

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：82115

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21040

研究課題名（和文）性能等級概念を導入した新しい防火設計フレームワークの構築

研究課題名（英文）Development of a novel framework for the fire safety design of buildings by introducing the risk concept into the performance ranking system

研究代表者

樋本 圭佑（Himoto, Keisuke）

国土技術政策総合研究所・建築研究部・主任研究官

研究者番号：90436527

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：建築物に対して建築基準法が要求する防火性能は、生命保護等の観点から必要とみなされる最低限の水準に留められている。このため同法を遵守することは、必ずしも大きな火災被害の発生防止を保証しない。これまでも、性能を指標化し、より高度なものへの誘導を試みる例はあった。こうした枠組みでは、評価項目ごとの条件適合度をチェックシート評価方式で評価し、その結果を建築物の性能に換算することが多い。手続きは簡便となる一方で、評価項目同士の関連性が曖昧で、評価軸の数量化や評価結果の解釈が難しい。そこで本研究では、総合的なリスク評価を活用した、防火性能指標の合理化の枠組みについて検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会全体の建築物の質の向上を図るには、高い性能を確保する利点を分かりやすい指標で示すことで、より高い性能の選択を促す必要がある。そこで本研究では、総合的なリスク評価の結果を性能指標に換算する枠組みを構築することで、評価結果の合理性を担保しつつ、出火防止性能、避難安全性能、倒壊防止性能などといった防火機能上の特徴を捉えた評価を行えるようにした。

研究成果の概要（英文）：Compatibility of fire safety design specification of buildings to the requirement by the Building Standard Law (BSL) does not necessarily guarantee the avoidance of large fire loss occurrences. Development of a performance ranking framework is necessary for inducing buildings to maintain the fire safety performance higher than the level required by the BSL. In this study, we developed a novel framework for evaluating the fire safety performance of buildings by introducing the risk concept into the performance ranking system.

研究分野：火災安全工学

キーワード：防火設計 性能指標 火災安全工学 火災リスク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

従来、建築物の防火設計においては、経験的に設定された単一の火災外力の下で、設計対象建築物の安全性を検証する枠組みを採用してきた。こうした枠組み(防火設計フレームワーク)は、建築基準法により示される「最低限確保すべき水準」を満たしていることを確認する上では有効であるが、基本的に、これを上回る防火性能を位置づけることができない。

2. 研究の目的

建築物に対して建築基準法が要求する防火性能は、生命保護等の観点から必要とみなされる最低限の水準に留められている。このため同法を遵守することは、必ずしも大きな火災被害の発生防止を保証しない。これまでも、性能を指標化し、より高度なものへの誘導を試みる例はあった。こうした枠組みでは、評価項目ごとの条件適合度をチェックシート評価方式で評価し、その結果を建築物の性能に換算することが多い。手続きは簡便となる一方で、評価項目同士の関連性が曖昧で、評価軸の数量化や評価結果の解釈が難しい。そこで本研究では、総合的なリスク評価を活用した、防火性能指標の合理化の枠組みについて検討した。

3. 研究の方法

一般に、建築物の防火性能は、避難安全、倒壊防止、延焼防止等の複数の目標性能に分けて整理される。これまでに導入が進められてきたリスク評価の枠組みでは、このうち特定の目標性能を対象とすることが一般的であった。すなわち、個々の目標性能の評価に適した想定火災シナリオの下、設計火源に対する建築物あるいは在館者の安全が確保されていることをもって性能の有無を確認してきた。これに対し、本研究では、単一の火源から生じうる被害形態を網羅的に評価した上で、その結果を関連する目標性能の評価に反映させる方式を採用する。このように単一の火源の下での結果を利用することで、目標性能同士の位置付けの相対化が可能となる。

本研究で想定するイベントツリーを図1に示す。ここでは、建物を構成する防火区画の一つで生じうる火災シナリオを、8つの確率的事象の組み合わせにより、22通りに分類した。防火区画で生じる被害は、他の防火区画からは独立していると仮定している。ただし、隣接する防火区画からの煙の進入は、隣接区画において火災が成長した場合に、また、同じく火災の進入は、さらに界壁が突破された場合に生じるものとする。以上により、建物内部の火災の影響の拡大を考慮している。

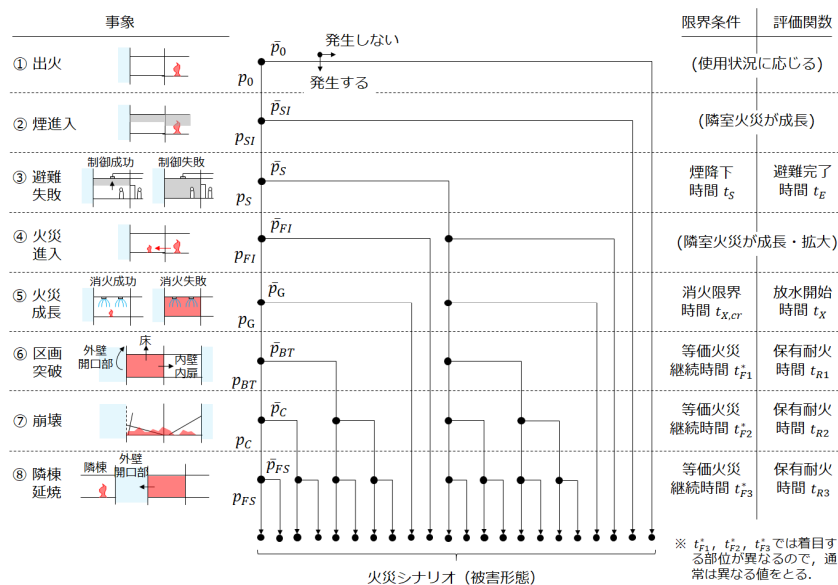


図1 防火区画ごとの火災進展に着目したイベントツリー

各事象の発生確率は、いくつかの例外を除き、境界条件と評価関数の大小関係に応じて評価する。例えば、事象③の避難失敗確率 p_S は、避難完了時間 t_E (評価関数)が限界煙降下時間 t_S (境界条件)を上回る確率として、次のように表すことができる。

$$p_S = P[t_E > t_S] \tag{1}$$

確率変数である t_E , t_S に、建築物で採用される防火設計仕様および在館者行動の特徴を反映させ

れば、それらがどの程度性能向上に寄与しているのかを測ることができる。本研究では、次のように t_E , t_S を計算する。

$$t_E = \max_k \left[\frac{\sqrt{A_k}}{30} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{v} + \frac{\rho_k A_k}{N_i B_i} \right) \right] \quad (\text{分}) \quad (2)$$

$$t_S = \frac{1}{60} \left\{ \frac{5A}{2} \left(\frac{1/H_{Cr}^{2/3} - 1/H^{2/3}}{0.08(\alpha_f + \alpha_m)^{1/3}} \right) \right\}^{3/5} \quad (\text{分}) \quad (3)$$

ここで、 A は室面積、 l は歩行距離、 v は歩行速度、 ρ は在館者密度、 N は有効流動係数、 B は扉幅、 H は天井高さ、 H_{Cr} は避難限界高さ、 α_f と α_m はそれぞれ収納可燃物と内装材の火災成長率である（このうち α_f については、消防庁火災報告データを分析することで、図2に示す用途ごとの値を算出した）。また、 k は避難時に当該区画を通過する在館者が火災発生時に居た防火区画、 i は k に居た在館者が当該区画に至るまでに経由する防火区画である。一般に、 t_E , t_S の分布は既知の確率分布で近似できるとは限らない。そこで、FOSM法を用いることで、統計量に応じた p_S の評価を行う。

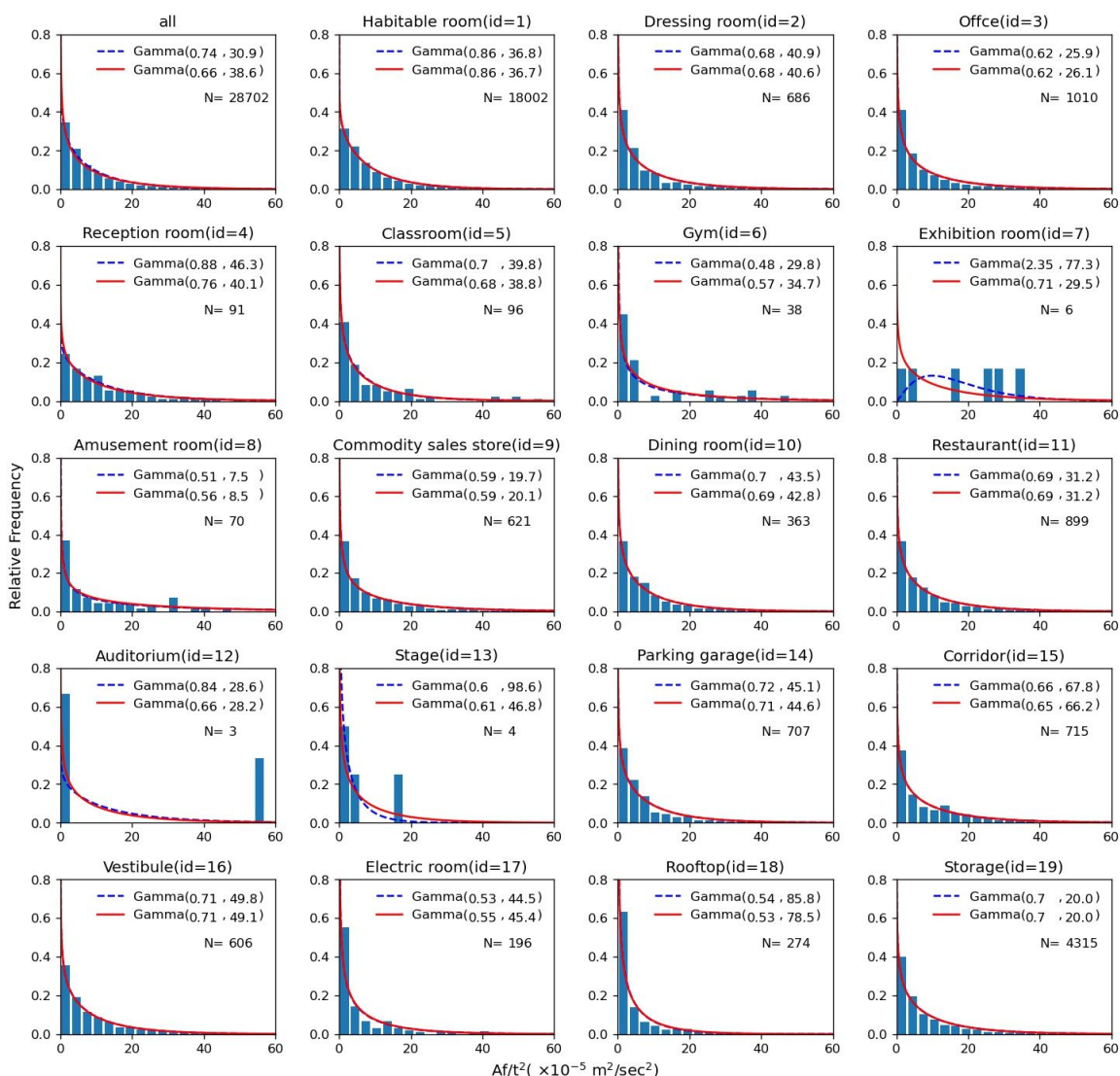


図2 火災報告データを利用した火災成長率の推定結果

建築物の防火性能を構成する目標性能の内訳は必ずしも定まっていないが、本研究では表1に示す7つに着目する。これらを適切な被害指標 L （被害量または被害発生確率）に結びつけることで、リスク評価の結果を目標性能の評価に利用できるようにする。一般に、被害指標 L は目標性能の逆指標となる。そこで、次に示すように、被害量 L の逆数を基準条件における被害量 L_0 の逆数で正規化した値を性能指標 F として定義する。

$$F_i = \frac{1/L_i}{1/L_{0,i}} \quad (i = 1, \dots, 7) \quad (4)$$

表 1 には、各目標性能の評価に適した被害指標 L の例を挙げている。7つの目標性能の性質は異なっているが、共通のイベントツリーに関連付けられることによって、目標性能同士の関係性はより明示的になっている。

表 1 目標性能と被害指標の例

目標性能	F 値	被害指標 L の例
出火防止性能	F_1	出火確率
避難安全性能	F_2	避難不能者数, 避難失敗確率
火災成長防止性能	F_3	火災成長確率
倒壊防止性能	F_4	崩壊部分面積, 崩壊確率
延焼防止性能	F_5	延焼棟数, 延焼確率
消防活動支援性能	F_6	消火失敗確率
機能維持性能	F_7	改修工事費, 復旧日数

4. 研究成果

性能指標 F の特徴を調べるため、図 3 に示す S 造、3 階建て、延床面積 3,168 m²の事務所建築物を対象とするケーススタディを行った。ここでは、表 2 に示す 3 項目の防火仕様（主要構造部の耐火時間 t_R (RS)、スプリンクラー設備の設置 (SP)、室 D の区画化 (C)) に着目し、これらの組み合わせに応じた性能指標 F の変化を調べた。ただし評価対象は、現時点で防火仕様の効果を反映可能な 4 つの目標性能（倒壊防止性能 F_3 、延焼防止性能 F_4 、避難安全性能 F_5 、機能継続性能 F_7 ）である。各性能指標 F の計算には、表 1 に囲み線で示した被害指標 L を採用した。計算結果を図 4 に示す。基本案 (O) に対して、改良案の各目標性能は全般的に高く評価されたが、ばらつきも見られた。防火仕様の組み合わせと F 値の関係は、倒壊防止性能 F_3 、延焼防止性能 F_4 、機能継続性能 F_7 で類似していた。これに対し、避難安全性能 F_5 の傾向は異なっていた。 F_5 値は主要構造部の強化 (RS) では変化しなかったものの、スプリンクラー設備の設置 (SP) および区画化 (C) で向上した。このうち、区画化 (C) については、室 D が分割されることによって覚知時間と歩行時間が短縮されたことが、避難完了時間 t_E の短縮につながった。ただし、避難出口の通過時間が t_E に占める割合が小さくない場合が多いことを考慮すれば、一般には、区画化 (C) による F_5 値の改良効果は限定的なものに留まることが予想される。

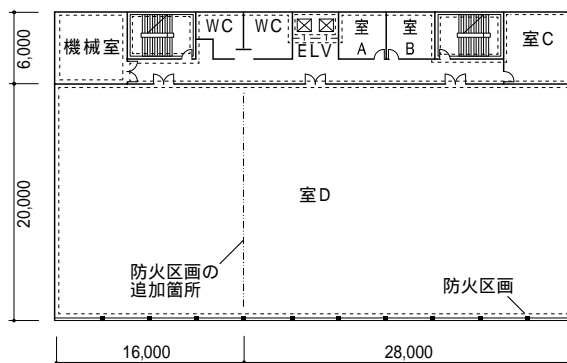


図 3 対象建築物の基準階平面図

表 2 計算条件

条件	項目	基本案(O)	改良案
RS	耐火時間 t_R	主要構造部	60 分
		外窓	20 分
SP	スプリンクラー設備	なし	あり
C	室 D の防火区画分割数	1	2

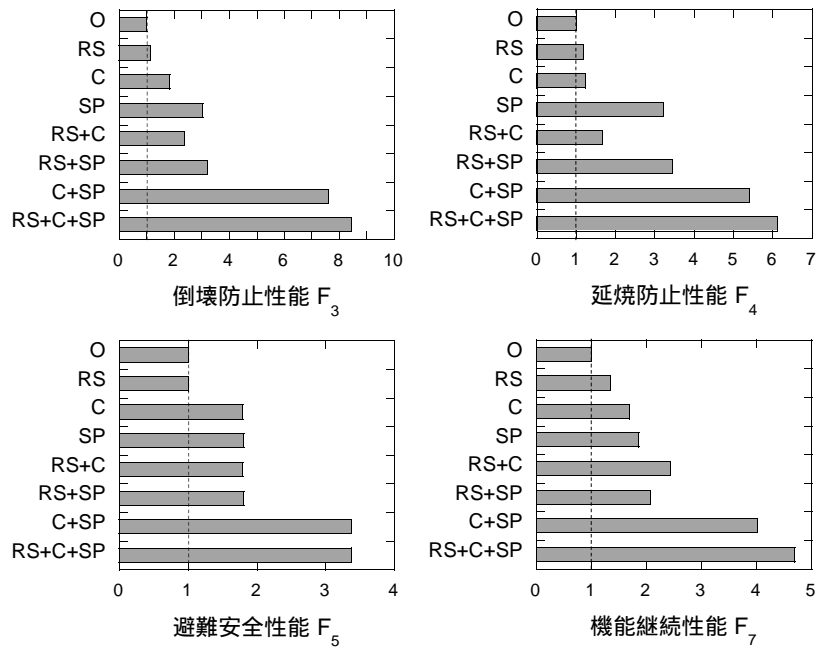


図4 性能指標 F の計算結果

本研究では、評価軸の数量化や評価結果の解釈の行いやすさに配慮した性能指標 F の評価の枠組みを提示した。ただし、本稿で示した事象発生確率 p や性能指標 F の計算方法は検討の途上にある。今後、より合理的な性能指標 F の評価につながるよう改良を進める。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 出口嘉一・樋本圭佑
2. 発表標題 階層ベイズモデルを用いた火災成長率 の分布の推定
3. 学会等名 日本建築学会大会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 樋本圭佑
2. 発表標題 防火性能指標の合理化のための総合的なリスク評価の活用
3. 学会等名 日本建築学会大会（北海道）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Deguchi Y, Himoto K
2. 発表標題 Hierarchical Bayesian estimation of fire growth rate for various building usages based on the fire incidents report
3. 学会等名 PSAM 16（国際学会）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	出口 嘉一 (Deguchi Yoshikazu) (90398818)	国立研究開発法人建築研究所・防火研究グループ・主任研究員 (82113)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------