-334、 2011
81. 出口嘉一、野竹宏彰、山口純一、仁井大策、池畠由華、抱 憲誓、田中哮義：その 2 設計火源 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.335-338、 2011
82. 野竹宏彰、池畠由華、山口純一、仁井大策、出口嘉一、抱 憲誓、田中哮義：その 3 居室避難検証の免除 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.339-342、 2011
83. 山口純一、池畠由華、抱 憲誓、出口嘉一、仁井大策、野竹宏彰、田中哮義：その 4 階避難検証 リスクの概念に基づく避難安全設計法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.343-346、 2011
84. 池畠由華、坂本成弘、村上正浩、関沢 愛：高層建築物の階段避難を想定した群集合流実験、日本建築学会大会学術講演梗概集. A-2、 pp.211-212、 2011

## 謝辞

本研究をまとめるにあたり、京都大学 田中哮義教授には大変お世話になりました。心より感謝いたします。本研究に挑戦する機会をいただき、かつ短期間の間に論文をまとめることができましたのは、先生のご指導ご鞭撻の賜物であり、ここに厚く御礼申し上げます。また、京都大学 原田和典教授、神吉紀世子教授には、本研究をまとめるにあたり適切なお助言をいただきました。深く感謝申し上げます。

本研究は日本火災学会性能設計専門委員会で検討した内容を中心にまとめたものであり、本論文をまとめるにあたり、叱咤激励を繰り返し、惜しみない協力をしてくださいました(株)大林組技術研究所 山口純一氏には深甚の謝意を表します。また、清水建設(株)技術研究所 野竹宏彰氏、国土交通省国土技術政策総合研究所 仁井大策氏、(株)竹中工務店技術研究所 出口嘉一氏、鹿島建設(株)抱 憲誓氏には委員会での検討を通じて多大なるご助言をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

また、筆者が防火研究に携わり始めた当時から東京理科大学 関澤 愛教授には、筆者の研究に対する基礎的な能力向上にご指導、ご鞭撻をいただきました。心より御礼申し上げます。

スプリンクラー設備に関連した検討ではホーチキ(株)開発研究所 辻 利秀氏には度重なる問い合わせに対し、いつも懇切丁寧な説明をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。また、スプリンクラー設備の統計データの問い合わせに対し、快くデータの分析、提供をいただきました東京消防庁予防部調査課の方々にも深く感謝いたします。

筆者は1994年に大成建設に入社して以来、建築物の防災計画、避難計画に関する実務ならびに研究開発を始めることになりました。当時の上司でありました(株)音・環境研究所 笠原勲氏には長年にわたり、温かいご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。また、大野茂参与、森川泰成研究所長には防災研究を推進させるために熱心なご指導を賜りました。深く感謝いたします。また、土木営業本部 中村昌宏氏、設計本部 田口 晃氏、横手真一郎氏には、他部署にも関わらず、本研究内容を海外発表するための英語指導や建築計画に関するご指導、ご協力を賜りました。心より感謝いたします。また、長島一郎室長、小林 裕室長、坂本成弘室長、道越真太郎チームリーダーには海外発表などの支援や論文指導など多大なるご支援をいただきました。また、入社から現在に至るまで避難研究や設計業務などのご指導をいただいている設計本部 林 広明氏をはじめ、中濱慎司氏、馬場重彰氏、中村正寿氏、五十嵐さやか氏、加藤雅樹氏の火災チームの皆様には日常業務で様々なご助言、ご協力を賜りました。深く感謝申し上げます。

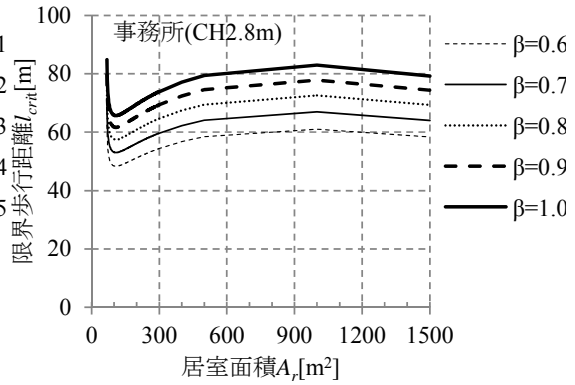
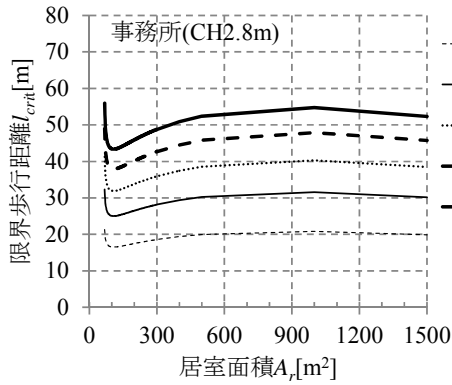
以上のように、数多くの方々の、ご指導、ご鞭撻をいただくことで本研究を行うことができました。皆様に心から感謝いたします。

参考資料

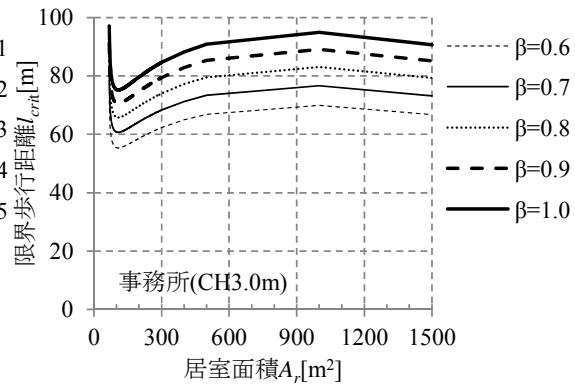
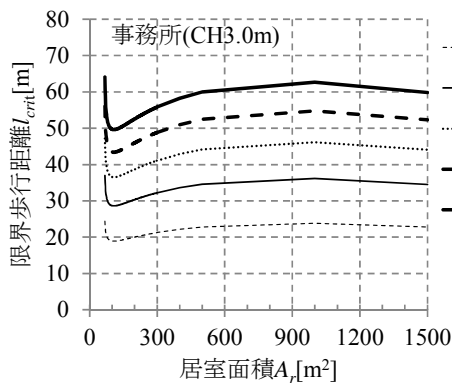
1. スプリンクラー設備無設置の室

(1) 限界歩行距離  $l_{crit}$

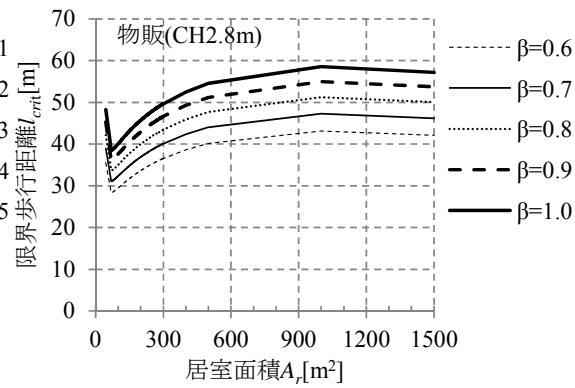
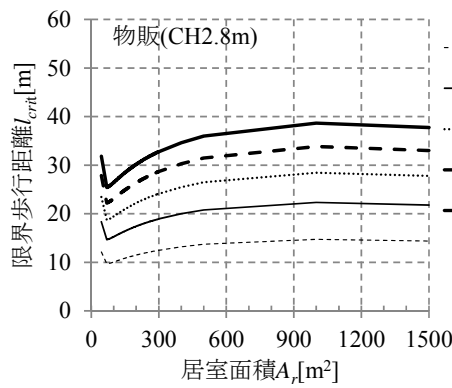
① 事務室 (CH2.8)



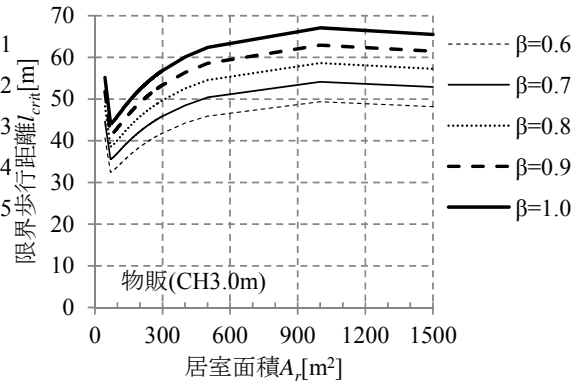
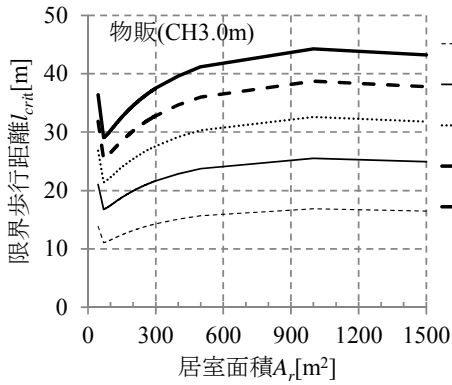
② 事務室 CH3.0



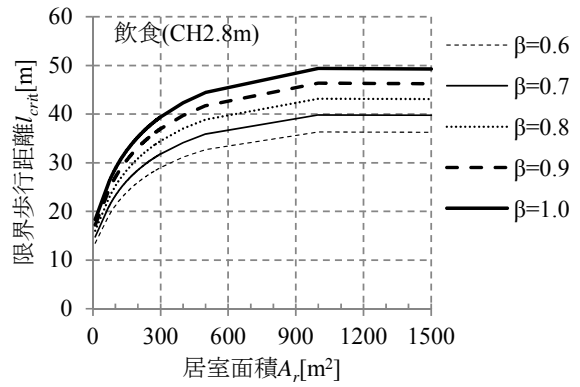
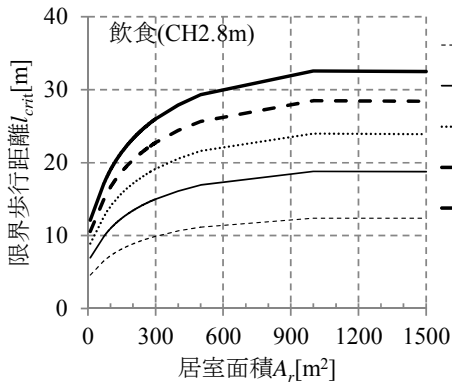
③ 物販店舗 (CH2.8)



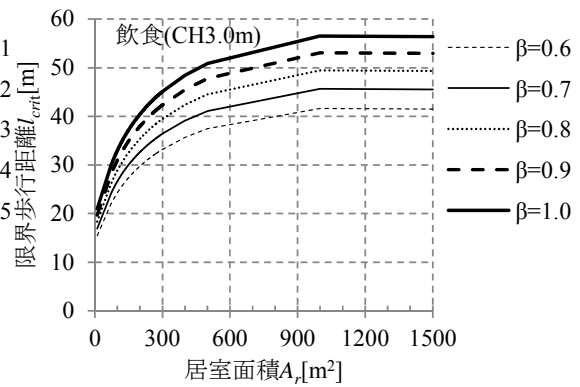
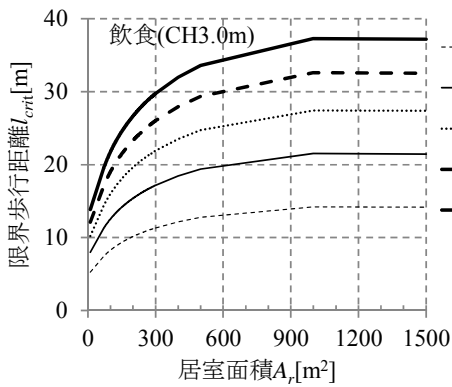
④物販店舖 (CH3.0)



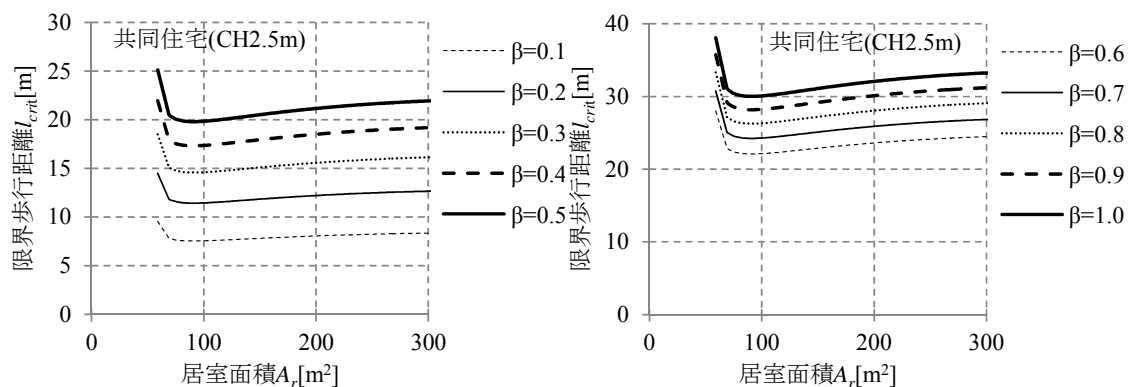
⑤飲食店舖 (CH2.8)



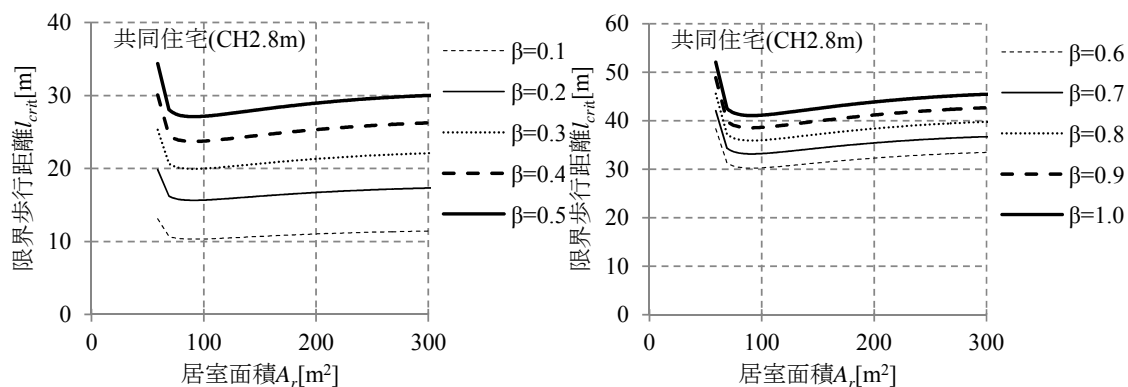
⑥飲食店舖 (CH3.0)



⑦ 共同住宅 (CH2.5)

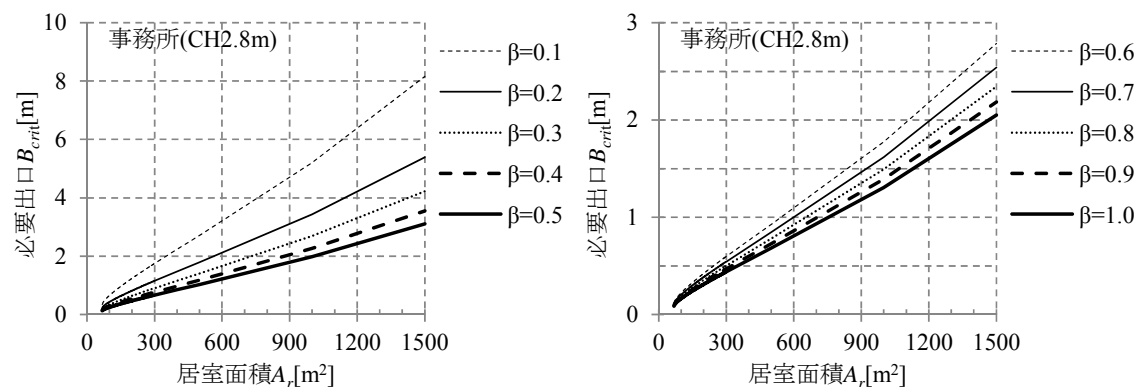


⑧ 共同住宅 (CH2.8)

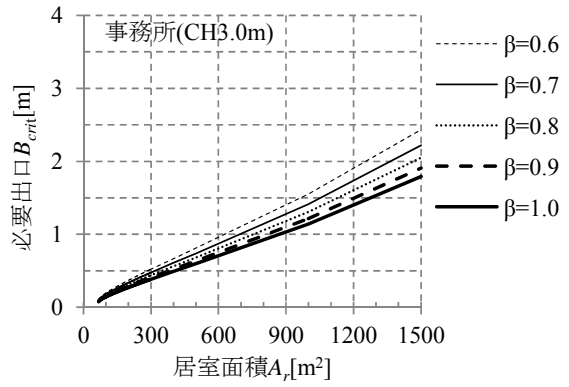
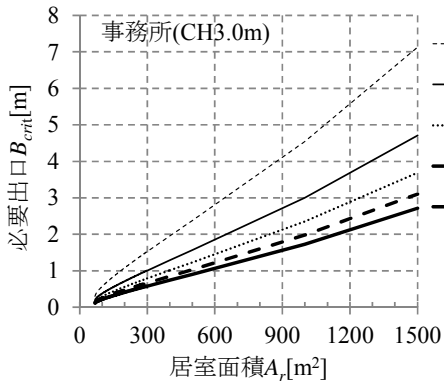


(2) 必要出口幅  $B_{crit}$

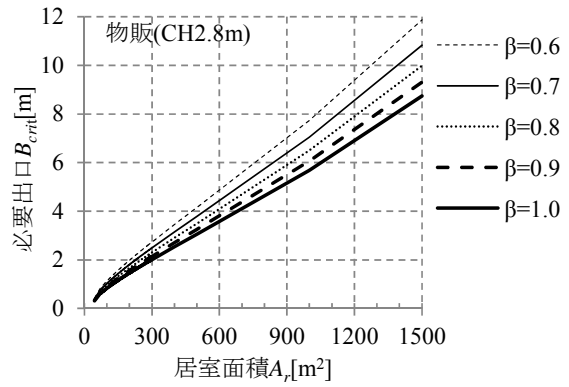
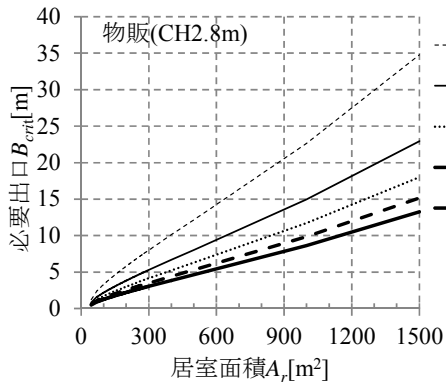
① 事務所 (CH2.8)



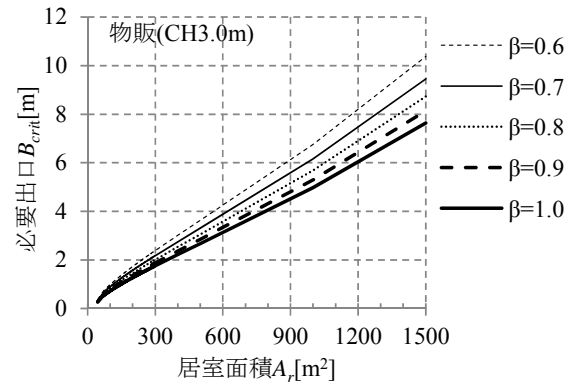
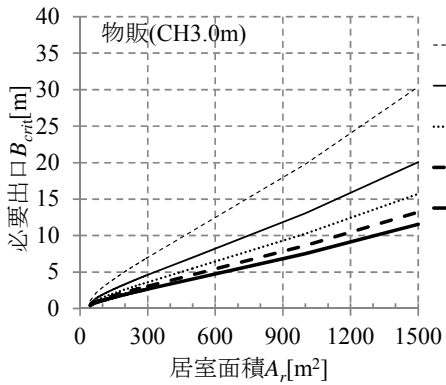
② 事務所 (CH3.0)



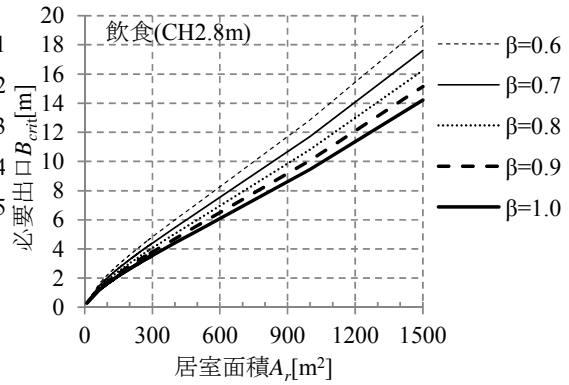
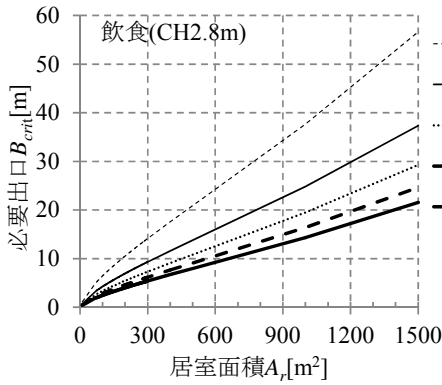
③ 物販 (CH2.8)



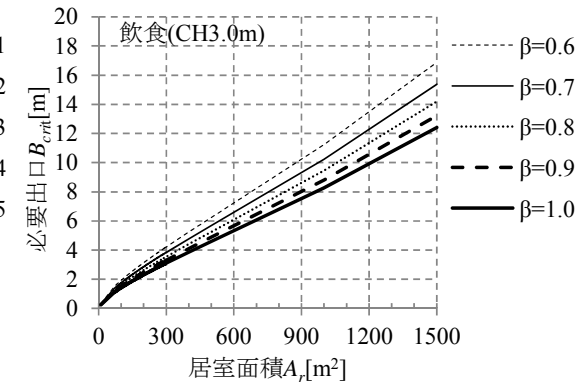
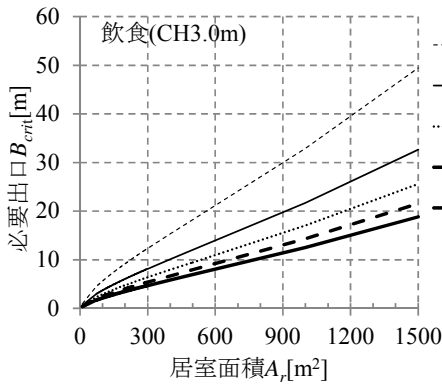
④ 物販 (CH3.0)



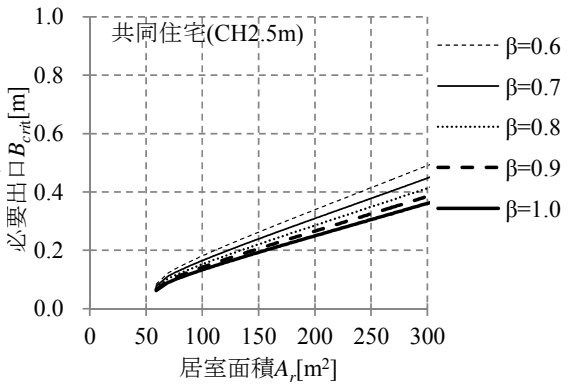
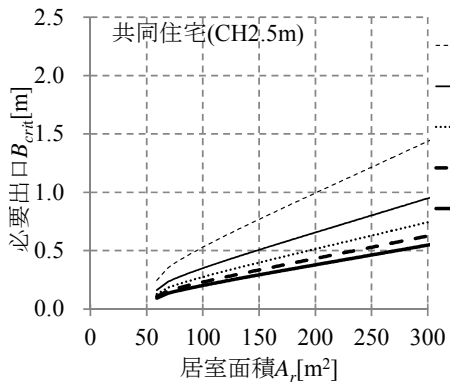
⑤ 飲食店舖 (CH2.8)



⑥ 飲食店舖 (CH3.0)

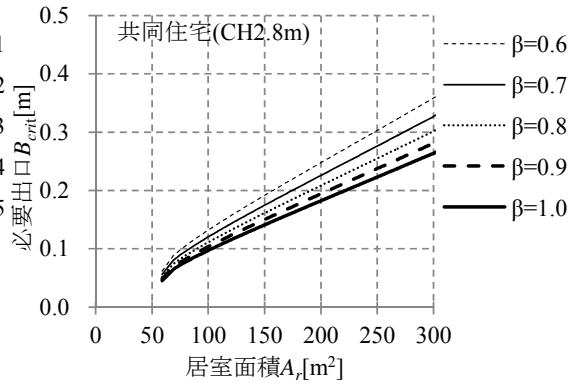
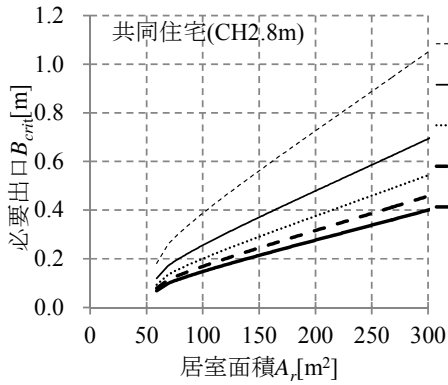


⑦ 共同住宅 (CH2.5)





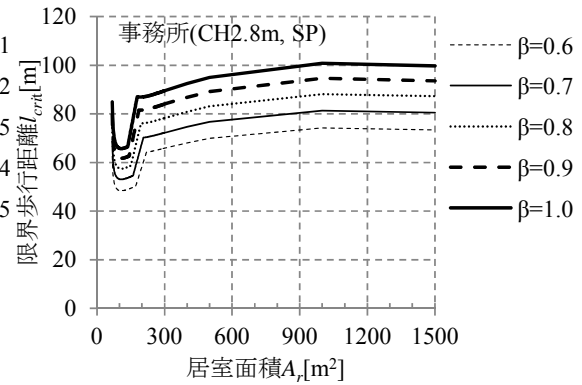
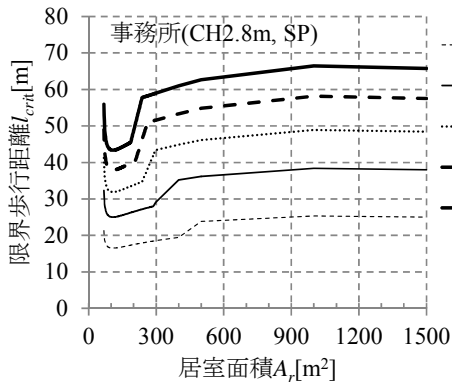
⑧共同住宅 (CH2.8)



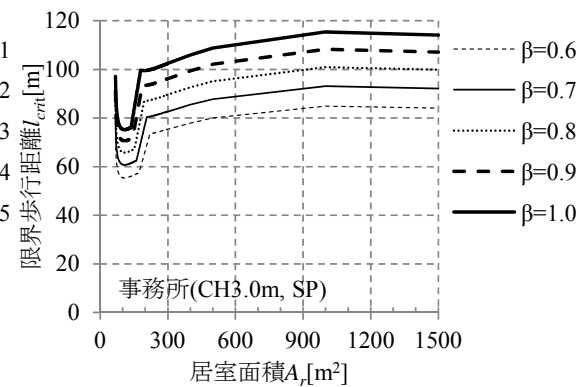
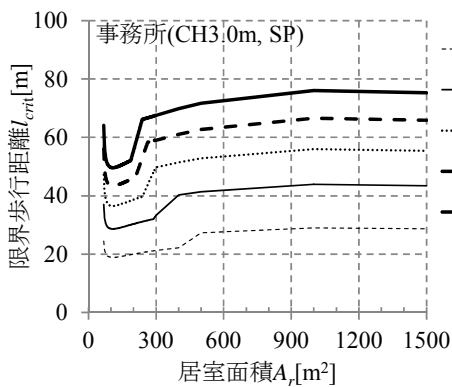
2. スプリンクラー設備が設置された室

(1) 限界歩行距離  $l_{crit}$

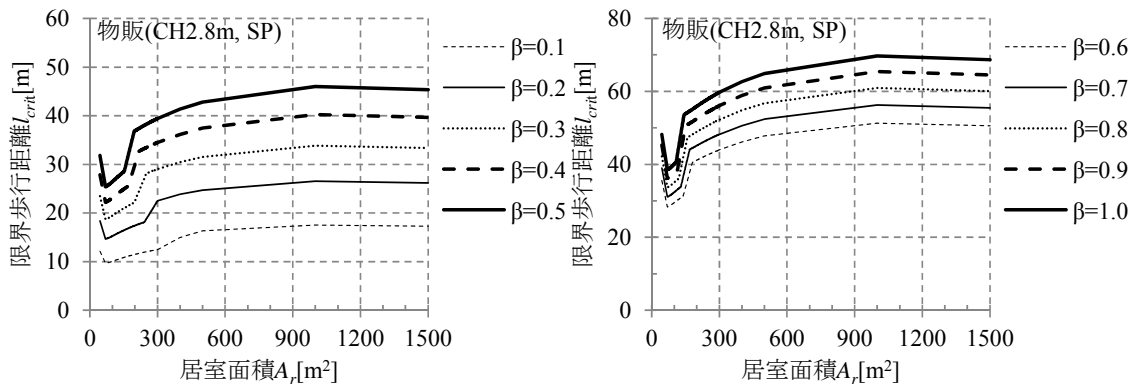
①事務室 (CH2.8)



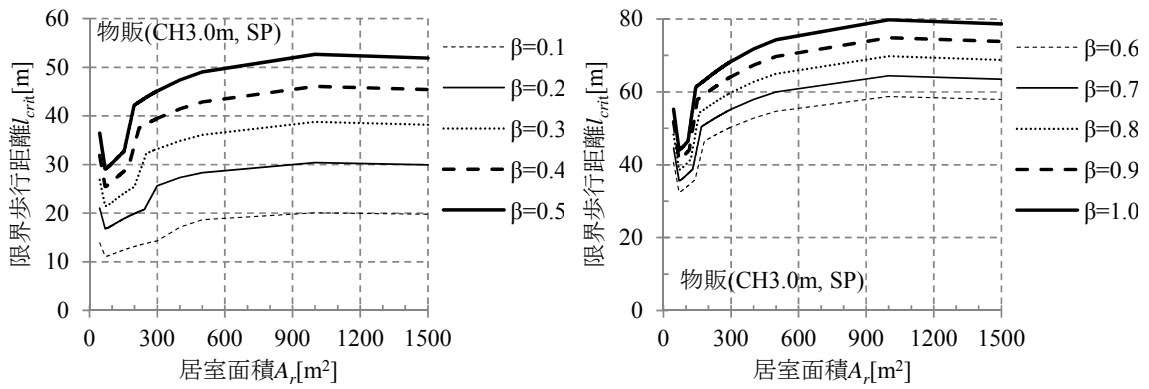
②事務室 CH3.0



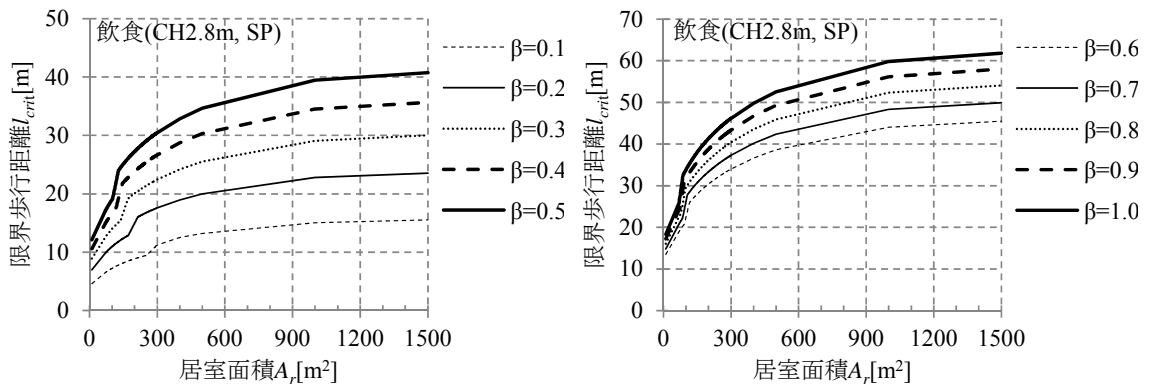
③物販店舖 (CH2.8)



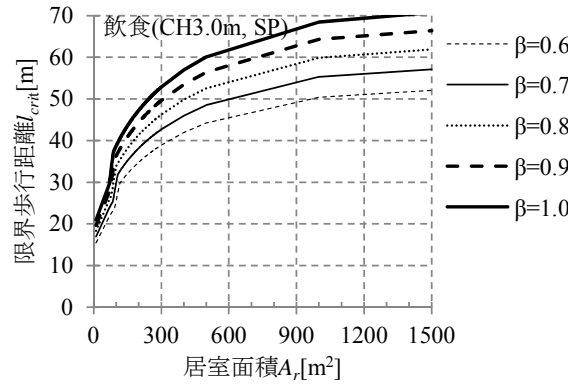
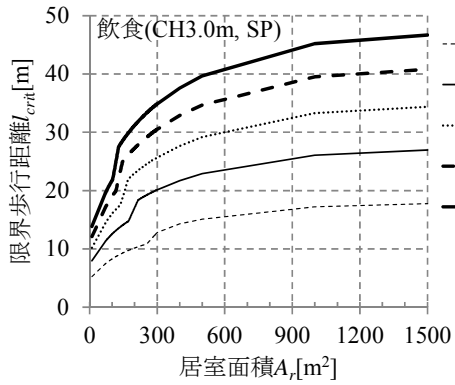
④物販店舖 (CH3.0)



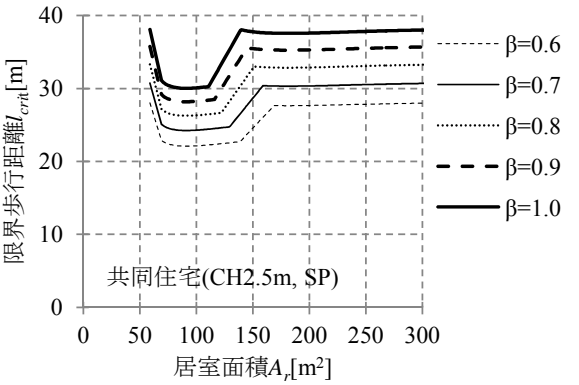
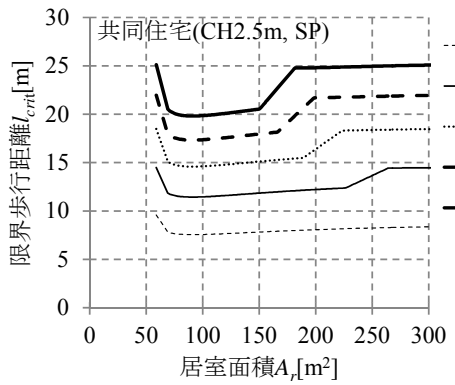
⑤飲食店舖 (CH2.8)



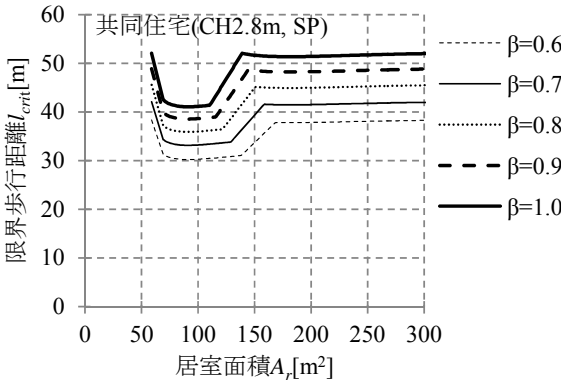
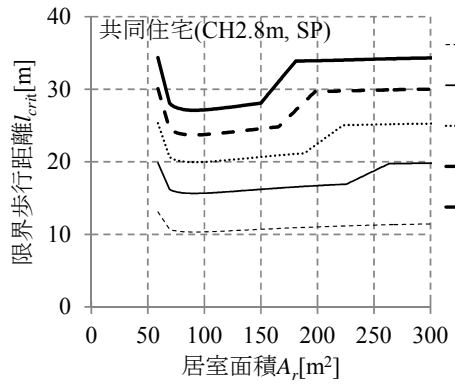
⑥ 飲食店舖 (CH3.0)



⑦ 共同住宅 (CH2.5)

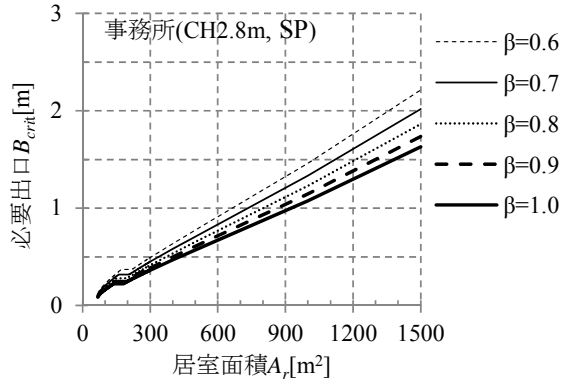
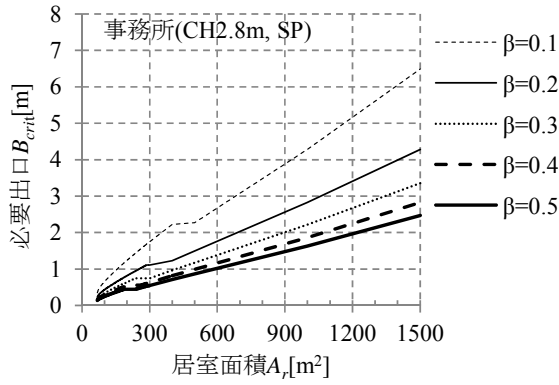


⑧ 共同住宅 (CH2.8)

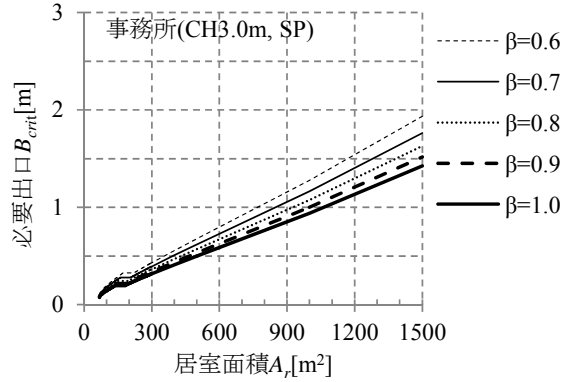
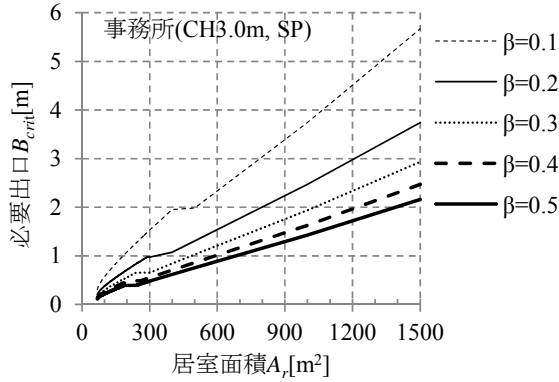


(2) 必要出口幅  $B_{crit}$

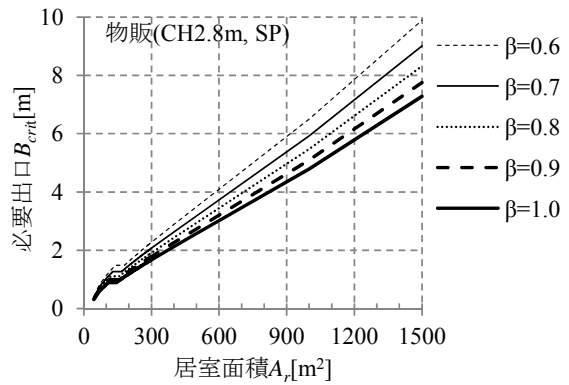
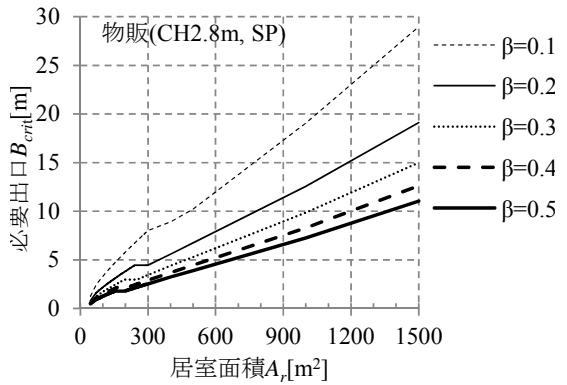
① 事務室 (CH2. 8)



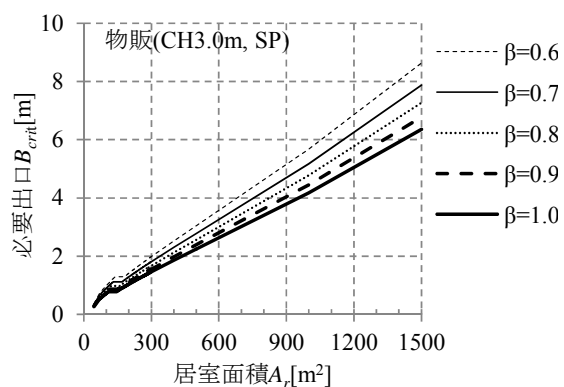
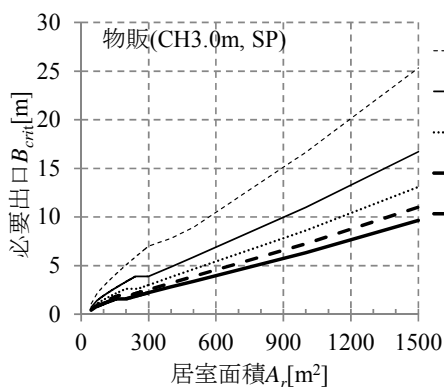
② 事務室 (CH3. 0)



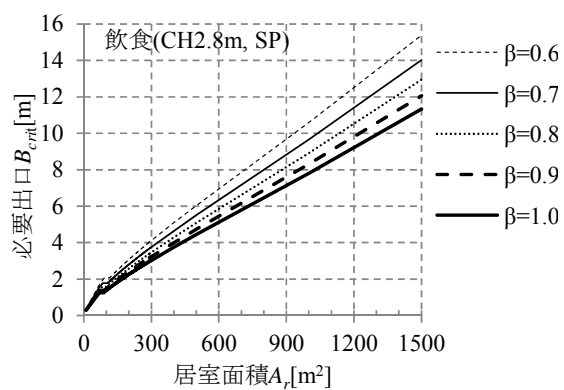
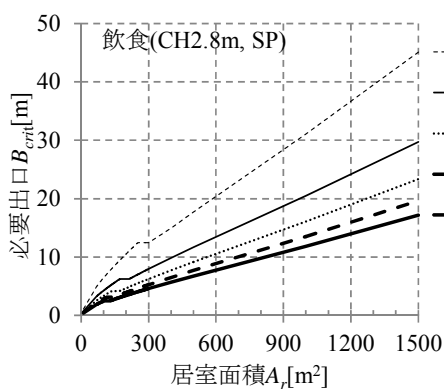
③ 物販 (CH2. 8)



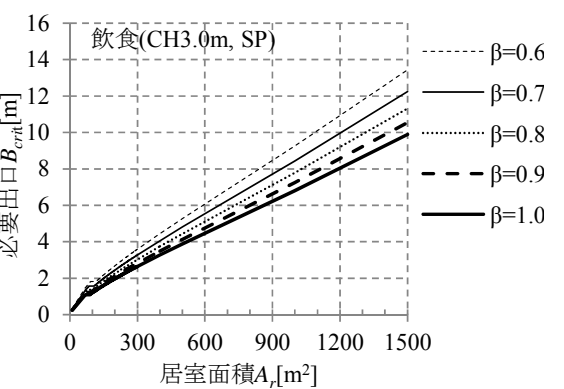
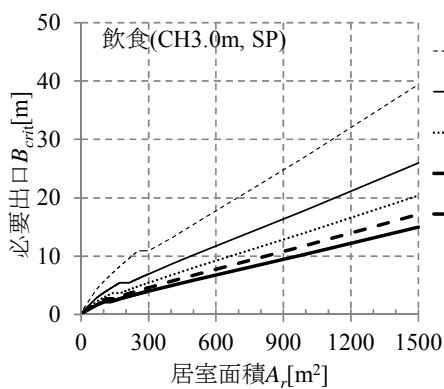
④物販(CH3.0)



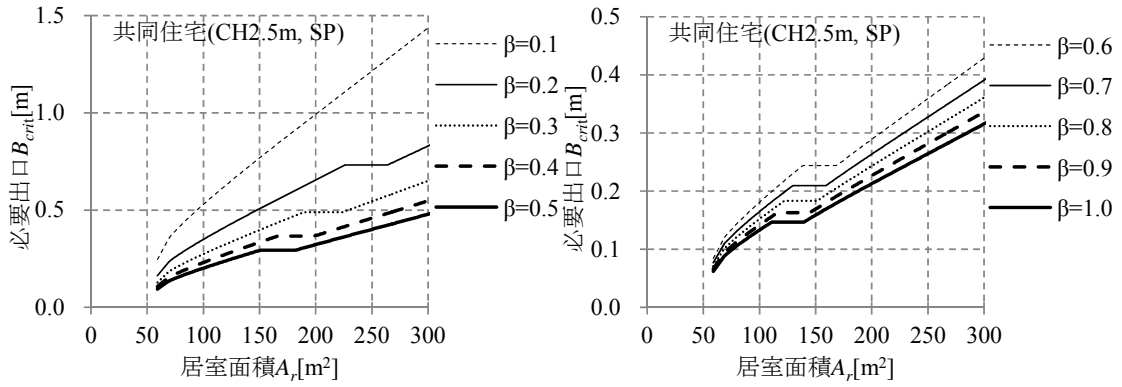
⑤飲食店舗(CH2.8)



⑥飲食店舗(CH3.0)



⑦共同住宅 (CH2.5)



⑧共同住宅 (CH2.8)

