

定量的な再現性を有する火災シミュレーションの構築に関する検証 (その1 火災シミュレーションを利用した教養資料の試作)

佐藤 歩*, 湯浅 弘章*, 渡邊 茂男**, 町井 雄一郎*

概要

消防職員の大量退職にともなう世代交代により、消防活動能力の維持向上が課題となっている。そこで、本年度は、火災シミュレーションソフト Fire Dynamic Simulator を活用し、火災進展をイメージした様々な火災アニメーションを試作した。これらの火災アニメーションは、恣意的な典型的延焼シナリオに基づいて、煙流動、外観と内部の状況比較、上階への燃え広がり等の火災拡大の状況、外壁等への受熱量の分布状況、排煙時の煙流動の速度分布等を3次元で可視化できるように作成し、火災現象を直観的なイメージで捉えることができる。これらの火災アニメーションを教養等で活用することで、消防職員が火災性状についてより効果的に理解し、消防活動能力の向上に役立てられることを目的とした。

1 はじめに

現在、東京消防庁（以後、当庁とする）では、火災シミュレーションを、主に火災アニメーションの作成に利用している。火災アニメーションは隊員の受傷事故等で重要と判断された火災発生の際に使用されることが多い。もしシミュレーションによる定量的な解析結果を得ることができれば、検討、教養時のより一層の議論精度の向上等、貢献が期待されるが、技術的及び時間的制約から定性的なイメージの再現のみの対応とすることが通例であった。

本検証では、火災事例に基づく消防職員への教養等を支援する目的として、定量的な再現性を有する火災シミュレーションを構築し、これをもとにより正確で有用な火災アニメーション等の火災資料を作成、提供することを目指すものである。

本年度は、火災シミュレーションソフト Fire Dynamic Simulator を活用し、関係課の要望を基に、火災進展をイメージした様々な火災アニメーションを試作することを目的とした。検証の流れを図1に示した。

これらの火災アニメーションは、恣意的な典型的火災進展シナリオに基づいて、煙流動、外観と内部の状況比較、上階への燃え広がり等の火災拡大の状況、外壁等への受熱量の分布状況、排煙時の煙流動の速度分布等を3次元で可視化できるように作成し、火災現象を直観的なイメージで捉えることができることを主眼としたものである。さらには、火災時における建物やトンネルでの煙流動や受熱量についても可視化できるようにしたものである。

消防職員の大量退職にともなう世代交代による消防活動能力の維持向上の課題に対して、このような視覚に訴える火災アニメーションを職員教養等で活用することで、職員が火災性状についてより効果的に理解し、消防活動能力の維持向上につながることを期待したものである。

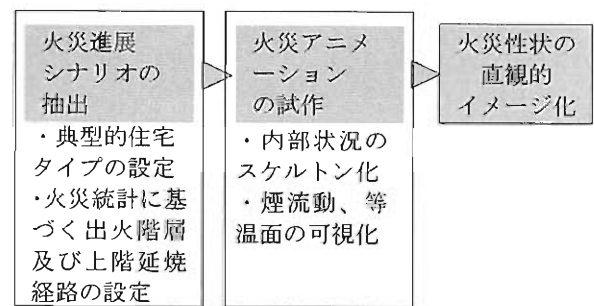


図1 検証の流れ

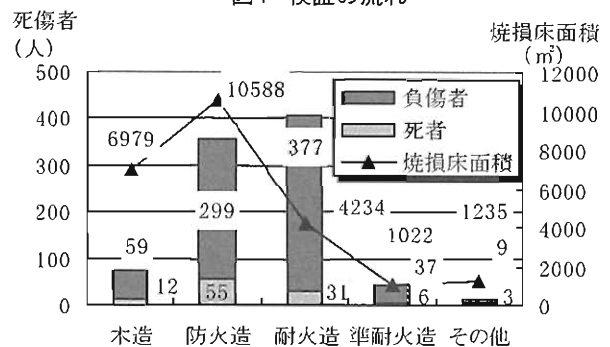


図2 火元建物の構造別死傷者と焼損床面積

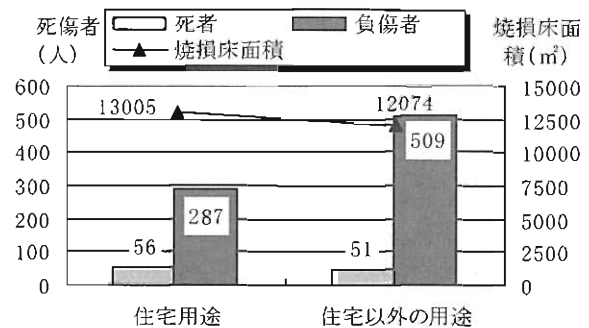


図3 建物火災における、死傷者と焼損床面積についての住宅用途と住宅以外の用途の比較

* 装備安全課 ** 小平消防署

2 要求の整理

関係課の要求を受け、特に一般住宅の延焼を重点的に試作することとした。試作においては、住宅火災に関する調査結果を基に、以下の項目のシナリオを提案した。ただし、本火災進展延焼シナリオにおいては、上階への延焼の流れを示すことを主眼としたもので、出火や上階延焼のタイミング等の時間経過は恣意的に設定した。また、出火原因、建築材料特性の影響は考慮しないものとした。

(1) 2階建て防火造住宅火災

当庁管内における平成24年中の火元建物の構造別の死傷者と焼損床面積の状況について、第一軸に死傷者を積層棒グラフで、第二軸に焼損床面積を折れ線グラフで、図2^{注1)}に示した。この結果から、火元建物の構造別の死傷者と焼損床面積の被害について、防火造における被害が大きいことがわかった。

また、当庁管内における平成24年中の建物火災に関して、死傷者と焼損床面積について、住宅用途と住宅以外の用途の比較状況を、第一軸に死傷者数をそれぞれ棒グラフで、第二軸に焼損床面積を折れ線グラフで、図3^{注2)}に示した。その結果から、建物火災において、住宅用途に占める死傷者数と焼損床面積の被害が大きいことがわかった。

以上から、死傷者数と焼損床面積の被害が大きかった建物構造が防火造で、建物用途が住宅とした防火造住宅火災に着目した。

ア 出火階層及び延焼経路

当庁管内における平成24年中の防火造火災の出火階別の件数を図4^{注1)}に示した。これから、出火階層については、多数を占めている、1階及び2階と、小屋裏を含めて、出火階層を3つとした。

防火造の他階延焼経路について、当庁管内における平成24年中の防火造火災での他階へ延焼した火災の延焼経路の内訳件数を図5^{注3)}に示した。その結果、上位の床燃え抜け、壁内、階段^{注4)}を他階延焼経路と想定した。

イ 住宅タイプ

2階建て防火造住宅の住宅タイプについて、基本型、敷地に余裕がある郊外型、敷地を高密度利用した都心型の3つのタイプを対象とした。それぞれの敷地面積、建築面積、延べ床面積、建ぺい率、容積率を表1に示した。

ウ 火災進展シナリオの抽出

以上の結果から、3つの住宅タイプ、3つの出火階層、3つの他階延焼経路を得た。火災進展シナリオの抽出項目を表2に示した。それに基づく火災進展シナリオの組み合わせを表3に示した。ただし、下階への延焼及び隣室への延焼は対象外とした。

2階建て防火造住宅の延焼火災に関して、経過時間ごとの火災進展シナリオの例示について、出火階を1階とし、2階への延焼経路を床燃え抜け、小屋裏への延焼経路を壁内延焼とした火災進展シナリオの概念図を図6に示した。

実際の火災進展では、ある一つの出火源から複数の延焼経路を経て拡大し、それぞれの着火源が、複合的かつ相互に影響して延焼しているが、本火災アニメーションでは、延焼の様子がより分かりやすくするため、一つの延焼シナリオに特化した。

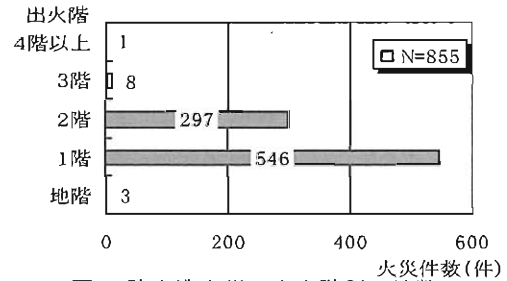


図4 防火造火災の出火階別の件数

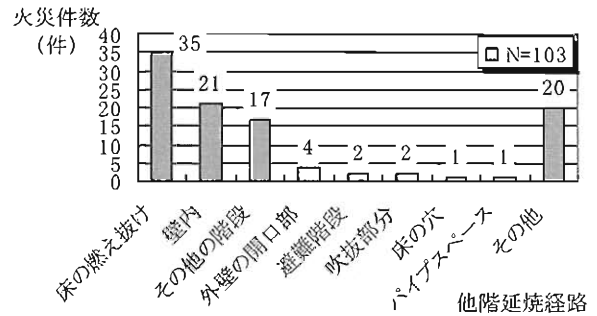


図5 防火造火災での他階への延焼経路の内訳

表1 2階建て防火造住宅の住宅タイプの概要

住宅タイプ	基本型	郊外型	都心型
敷地面積	90 m ²	140 m ²	45 m ²
建築面積	50 m ²	80 m ²	30 m ²
建ぺい率	55%	57%	67%
延べ床面積	100 m ²	150 m ²	60 m ²
容積率	111%	107%	133%

表2 2階建て防火造住宅の火災進展シナリオの抽出項目

住宅タイプ	出火階層	他階延焼経路
基本型	1階	床燃え抜け
郊外型	2階	壁内
都心型	小屋裏	階段

表3 防火造2階建て住宅火災の火災進展シナリオの抽出項目の組み合わせ

出火階層	他階への延焼経路	
	1階から2階	2階から小屋裏
1階	床燃え抜け	床燃え抜け
		壁内延焼
	壁内延焼	床燃え抜け
2階	階段延焼	壁内延焼
		床燃え抜け
	小屋裏	壁内延焼

(2) 訓練ハウス火災

消防活動訓練時、訓練統制要員が、火災性状に基づいて現示要領⁵⁾を行うことは、より火災現場に近い状態での訓練につながり、重要である。本火災アニメーションにより、消防活動訓練が、より実践的なものに導かれることを期して、当庁消防学校で実動消防活動訓練時に活用している訓練ハウスについて、3(1)ウと同様の火災進展シナリオに基づいて、火災アニメーションを試作した。

訓練ハウスの外観を写真に、その建物概要を表4に示した。

(3) 公園大型複合遊具火災

公園の大型複合遊具が出火した場合、その周辺の建物が延焼危険となるが、一度に多くの建物に対して広範囲に警戒筒先を行うことが困難な場合があり、筒先配置すべき建物の優先順位をつける必要がある。

同様の火災事例¹⁾に基づき、大火源火災を再現し、大火源の輻射による周辺家屋外壁の受熱状況を可視化した。

大型複合遊具火災の概要を表5に示した。

(4) トンネル内自動車火災と排煙

密閉された空間であるトンネルにおける火災は、煙制御が消防活動上重要である。トンネル内における自動車火災で、送風機による排煙効果について、排煙起動のタイミングを変化させてその煙流動の様相を可視化した。

対象トンネルの大きさ等の概要を表6に示した。

(5) 住宅における小屋裏、壁間に着目した火災

壁間を延焼し、小屋裏へ延焼拡大する火災は、外見上火煙の視認が困難なため、気付かないうちの延焼が進み、延焼阻止対応が遅れがちになることから、建物内部の火災進展をイメージできるように、火災アニメーションを試作した。対象建物の概要を表7に示した。

3 火災アニメーションの詳細

(1) 再生時間

より短時間で効果的に視聴できるように、1つの火災アニメーションについて約30秒とした。

(2) 映像拡張子

汎用パーソナルコンピュータで再生できるように、MPEG-1形式とした。

(3) 使用計算機

使用した計算機の性能は、Xeon(TM) 3.1GHz×8 CPU、64GB RAMとした。

(4) 火災シュミレーションソフトの概要

火災アニメーションを試作するために使用した Fire Dynamics Simulator は、米国商務省国立標準技術研究所(NIST)が開発した熱気流の数値シミュレーションプログラムで、Ver. 5.4.1を用いた。データ入力補助ソフトとして、CAE Solutions PyroSimを活用した。

(5) 火災シュミレーションソフトの表示機能

火災シュミレーションソフトに備えられている次の表示機能を活用して、火災アニメーションに反映した。

ア 煙流動表示

住宅開口部から流れ出る煙の流れを可視化するために、煙粒子の動きを表示できるものである。

イ 等温面表示機能

床の燃え抜け、壁間の燃え広がり、階段の燃え広がり様子を擬似的に表現するために、指定した温度について空間の等温面として表示できるものである。

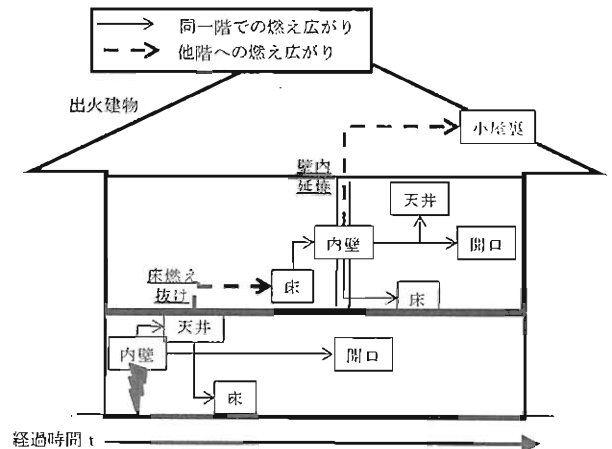


図6 2階建て防火造住宅の火災進展シナリオの概念図の例示 出火階:1階
2階への延焼経路:床燃え抜け
天井裏への延焼経路:壁内延焼



写真 訓練ハウスの外観

表4 訓練ハウスの建物概要

階数	2
建築面積	25 m ²
延べ床面積	50 m ²

表5 大型複合遊具火災の概要

原因	放火疑い
被害の程度	公園に隣接する住宅等 計12棟焼損
負傷者	3人

表6 トンネルの概要

長さ	100m
断面積	45 m ²
自動車発熱速度	4 MW

表7 建物概要

階数	2
建築面積	50 m ²
延べ床面積	100 m ²

ウ 内部スケルトン化

住宅内部の燃え広がりを見やすくするために外壁や内壁をスケルトンに表示できるものである。

エ 外壁等への受熱量の表示

住宅外壁への受熱量の大小をわかりやすくするために、色の濃淡で表示できるものである。

オ 排煙時の煙流動の速度分布表示

空間における任意の二次元面で、煙の流れ方向とその速度分布を表示できるものである。

4 試作した火災アニメーション例

(1) 2階建て防火造住宅火災

基本型住宅における、出火階層を1階、2階への延焼経路及び天井裏への延焼経路をそれぞれ床燃え抜けとした火災アニメーションの画像を、図7において、(a)建物外観と火煙の様子及び(b)内部の延焼状況について示した。あわせて、郊外型住宅における、出火階層を2階、天井裏への延焼経路をそれぞれ床燃え抜けとした火災アニメーションの画像を図8に、都心型住宅における、出火階層を1階、2階への延焼経路及び天井裏への延焼経路をそれぞれ壁内延焼とした火災アニメーションの画像を図9に示した。これらから、3種類の住宅タイプに関して2階建て防火造住宅において延焼する火災進展の様子を示した。

火災現場において、内部の延焼状況は、火煙噴出等の外観状況や関係者から聴取した情報から推測しているのが現状である。また、建物内部に進入しても、火煙により把握が困難な状況で、燃焼実体を把握することは難しいのが実態である。

それに対し、この住宅火災内部の燃え状況と外観の様子を比較した、同期化された火災アニメーションにより、把握が困難な内部の状況をイメージする一助になることを期した。

(2) 訓練ハウス火災

出火階層を1階、2階への延焼経路を階段、天井裏への延焼経路を床燃え抜けとした火災アニメーションの画像を図10において、(a)建物外観と火煙の様子及び(b)内部の延焼状況について示した。これらから、火災が上階へ経過ととともに進展していく様子を示した。

これにより、実際の火災延焼により近いイメージをもった訓練統制要員によって統制された、火災訓練シナリオによって、消防活動訓練を行う一助となることを期した。

(3) 公園大型遊具火災

火災アニメーションの画像を図11において、(a)大火源とその周辺建物の外観及び(b)周辺建物外壁の受熱状況について示した。これらから、大型火源により周辺建物の受熱量の分布の様子を示した。

一般的に自由空間における火災放射の鉛直分布の性状は、火炎高さの中央位置で放射強度が最も高く、火炎高さの中央を中心に同心円状に低下するように形成されると考えられる。本火災アニメーションも同様の結果を示しており、火災性状を火災アニメーションとして示すことができた。

これにより、火災現場において、周辺建物に延焼危険があった場合、どの建物外壁面に優先的に警戒筒先を行うか判断するとき、火災性状に基づく本火災アニメーションによる大火源の周辺住宅の外壁の受熱量の分布の可

視化により、延焼危険の優先度を判断する一助となることを期した。

(4) 住宅における小屋裏、壁間に着目した火災

火災アニメーションの画像を図12において、(a)建物外観と火煙の様子及び(b)内部の延焼状況について示した。これらから、建物外観からみると、火煙が大きくはみえないが、外壁と屋根をスケルトン化することで、火煙が壁間を伝って小屋裏へ拡大する火災進展の様子を示した。

そのような壁間を延焼し、小屋裏へ延焼拡大する火災は、壁面等の表面上火煙の視認が困難で、火煙の確認に時間を要す可能性がある。そのため、消防活動上小屋裏の延焼状況を確認することは、消防活動上の原則の一つとして挙げられる。消防職員の大量退職に伴う現場経験の浅い若年職員に対して、火災アニメーションとして火災性状を視覚的に理解することで知識を増やす一助となることを期した。

(5) トンネル内自動車火災

火災アニメーションの画像を図13に示した。これらから、自動車火災により発生する火煙が、排煙によりどのように流動するかその様子を示した。

また、ブローカーによる排煙のタイミングを変化させることで、その煙流動が異なることを火災アニメーションから確認することができ、煙流動の特性の把握の一助となることを期した。

5 おわりに

本検証は、消防職員に対して火災性状について視覚に訴えながらより効果的に理解することで、消防活動能力の向上に役立て、さらに、訓練統制員がより火災性状に即した現示要領を行うために必要な共通認識を養う資料として活用することを目的として、火災アニメーションの試作を行ったものである。

これらの火災アニメーションは、恣意的な典型的火災進展シナリオに基づいて、煙流動、外観と内部の状況比較、上階への燃え広がり等の火災拡大の状況、外壁等への受熱量の分布状況、排煙時の煙流動の速度分布等を3次元で可視化できるようにしたもので、より多面的な視点から、火災現象を直観的なイメージで捉えることができ、教養等での効果的な活用が期待される。

今後は、定量的な議論のできる有用な火災資料を迅速に提供することを目指し、その手法等について検討していく予定である。

[参考文献]

1) 火災の実態 平成22年度版 「公園の大型複合遊具に放火され建物へ延焼した火災」 P216

[注釈]

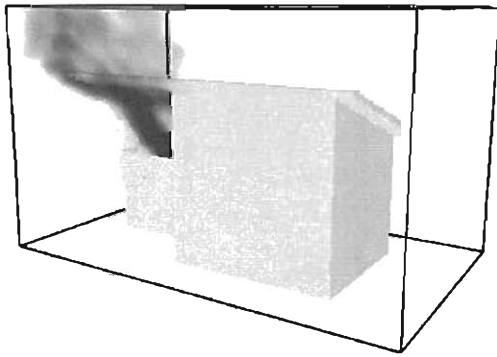
注1) 火災の実態 平成25年度版 P301表(6)火元建物の構造別建物火災状況(平成24年)のデータをもとに、作成した。

注2) 火災の実態 平成25年度版 P302表(8)火元建物の用途別火災状況(平成24年)のデータをもとに、作成した。

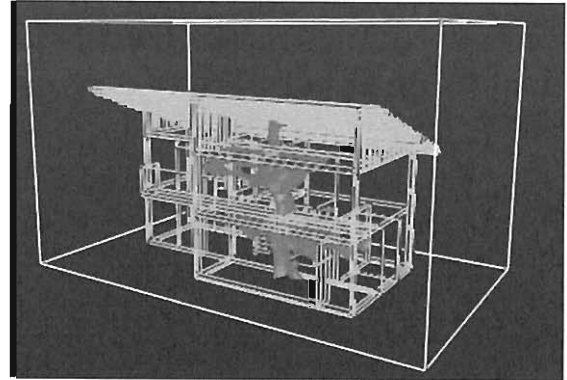
注3) 火災の実態 平成25年度版 P213表8-1-3 他階への延焼拡大経路のデータをもとに、作成した。

注4) 図5中、「その他の階段」と「避難階段」は区別せず、階段と扱った。

注5) 消防活動訓練時に火災性状の変化等を具体的に示すため、火炎、煙、行動障害の状況を旗等で表示するもので、訓練統制員が火災の進展、消防力の投入状況、時間経過等により現示旗を適時変更する。

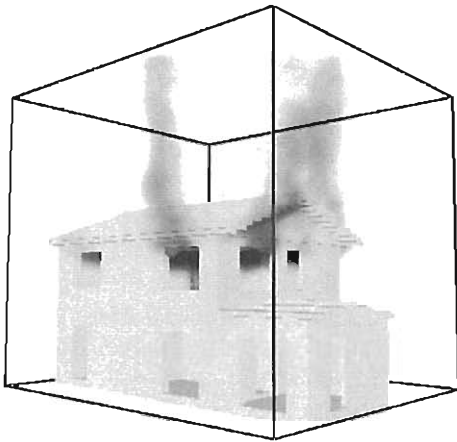


(a) 建物外観と火煙の様子

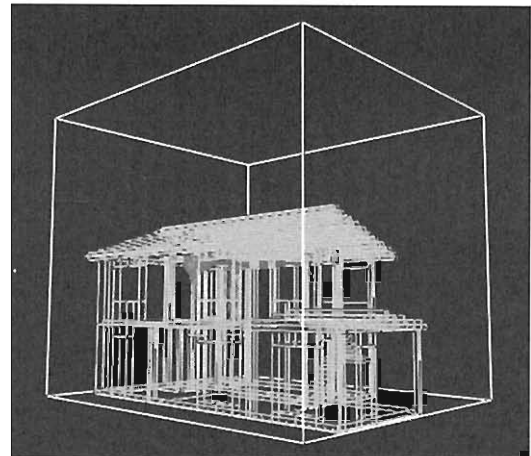


(b) 内部の延焼状況

図7 基本型2階建て防火造住宅 出火階層:1階 2階への延焼経路:床燃え抜け 天井裏への延焼経路:床燃え抜け

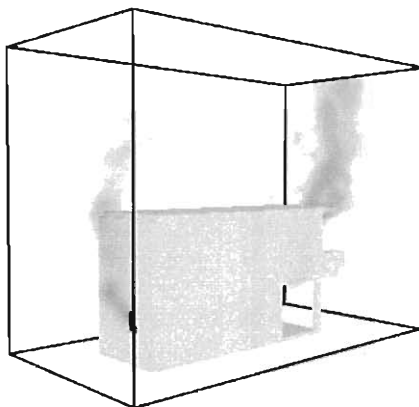


(a) 建物外観と火煙の様子

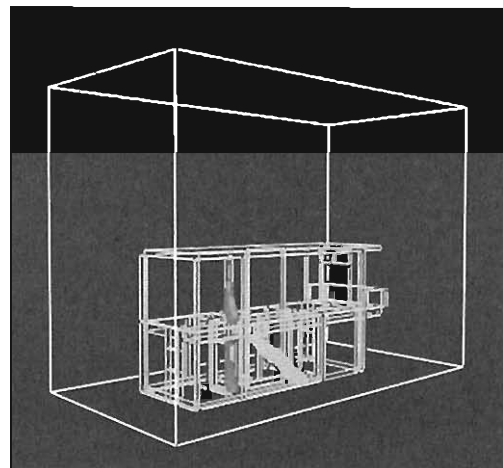


(b) 内部の延焼状況

図8 郊外型2階建て防火造住宅 出火階層:2階 天井裏への延焼経路:床燃え抜け

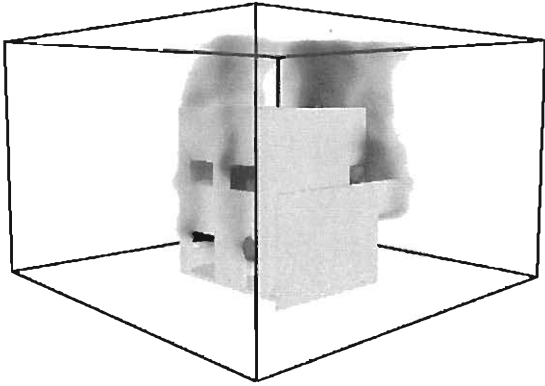


(a) 建物外観と火煙の様子

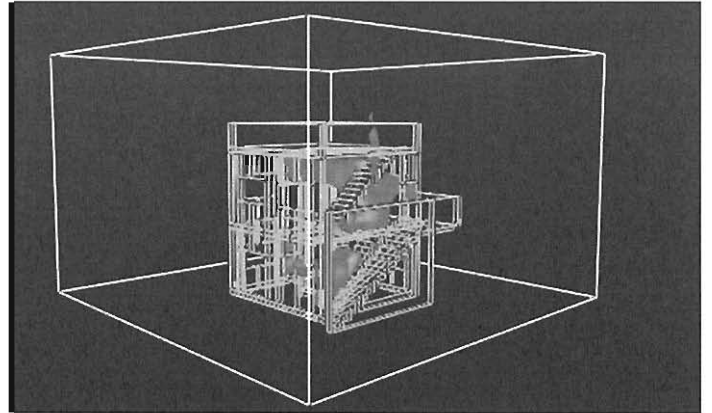


(b) 内部の延焼状況

図9 都心型2階建て防火造住宅 出火階層:1階 2階への延焼経路:壁内 天井裏への延焼経路:壁内

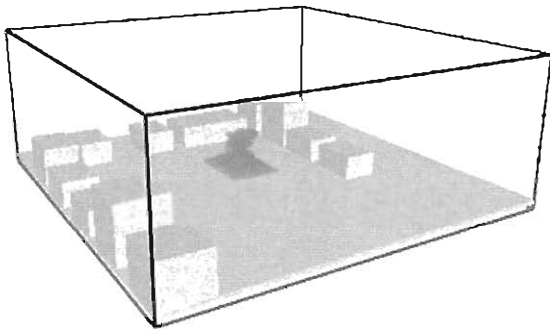


(a) 建物外観と火煙の様子

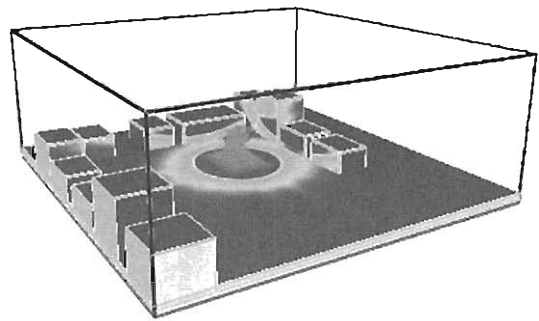


(b) 内部の延焼状況

図 10 訓練ハウス 出火階層:1階 2階への延焼経路:階段 天井裏への延焼経路:床燃え抜け



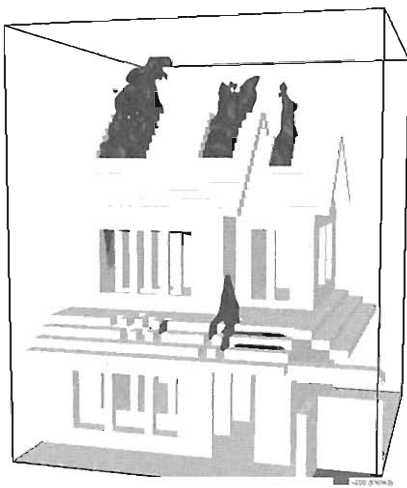
(a) 大火源とその周辺建物の外観



(b) 周辺建物外壁の受熱状況

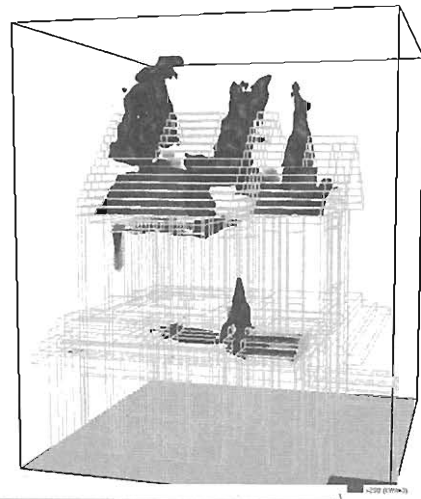
図 11 公園大型複合遊具火災

Shakenew 5.5.3 - Apr 5, 2010



(a) 建物外観と火煙の様子

Shakenew 5.5.3 - Apr 5, 2010



(b) 内部の延焼状況

図 12 住宅における小屋裏、壁間に着目した火災

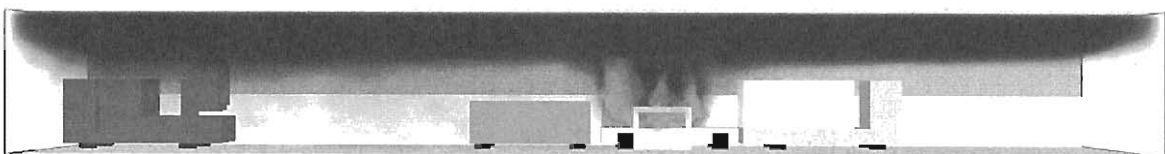


図 13 トンネル内自動車火災における内部の火煙と排煙状況

Study Involving Creation of Fire Simulations with Quantitative Reproducibility

(Part1: Compilation of Training Materials Using Fire Simulators)

Ayumu SATOU*, Hiroaki YUASA*, Shigeo WATANABE**, Yuuichirou MACHII*

Abstract

Maintaining and achieving advances in firefighting capabilities has become an issue with the generational change that has accompanied the retirement of numerous fire department personnel.

With that in mind, we created various types of animated cartoons featuring the images of fires in progress this fiscal year, using the fire simulation software *Fire Dynamic Simulator*.

We created these animated fire cartoons to provide the three-dimensional visualization of such things as smoke flows, the comparison of the exterior's appearance with the conditions inside, the situation as fire spreads to the upper floors, the conditions accompanying the diffusion of the heat amount that external walls receive, and the velocity distribution of the smoke flows during smoke dispersal, etc. Since the cartoons are based on arbitrary but typical fire spread scenarios, it is possible to obtain an intuitive grasp of fire phenomena.

Our goal, with the supplementary use of these animated fire cartoons for training and other purposes, was to have firefighting personnel more effectively understand the characteristics of fire and thereby improve their firefighting skills.