

2008 年度総合研究

マルチエージェントを用いた火災発生時の避難シミュレーション
～大阪市浪速区の個室ビデオ店放火事件の実例に基づいた研究～

2009 年 2 月 7 日

R05012 宇佐美一朗

指導教員 堤和敏

芝浦工業大学 システム工学部 環境システム学科

目次

第 1 章	序論	
1.1	研究の背景	3
1.1.1	放火による火災	3
1.1.2	シミュレーションの有効性	4
1.2	研究の目的	4
1.3	研究の手順	4
1.4	本論文の構成	5
第 2 章	避難シミュレーションの構築	
2.1	マルチエージェントモデル及びシミュレータ artisoc 概要	7
2.1.1	マルチエージェントモデル	7
2.1.2	シミュレータ artisoc	7
2.2	対象施設の設定	8
2.3	エージェントのルール設定及びプログラムの構築	9
2.3.1	全体フロー	9
2.3.2	壁エージェント	10
2.3.3	床エージェント	11
2.3.4	火エージェント	12
2.3.5	煙エージェント	13
2.3.6	客エージェント	15
第 3 章	避難シミュレーションの精度の評価及び様々なパターンにおける検証	
3.1	精度の評価方法	21
3.2	検証方法	21
3.3	シミュレーションの設定内容	21
3.4	実験結果	22
3.5	考察・結論	24
第 4 章	終わりに	
4.1	研究のまとめ	26
4.2	今後の課題	26
参考文献・謝辞		27
付録	付 1 本研究のシミュレーションの使い方	29
	付 2 プログラム	31
	付 3 エージェントの初期配置用 csv ファイル	45
	付 4 ポスターセッション	63
	付 5 概要	64

1.1 研究の背景

1.1.1 放火による火災¹⁾

現在の出火原因のトップは、図 1 に示すように放火または放火の疑いである。放火・放火の疑いによる主な火災は、熊本市大洋デパート、沼津市らくらく酒場、新宿歌舞伎町明星 56 ビル、ドンキホーテ浦和花月店火災、最近の事例では大阪市浪速区で起こった個室ビデオ店放火事件などの例が挙げられる。惨事に至った主な原因は次のようにまとめられる。

- ① (一つしかない) 階段室に放火
- ② 易燃性化学繊維が天井面近くまで堆積した場所に放火
- ③ 自動火災報知設備の不作動
- ④ 自動消火設備の不設置
- ⑤ 避難ルートが使用不可

などである。放火は被害拡大を意図しているためそれを小規模に抑えることは難しい。したがって、火災事例の被害拡大の主因となった①～⑤を考慮し、防災設備や避難ルートの有効性を示し、火災が発生した場合における人的被害の拡大を抑止するよう努めることへの意識を高めることが必要である。

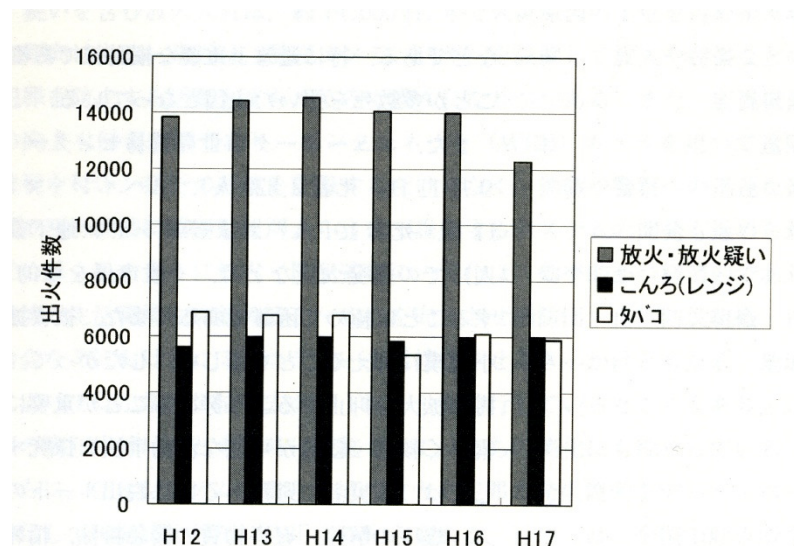


図 1 最近の 3 大出火件数の推移

1.1.2 シミュレーションの有効性

実際に実験を行うことが極めて困難、不可能、または危険である場合、多岐にわたる選択条件を事前に検証しようとするときにシミュレーションは必要になってくる。火災時の人間行動や建築空間のレイアウトの安全性を検証するのにも有効であるとされている。ここで言うシミュレーションとはコンピュータシミュレーションのことを指している。

1.2 研究の目的

本研究では1.1.1で挙げた大阪市浪速区の個室ビデオ店放火事件の実例に基づいたシミュレーションを構築し、火災報知機の有無、避難ルートの変更・追加をする様々なシナリオを設定し、シミュレーションする。各シナリオの避難不能人数を比較することで、被害をどの程度減らすことができるのか予測し、火災報知機の有効性や最適な避難口の位置を示すことを目的とする。

1.3 研究の手順

【STEP1】モデルのシナリオ・ルール設定

参考文献や新聞、インターネットから火災が起きたときの人間行動の特徴や個室ビデオ店火災に関する情報を調べ、実例に基づいたシナリオとシミュレーション上に表現される各エージェントのルールを設定する。シナリオとして、ソフト面においては火災報知機の有無、ハード面においては、避難口の配置の追加・変更を行う。

【STEP2】避難シミュレーションプログラムの構築

STEP1で設定したシナリオ・ルールに即した条件をシミュレーション上にモデル化し、システムを構築する。実際の事故状況と比較し、シミュレーションモデルの再現性を確認し、精度向上のためルール見直しを行う。

【STEP3】シミュレーション実験の結果と分析

STEP2で構築した避難シミュレーションを用いて、各シナリオの分析を行う。分析は避難不能人数、避難完了時間の算定を行い、各シナリオを比較する。

1.4 本論文の構成

第1章 序論

本研究の背景、目的、手順、構成を述べている。

第2章 避難シミュレーションの構築

マルチエージェントモデル、本研究で使用するソフトウェア **artisoc**、対象施設、エージェントのルール設定を述べている。

第3章 避難シミュレーションの精度の評価及び様々なパターンにおける検証

作成したシミュレーションの精度の評価方法、実験方法、実験結果、考察、結論について述べている。

第4章 終わりに

研究のまとめ、今後の課題について述べている。

参考文献・謝辞

- 付録
- 付1 本研究のシミュレーションの使い方
 - 付2 プログラム
 - 付3 エージェントの初期配置用 **csv** ファイル
 - 付4 ポスターセッション
 - 付5 概要

2.1 マルチエージェントモデル及びシミュレータ artisoc 概要

2.1.1 マルチエージェントモデル²⁾

自らの価値基準に従って自分の行為を自由に選択できるような自立的なエージェント同士の相互作用により、やがてシステム全体の流れのようなものが創発され、その流れが今度は逆にエージェントにフィードバックされて、また個々のエージェントの振る舞いを決定していく、という循環を表現するモデルのことである。

2.1.2 シミュレータ artisoc²⁾

本研究で使用する **artisoc** は、構造計画研究所が開発したソフトウェアである。**VisualBasic** に準拠したルール書式で、便利な関数が充実しているため、マルチエージェントシステムを容易に構築しシミュレートすることができるという特徴を持つ。

artisoc では、人口社会のモデルは

「エージェント」と呼ばれる行動主体

個々のエージェントの属性（性質や役割）を表す「変数」

エージェントが行動する（他のエージェントと関係する）「ルール」

エージェントが行動（相互作用）する「空間」ないし「場」

シミュレーションやモデル全体に関わる「変数」や「ルール」

を基本的な要素にしている。

2.2 対象施設の設定

本研究の対象施設の平面図及び避難者である客の初期配置を図 2 に示す。この施設は 2008 年 10 月 1 日に放火事件が起きた大阪市浪速区の個室ビデオ店である。客の初期配置は参考文献³⁾を参考に決めたものである。

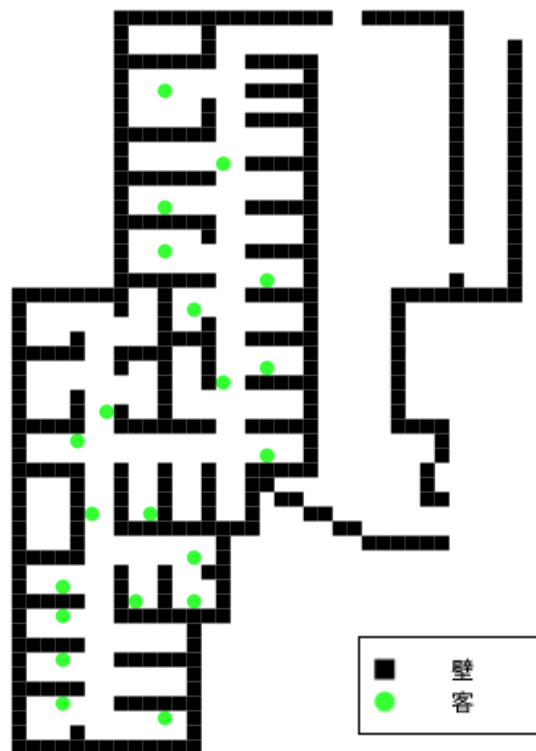


図 2 対象施設平面図及び客の初期配置

2.3 エージェントのルール設定及びプログラムの構築

本研究で作成した避難シミュレーションモデルには、壁エージェント・床エージェント・火エージェント・煙エージェント・客エージェント・出入口エージェントが存在する。まずシミュレーションの全体の流れを全体フローで説明し、次に各エージェントについてのルール設定及びプログラムを解説する。

2.3.1 全体フロー

図 3 にシミュレーション全体の処理フローを示す。シミュレーションの中でエージェントは図 3 の順番で行動し、終了条件を充たすまで行動を繰り返す。

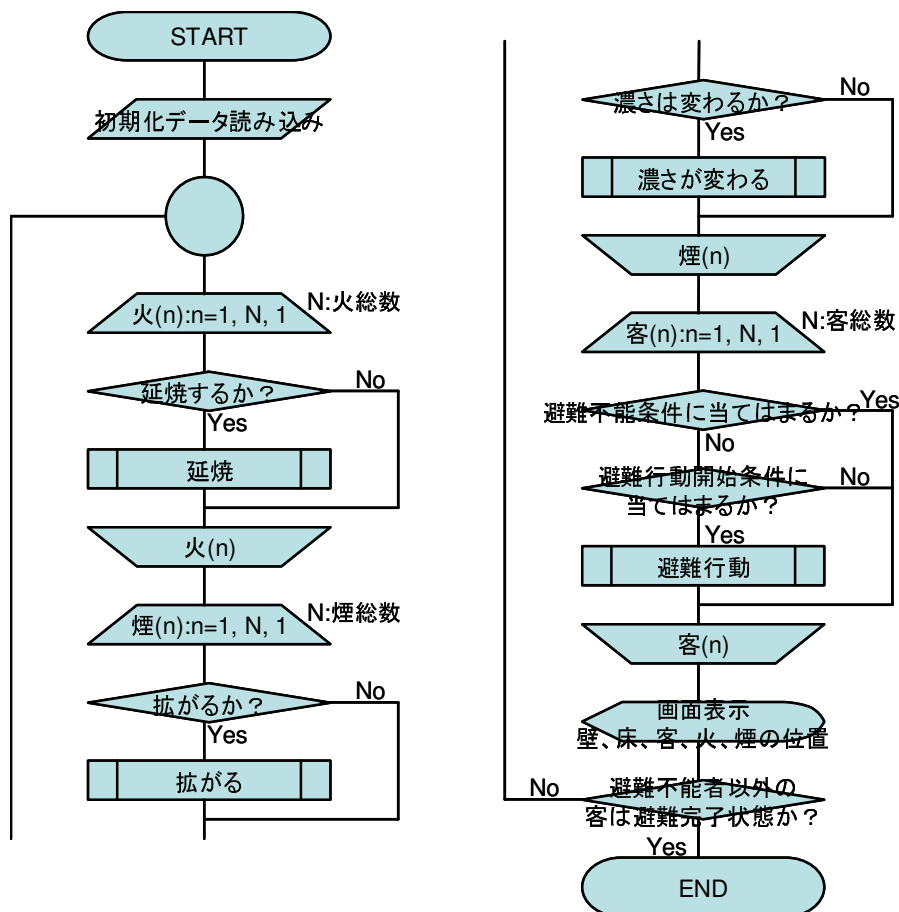


図 3 シミュレーション全体フロー

2.3.2 壁エージェント

壁エージェントによって店内のレイアウトを表現している。壁エージェントの初期値にあらかじめ用意した Excel csv ファイル「壁初期配置(A)」 「壁初期配置(B)」 「壁初期配置(C)」 「壁初期配置(D)」 のいずれかをエージェント初期設定に入力することで様々なパターンの避難口のレイアウトのシミュレーションを実行できる。「壁初期配置(A)」 「壁初期配置(B)」 「壁初期配置(C)」 「壁初期配置(D)」 のレイアウトを図 4~7、Excel データを資料 3 に記す。

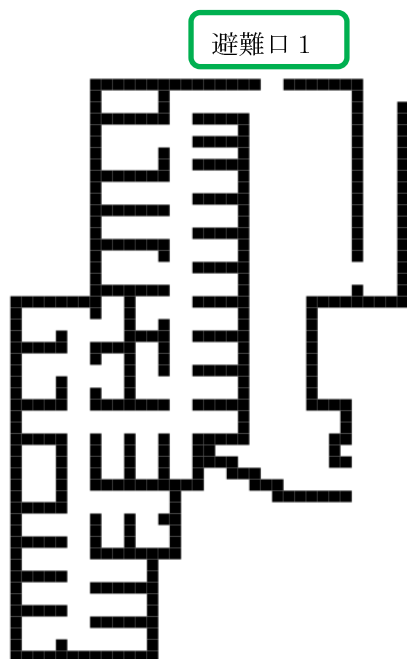


図 4 壁初期配置(A)



図 5 壁初期配置(B)

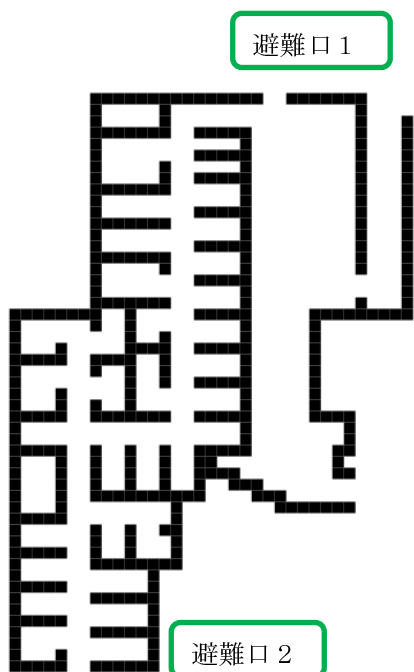


図 6 壁初期配置(C)

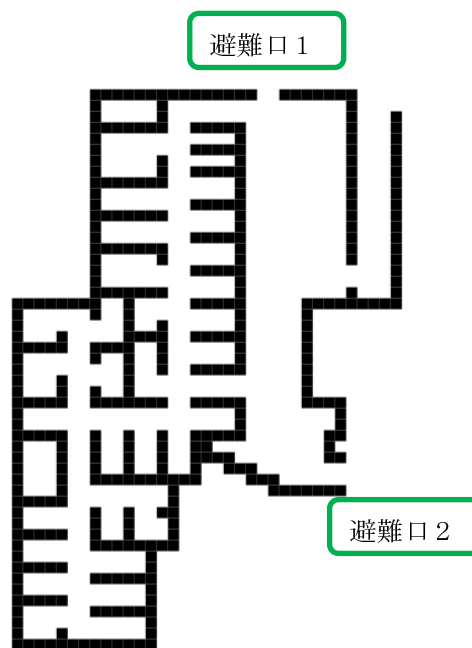


図 7 壁初期配置(D)

2.3.3 床エージェント

床エージェントは、客エージェントを避難口へ移動させるためのものである。床エージェントには図 8 に示すように避難口への距離値が格納されている。距離値 0 が避難口を表し、客はこの距離値が少なくなる方向へ自身の座標を移すことにより避難口を目指し、移動する。床エージェントには「potential」「potential2」の 2 つの変数を与えていて「potential」は図の避難口 1 へ向かうための距離値、「potential2」は避難口 1・避難口 2 のどちらか近いほうの避難口へ向かうための距離値が格納されている。

床エージェントの初期値にあらかじめ用意した Excel csv ファイル「ポテンシャルパターン(A)」「ポテンシャルパターン(B)」「ポテンシャルパターン (C)」「ポテンシャルパターン (D)」のいずれかをエージェント初期設定に入力することで様々なパターンの避難口に向かう避難者を表現できる。Excel データを資料 3 に記す。

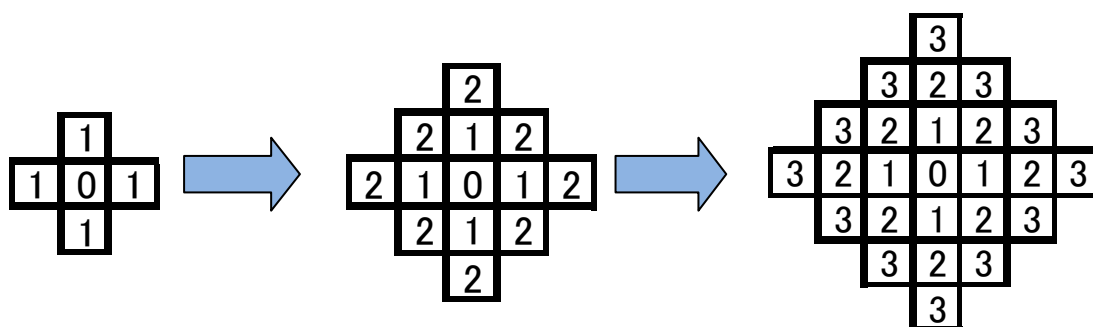


図 8 距離値設定

2.3.4 火エージェント

火エージェントは、まず視野 1 の範囲（自身の周り 8 セル）をチェックし、空があれば延焼しようとする。空がない場合は何もしない。視野 1 の範囲に空があれば、乱数を発生させコントロールパネル（延焼確率）で決められた変数と比べる。乱数が条件に合えば新たな火エージェントと煙エージェントが生成され、火エージェントは隣のセルへと移動する。図 9 に火エージェントの処理フロー、図 10 に火災発生箇所その 1～3 の位置を示す。

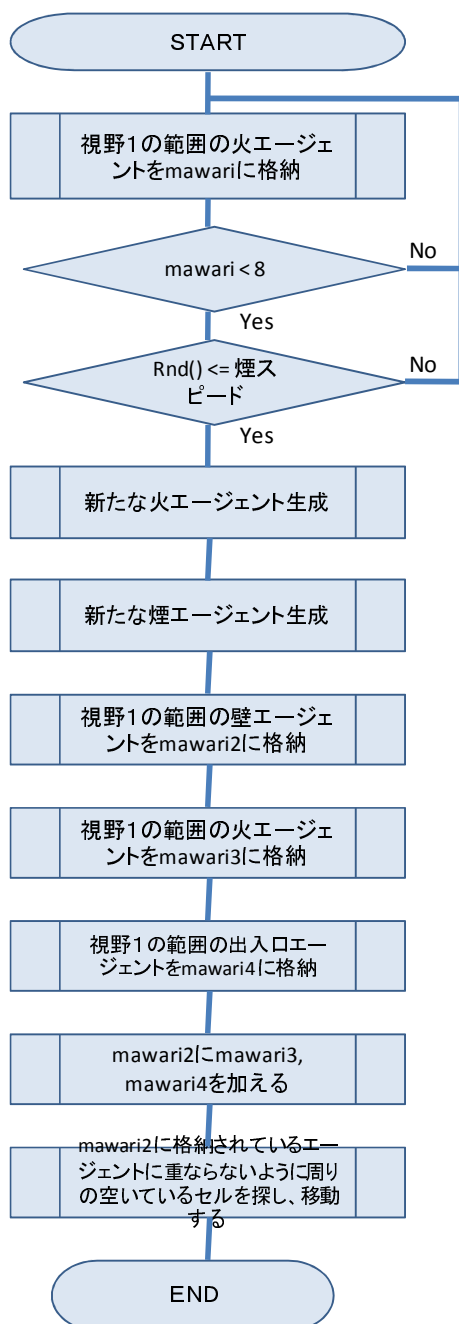


図 9 火エージェントのフローチャート

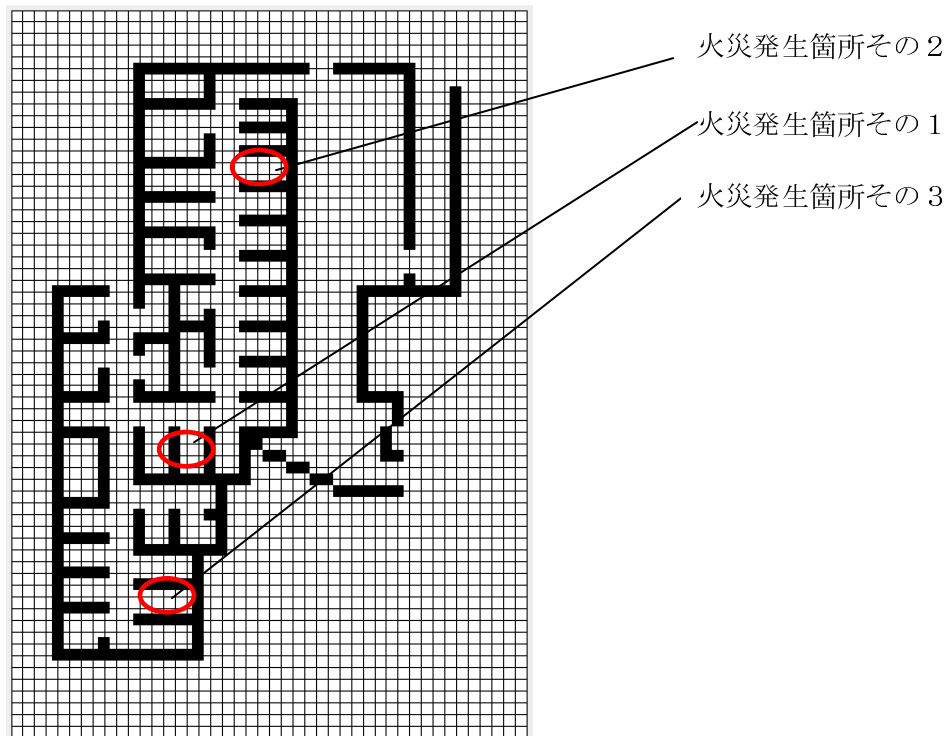


図 10 火災発生箇所その 1～3 の位置

2.3.5 煙エージェント

- ・煙エージェントはシミュレーション開始時には存在しないが、火エージェントによって生成される。

- ・煙エージェントは煙の濃さが3段階あり、1番薄い煙を■、2番目に濃い煙を■、3番目に濃い煙を■で表している。煙エージェントの濃さは生成された時は1番薄く、シミュレーション実行開始から20ステップ目に火エージェントと同じセルにいた場合2番目の濃さの煙エージェントに変化し、30ステップ目に火エージェントと同じセルにいた場合1番濃い色の煙エージェントに変化する。

- ・煙エージェントが広がる過程を説明する。1番薄い煙が広がるルールは火エージェントと同じである。視野1の範囲（自身の周り8セル）をチェックし、壁エージェント・煙エージェント・出入口エージェントがいないセルのどれかに広がろうとする。広がる早さはスクロールバーの煙スピードで操作できる。

- ・煙の濃度を表わす色は■→■→■の順序で変化する。煙エージェントは毎ステップ視野1の範囲の煙エージェントの色をチェックし、視野1の範囲に自分より濃い煙エージェントが存在すると自身の色を1段階濃くする。■→■に変化する確率をコントロールパネル（煙スピード2）で、■→■に変化する確率をコントロールパネル（煙スピード3）で操作することによって、2番目に濃い煙と1番濃い煙の広がるスピードを操作することができる。図11に煙エージェントのフローチャートを示す。

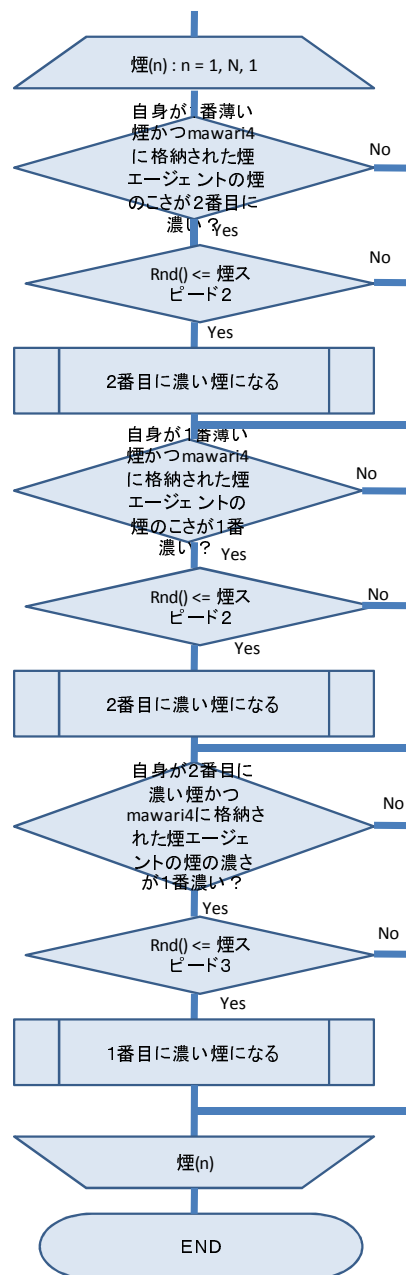
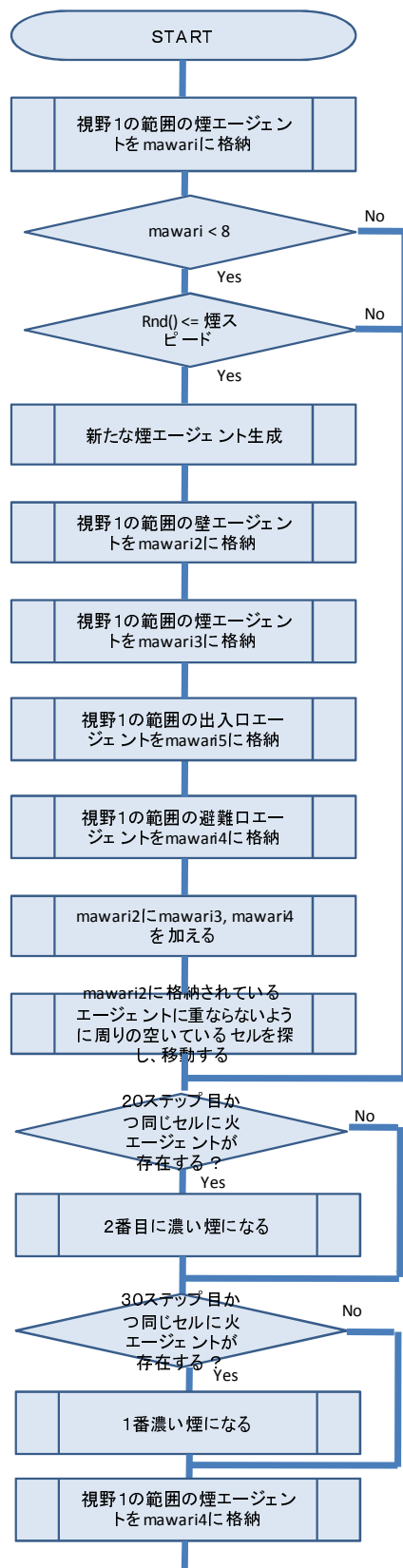


図 11 煙エージェントのフローチャート

2.3.6 客エージェント

- ・客エージェントは 21 存在し、シミュレーション開始時に起きている客と寝ている客が 2:8 に分けられる。

- ・客エージェントはその時の行動を色によって分けられている。色は 4 種類（●起きている（火災を知覚していない）、●寝ている、●避難行動を開始している、●死亡）に分けている。

- ・客エージェントが避難行動を開始する条件は、●起きている客と●寝ている客で異なる。起きている客が避難行動を開始する条件は、①火災報知機が作動している②視野 2 の範囲に火エージェントが存在するか、③視野 1 の範囲に煙エージェントが存在するかのいずれかを満たせば火災を知覚したものとし、避難行動を開始する。寝ている客は煙や火が近づいても火災には気づかないものとし、避難行動を開始する条件は①火災報知機が作動しているしかない。

- ・客エージェントが死亡する条件は、①火エージェントに囲まれる、②一番濃い煙エージェントに囲まれるかいずれかを満たすものとする。

- ・火災報知機が作動していると、起きている客は毎ステップ 80%、寝ている客は 20%の確率で避難行動を開始する。

- ・シミュレーションは●●●の色をした客エージェントの数が 0 になると終了する。

図 12 に客エージェントのフローチャート、図 13(1)~(3)に避難行動のフローチャートを示す。

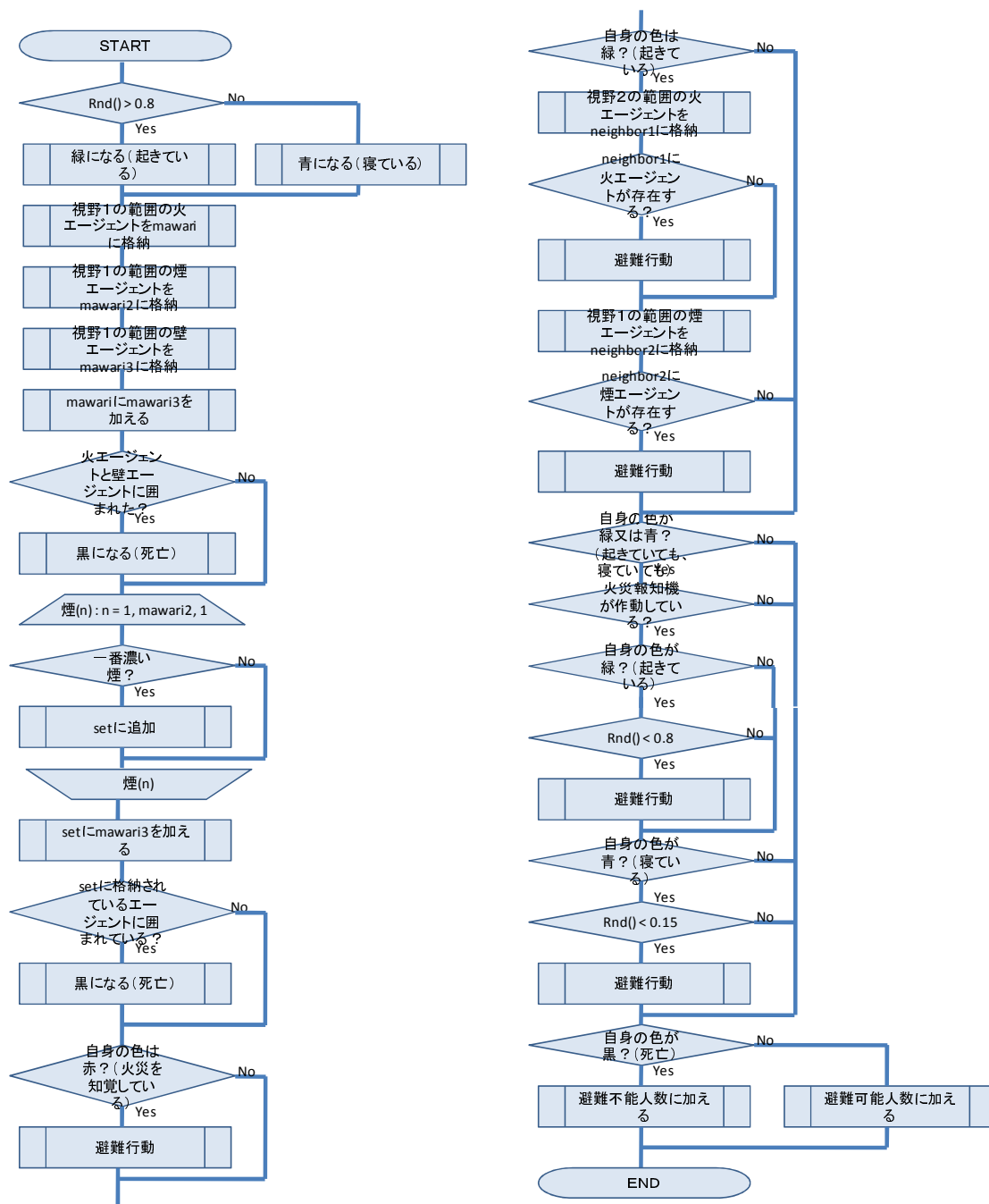


図 12 客エージェントのフローチャート

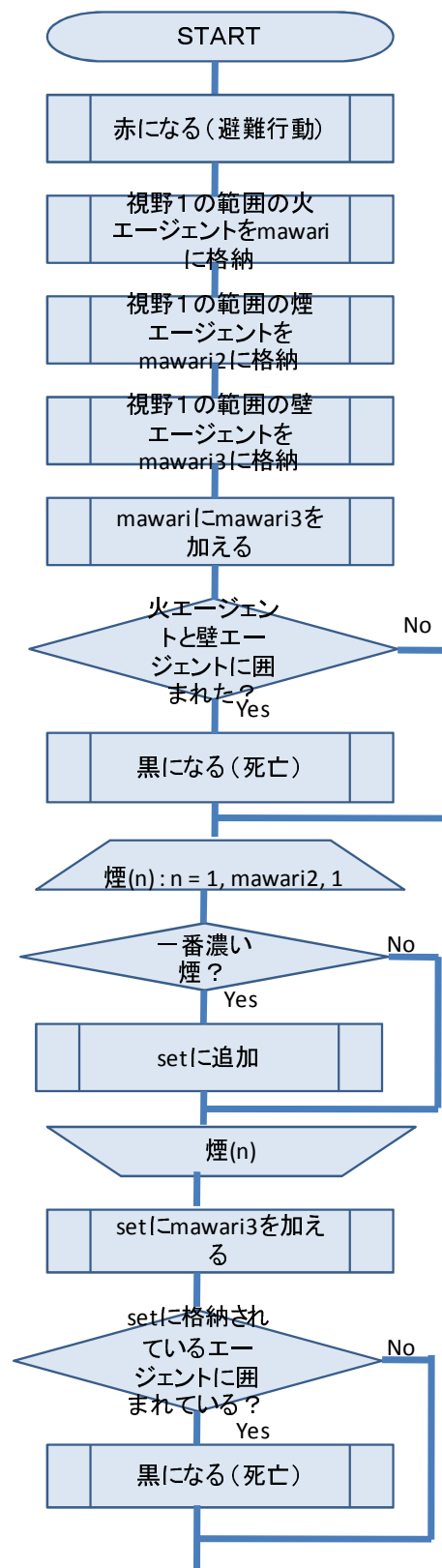


図 23(1) 避難行動のフローチャート

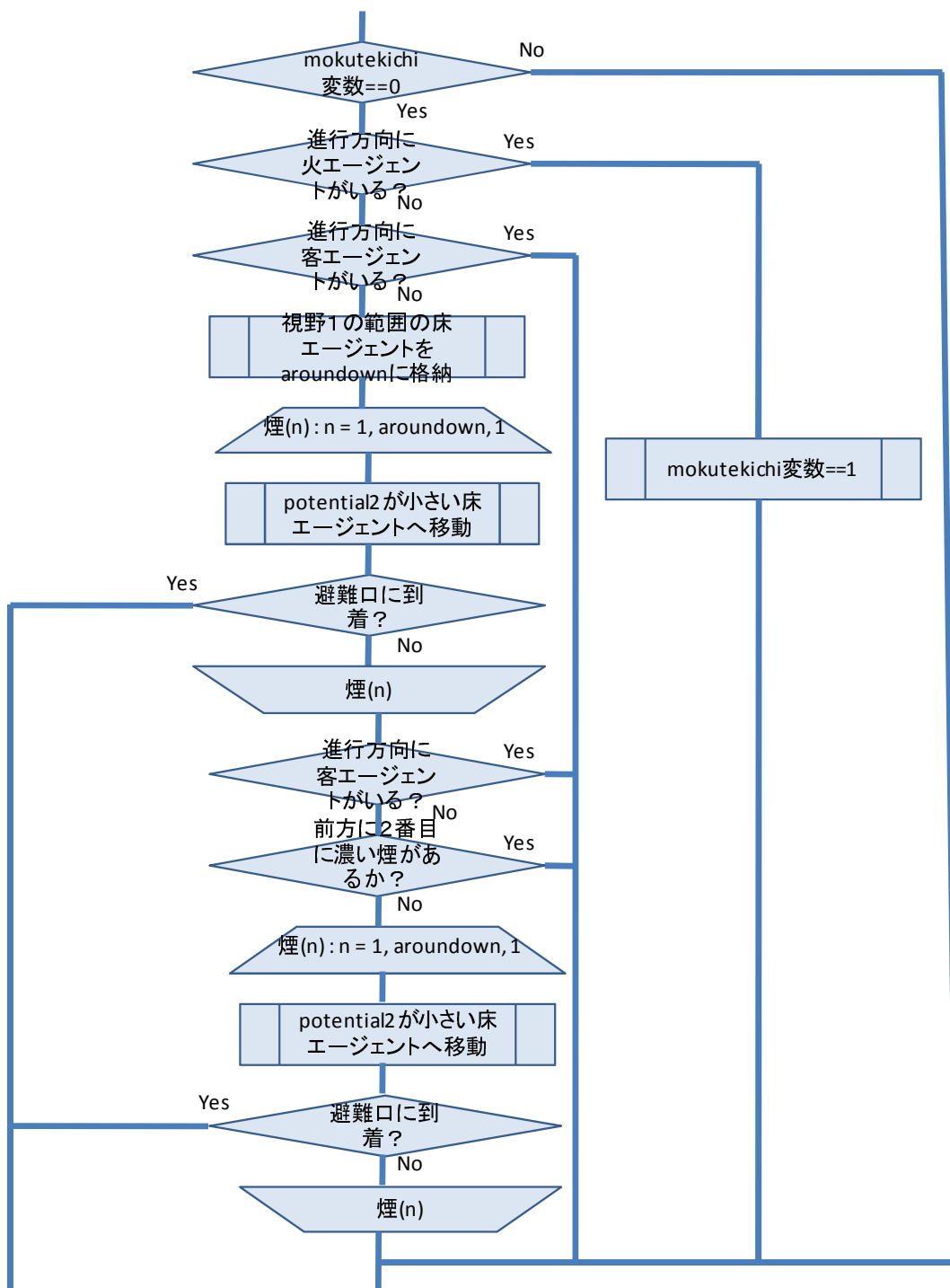


図 13(2) 避難行動のフローチャート

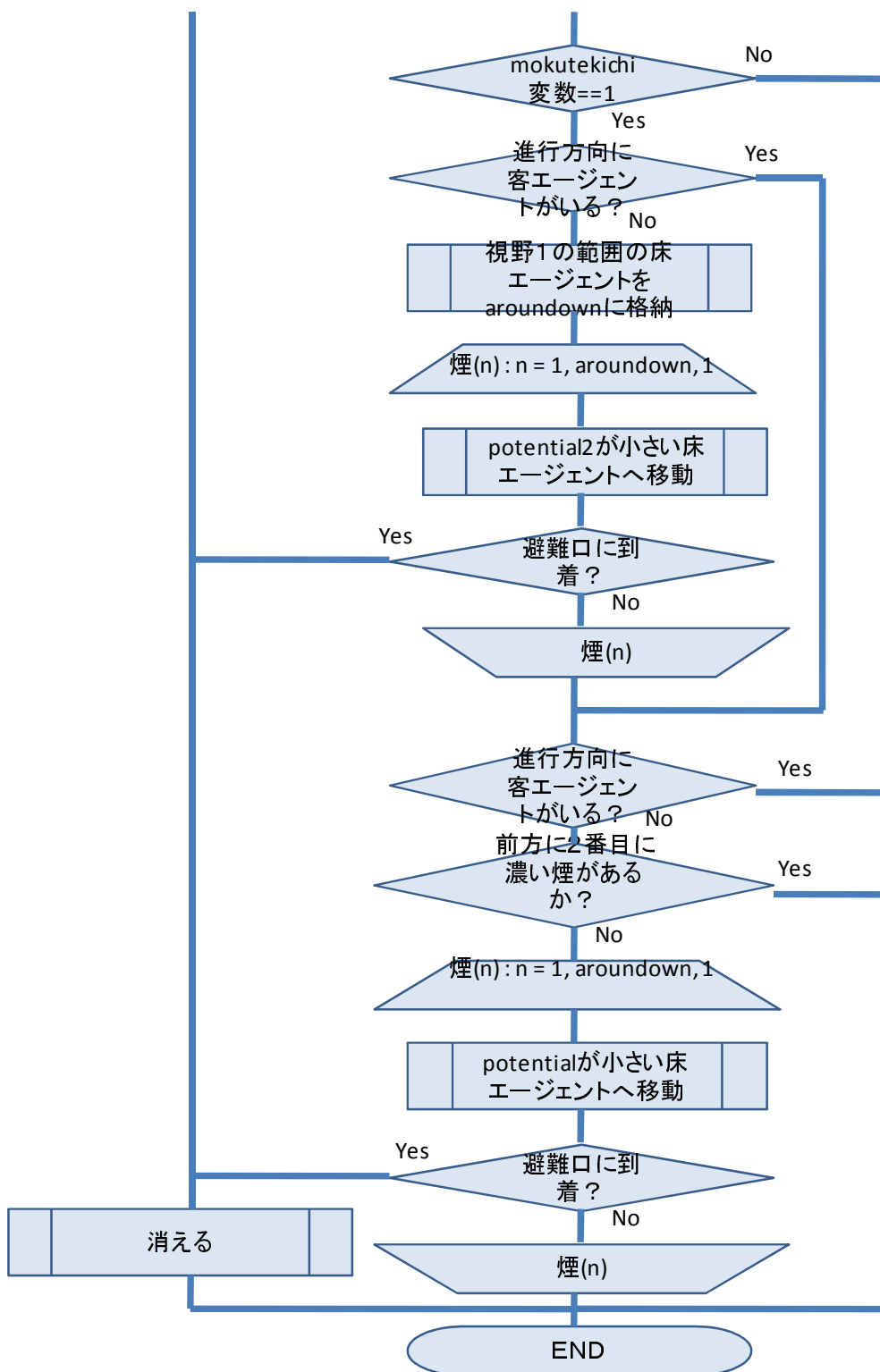


図 13(3) 避難行動のフローチャート

3.1 精度の評価方法

実際に起きた火災現場にいた客の全体人数と死傷者数を表 1³⁾に示す。シミュレーション実行結果の避難不能人数と、表 1 に示す死者の数を比較することでシミュレーションの精度を評価する。今回のシミュレーションでは消防隊による救出は考慮していないので、表 1 に記している消防隊に救出された負傷者 3 人を死者としてカウントする。シミュレーション結果の避難不能人数が 18 人に近づくように各エージェントルールの見直しや、延焼確率、煙が広がるスピードなどを調整した。調整した結果、延焼確率 0.1、煙スピード(■)1、煙スピード 2(■)0.5、煙スピード 3(■)0.25 として実験を行った。

表 1 客の全体人数と死傷者数の人数

死者	消防隊に救出された負傷者	自力で脱出した負傷者	自力で脱出し、けがもなかった人	計
15人	3人	2人	1人	21人

3.2 検証方法

本研究の目的である火災報知機の有効性や最適な避難口の位置を示すことを示すために、様々なパターンの試行における避難不能人数を比較する。避難不能人数の算出は 1 つのパターンにおいてシミュレーションを 10 回行い、平均する。

3.3 シミュレーションの設定内容

シミュレーションパターンの設定内容を記す。

- ①火災発生箇所その 1～3
- ②壁初期配置(A)～(D)
- ③火災報知機の有無
- ④煙の広がる速さの変更

①～③を組み合わせた計 24 パターンのシミュレーションを行う。延焼速度、煙の拡散スピードを決めるコントロールパネルの設定は 3.1 の検証をもとに、延焼確率 0.1、煙スピード(■)1、煙スピード 2(■)0.5、煙スピード 3(■)0.25 に設定し、それを設定 1 とする。また、設定 1 より煙の広がるスピードを速くし、より厳しい条件下での実験も行う。コントロールパネルの設定を延焼確率 0.1、煙スピード(■)1、煙スピード 2(■)0.8、煙スピード 3(■)0.4 とし、それを設定 2 とする。

3.4 実験結果

試行番号 A-1 のシミュレーション実行画面の例を図 14 に、設定 1 のシミュレーション実行結果を表 2、設定 2 のシミュレーション実行結果を表 3 に示す。表の中のアルファベットは大文字が火災報知機無の場合、小文字は火災報知機が有る場合を表している。

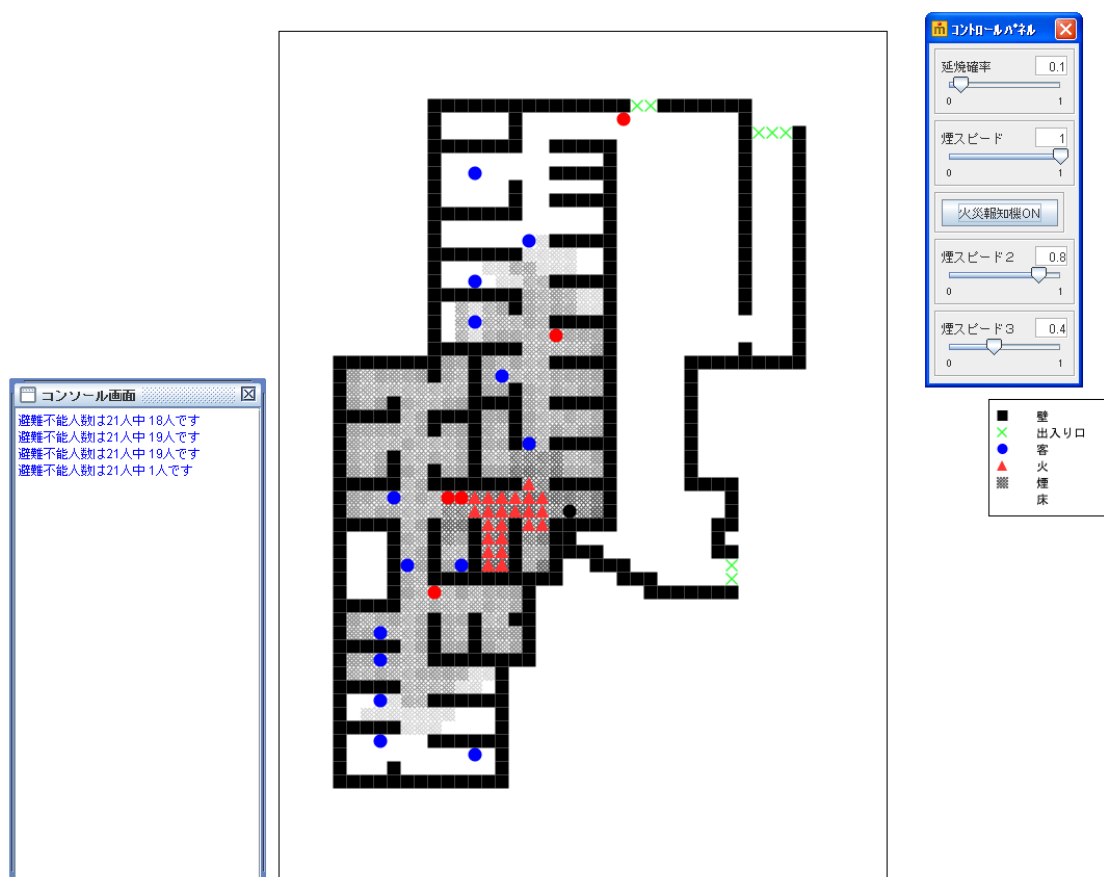


図 34 シミュレーション出力画面

3.5 考察・結論

3.5.1 火災報知機について

火災報知機の有無で結果に大きな違いが表れた。寝ている客は火災報知機がないと避難開始できないルールになっているためこの結果は当然である。火災報知機によって避難不能人数は 7～8 割減少している。

3.5.2 避難口について

火災報知機が作動していないパターン間で避難口の違いを比較すると避難不能人数にあまり差が表れなかった。これは 20%の確率で客が起きているものと設定しており、毎試行 3～5 人の客だけが避難を行うためだと考える。しかし、火災報知機が作動しているパターン間で避難口パターン(A)と避難口パターン(B)～(D)を比較すると避難不能人数の差が大いに表れた。避難口が 1 箇所しかない避難口パターン(A)では毎試行数人の避難不能人数が発生しているが、避難口が 2 箇所ある避難口パターン(B)～(D)では避難不能人数はほとんどの場合 0 になった。複数ある避難経路を選択できることと火災報知機が作動していることの両方が被害減少に重要であると言える。

3.5.3 まとめ

実際の火災でもほとんどの客が寝ていたことが被害拡大の主因の一つとなっているため、寝ている客を避難させる手段は必須である。そのための火災報知機は非常に有効であるといえる。今回、火災発生箇所を 3 箇所設定し、比較することで最適な避難口の位置を割り出そうとしたが、避難口パターン(B)～(D)の差があまり出なかった。しかし、避難口を複数設置することによって、避難経路の選択肢が増え、避難する確率が増えることが確認できた。これがさらに大きな建物、多くの人数を想定したシミュレーションであれば避難口のレイアウトパターン間の結果にさらに差が出ると考えられる。

4.1 研究のまとめ

第 1 章では、主な出火原因が放火であり、実際に被害拡大の主因となった火災報知機が作動しなかったこと、避難口が一つしかなく避難経路の選択肢がなかったことの 2 つを問題点として挙げ、火災報知機の有無を比較し火災報知機の有効性を確認すること、最適な避難口の位置を割り出すことを目的とした。研究の手順は、STEP1 がモデルのシナリオ・ルール設定、STEP2 が避難シミュレーションの作成、STEP3 はシミュレーション実験の結果と分析をした。

第 2 章では、構造計画研究所が開発したソフトウェア **artisoc** を用いて大阪市浪速区で起こった個室ビデオ店放火事件の実例に基づいたマルチエージェント・シミュレーションを作成した。対象施設の選択や火・煙・人などの行動ルールを設定し、避難シミュレーションを作成した。

第 3 章では、作成した避難シミュレーションの精度の評価、実験、考察までを行った。結果として火災報知機によって避難不能人数が 7~8 割減少し、効果が大きいことがわかった。避難口の位置についてはパターン間にあまり差が出なかったが、避難口が 1 箇所の場合と 2 箇所の場合で避難不能人数に大きな差が出た。これがさらに大きな建物・多くの避難者を想定した避難シミュレーションであれば避難口が 2 箇所あるパターン間の結果に差が表れ、最適な避難口を抽出できると考えられる。

4.2 今後の課題

今回は、延焼確率・煙の広がる速さをスクロールバーで調整し、実際に起きた火災の死傷者数に合わせることでシミュレーションの精度を評価した。今後、避難シミュレーションの精度を向上させるための課題として、火・煙のルールをより本物に近づける必要があることであると考え。また、多層階の建物を対象にしたシミュレーションや、避難誘導を考慮した研究への発展が考えられる。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会 はじめて学ぶ建物と火災 共立出版
- 2) MAS コミュニティ <http://mas.kke.co.jp/index.php>
- 3) 朝日新聞 2008 年 10 月 2 日
- 4) 脇山宗也、木村香代子、添川光雄 超高層建物を対象とした火災避難シミュレーションシステムの構築 第 51 回自動制御連合講演会資料 2008 年 11 月 22 日、23 日、p1008-p1010

<謝辞>

本研究を行うにあたり、構造計画研究所が開発した **artisoc** を無料で貸していただきました。ありがとうございました。

堤研究室のメンバーにはいろいろと助けて頂きました。特に修士 1 年生の北村悠介さんにはいろいろとご指導いただきました。ありがとうございました。

最後に、総合研究に関して多くのご指導をして頂きました堤和敏教授、副査を担当してくださった中井豊教授に深く御礼、感謝いたします。