

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 Analysis of the Arson Fire in the 1st Studio of Kyoto Animation on 18 July, 2019

西野智研（京都大学防災研究所 准教授）

2019年7月18日に発生した京都アニメーション放火火災によりお亡くなりになられた方々に哀悼の意を表し、御遺族の皆様にお悔やみ申し上げます。また、負傷された皆様の御回復をお祈りいたします。本報は、京都アニメーション放火火災の概要を整理するとともに、現地で確認された外壁の焼損状況から推定される火災性状の一端と出火から30秒間の火災初期に着目して建物内部の煙流動性状を様々な仮定の下で推定した結果を報告するものです。

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35名・負傷者34名という甚大な被害をもたらした¹⁾。地上3階建て・延床面積691m²の当該建物には、1階から3階に続く吹き抜けの螺旋階段が玄関の近くに設置されており、その周辺に大量のガソリンがまかれて放火されたことによって、煙が螺旋階段を通し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²⁾。また、建物の西側にも1階から屋上に続く内階段が設置されていたが、各階に扉はついていなかったと推測されており³⁾、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ある。

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、階段を壁や扉などで区画する堅穴区画の設置が要求されるが、当該建物の用途や防火地域・準防火地域に指定されていなかったことなどを考えると、こうした規定の対象には該当しなかったと考えられる。しかし、建築基準法は最低限の火災安全性を担保するものであり、法律を順守すればいかなる火災に対しても安全である訳ではないことを本火災事例から学ぶ必要がある。仮に、階段に堅穴区画が設置されていて在館者が1階に降りて来られたとしても、屋外への出口が偏って配置されていたため²⁾、放火により燃焼している範囲を通り抜けなければ屋外に出られなかった可能性がある。建物がガソリンのような危険物を用いて放火される確率は大きくはないものの、それによって生じる損失は大きく、こうした火災リスクは法律で想定されていないことから、法律に加えて建築物の火災安全性

を高めるような設計を自主的に行うことが重要であると考えられる。

本報では、こうした問題意識の下、京都アニメーション放火火災により煙が建物内部をどのように拡がったのかを明らかにするため、建築火災安全設計の実務で一般的に活用されている二層ゾーン煙流動予測モデル⁴⁾を用いて、当時の煙流動性状を再現する数値シミュレーションを行った。ここでは、京都アニメーション放火火災の概要を整理するとともに、現地で確認された外壁の焼損状況から推定される火災性状の一端と出火から30秒間の火災初期に着目し数値シミュレーションによって煙流動性状を推定した結果を報告する。

表1 京都アニメーション放火火災の概要

出火場所	京都市伏見区桃山町因幡15-1 ¹⁾
出火原因	ガソリンをまき放火した疑い ¹⁾
出火日時	調査中 ¹⁾
覚知日時	2019年7月18日10時35分 ¹⁾
鎮圧日時	2019年7月18日15時19分 ¹⁾
鎮火日時	2019年7月19日06時20分 ¹⁾
建物用途	消防法でいう事務所 ¹⁾
建物階数	地上3階建て ¹⁾
建物構造	鉄筋コンクリート造 ³⁾
延床面積	691 m ² ¹⁾
地域指定	建築基準法22条指定区域 ⁷⁾
建築防火規定*	内装制限, 排煙設備
消防用設備等	消火器, 非常警報設備 ¹⁾
焼損程度	全焼 ¹⁾
死傷者数	死者35名, 負傷者34名 ¹⁾

*用途・階数・延床面積から建築基準法により要求されると考えられる防火規定。

2. 京都アニメーション放火火災の概要

表1に、京都アニメーション放火火災の概要を示す。火災建物は京阪宇治線六地藏駅から100mほど離れた所にある南北に細長い建物(図1)で、地上3階建ての鉄筋コンクリート造であった¹⁾。図2に示すように、建物の内部には1階から3階

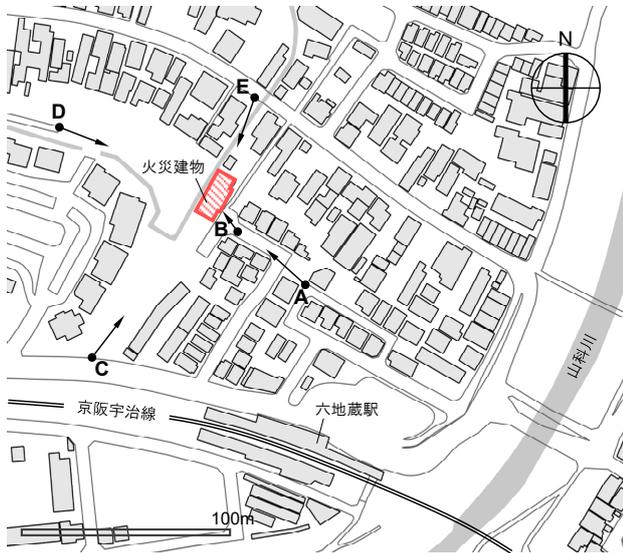


図1 火災建物の位置(基盤地図情報を基に作成)

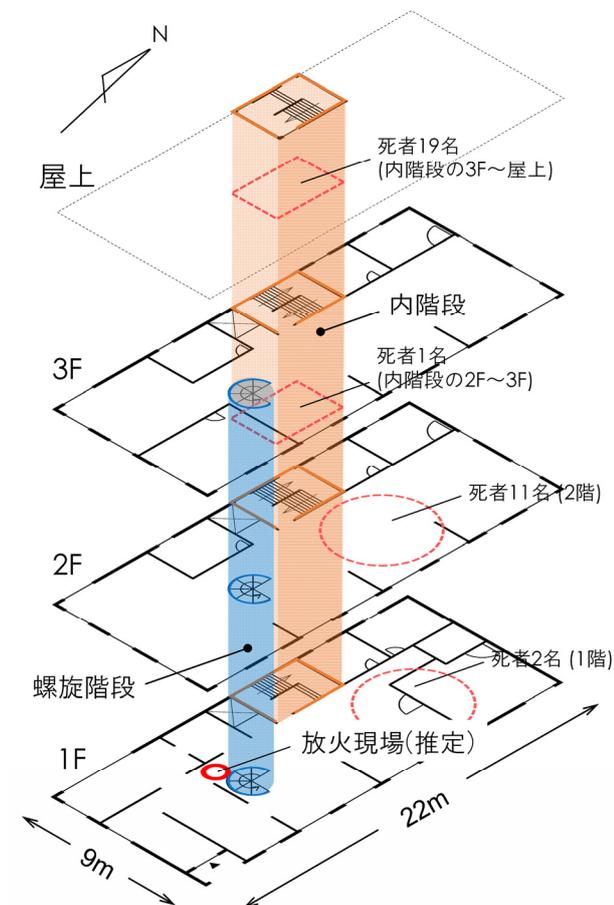


図2 火災建物の空間構成²⁾と死者の発見場所⁶⁾

に続く吹き抜けの螺旋階段と1階から屋上に続く内階段が設置されており、東側に従業員の作業スペースや会議室、音声収録室などが、西側にエレベーターやトイレなどが配置されていた²⁾。出火の原因はガソリンをまいて放火した疑いがあるとされている³⁾。螺旋階段(図3)の西側が最も焼けており、溶けたプラスチック製のバケツやライター、着火剤とみられるものの残骸がその付近で見つかったことから⁴⁾、螺旋階段の西側が放火現場と推測される。2019年7月19日の時点で死者は33名と発表されており、19名が内階段の3階から屋上に上がる途中で、1名が内階段の2階から3階に上がる途中で、11名が2階で、2名が1階で発見された⁶⁾。

3. 火災建物の外壁の焼損状況

図4に、火災建物の外壁の焼損状況を示す。これらの写真は筆者が2019年7月20日と22日に撮影したもので、撮影地点を図1にA~Eで示してある。

(1) 東側の外壁の焼損状況

東側の外壁の窓ガラスはほとんど全て脱落しており、火災時の加熱によって破損したものと考えられる。ただし、2階の開口部にはサッシが残っていることから、火災時の2階の温度は1階や3階に比べると低かったと考えられる。

1階の開口部の上にあるバルコニーを見ると、開口部の真上にコンクリートが灰白色に変色した部分が2箇所ある。これはコンクリートが高温の火炎に曝されたことによって生じたものと考えられ、放火現場に近い部屋の開口からは火炎が外部に噴出していたと考えられる。元々建物の東側に



図3 焼損した螺旋階段(7月22日筆者撮影)

は従業員の作業スペースなどがあり可燃物が多かったことやガソリンがまかれた放火現場に近かったことで、その部屋は特に激しく燃焼していたと考えられる。なお、変色部分はバルコニーの腰壁高さまで達しており、火炎は少なくともその辺りまで伸びていたと考えられるが、2階の部屋との間にはバルコニーの分だけ距離があるため、開口噴出火炎が1階から2階への火災拡大の直接的な要因となった可能性は低いと考えられる。螺旋階段や内階段を通して2階に高温の気体の流れ込み、それによって可燃物が温められ着火した可能性が高い。

2階の開口部の上にあるバルコニーを見ると、表面にすす等が付着し黒くなっている。これは2階の開口からは火炎が噴出しておらず、それよりも温度の低い熱気流が噴出していた可能性を示している。1階から3階への火災の拡大についても同様に、螺旋階段や内階段を通して3階に流入した高温気体が直接的な要因となって生じたものと考えられる。なお、3階の開口部の上にあるスパンドレルを見ると、コンクリートがピンク色に変



(A) 東側 (7月20日筆者撮影)



(B) 東側 (7月22日筆者撮影)
図4 火災建物の外壁の焼損状況

色していることから、3階の開口からは火炎が噴出していた可能性がある。

(2) 南側・西側・北側の外壁の焼損状況

南側・西側・北側の外壁開口部でも窓ガラスが脱落しているが、脱落せずに残っているものやサッシだけが残っているものもある。周りにすす等が付着し黒くなっている開口部が多く、灰白色やピンク色といった変色は生じていないことから、東側とは異なり熱気流だけが開口から噴出していたと考えられる。西側の外壁にある中央2列の開口部は内階段の踊り場に設けられていたものと考えられ、その周りにすす等が付着していることから、内階段が煙で汚染されていたことが分かる。



(C) 南側 (7月20日筆者撮影)



(D) 西側 (7月20日筆者撮影)



(E) 北側 (7月20日筆者撮影)

図4 続き

4. 二層ゾーンモデルによる推定煙流動性状

京都アニメーション放火火災により煙が建物内部をどのように拡がったのかを調べるため、出火から 30 秒間の火災初期に着目し二層ゾーン煙流動予測モデル⁴⁾を用いて数値シミュレーションを行った。二層ゾーン煙流動予測モデルでは、建物内部を複数の室に分割した上で、各室を水平な境界面により高温の上部層と低温の下部層（以降では、それぞれ煙層と空気層と呼ぶ）に分割し、各層を気体の状態が一樣な検査体積とみなす。その上で、各層について成り立つ質量とエネルギーの保存式を連立して解くことによって、煙層の高さと煙層の温度を時系列に予測する。ここでは、放火の着火物であったガソリンの燃焼に伴う発熱速度の時間変化を入力条件として与えることによって、数値シミュレーションを行った^{注 1)}。ただし、どの程度の量のガソリンがどこにどのようにまかれたのかについては確実な情報がないため、ここでの数値シミュレーションで設定した発熱速度は仮定であることに注意する必要がある。

4.1 計算条件

表 2 に、計算条件を示す。建物内部は平面図²⁾を基に合計 24 の室に分割し、面積や天井高さ、天井・壁・床の熱物性、開口による他の室との接続関係を設定した。このとき、螺旋階段は 1 階から 3 階までをつなぐ 3 層の吹き抜け、内階段は 1 階から屋上までをつなぐ 4 層の吹き抜けとし、それぞれを一つの室とみなした。各階の階高は 3m、階段を除く室の天井高さは 2.6m とした。螺旋階段に

表 2 計算条件の概要

計算時間	出火から 30s
時間刻み	1s
室数	24
階高	3m
天井の内装材	石膏ボード
壁の内装材	石膏ボード
螺旋階段の形状	吹き抜け (2.14m×1.94m×9m)
螺旋階段の開口	8.16m×2.1m (1 階, 2 階, 3 階)
内階段の形状	吹き抜け (3.9m×2.66m×12m)
内階段の開口	0.9m×2m (1 階, 2 階, 3 階)
外壁窓ガラス	閉鎖 (隙間 0.1%), 170°C で脱落
室内ドア	閉鎖 (隙間 2%)
火源の発熱速度	10s で最大発熱速度 20,000kW
火源の位置	螺旋階段の西側に隣接する室

相当する室の大きさは幅 2.14m、奥行 1.94m、高さ 9m とし、水平断面周長 8.16m に等しい幅を持った開口によって 1 階から 3 階までの各階と接続されているものとした。また、各階と螺旋階段の間には防煙垂れ壁が設置されていたことから⁸⁾、開口の高さを 2.1m に設定した。内階段に相当する室の大きさは幅 3.9m、奥行 2.66m、高さ 12m とし、火災後に 1 階の内部を撮影した動画⁹⁾によると内階段に扉は確認されなかったことから、幅 0.9m、高さ 2m の開口によって 1 階から 3 階までの各階と接続されているものとした。なお、内階段の屋上への出口には開口を設定しないこととした。

外壁の窓ガラスの形状と位置は、外観を撮影した写真を基に設定した。窓ガラスは全て閉鎖しているものとし、窓ガラスの面積の 0.1% に相当する開口を隙間として設定した。窓ガラスは高温の気体に曝されると破損し脱落することから、池畠ら¹⁰⁾を参考に、窓ガラスを有する室の煙層温度が 170°C に達した時点から 5 秒間で、開口の面積を窓ガラスのその 0.1% から 100% に変化させることとし、窓ガラスの脱落を記述した。音声収録室や会議室、トイレなどの室内ドアは閉鎖しているものとし、ドアの面積の 2% に相当する開口を隙間として設定した。

火源の発熱速度は出火から時間に比例して増加し 10 秒で最大発熱速度に達してその後は一定になると仮定した。最大発熱速度は、ガソリンの単位面積あたりの質量減少速度¹¹⁾と単位質量が燃焼した時に発生する熱量¹¹⁾を基に、燃焼面積を 8m² と仮定して算定した。その結果、最大発熱速度は 20,000kW (≒0.055kg/sm²×43.7MJ/kg×8m²) となった。火源の位置は、螺旋階段の西側が最も焼けており、溶けたプラスチック製のバケツやライター、着火剤とみられるものの残骸がその付近で見つかっていることから⁵⁾、螺旋階段の西側に隣接する室に設定した。

4.2 計算結果と考察

図 5 に、煙流動性状の予測結果を示す。ここでは、各階のメインスペースと螺旋階段および内階段における煙層の降下が見られるよう、それらを通るように引いた線によって建物を鉛直に切断した断面図で示してある。灰色で塗られた部分が煙層を表し、煙層の温度を付記してある。出火から 5 秒で螺旋階段には大量の煙が流入し、3 階の天井から 2 階の途中にかけて煙層が形成されているこ

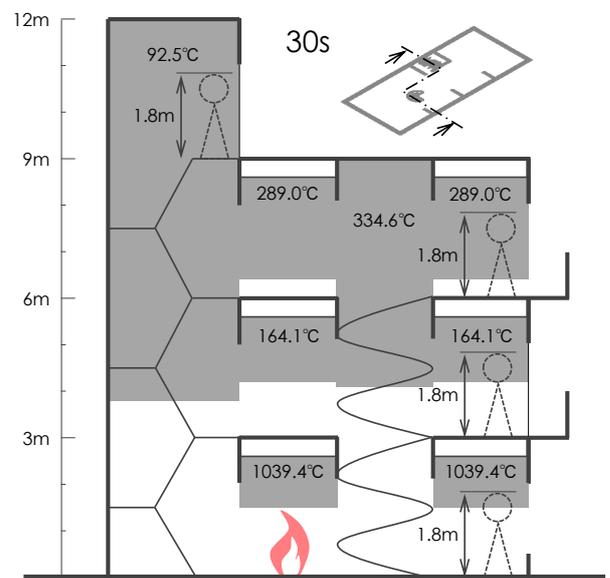
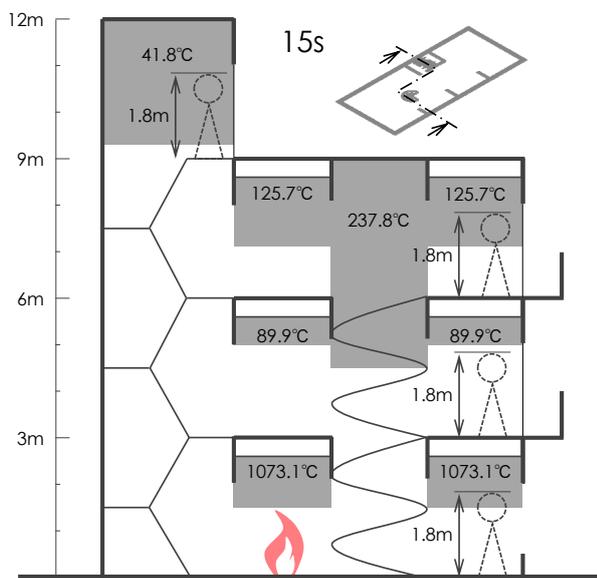
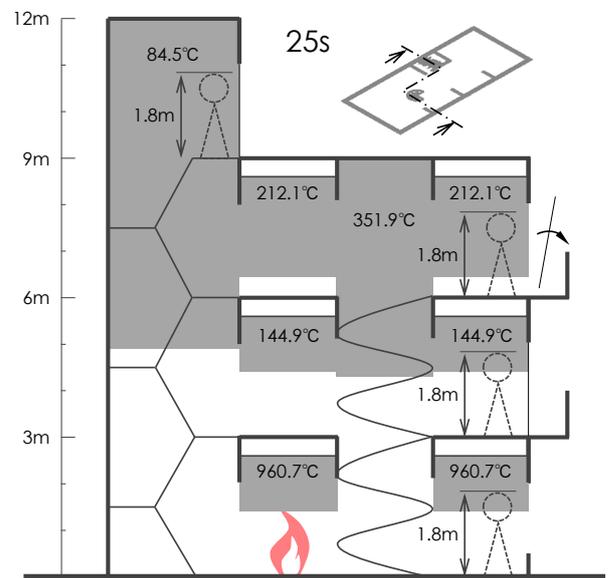
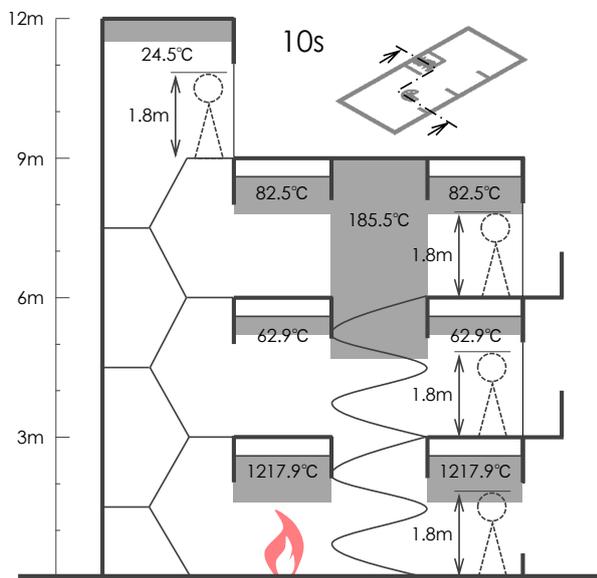
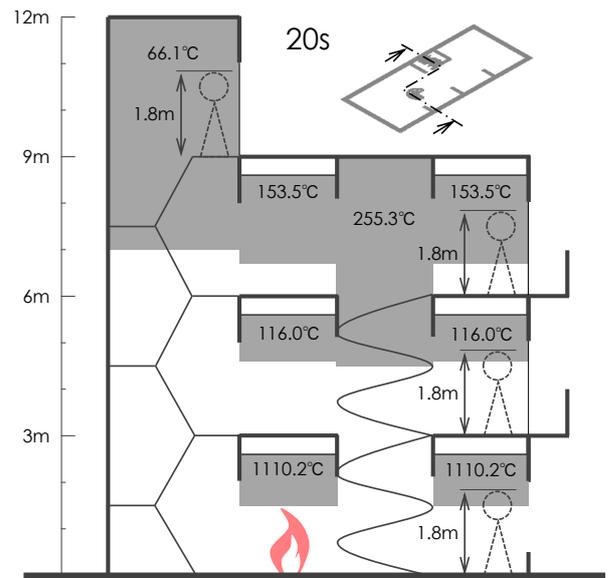
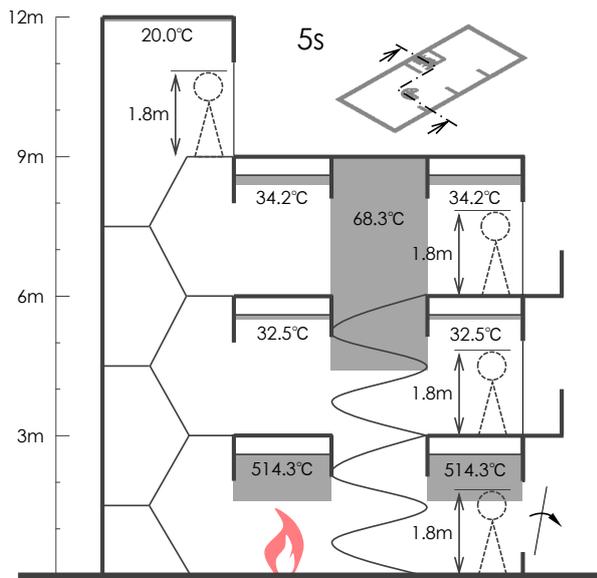


図5 二層ゾーン煙流動予測モデル⁴⁾により推定された煙層高さや煙層温度の時間変化

とから、螺旋階段が上階への煙の拡散の主要な経路となったことが分かる。なお、その時点で1階の外壁の窓ガラスが破損し脱落した。その後、煙は2階や3階のメインスペースに拡がっていくが、3階での煙層の降下は2階でのそれに比べて速く、10秒後には人の顔の高さに近い床から1.8mの高さまで、15秒後には腰の高さに近い床から1.1mの高さまで、20秒後には股の付け根の高さに近い床から0.7mの高さまで降下する結果となった。また、3階での煙層の温度は出火から15秒で100°Cを上回ることが分かる。これらのことから、3階は出火から10数秒で極めて危険な状態になったと推定される。なお、出火から25秒で3階の外壁の窓ガラスが破損し脱落した。

煙は内階段にも出火直後から流入しており、15秒後には屋上の床の高さまで煙層が降下する結果となった。なお、その時点で煙層の温度はさほど高くはないが、煙には有害な成分が含まれている。3階にいた人が火災に気づき内階段を上がって屋上に出ようとしても、その途中でほぼ全身が煙に曝されて避難が難しい状態になったと推定される。このことは内階段の3階から屋上に上がる途中で多くの死者が発見された事実を説明するものと考えられる。

2階での煙層の降下は3階でのそれに比べて遅いものの、出火から20秒後には顔の高さに近い所まで煙層が降下する結果となった。出火から30秒後には2階から上の空間のほとんどが煙で満たされる結果となり、また火災の発生した1階は出火から10秒で約1000°Cに達することから、出火から遅くとも30秒程度で在館者の生死がほとんど決まったものと推定される。

5. まとめ

京都アニメーション放火火災の概要を整理するとともに、現地で確認された外壁の焼損状況から推定される火災性状の一端と出火から30秒間の火災初期に着目し二層ゾーンモデルを用いて煙流動性状を推定した結果を整理した。このうち、推定された煙流動性状は様々な仮定に基づいたものであることに注意する必要があるが、概ね次のような結論が得られた。

- ・ 火災が建物全体に拡大したメカニズムについては、主に吹き抜けの螺旋階段を通して高温の気体が2階や3階に流れ込み、それによっ

て室内の可燃物が温められ着火した可能性が考えられること。

- ・ 火災初期の煙流動性状については、螺旋階段が上階への煙の拡散の主要な経路となり、3階は出火から10数秒で極めて危険な状態になったと考えられること。
- ・ 煙は内階段にも出火直後から流入し、出火から15秒程度で屋上の床の高さまで煙層が降下したと考えられること。
- ・ 出火から30秒後には2階から上の空間のほとんどが煙で満たされたと考えられること。

建物の内部でガソリンのような危険物を用いて放火された場合、階段などの堅穴空間が壁や扉などで区画されておらず吹き抜けになっていると、極めて早期に煙が上階に拡散し天井から降下してくることによって避難が難しくなる可能性が高い。ただし、こうした堅穴空間の区間は日常生活・業務の利便性や意匠性を阻害しやすく、両立が難しいことが多いと思われる。吹き抜けの堅穴空間を活かす場合には、屋外避難階段の設置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、階段を通らずとも外気に開放された空間に早期に退避できるような計画が重要になる。

謝辞

本報告をまとめるにあたり、日本建築学会近畿支部防災計画部会の委員の方々には、各種報道情報の収集と分析および解釈、煙流動シミュレーションの入力データ作成について、貴重なご助言を頂いた。

注釈

注 1) 本報での数値シミュレーションでは、火源から上部層に輸送されるエネルギーが対流成分に相当する発熱速度の70%になるよう、二層ゾーン煙流動予測モデルの計算プログラムを修正している。

参考文献

- 1) 総務省消防庁(2019)、京都府京都市伏見区で発生した爆発火災(第10報)、<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/1907291115.pdf>(2019年7月31日閲覧)。
- 2) 京都新聞(2019年7月19日8時30分)、「ガソリン炎と煙、一瞬で包囲 京アニ火災、吹き

抜け構造で拡大か」

<https://www.kyoto-np.co.jp/politics/article/20190718000193> (2019年7月31日閲覧).

- 3) 日経 xTECH (2019年7月19日23時00分), 「京都アニメーション火災、建物構造から見た避難の課題」
<https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/column/18/00154/00610/> (2019年7月31日閲覧).
- 4) Tanaka, T. and Yamada, S. (2004) BRI2002: Two layer zone smoke transport model, Fire Science and Technology, Vol. 23, pp. 1-131.
- 5) 朝日新聞 (2019年7月20日20時11分), 「1階に侵入直後、バケツでガソリンまいたか 京アニ放火」
<https://www.asahi.com/articles/ASM7N55L7M7NPTIL02G.html> (2019年7月31日閲覧).
- 6) 産経新聞 (2019年7月19日11時50分), 「京アニ火災 屋上へ逃げ切れず 十数段の階段で19人を発見」
<https://www.sankei.com/affairs/news/190719/afr1907190024-n1.html> (2019年7月31日閲覧).
- 7) 京都市都市計画情報等の検索,
<https://www5.city.kyoto.jp/tokeimap/> (2019年7月31日閲覧).
- 8) 朝日新聞 (2019年7月19日20時19分), 「京アニ放火 階段の吹き抜け構造、火のまわり早めたか」
<https://www.asahi.com/articles/ASM7M55P0M7MPTIL02W.html> (2019年7月31日閲覧).
- 9) 朝日新聞 (2019年7月20日), 「すすけた室内にゆがんだらせん階段 京アニ第1スタジオの内部」
<https://www.youtube.com/watch?v=aLolwqtoYMM> (2019年7月31日閲覧).
- 10) 池島由華・道越真太郎・中村正寿・小林裕・西村光太・桑名秀明・宮本圭一 (2011), 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, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 76, pp. 751-760.
- 11) Babrauskas, V. (1983) Estimating large pool fire burning rates, Fire Technology, Vol. 19, pp. 251-261.