京都大学防災研究所年報 第 63 号 A
DPRI Annuals, No. 63 A, 2020

建築物の竪穴の区画化による火災リスクの制御
－京都アニメーション第一スタジオ放火火災からの一教訓－

Designing Staircases as Fire Compartments for Building Fire Risk Control:
A Lesson Learned from the Kyoto Animation Office Arson Fire

西野智研

Tomoaki NISHINO

Synopsis

This paper presents a formulation and a quantitative assessment of building fire risk to note a lesson learned from the Kyoto Animation office fire that was caused by arson in 2019 and resulted in 36 deaths; that is, the importance of designing staircases as fire compartments to protect occupants from smoke at an early stage of fire.

キーワード: 建築火災安全設計，竪穴区画，火災リスク，建築基準法
Keywords: building fire safety design, compartment, fire risk, building standard law

1. はじめに

2019年7月18日に京都アニメーション第一スタジオで発生した放火による火災は，死者36名・負傷者33名という甚大な被害をもたらした（京都市会総務消防委員会，2019）．地上3階建て・延床面積691m^{2}の当該建物には，1階から3階に続く吹き抜けのらせん階段が玄関の近くに設置されていた．このらせん階段の下部にガソリンがまかれ放火されたことにより，煙がらせん階段を通って上階に急速に拡散し，在館者の避難を困難なものにしたと推測されている（西野，2019）．また，建物の西側にも1階から屋上に続く屋内階段が設置されていたが，階段扉はついていなかったと見られており，屋内階段も早期に煙に汚染されて有効な避難経路とならなかった可能性が指摘されている（西野，2019）．

建築基準法では，主要構造部が準耐火構造で3階以上の階に居室を有する建物には，階段や吹き抜けを一定の性能を有する壁や扉で囲う「竪穴区画」の設置が要求される（正確な規定は法律を確認のこと）．しかし，当該建物の用途やその地域が防火地域・準防火地域に指定されていなかったことを考えると，当該建物は竪穴区画の設置対象ではなかったと考えられる．とは言え，両階段に区画がなかったことが防火上の弱点となり，放火という絶対に許されない行為に巻き込まれ，大規模な人的被害の発生につながった可能性は否定できない．また，通常の失火による火災でも類似の被害が発生した可能性もある．

本稿では，京都アニメーション放火火災の実態や分析結果の詳細は他の文献（例えば，西野，2019；京都市会総務消防委員会，2019）に譲ることとし，本火災で改めて浮き彫りになった竪穴区画の重要性を火災リスクの観点から定量的に説明する．具体的には，まず，放火ではなく失火による火災（通常の火災）を想定し，建物の火災リスクを竪穴区画の有無に応じて定式化した．次に，建築基準法の下で竪穴区画の設置が要求されない用途・規模の建物を対象に，火災リスクを評価した．最後に，通常の火災についての火災リスクを放火火災についてのそれに拡張し，竪穴区画が放火に対してもリスク軽減に有効であるのかを調べた．

2. 建築火災時の竪穴区画の有効性

Fig. 1に，建築火災時の竪穴区画の有効性に関する基本的な考え方を示す．本稿では，通常の失火による火災は居室で発生し，放火による火災は避難経路である階段で発生するものとして扱う．また，竪穴

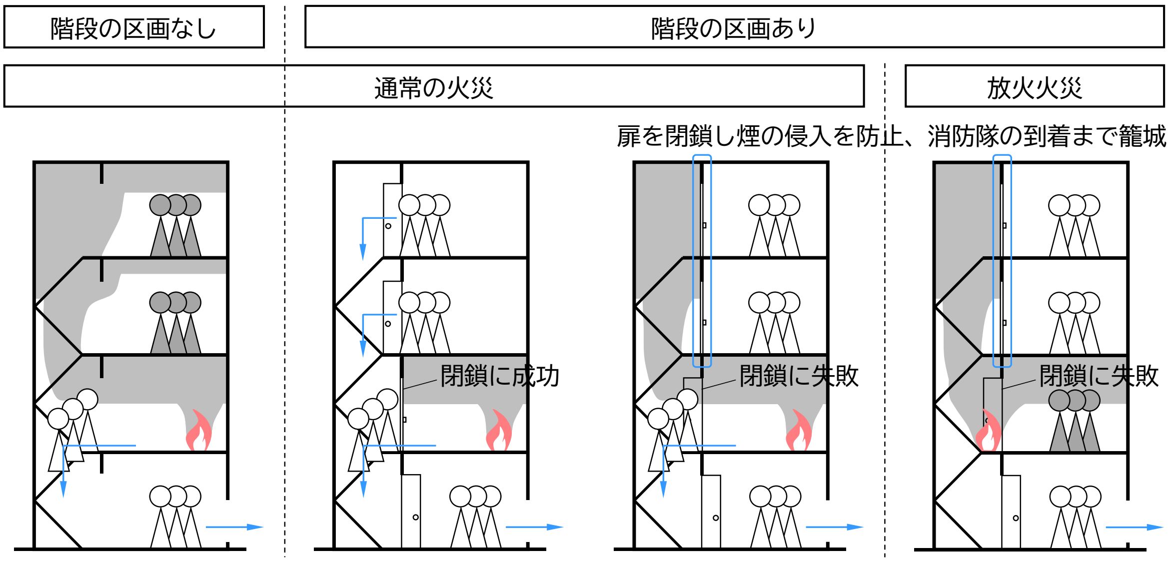

Fig. 1 Conceptual diagram for the effectiveness of staircases that are designed as fire compartments to protect occupants from smoke at an early stage of fire.

区画は階段や吹き抜けを一定の性能を有する壁や扉で囲うことを言うが，「避難経路となる階段の区画の有無」に焦点を絞り，その他の吹き抜けの存在は考えない．Fig. 1に示すように，通常の火災を考えた時には，階段の区画がなければ，煙が階段に流入することによって，火災階より上の階にいる在館者は階段を通って屋外に避難することができない．また，煙は階段を経由して上の階に拡散し，在館者は煙の影響を受けることになる．これに対し，階段の区画があれば，火災階の階段扉が閉鎖することによって，煙が階段に流入するのを防止できるため，火災階より上の階にいる在館者は階段を通って屋外に避難することができる．また，火災階の階段扉が閉鎖しなかったとしても，上階の階段扉が閉まることによって，消防隊が到着するまで籠城できる可能性がある．また，階段に放火された時でも，階段の区画があれば，上階の階段扉が閉まることによって，消防隊が到着するまで籠城できる可能性がある．本稿での火災リスクは，このような考え方に基づいて定式化される．

3. 建築物の通常火災リスク

3.1 定式化

Fig. 2に示すような階数 n，延床面積 A_F の仮想の建物のある階で失火により火災が発生する状況を考える．片方の建物では各階が扉のない階段でつながっており，もう片方の建物では各階が遮煙性能を有する扉のついた階段でつながっている．一般的に，防火関連設備の信頼性は100%ではないため，設備の作動の有無や奏功の可否に応じて複数の火災シナリオが考えられる．ここでは，建物の火災リスク R を各シナリオの生起確率と各シナリオで生じる死傷者数の積の和，すなわち，一棟の建物で一年の間に想定される火災による死傷者数の期待値として，次式で定義する．

$$R = \sum_{i=1}^{n_s} P_i L_i \tag{1}$$

ここに，i は火災シナリオの識別記号，n_s は火災シナリオの数，P_i は火災シナリオ i の生起確率，L_i は火災シナリオ i で生じる死傷者数である．

階段に区画のない建物については，火災が発生する階を不確定要因とみなし，火災階の違いによって階数 n の分だけ存在する火災シナリオを考慮する．死傷者については，火災階より上の階にいる在館者が死傷するものとして扱う．このとき，階段に区画のない建物の火災リスク R_K は，建物の用途を K として，次式で与えられる．

$$R_K = \frac{p_{ig}(K) A_F}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{(n-i)\rho(K) A_F}{n} = \frac{p_{ig}(K)\rho(K) A_F^2}{2}\left(1-\frac{1}{n}\right) \tag{2}$$

ここに，$p_{ig}(K)$ は用途 K における一年間の単位面積あたりの失火による成長火災の出火率，$\rho(K)$ は用途 K における単位面積あたりの在館者数（在館者密度）である．なお，$p_{ig}(K) A_F / n$ は一年間の階あたりの失火による成長火災の出火率，$(n-i)\rho(K) A_F / n$ は火災階より上の階にいる在館者の数を表す．

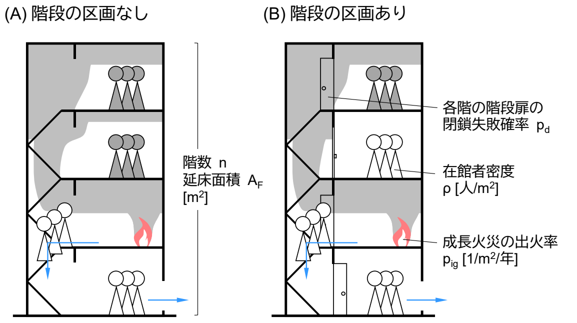

Fig. 2 Hypothetical buildings considered in the formulation of normal fire risk.

階段に区画のある建物については，火災が発生する階に加え，各階の階段扉の閉鎖を不確定要因とみなし，火災階の違いと階段扉の閉鎖成功・失敗の組み合わせからなる複数のシナリオを考慮する．死傷者については，火災階より上の階にいる在館者のうち階段扉の閉鎖に失敗した階の在館者が死傷するものとして扱う．このとき，階段に区画のある建物の火災リスク R_K は，各階の階段扉の閉鎖失敗確率を p_d として，次式で与えられる．

$$R_K = \frac{p_{ig}(K)\,p_d\,\rho(K)A_F^2}{2}\left(1-\frac{1}{n}\right) \tag{3}$$

なお，$p_d = 1$ の時（階段扉が確実に閉まらない時）の火災リスクは，階段に区画のない建物の火災リスクと同義である．

一棟の建物で一年の間に火災が発生する確率は非常に小さいため，基準となる建物を設定して火災リスクを相対的に評価する方が火災安全性能の優劣を実感しやすい．基準建物の火災リスク R_S は，その用途を S として，次式で与えられる（野竹ら，2011）．

$$\begin{aligned} R_S &= \left(p_{ig}(S)A_S\right)\cdot\left(\phi_{cas}(S)\rho(S)A_S\right) \\ &= p_{ig}(S)\rho(S)\phi_{cas}(S)A_S^2 \end{aligned} \tag{4}$$

ここに，$\phi_{cas}(S)$ は用途 S における成長火災1件あたりの死傷者発生率，A_S は基準建物の延床面積である．

したがって，階段に区画のある建物の基準建物に対する相対火災リスク R^* は，次式で与えられる．

$$\begin{aligned} R^* &= \frac{R_K}{R_S} \\ &= \frac{p_d}{2\phi_{cas}(S)}\left(1-\frac{1}{n}\right)\left(\frac{p_{ig}(K)}{p_{ig}(S)}\right)\left(\frac{\rho(K)}{\rho(S)}\right)\left(\frac{A_F}{A_S}\right)^2 \end{aligned} \tag{5}$$

なお，$p_d = 1$ とすれば，階段に区画のない建物の基準建物に対する相対火災リスクと同義である．

本稿では，基準建物に平均的な戸建て住宅を採用する．平均的な戸建て住宅を基準建物に採用する理由は，①戸建て住宅が統計的に火災リスクを算出可能な用途であること（野竹ら，2011），②戸建て住宅の多くは低層の建物であり，一般的に住宅用火災警報器を除けば防火対策がほとんど講じられていないため，平均的な戸建て住宅を基準にすることで，「ほとんど対策が講じられていない一般的な建物に比べて何倍程度の火災リスクを有しているのか」という観点で評価ができること，である．

3.2　事務所を対象にした評価

建築基準法の下で竪穴区画の設置が要求されない用途・規模の建物を対象に，火災リスクの評価を行う．具体的には，①事務所のような特殊建築物ではない用途で，防火地域・準防火地域に指定されていない地域では，屋内避難階段・特別避難階段以外の階段や吹き抜けを区画せずに大規模な建物を建築できること，②準防火地域に指定されている地域で準耐火建築物の制限がかかる場合（3階建て以下，1500m²以下）でも，ロ準耐火建築物（外壁が耐火構造や主要構造部が不燃材料）であれば，階段や吹き抜けを区画せずに建築できること，を考慮し，2～4階建て，延床面積100～1500m²の事務所を対象に火災リスクを評価する．

Fig. 3に平均的な戸建て住宅を基準とした事務所の相対火災リスクの評価結果を示す．各用途の出火率には，火災報告データ等の統計データを用いて算出された野竹ら（2011）の値を，各用途の在館者密度には，平成12年建設省告示第1442号に示された住宅の居室と事務室の在館者密度の値を用いた．成長火災1件あたりの死傷者発生率は，野竹ら（2011）の分析結果から，0.14に設定した．平均的な戸建て住宅の延床面積は，住宅・土地統計調査（2003年）における戸建と長屋建を合算した延床面積を住戸数で除した値である125m²とした．このとき，式(5)は次のように書き換えられる．

$$\begin{aligned} R^* &= \frac{p_d}{2\cdot 0.14}\left(1-\frac{1}{n}\right)\left(\frac{0.7\times10^{-6}}{2.8\times10^{-6}}\right)\left(\frac{0.125}{0.06}\right)\left(\frac{A_F}{125}\right)^2 \\ &= 0.00012\,p_d A_F^2\left(1-\frac{1}{n}\right) \end{aligned} \tag{6}$$

ただし，各階の階段扉の閉鎖失敗確率 p_d は，統計データがないため，値を合理的に設定することができない．ここでは，仮の値として $p_d = 0.1$ と設定したが，階段に区画のある建物についての評価結果はあくまで参考程度に留めておく必要がある．

Fig. 3を見ると，延床面積が大きく階数が大きな建物ほど，火災リスクは大きくなる．ただし，階数が

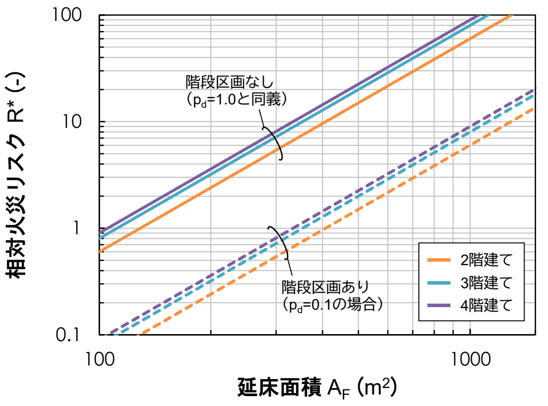

Fig. 3 Relative fire risk calculated for offices with varying total floor areas and floor numbers using an average dwelling as a benchmark.

変化しても火災リスクはさほど変化しないことから，火災リスクは延床面積に大きく依存することが分かる．延床面積が500～1500m^{2}の範囲に着目すると，階段に区画のない事務所の火災リスクは，平均的な戸建て住宅のそれの数10倍～100倍となる結果が得られた．なお，ここでの火災リスクは通常の失火による火災を想定したもので，放火により火災の発生した京都アニメーション第一スタジオに言及するのは適切でないかもしれないが，参考までに，京都アニメーション第一スタジオの延床面積は約700m^{2}である（京都市会総務消防委員会，2019）．防火地域・準防火地域に指定されていない地域に事務所を建築する場合や準防火地域にロ準耐火建築物を建築する場合には，延床面積が大きくても，法律上，竪穴区画の設置は不要である．しかし，そうした大規模な建物が抱える火災リスクの実態は，多くの人々の生活基盤となっている戸建て住宅よりも高リスクであることを示している．建築基準法は最低限の安全性を確保するためのものであり，建築基準法を遵守しても火災リスクの大きな建物が建築される場合があることが分かる．これに対し，階段に区画のある事務所の火災リスクは，平均的な戸建て住宅のそれの数倍～10倍であり，階段に区画を設けることによって火災リスクを軽減することができる．なお，各階の階段扉の閉鎖失敗確率には仮の値を設定しており，ここでの評価値は参考程度に留める必要があるが，階段に区画を設けることによって火災リスクを軽減できることは式(5)を見れば自明である．

4.　建築物の放火火災リスク

放火による火災であっても，火災リスクの定義や定式化の考え方は大きく変わらない．Fig. 4に示すように，建物の階段で放火により火災が発生する状況を考える．死傷者については，出火場所と同じ階とそれよりも上の階にいる在館者のうち階段扉の閉鎖に失敗した階の在館者が死傷するものとして扱う．簡単のため，式(3)の失火による成長火災の出火率 $p_{ig}(K)$ を放火による成長火災の出火率 $p_a(K)$ に置き換え，死傷者の扱いの違いを考慮すると，階段に区画のある建物の放火による火災リスク R_K は，

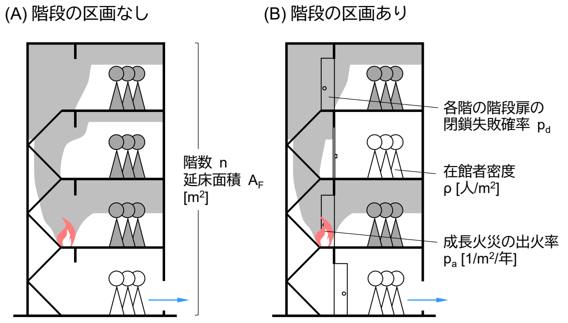

Fig. 4 Hypothetical buildings considered in the formulation of arson fire risk.

$$R_K = \frac{p_a(K)\,p_d\,\rho(K)\,A_F^2}{2}\left(1+\frac{1}{n}\right) \tag{7}$$

ただし，死傷者の扱いが通常の火災と若干異なるため，括弧内のマイナスがプラスに変わっている．また，$p_d = 1$ の時（階段扉が確実に閉まらない時）の火災リスクは，階段に区画のない建物の火災リスクと同義である．階段に区画を設けることが放火に対してもリスク軽減に有効であることは，式(7)を見れば自明である．

5.　まとめ

京都アニメーション第一スタジオ火災で改めて浮き彫りになった竪穴区画の重要性を，避難経路となる階段の区画の有無に焦点を絞り，火災リスクの観点から定量的に説明した．まず，通常の失火による火災を想定し，建物の火災リスクを複数の火災シナリオの生起確率と各シナリオで想定される死傷者数の積の和（一棟の建物で一年の間に想定される火災による死傷者数の期待値）と定義した．その上で，建物の火災リスクを，①成長火災の出火率，②在館者密度，③延床面積，④階数，⑤各階の階段扉の閉鎖失敗確率，の関数として定式化した．また，建築基準法の下で竪穴区画の設置が要求されない用途・規模の建物を念頭に，2～4階建て，延床面積100～1500m^{2}の事務所の火災リスクを評価した．その結果，①階段に区画がなく延床面積が500m^{2}を超える事務

所の火災リスクは，防火対策がほとんど講じられていない平均的な戸建て住宅のそれの数10倍～100倍となること，②階段に区画を設けることによって火災リスクを軽減することができること，を明らかにした．また，通常の火災についての火災リスクを放火火災についてのそれに拡張し，竪穴区画が放火に対してもリスク軽減に有効であることを明らかにした．

防火地域・準防火地域に指定されていない地域に事務所を建築する場合や準防火地域にロ準耐火建築物を建築する場合には，延床面積が大きくても，法律上，竪穴区画の設置は不要である．しかし，そうした大規模な建物が抱える火災リスクの実態は，多くの人々の生活基盤となっている戸建て住宅よりも高リスクである．建築基準法は最低限の安全性を確保するためのものであり，法律を遵守しても火災リスクの大きな建物が建築される場合がある．建築主や設計者はこうした実態を認識し，法律＋αで火災安全性を高める意識を持つことが重要である．ただし，竪穴区間は日常生活・業務の利便性や意匠性を阻害しやすい．こうした観点から竪穴を吹き抜けにする場合には，屋外階段や各階の全周に渡って連続したバルコニーを設置するなど，屋内階段を通らずとも各階から外気に開放された空間に早期に退避できるような計画とすることで，火災安全性との両立を実現できると考えられる．快適性や機能性，経済性といった建築を構成する様々な要素と火災安全性とのバランスをとることが重要である．

参考文献

西野智研（2019）：【速報】2019年7月18日に京都アニメーション第1スタジオで発生した放火火災の分析，京都大学防災研究所災害調査報告，http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/contents/wp-content/uploads/2019/08/Analysis-of-Kyoto-Animation-Arson-Fire_20190802-1.pdf（2020年9月14日閲覧）．

京都市会総務消防委員会（2019）：「京都アニメーション火災」における避難行動の分析結果について，令和元年12月23日（第16回）実地視察委員会資料，https://www2.city.kyoto.lg.jp/shikai/img/iinkai/soumushoubou/R01/data/011223soumusyoubou1.pdf（2020年9月14日閲覧）．

野竹宏彰・池畠由華・山口純一・田中哮義（2011）：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，61巻，2号，pp. 29-39.

（論文受理日：2020年9月14日）