

消防職員による火災シミュレータの 使用を支援するシステムに係る検証

小川 清一*, 山村 重行**, 湯浅 弘章**, 高間 康史*

概 要

消防職員による火災シミュレータの使用を支援するシステムを提案する。支援システムは次の2部から構成される。

- ・パラメータ入力支援インターフェース
- ・カラーヒストグラムを用いた類似画像検索

この支援システムの有効性を評価するため、消防職員による使用実験を実施した。

1 はじめに

本稿は、火災事例の再現映像作成を支援するオーサリングシステムについて提案する。消防職員による火災事例の検証や防災啓発活動などのために、火災事例の再現映像を活用することが期待されている。火災映像は火災シミュレータにより生成可能であるが、その本来の用途は事象の正確な再現であるのに対し、本稿では再現映像の再生という、本来とは異なった用途に用いる。そのため、解決しなくてはならない問題がいくつか存在する。例えば、シミュレータは専門家が利用する事を想定しているため、シミュレータに精通していない消火活動などに従事する現場の消防職員ではパラメータ設定が困難であることや、火災において発生する延焼拡大や開口部の開閉などの状況変化の再現が困難であるという問題がある。

本稿では、火災条件ごとに適切なパラメータを提示するパラメータ入力支援機能や、シミュレーションの複数実行結果をつなぐ編集点候補を提示する機能を提供することで、消防職員がシミュレータに関する特別な訓練なしに火災事例の再現映像を作成可能なオーサリングシステムを提案する。

提案システムの有用性を示すため、消防職員による提案システムの使用実験を行った。実験は火災調査に関する教本に記載されている火災事例の再現映像を作成させ、再現映像作成にかかった時間や作成された映像の品質、および実験後のアンケートにより、作成された映像の妥当性を評価した。

2 関連研究

(1) Fire Dynamics Simulator (FDS)

FDS は米国商務省国立標準技術研究所 (National Institute of Standards and Technology : NIST) が開発を行っている火災シミュレータである。提案システムでは、FDS をシミュレータとして使用している。FDS は計算手法として数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics : CFD) を用いており、空間をメッシュ状に

分割し、可燃物や区画等を3次元の座標を持たせて配置を行う。そのため、すべてのマスが持つ温度、火災位置、物体間の形態係数等が求められ、可燃物への入射熱量も直接計算することが可能である[1]。

(2) SmokeView

FDS は計算エンジンであるため、解析結果を見るためには他のツールを使用して可視化する必要がある。SmokeView は FDS 専用の可視化ソフトであり、NIST から FDS とともにオープンソースとして公開されている。

SmokeView では各時間ステップの画像データを時系列に生成し、保存可能であるため、3節で提案するオーサリングツールの入力データを作成するのに用いる。

(3) カラーヒストグラムを用いた類似画像検索

画像検索とは、キーワードや画像をクエリとして用いることであり、クエリに適合する画像を探し出す機能である。現在、画像検索を行う手法は、画像の内容に基づく CBIR (Content-Based Image Retrieval) [2] と、Web ページコンテンツやタグなどの画像に付帯するテキストに基づく TBIR (Text-Based Image Retrieval) の二つがある。

本稿では、3節で提案するシステムにおいて、複数のシミュレーション結果をつなぎ合わせるための編集点候補の抽出に利用する。この時、類似画像検索を画像の持つ意味や画像内の対象物ではなく、画像として類似するものを検索することが目的のため、CBIR を採用する。

類似度の判定には、色・形状・テクスチャなど様々な特徴量を用いることが可能であり、用途や目的に応じて様々な類似画像検索手法が研究されている。本稿では、CBIR の代表的手法である、カラーヒストグラムを用いた類似画像検索を使用する[3]。

カラーヒストグラムとは、画像に現れるさまざまな色が画像の中のいくつかのピクセルに出てくるかを棒グラフで表したものであり、与えられた画像における各色の

頻度分布を示している。それぞれ n ビン（色数）で表される2つのカラーヒストグラム H_1, H_2 間の類似度を求める場合、正規化した類似度 $S'_{H_1H_2}$ は次式で求められる。正規化した類似度は0~1の範囲にあり、1により近い値を取る画像が参照画像に一番近い画像となる。

$$S'_{H_1H_2} = \frac{\sum_{j=1}^n \min(H_{1j}, H_{2j})}{\sum_{j=1}^n H_{1j}}$$

3 再現映像作成を支援するオーサリングシステム

(1) FDSを用いた再現映像作成における問題点

火災シミュレータでは、材質を扱う物質特性や煙や水滴を扱う粒子パラメータなど多数のパラメータが設定可能となっている。設定する必要があるパラメータは火災条件に応じて異なるため、シミュレータに精通していないユーザにとって、必要なパラメータを選択し、適切な値を設定することは困難な作業である。

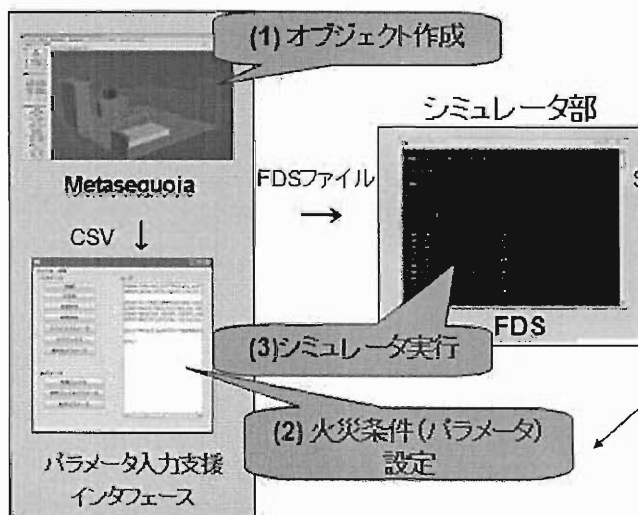
消防職員にヒアリングを行ったところ、実際の火災事例を再現するために必要な条件設定のバリエーションはある程度限定されることがわかった。従って、火災事例の検証作業を支援するためには、火災条件ごとに適切な入力パラメータを提示するパラメータ入力支援機能を提供することが望ましいと考える。

他の問題点として、後述する再現映像作成の火災条件設定（図1中(2)）において、FDSでは火元の位置や空間の設定をシミュレーションの計算後に変更することができない。しかし、実際の火災においては、延焼やドア・窓の開放、壁や天井の燃え抜けなど、火災の進展による条件変化は一般的であり、再現映像においてもこれらを考慮する必要がある。現状のシミュレータでは、火災事例中に起こるこれらのイベントを忠実に再現することができず、リアリティに欠けたシミュレーションになることが予想される。

この問題を解決するためのアプローチとして、複数の設定でシミュレーションを走らせ、得られた映像を適当な場所ではつなぎ合わせて再現映像を作成することが考えられる。このアプローチにおける課題は、映像を自然につなぎ合わせることでできる編集点をいかに見つけるかという点であり、類似画像検索を用いた編集点の発見機能などを備えたオーサリングツールが必要であると考える。

また、シミュレータの計算時間は、条件次第でかなり大きくなるため、シミュレータの計算を複数回実行する

シミュレーションデータ作成部



アプローチは計算コストの面で不利である。この点に関して再現映像生成の用途では、事象の正確な再現はそれほど要求されないため、空間の分割数を減らす事などにより、1回あたりのシミュレーション実行時間を短縮することが可能である。予備実験により再現映像に十分な品質の映像を維持しつつ、実行時間を削減する事が可能であることを確認しており、詳細な検討は今後の課題である。

(2) 提案システムの概要

本稿では、パラメータ入力支援機能や類似画像検索を用いた編集点の発見機能を備えたオーサリングシステムを提案する。図1に、本稿で提案するオーサリングシステムの構成と、再現映像作成の流れを示す。提案システムは、シミュレーションデータ作成部、シミュレータ部、映像編集部からなる。オブジェクトの延焼やドアの開放など、条件変化をもたらす事象をイベントと呼び、イベントの発生ごとに異なる設定でシミュレータを実行し、その結果を統合することにより、火災事例の再現映像を作成する。

シミュレーションデータ作成部において、図1中(1)で火災空間のモデル構築を行い、(2)で作成したモデルに対応するパラメータを設定することで、シミュレーションデータを作成する。次に(3)で、作成したデータに関してシミュレータを実行し、映像編集部(4)で解析結果を画像シーケンスとして保存する。ここまでが1つのイベントの再現映像を作成する手順である。複数のイベントが発生する場合、(2)~(4)の操作をイベント数分繰り返しを行い、各イベントに対応する画像シーケンスを作成する。最後に、(5)で提示される編集点候補を基に、複数の画像シーケンスをつなぐことで、再現映像の作成が完了する。

4 評価実験

(1) 類似画像検索機能の評価

室内で起こりうる火災事例のシナリオを作成し、シナリオで発生するイベントごとのシミュレーション映像を作成した。任意に選択した参照画像に対する類似画像検索結果と、熱電対から得られる温度データの比較から、検索結果として提示される画像は、イベントをつなぐた

映像編集部

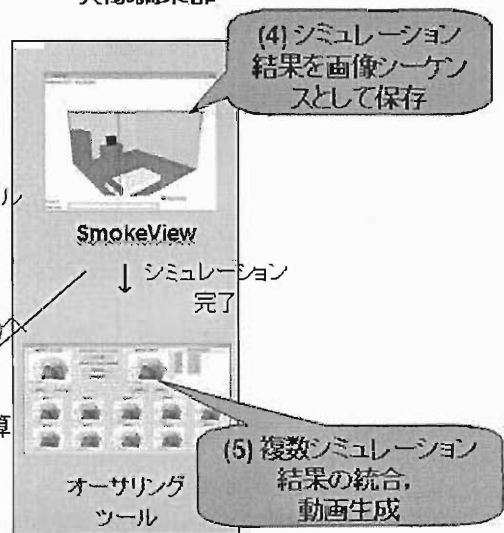


図1 提案するオーサリングシステムの構成図

めの編集点として妥当であるかを考察した。

図2に参照画像を、図3に類似画像検索結果上位1位～5位と最下位の画像をそれぞれ示す。参照画像と検索結果上位の画像を比較すると、全体的な火の立ち上がり方は酷似していることがわかる。また、空間内に設置した火源上部の熱電対の測定値のグラフを図4に示す。図3に示した最下位画像の測定値は892度であり、図4に示す類似度上位の画像と参照画像との温度差は小さいと言える。さらに、検索結果が上位であるほど、参照画像に対する、温度や時間の経過による温度の上昇度合が酷似していることがわかる。以上より、類似画像検索によって提示される類似度上位の画像は、編集点候補として妥当であり、その中でも、類似度1位の画像が編集点として最適の画像であると判断できる。類似画像検索で使用する画像間の違いは主に火と煙の量の違いであるため、カラーヒストグラムを特徴量として使用した類似画像検索手法を用いることにより、適切な編集点候補の画像を提示することが可能であったと考える。

Smokeyview 5.0.7 - Dec 30 2007

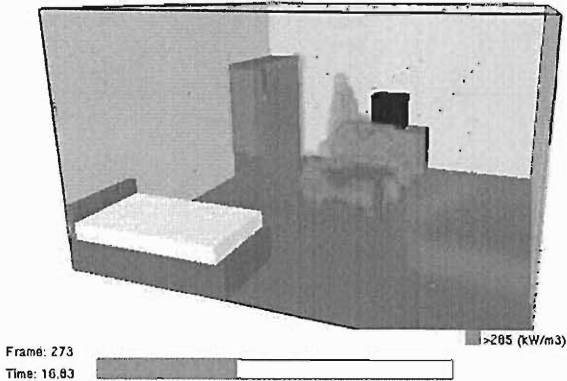


図2 本実験で使用した参照画像

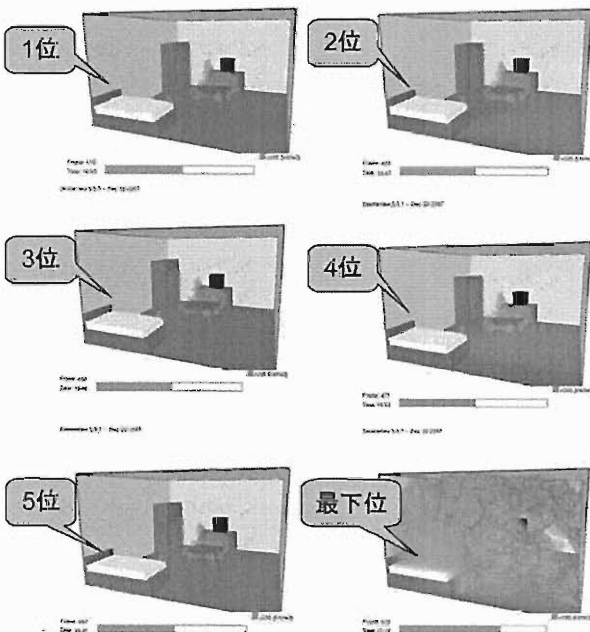


図3 類似画像検索結果

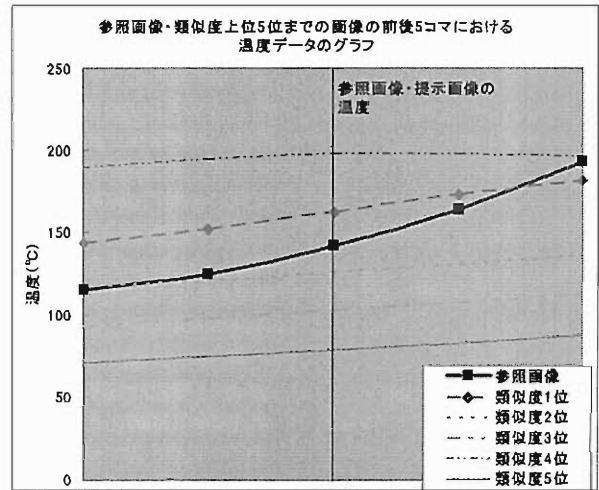


図4 参照画像・類似度上位5位までの画像の前後5コマにおける温度データのグラフ

(2) 提案システムの評価

提案システムの評価は、東京消防庁消防技術安全所に勤務する職員3名（以下、A氏、B氏、C氏とする。A氏、B氏はともにシミュレータに関する知識や操作経験は皆無である。C氏はシミュレータに関する知識を持つが、操作経験は少ない）に協力を依頼した。図5で示した、火災調査書に記載されている火災事例の出火室立体図に基づきモデル構築を行い、火災概要から以下の2つのイベントが存在する再現映像を作成してもらった。

- イベント①：ガスコンロにあるフライパンから出火
- イベント②：油が床のマットに飛散し、マットが焼損

再現映像にかかった時間や作成された映像の品質、および実験後のアンケートにより、提案システムの有用性や、作成された映像の妥当性について考察した。

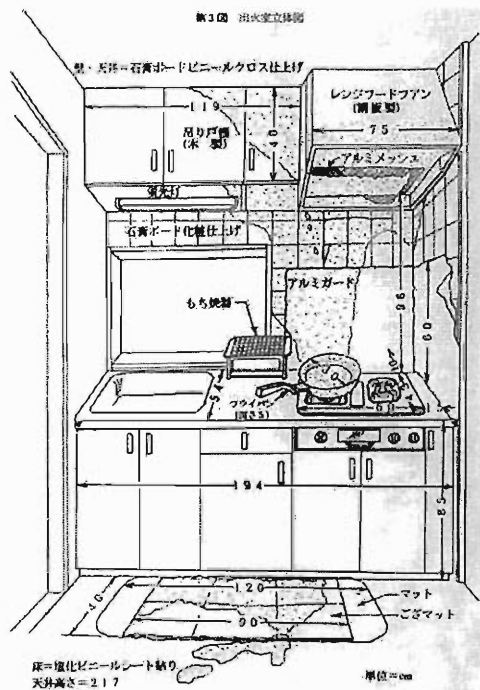


図5 実験で使用した火災事例の出火室立体図

3氏が作成した再現映像を図6にそれぞれ示す。C氏は業務の都合上、再現映像の作成完了まで至らなかったため、シミュレーションデータを著者が引き継いで完成させた再現映像を利用する。

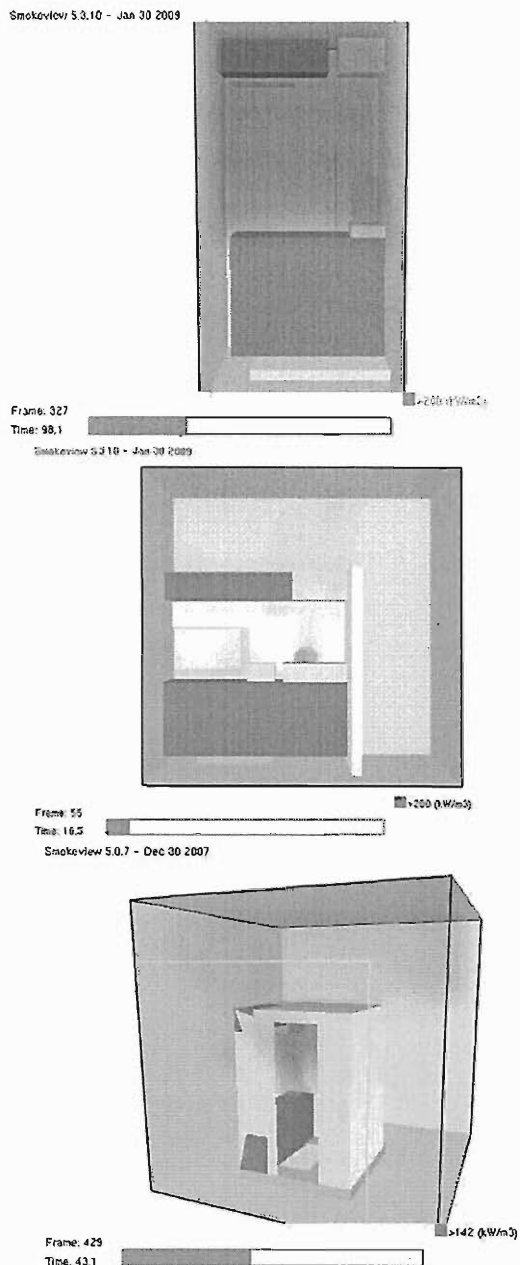


図6 3氏の作成した再現映像
(上からA氏、B氏、C氏)

表1 作業内容ごとの所要時間

| 作業内容 | A氏 (h) | B氏 (h) | C氏 (h) |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| オブジェクト作成 | 2.5 | 3.5 | 2 |
| 火災条件設定 イベント① | 1 | 2 | 3.5 |
| 火災条件設定 イベント② | 0.5 | 2 | 0.5 |
| 画像シーケンス作成・ 動画生成 | 2 | 2.5 | 1.5 |
| 作業時間合計 | 6 | 10 | 7.5 |

表1に、作業内容ごとの実験時間を示す。本実験では、A氏・B氏に対してシミュレータ操作に長けている者がサポートをしたが、10時間程度で再現映像を作成した。

再現映像としての妥当性は、A氏は妥当ではない、B氏は妥当であると評価した。A氏の評価の理由は、火や煙の立ち上がり方が小さいことを挙げており、作成したモデルに問題があるわけではないことから、再現映像としてある程度の評価ができると考える。火や煙の大きさは、容易に変更可能であるため、A氏の要件を満たす再現映像は容易に作成可能である。B氏は、他の職員に火災状況を説明する材料として十分なので妥当だと判断していた。しかし、再現映像における1つ目のイベントの表示時間が想定よりも早かったため、映像の品質においては改善する必要があると考える。以上より、作成した再現映像は両者とも品質において向上の余地はあるが、両者とも火災空間のモデル自体は満足していること、品質向上した再現映像を容易に作成可能であることから、提案システムは有用であるといえる。

FDSを業務で使用した経験を持つ他の消防職員に提案システムを試用させたところ、提案システムを活用すれば、より短時間で火災映像を作成できるという感想が得られた。

5 おわりに

本稿では、消防職員による火災事例の再現映像作成を支援することを目的とし、シミュレーションデータの入力支援や、シミュレーション結果の編集支援機能を備えたオーサリングシステムを提案した。東京消防庁消防技術安全所と共同で行った実証実験により、作業に要した時間や、作成された映像の品質を検討することで、提案システムの有用性を示した。

提案システムを使用することで、消防職員が気軽に火災事例の再現映像を作成することができ、結果として様々な火災状況を動的に把握する事が可能となるため、火災状況に対する議論が活発に行われることが期待できる。結果として、より高度な防災啓発活動の取り組みを行うことが可能になると考える。

[参考文献]

- 1) 水上点晴：火災モデルに関する研究（煙流動予測から火源予測へ）、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-2、pp. 207-208、2007
- 2) Datta, R, Joshi, D., Li, J., Wang, J. Z.: Image Retrieval: Ideas, Influences, and Trends of the New Age, ACM Computing Surveys, vol. 40, No. 2, 2008
- 3) 山本英典、岩佐英彦、竹村治雄、横矢直和：色情報の空間分布を考慮した類似画像検索、映像情報メディア学会技術報告、Vol. 23, No. 9, pp. 45-50, 1999

Verification Concerning the System Supporting Fire Personnel in the use of the Fire Simulator

Seiichi OGAWA*, Shigeyuki YAMAMURA**, Hiroaki YUASA**, Yasufumi TAKAMA*

Abstract

We propose a system supporting fire personnel in the use of the fire simulator. The supporting system consists of the following two parts:

- Parameter input-support interface
- Similar image search using color histograms

We conducted experiments on fire personnel by letting them use this supporting system. By assessing the time it took for them to solve given problems, we confirmed that the supporting system is an effective tool.