

ペトリネットによる背景画像上での建物内避難シナリオのシミュレーション研究*

Development of Petri Net Simulation for Evacuation in Building on Its Background Image*

曾根 岳志**・木俣 昇***

By Takashi Sone**・Noboru KIMATA***

1. はじめに

災害時には、「想定外のことでした」という発言がしばしばなされる。災害時に想定外の事象が発生することは、ある意味では常態ではあるが、防災計画には、それらを意識化させる支援システムの存在が望まれるだろう。本研究では、建物内火災に関する避難計画を事例に、著者らの開発してきたペトリネットシミュレータを適用し、想定シナリオによる避難シミュレーションの構成とその解析の実行性を示すとともに、想定外の要因の想起と、それらの即時検討性について論じ、ペトリネットシミュレータの防災計画支援システムとしての可能性と課題について考察する。

2. ペトリネットによる避難基本事象の表現法

(1) ペトリネットの基本原理解

ペトリネットとは、図-1 に示すように、プレース(○)、トランジション(I), アーク(入出力:→, 抑止:···)を要素とする一種のグラフ形式による対象系の記述形式をいう。

図-1 は、 $t_0 \sim t_3$ の 4 個のトランジション(基本事象)からなるペトリネットで、トークン(●)のプレースへのマーキングによって系の状態推移が記述される。この推移は、トランジションの発火則によるもので、図-1 に示すように、全ての入力プレースにトークンがマーキングされていて、かつ全ての抑止プレースにトークンが存在しないとき、トランジシ

ョンは発火し、図-1(1)から図-1(2), または、図-1(3)から図-1(4)と状態推移を行う。

ペトリネットの特徴は、ネットの視覚性に加えて、その共通構造的から生まれるネット間の結合性、駆動原理の明解性と汎用性等にある。防災計画における想定外事象へのアプローチ法には、これらの特徴が有効に働くと考えられる。

(2) 避難基本事象のペトリネット記述化

建物内火災では、①火災発生と煙の拡散・滞留、②煙感知と防火シャッター作動の状況の中で、③避

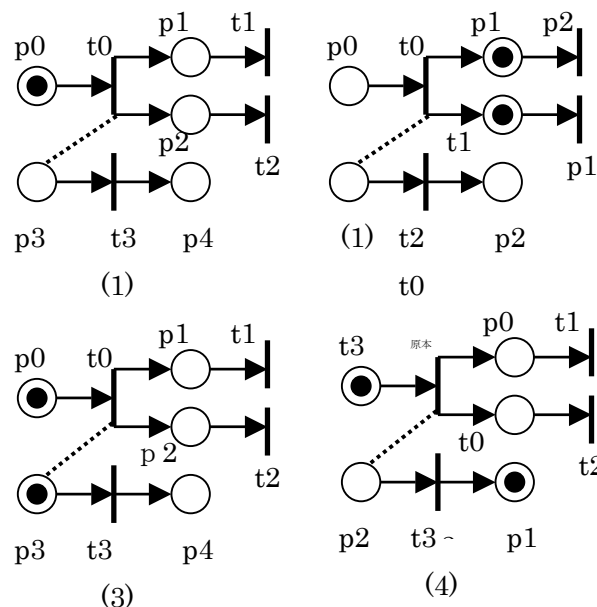


図-1 ペトリネットの基本事象と状態推移

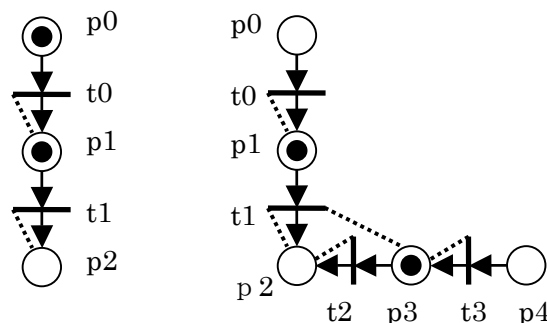


図-2(1) 空間占有と移動ネット

図-2(2) 空間占有の競合化と優先順位設定ネット

*キーワード：防災計画，システム分析，計画情報，

**学生員，工学士，金沢大学大学院自然科学研究科環境基盤工学専攻

***正員，工博，金沢大学大学院自然科学研究科教授地球科学専攻

(〒920-0942 金沢市小立野 2-40-20,

Tel.076-234-4914 Fax.076-234-4915)

E-mail : kimata@t.kanazawa-u.ac.jp

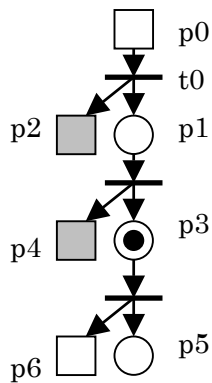


図-3 煙の拡散と
滞留ネット

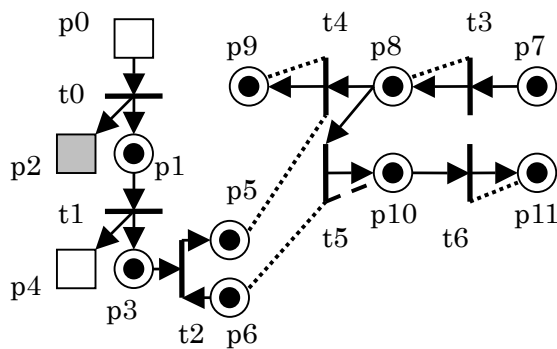


図-3(3) 防火シャッターの作動と経路
変更ネット

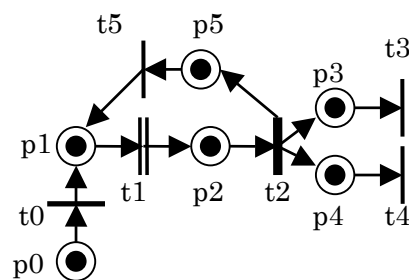


図-4 判断ネット

難者による判断と、④建物内空間移動による避難がなされる。ここでは、これらの基本事象のペトリネット表現について概説する。

図-2(1)は、避難者の空間移動の基本部分ネット例である。ここでは、プレースを1人の占有空間とし、抑止アークを利用し、前方空間の占有性制約を記述している。図-2(2)は、上方と右方からの移動者によって占有競合が生じるプレース p2 に対して、右方に優先性を想定したネットとなっている。この想定変更や不確実化も、ネット構築の工夫で可能となるとともに、共通のソフトウェアで実行可能となる。

図-3(1)は、火災の発生に伴う煙の拡散と滞留の基本部分ネット例である。ここでは、○のプレースで煙の拡散を、□のプレースで煙の滞留を表現している。図-3(2)は、この部分ネットと、図 2(1)の空間移動ネットを、煙感知による防火シャッター作動(t2)を介して結合化させ、左向きの空間移動が非常口に向かって右向きに切り替わる避難行動を記述している。

図-4 は、避難者の判断ネット例で、避難に際して逡巡者や不案内者の存在比率によるシナリオ想定外の事象の生起の取り扱いにも利用できる。

(3) ペトリネットシミュレータの概要

(1)で述べたように、ペトリネットの特徴は、駆動原理の明快性と汎用性にある。換言すれば、対象のペトリネット記述がなされれば、プログラムの変更なしで、共通のソフトウェアによって視覚型シミュレーション実行が即時可能となる。著者らが開発してきているペトリネットシミュレータの基本メニューを図-5 に示す。作成されたネット図は、この基本メニューに従って、視覚出力画面として構築され、

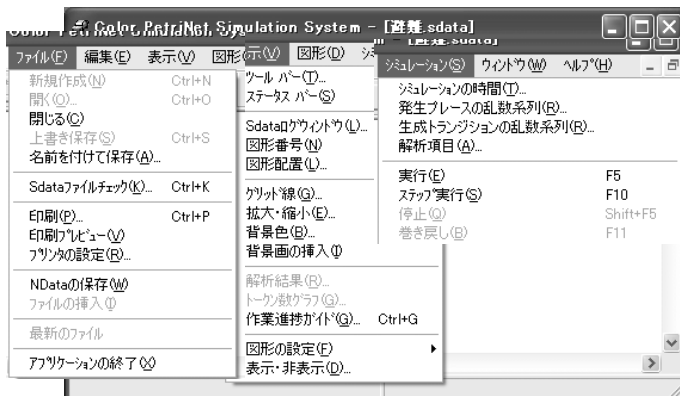


図-5 ペトリネットシミュレータの基本メニュー

その上でのシミュレーションが可能となる。

メニューにある”Sdata”とは、作成したネットの全ての構成要素と関連構造を、一定の形式で記述・特定化したデータ形式のファイルをいう。まず、このファイルを開き、“図形配置”をクリックすると、要素リストウインドウが現れ、このリストから要素を順次指定し、画面上に配置することでシミュレーションネットの構築が容易に行なえるシステムとなっている。この構築に際して、図-5に示すように“背景画の挿入”も可能となっており、災害空間の直接認知の下で、防災シナリオの検討と見直しシミュレーション支援に大いに寄与する特長を備えている。

3. 背景画上での避難シナリオのペトリネットシミュレーションの構築と実行

(1) 背景画像上での基本避難計画シナリオのシミュレーション実行

ここでは、図-6 に示す建物の2階部での出火に伴う避難を事例に、そのペトリネットシミュレーションの構成と実行性を考える。

まず、災害の基本シナリオとして、図-6 に示す出

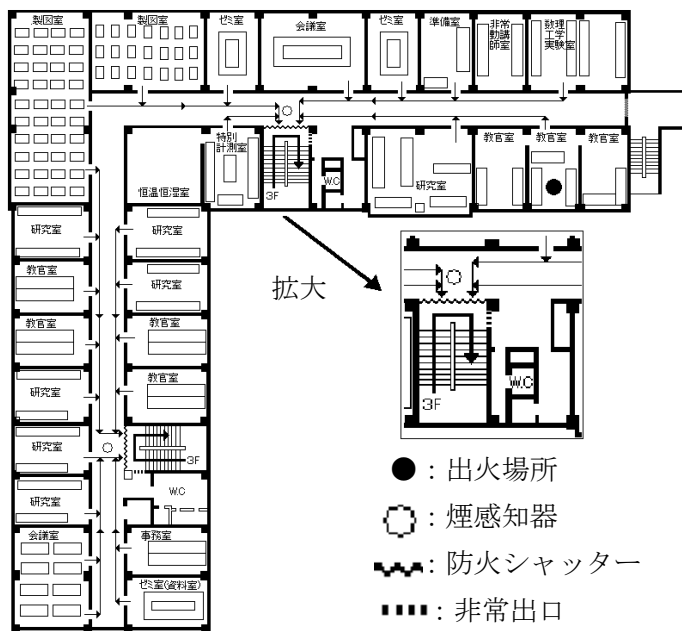


図-6 背景画像

火場所を想定し、この火災による煙が通路を介して拡散・滞留する状況を考える。避難は、火災報知音によって開始され、2Fの各室の常時在室者は、図-6に示す既知の経路を通して、2箇所の階段から1Fに降りて屋外へと退避するシナリオを想定する。3Fからの避難者は、2箇所の階段から2Fに降りるとし、階段部で合流する形でその関与性を考慮する。

また、各階段部には、図-6に示すように、防火シャッターが設置されており、手前の煙感知器によって作動する。これらの防火シャッターが閉になれば、図-6の拡大図に示す階段脇の非常ドアを利用して、整然と避難するものとする。

この基本シナリオは、2.の(3)のシミュレータを用いて、2.の(2)で構築した基本部分ネットを、図-6の背景画の上に配置し、結合化することによって、シミュレーションシステムネットとして構築できる。

図-7の(1)と(2)は、そのようにして構築したシステムネットによる実行画面例である。ここでは、シミュレーションネットの視覚性を確保するために、図-5の基本メニューにある”表示・非表示”機能を活用し、避難者の占有空間(通路と室内)に対応するプレース以外の要素を全て”非表示”に設定している。

図-7(1)は、両階段ともに防火シャッターは”開”の状態の画面で、図-7(2)は、1箇所、上方の階段の防火シャッターのみが”閉”の状態となった画面である。後者では、非常ドアを利用した避難に変化していることが見て取れるだろう。

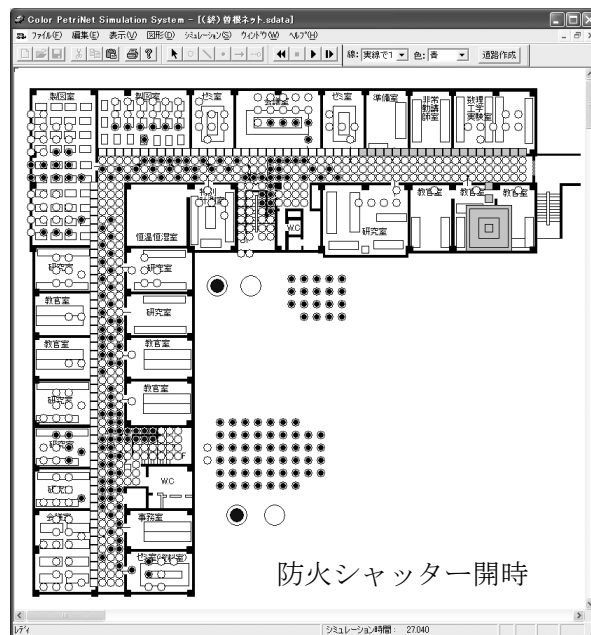


図-7(1) シミュレーション実行画面



図-7(2) シミュレーション実行画面

(2) 避難計画シナリオの検討シミュレーション

(1)の基本シナリオでは、出火場所が建物の端で、比較的危険性の低い位置を想定し、避難対象者は全員常時利用の在室者であり、避難行動計画を遵守し整然と行動するとしている。この基本シナリオからの逸脱要因や不確実要因については、幾つも指摘することができるだろう。

本論文の目的は、それらの指摘の契機の創出と、指摘結果の避難シナリオシミュレーションへの組み入れ性、およびその即時シミュレーション実行性を示唆するところにある。ここでは、①出火場所と②避難対象者の多様化の影響という基本シナリオから

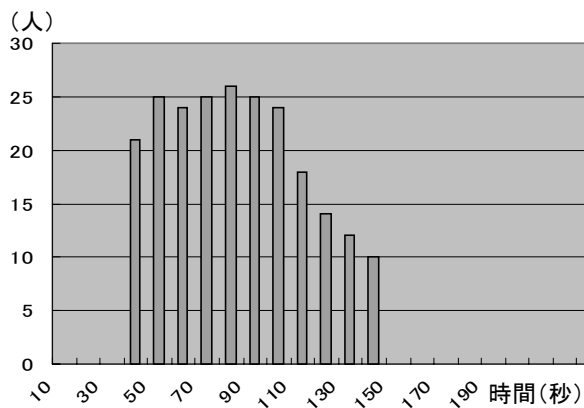


図-8(1) 基本シナリオのシミュレーション結果

の逸脱と不確実要因を事例に、ペトリネットシミュレータの特徴を活用し、上記の目的を実行する。

①の出火場所については、図-6 の背景画より、階段の隣の「特別計測室」に設定する。この変更は、図-7 のネットにおいて、まず、出火点プレース(4 重の□)を「特別計測室」の位置に移動し、次に、通路の縁に配置してある煙ネット(図-3(1)参照)の拡散方向を Sdata 上で変更すればよい。図-7 のネットでは、上述したように“表示・非表示”機能が使用されており、滞留プレースのみが表示されているが、“表示”に戻すことで、拡散方向の変更を視覚的にも確認することができる。

②の避難者の多様化の表現として、避難開始時の判断の多様化を考える。(1)の基本シナリオでは、常時利用者を想定し、火災発生と同時に、全ての人が移動方向を直ちに決めることができるとしている。それらの人の中にも、そのような即決ができない人も当然出てくるし、一時利用者の多くもそのグループに属するだろう。図-4 で示したネットは、右か左方向か、さらに躊躇かの状態をとる判断ネットであり、これを部屋から通路に出る部分に結合化することで、ここではこの逸脱性を組み込む。組み込み方は、基本的には出火点の変更と同様である。逸脱性は、図-4 の生成トランジションに設定する“躊躇”比率と、“躊躇状態”プレースに設定するタイマー(躊躇時間)によって表現されることになる。

これらの変更シミュレーションネットも、図-7 の基本シナリオネットと同様に、即視覚型シミュレーション実行が可能となる。ここでは、基本メニューの“解析項目の設定”を用いて、避難完了人数の推移結果を図-8 に示す。図-8 は、10 秒単位での避難完了

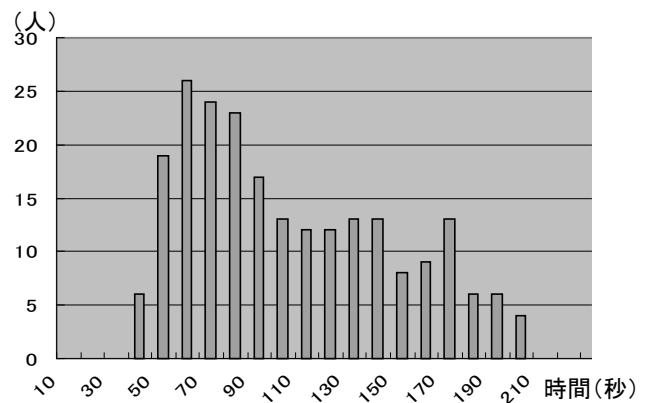


図-8(2) 逸脱要因のシミュレーション結果

人数の総和を使用している。図-8(1)は、基本シナリオ遵守のシミュレーション結果である。出火場所が建物の端にあり、防火シャッターの作動は遅く、順調な整然とした避難となったと分かる。図-8(2)は、基本シナリオに判断ネットを追加し、出火場所を階段部近くとしたケースである。出火場所変更によってシャッターが作動するまでの時間が短くなったことと、避難者の多様化が、結果に大きく影響していることが示されている。

4. あとがき

本研究では、基本想定シナリオによる避難ペトリネットシミュレーションの背景画像上での構築と、それからの逸脱シミュレーションへの展開性を実行し、防災計画空間の変容性に対応できることを示した。今後の課題は、各々の基本部分ネットを精緻化することや、1 つの空間に複数の人が存在するマクロネットを開発し、ミクロとマクロの使い分けによって、市街地や広場等の広域空間のシミュレーションに対応するとともに、背景画像のより刺激的な利用法を考案すること等にあると考えている。

参考文献

- 1) 木俣, 岸野, 白水: 交通流ペトリネットシミュレータの実用化システムの開発, 土木情報システム論文集, 19, pp.31-40, 2000.
- 2) 木俣, 高木, 黒川: ペトリネットによる交通流シミュレーションシステムの開発, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.691-699, 1995