

Development of Petri Net Simulator as Dynamic Pictorial Representation System and Its Application Studies to aide Transportation and Disaster Prevention Planning

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-11-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Kimata, Noboru メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00052609

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



動的図解手法としてのペトリネットソフトウェア開発と その交通・防災計画への応用研究

(研究課題番号 14580476)

平成14年度～平成15年度科学研究費補助金 (基盤研究(C)(2))
研究 成 果 報 告 書

平成16年3月

研究代表者 木 俣 昇

(金沢大学工学部 教授)

金沢大学附属図書館



0400-05055-2

KAKEN
2003
87

はしがき

公共計画の要件は、社会の変遷とともに変化する。わが国では、成長期から成熟期への変遷とともに、官と専門家による計画システムから、市民の大幅な参画の下での計画システムへと推移しつつある。また、計画課題も新規開発から、環境と安全を第一とする既存施設の有効活用へとシフトしてきている。これらの課題に応えるためには、主体の参画を実質化する支援システムの開発が求められる。参画の実質化とは、主体が問題認識から始まり、その対策の代替案の発想と評価を経て、計画案を提案するプロセスで、実効的な寄与を行えることである。現代社会のもう一つの潮流であるIT革命は、旧来は専門家のみがアクセスできたコンピュータを、誰もが利用可能な環境の一部としつつある。本研究は、このような背景の下で、著者等が開発してきたペトリネットシミュレータを、主体の参画を実質化する支援システムにより近づけることを目的に、動的図解手法機能の利用環境の向上化と、交通・防災計画での適用化を中心に研究したものである。

実利用実績は、研究室の学生レベルに留まっているが、コンピュータの知識、特に、プログラムやOSの知識なしに、計画事項に関する経験的知識のみでかなり利用可能なレベルに至っている。一般の市民レベルでの利用実験や、皆様のご批判やアドバイスを基に、今後、さらに改善を目指したいと思っている。最後に、研究分担者の皆さんと、利用研究への参加学生諸君に感謝します。

研究組織

- 研究代表者：木俣 昇 (金沢大学工学部教授)
研究分担者：高山 純一 (金沢大学工学部教授)
研究分担者：近田 康夫 (金沢大学工学部教授)
研究分担者：二神 透 (愛媛大学総合情報メディアセンター講師)

交付決定額

(金額単位:千円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 14 年度	2,200	0	2,200
平成 15 年度	1,700	0	1,700
総計	3,900	0	3,900

研究発表

(1) 学会誌等

- 1) 木俣昇, 西村武敏, 四藤一成: バス交通流シミュレーションへのペトリネットシミュレータの適用化研究, 土木計画学研究・論文集, 19-4, 793~802, 2002.
- 2) Noboru Kimata: Study on Information Mapping System for Regional Vulnerability to Fire Spreading, J. of Civil Engineering Information Processing System,
- 3) 木俣昇, 松井竜太郎: 背景画像上でのバス交通計画のペトリネットシミュレーション技術, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, 207~216, 2003.10.
- 4) 木俣昇, 中村彰彦: 社会基盤の風土イメージ形成評価支援のための動的彩色型ペトリネットシミュレータ研究, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, 245~256, 2003.10.
- 5) 高山純一, 中山晶一郎, 小松孝輝, 加藤千宗: 高速道路における通行止発生時のドライバーの行動分析と最適迂回路情報に関する研究, 第22回交通工学研究発表会論文報告集
- 6) 高山純一, 中山晶一郎, 森畑正人, 松澤昭典: 高齢者の横断歩道外における横断行動の実態調査分析, 第22回交通工学研究発表会論文報告集, 22, 197-200, 2002
- 7) J. Takayama: A Transportation Network Simulation Model with Absorbing Markov Process OD Estimation, Proceedings of the International Symposium on Transport Simulation, 171-181, 2002
- 8) 高山純一, 中山晶一郎, 西啓介, 住友拓哉: 一般道路と高速道路の合流部における合流挙動解析, 土木計画学研究・論文集, 20, 939-947, 2003
- 9) 近田康夫, 浅地剛成, 城戸隆良: CAを用いた避難シミュレーションに関する一考察, 構造工学論文集, Vol.49A, 217-224, 2003.

(2) 口頭発表

- 1) 木俣昇: 動的図解手法としてのペトリネットシミュレータシステムについて, 日本オペレーションズ・リサーチ学会・秋季研究発表会アブストラクト集, 214~215, 2002.
- 2) 木俣昇, 西村武敏: ペトリネットによるバス交通流シミュレーションの再現性検証, 土木計画学研究・講演集, 26巻(CD-ROM版) no.74, 2002.
- 3) 中村彰彦, 木俣昇: 交通流ペトリネットシミュレータの計画代替案展開支援システム化研究, 土木計画学研究・講演集, 26巻(CD-ROM版) no.288, 2002.
- 4) 二神透, 木俣昇: ペトリネットシミュレータの避難シミュレーションへの適用化研究, 土木計画学研究・講演集, 26巻(CD-ROM版) no.330, 2002.
- 5) 佐々木麻衣, 木俣昇, 境野庄司, 大我晴敏: 土地可燃性評価情報の地図化システムの改善, 土木情報システム講演集, Vol.27, 21~24, 2002.
- 6) 中村彰彦, 木俣昇: 交通流ペトリネットシミュレータにおける背景画像上でのデータベース化に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 28巻(CD-ROM版) no.127, 2003.
- 7) 松井竜太郎, 木俣昇: 交通流ペトリネットシミュレータによるバスターミナル運用代替案の表現化研究, 土木計画学研究・講演集, 28巻(CD-ROM版) no.170, 2003.

- 8) 堀浩三, 松井竜太郎, 四藤一成, 木俣昇: バス優先レーン策における一般車規制に関するペトリネットシミュレーションについて, 土木学会中部支部・研究発表会講演概要集, 313,314, 2004.
- 9) 高山純一, 中山晶一郎, 田中悠祐: 災害時におけるITSを考慮した緊急車両の走行時間信頼性解析モデル, 第58回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM) DISC 2, VI-367,2002
- 10) 高山純一, 中山晶一郎, 田中悠祐, 島崎翔子: ITSを活用した緊急車両の走行支援に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 329-330, 2004
- 11) 近田康夫, 浅地剛成, 城戸隆良 CA を用いた避難シミュレーションに関する一考察, 構造工学論文集, Vol.49A,pp. 217-224, 2003
- 12) 廣岡淳, 近田康夫, 城戸隆良: 避難シミュレーションへの群集行動の適用, 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, I-612, 2003.9.26.(CD-ROM)
- 13) 二神透, 木俣昇: ペトリネットシミュレータの避難シミュレーションへの適用化研究, 土木計画学研究発表会・講演集, 26 卷(CD-ROM 版) No. 330, 2002
- 14) 二神透, 木俣昇: 倒壊建物と炎上車両を考慮した地震火災危険分析, 土木計画学研究発表会・講演集, 28 卷(CD-ROM 版) no. 150, 2003
- 15) 二神透, 重本哲也: ペトリネットシミュレータを用いた計画支援システムの構築, 土木学会全国大会第58回年次学術講演会, (CD-ROM 版), VI-364, 2003

動的図解手法としてのペトリネットソフトウェア開発と

その交通・防災計画への応用研究

目 次

第1章 序論	
1-1 本研究の背景と目的	1
1-2 計画プロセスの展開的支援とペトリネットシミュレータ論	2
1-3 本研究の構成	3
第2章 ペトリネットシミュレータの動的図解手法機能の強化と展開的支援化	
2-1 ペトリネット表現の特徴と基本原理	5
2-2 ペトリネットシミュレータの基本ソフトウェア	7
2-3 背景画像の導入による動的図解の空間対応性強化	10
2-4 既開発ペトリネットのデータベース化による展開的支援性強化	13
2-5 まとめ	18
2-6 参考文献	19
第3章 動的図解手法型ペトリネットシミュレータのバス交通計画への応用研究	
3-1 バス優先策の計画課題とペトリネットシミュレータ	20
3-2 バス・一般車の基本混合交通流のペトリネット表現	22
3-3 バス出発時の定時性確保優先策のペトリネットシミュレーション開発	27
3-4 バス優先レーン策の運用代替案のペトリネットシミュレーション開発	36
3-5 まとめ	53
3-6 参考文献	54
第4章 動的図解手法型ペトリネットシミュレータの防災計画への応用研究	
4-1 防災計画の課題とペトリネットシミュレータ	56
4-2 通常時消防防災システムのマクロペトリネットシミュレーション開発	57
4-3 地震時消防防災システムのマクロペトリネットシミュレーション開発	67
4-4 建物内避難計画シナリオのミクロペトリネットシミュレーション開発	77
4-5 まとめ	95
4-7 参考文献	97
第5章 動的図解手法型ペトリネットシミュレータの風土イメージ表現への応用研究	
5-1 社会基盤の風土イメージ形成とペトリネットシミュレータ	99
5-2 動的彩色図解型ペトリネットシミュレータへの改良	100
5-3 風土イメージのペトリネット表現化とシミュレーション実行	104
5-4 まとめ	110
5-5 参考文献	111

第6章	三次緊急を対象として救急車の走行時間信頼性かなみた救急搬送力評価に関する研究	
6-1	概要	112
6-2	既存研究の整理と本研究の位置付け	112
6-3	金沢市における救急搬送需要の現状分析	114
6-4	走行時間信頼性指標の算出	116
6-5	救急搬送サービス水準の評価	118
6-6	三次緊急搬送サービス力の増強方法	119
6-7	三次緊急搬送サービスを対象とした金沢市におけるケーススタディ	120
6-8	救急ITSの国内事例	123
6-9	救急ITS効果の検討方法	124
6-10	仮想ネットワークでのシミュレーション	126
6-11	金沢市における道路ネットワークを用いた救急ITS導入の効果	128
6-12	本研究の成果と今後の課題	131
6-13	参考文献	132
第7章	CAによる建物内避難シミュレーションに関する研究	
7-1	概要	134
7-2	CAの概要	135
7-3	歩行者空間とそのモデル化	135
7-4	既存シミュレーションシステムの改良	136
7-5	シミュレーション結果および考察	139
7-6	まとめ	144
7-7	参考文献	145
第8章	結言	
8-1	本研究の成果	146
8-2	今後の課題	149
謝辞		151

第1章 序 論

1-1 本研究の背景と目的

わが国は、現在、高度成長期を経て成熟期に移行しつつある。それに情報化の進展が伴って、大量の情報へのアクセスと、何事に関しても活発な発言を行う市民層が形成され、環境・安全意識の高揚と、説明責任への要請が強まってきている。これらの潮流の中で、公共計画は、官と専門家による計画システムから、市民参画型のシステムへと推移しようとしている。

また、高度成長期から成熟期への移行は、公共計画の課題にも大きな変化をもたらしつつある。大きくは、機能システムの新規建設による未来創出型計画から、既存施設の維持管理と有効活用化というアセットマネジメント型計画への移行といえよう。交通計画では、道路建設によるネットワーク整備計画から、既存道路の改良・維持管理・高度有効利用計画へのシフトがそれである。防災計画もアセットマネジメント型計画からの視点が重要となるもので、市民参画型計画システムへの移行をも必要とする公共計画であろう。

この公共計画における2つの移行は、市民参画の実質化という課題で重なり合う。市民参画の実質化とは、計画システムにおける市民の活発な発言と、その計画の質と実行性への反映をいう。このことが、第一の移行で最重要課題となることは明白だろう。そして、未だ来たらざる未来課題においてよりも、いま将来に來らんとする将来課題であるアセットマネジメント型計画において、市民の問題認識も発言も、より広い層で活発となり、市民参画の実質化は、第二の移行でより実現可能なものとなり、計画の質と実行性の向上に大きく貢献すると考えられるからである。

しかし、既存施設という市民に身近な認識対象で、しかも将来に來らんとする課題とはいえ、その将来に関する認識に基づく発言や、その計画の質と実行性への反映化には、何らかの支援装置・仕掛けの提供が必要となる。従来の公共計画システムにおいても、各種の支援システムが活用されてきた。最適化数理システムや、シミュレーションシステムがそれである。

それらは、専門家による使用を前提に開発されており、ここで問題としている市民参画の実質化支援に使用するには、当然難点がある。近年のコンピュータ技術の革新によって、例えば、交通流のシミュレーションは、マイクロ・視覚性を特徴とするものとなっており、視覚的なプレゼンテーションによる説明性は大いに向上してきている。しかし、シミュレーション本体は、市民にはもちろんのこと、使用者にもブラックボックス的であって、問題認識や発言の支援、さらには提案の反映化にはまだまだ距離があるシステムといわざるを得ない。

近年、図解手法が、公共計画のフォーラムでも使用されることが多くなっている。これも市民参画を実質化する有力な支援システムである。誰にでも使用できる図形形式での提示手法から、ISM 法やAHP 法といった数理処理を含むものまでがあるが、比較的使勝手の良いシステムといえよう。しかし、交通計画や防災計画に必要な動的な側面の評価や議論の支援には難点がある。

これらのことを踏まえて、本研究では、

- i) 動的な図解手法機能を備えたペトリネットシミュレータの開発
- ii) そのシミュレータによる問題認識から代替案の発想と評価のプロセスの展開的支援方式

iii) 交通計画と防災計画支援への適用化と、適用領域の拡大化の研究を通じて、2つの移行、即ち、市民参画型計画システムへの移行と、アセットマネジメント型計画へのシフトへの対応化を考察することを目的とする。

1-2 計画プロセスの展開的支援とペトリネットシミュレータ論

計画主体の基本情報処理プロセスは、図 1-1 に示すように、計画課題ないしは状況を環境として、「問題認識」から始まり、その解決策の「代替案の発想」と「代替案の評価」を繰り返し、計画案に至るというものである。このプロセスの支援としては、

(a)の「問題認識」のための明確化支援システム、

(c)の「代替案の評価」のための最適化数理システムないしはシミュレーションシステム

という個別形式が現状の提案・研究である。これに対して、本研究では、1-1のii)で述べたように、図 1-1の「問題認識」から「代替案の発想」へ、「代替案の発想」から「代替案の評価」へという展開形式での支援システムによる主体参画の実体化を、ペトリネットシミュレータの諸特性を活性化することで模索する。

ペトリネットシミュレータとは、著者等がペトリネットの表現形式と駆動原理に準拠して開発してきた視覚型シミュレーション実行用ソフトウェアである。その詳細は、第2章で述べるが、特徴は、

- ① 視覚型ネットによる記述の空間対応性
- ② 構築ネットの視覚出力画面への直結性
- ③ ネットの共通構造性と結合化による拡張性
- ④ 駆動原理の明快性と即時実行性

にある。1-1のiii)で述べた計画課題は、いずれも道路空間や建物内空間に係わるものであり、これらの特徴を活性化することによって、

まず、図 1-1の(a)の問題認識の支援のためのシステムネットの構築とシミュレーション実行が可能となり、それが、次の(b)の代替案の発想の基盤となり、代替案の表現ネットへと展開されることになる。

しかも、そのネットも、④の特徴によって、プログラムの変更は一切なしで、即時にシミュレーション実行に移れ、(c)の評価支援へと展開可能となる。そして、その空間対応型の視覚評価シミュレーション結果を検討することで、さらに、図 1-1の(d)や(e)へのフィードバックをも展開的に支援可能と

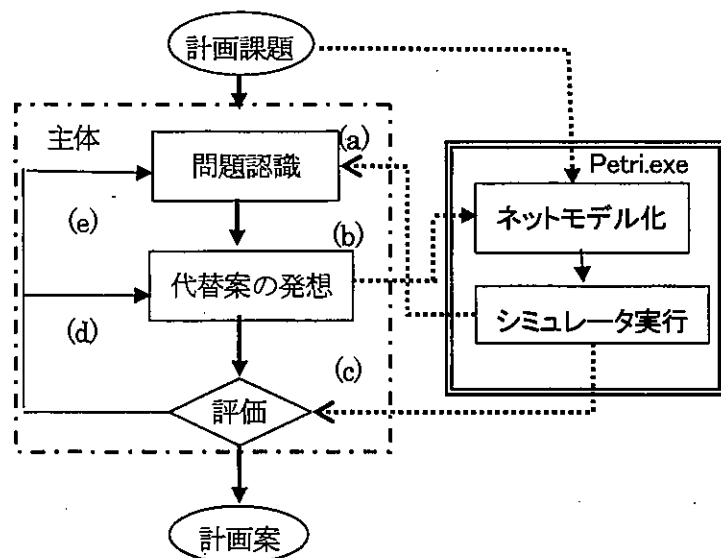


図 1-1 ペトリネットシミュレータの展開的支援運用図

なるだろう。本研究では、この形式での支援性と、利用者の使勝手の追及を基本課題としたい。

1-3 本研究の構成

本研究の目的として、1-1では、

- i) 動的な図解手法機能を備えたペトリネットシミュレータの開発
- ii) そのシミュレータによる計画プロセスの展開的支援方式
- iii) 交通計画や防災計画支援への適用化

の3つの課題を掲げ、1-2では、ii)の具体的なイメージを示した。この諸項目を、図1-2に示す構成と関連認識の下で研究する。

第2章では、まず、本研究の出発点となるペトリネットについて、基本概念と実行ソフトウェア環境の両面より、1-1で述べた4つの特徴を明らかにする。次に、iii)の諸適用領域から、ペトリネットシミュレータの①の特徴である空間対応性を強化課題とし、「背景面の挿入」サブメニューの付加による構築ネットの実空間対応化改善を行っている。また、ii)の展開的支援には、繰り返しネット構築を行う必要があり、この支援化が必須となるとして、既開発ネットのデータベース化を提案している。この支援機能の充実化は、本シミュレータの利用可能層を専門家以外の参画者に拡大することにも繋がることになる。ここでは、また、道路の維持管理工事に伴う交通計画課題の展開的支援を事例研究している。そして、第3章以下は、動的な図解手法機能を備えたペトリネットシミュレータの応用研究であり、第2章の強化ソフトウェアによる展開的支援の事例研究について報告している。

第3章では、既存道路の有効活用策として、また、環境指向の交通計画策として、バス交通優先策代替案のペトリネットシミュレーション開発を行う。ここでは、バス交通優先策とは、限定された道路時空間の車両占有化の安全かつ効果的な制御代替案であるとして、背景面上でのペトリネットの実空間対応性が、その発想と評価に有効に働くことを示す。バス交通優先策としては、出発経路の道路空間特性を活かした出発定時確保の優先策と、バス接近時のみに規制するバス優先レーン策を取り上げている。

第4章では、防災計画への応用研究として、消防防災システムのペトリネットシミュレーションと、建物内避難計画のペトリネットシミュレーション開発を行っている。前者では、地震時消防防災システムは、通常時消防防災システムの延長線上にあるとして、地震時の機能環境の激変を、消防防災システムにおける諸活動の阻害化としてペトリネット表現をし、通常時消防防災システムのペトリネットに結合化することで、展開的に構築可能となり、即時シミュレーション実行性と相まって、常なる点検・見直し支援システムとして機能すること、さらに、背景面上でのネット構築とシミュレーション実行が、点検・見直しの実効性と市民参画型計画への移行性に寄与することを示す。後者では、避難計画シナリオのペトリネット化から始めて、シナリオからの逸脱やリスク変容に対応化した避難ペトリネットへの展開的な構築化が可能となることを示し、防災計画における計画空間の変容化対応という課題に対するペトリネットシミュレータによるアプローチ法を提案する。

第5章では、ペトリネットシミュレータの表現力に注目し、社会基盤の風土イメージへの影響評価への利用可能性を探る。ここでは、ペトリネットのブレース表現形に付加した口の種々のサイズ設定性と、生成色の多様化を活用し、桜木の四季推移の基本イメージネットを作成し、その基本手法を活

用して、雪見橋とその山並みの四季推移のペトリネットシミュレーションを開発している。橋梁は、地域のシンボルともなるものであり、費用対効果とは異なる地域風土の中での評価という視点も必要となり、本支援システムの適用新領域となりうる。

第6章と第7章では、第4章の防災計画への応用研究の関連研究として、緊急車両走行の ITS による支援研究と、CA による建物内避難シミュレーション研究を報告している。今後のペトリネットシミュレーション化に向けて、種々のアイデアや参照事項を含むものである。

第8章では、目的に掲げた事項に関する成果と今後の課題を整理している。

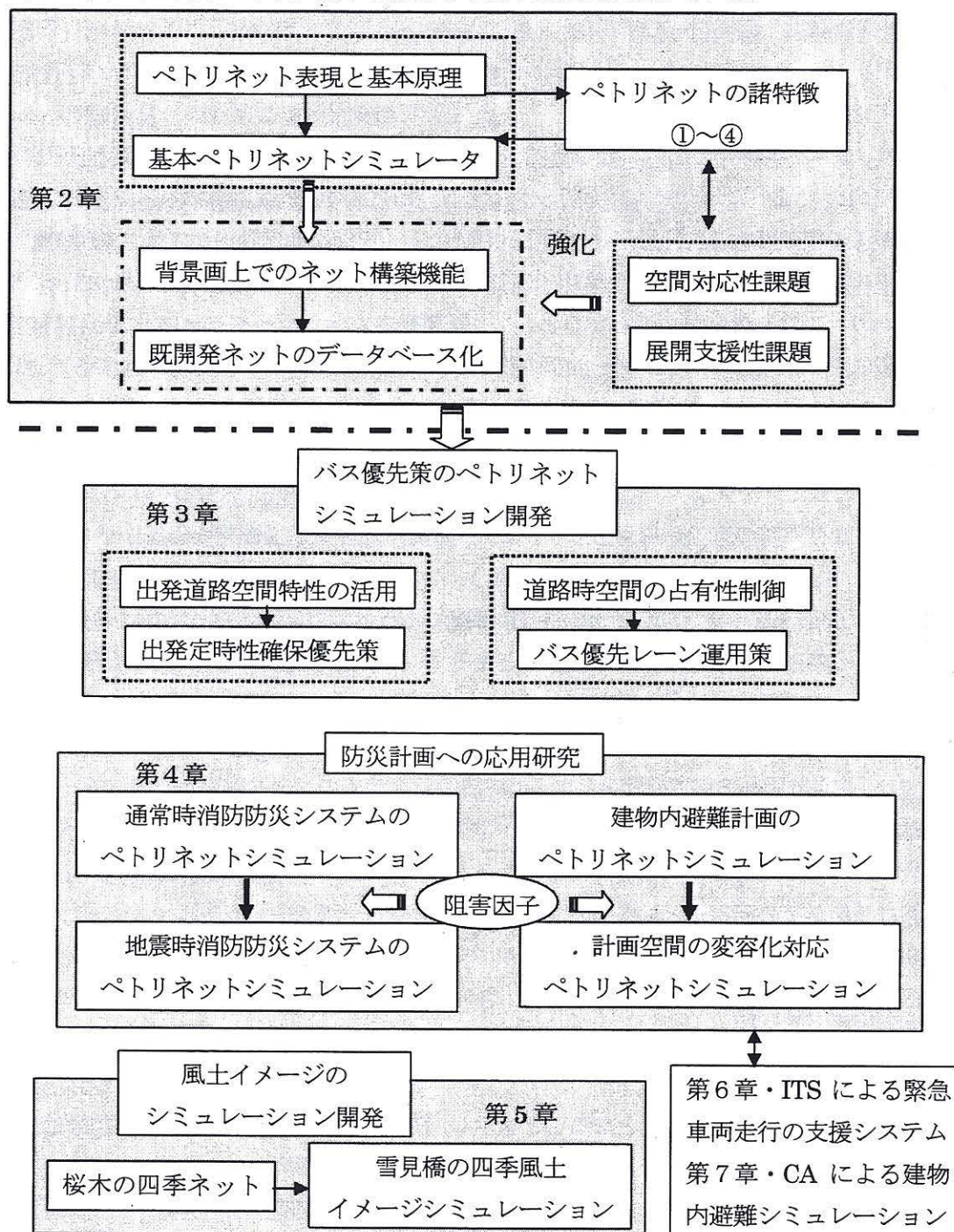


図 1-2 本研究の構成

第2章 ペトリネットシミュレータの動的図解手法機能の

強化と展開的支援化

2-1 ペトリネット表現の特徴と基本原理

ペトリネットとは、C.A.ペトリによって提唱された2種類のノードをもつグラフ形式を出発点として発達してきた手法である。その基本ネット例を、図2-1と図2-2に示す。

これらの図が示すように、ペトリネットは、図形的には“|”で表示されるトランジション、“○”で表示されるプレース、および“→”が“...”で表示されるアークの4種類の図形要素を用いて構成される。図2-1は、トランジションとプレース間のアークの基本形を示すもので、図に示すように、入力プレース、出力プレース、抑止プレースと呼ばれる。図2-2は、このネット形式で交通流を記述した基本ペトリネットの例である。プレース上の“●”はトークンと呼ばれ、記述された系の状態を指示的に表現するために用いられる。

ペトリネットの動的図解特性は、このトークンの表示が、次に述べるトランジションの発火則による駆動原理でなされるところにある。トランジションの発火則とは、当該のトランジションについて、

- R1) 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、
- R2) 全ての抑止プレースにトークンが存在しないとき、

当該トランジションは発火し、

- R3) 全ての入力プレースからトークンを一個ずつ消去し、

- R4) 全ての出力プレースにトークンを一個ずつ配置する

というものである。

図2-1に適用してみれば、ペトリネットの駆動原理の単純、明解さは、誰にでも明らかとなる。

即ち、図2-3(1)の初期トークン状態を考えれば、

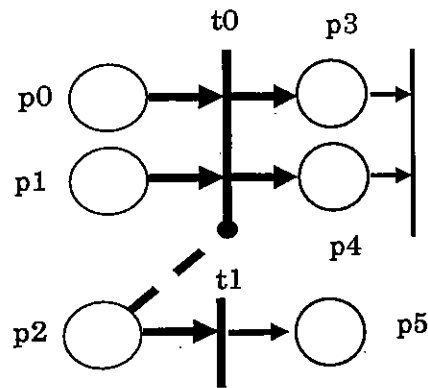


図2-1 ペトリネットの基本形

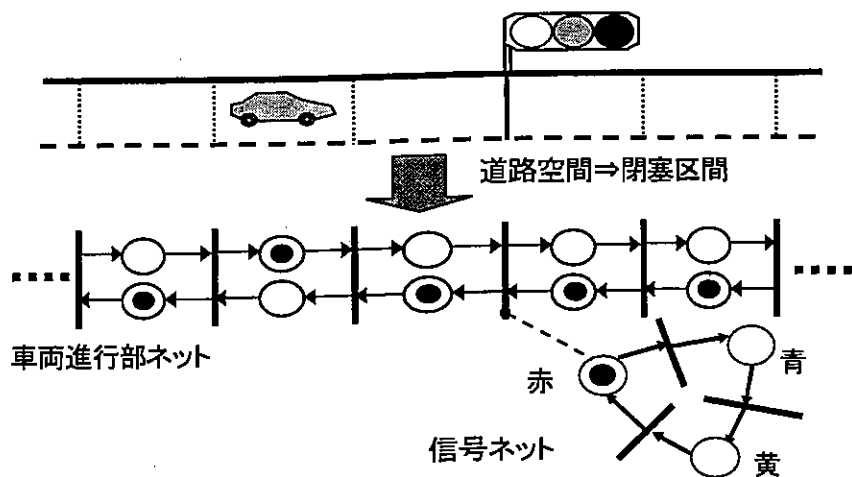


図2-2 交通流ペトリネットの基本例

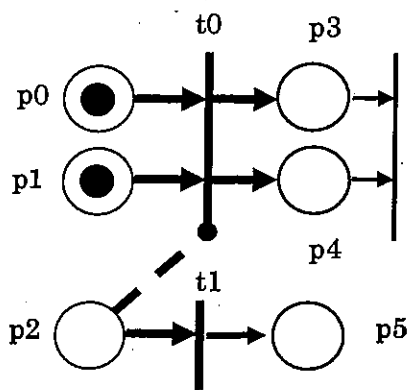


図 2-3(1) ペトリネットの初期状態

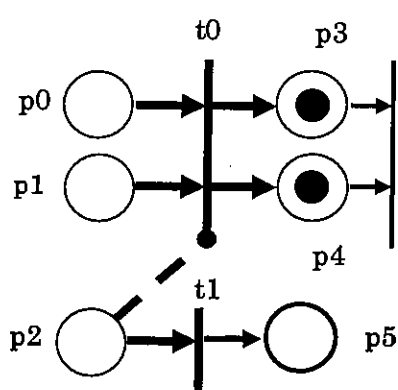


図 2-3(2) ペトリネットの状態推移

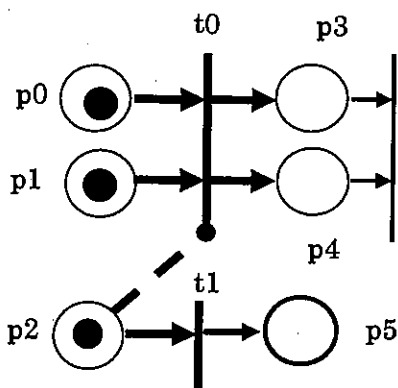


図 2-4(1) ペトリネットの状態推移

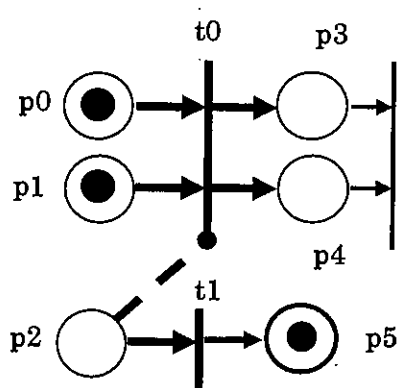


図 2-4(2) ペトリネットの状態推移

トランジション t_0 の入力プレースは p_0 と p_1 、抑止プレースは p_2 であるから、 t_0 は上述の R1) かつ R2) の条件を満たしており、従って発火し、R3) と R4) のルールによってトークンを処理すると、図 2-3 (2) に示す状態に推移することになる。一方、図 2-4 (1) の初期トークン状態を考えれば、トランジション t_0 は、上述の R1) の条件は満たしているが、R2) の条件を満たさないために発火できない。この初期状態では、 t_1 が R1) かつ R2) の条件を満たすトランジションとなり、その発火に伴って、R3) と R4) のルールによって図 2-4 (2) の状態に推移する。この状態推移によって t_0 への抑止が外れ、次に、トランジション t_0 が発火可能となることが分かる。このようにして、トランジションの発火の連鎖、あるとは併発によって、ペトリネット上で記述された対象系の状態推移が記述されることになる。

この発火則が、ペトリネットでは、トランジションに対応する実事象内容に関係なく、等しく適用されることに大きな特徴がある。換言すれば、ペトリネット形式に準拠した記述化が出来れば、その動的シミュレーションが、プログラムの変更なしに直ちに実行可能となる。1-2 で述べたペトリネットシミュレータの特徴④は、このことを指すもので、この駆動性が、ペトリネットによるシミュレーションの最大の魅力といえる。また、1-2 で特徴②として述べた視覚出力画面への直結性も、基本的には、ペトリネット上のトークンの移動によるこの動的図解表示性に由来するといえよう。

一方、①の空間対応性の特徴は、提案しているペトリネット記述法の特徴であり、対象系のペトリネット形式による表現化の視点ないしは目的意識といった方がよい。具体的には、図 1-2 の交通流の基本ペトリネットにおける車両進行部ネットでは、図に示すように、道路を閉塞区間に分割し、各閉塞区間に対して、2つのプレース、即ち、当該閉塞区間の車両による占有状態と、その逆の閉塞区間の空き状態に対応する2つのプレースを用いて、上下対の形で空間対応させた記述形式を採っている。この2状態は、常にどちらか一方のみが出現状態となることは明らかで、車両進行部ネットではいずれか一方のプレースに常にトークンが配置された状態をとる。このことは、図 1-2 の道路状況の模式図と対比することで容易に確認し、理解することができるだろう。

この一見冗長的な空間対応化を採用するのは、道路時空間の車両による安全な占有化を保証する機構を、ネット自身に内蔵化させることで、上で最大の魅力とした駆動アルゴリズムの単純・明快性と、プログラム変更なしでの即時実行性を保持し、かつ、安全性を前提とする交通流のモデル化という要請を同時に満たすためである。

即ち、車両進行の各トランジションと上下対の2つプレース間を、図 1-2 の車両進行部ネットに示すような入出力関係のアーキで結合していくことによって、上述の発火則の R1) の下で、車両進行は前方閉塞区間が空き状態のときのみ生起可能となる。このような空間対応化によって、車両進行の安全性の確保は、他のシミュレーション法とは異なり、駆動プログラムにではなく、ペトリネット表現に内在化された形で組み込まれることになる。

図 1-2 のネットの信号部ネットも、車両進行部ネットと同一形式をもち、両者はアーキで結合することが可能で、かつ、結合化されたものもペトリネット形式となる。1-2 で述べた特徴③は、このようなペトリネット形式の共通構造的に由来する。具体的には、信号制御とは、前方閉塞区間が空き状態であっても、赤現示状態には、車両を停止線手前で停車させるものである。この制御は、赤現示のプレースから停止線に空間対応する車両進行トランジションに抑止アーキを設定し、結合化させることで、ペトリネット表現に内在化させられる。即ち、赤現示中は、上述の発火則の R2) が働き、前方閉塞区間が空き状態でも車両進行トランジションの発火は抑止されて、車両は停止線手前の閉塞区間で停車するという形で内在化させることが出来る。このように、特徴③も、プログラムの変更ではなく、結合性により拡張化や精緻化を可能とするもので、特徴④との対で、ペトリネットによるシミュレーション形式の大きな魅力となっていると考えている。ここに、専門家以外にも使用可能な大きな潜在力があり、公共計画への参画化を実体化させるための支援システムの候補といえよう。

2-2 ペトリネットシミュレータの基本ソフトウェア

上では、ペトリネットによるシミュレーション方式の基本特徴について述べた。それらは、ペトリネットによる対象系の基本的な記述形式と駆動原理に由来する潜在的なものであり、具体的な実行手段の下で顕在化されて始めて価値を持つ。著者らは、広く利用可能なコンピュータ OS である Windows 環境での実行ソフトウェアとして、交通流の取り扱いを主とする形のペトリネットシミュレータを開発してきた。本節では、このシミュレータを実行環境として、①～④の特徴の顕在化との関連で再論・考察を行う。

本シミュレーション方式の基本手順は、まず、図 2-2 に示したような対象系を記述するペトリネット

トを構築することから始まる。次に、ペトリネットの2つの構成要素、プレースとトランジションを中心に、構築ネットの詳細を、表2-1に示すようなテキスト形式のSdataファイルに記載する。即ち、表2-1の“PLACE”と“TRAN”のフィールドには、その各1行を使って、プレースあるいはトランジションの個々の詳細記載、種類やタイマや入出力・抑止関係等を記述する。そして、“TOKEN”のフィールドには、対象系の初期状態を指示するためのトークンの配置データを記載していき、また、“GENE”と“generatranZ”には、特殊なトークンの発生用プレースと、カラートークンの生成用トランジションのパラメータを記載するようになっている。

ちなみに、行の最後の“//”の後方はコメント文である。プレースやトランジションの番号や、それらの特殊性等を記載し、Sdata作成時の確認やミス予防、また、シミュレーション実行時のパラメータ設定への便宜を図っている。

視覚型シミュレーションは、このSdataファイルを基に以下の手順で実行される。まず、実行ソフトウェアを起動すると、図2-5に示す基本メニューが表示される。その中の“ファイル”のサブメニューよりSdataファイルを選択し開くと、図2-6に示すように、サブ・ウインドが現れて配置要素リストが表示される。

このリストからプレースあるいはトランジションを指定し、メイン・ウインド上に次々と配置して行くことで、シミュレーション結果の視覚出力ネット画面を構築して行く。必要ならば画面上でのドラッグ操作で配置したプレースやトランジション、あるいは部分ネットを移動させて、位置関係を修正することも可能である。

表2-1 交通流ペトリネットのSdata事例

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	PLACE	460 //プレース総数								
2		-1	-1	0	1	//p0本車線路肩側発生				
3		-1	1	0	1					
4		-1	-1	-1	0					
5		-1	-2	0	1					
458		-1	-1	-1	0					
459		-1	-2	0	1					
460		-1	-1	-1	0					
461		-1	-1	0	1	//対向車線路肩側発生				
462	end									
463										
464	TRAN	241 //トランジション総数								
465		0	2	-1	1	-1	0	0		
466		1	4	-1	2	3	-1	0	0	
467		3	6	-1	4	5	-1	0	0	
468		5	8	-1	6	7	-1	0	0	
702		397	-1	393	-1	0	0			
703		423	-1	424	-1	0	0			
704		457	-1	458	-1	0	0			
705		203	206	-1	204	205	-1	0	0	
706	end									
707										
708	TOKEN	1500 //トークン初期配置プレース								
709		2	-1	4	-1	6	-1	8	-1	10
710		22	-1	24	-1	26	-1	28	-1	30
711		42	-1	46	-1	48	-1	50	-1	52
727		383	-1	390	-1	392	-1	394	-1	396
728		410	-1	412	-1	414	-1	418	-1	420
729		434	-1	436	-1	438	-1	440	-1	442
790		-2								
791										
792	GENE	5 //発生プレース								
793		0	16.2	0.1						
794		44	16.7	0.5						
795		288	3	0.3						
796		388	5.3	0.6						
797		459	7.2	0.8						
798		-1								
799										
740	generatranZ	3 //カラー生成トランジション								
741		19	1	24	2	76				
742		142	3	86	4	14				
743		226	5	34	6	53	7	13		

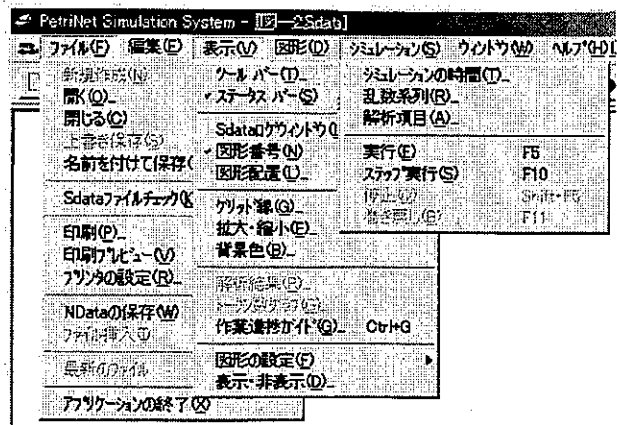


図2-5 ペトリネットシミュレータのメニュー画面

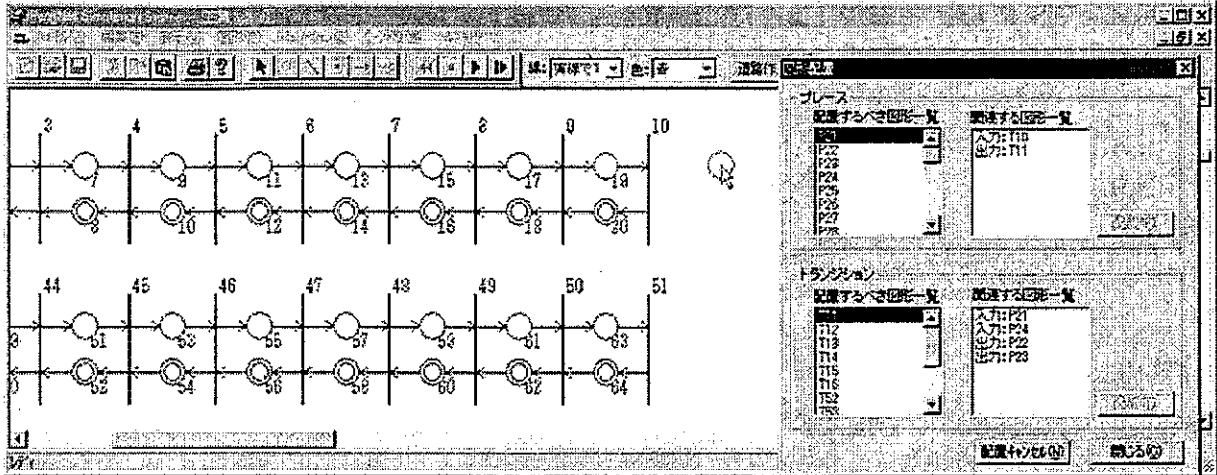


図 2-6 図形配置メニューによる交通流ペトリネットの視覚出力画面構築

なお、プレースとトランジション間の諸アーク関係は、Sdata ファイルが参照されて自動描画されるために配置する必要はない。また、この出力ネット画面の座標データも自動生成され、表 2-2 に示すような Ndata ファイルとして自動保存される。従って、一度構築してあれば、シミュレーション実行時にいつでも利用できる。例えば、交通量や信号に関するパラメータ変更は、上述の Sdata ファイル上で実行可能であり、そのシミュレーション実行時の視覚出力ネット画面はそのままで使用できる。

また、図 2-5 に示すように、“シミュレーション”のサブメニューには、初期設定と解析項目、ステップ実行等が用意されている。“表示”のサブメニューには、グリッド線、背景色、図形の設定、表示・非表示等が用意されている。これら機能の詳細は、参考文献に譲る。

以上のように、1-1 で述べた特徴の②の視覚出力への直結性と、④の即時実行性は、現実行ソフトウェア上でも十分に担保されている。③については、2-1 で述べたように、基本的にはペトリネット形式そのものに由来するものであるが、1-1 で目的の ii) とした展開的支援を 1-2 で示した構想で実体化するには、実践的なネット構築支援の問題としてさらに工夫する必要がある。これについては、2-4 で、データベース化による既開発ネットの活用化という形で検討する。

特徴の①、空間対応性については、2-1 で、表現化の視点ないしはモデル化の目的意識として説明した。換言すれば、ペトリネットシミュレータを支援システムとして取り組む計画課題とその計画プロセスに係わるものとして、実行ソフトウェアでのさらなる顕在化を検討する必要がある。2-3 では、背景画の挿入による実空間対応性への改善策について検討する。

表 2-2 Ndata ファイル

	A	B	C	D	E	F
1	PLACE absolute position x, y radius					
2		0	50	100		
3		1	120	97		
4		2	120	132		
5		3	230	100		
6		4	390	100		
7		5	550	100		
8		6	710	100		
9		7	48	202		
10		8	120	201		
27	25	750	150			
28	26	368	335			
29	27	453	273			
30	28	538	336			
31						
32	TRAN absolute position x,y angle					
33		0	90	100	90	
34		1	150	100	90	
35		2	310	100	90	
36		3	470	100	90	
37		4	630	100	90	
38		5	790	100	90	
46	13	630	200	90		
47	14	710	200	90		
48	15	790	200	90		
49	16	400	284	-107		
50	17	508	284	-64		
51	18	453	349	90		
52						

2-3 背景画像の導入による動的図解の空間対応性強化

2-3-1 背景画挿入のサブメニューの追加

本研究が目指す参画型計画における支援システムの展開的運用のイメージは、1-1で示した図1-1である。まず、計画課題に関する問題認識のため運用から始まる。ここでの計画課題は、これも1-1で述べたように、アセットマネジメント型の計画であり、対象の現状と課題、例えば工事前の交通流ペトリネットモデルと工事期のネットモデルの構築が必要となる。

この構築では、ペトリネットの空間対応性の視覚性を介して、参加者の経験的認識や知識が貢献しうる。構築ネットは、2-2のペトリネットシミュレータによる手順で、視覚型シミュレーション実行に直結し、そのステップ実行と空間対応性の視認により、参加者の経験的認識との種々の照会が可能となる。そして、この照会性を介して、参加者間でのモデルの受容・不受容や、受容レベルや修正に関するコミュニケーションがなされることになる。ここで検証という問題に直面する。この基準化に向けてデータベースの構築や種々の提案がなされているが、2-1で紹介した駆動原理の単純・明快性や、空間対応型の視覚ネットへの直接出力性等のペトリネットシミュレータが持つ高い透明性が、最低限でも受容性のレベルの議論には向けさせるだろう。

次に、代替案の発想と評価のための運用に移る。代替案の発想は、問題認識を出発点として、計画対象空間の特性そのものの考察や、他事例との相似性などからなされる。問題認識のプロセスで構築されるペトリネットモデルは、空間対応の視覚性を基盤として、そのような発想と代替案ネット構築に向けての直接的基盤となりうる。そして、代替案を組み込んで構成されたネットも、直ちにシミュレーション実行可能となり、その評価を経て、次の代替案展開の直接的基盤となる。

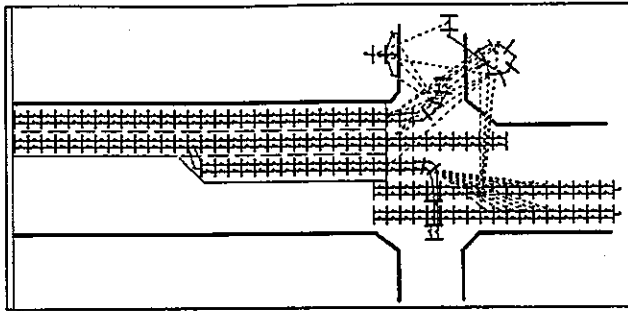
このような計画プロセスに沿っての展開的支援は、トータルとしての計画案の説明性を与えるものであり、説明責任の改善にも寄与するだろう。ペトリネットシミュレータをこのような形で位置付けるとき、実践システムとしては、

- i) 問題認識と代替案発想の支援力
- ii) ペトリネットモデルの構築支援力
- iii) 視覚シミュレーションの即時実行力

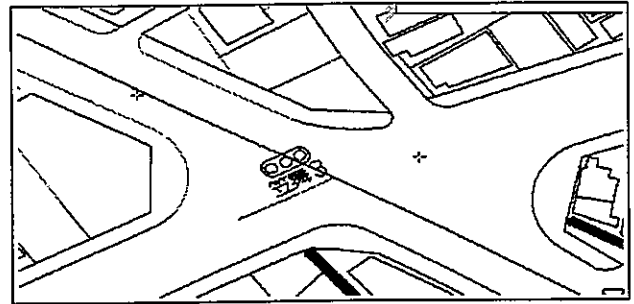
の3つの面からさらに検討する必要がある。iii)についても、高速化やアニメーション化等の課題はあるが、駆動アルゴリズムの汎用性を含む即時実行力は、一定の実用レベルにあり、前述したように、i)とii)の強化が当面の課題となる。

まず、i)の強化として、背景画像を挿入し、その上に交通流ペトリネットを表示し、実道路空間との対応性を向上化させることで、問題認識や代替案発想に際して、より多くの参加主体の経験や知恵の働きを活性化させることを考える。図2-7の(1)と(2)は、2-2の手順で構築した交通流ペトリネットの部分画面と、その実道路空間の画像とを並置したものである。

図2-7の(1)は、左方向から都心に向かう片側2車線の交通流が、信号交差点付近で、直進・左折・右折の各専用レーンに分岐し、左折車は横断歩行者によって、右折車は右方向からの対向直進車によって抑止される交通流ペトリネットとなっている。その記述は、2-1で述べた意味での空間対応性を有するが、図2-7の(2)の実道路空間の画像と対比させれば、トポロジカルなレベルでのものであることが分かる。



(1) 交差点付近付近の交通流ペトリネット



(2) 交差点の実空間画像

図 2-7 交通流ペトリネットと実道路空間

この対比的な形式でも、われわれの経験的知識は活性化され、提示された交通流ペトリネットに対して質問や疑問点が容易にいくつも浮かぶ。例えば、2道路の交差角の問題、交差点内の空間広さ、左折専用レーンの設置による直進が1レーンに制約される点等の疑問や確認、さらには代替案の提案も出てくるだろう。その意味では、実道路画像の導入は、図 2-7 のような対比形でも効果的では

あるが、実道路空間での実行可能な代替案を発想し、評価・検討するには、よりリアルな形で実道路空間との対応性を備えたペトリネットモデルの構築が望ましい。

この目的のために、図 2-5 のペトリネットシミュレータの基本メニューのサブメニューとして、図 2-8 に示すように、“背景面の挿入”を追加する。背景画上で空間対応型ペトリネットの構成手順については次節で述べるが、ビットマップ形式であれば背景画として挿入可能となる。

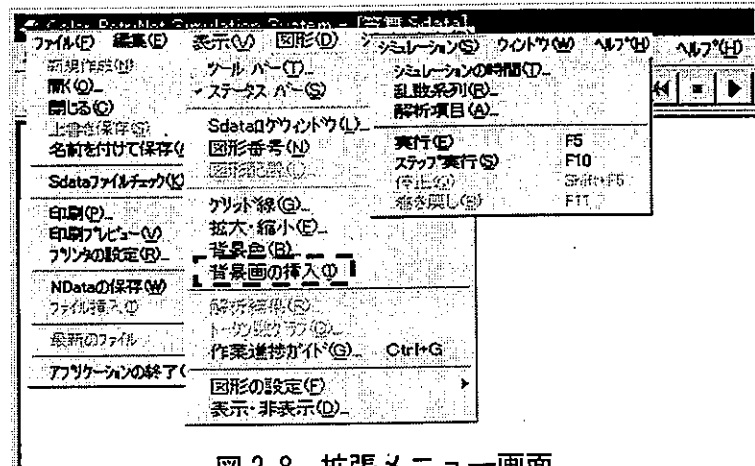


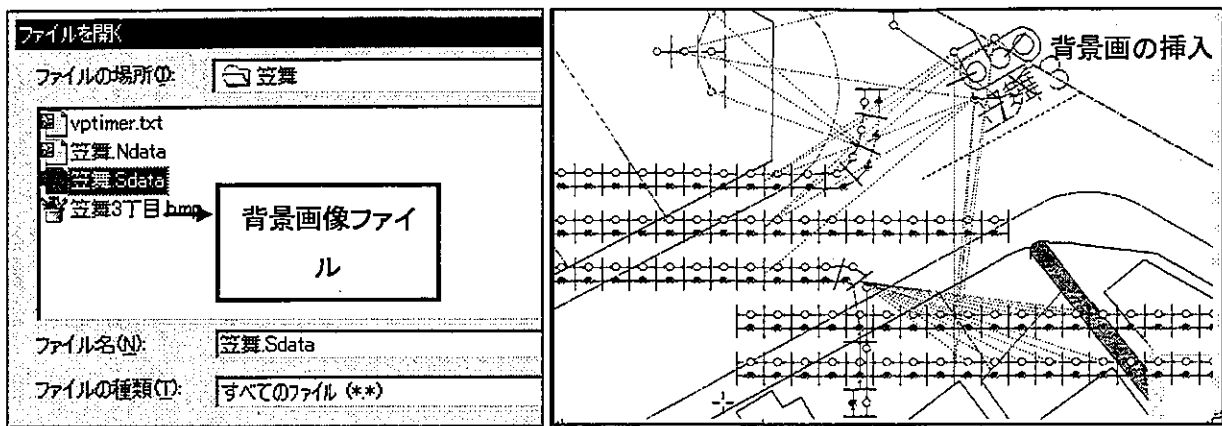
図 2-8 拡張メニュー画面

2-3-2 背景画上で実空間対応型ペトリネット構築

ここでは、図 2-7 の(1)の交通流ペトリネットを、“背景面の挿入”のメニューを用いて、図 2-7 の(2)に示す実道路空間の画像上で再構築する手順を示す。即ち、交通流ペトリネットの Sdata と Ndata ファイル、および背景画ファイルの作成は済んでおり、図 2-9 の(1)のようにフォルダに保存されているとして話を進める。

まず、2-2 の手順と同様に、図 2-9 の(1)の Sdata ファイルを開き、図 2-7 の(1)の交通流ペトリネット画面を表示する。ちなみに、Ndata ファイルは自動読み込みとなっているために、指定する必要はない。次に、図 2-8 の“表示”のサブメニューの“背景面の挿入”を選択し、図 2-9 の(1)で背景画ファイルを指定すると、図 2-9 の(2)に示すように、背景画が挿入されたネット表示となる。このネットを背景画の実道路空間を対応させる再配置操作を行うことで、ネットを再構築することになる。

図 2-10 は、ネットと背景画道路空間との実対応化の操作の概要を示したものである。まず、図 2-8 の“表示”のサブメニューによりグリッド線を引き、閉塞区間長との対応化の基準とする。次に、明



(1)交通流ペトリネットのファイルフォルダ

(2) 背景画上へのネット表示

図 2-9 背景画の挿入操作

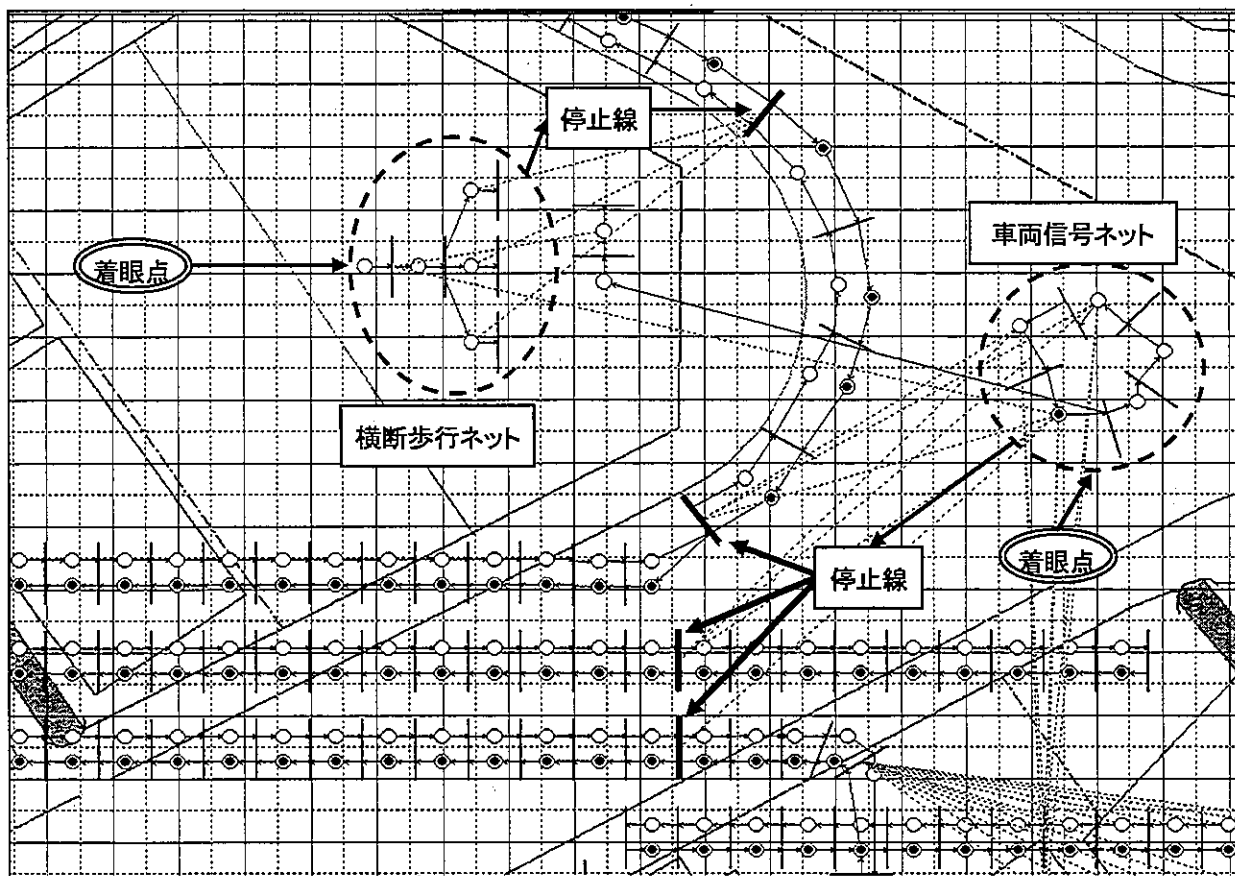


図 2-10 実道路との空間対応化操作画面

確な空間対応化が可能な着眼点を選び、それから特定化されるトランジション等を、ドラッグ操作による実空間対応位置へ再配置する。そして、それらを手掛かりとしてネット全体の実空間対応化を図っていく。

図 2-10 では、車両の停止線を実空間対応化に効果的な着眼点として使用している。2-1 の交通流のペトリネット表現で述べたように、車両停止は、車両進行トランジションへの抑止によってなされる。図 2-10 では、一つは、歩行者による抑止関係より左折車の停車トランジションを特定化し、実道路空

間のその位置へトランジションをドラッグで移動し、一つは、車両信号ネットからの抑止関係より交差点手前での停車トランジションを特定化し、同様の操作を行い、この2つを基準に左折車の車両進行部ネットを再配置し、空間対応化を実現している。直線道路部ネットは、グリッド線を用いるだけでほぼ空間対応化が可能となるだろう。

交通流ペトリネットの視覚性という点では、トランジションや空間の空きスペースやアークの表示は、図 2-10 からも分かるように煩雑感を与える。図 2-8 の“表示”のサブメニューにある“表示・非表示”は、この煩雑性に対処するものである。このメニューは、ネットの Sdata 記述において、表 2-1 に示した各行の最終列に、1 (表示)、あるいは0 (非表示)で指示したものを、図 2-11 のウィンドウで有効化するものである。図 2-12 では、上述のようにして再構築した交通流ペトリネットにこのメニューを適用して、信号現示と車両の占有スペースのみを表示させたものである。

このような機能との併用で、背景面上でのネットは、より直接的な実空間対応化が可能となる。そして、シミュレーション結果の視覚提示にはこのよ

うな交通流ペトリネット画面を使用し、モデル化と理解と受容性議論には、細部表示のネット画面によるステップ実行を使用するという使い分けも、参画の実体化支援には有効となるだろう。

2-4 既開発ペトリネットのデータベース化による展開的支援性強化

2-4-1 データベース化の基本アイデア

本論文では、交通流ペトリネットシミュレータを、参加型交通計画における展開的支援システムとして位置付けて、それに向けての強化課題を検討している。2-3 では、構築交通流ペトリネットの実道路空間との対応性の向上について検討し、背景面の挿入によって、参加主体が自己の経験とより照らし合わせしやすい交通流ペトリネットの表現形に再構築することを提案した。既開発ネットは、この手順で 図 2-9 の(1)に示すようなファイル構成のフォルダに保存されことになる。

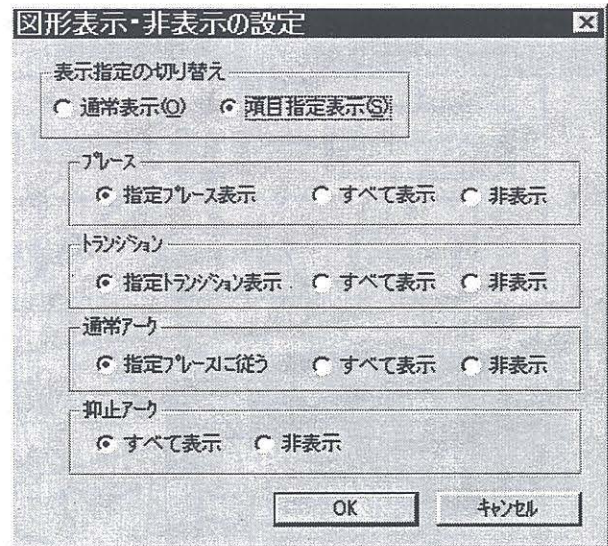


図 2-11 表示・非表示設定ウィンドウ

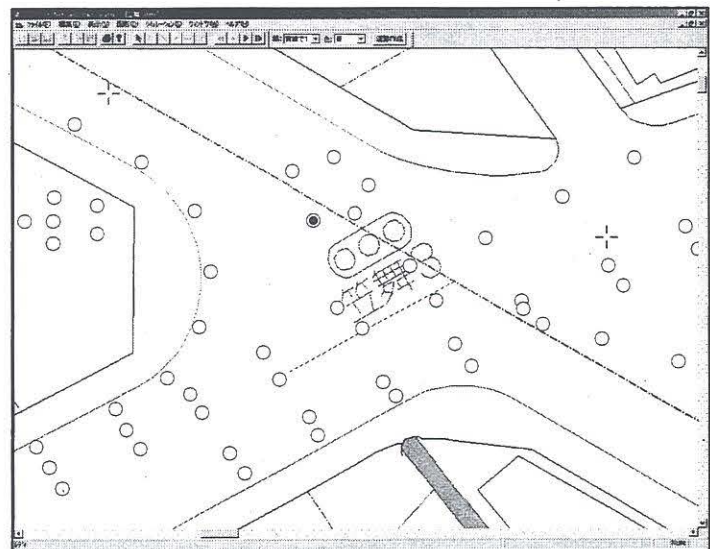


図 2-12 表示・非表示による交通流ペトリネット画面

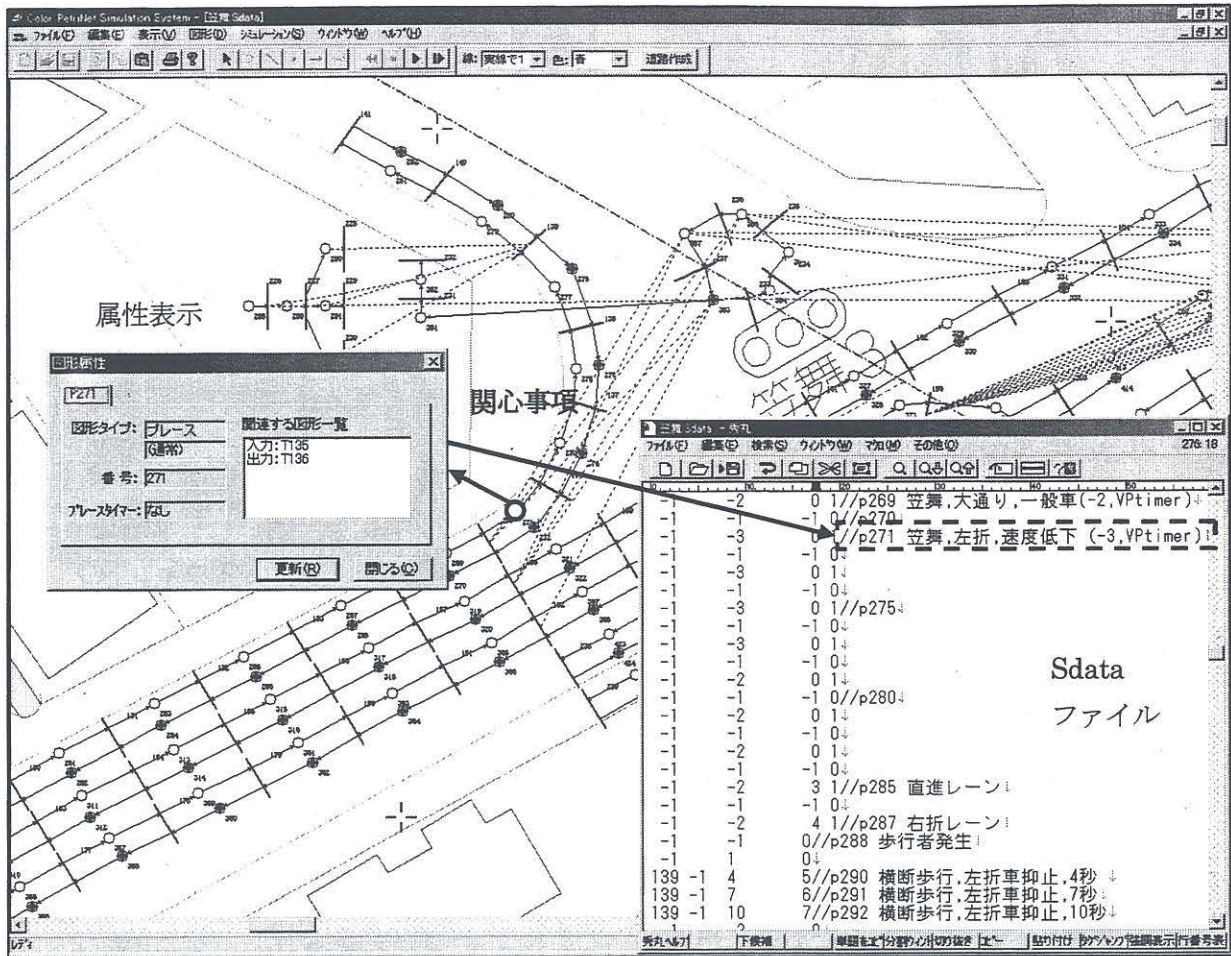


図 2-13 背景画像上での交通流ペトリネットのデータベース化作業画面

この強化によって、問題認識においても、代替案の発想においても、参加主体間でのコミュニケーションの活性化の支援力が増すだろう。展開的支援では、図 1-1 に示したように、そのような交通流ペトリネットを、いくつも、あるいは次々と構築していくことが必要となる。その支援強化が、2-3-1のii) に上げた課題である。本章では、データベース化による既開発交通流ペトリネットの活用化によるネット構築支援について検討する。

計画主体は、データベースが構築されていれば、図 1-1 の各プロセスで、計画課題に関連するキーワードを用い参考となる既開発ネットが検索できる。検索目的は、必要な事象のペトリネット構築に際しての参照や、学習や、直接利用にある。図 2-9 の(1)のフォルダのままでのデータベース化では、これらの目的に十分には答えられない。著者等は、表 2-1 に示した Sdata 上での文字検索を前提とするより支援度の高いデータベース化を提案する。

Sdata は、既開発ペトリネットを構成する全てのプレースとトランジションについて、定められた形式で、その種類や相互関係を、行単位のテキスト形式で記載したものである。表 2-1 に例示したように、行の最後尾に“//”つけてコメント文を記載することも可能となっている。このコメント文は、標準的なソフトウェアで文字列検索が容易に行える。そこで、このコメント文にネット構築の手掛かりとなるキーワードを新たに記載した上で保存するという形で、既開発交通流ペトリネットのデータベース化を行っていけば、利用主体が計画課題に関するペトリネットを構築して行く際に、有効な既開発ネットを、より効果的に検索できると考える。

具体的には、図 2-13 に示すように、まず、背景画上的の構築ペトリネットと、その Sdata ファイルを、2-3 で述べた実行ソフトウェアで同時に表示させる。そして、背景画との対応を手掛かりに、データベースとしてコメントが重要と考えるトランジションあるいはプレースを、ネット上で選定する。その図形要素を選択し、マウスで右クリックすることによって、図中の左中に示すような図形属性表示のサブ・ウィンドウが開き、図形タイプや番号、関連図形のデータが表示される。そこで、その番号等を手がかりに、次に、Sdata ファイルをスクロールし、コメント要素を表示させて、そこに直接コメントを記載していくだけでデータベース化が進められる。

コメントの視点は、例えば、対象道路空間との対応で記載すべき基本交通流関連や、基本ネットからの変形や拡張化関連のヒント等が考えられるだろう。このコメント記載に際しても、背景実道路との対応性が有効に働くことになる。図 2-13 の画面では、道路の交差角度を考慮して、減速左折の進行ネットとしているという開発経験のコメントを記載し、さらに、その方式を（-3, VP timer）と注記している。

この記載作業例では、ネットモデルの開発者による実行が暗黙裏に想定されている。そのときには、利用者の立場に立つことが望ましいが、図 2-13 に示す画面は、利用者自身がデータベースを検索し、抽出した交通流ネットの細部を調べる支援形態でもある。この状態で利用者自身の視点からコメントを記載することも当然可能で、両者のコメントを識別化した上で、この双方向でのデータベース化の形式を積極的に活用することが、公共計画への参画化を実体化する支援システムとして、最も重要な点であり、かつ、そのことが可能な点に本データベースの最大の特徴があるといえよう。図 2-14 は、このことを意識して、ペトリネットのデータベースシステムを双対イメージで停止している。

2-4-2 データベース検索によるペトリネットの展開的構築支援シミュレーション

本節では、データベースの検索と交通流ペトリネット構築の展開的支援を模倣的に行うことで、コメント記載の視点やキーワード検索の工夫に関する考察を行う。

模倣試行の計画課題として、ここでは道路の維持管理工事に伴う交通対策を取り上げる。まず、工事には当然対象道路が想定されている。その地域名・笠舞で検索すれば、図 2-13 で構築した既開発ネットにヒットする。このとき、開発目的・検証も記載されておれば、直接活用できるかどうかの判断情報となる。この場合は、検証と記載されているので、本計画課題のネット構築の基盤ネットとして直接利用できることが分かる。

次に、工事に伴い発生する交通事象の組み入れが必要となる。この関連から入力キーワードを探索

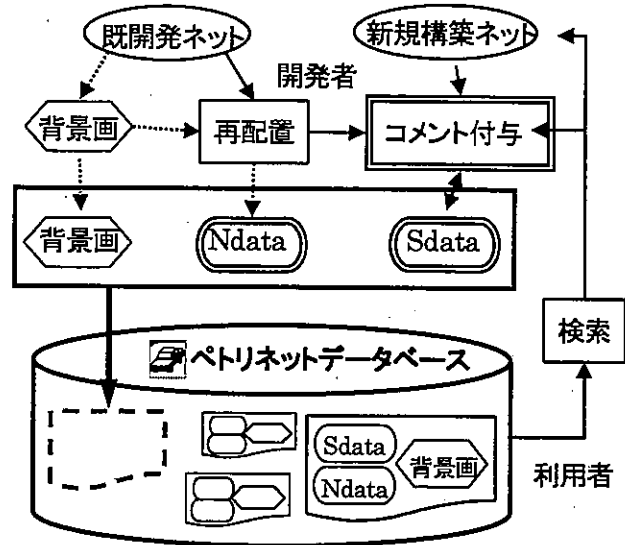


図 2-14 双対型データベース構築のイメージ

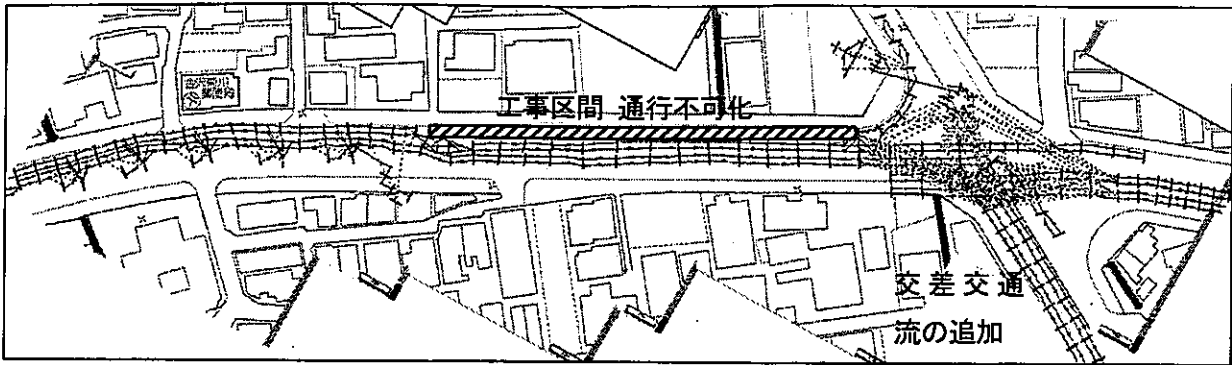


図 2-15(1) 路側工事に伴う信号対策の交通流ペトリネット

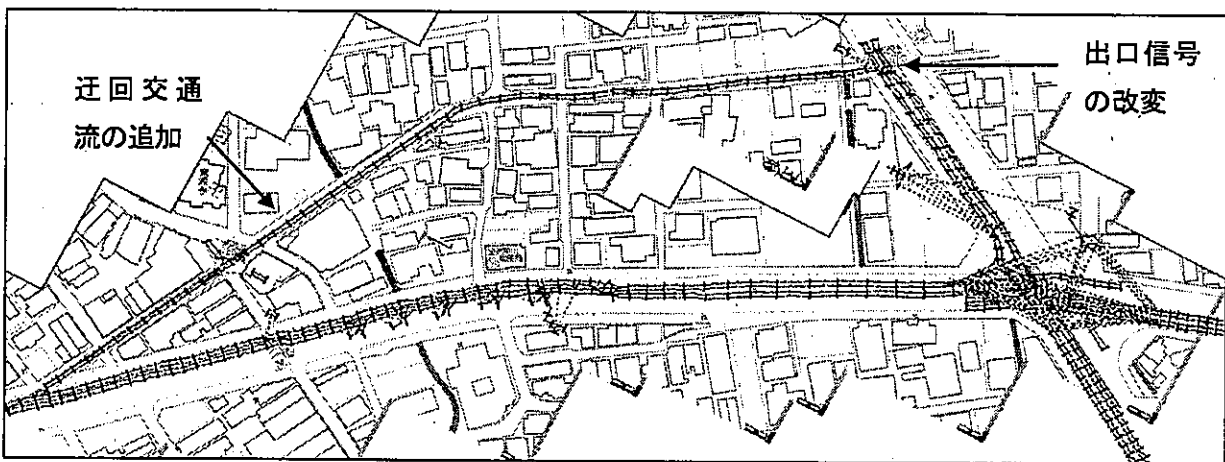


図 2-15(2) 迂回路活用対策案の交通流ペトリネット

すると、工事区間の通行不能化と、それに伴う車線変更に容易に行きつく。後者の“車線変更”は、交通の基本形の1つであり、基本部分ネットとしてのコメント記載にヒットする。そこで、そのネットを抽出し、利用可能性を検討することになる。本事例ケースでは、事前にドライバーに予告されているという事情を考慮して、基本ネットに加工を施した上で、基盤ネットに追加・結合化することが必要となる。

前者の“通行不能化”の方は、ヒットしない。このような場合は、一般的にはシソーラスを用いた類似語検索が考えられる。それも可能としておく必要があるだろう。ネット構築が目的であるこのシステムでは、データベースに記載されている可能性の高い、関連語や反対語を考えることが効果的で、“通行不能化”については、同一の状況が生起する事象，“路上駐車”や“タクシーベイ”や“バスベイ”が思いつく。反対語としては、“車両進行”であり、これらも基本部分のキーワードであるからヒットし、参考となるネットが抽出できるだろう。また、“通行帯の不在”と言い換えることもできるかも知れない。これらからは、車両進行ネットにおける抑止アークの設定ないしは入力アークの削除というヒントが得られるだろう。

具体的には、図 2-13 でクローズアップされたネットの交差点手前までの左折専用レーンの部分を、工事に伴い通行不能化することになる。その結果、直進・左折車の旅行時間が増大することは、シミュレーション実行で確認するまでもないことで、この問題認識に対する対策案の発想と評価支援が、ここでの課題となる。第一案は、信号現示時間の再配分による直進・左折車の旅行時間の改善策である。これには、交差交通流への影響が伴う。そこで、対象交差点の実道路画像を表示させ、交差交通流

が片側二車線交通であることを確認し、それをキーワードとし検索すれば、その基本ネットを容易に抽出することができる。このネットを背景画面上で空間対応型に配置し、交差点信号ネットと抑止アークで結合化することで目的とする交通流ペトリネットを構築することができる。

図 2-15 の(1)に構築ネットを示す。このネットでは、前述した工事に伴う通行不可化と、それに伴う手前区間での車線変更ネットの組み入れもなされている。

信号時間配分を代替案とするシミュレーションは、前述したように、このネットの Sdata でパラメータ設定を変更することで直ちに実行できる。図 2-16 の横軸は、シミュレーションケースを示しており、工事前の旅行時間を基準にその増加比率で示したものである。「工事」のケースでは、旅行時間は 5 倍以上となり、「信号対応」では少しは減少させられるが、交差交通への影響も大きく、問題解決には程遠いことが分かる。

そこで次の対策代替案を検討することになる。信号案は、図 2-15 の(1)の交通流システムの内部要素による対応策であり、検討範囲をいわゆるシステム環境にまで拡大して検討する。具体的には、背景画像の領域を拡大すると、図 2-15 の(2)のように、迂回路の活用策が検討視野に入ってくる。そして、その道路が一車線の小路であることも背景画像から直ちに分かる。

従って、一車線、小路で検索すれば、一車線の基本ネットが直ちに抽出できる。小路の方は、細道と記載されている可能性もあり、類似語検索が有効となるだろう。また、基本ネットの加工に際しては、図 2-13 に示したような細部検討画面の支援が有効となる。ここでは、走行速度を抑えるために、プレイス種類と VPtimer 活用を行うというヒントが得られる。

このような検討の際に、前述したように、利用者自身が、参考となるネット抽出に至ったキーワード列や、加工が必要と判断した理由をコメントとして記載していくことで、本データベースは自己創出的に充実していくことが期待される。

図 2-15 の(2)は、このようにして構築した迂回路活用代替案の交通流ペトリネットである。迂回路交通の増加に伴い、大通り出口信号の対応も検討項目となる。図 2-16 では、左折車の 60%を迂回路からの流出に加えると、出口信号の対応なしでは、迂回路での渋滞の影響が本線流にも及ぶが、出口青時間を 20 秒増やした総合対応案では、ほぼ 2 倍程度の旅行時間増に留められるという結果となっている。

以上のように、交通流ペトリネットのデータベース化によって、代替案を展開的に検討する支援の道が見えてくる。ちなみに、この道路の朝の通勤時の交通量は、1950~2000(台 / 時程)度で、直進 44%、左折 37%、迂回路 12%、右折 7%となっている。また、歩行者交通は多くはない。ここで構築した

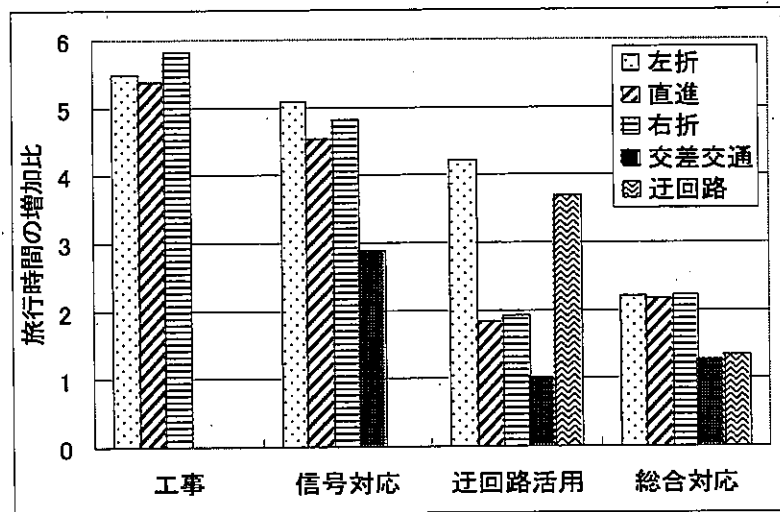


図 2-16 計画代替案のシミュレーション結果

交通流ペトリネットは、工事終了時の道路使用形態として、路肩左折専用レーンの直進・左折レーン化代替案を検討するに際して、交差点内の対向右折車の停車位置の工夫と、2車線からの直進流の安全確保のシミュレーションの基盤ネットともなるだろう。

2-5 まとめ

本研究では、ペトリネットシミュレータの特徴は、

- ① 視覚的ネットによる記述の空間対応性
- ② 構築ネットの視覚出力画面への直結性
- ③ ネットの共通構造性と結合化による拡張性
- ④ 駆動原理の明快性と即時実行性

にあるとし、その強化・活性化によって、アセットマネジメント型公共計画における参画化支援システムとしての可能性を探ることを目的としている。本章では、まず、これらの特徴をペトリネット手法の基礎概念と、その実行環境としてのシミュレータソフトウェアの両面から明らかにし、次に、アセットマネジメント型公共計画における参画化支援システムとして、実空間対応性とネット構築の支援性の強化研究を行った。

まず、②～④の特徴は、ペトリネット手法の基礎概念に由来するものであり、参画化支援システムとしては、他システムに比して、論理透明性が高く、非プログラミング的、動的図解手法的であり、専門家以外にも十分に活用可能な潜在性を持つことを明らかにした。また、①は、対象系のペトリネット表現化の視点ないしは目的意識とした。そして、この特性が、既存施設空間を取り扱うアセットマネジメント型公共計画、既存道路の有効活用策や、地域・建物内防災計画の代替案取り扱い支援に直結することを述べた。

次の強化策研究でも、この空間対応性を第一に取り上げた。具体的には、構築ペトリネットをその実空間画像と対置し、現システムでの空間対応性はいわばトポロジカルなレベルのものであることを示し、背景画の挿入を実行ソフトウェアのサブメニューに加える改良を行い、背景画像上での実空間対応型のペトリネットへの再構築手順を具体化した。第二の強化策は、参画化支援システム構想で示した計画プロセスに沿っての展開的支援に必須となるネットの構築支援である。これについては、背景画像上で再構築された既開発ネットをデータベース化し、その検索によるネット構築支援システムを提案した。本データベースの特徴は、ネット開発者側からの開発経験の注記コメント記載と、利用者側からの検索経験の注記コメント記載の双方向性にあるとした。本データベースのこの形式での充実化そのものが、参画化支援システムとしての利用層の拡大化に繋がるという特長を持つといってもよいだろう。

また、背景画像上でのデータベース化を想定しての展開的支援のシミュレーションも行った。具体的には、道路維持管理工事に伴う交通対策計画である。ここでは、問題認識のシミュレーションから始まり、内部要素である信号による対応案、システム環境を拡大しての迂回路案、それらの総合案という展開支援を、背景画像の持つ情報を活用しつつ実行し、ペトリネットの4つの特徴、①実空間対応性、②視覚出力画面への直結性、③結合化による拡張性、④即時実行性が、われわれの経験的知恵を計画プロセスに反映し、参画を実体化する支援力となることを確認することが出来た。

2-6 参考文献

- 1) W. Reisig : A Primer in Petri Net Design, Springer-Verlang, 1992.
- 2) K. Jensen : Colored Petri Nets, Springer, 1997.
- 3) 村田忠夫 : ペトリネットの解析と応用, 近代科学社, 1992.
- 4) 奥川峻史 : ペトリネットの基礎, 共立出版, 1995.
- 5) 吉川和弘編著 : 「21世紀の都市と計画パラダイム」, 1995,1.
- 6) 池田謙一 : 「コミュニケーション」, 東京大学出版会, 2000,9.
- 7) 木俣昇, 高木秀彰, 黒川浩嗣 : 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.
- 8) 木俣昇, 岸野啓一, 白水靖郎 : 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.
- 9) 木俣昇, 横山誠, 西村武敏 : ミクロ交通流のペトリネットシミュレータの検証に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, no.4, pp.755-762, 2001,9.
- 10) 木俣昇, 松井竜太郎 : 背景画像上でのバス交通計画のペトリネットシミュレーション技術, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, pp.207-216, 2003.

第3章 動的図解手法型ペトリネットシミュレータの

バス交通計画への応用研究

3-1 バス優先策の計画課題とペトリネットシミュレータ

1-1で述べたように、高度成長期から成熟期への移行を背景に、交通計画では、新規道路建設による道路網の整備による社会・経済システムへの寄与型から、既存道路の有効活用化と環境負荷の軽減化型へと重心を移してきている。そのような交通計画としては、図3-1に示すように、路上駐車対策や信号制御の高度化策や、それらに伴う道路の部分改良策と並んで、輸送人員当たりの環境負荷量や空間占有量における優位性によるバス交通活性化策がある。

これらの計画課題に共通する事項は、いずれも既存道路の限定された時空間の車両占有性に係わるという点である。路上駐車対策は、特定の道路の特定の時間帯での駐車車両による道路時空間の占有化の規制計画であり、信号制御の高度化策は、交通量に応じた方向別・レーン別車両の道路時空間の安全かつ効果的な占有化の実現計画である。道路の部分改良策は、それらの策を保証する空間整備といえよう。

バス交通活性化策には、バスの走行性を確保するためのバス専用レーン策、一般車との折り合いをも考慮したバス優先レーン策、乗用車とバスとの連携化を図るP&R策等があるが、これらも、既存道路の限定された時空間のバス・一般車間での安全かつ効果的な占有化の問題である。特に、バス優先レーン策では、図3-2に例示するように、適用道路空間の特性に適合した運用形態の諸代替案を検討することが求められる。また、規制情報のタイムリィな表示システムや、それを受けての一般車の行動等要素の組み入れも取り扱う必要がある。

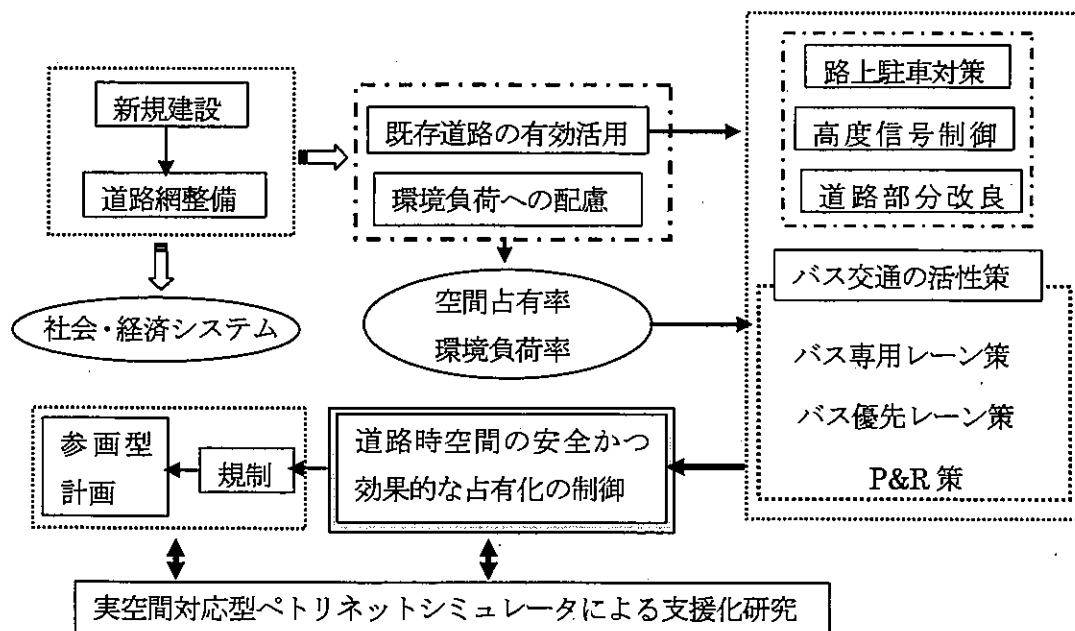


図3-1 既存道路の有効活用策のペトリネットシミュレータ支援の構図

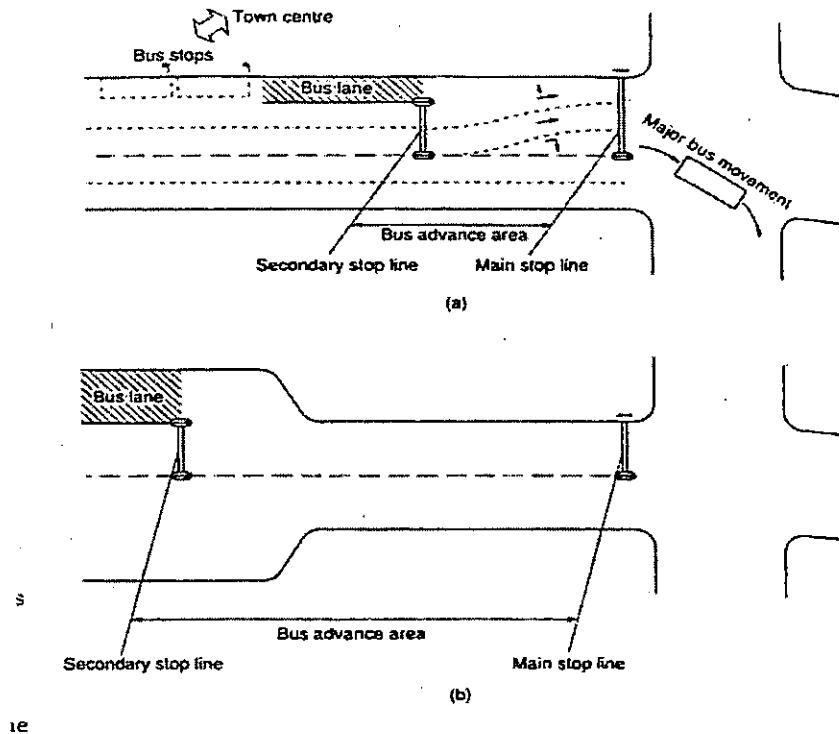


図 3-2 バス優先策の道路空間対応型発想事例

また、これらの計画には、規制や私権の制約が伴う。路上駐車対策では、沿道商業施設での荷捌き作業や商業活動に規制や制約が掛かるし、信号制御にも、ある方向に向かうドライバーには現状のサービス水準の低下が伴う。バス優先策には、一般車への影響が伴い、部分改良策にも、土地所有者の私権の制約を課すことになり、これらの計画には、市民の参画化が必要となる。第2章で展開してきた背景画面上での実空間対応型ペトリネットシミュレータは、このような計画システムと計画課題において、その展開的支援システムとして働きが期待されるものである。本章では、

- i) 空間占有性の相違を組み入れたバス・一般車の混在交通流のペトリネット表現を概説し、
- ii) 出発バスの定時性確保の優先策のペトリネットシミュレーション開発と、
- iii) バス接近時のみに作動するバス優先レーン運用策のペトリネットシミュレーション開発を試み、実空間対応型ペトリネットシミュレータの交通計画支援システムとしての応用可能性を検討する。

具体的には、i)では、2-2で示した交通流のペトリネット表現を基に、大型車であるバスと、小型車である一般車の道路空間の占有性の違いを表現したバス・一般車の混在交通流のペトリネットの構成法を示し、さらに、このネットによるバスと一般車の走行特性の相違の表現法について概説する。ii)では、駅前広場の整備に伴うバスターミナル空間の変化を、背景画像上で明示し、出発バスの定時性確保策のペトリネットシミュレーションが、出発道路空間との実対応化の手法で構築できることを示す。そして、その効果確認が、視覚型シミュレーションの即時ステップ実行で可能となるとともに、トータルとして出発バスの定時性確保策検討への展開的支援性を論じる。iii)では、バスの走行経路での優先策として、現在朝夕に広く運用されているバス専用レーン策に対して、バス接近時のみに稼働するバス優先レーン策の運用を取り上げて、その代替案検討シミュレーションネットの展開的構築と評価に関する基礎研究を行い、適用道路の交通空間特性の反映化について整理する。

3-2 バス・一般車の基本混合交通流のペトリネット表現

3-2-1 混合交通流ペトリネットにおける道路空間の車両別占有性の表現法

交通流の基本ペトリネットについては、第2章の図2-2に示し、その概要を空間対応性の視点から述べた。本章では、バス交通計画への応用研究が主題であり、図2-2のペトリネット表現を基に、バス・一般車の混在交通流のペトリネットの構築を説明するために、この図を図3-3に再録する。ただし、ここでは、交通流の動的図解特性にも踏み込むために、車両発生部の基本部分ネットを結合したものを示している。この部分については、3-2-2の走行特性の表現法の項で触れることにする。

図3-3のペトリネットは、車両信号のある片側一車線の道路で、一般車の安全な走行性を記述するものである。その記述原理も2-1で概説したが、道路を車両一台の安全な占有を保証する閉塞区間に分割し、それを2つの対をなすブレース、当該閉塞区間における”車両の存在”と”空間の空き”を示すブレース”O”で記述し、車両進行のトランジション”|”の入出力関係をアークで図3-3のように定めることで、ペトリネットにおける唯一の駆動原理であるトランジションの発火則によって、安全な車両進行が自律的に保証されるとするものであった。

この部分の理解性が、住民参画型計画での支援システムの原点となるために、トランジションの発火則を再録し、車両進行部の部分ネットの状態推移をステップ実行で示す。図3-4(1)を初期状態とする。即ち、手前の閉塞区間に車両が存在し、前方の閉塞区間は空き状態であることが、この部分ネットのブレースへのトークンの配置によって指示表現されている。トランジションの発火則とは、

- R1) 全ての入力ブレースにトークンがマーキングされていて、かつ、
 - R2) 全ての抑止ブレースにトークンが存在しないとき、
- 当該トランジションは発火し、
- R3) 全ての入力ブレースからトークンを一個ずつ消去し、
 - R4) 全ての入力ブレースからトークンを一個ずつ配置する
- というものであった。

これを図3-4(1)に適用すれば、トランジション t_1 については、R1)かつR2)が成立しており、その結果、R3)とR4)の処理によって、図3-4(2)に示すトークンの配置状況へと推移する。それに対して、図

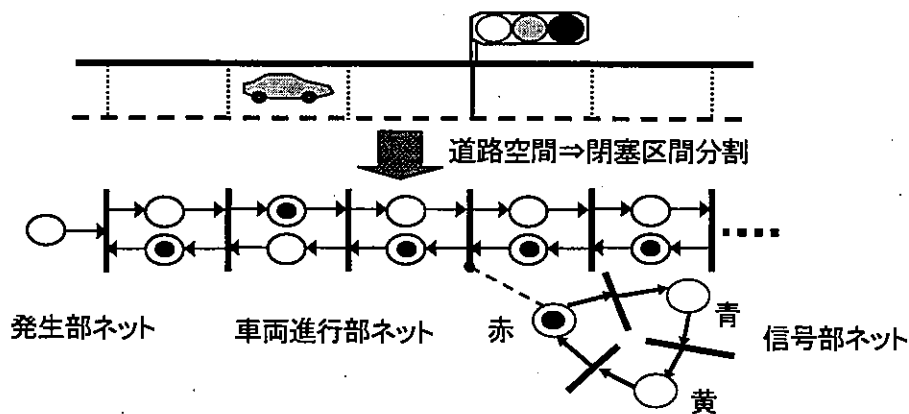


図3-3 片側一車線の基本交通流のペトリネット表現

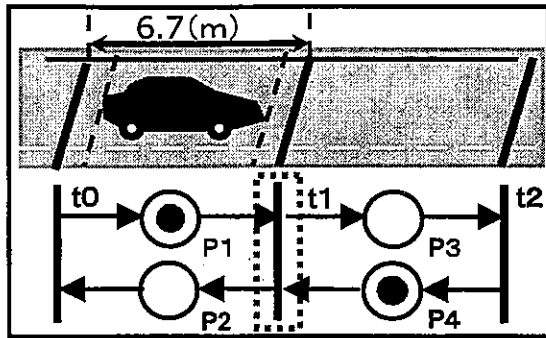


図 3-4(1) 初期状態図

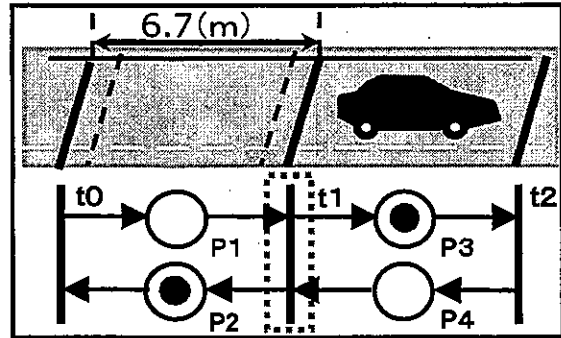


図 3-4(2) 推移状態図

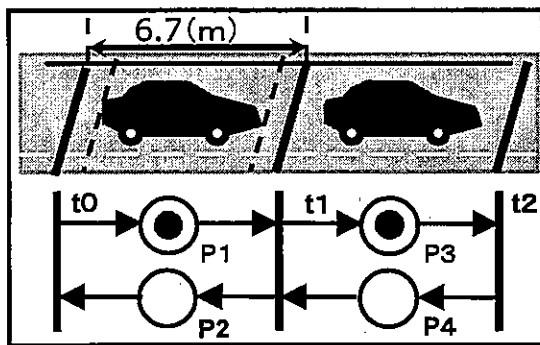


図 3-5(1) 初期状態図

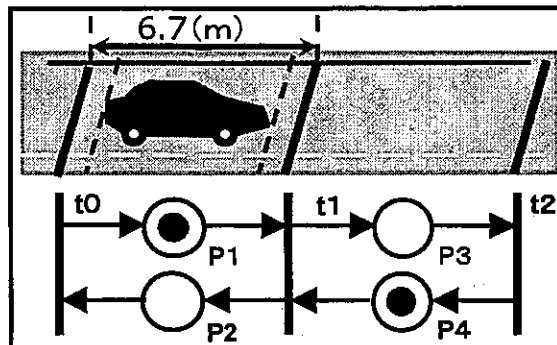


図 3-5(2) 推移状態図

3-5(1)の状況であれば、トランジション t_1 は、入力プレースの一つである p_4 にトークンがマーキングされていないために、 R_1 が成立せず、従って、発火することはない。即ち、前方閉塞区間に車両が存在する限り進行することはない。これも上述の発火則の適用で簡単に確認できるが、3-5(2)が、前方の車両進行のトランジション t_2 の発火後のトークンのマーキング状態である。この状態になってはじめてトランジション t_1 が発火可能となり、自動的な追従走行となる。

以上のように、基本交通流のペトリネット表現では、ペトリネットの図形要素であるプレースを対で、道路時空間の占有性記述に対応化させることで、ペトリネットの特徴の①とした空間対応性を引き出すとともに、交通流の安全保証をネットに内在化させ、最大の魅力とした④のプログラムの変更なしでの即時実行性を保持することを実現した。

バス・一般車の混在交通流のペトリネットでは、この長所を引き継ぎ、かつ、大型車であるバスと小型車である一般車の道路空間の占有性の違いをも表現することが課題となる。図 3-6 は、バスは一般車の2倍の道路空間を占有するとし、新たに、“バスの存在”を記述するプレース(-3)と、バスの進行を記述するトランジションを導入して、片側一車線でのバス・一般車の混在交通流の基本走行部のペトリネット表現を行ったものである。

このネット図の下方が、図 3-3～図 3-5 で示してきた一般車の走行部ネットで、その上部に新しいバスの存在プレースと進行トランジションを、“空間の空き”を示すプレース(-1)を共有する形で配置している。ちなみに、“一般車の存在”を示すプレースは(-2)で表記してある。このように、このネット表現での空間対応性は、3つのプレースの重畳化という形になる。

具体的には、このネット表現では、一般車の進行トランジションには、“空間の空き”を示すプレース

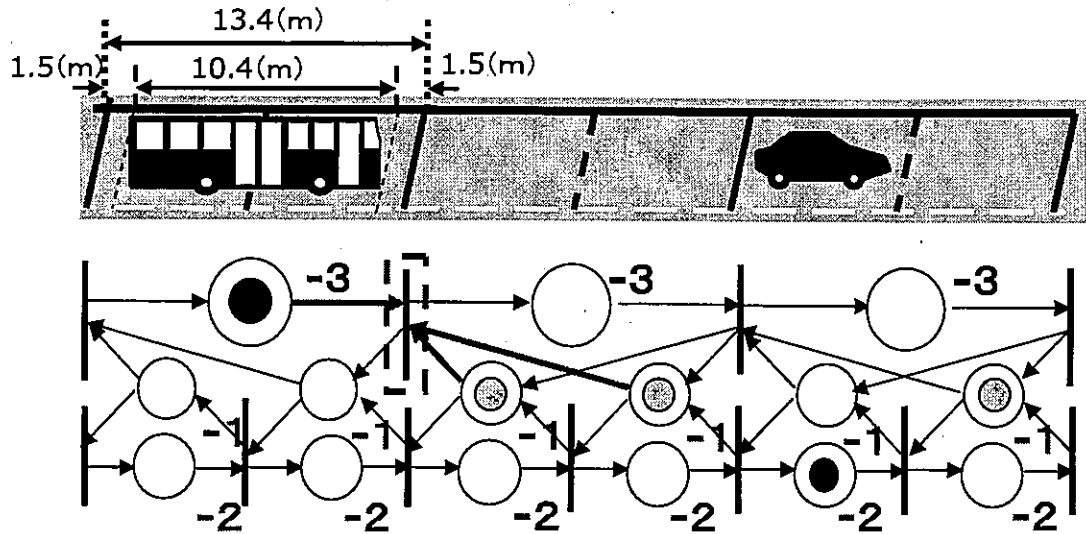


図 3-6 バス・一般車の基本混在交通流のペトリネット表現

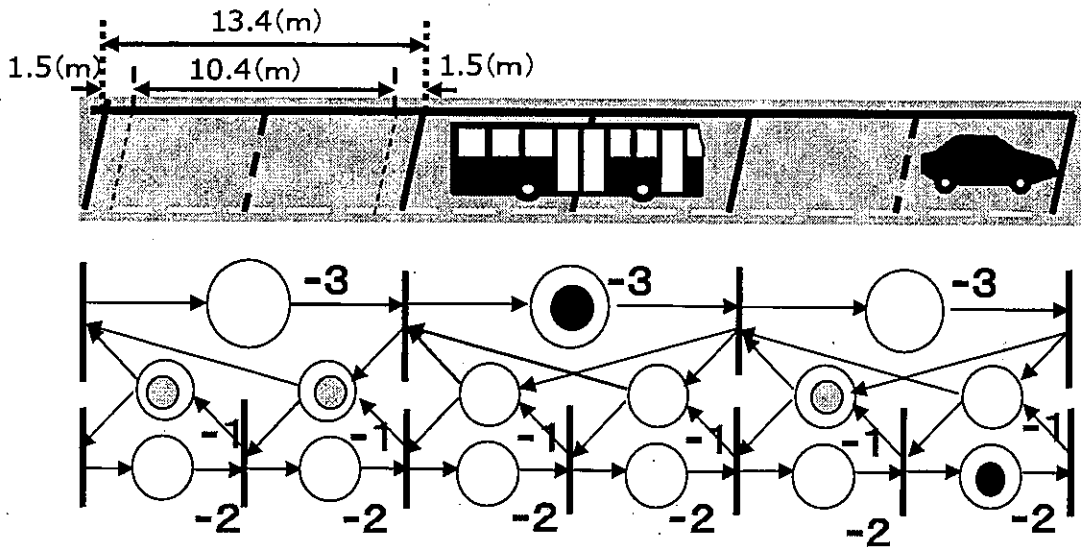


図 3-7 混在交通流ペトリネットの状態推移図

を出入力として1個ずつ対応させるのに対して、を示すプレースを出入力として2個ずつ対応している。この駆動も、上述のR1)~R4)に示した進行トランジションにも、バスの進行トランジションの発火と、一般車の進行トランのマーキング状態を示したものである。最低の発火則を、図3-6に機械的に適用して、この

が、本シミュレータの参画化計画での支援シ

図3-7への推移で、バスと一般車の進行はどちらが先か、あるいは同時かという点は、ペトリネットシミュレータの動的記述性に関係するもので、次項で述べる。

バスの進行トランジションには、“空間の空き”させることで、空間の占有性の違いを組み入れトランジションの発火則が、そのまま一般車のシジョンにも適用される。図3-7は、バスの進行トランジションの発火がともに生じた結果のトーク

限、上述のR1)~R4)に示したトランジション推移図が誰にでも容易に得られるという透明性

テム活用を支える特性となると考えている。

3-2-2 混合交通流ペトリネットにおける車両走行特性の表現法

ペトリネットシミュレータにおける動的表現法については、これまでは駆動原理を中心に説明してきた。ここでは、ペトリネットシミュレータにおける車両の走行特性の動的表現法を説明する。

ペトリネットでは、上述のように、車両は”車両の存在”を意味するプレース上に出現するトークンによって動的に図化される。そのトークンに属性を付与することによって、車両の走行特性が組み込まれることになる。車両の走行属性としては、直進・左折・右折等のOD的な属性に加えて、最も基本的なものとして走行速度である。OD的な属性が固着的ないしは付与的であるのに対して、走行速度は刻々と動的に変化する可変的なものである。本シミュレータでは、使用ネット内の各プレースについて、そのSdataファイル記載時に、その種類をタイマ無し・固定タイマ・可変タイマのいずれかに指定しおき、走行速度については、この可変タイマ概念を用いて以下のようにして表現している。

図3-8は、図3-3に対応する形で上述の混在流の基本ペトリネットを示したものである。そして、表3-1が、そのSdataファイルである。まず、“/”の後のコメント文に記したように、図3-6の混在流の基本ネット図の表記と同様に、一般車の存在プレース種類については”-2”で定義し、バスの存在プレース種類の方は”-3”で定義し、同じ可変タイマ型のプレースを細分化している。そして、それぞれの細分型に応じて参照するタイマ更新ルールを、表3-2に示すVptimerファイルで与える。

車両の走行速度については、当該閉塞区間での走行速度を基になって、進行先での走行希望速度が定まるとして、表3-2のようなVptimer表を参照し、確率的な更新ルールを採用している。なお、この表では、閉塞区間長を走行速度で割った時間(秒)、即ち滞在時間という形式で記述されている。

一般車とバスの走行特性の違いの表現は、上述した存在プレース種類の定義値を手掛かりに、一般車については、表3-2の上段のリストで、バスについては下段のリストで表記し、個別参照によって車速更新を行うことで実現される。また、最下段には、停車判定となる当該閉塞区間での滞在時間と、停車状態からの発進遅れ時間が記載されており、信号停車による影響表現も組み入れられている。

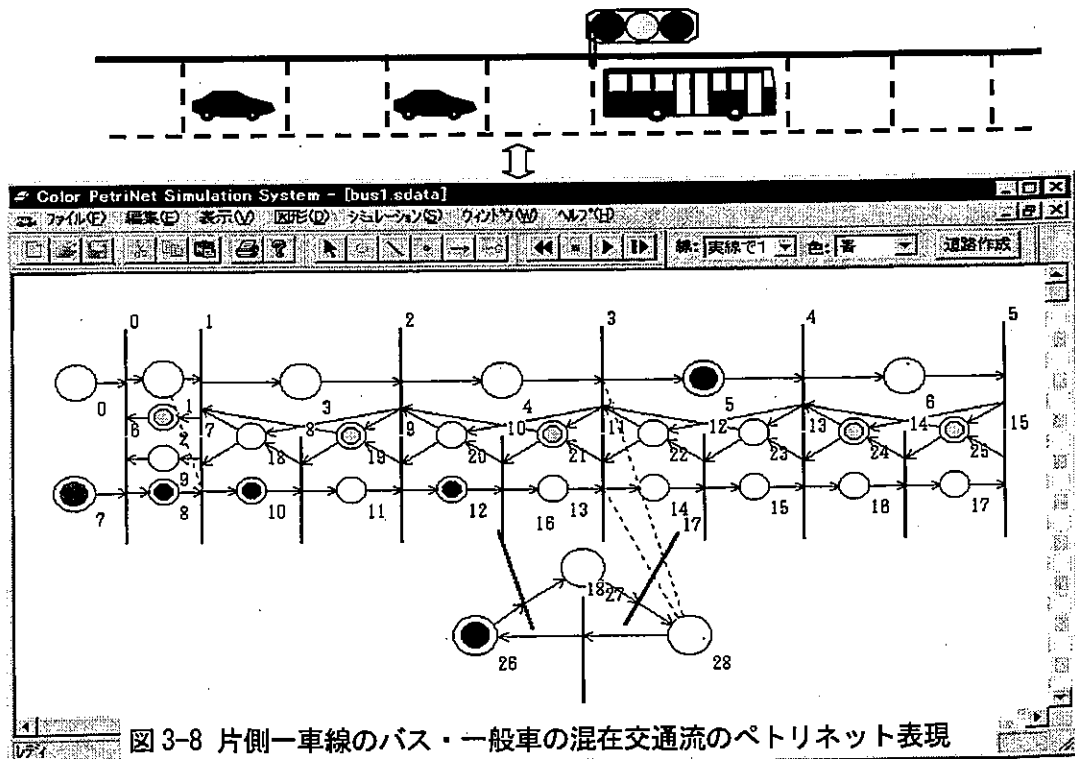


表 3-1 混在交通流ペトリネットのSdata ファイル

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	PLACE	29									
2		-1	0	0	1						
3	7	-1	1	0	1						
4		-1	-1	0	0						
5		-1	-3	0	1						
6		-1	-3	0	1						
7		-1	-3	0	1						
8		-1	-3	0	1						
9		-1	0	0	1						
11		-1	-1	0	0						
12		-1	-2	0	1						
13		-1	-2	0	1						
14		-1	-2	0	1						
15		-1	-2	0	1						
16		-1	-2	0	1						
17		-1	-2	0	1						
18		-1	-2	0	1						
19		-1	-2	0	1						
20		-1	-1	0	0						
21		-1	-1	0	0						
25		-1	-1	0	0						
26		-1	-1	0	0						
27		-1	-1	0	0						
28		-1	60	0	2	0					
29		-1	3	0	2	1					
30	3	11	-1	57	0	2	2				
31	end										
32											
33	TRAN	19									
34	0	2		-1	1		-1	0	0	0	
35	1	18	19	-1	2	3		-1	0	0	0
36	3	20	21	-1	4	18	19	-1	0	0	
37	4	22	23	-1	5	20	21	-1	0	0	
49	17		-1	25				-1	0	0	
50	26		-1	27				-1	0	0	
51	27		-1	28				-1	0	0	
52	28		-1	26				-1	0	0	
53	end										
54											
55	TOKEN	100									
56	2	-1									
57	9	-1									
58	18	-1									
59	19	-1									
60	20	-1									
65	25	-1									
66	26	-1									
67	-2										
68											
69	GENE	2									
70	0	0.3	0.1								
71	7	10	0.1								
72	-1										
73											
74	generatranZ	0									
75											

表 3-2 Vptimer ファイル

当該閉塞区間の滞在時間	進行先閉塞区間の滞在時間	更新率	
1	0.80	0.60	0.40
2	1.20	0.80	0.60
3	2.40	1.20	0.80
4	else	2.40	1.00 26879
5			
6	1.40	1.20	0.60
7	1.55	1.40	0.70
8	1.75	1.55	0.80
9	1.95	1.75	0.90
10	2.35	1.95	1.00
11	4.80	2.35	1.00
12	else	4.799	1.00 26879
13			
14	lagtime	4.8	1.2

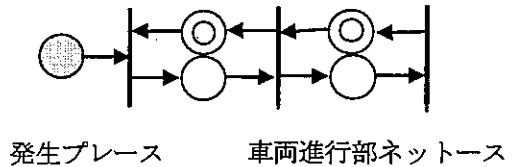


図 3-9(1) 一般車発生部ネット

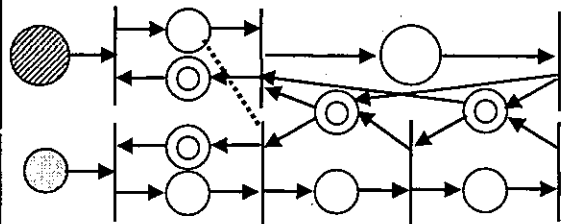


図 3-9(2) 混合交通流発生部ネット

このネットを駆動して、一般車とバスのそれを行う。それに先立って、もう一つの車両の動に触れておく。

それぞれの走行特性の表現検証のシミュレーションの特性である車両発生部ネットについて、簡単に触れておく。

まず、図 3-3 の一般車だけのペトリネットでは、左端のネットが車両発生部の基本ネットで、それを取り出したものが図 3-9(1) である。この図の左端のブレースは、トークンを指数時間間隔で生成する特殊ブレースとして、本シミュレータに付加したものである。図 3-8 では、図 3-9(2) に示すように、この特殊ブレースを 2 個用意し、バスと一般車の発生部ネットとし、図 3-7 の左端に結合化している。この発生部ネットでは、バスの発生部から、一般車の進行トランジションに抑止アークを掛けているのは、トランジションの同時発火に伴うトラブルを予防するためのものである。

この部分の Sdata ファイルでの記載部は、表 3-1 の 69 行目から始まる "GENE" のフィールドである。即ち、発生ブレースが 2 個あり、この例では、ブレース番号 0 からは平均一分間に 0.3 台、ブレース番

号7からは平均一分間に10台の指数車頭時間間隔時間分布で、バスと一般車を到着させるというパラメータが記載されている。

図3-10は、図3-8のネットの右方に走行ネットを継ぎ足し、Sdataで一方の発生台数を0としたシミュレーションを実行し、信号停車後の各閉塞区間での滞在時間を求めて、それを車速に変換して示したものである。少なくともバスと一般車の加速実験結果については、ペトリネットシミュレータの駆動原理と、表3-2のVptimer表による更新ルールで、十分に再現できることは示しているといえよう。

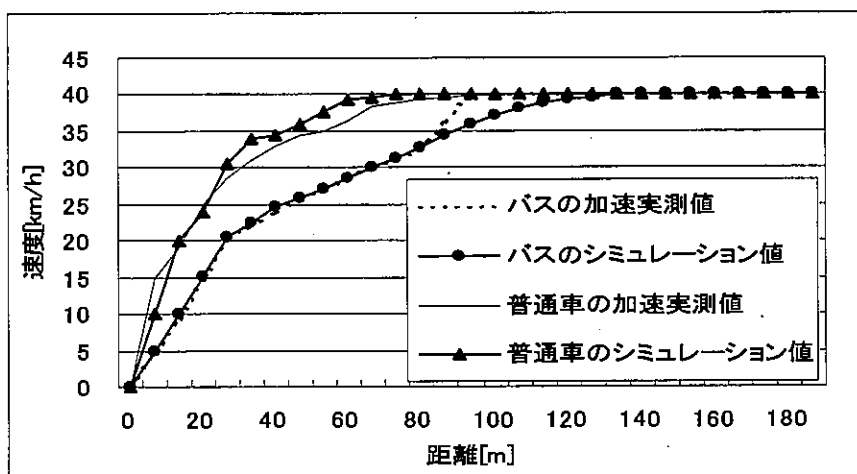


図3-10 バス・一般車の走行特性実験の再現性シミュレーション結果

3-3 バス出発時の定時性確保優先策のペトリネットシミュレーション開発

3-3-1 適用道路空間と優先策ペトリネットシミュレーションの開発課題

本章では、既存道路の有効活用策としてのバス交通の活性化計画を取り上げ、その支援システムとして、第2章で概説と強化を図った動的図解手法型のペトリネットシミュレータの適用化研究を行いたい。バス交通の活性化には、バス交通の優先策が必要となるが、それは限定された道路時空間の安全かつ効果的な占有化の制御問題であり、対象道路空間との関連で発想されるべきものである。本節取り上げる課題も、駅前広場の再開発整備に伴うバスターミナル空間の変容との関連で、出発バスの定時性確保優先策を具体化し、その評価支援にペトリネットシミュレータを適用化しようという試みである。

本適用化研究では、まず、対象道路空間との関連での議論が必要となる。それには第2章で付加した“背景画の挿入”とその上でのペトリネット構築機能が有効に働く。そこで、図3-11に背景画となる本節での検討事例道路空間を示す。

この図の右方が新規バスターミナル空間で、ターミナル出発バスは、右下方の道路を通り、主に上方の交差点を左折し、都心部に向かう。この出発バスの定時性を、図3-2に示したBus advance areaのアイデアと同様に、出発経路道路の空間特性を活用した停止線位置の設定によって確保する優先策として発想し、その評価シミュレーションのためのペトリネットの開発を行う。

具体的には、図3-11に示す①を出発バスの停止線とし、②と③を一般車の停止線として、停止線④

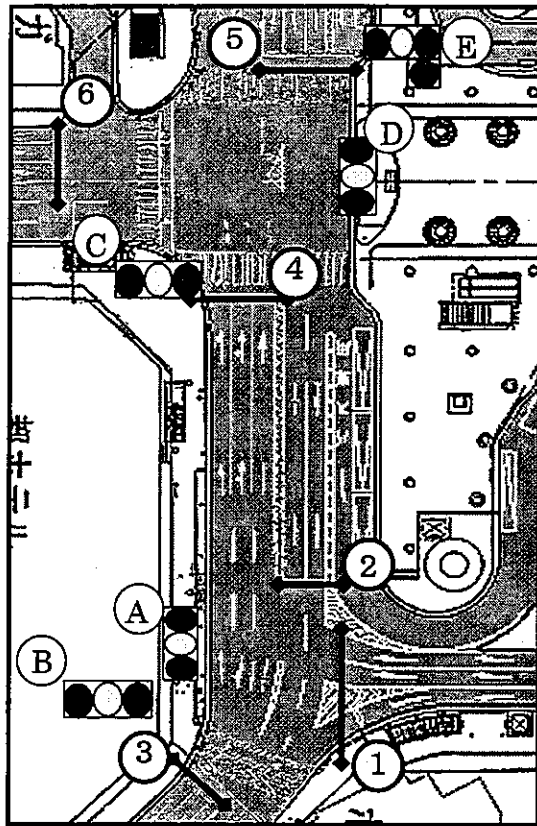


図 3-11 検討道路空間画像と優先策発想

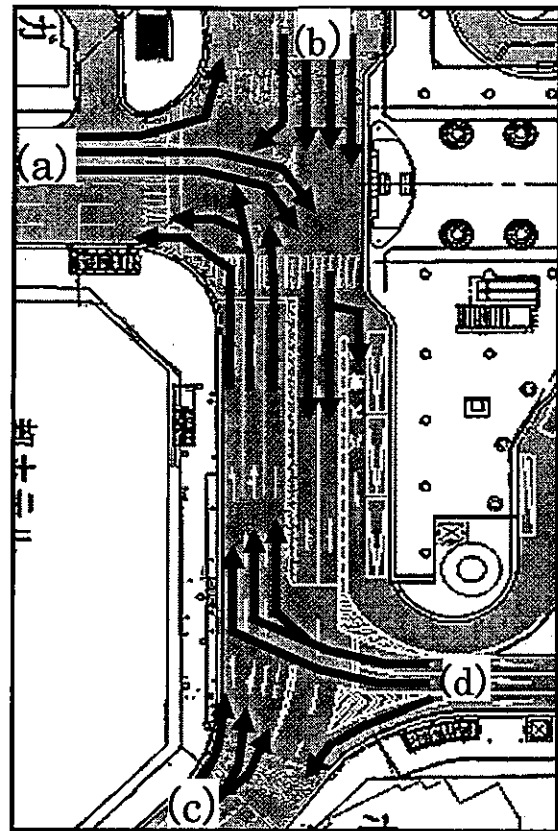


図 3-12 組み込み交通流の想定

の手前の道路空間の先頭位置に、信号サイクル毎に確実に出発バスを進行させる優先策で、出発定時性を向上させるという案である。この案のペトリネット開発に際しては、次の事項が課題となる：

- i) 図 3-12 に示す(a)～(d)の交通流ネットの組み込み。
- ii) 図 3-11 に示す A～E の信号間の連携制御ネット
- iii) Bus advance area の実空間と構築ネットとの整合化

上記 i) については、(a)～(c)の組み込みはほぼ 3-2 で説明した交通流ペトリネットをベースにして行える。(d)については、定時発車の部分ネットの考案が必要となる。また、ii)についても、新たなペトリネット開発が必要となる。iii)については、2-3 で提案した背景画像上での実空間対応化の手順で実現することが可能であるだろう。次項では、これら方針による具体的な課題解決について説明する。

3-3-2 出発バスの定時性確保優先策の部分ペトリネット構築

(1) 定時発車の部分ネット構築

図 3-12 は、背景画を基にして、組み込みが必要となる交通流の形状を抽出したものである。まず、(a)～(d)の交通流の各々に発生部ネットが必要となるが、(a)と(b)では、当該地域の交通流特性より、いずれも図 3-9(2)に示したバス・一般車の混在型の発生部ネットの組み込みが必要となる。一方、(c)の発生部ネットは、同様の理由で図 3-9(1)に示した一般車の発生部ネットとなる。(d)については、上述したように、ターミナルからの出発バス交通であり、本節の目的より、定時発車を記述する部分ネットを構築し、組み込む必要がある。

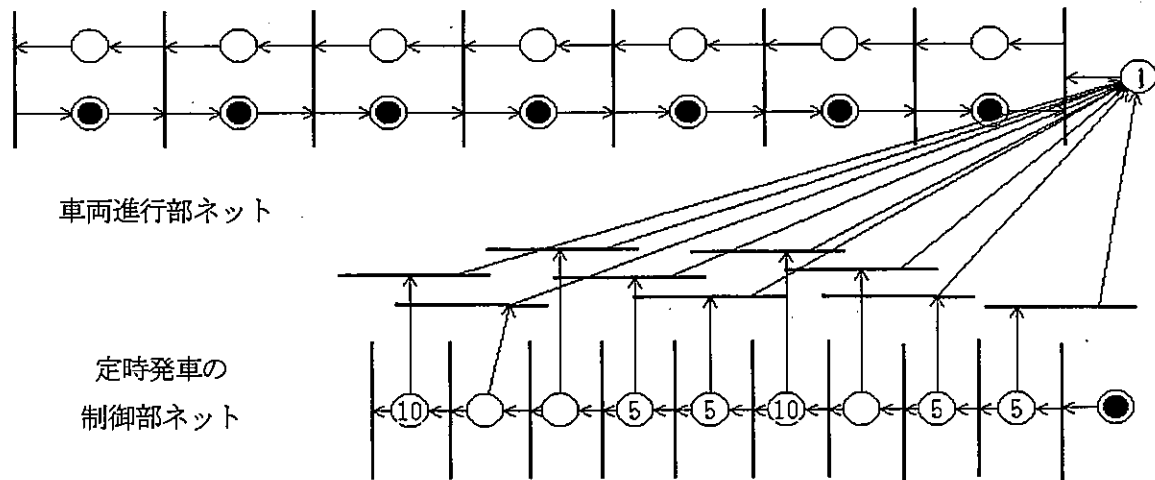


図 3-13. 定時発車部のペトリネット

図 3-13 に定時発車のペトリネット表現図を示す。この図の上部ネットは、図 3-3 ないしは図 3-4 で示した車両進行部のペトリネットである。下部が、定時発車の制御部分ネット、この中間の横向きに配置されたトランジション群と、上部ネットの右端の単独のプレースを介して結合されている。これらのプレース内に記載されている数字は、固定プレースタイマ(秒)であり、その時間経過後にプレース上のトークンは、発火則 R1) というマーキング状態となる。ちなみに、下部ネットで数字の記載の無いプレース上のトークンには、タイマは無く、配置と同時にマーキング状態となる。

本ペトリネットによる以下のような定時発車状況のシミュレーション確認は、上述のマーキングに関する注記を参考に、前述のトランジションの発火則を機械的に適用することによって、誰にでも容易に行えるだろう：

まず、下部ネットの右端プレースのトークンによって、その隣のトランジションが発火し、移動したトークンによって 5 秒後に 2 つのトランジションが発火する。そして、その出力プレースの 1 つである上部ネットの右端のプレースを介して、車両進行部ネットへトークンが出現する (1 台目)。

もう一方のプレースに出力されたトークンは、全く同様の原理で、5 秒後に車両進行部ネットにトークンを出力し、設定された定時間隔での車両発生がなされる (2 台目)。

次のプレースには、数字が記載されていない。これは、この同時刻にもう一台発車するという定時性の記述用である (3 台目)。このことは、上記のマーキングに関する注記を喚起すれば、納得できるだろう。

発車時間間隔の設定は、タイマの数値とそのプレースへの配置によって可能となる。本ネットでの定時発車は、5 秒後に 1 台、その 5 秒後に 2 台、その 10 秒後に 1 台、その 5 秒後に 1 台、その 5 秒後に 3 台、その 10 秒後に 1 台という 1 台の定時発車用のものである。

なお、上部ネットの右端のプレースには、プレースタイマを "1" と記載しているが、これは、車両進行部ネットには、3-2-2 で述べたように、可変プレースが使用されており、そこでのプレースタイマの更新が、表 3-2 のような Vptimer の参照の下でなされる関係上、当該区間の滞在時間を付与しておかなければならないことによる。ここで "1" は、その付与の特殊ケースといえる。

(2) 信号連携化の部分ネット構築

図 3-11 に示す信号群で、まず信号 A が出発バスの制御信号で、この青現示時間が出発優先性を規定

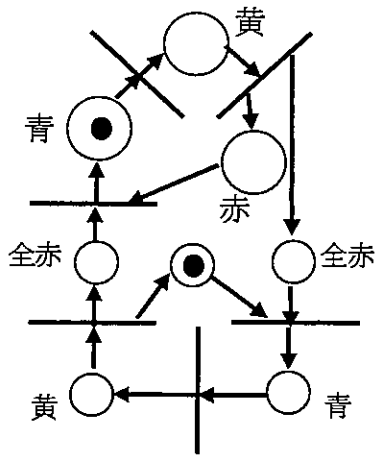


図 3-14(1) 信号 A と B の連結ネット

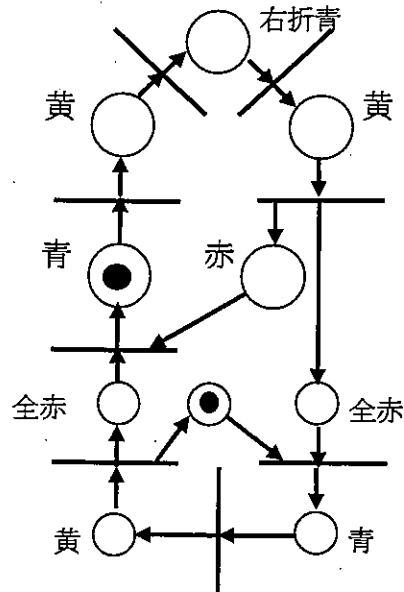


図 3-14(2) 信号 C・D・E の連結ネット

する。この信号と表裏で切り替わるのが信号 B である。A 信号の青・黄現示時間が、B 信号の赤現示時間で、B 信号の青・黄の現示時間が A 信号の赤現示時間となる。

C 信号交差点でバスが先頭位置に並ぶには、図 3-11 に示す停止線③から進行してきた一般車を、B 信号と C 信号の連携化によって全て通過させる信号制御が必要となる。ここでは、図 3-11 の道路空間から全ての信号サイクルを 150 秒とし、A と B、C と D と E をそれぞれ連結型のネットで構成し、初期配置とそれらへのタイマ設定の工夫で、種々の信号タイミングのシミュレーションが可能なペトリネット構築を行う。

図 3-14(1)が、信号 A と B の制御部ネットである。下部の小さいプレースによるネットが信号 A の現示制御部で、上部の大きいプレースによるネットが信号 B の現示制御部である。信号 A と B の赤現示プレースには、タイマを与えない。図 3-14(1)に示す初期現示状態は、信号 A は赤現示で、信号 B は青現示である。

このネットの駆動にも、前述のトランジションの発火則、R1)~R4)が適用されて、信号 B が赤になると同時に信号 A の全赤のプレースにもトークンが出力されて、全赤状態になる。そして、全赤のプレースに設定されたタイマの時間が経過後、下方の信号 A で青・黄と状態が推移し、再度全赤となる。この間、信号 B の赤現示プレースにはトークンが残ったままである。そして、ここでも全赤のプレースイマの時間後に、信号 B は青現示推移し、信号 A は赤を維持するというネットである。

図 3-14(2)は、信号 C と D と E の制御部ネットである。原理は同じで、信号 E の右折青の制御を付け加えただけである。ここでは、下部が信号 D の、上部が信号 C と E の制御部ネットである。

図 3-11 の③の停止線を通過した車両が信号 C を通過するには、ほぼ 13 秒を要する。従って、信号 B が赤になったとき、信号 C の青時間の残量は 13 秒になるタイミングの初期配置を行えばよい。これについては、3-3-3 のペトリネットシミュレーション実行の項で実行・確認する。

3-3-3 出発バスの定時性確保優先策のペトリネットシミュレーション

(1) 背景画像上での実道路空間対応ネットの構築実践手順

3-3-1 でiii)に挙げたように、実道路空間との対応性保証が、確保される Bus advance area による本優先策の実効性に直接係わってくる。その実現には、2章で強化した背景画像上でのネット構築機能が有効となる。本項では、図 3-15(1)に示す実践形式による構築手順を述べる。

図 3-15(1)には、2章で導入した”背景画の挿入”のメニューによる基本手順に加え、構築ネット画面から、Sdata の拡張・修正を経て、部分ネットから漸進的にネットを構築する提案が含まれている。基本手順は、図 3-15(2)と(3)に示すものであった。これに対して、部分ネットから漸進的構築手順は、図 3-15(4)に示すように、背景画像上での構築部分ネットと、その Sdata とを同時に画面表示し、次に追加する道路空間を選定し、配置プレース数を推定し、その数分を仮想的に Sdata に加える。そして、この拡張 Sdata をまた開いて、要素配置を再実行し、必要に応じて Sdata の修正を行うという手順を繰り返すことで、背景画像の空間特性を検討しながら必要なシステムネットを漸進的に構築しようという訳である。

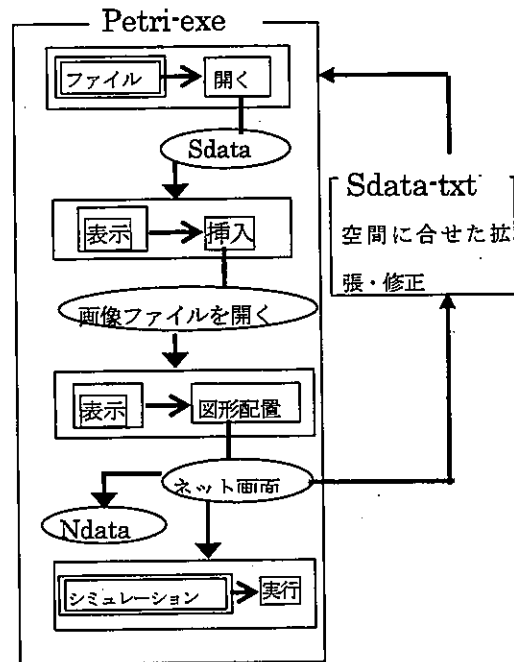


図 3-15(1) 背景画像上でのネット構築手順

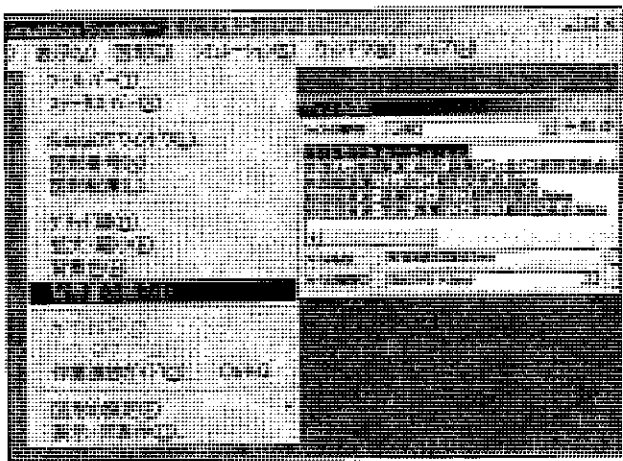


図 3-15(2) 背景画像の挿入手順

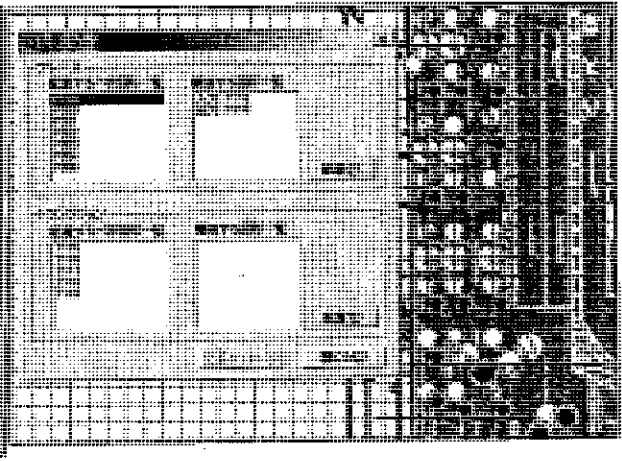


図 3-15(3) 背景画像での図形配置支援画面

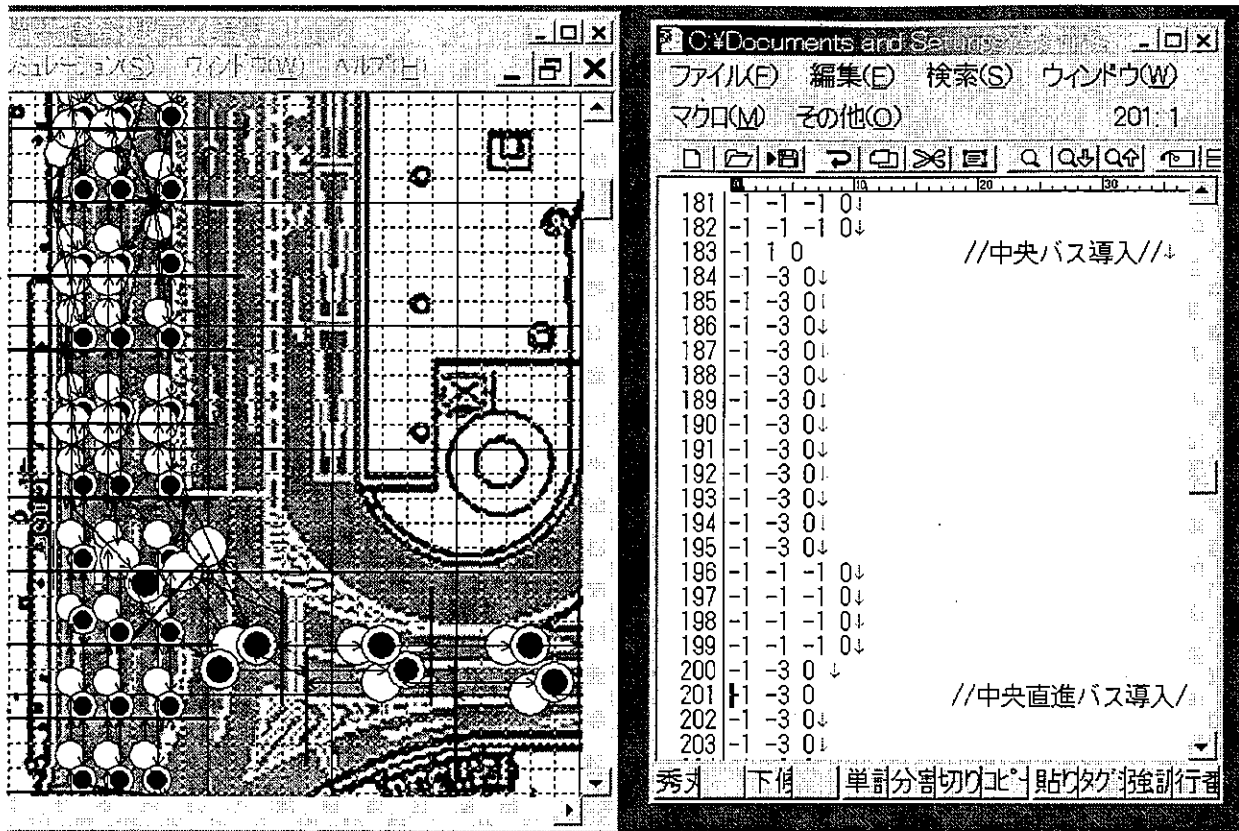


図 3-15(4) 背景画像上での漸進的ネット構築手順

(2) 表示・非表示機能による混在交通流の実道路空間対応化

3-2では、バス・一般車の混在流のペトリネットを開発した。このネット表現の特徴の一つは、図 3-6 に示すように、バスと一般車の物理的な空間の占有性の違いを、“一般車の存在”を示すプレースと“空間の空き”を示すプレースに加えて、“バスの存在”を示すプレースを導入し、表現している点にあった。即ち、道路空間は、この3つのプレースの重畳化として、混在流ペトリネットでは記述される。その結果、一車線の混在流ネットは、そのままでは図 3-16 の左方に示すようになり、空間対応性という面では問題がある。

2章では、ペトリネットの煩雑化に伴う視覚性、空間対応性の低下に対して、図形要素を表示・非表示機能で処理することを提案した。混在流ペトリネットに対しても、この処理が有効となる。図 3-16

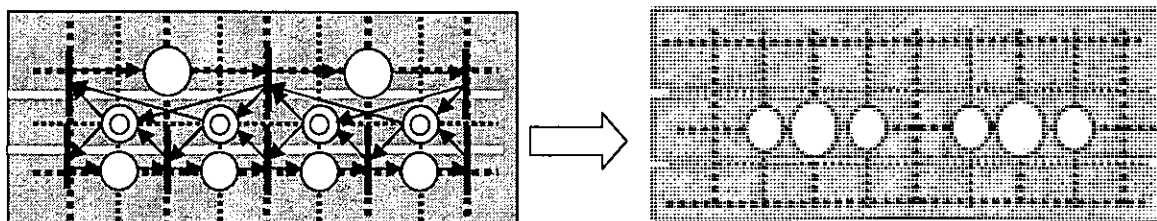


図 3-16 混在流ネットの表示・非表示とドラッグによる空間対応化の手順

の右方に示すネット図は，“一般車の存在”を示すブレースと“バスの存在”を示すブレースのみを表示とし、かつ、その図形要素をドラッグして実道路空間の占有位置に移動させて表示化したものである。この実道路対応化操作の効果は、図 3-17(1)と(2) とに示すように、本研究での最終構築ネットレベルで比較すると歴然となるだろう。即ち、停止線との関係、確保される Bus advance area 内のバス占有化可能台数、横断歩道との関係等々、背景画像の持つ道路空間情報との整合性が、直接われわれの感覚に訴えてくる。このことによって、例え本シミュレータを使えこなせない参画者にも、十分な意見を述べる事が可能ともなるだろう。

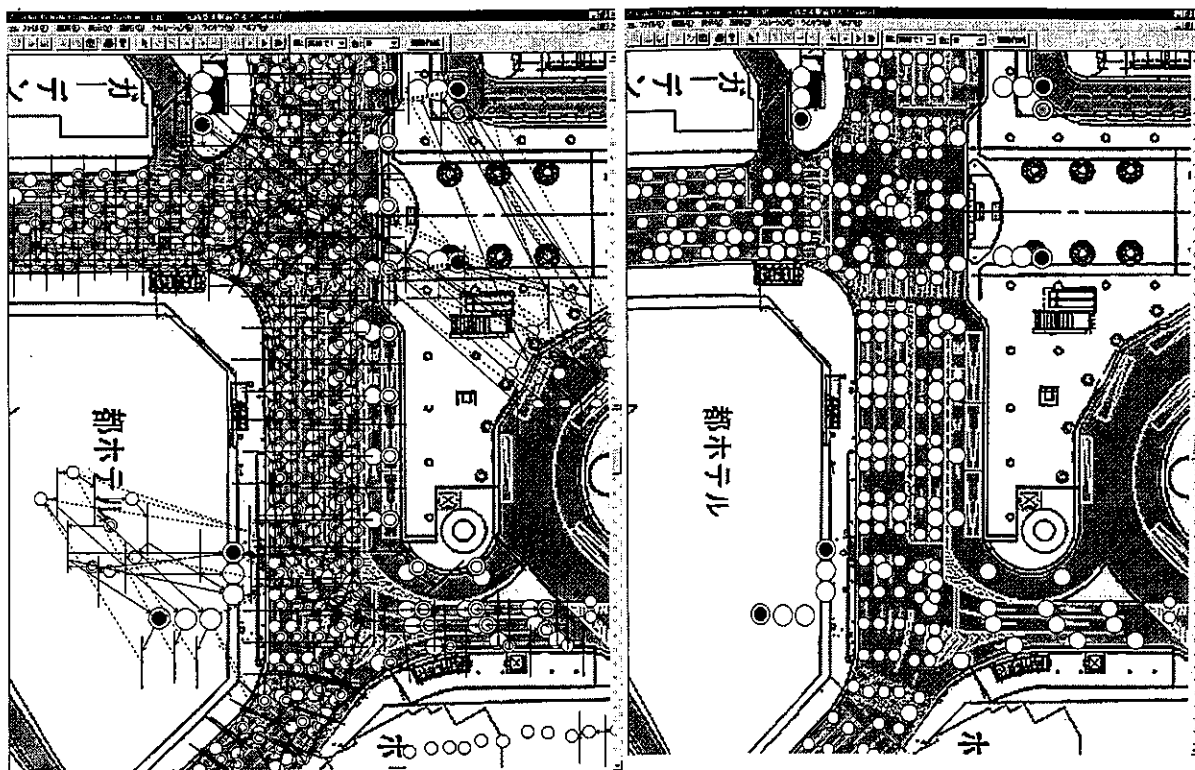


図 3-17(1) 定時性確保優先策のペトリネット

図 3-17(2) 空間対応化処理ペトリネット

(3) 出発定時性確保優先策のペトリネットシミュレーション実行

図 3-11 に示した検討道路空間に対して、停止線②と③、及び、信号 A・B 系と信号 C・D・E 系の連携化によって、停止線④の手前の道路空間の先頭位置に、出発バスを信号毎に進行させることで、出発定時性の向上化させるというのが、本節での計画課題であった。この課題のシミュレーションによる検討を目的に、図 3-17 に示すペトリネットを構築してきた。

本項の(2)の信号の連携化で、図 3-11 の停止線③を通過した一般車が、停止線④を通過するに要する時間は、ほぼ 13 秒とした。従って、信号 B が赤現示になったときに、信号 C の青時間の残量が 13 秒となる初期配置を行う必要がある。

いま、各信号のサイクル時間を 150 秒として、A~E の信号の各現示時間を、表 3-3 に示すように想定すると、この状態は、信号 A と B を全赤にし、信号 E の右折青に 2 秒のタイマを持つ初期配置を、このシミュレーションネットの Sdata で行えばよい。表 3-4 に示す各交通量を用いて、この初期配置によるシミュレーション結果を、図 18(1)と(2)に示す。

図 3-16 に示したように、この視覚型シミュレーション画面では、大きいスペース上のトークンがバスで、小さいスペース上のトークンが一般車である。実画面上では、バスと一般車のトークンにカラー属性を付与し、各車両の走行状況が、視覚的に直接確認できるようになっている。まず、図 3-18(1) は、バス出発信号 A が赤現示で、下方からの一般車の停止線③を制御する信号 B が赤現示に変わった全赤時点のスナップショットである。交差点の信号 C は未だ青現示で、その手前の道路区間を一般車が走行中であることが示されている。

図 3-18(2) は、バス出発信号 A が青現示になり、バスが交差点手前の道路空間に進行し、その先頭的位置を占める状況を示しており、信号連携による優先策が機能していることがわかる。それに対して、図 3-18(3) は、他のタイミングでの初期配置でのシミュレーション結果である。図 3-18(2) と同じ信号状態の出力図であるが、一般車が交差点手前の道路空間に残っており、バスは先頭位置には出られていない。さらに、出発バスの一部は、この道路空間を車列がオーバーフローするために、青現示にもかかわらず、進入待ちを余儀されなくなるという状況が発生している。

本シミュレータには、2章の図 2-5 の基本メニューで触れたように、解析項目の設定も可能となっている。これを用いて、上述の 2 つのケースでのバスの出発から C 交差点の通過までの旅行時間比較を行った。平均値では、175.1 秒と 178.3 秒と違いはあっても、差はそれほど大きくはないという結果となった。しかし、標準偏差を比較すると、24.8 と 66.6 と大きな開きがあり、定時性の確保という点では効果があることが分かるだろう。

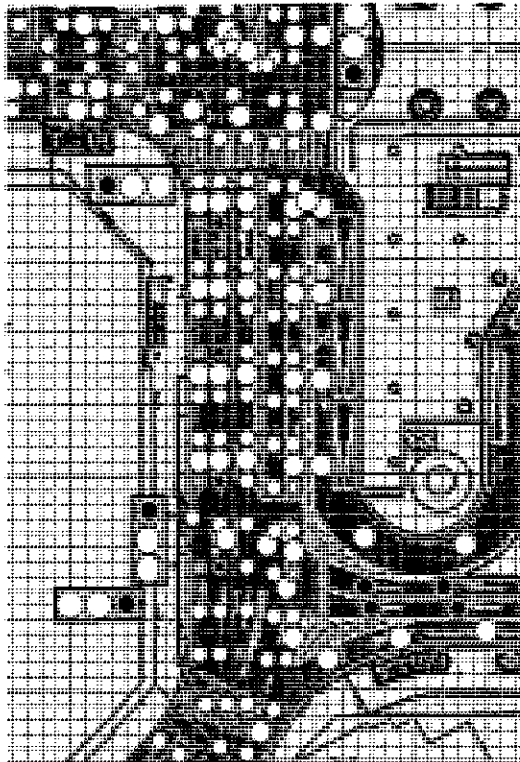


図 3-18(1) シミュレーション実行画面

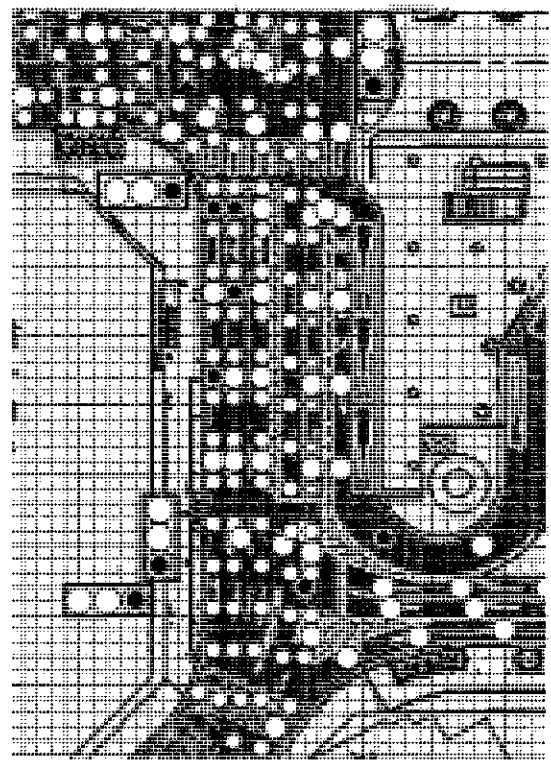


図 3-18(2) バス先頭化効果の確認画面

表 3-3 信号現示時間想定

	青	黄	赤	右折青	右折黄
A	22	3	125	—	—
B	119	3	28	—	—
C	92	3	55	—	—
D	29	3	117	—	—
E	92	3	35	17	3

表 3-4 交通量発生台数

発生部	a	b	c	d
全体(台/時)	600	2000	3000	40
バス混在率(%)	16.7	7	0	100

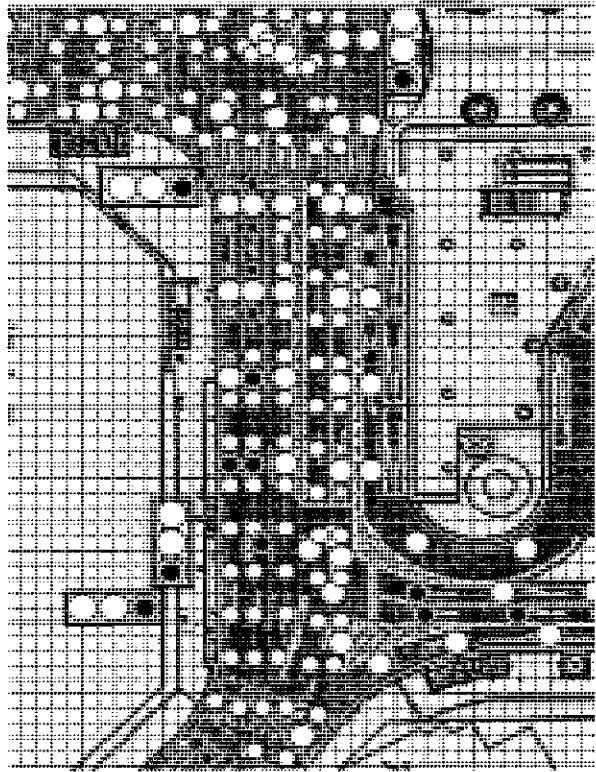


図 3-18(3) バス出発の阻害発生事例画面

3-4 バス優先レーン策の運用代替案のペトリネットシミュレーション開発

3-4-1 バス優先レーン策とペトリネット表現化課題

バス交通の活性化に向けて、バスの走行性確保策が検討されてきている。バス専用レーン策は、指定された時間帯では、1レーンをバス専用とし、左折や4人乗車中の車両以外の進入を禁止することでバスの走行性を確保しようとするものである。現在、朝夕の混雑時間帯に広く都心部において運用されている。それに対して、本節で取り上げるバス優先レーン策は、バスの接近時のみに一般車の走行を規制し、バスの走行性を確保しつつ、一般車の便も図ろうとするもので、既存道路の有効活用策としても広くその運用方式を検討することが望まれる。

このような認識により、金沢市都心部において、バス優先レーン策の交通社会実験が試みられた。そこでは、図 3-19 に示すように、バス接近に伴う規制情報の提示は、交通整理員によるサインボード掲示によるものであった。実験の結果は、バスにも一般車にも共に走行性の低下が見られたというものであり、改めて、このバス優先レーン策の運用の難しさを浮き彫りにするものとなった。

即ち、バス優先レーン策の運用代替案の発想と評価には、

- i) 運用道路の交通時空間特性の反映化
- ii) バス接近情報の発信タイミングと規制情報の提示システムの考案
- iii) 規制情報の認知と一般車規制の実効化

の工夫が肝要となる。本節では、ペトリネットシミュレータを支援システムとして、これらの本課題へのアプローチを試みる。即ち、3-4-2 では、まず、本策の運用道路例を、最も一般的な信号交差点を挟む2つのバス停区間として、上述の ii) と iii) に沿って運用案を具体化し、そのシミュレーションネットの構築に必要な基本部分ペトリネットを考案する。3-4-3 では、まず、運用道路の基本交通流ペトリネットを、3-2 で述べたバス・一般車の混在流ペトリネットを基に構築し、次に、それに上記の基本部分ペトリネットを結合化させ、バス優先レーン策運用案のペトリネットを構成する。そして、両シミュレーションがプログラム変更なしで即時に実行できることを示すとともに、解析項目の設定メニューを用いたバス・一般車の旅行時間比較のシミュレーション結果を示す。3-4-4 では、3-4-3 の運用案を基に、規制道路区間とバス接近情報の発信タイミングを変更した2タイプの運用代替案を提示し、それらのネット構築手順を示し、運用代替案の評価シミュレーションを実行する。



図 3-19. 交通整理員による規制情報掲示

3-4-2 バス優先レーン策運用案と基本部分ペトリネットの構築

(1) 運用道路空間と運用案

図 3-20(1)に示すような最も一般的な道路空間でのバス優先レーン策の運用を考える。即ち、片側 2 車線の道路で、信号交差点を挟み、2 箇所のバス停留場がある道路区間を考える。そして、この道路では、路肩側レーンをバスと一般車が走行し、中央側レーンは一般車が走行しているとしよう。この道路において、図 3-20(2)に示すように、バスが手前のバス停に到着したときに、バスロケーションシステム(BRS)を活用して、前方の一般車規制区間に、規制情報を提示し、規制区間内を走行中の一般車に、中央側レーンへの車線変更を求めるという運用案をここでは検討する。

この運用案の評価・検討には、規制無しの際の図 3-20(1)の交通流ペトリネットと、規制有りの際の図 3-20(2)の交通流ペトリネットの構築が必要となる。まず、規制無しの際の交通流ペトリネットの構築は、図 3-20(1)に示すように、3-2 で述べた一般車のネットと、バス・一般車の混在流ネットをベースに、バス停部分のネットと信号部ネットを結合化することで開発できるだろう。一方、規制有り

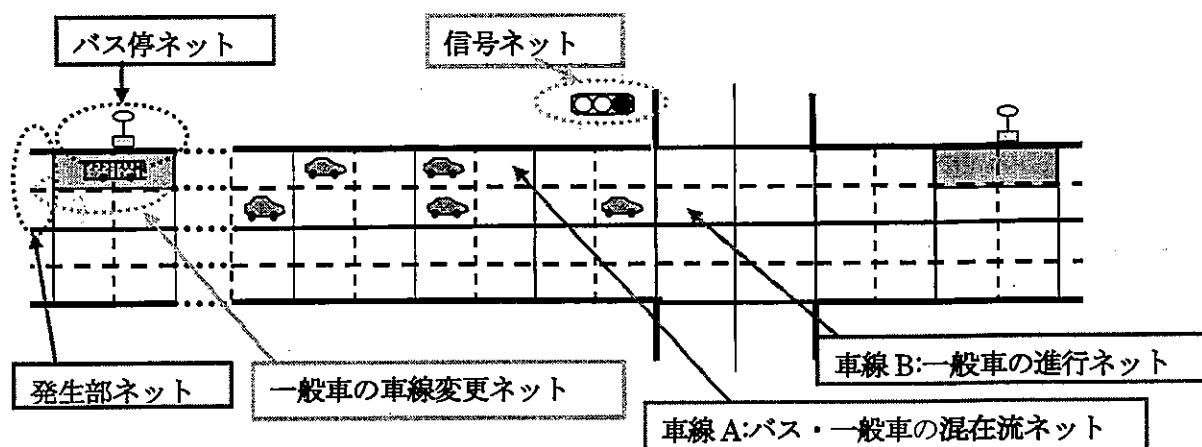


図 3-20(1) 運用道路空間

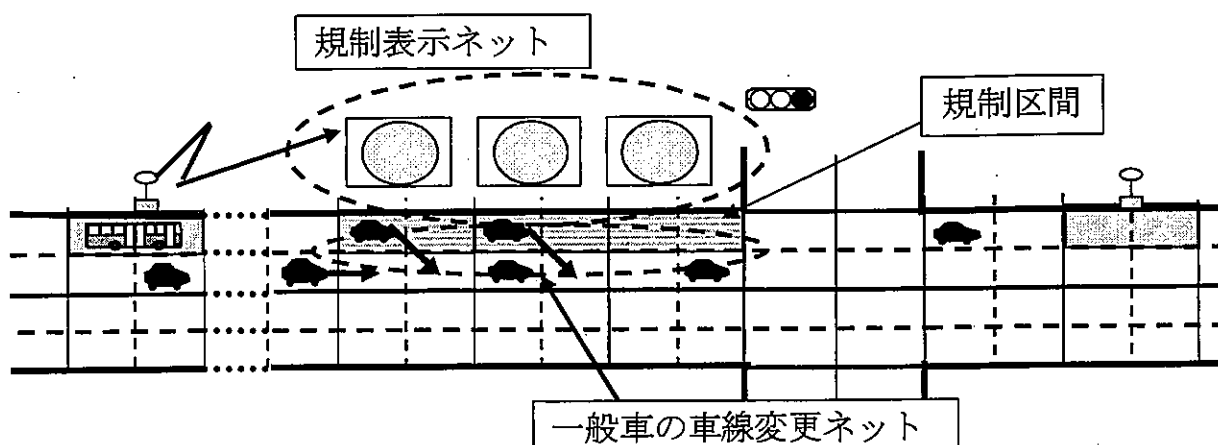


図 3-20(2) バス優先レーン策の運用案

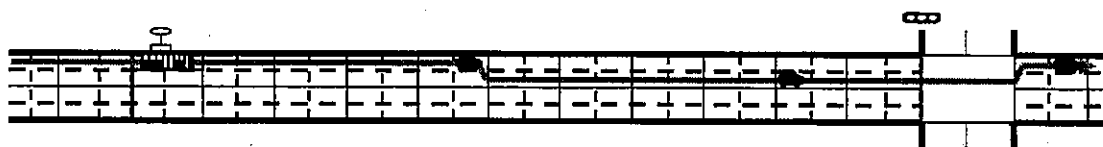
時の交通流ペトリネットについては、図 3-20(2)に示すように、規制情報の提示ネットと、それを受けての一般車による中央側レーンへの車線変更ネットが必要となる。

バス優先レーン策の特徴は、バス接近時のみに規制が働くところにある。一般車の挙動という観点からこの点を整理すると、図 3-20(3)に示すようになる。即ち、規制無し時の①では、一般車は、バスの存在とは無関係に路肩側レーンを走行する。規制有り時の②では、バスがバス停に到着し、規制情報が提示時に、規制道路区間内を走行中の一般車は、中央側レーンに車線変更する。バスの後方を走行してきた一般車は、停車中のバスを避けて中央側レーンに車線変更するか、バスの進行に伴い解除される後方の路肩側レーンを走行することになる。従って、このような一般車の規制挙動を記述するネットが必要となる。

① 規制なし時



② バス優先時：バス接近規制時



バス停車時



バス後方追隨走行

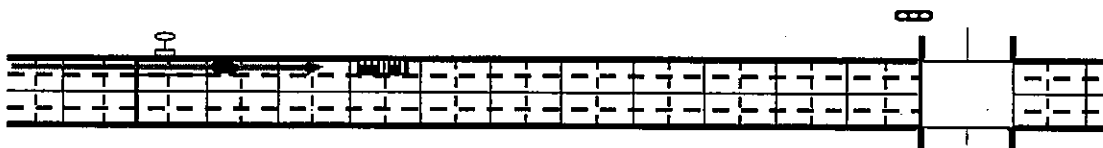


図 3-20(3) 規制に伴う一般車挙動

(2) 基本部分ネットの構築

上述したシステムネット構築に必要な部分ペトリネットについて、順次説明する。まず、バス停での乗降サービスネットを 図 3-21(1)に示す。このネットでは、路肩側レーン上に2バースの停車スペースがあり、そこでの乗降サービスを混合流のペトリネットを基にモデル化している。

図解的には、“バスの存在”を示すプレースの内、この2バースに該当する部分を”□”で表示し、まず、バス停であることが視認できるようにしている。図 3-21(1)の上部ネットが、乗降サービス時間を確率生成するためのもので、カラー生成トランジション21ないしは25で生成されたトークンが、そのカラーに応じて”□”で表示しプレースに、選択トランジション33ないしは37を介して選択的に出力され、そこに設定されているプレースタイマと、バスの進行トランジションへの抑止アークを用いて、バスが、乗降サービスに伴う時間、バス停に停車するネットとなっている。このネット例では、乗降サービス時間は2種類としてあるが、その数を増やし、より現実的な停車に近づける精緻化も可能である。

このネットの挙動についても、前出のトランジションの発火則、R1)~R4)を機械的に適用することで確認できる。図 3-21(2)は、2バースが共に空き状態でバスが到着したときの挙動を示すためのものである。トランジション1の発火に伴って、トークンはプレース1と5に出力される。プレース5上のトークンは、トランジション8が抑止されているために、トランジション7を発火させて消滅する。一方、プレース1上のトークンは、トランジション5が抑止されているために、トランジション2を発火させてプレース2と11に出力される。そして、プレース11上のトークンが、上述した原理

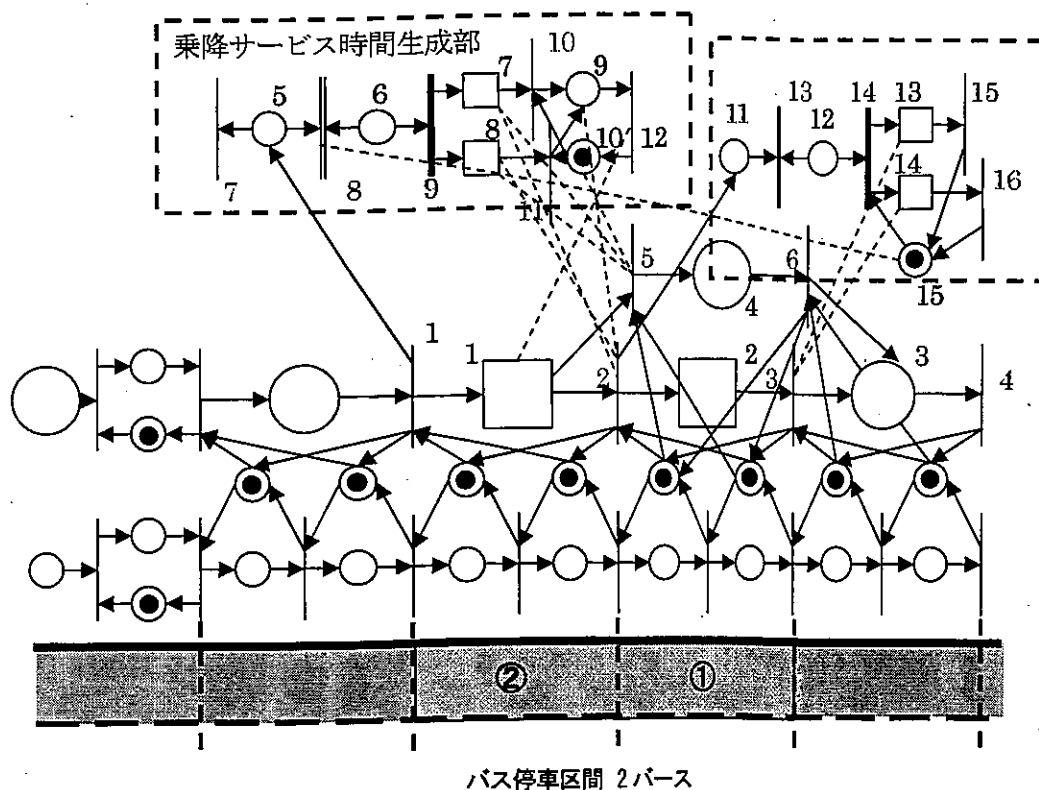


図 3-21(1) バス停部の基本ペトリネット

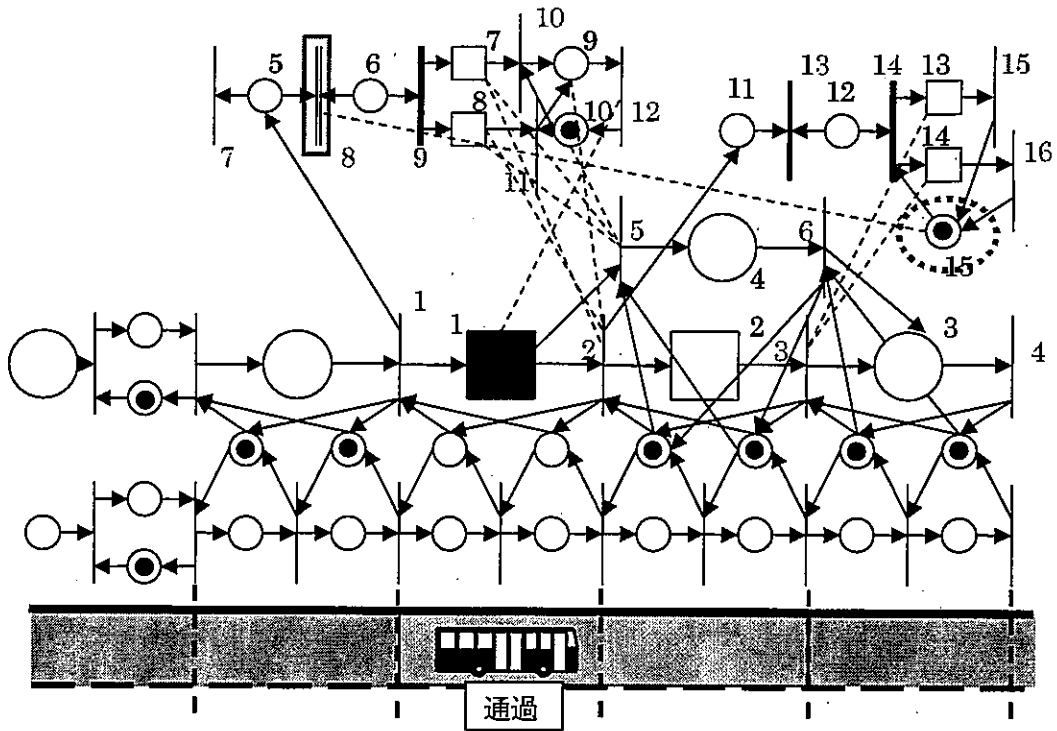


図 3-21(2) バス停での乗降サービス挙動

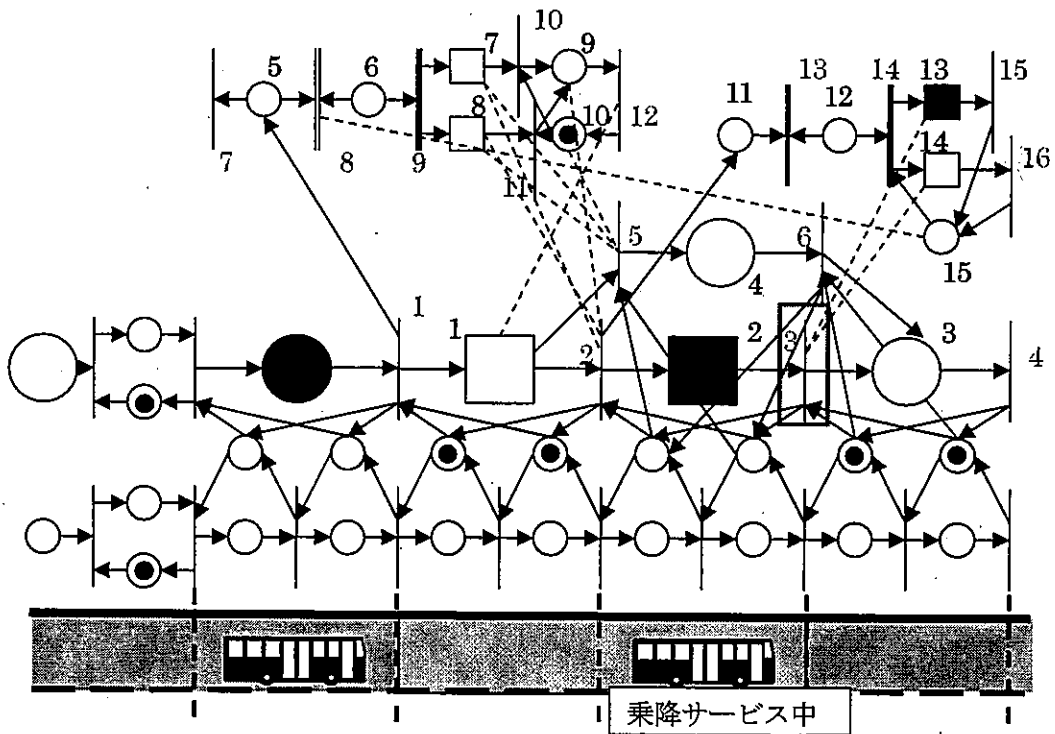


図 3-21(3) 状態推移図

で乗降サービス時間を決定し、図 3-21(3)に示すように、トランジション 3 を抑止することで、バスは①のバスで乗降サービスのために停車状態となる。

図 3-21(4)は、その状態で後続バスが到着したケースである。このケースでは、トランジション 8

の抑止は解除されており，乗降サービス時間の生成へと推移し，出力先のプレースからトランジション3を抑止することで，バスは②のバースで乗降サービスによる停車状態となる。

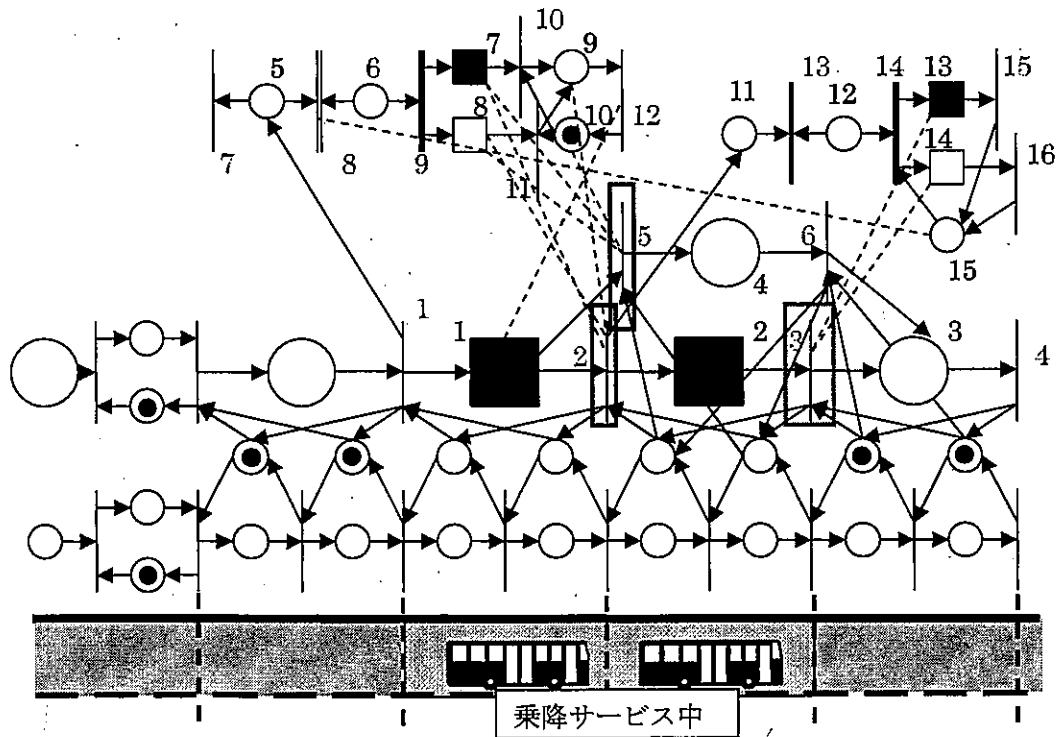


図 3-21(4) ②バースで乗降サービス終了バスの挙動

図 3-21(5)は，①のバースに停車中のバスが，乗降サービスが終了し，出発し，②のバースに停車中のバスもサービスが終了した状態を示している。このときには，プレース9からの抑止により，トランジション2ではなく，5が発火し，トークンはプレース4に出力され，トランジション6を介してプレース3に出力されるため，①のバースで再度乗降サービスのために停車するという不都合は起きないネットであることが確認できるだろう。

次に，バス接近規制情報の提示ネットを説明する。図 3-22(1)は，バス・一般車の混在流のペトリネットの上部に，規制情報の提示ネットを結合化させたものである。図 3-22(2)は，一般車が規制区間を走行中にバスが接近し，規制情報の提示された状態を示している。即ち，バス到着によりトランジション1が発火し，プレース3を介してプレース5と6にトークンが出力される。ここでも”□”表示のプレースが規制情報の提示系である。ここにトークンがマーキングされている間は，それらから一般車の進行トランジションへの抑止が働くことになる。その結果，抑止区間内の一般車は，最下段のトランジションの方を発火させて，中央側レーンに車線変更をすることを強制されるネットとなっている。

優先レーン策の特徴として，バス接近時のみの規制で，それ以外では解除されるとした。図 3-22(3)は，バスの走行に伴って，この規制情報の提示が解除されることを示すものである。即ち，トランジション4や5への抑止関係によって，バスの走行に伴って，プレース5や6のトークンは，プレース7や8に移動し，一般車の走行ネットへの抑止が順次解除されることも，トランジションの発

火則, R1)~R4)の適用によって容易に確認することができるだろう。

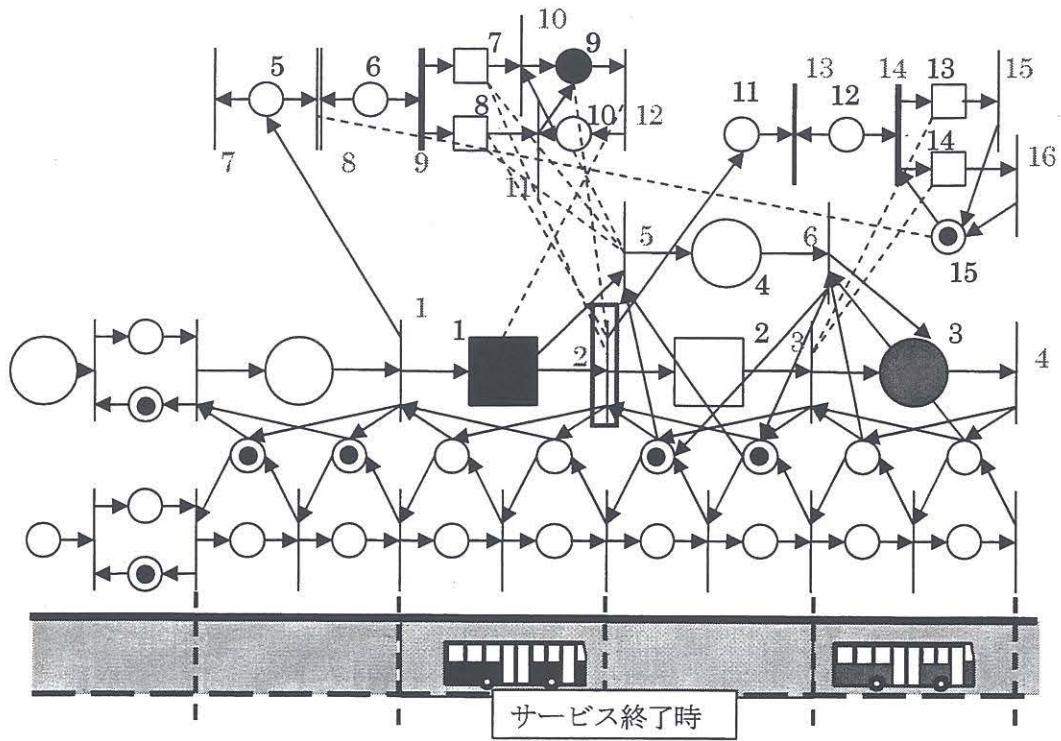


図 3-21(5) 状態推移図

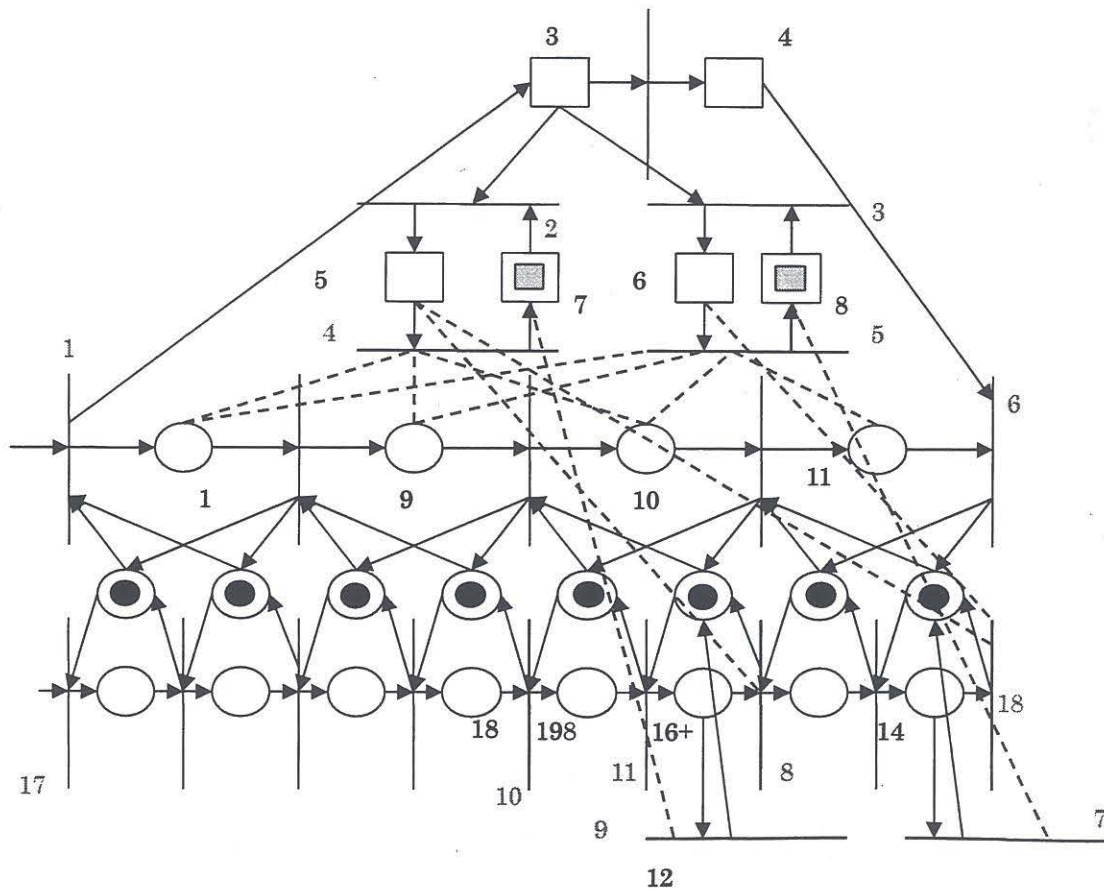


図 3-22(1) バス接近規制情報の掲示ネット

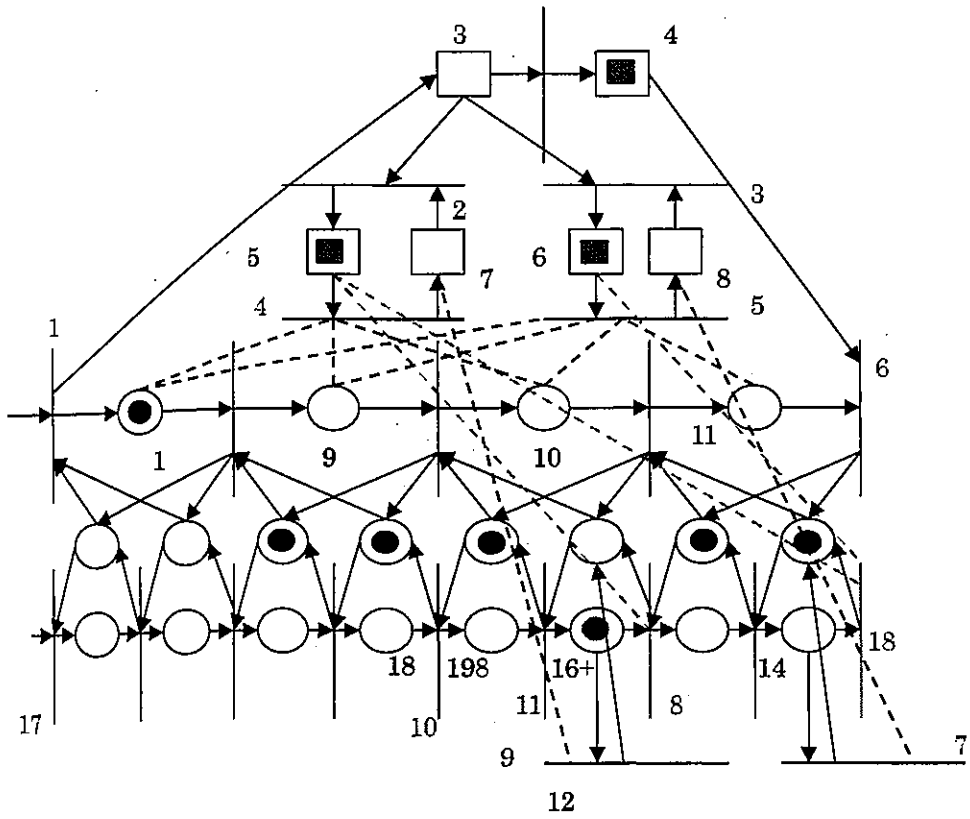


図 3-22(2) バス接近規制情報の提示状態

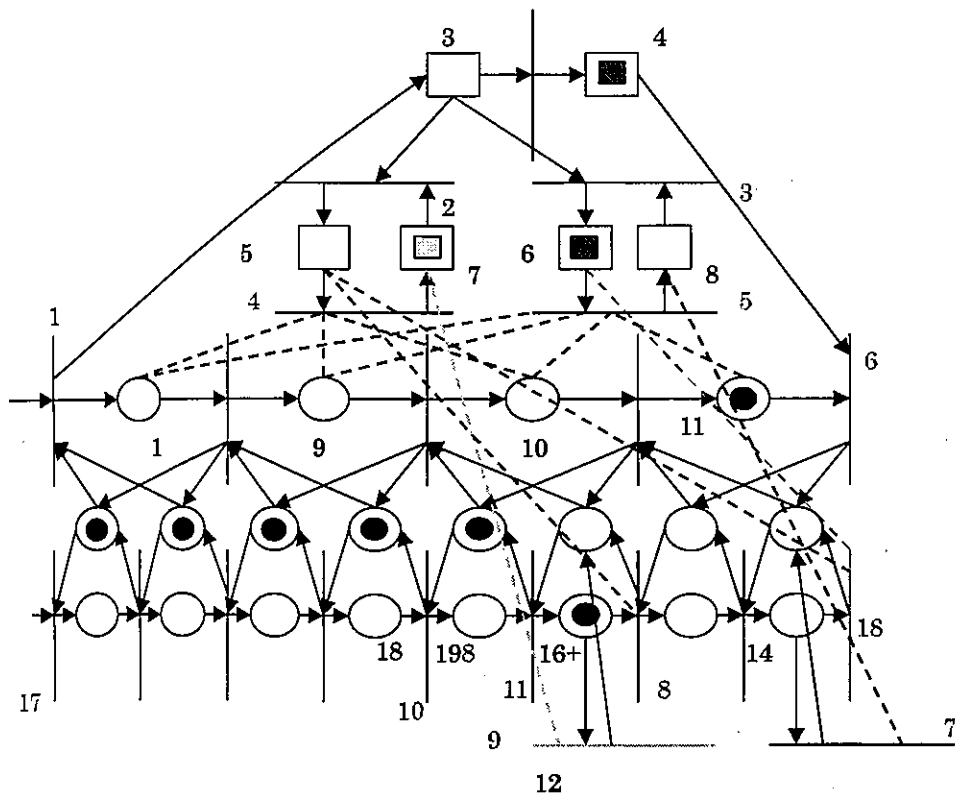


図 3-22(3) 規制情報の解除状態

最後に、規制区内走行中の一般車の車線変更ネットを説明する。図3-23(1)は、図3-23の規制情報の掲示ネットと、中央側レーンの一般車の走行ネットとを結合化し、規制情報の提示に伴う路肩側レーンを走行中の一般車が車線変更するネットを構成したものである。

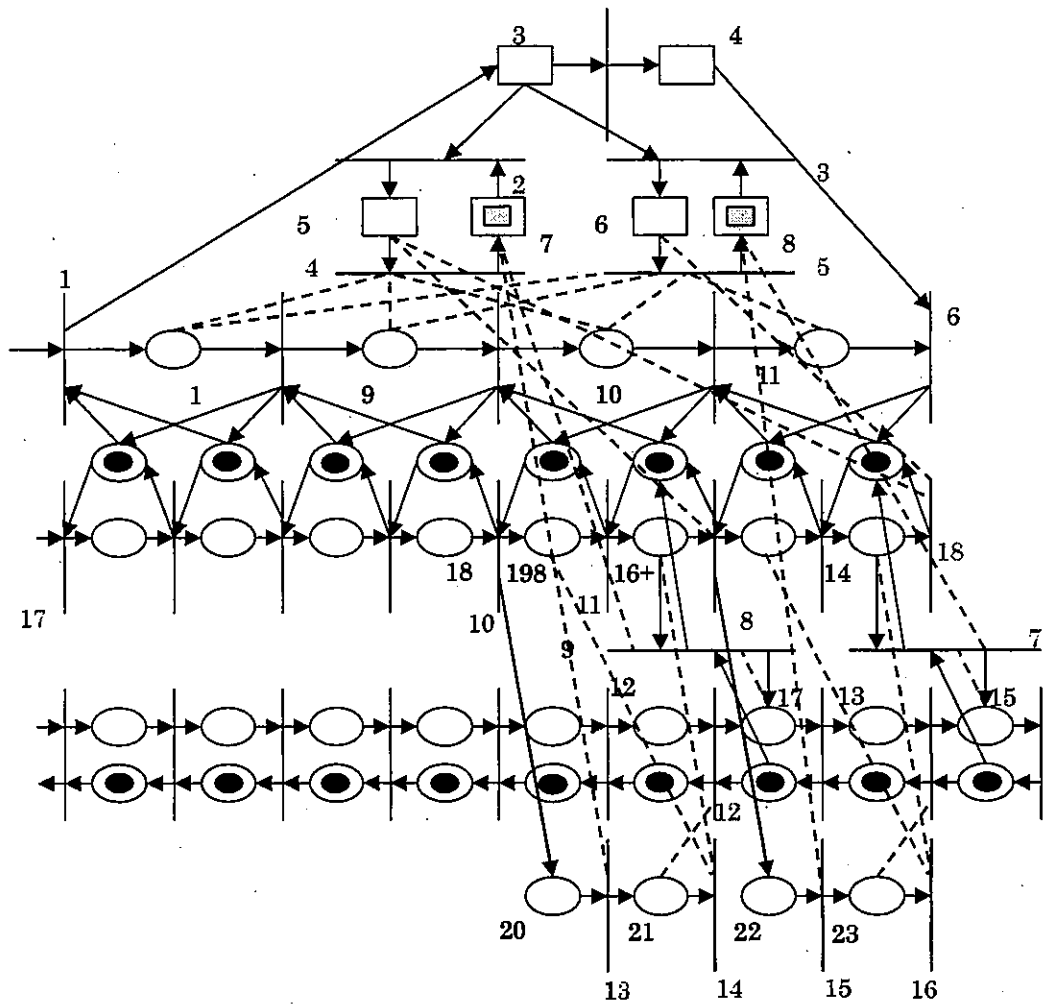


図3-23(1) 規制情報による一般車の車線変更ネット

図 3-23(2)は、バスが接近し、規制情報が提示され、路肩側レーンを2台の一般車が、中央側レーンを3台の一般車が走行中の1事例を示している。路肩側の前方走行車の方は、中央側レーンに空きスペースがあり、そこへ車線変更して進入する。後方車の方は、スペースが塞がっており、減速して、中央側レーンの走行車が進行した後に車線変更し、図 3-23(3)に推移する。中央側レーンを2台の一般車が連続している場合には、最下段に付加したネットによって、その2台目の車の方を減速させて、その前に車線変更して進入するネットとなっている。このことは、図 3-23(4)のトークン配置状態で発火則を適用することで確認できる。

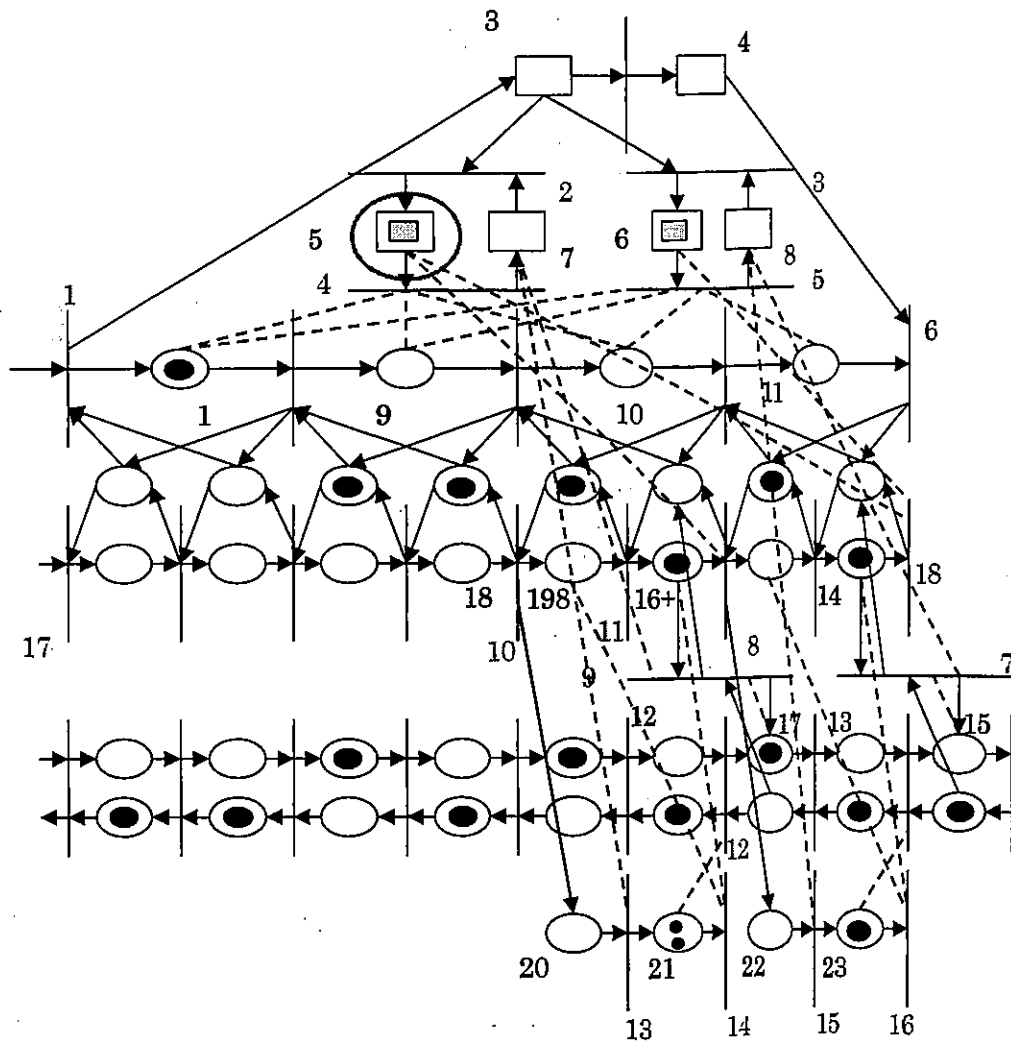


図 3-23(2) 一般車の挙動

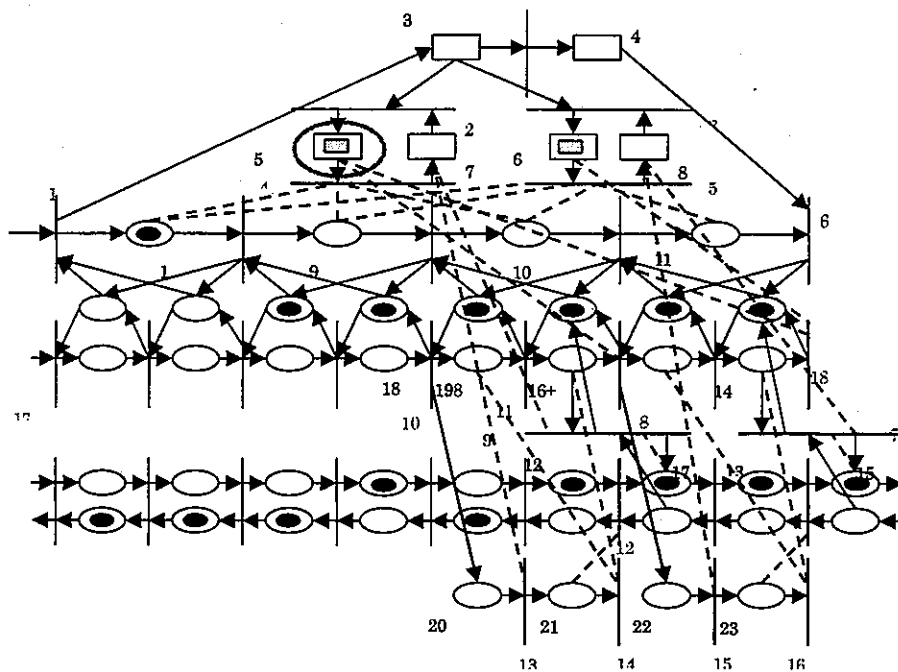


図 3-23(3) 一般車の挙動

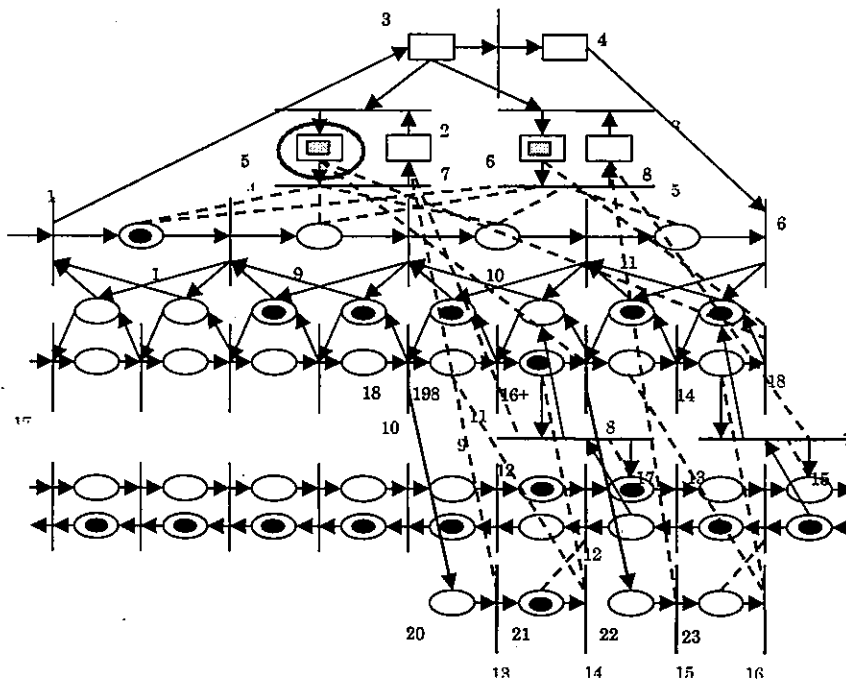


図 3-23(4) 一般車の挙動

3-4-3 バス優先レーン策運用案のシミュレーション実行

(1) シミュレーションネットの構成

全長で約 360m, バス停間で 230mの道路区間について, 規制無し時のネットと, 規制有り時のネットを構成した. まず, 図 3-24(1)が, 路肩側レーンにバス・一般車の混在流ペトリネットを, 中央

側レーンに一般車の交通流ペトリネットを配置したものである。そして、これをベースにして、3-4-2の(2)で述べたバス停ネットと、バス停車時の一般車の追い越しネットを結合化したものが図3-24(2)である。これが規制無し時のシミュレーションネットとなる。ここでバスの発生部は、3-3-2で示した定時発車ネットとしている。また、一般車の発生部ネットについても、シミュレーション実行速度との関係で、発生プレースを生成・選択トランジションで置き換えたネット形式のものを使用している。

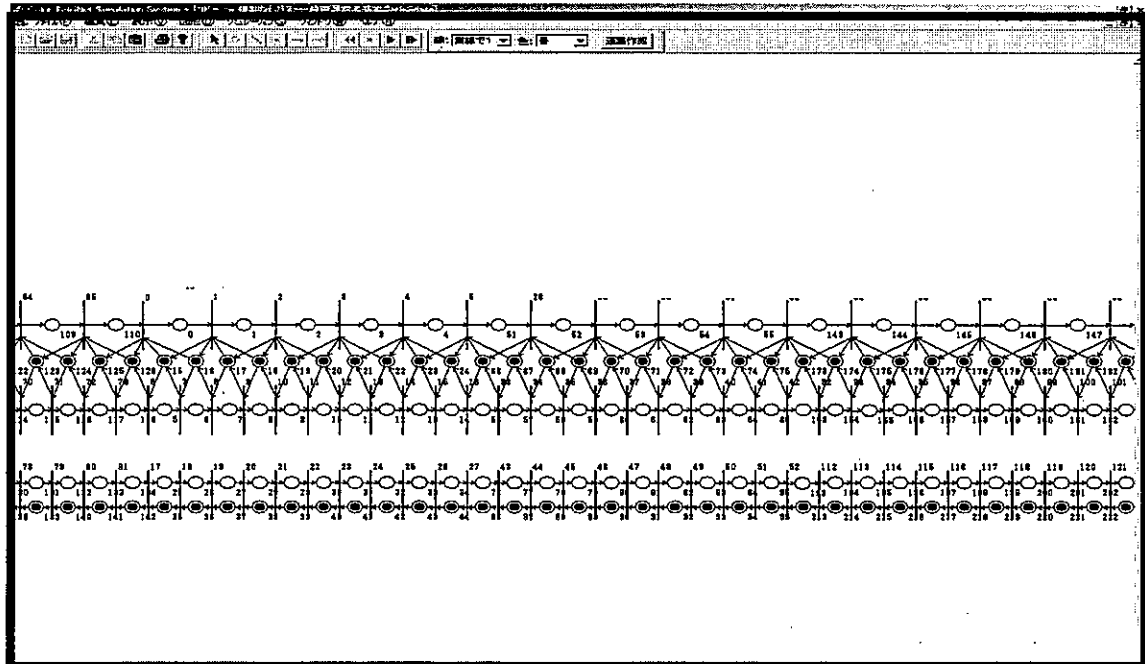


図 3-24(1) 混在流ネットと一般車交通流ネットの配置画面

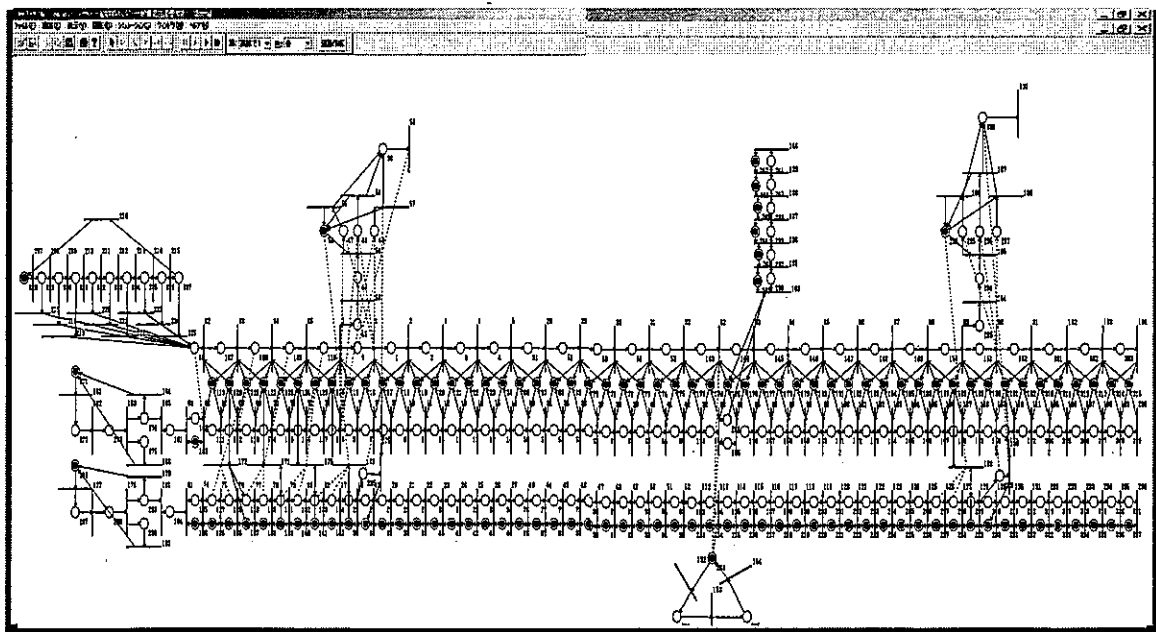


図 3-24(2) 規制無し時の交通流ペトリネット画面

図 3-24(3)は、この図 3-24(2)のネットに、さらにバス接近時の規制情報の揭示ネットと、一般車の車線変更ネットを結合させたものである。即ち、これがバス優先レーン策運用案のシミュレーションネットとなる。

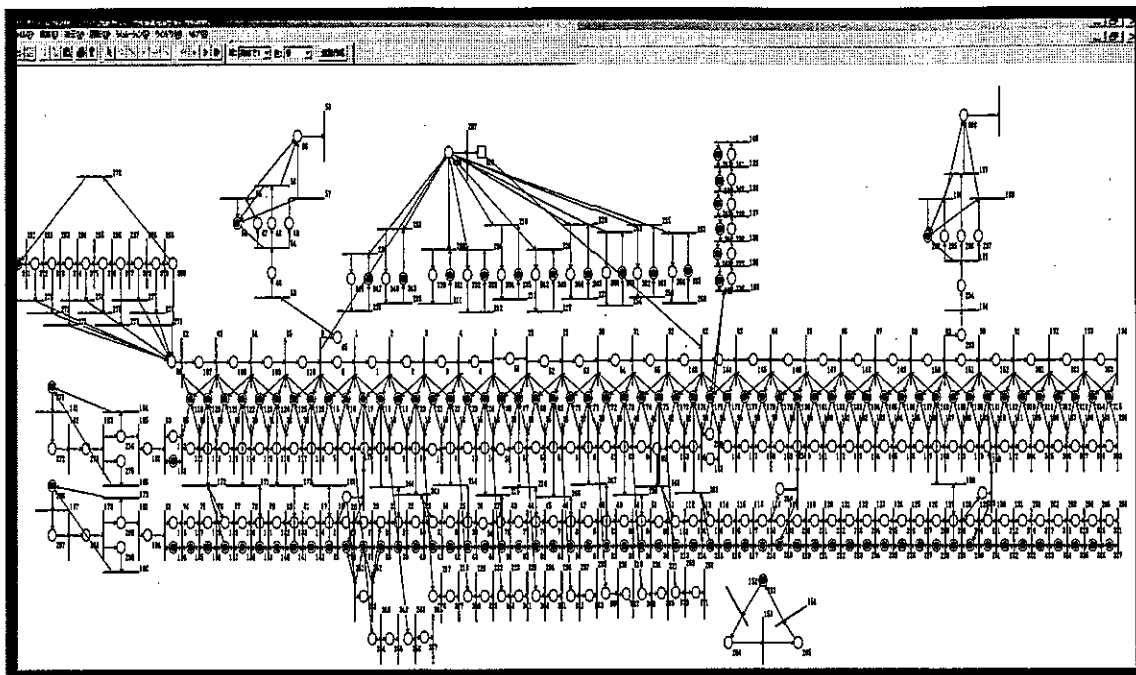


図 3-24(3) バス優先策運用案のペトリネット画面

(2) シミュレーション実行と考察

図 3-24(2)の規制無し時のネットも、図 3-24(3)のバス優先レーン策運用案のネットも、共に、即時シミュレーション実行が可能となる。このように対象のペトリネット記述さえできれば、プログラムの修正や変更なしにシミュレーションが即時に実行できるところに、ペトリネットシミュレータによる支援の大きな特徴である。

3-3 の出発バスの定時性確保優先策のペトリネットシミュレーションでは、出発バスが想定した道路空間の先頭位置に確実に入ることを、実空間対応性の視覚化というペトリネットシミュレータの特徴を活かして、実行画面を提示する形で示した。ここでは、数値的な評価にも有効となることをアピールするために、2-2 の図 2-5 ないしは 2-3 の図 2-6 に示す基本メニューのサブメニューの 1 つである「解析項目」を使用した結果を示す。

図 3-25(1)が、このサブメニューによる「解析項目」の設定画面である。ここでは、図 3-25(2)に示す各区間の旅行時間を求め、それを走行速度に変換してバス優先レーン策運用案を評価するための設定を行っている。即ち、中央にある「追加(A)」のボタンを利用して、図 3-25(2)に示す各計測地点に対応するトランジション番号を、図 3-25(1)の右ウィンドウで次々と設定していけばよい。図 3-25(1)の左ウィンドウの「現在の設定」によって、図 3-25(2)に示す 7 地点のトランジション番号が全て設定されたことが確認される。

シミュレーション結果は、このような設定によって、表 3-5 に示すように、各車両の地点 A の通過時刻、地点 B の通過時刻、等々が出力される。それらの差を求めることで、各車両の各地点間の旅行

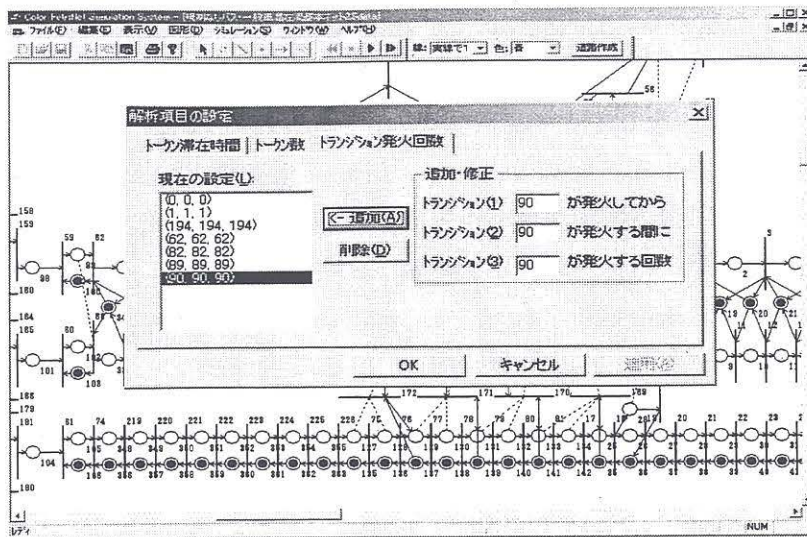


図 3-25(1) 解析項目の設定画面

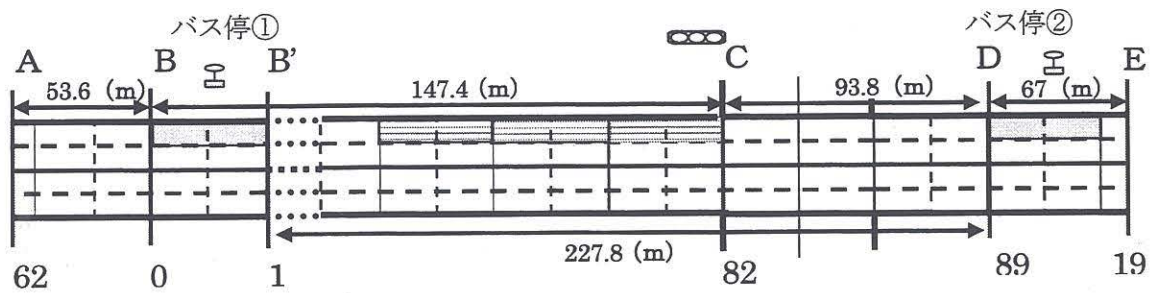


図 3-25(2) 解析項目での計測位置とトランジション番号

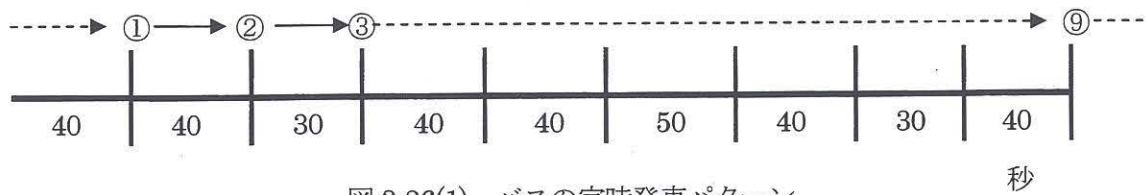


図 3-26(1) バスの定時発車パターン

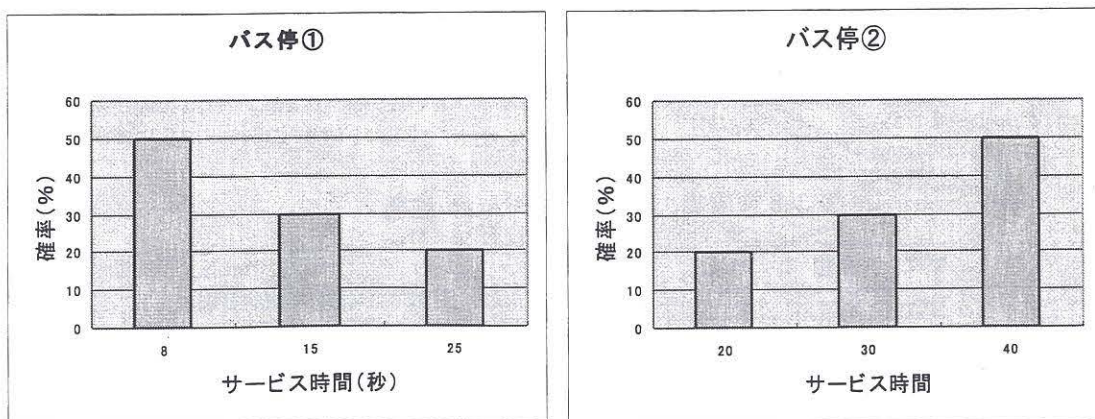


図 3-26(2) バス乗降サービス時間分布

時間が求められ、その値で地点間の距離を割ること
 で各区間の走行速度が求まることになる。

シミュレーションケースとしては、以下のパラ
 メータ設定とする：

- ① バスは、3-3-2 で示した定時発車ネットを用
 いて、図 3-26(1)に示すパターンによる 90 台
 の発生。
- ② 一般車は、路肩側レーンは 900 台/時、中央
 側レーンは 1260 台/時の指数分布発生。
- ③ 信号は、青 40 秒、赤 40 秒、黄 5 秒とし、バ
 ス停での乗降サービス時間は、図 3-26(2)と
 する。

この設定による比較シミュレーション結果を、表
 3-6 に示す。全区間での走行速度による比較では、
 バスの走行速度は 7% 強の改善が見られるが、一
 般車については、路肩側レーンでは影響は少ない
 が、中央側レーンでは 65%減になるという結果と
 なった。

表 3-5 解析項目による出力結果の例

解析結果 「トランジション発火回数」			
対象トランジ	62	62	62
	スタート	エンド	回数
-1	197.6	197.6	1
1 番目のバスが A を発火した時間 (秒)			
-4	320.75	320.75	1
-5	325.55	325.55	1
-6	385.6	385.6	1
-7	397.6	397.6	1
-8	460	460	1
8 番目のバスが A を発火した時間			
-10	513.4	513.4	1
-11	610.8	610.8	1
-12	621.6	621.6	1
-13	644.05	644.05	1
-14	726.8	726.8	1
-15	863.4	863.4	1
-16	950.8	950.8	1
-17	1005.6	1005.6	1
-18	1049	1049	1
-19	1053.8	1053.8	1
-20	1071.35	1071.35	1
-21	1109.55	1109.55	1
-22	1136.95	1136.95	1
対象トランジ	0	0	0
	スタート	エンド	回数
-1	203.15	203.15	1
-2	249.85	245.65	1
1 番目のバスが B を発火した時間			
-5	342	342	1
-6	461.2	461.2	1
-7	494.6	494.6	1
-8	505	505	1
-9	515.4	515.4	1
8 番目のバスが B を発火した時間			
-12	641.65	641.65	1
-13	686.2	686.2	1
-14	734.4	734.4	1
-15	874.25	874.25	1
-16	961.65	961.65	1
-17	1050.15	1050.15	1
-18	1070.15	1070.15	1
-19	1097.55	1097.55	1
-20	1134.55	1134.55	1
-21	1157.95	1157.95	1

表 3-6 運用案のシミュレーション結果

ケース \ 車線	バス	路肩一般車	中央一般車
規制なし	6.31	8.29	14.34
優先レーン	6.8	8.07	5.11

(3) 運用代替案のペトリネットシミュレーション実行

上述の結果では、バスの走行性改善が少なく、しかも、一般車への影響が大きすぎて、このままでの運用には問題がある。そこで、図 3-27 に示すように、

代替案-1: 交差点手前の規制区間の縮小化

代替案-2: 上記縮小に加えて、バス接近情報のタイミングの早期化

を取り上げて、比較シミュレーションを実行する。

代替案-1の運用案のシステムネットは、図3-28に示すように、図3-24(3)の運用案のシステムネットから、図 3-27 に示した規制の縮小区間部分に対応する”規制情報の提示”と”一般車の車線変更”の部分ネットを削除することによって簡単に作成することができる。しかも、その操作は、図 3-24(3)のネットの Sdata ファイル上で、削除ネットの境界部のトランジションとプレースの入出力関係を削除し、削除ネット内のトランジションとプレースを全て非表示に指定するだけで済む。代替案-2の運用案のシステムネットは、図 3-28 のネットの Sdata ファイル上で、バス接近情報の発信トランジションとその受信プレースの入出力関係を変更する操作だけで作成できる。図 3-22(1)の基本部分ネットでいえば、トランジション1 とプレース3 の関係の変更だけで済む。

(2)で述べた運用案シミュレーションケースと同じパラメータの下で、乱数初期値を3パターン用意し、シミュレーション実験を行った。このシミュレーション実行にもプログラムの修正等は一切不要で、代替案を発想し、ペトリネット表現化ができれば、直ちに視覚的、数値的シミュレーションが可能となり、この点が代替案の展開的評価支援には非常に有効に働くと考えている。

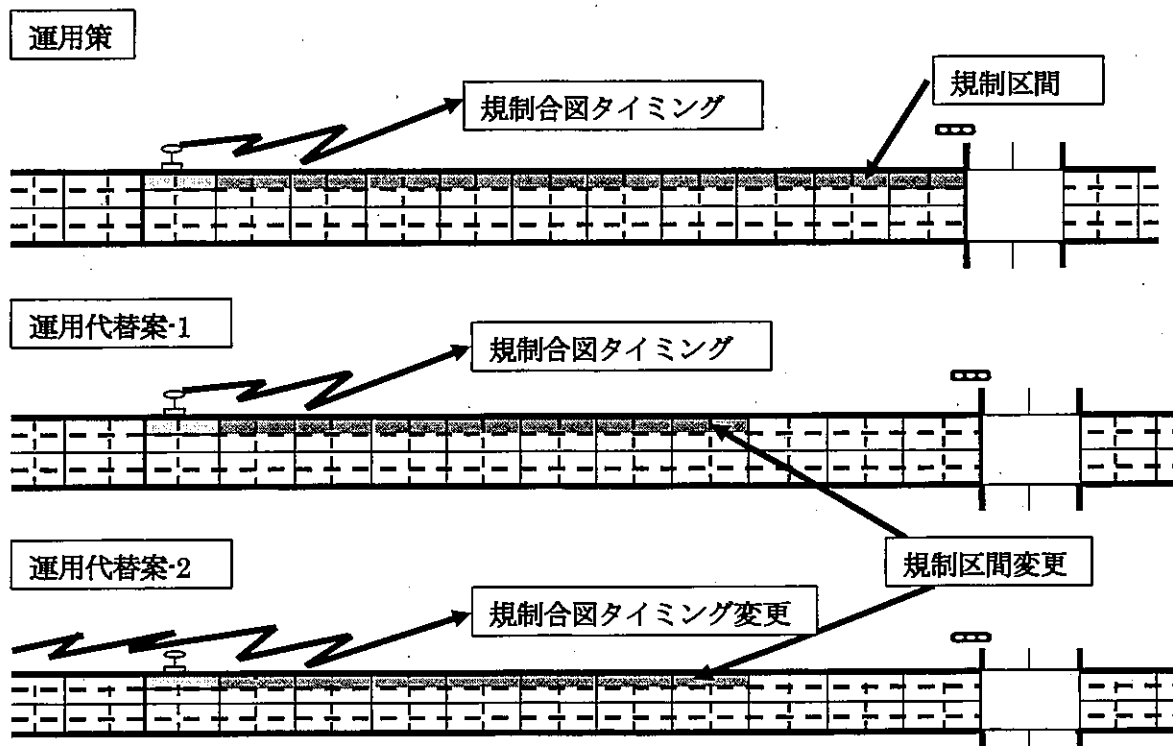


図 3-27 バス優先レーン策の運用代替案

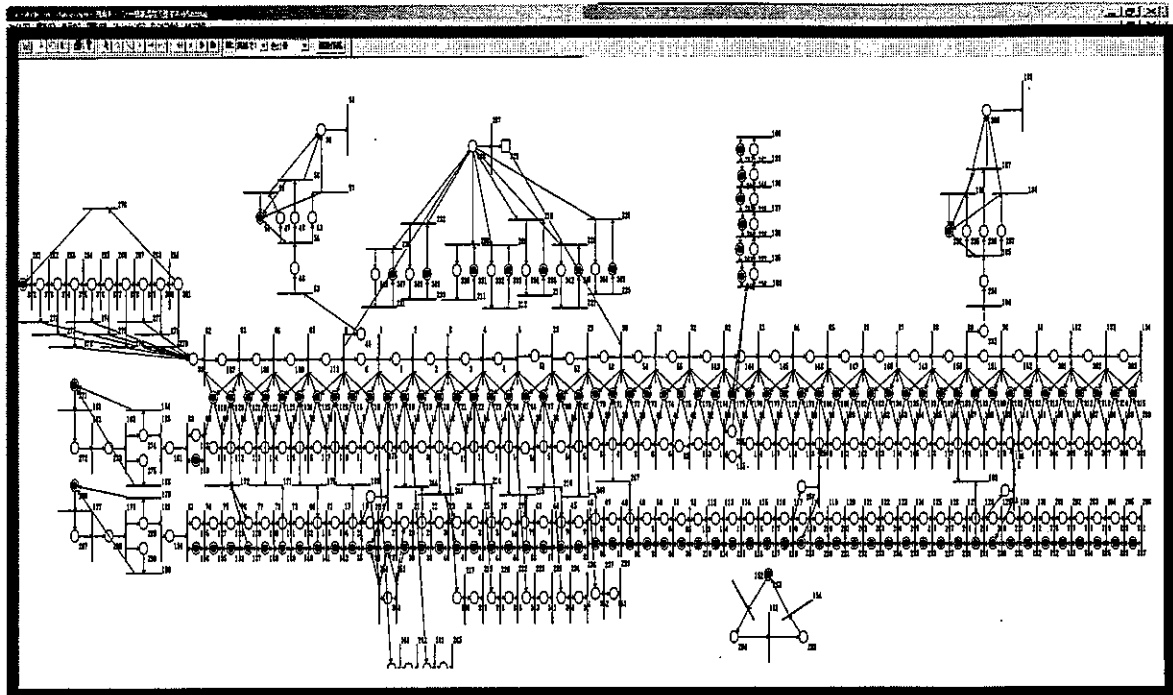


図 3-28 運用代替案-1 のペトリネット表現画面

表 3-7 運用案の比較シミュレーション結果

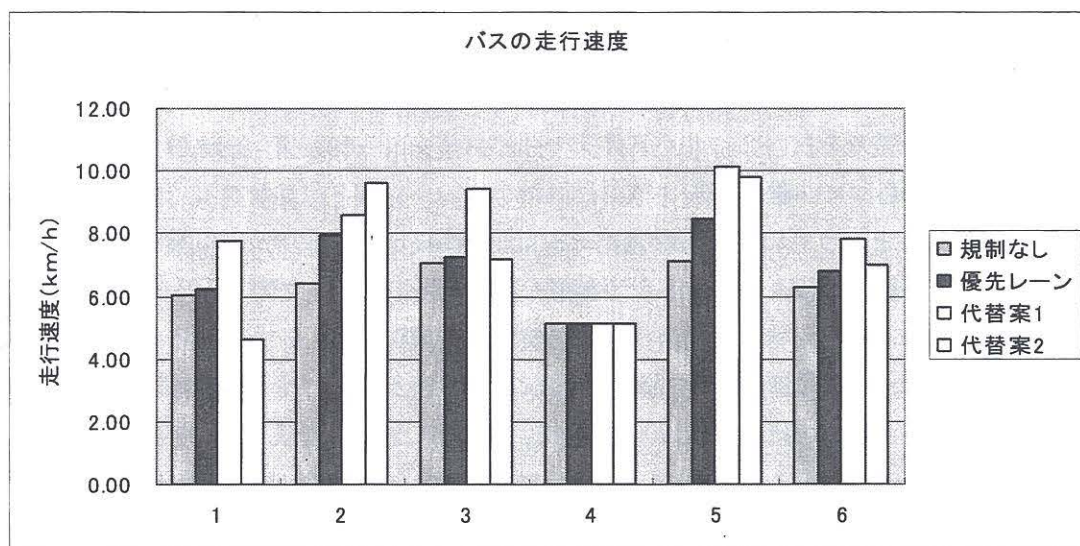
車線 ケース	バス	路肩一般車	中央一般車
規制なし	6.31	8.29	14.34
優先レーン	6.8	8.07	5.11
代替案-1	7.84	9.91	7.4
代替案-2	6.98	8.01	7.84

表 3-7 に、図 3-26(1)の発生からネット端までの平均走行速度による比較結果を示す。代替案-1 の運用案でバスの走行性改善が最も大きく、約 24%の改善となる。そして、一般車への影響は、中央側レーンで 45 % 減となり、路肩側レーンでは 25 % 向上するという結果となった。代替案-2 では、バスの走行性改善が抑えられ、その分中央側レーンの一般車への影響も抑えられていることが分かる。

図 3-29 は、先に述べた”解析項目”の設定を活用して、バスの区間走行速度を詳しく表示したものである。シミュレーションに使用するネットには、特に、発生部から最初のバス停までの距離をどれだけ取っているかという問題を抱えている。この図でも、発生からバス停①までには、この問題が影響している。バス停①から交差点までと、交差点からバス停②までとで、代替案-1 と代替案-2 で

の評価が逆転する。これには、信号現示のタイミングの違いと、バス停②の乗降サービス停車に伴う一般車の状況が関与している。バス停①からバス停②まででは、これらの影響を平均化したものが反映されている。代替案-1 と代替案-2 の評価については、さらに、これらの影響を検討した上で下す必要があり、それには視覚的な出力画面による討議支援が有効となるだろう。

もちろん、その前に、規制無し時の交通流ペトリネットによる観測交通流の検証や、規制情報の提示に伴うドライバーの認知と行動に関する調査等が必要となるが、種々の知見や提案をペトリネットによって表現化し、その結果を即時に視覚的、数値的シミュレーションによって確認する実践手順は十分に提示できたと考えている。また、本ネットでは規制情報の掲示に、“□”のプレースを使用した。それを路面に配置することで具体的な掲示システムへと展開するというアイデアも出てくると考えている。



1	発生からバス停①	4	バス停②出発からネット末まで
2	バス停①出発から交差点まで	5	バス停①からバス停②まで
3	交差点からバス停②まで	6	発生からネット末まで

図 3-29 各区間でのバスの走行性比較図

3-5 まとめ

本章では、第2章で提案した動的図解手法型のペトリネットシミュレータを、バス交通の活性化策の評価・展開支援への適用化研究を行った。3-2 では、まず、バス交通を取り扱うために、バス・一般車の混在交通流のペトリネット表現法を提示した。ここでは、動的図解手法型のペトリネットシミュレータの特徴の1つとした空間占有性の記述化を活用し、従来の交通流表現で使用してきた“(一般)車両の存在”と”空間の空き”という2つのプレースに加えて、”バスの存在”を示す第三のプレースを導入し、バスと一般車の物理的な空間占有性の違いを表現するとともに、“一般車の存在”プレースと”バスの存在”プレースを、Sdata 記載に際して、前者を”-2”、後者を”-3”

と定義し、可変タイマの概念とその更新表である Vptimer を活用することで、バスと一般車の走行特性の違いも表現できるペトリネットを提示した。そして、その即時シミュレーション実行性を活用して、バスと一般車の走行実験結果が十分に再現されることを示した。

次に、3-3 では、出発バスの定時性確保優先策を、出発道路空間の特性を活かし、一般車の停止線位置の設定と信号間の連携化によって、出発バスを先頭に進ませる Bus advance area 方式として発想し、その評価シミュレーション実行のためのペトリネット開発を行った。ここでは特に Bus advance area の実道路空間とバス収容の対応性がこの案の実効性を左右するとして、まず、第2章で強化した”背景画の挿入”を活用し、実道路空間画像を背景画とするネット構築を実践した。そして、背景画像上での実践的ネット構築の手順として、背景画の道路空間の部分に順次プレースを配置し、システムネットを漸進的に構築する方式を提案・実践している。また、そのシミュレーションも即時実行可能となることを示すとともに、視覚シミュレーションへの直結性を活用し、提案した定時性確保優先策によって、出発バスが、信号毎に Bus advance area の先頭位置に確実に進むことを視覚提示するのに成功している。

3-4 では、信号交差点を挟む2つのバス停間でのバス優先レーン策運用案のペトリネットシミュレーションを試みている。バス優先レーン策は、バス専用レーン策とは異なり、バス接近時のみに一般車の走行規制を行うというもので、既存道路の有効活用策として、極めて興味ぶかいものであるが、その分具体的な運用策には種々の問題が伴う困難な課題である。ここでは、ペトリネットシミュレータの特徴である部分ネットの考案と結合化による展開的表現化力と、その即時シミュレーション実行性を活用して、まず、バス接近時の規制情報の掲示ネットと、規制に伴う一般車の車線変更ネットを考案し、初期運用案と現状の比較シミュレーションを実行した。このシミュレーションでは、数値的な比較が必要となるが、ペトリネットシミュレータの基本サブメニューにある”解析項目”によってそれが可能となることを実証している。結果は、この運用案では、バスの走行性は7%改善されるが、一般車への影響が大きすぎるとして、規制区間の変更と規制情報の発信タイミングの変更を加えた2つの代替案を提示し、それらのシステムネットは Sdata ファイル上での操作で容易に求まり、また、即時実行可能となることを示すとともに、1つの運用代替案では、バスの走行性には24%強の改善が見られ、一般車への影響も最大で45%減に抑えられるという結果を得た。

以上のように、現有道路を有効に活用し、バスの走行性を確保する種々の策について、ペトリネットシミュレータの諸特徴を活用し、その発想と評価支援に適用化していくことは、十分に可能だし、また有効でもあると考えている。今後、バス・一般車の混在交通流の再現性の検証に加えて、3-3 では、ターミナル部分を含む総合シミュレーションへの展開化を、3-4 では、規制に伴う一般車の挙動記述の精緻化や、バスベイを持つ道路空間での優先レーン策の運用案検討を試みたいと考えている。

3-6 参考文献

- 1) W.Reisig: A Primer in Petri Net Design, Springer-Verlag, 1992
- 2) 木俣昇, 岸野啓一, 白水靖郎: 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, No.19, pp.31~40, 2000.

- 3) N.Kimata, K.Kisino, Y.Siromizu: Development of Practical Software for Micro Traffic Flow Petri Net Simulation, J. of Civil Engineering Information Processing System in 2001. pp.239~248, 2001
- 4) D.Turner: Red Routes in London – not just red lines, Proc. Instn. Civ. Engrs. Transp, Vol. 123, pp.151~162, 1997.
- 5) Jianping Wu, Nick Hounsell: Bus Priority Using Pre-Signals, Transpn. Res. A. Vol.32, No.8, pp.563~583, 1998
- 6) 交通技術委員会:第7回交通技術セミナーテキスト,交通工学研究会,1998
- 7) 小原誠,坂本邦宏,久保田尚,他: tiss-NET によるバス優先方策の効果分析, 土木計画学研究・論文集, No.16,pp.927~932, 1999.
- 8) 鈴木尚樹, 坂本邦宏, 久保田尚: tiss-NET によるバス優先策総合評価システムの開発, 土木計画学研究・論文集, No.17,pp.885~892, 2000.
- 9) 木俣昇,高木秀彰,黒川浩嗣: ペトリネットによる交通流シミュレーションの開発, 土木計画学研究・論文集, No.12,pp.691~699,1995
- 10)木俣昇, 鷺坂崇,千田諭: ペトリネットによる相互干渉する隣接2信号交差点での渋滞シミュレーション, 土木計画学研究・講演集, No.20(2),pp.315~318,1997
- 11)木俣昇, 横山誠, 西村武敏: ミクロ交通流のペトリネットシミュレータの検証に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, No.18, pp.755~762, 2001.9.
- 12)木俣昇, 西村武敏, 四藤一成:バス交通流シミュレーションへのペトリネットシミュレータの適用化研究, 土木計画学研究・論文集, No.19, pp.793~802, 2002.9.
- 13) K.Jensen: Coloured Petri Nets, Vol.1~3, Springer,1997
- 14)木俣昇, 松井竜太郎: 背景画像上でのバス交通計画のペトリネットシミュレーション技術, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, 207~216, 2003.10.
- 15)堀浩三, 松井竜太郎, 四藤一成, 木俣昇: バス優先レーン策における一般車規制に関するペトリネットシミュレーションについて, 土木学会中部支部・研究発表会講演概要集, 313,314, 2004.

第4章 動的図解手法型ペトリネットシミュレータの

防災計画への応用研究

4-1 防災計画の課題とペトリネットシミュレータ

本章では、わが国における災害で最も頻度の多い火災に対応する防災計画を対象として、ペトリネットシミュレータの適用研究を試みる。火災への対応は、図4-1に示すように、1つは、木造密集市街地を多く抱えるわが国の事情より、延焼の拡大を阻止する消防防災システムの整備であり、いま1つは、建物内火災から直接身を守る避難システムの整備である。本章では、この2つの防災システムの計画支援に、第2章で提示した動的図解手法型ペトリネットシミュレータの適用化を行う。

即ち、4-2では、まず、通常時の消防防災システムのマクロペトリネットを構築し、火災の延焼阻止の評価シミュレーションを行う。次に、その地震時システムへの移行について論じる。わが国においては、地震は、いつどこにおいて発生しても不思議はないとされている。東海沖を始め、関東直下型、東南海・南海の大規模地震における被害予測でも、火災延焼による生命・財産への影響が甚大であるとされており、4-3では、この地震時の消防防災システムを論じる。4-4では、建物内避難シナリオを取り上げ、そのマイクロペトリネットの構築と避難シミュレーションの実行を行う。

これら防災計画の特徴は、対象空間の変容性にある。図4-2は、地震時消防防災システムは、その実効的の観点から通常時消防防災システムの延長線上に常にあると考えるべきだとして、両者の関係を示したものである。即ち、通常時システムの対象空間が地震動の作用により変容した機能環境の下で、地震時消防防災システムの点検・見直しが求められる。その変容には、防災計画の進捗状況が大きく係わり、その進捗状況を踏まえた常なる点検・見直し支援が重要となる。

建物内避難計画においても、計画避難空間の変容が常に問題となる。1つは、点検時には計画シナリオの空間確保がなされていても、やがては廊下に障害物が出される。このことは、歌舞伎町雑居ビル火災の例を引くまでもなく、われわれの身近で常に観察される変容性である。いま1つは、建物の使用形態との関連による出火リスクの場所と避難対象員の変化である。これらの変容にどう対処するかが、防災計画の重要な課題といえよう。本章では、動的図解型ペトリネットシミュレータの諸特性が、このような計画課題の展開的支援にも有効となることを実証することを目的とする。

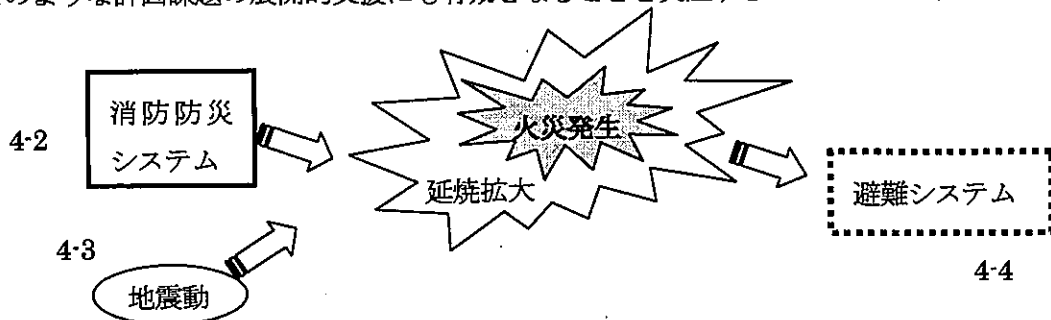


図4-1 火災対応の防災計画と本章の構成

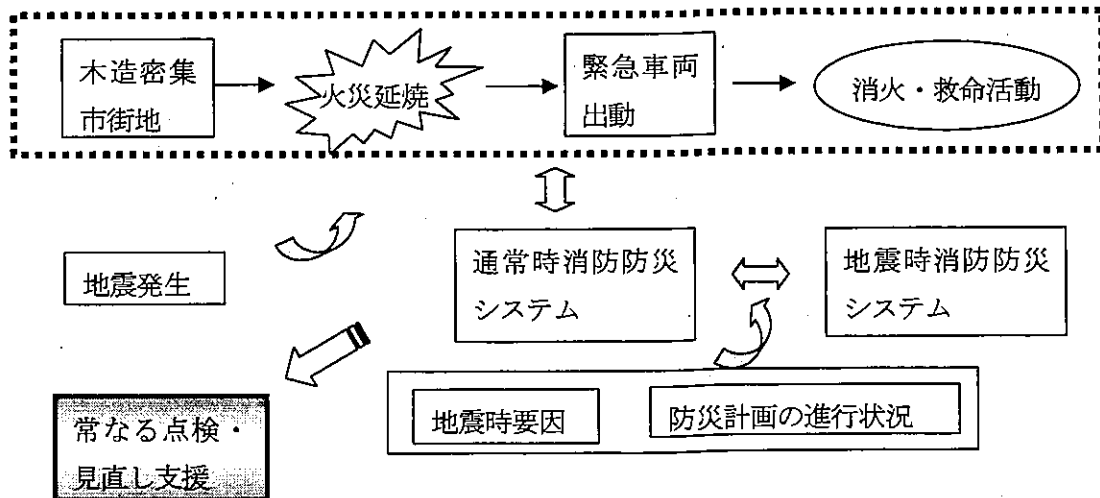


図 4-2 消防防災計画の空間変容と点検・見直し課題

4-2 通常時消防防災システムのマクロペトリネットシミュレーション開発

4-2-1 通常時消防防災システムのマクロペトリネットの構築

火災の種類に応じた出動指令を瞬時に決定するために、8種類の出場計画が定められているが、ここでは、木造住宅火災を対象とする「火災普通出動計画」を取り上げ、この火災に対応する通常時消防防災システムの機能評価シミュレーションを行う。

まず、そのためのペトリネット記述に必要となる基本部分を検討する。通常時消防防災システムでは、①火災発生に伴い、②その通報がなされ、③それを受けて消防隊に出動指令が発令される。そして、④その指令の下で緊急車両が火災現場へと走行し、⑤現場に到着次第、火災建物の消火活動・人命の救助活動が実施される。図 4-3 は、これら①～⑤の各基本マクロ事象を、事象生起間の関連性の下で図解した通常時消防防災システムの概念図である。この各基本部分をペトリネット表現し、それらをこの概念図に沿って結合化することで、通常時消防防災システムのマクロペトリネットが構築できる。

この各部分の基本ネットは、第 2 章で述べた形式と原理に従って、以下のようにして構成される。まず、上記①の火災発生と風下・風横・風上への延焼ネットを図 4-4(1)に示す。第 3 章の記述とは異なり、本章では、プレースもトランジションも様々な実在に対応するために、それらの定義をネット図の下部に付記している。プレースの説明の中で出てくる (PT) は、プレース上のトークンに時間特性を与えるプレースタイマを意味する。2-1 で述べたトランジションの発火則の R1)にある”マーキング”の状態は、このタイマ分の時間経過後となり、トランジションの発火はその分遅くなる。

この延焼部のネットモデルは、出火状態から炎上状態に推移し、延焼トランジションの生起に伴い風下・風横・風上の 3 方向へ延焼する状況を記述するペトリネットとなっている。このネット図の動的特性は、Sdata 記載において、P1, P3, P4 のプレースに設定するプレースタイマによって定まる。ここでは、著者らの火災延焼シミュレーションで求まる風速と対応した延焼時間を用いて設定するこ

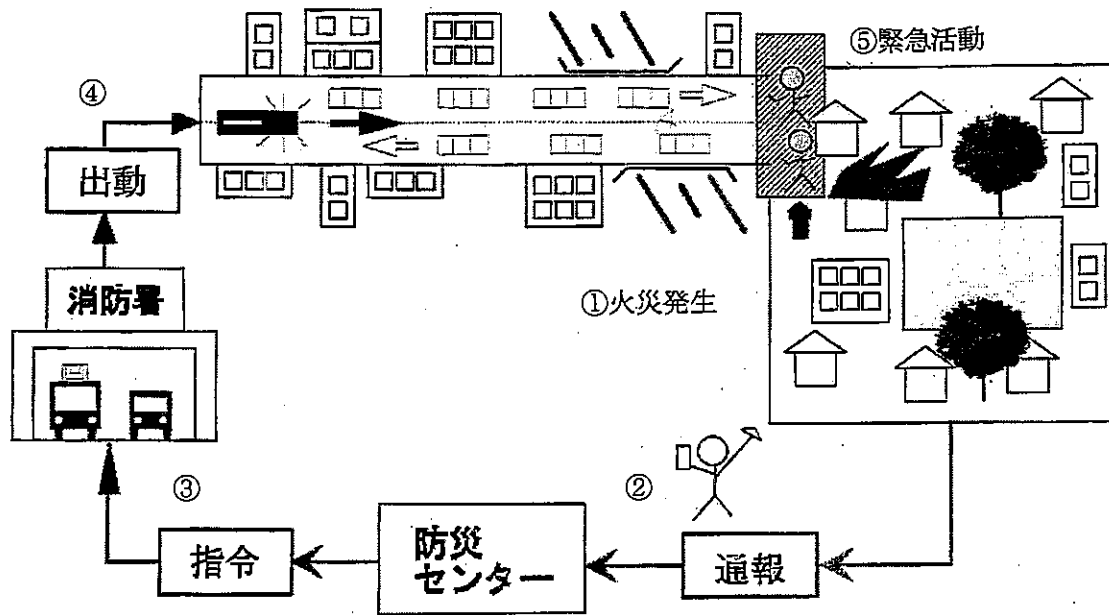
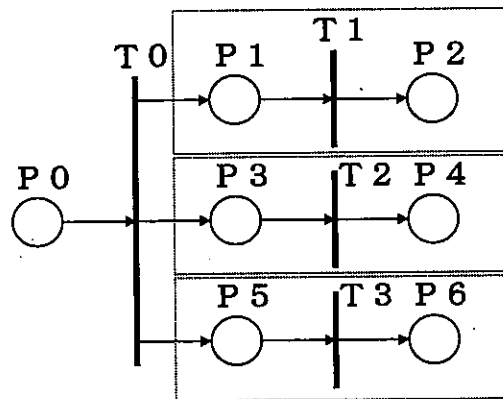


図 4-3 通常時消防防災システムの概念図



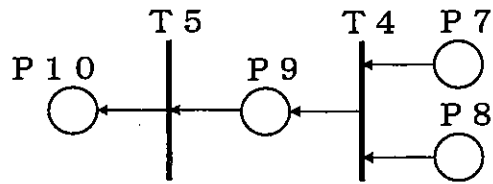
(トランジションの説明) T 0 : 出火, T 1 : 風下方向への延焼
 T 2 : 風横方向への延焼 T 3 : 風上方向への延焼

(プレースの説明) P 0 : 出火の状態 (PT)
 P 1 : 炎上の状態 (PT) P 2 : 風下方向への延焼状態 (PT)
 P 3 : 炎上の状態 (PT) P 4 : 風横方向への延焼状態 (PT)
 P 5 : 炎上の状態 (PT) P 6 : 風上方向への延焼の状態 (PT)

図 4-4(1) 火災延焼部ネットモデル

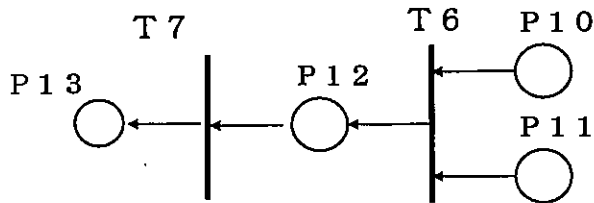
とにする。

図 4-4(2)は、②の通報部の基本ペトリネットモデルである。出火状態とその地点での人の存在を条件に、火災が発見され、認知されて通報されるという単純モデルである。次に、それを受けての③の出動指令部の基本ペトリネットを、図 4-4(3)に示す。ここでは、通報状態と消防隊の待機を条件



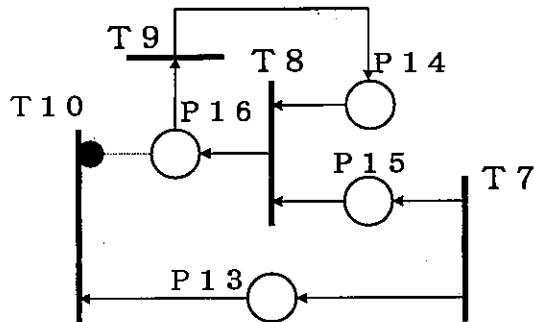
(トランジションの説明) T 4 : 火災発見 T 5 : 通報開始
 (プレースの説明) P 7 : 炎上の状態 P 8 : 人の存在
 P 9 : 火災認知の状態 (PT)
 P 1 0 : 火災通報の状態 (PT)

図 4-4(2) 通報部ペトリネット



(トランジションの説明) T 6 : 指令 T 7 : 出動
 (プレースの説明) P 1 0 : 通報の状態 (PT) P 1 2 : 出動準備の状態 (PT)
 P 1 1 : 消防隊の待機 P 1 3 : 火災現場への走行 (PT)

図 4-4(3) 指令部ペトリネット



(トランジションの説明) T 7 : 出動 T 8 : 一般車両から緊急車両への抑止
 T 9 : 一般車両の抑止解除 T 1 0 : 緊急車両がある区間を通過
 (プレースの説明) P 1 3 : 火災現場への走行 (PT) P 1 4 : 一般車両の存在プレース
 P 1 5 : 制御プレース P 1 6 : 一般車交通による走行阻害プレース (PT)

図 4-4 (4-1) 緊急車両走行の基本部分ペトリネットモデル

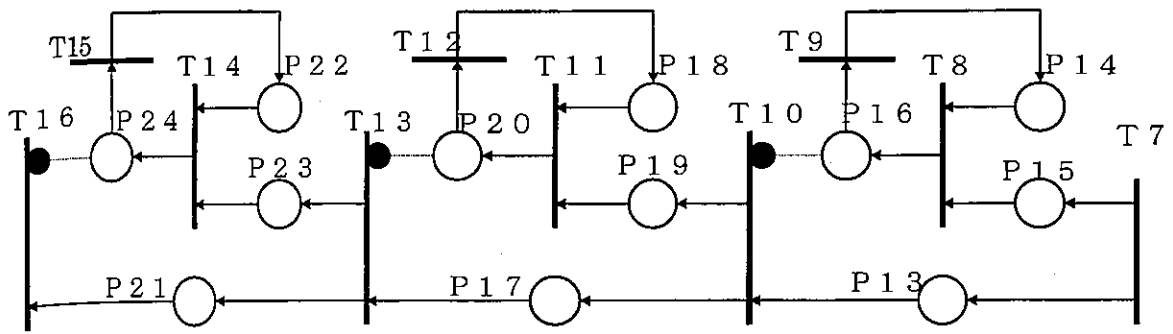
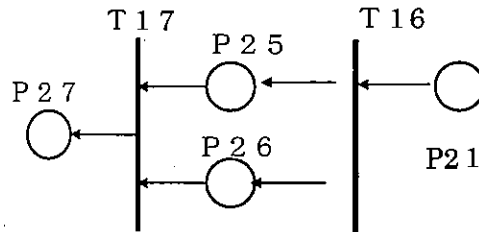


図4-4(4-2) 3区間の緊急車両走行のペトリネットモデル



- (トランジションの説明) T16: 緊急車両の通過 T17: 消火活動開始
(プレースの説明) P21: 緊急車両の走行 (PT) P25: 消火準備 (PT)
P26: 水利施設の存在 P27: 消火活動の状態 (PT)

図4-4(5) 消火活動開始の部分モデル

に指令が出され、緊急車両は出動状態となる。

マクロモデルとはいえ、非常に簡略化されており、通信手段、通報者と司令官とのやり取りを含めて、この精緻化については、次項で通信と指令部との関連を含む形で詳述する。

④の緊急車両の火災現場への走行には、図4-3にも示すように、出動道路区間を走行している一般車によって阻害を受けることが想定される。その阻害度を、抑止アークとプレースタイマを用いて記述したのが、図4-4(4-1)のペトリネットモデルである。

このネットの原理も、2-1で示したトランジションの発火則、R1)～R4)を適用することで、誰にでも簡単に理解することができる。図4-4(4-1)は、緊急車両出動のトランジションT7の発火に伴うトークンの配置状態を示したものである。即ち、T7の2つの出力プレースであるP13とP15にトークンが配置される。P14にもP15にはタイマは設定されておらず、P14上のトークン(一般車交通の存在: 初期配置)とP15上のトークンは、共に直ちにマーキング状態となり、T8は発火則のR1)とR2)を満

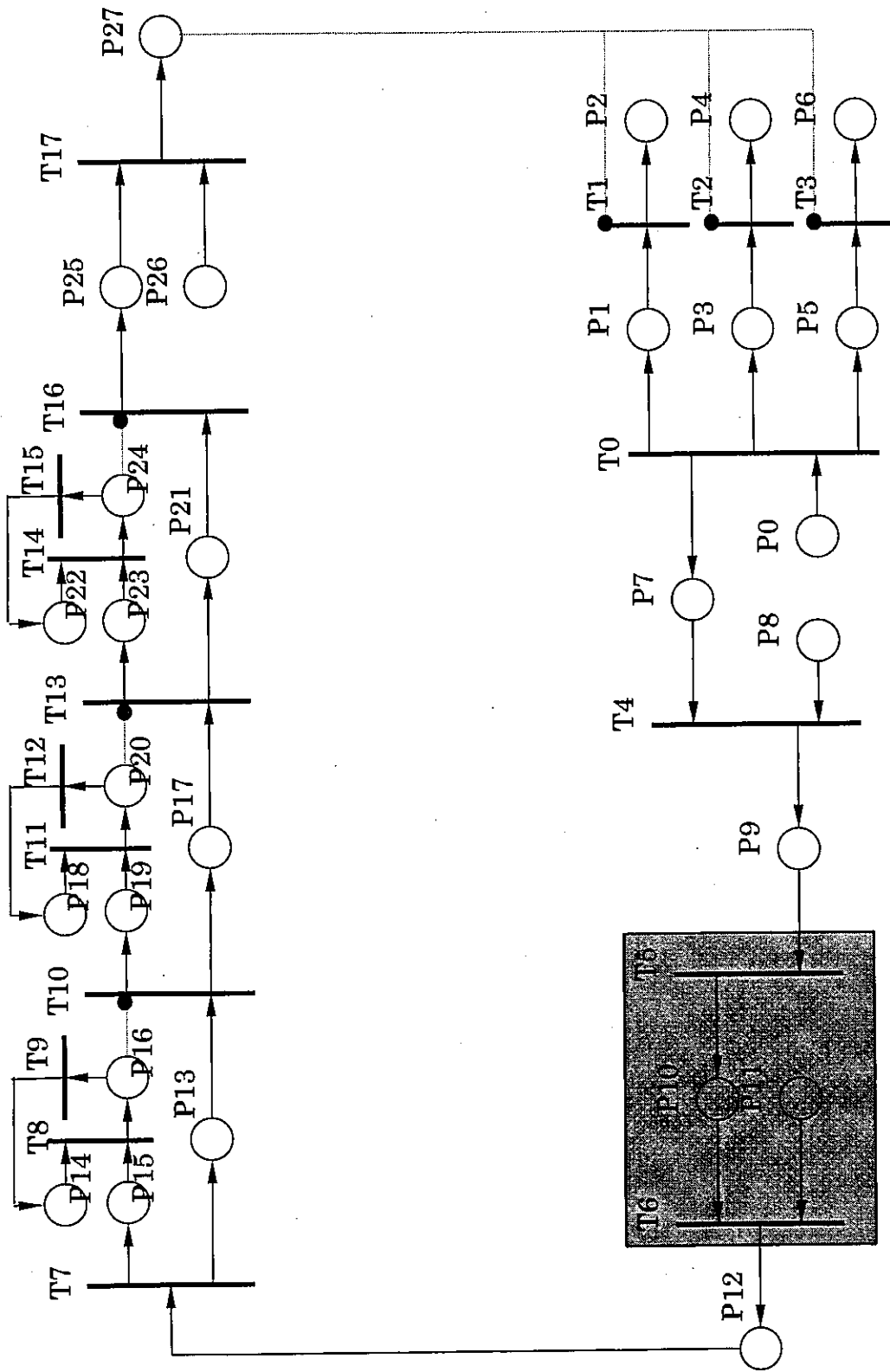


図 4-5 通常時消防防災システムのマクロ基本ペトリネットモデル

たす。しかし、P13にはタイマが設定されているために、直ちにはマーキング状態とはならず、T8のみが発火して、P16にトークンを出力する。このP16に一般車交通量に応じたプレースタイマを与えておけば、そこからT10への抑止が働き、“緊急車両の当該道路区間を通過”が、発火則のR2)によって、P16上のトークンがT9を発火させて消えるまで遅延されることが分かる。ちなみに、T9の発火に伴ってトークンはP14に戻り、次に出動する緊急車両にも、この一般車による阻害が作用するネットとなっている。

緊急車両は、当然いくつもの道路区間を走行し、それぞれの区間での一般車交通量は異なる。図4-4(4-2)は、走行道路区間が3区間のケースのネット例で、図4-4(4-1)の基本ネット図を3個結合化し、P16、P20、P24の各プレースに対して、Sdata上でそれぞれに交通量に応じたプレースタイマを設定することで構成できることを示している。

最後に、図4-4(5)に、⑤の現場到着と緊急活動の基本ネットを示す。水利施設を条件に、到着と同時に消火活動状態に入る。P26へのトークン配置は、火災現場の状況に応じて異なる。初期配置が可能なケースもあるし、さらに、準備事象を加えた精緻化が必要となるケースもある。

通常時消防防災システムのマクロペトリネットモデルは、これらの部分ペトリネットを、それらの共通構造的から生まれる結合性を活かして、図4-3に示す事象間の関連性に従って結合化することも構築される。それが、図4-5である。まず、①と②の結合化は、①のT0から②のP7へのアーク関係によってなされる。この結合化の意味は明白であろう。次に、②と③の結合化は、P10のオーバーラップによって、③と④はT7とP13のオーバーラップによって、④と⑤はT16とP21のオーバーラップによってなされることも明白である。

最後に、⑤と①との間では、消火活動のプレースP27から火災延焼部ネットの3方向への延焼トランジションT1、T2、T3に抑止アークを伸ばす形で結合化している。このことは、通報を受けて出動した緊急車両が、延焼拡大までに現場で消防活動を開始できるかというシミュレーション目的によるものである。

4-2-2 通信・指令部の精緻化とシミュレーション実行

図4-5に示した通常時消防防災システムのペトリネット表現は、マクロとはいえ、その構成部分ネットの説明からも分かるように、現実の事象をかなり単純化したものである。ペトリネットシミュレータの特徴として、ネットの共通構造的に由来するネット間の結合性と、それを活用したネットの拡張や精緻化を挙げてきた。本項では、図4-5の基本ネットを出発点として、その精緻化を行う。

具体的には、前述したように、図4-5で網掛した②の通信と③の指令との間連部の精緻化を試みる。図4-4(2)は通報のみであり、図4-4(3)は指令のみで、両者の間でのやり取りは記述されていない。このやり取りが、緊急車両の出動時間に、また、指令の的確性に大きく関わってくる。また、その部分が、通報手段が固定電話か携帯電話かによって異なるのが現状のシステムである。

図4-6(1)は、通報者と司令官、司令官と消防隊との関係で、通報・確認・司令・出動についてヒアリングしたものをまとめたものである。まず、火災か救急かの問い合わせとその返答がなされる。通報場所はほぼ現場近辺を意味する。固定電話の場合には、119番通報と同時に通報場所が自動探知されるために、この段階で、司令官は、消防隊に予告指令が可能となる。

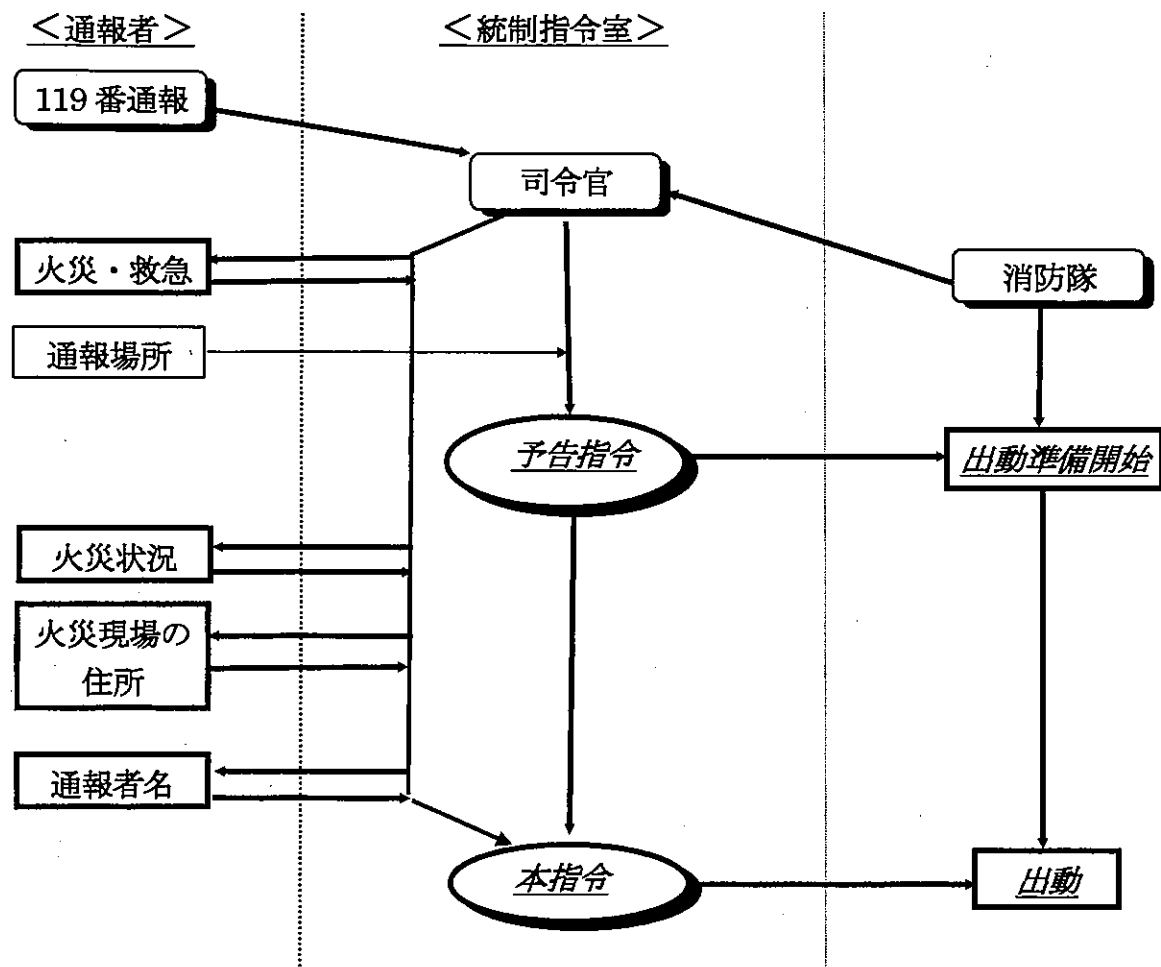


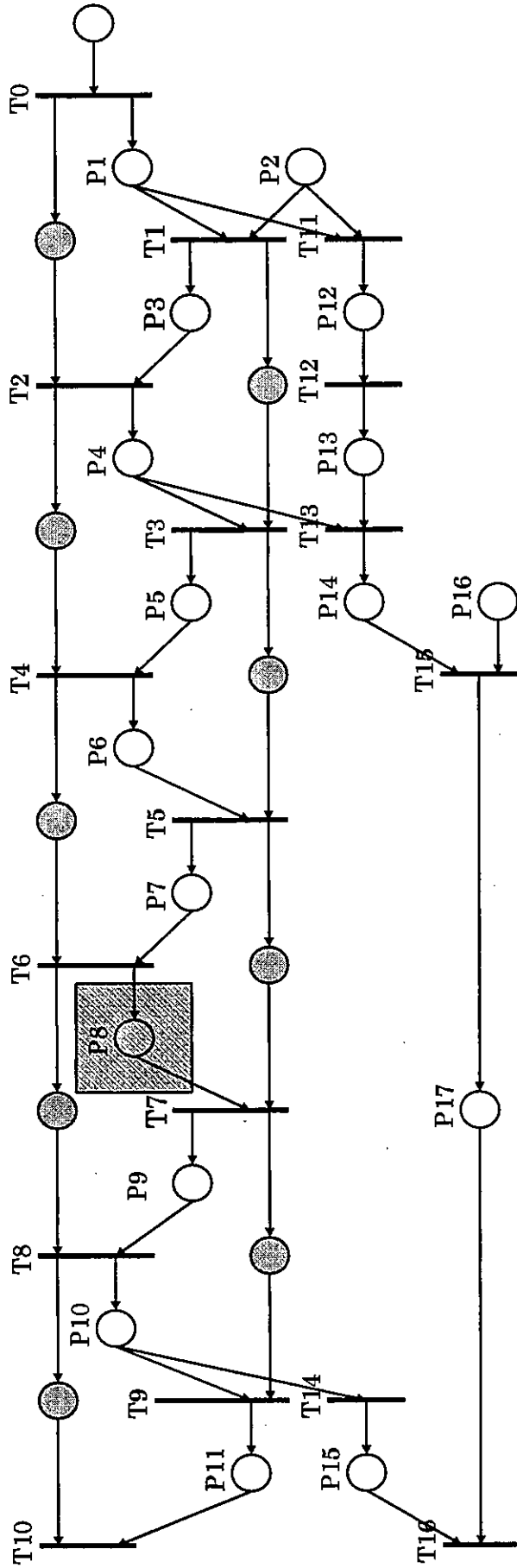
図 4-6(1) 指令部分概念図の精緻化

これを受けて消防隊は出動準備にかかる。その間に、司令官と通報者間で火災状況や現場に関する詳細な情報提供と確認の通話がなされる。その情報をもとに消防隊の出動準備が具体化し、本指令を受けて出動していく。これらの事象を組み込んだ精緻化は、図 4-6(2) のネットでは表現できる。

通報形態としては、携帯電話もあるが、携帯電話の場合、現システムでは中央経由のために確認が必要となり、この判別も必要になる。これらの精緻化ネットでは、まず、図 4-5 の網掛け部分を代置き、次に、緊急車両の火災現場までの走行路を 5 区間として、図 4-4 (4-1) をさらに 2 個挿入して再構成したものを、図 4-7 に示す。そして、このマクロペトリネットを用いて通常時消防防災システムのシミュレーションを行うことにする。

この部分ネットを図 4-8 に示す。即ち、カラートークンの生成トランジション(GT)と、トークンカラーに応じて出力プレースを決定する選択トランジション(ST)を用いて、携帯電話からか固定電話からかを識別し、プレースタイムによって通報形態の相違を記述する部分ネットとなっている。図 4-7 では、これも組み込んである。

図 4-7 の通常時消防防災システムのマクロペトリネットも、第 2 章で述べたペトリネットシミュレータによって、第 3 章のバス優先策の諸ネットと同様に、プログラムの変更なしで即時シミュレーション実行が可能となる。即ち、図 4-7 のペトリネットを、まず、Sdata 形式で記載し、次に、そのファイルを実行ソフトウェア、PETR.EXE の下で開き、視覚出力ネット画面を構築し、基本メニューの



(トランジションの説明)

- T0 : 通報開始
- T1 : 火災の確認開始
- T2 : 火災の報告開始
- T3 : 火災建物の確認
- T4 : 火災建物の報告開始
- T5 : 火災現場住所の確認開始
- T6 : 火災現場住所の報告開始
- T7 : 火災通報者名の確認
- T8 : 通報者名の報告
- T9 : 確認完了
- T10 : 通報完了
- T11 : 通報場所の確認
- T12 : 通報場所の確認完了
- T13 : 予告指令発令
- T14 : 本指令発令
- T15 : 出動準備開始
- T16 : 出動

(プレースの説明)

- P0 : 火災認知の状態 (PT)
- P1 : 通報の状態 (PT)
- P2 : 司令官の存在を表すプレース
- P3 : 火災の確認の状態 (PT)
- P4 : 火災の報告の状態 (PT)
- P5 : 火災建物の確認状態 (PT)
- P6 : 火災建物の報告の状態 (PT)
- P7 : 火災現場住所の確認状態 (PT)
- P8 : 火災現場住所の報告の状態 (PT)
- P9 : 通報者名の確認状態 (PT)
- P10 : 名前前の報告 (PT)
- P11 : 確認完了の状態 (PT)
- P12 : 通報場所の確認状態 (PT)
- P13 : 通報場所の確認完了の状態

図 4-6(2) 通報処理部の精緻化ネット

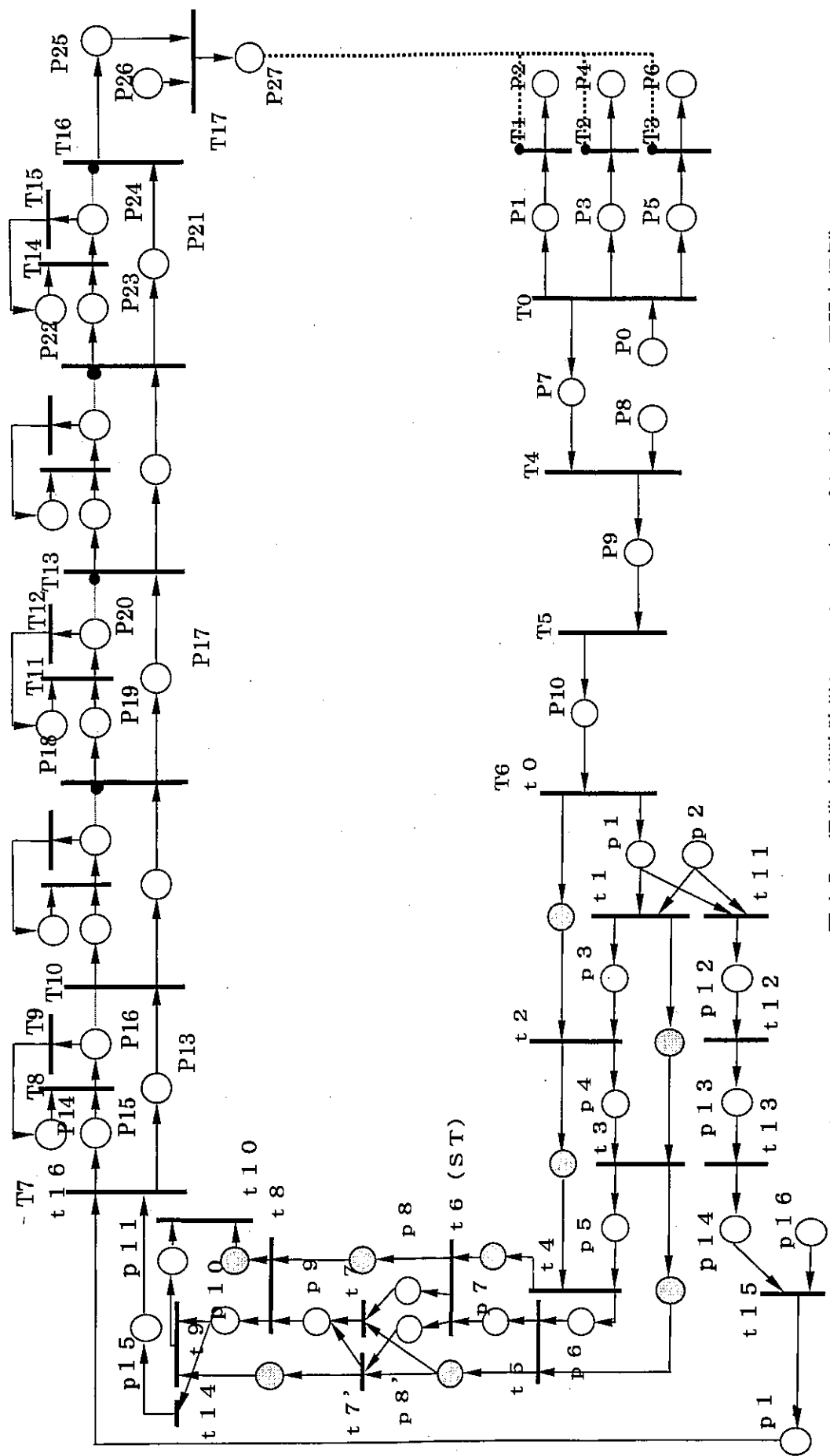
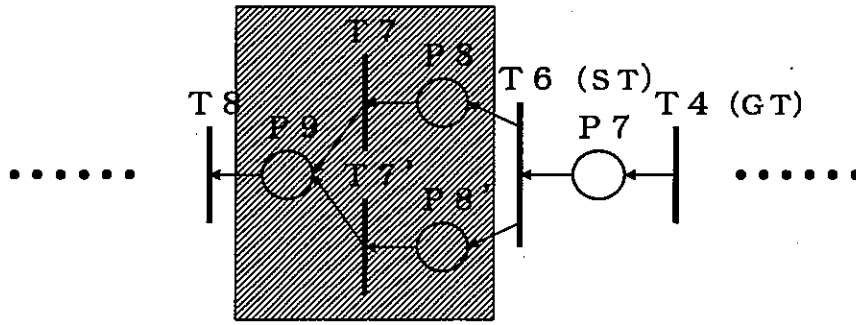


図4-7 通常時消防防災システムのマクロペトリネット(5区間走行例)



<トランジションの説明>

T 6 : 有線のケースの通報者確認

T 6' : 携帯電話のケースの通報者確認

<プレースの説明>

P 8 : 有線による現場住所の報告

P 8' : 携帯電話による現場住所の報告

図 4-8 携帯電話を考慮した通報の部分モデル

表 4-1 緊急車両走行路の一般車交通量の想定(台/分)

	区間①	区間②	区間③	区間④	区間⑤
深夜・早朝	5	5	5	5	5
日中	10	10	15	15	15

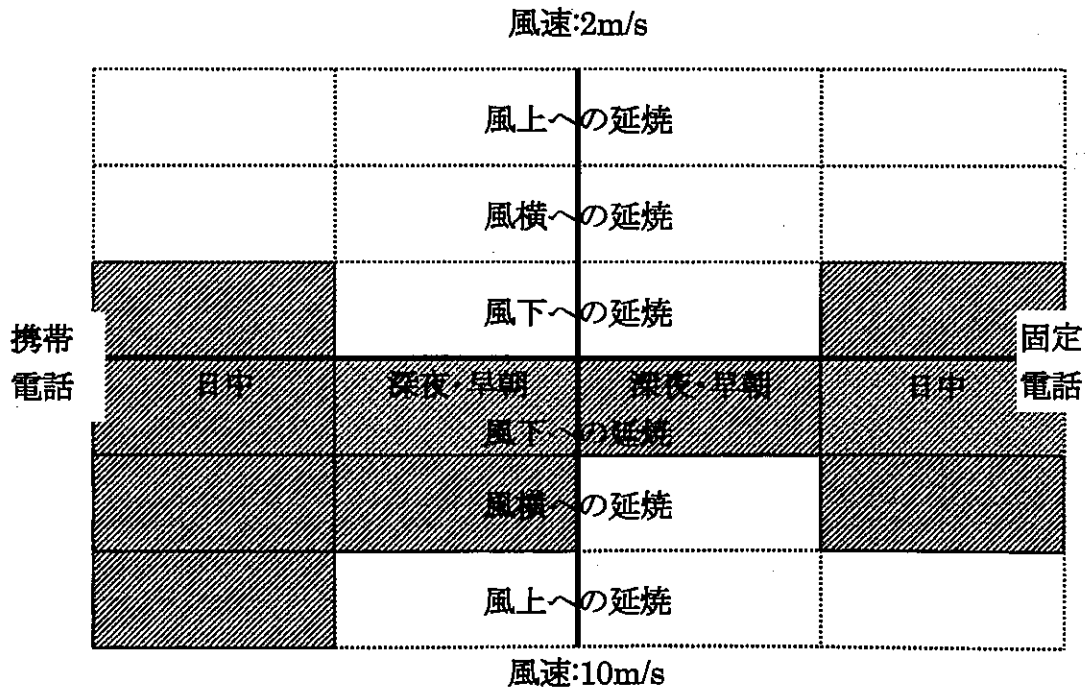


図 4-9 通常時消防防災システムのマクロシミュレーション結果

“シミュレーション”によって視覚型シミュレーション実行が可能となる。ここでは、以下の3ケースでの緊急車両走行と延焼阻止のシミュレーション結果を示す。

S-1: 一般車交通量によるケース分け

表 4-1 の交通量を想定し、深夜・早朝時の火災延焼リスクと日中時の火災延焼リスクを比較

S-2: 風速によるケース分け

火災延焼リスクは、風速と大きく関係するために、2～3 (m/s) と 10～12 (m/s) の時を比較

S-3: 通報形態によるケース分け

現状では固定か携帯で処理システムが異なることによる比較。

シミュレーションによる火災延焼阻止結果を、図 4-8 に示す。風速が 2m/s と小さい場合には、交通量が少ない深夜・早朝であれば、十分に延焼阻止が可能であるが、日中であれば、一般車による緊急車両走行の阻害が働き、風下方向への延焼阻止が困難になる。

風速が 10m/s と大きくなると、深夜・早朝でも風下方向への延焼阻止が困難になる。また、固定電話による通報時の場所特定システムの機能による優位性が出ており、携帯通報時の位置・通報者確認システムの早期導入が重要となるという結果となっている。

4-3 地震時消防防災システムのマクロペトリネットシミュレーション開発

4-3-1 地震時消防防災システムの機能環境

図 4-2 に示したように、地震時消防防災システムとは、それ自身が独自に存在するものではなく、通常時の消防防災システムをベースとした対応型システムと捉えるべきであると考えられる。対応すべき事柄とは、地震動に伴う消防防災システムの機能環境の激変である。

地震時火災の特徴は、地震動を契機とする同時多発型の火災であり、これが通常時消防防災システムの機能環境と大きく異なる点である。いま一つは、地震動に伴い発生する通信・司令・走行・活動の全ての部分で予想される阻害事象の発生である。後者の機能環境への対応は、前者の課題への対応化の前提ともなるものである。

図 4-10 は、図 4-3 に示した通常時消防防災システムの活動の概念図に、地震動に伴う機能環境変容の問題を模式的に付加したものである。まず、地震動は火災発生リスクそのものに大きく影響する。その結果が、同時多発型の火災となる。同時多発火災そのものが、次に、通報阻害となり、初期出動指令に大きく作用するし、それに地震動による施設損傷が加わることになる。

緊急車両の走行に関しては、沿道建造物の倒壊による道路閉塞ないしは狭隘化が発生する。また、一般車間の衝突事故や、車両放置に伴う走行阻害が予想される。さらに、橋梁の損壊や落橋もありうるだろう。現場到着後の活動に関しては、水利施設の損壊による活動阻害も想定される。本節では、これらの阻害要因を、制約型と切断型に分類し、その基本記述ペトリネットを開発し、図 4-7 に示した通常時消防防災システムのマクロペトリネットに結合化させることで、地震時の機能環境で機能する地震時消防防災システムのマクロシミュレーションネットを展開的に構築し、その点検・見直し支援への適用化システムとしての機能性を考察する

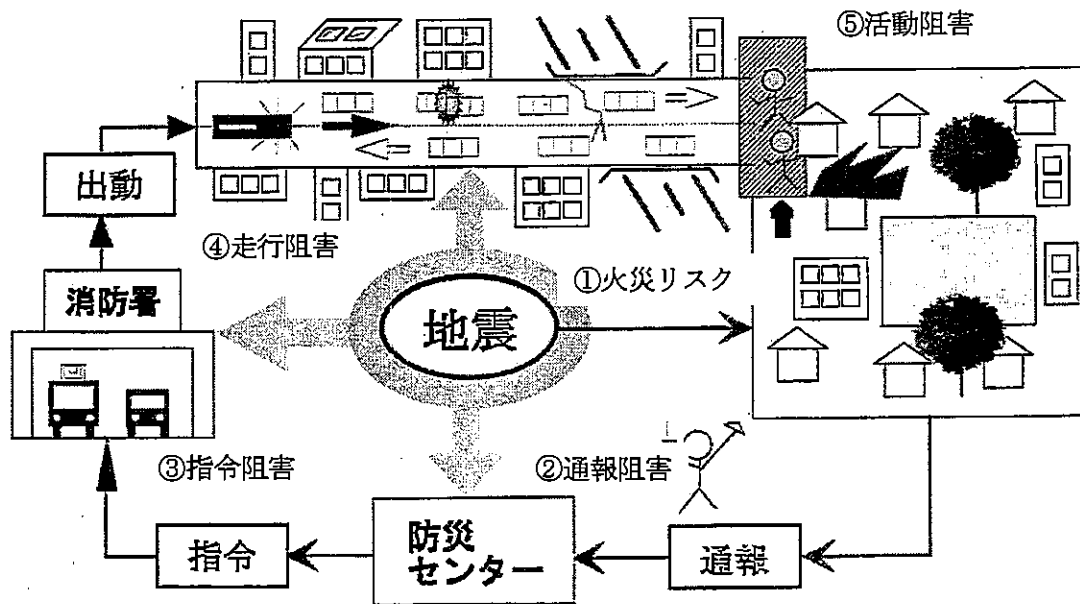


図 4-10 地震時消防防災システムの機能環境

4-3-2 地震時阻害要因の基本部分ペトリネットの構築

まず、地震動に伴って発生する消防防災活動の阻害要因は、活動への影響の形態から、大きくは、

- a) 活動制約型
- b) 活動切断型

に分類できる。即ち、その要因の生起によって、消防防災活動の遂行が一定時間遅延することが不可避となる a) の制約型と、阻害要因の意識的な解除が完了するまで活動が止まってしまう b) の切断型の 2 つである。この消防防災活動への作用関係に着目すれば、両型の阻害要因の基本ペトリネットは、以下のようなものとなる。

図 4-11 (1) に、まず、a) の活動制約型阻害要因の基本ペトリネットを示す。上部に阻害を受ける活動系の部分ネットを配置し、下部に地震動を要因とする制約型阻害の発生ネットを配置し、両者を抑止アークで結合化することで、一定時間の活動遂行の遅延を記述したものである。地震動を要因とする制約型阻害の発生は、地震規模と施設特性によって定まる確率事象である。そこで、第 2 章や第 3 章でも用いたカラートークンの生成トランジション (GT) と、生成カラーに応じて出力先プレースを決定する選択生成トランジション (ST) を使用して、確率事象としての記述を行っている。図 4-11 (1) では、阻害が生起し、それに伴って活動の遅延状態が発生するケースのトークンの生成例を、そして、図 4-11 (2) では、阻害は生起せず、従って活動の遅延も発生しないケースのトークンの生成例を示している。

具体的には、この基本ネットでは、地震動に伴い阻害レベルと非阻害レベルの二段階の状況が確率生起するとし、GT である T2 で 2 種類のカラートークンを生成させて、それを ST である T3 で、P5 ないしは P6 に選択的に出力させ、阻害レベルの時 (P5 にトークン) に T4 が発火して、トークンが P8 に出力される。このネット状態が、図 4-11 (1) である。P8 から活動の遂行を意味する T1 には抑止

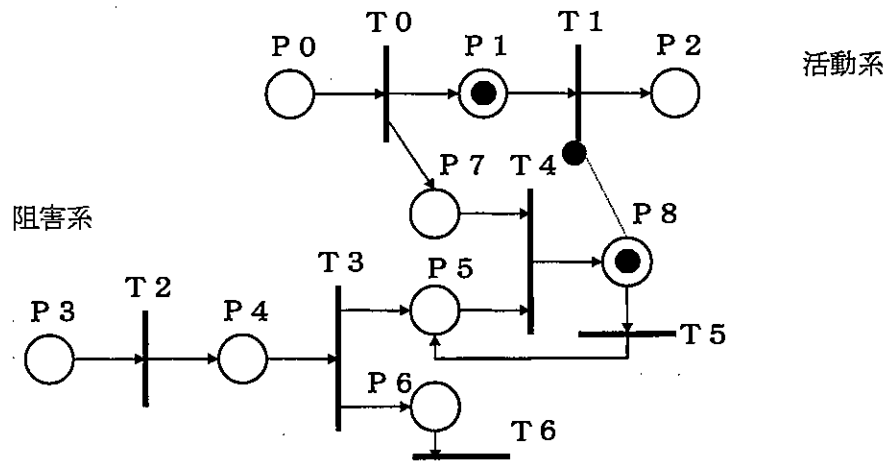


図 4-11(1) 制約型阻害ネット(非阻害時)

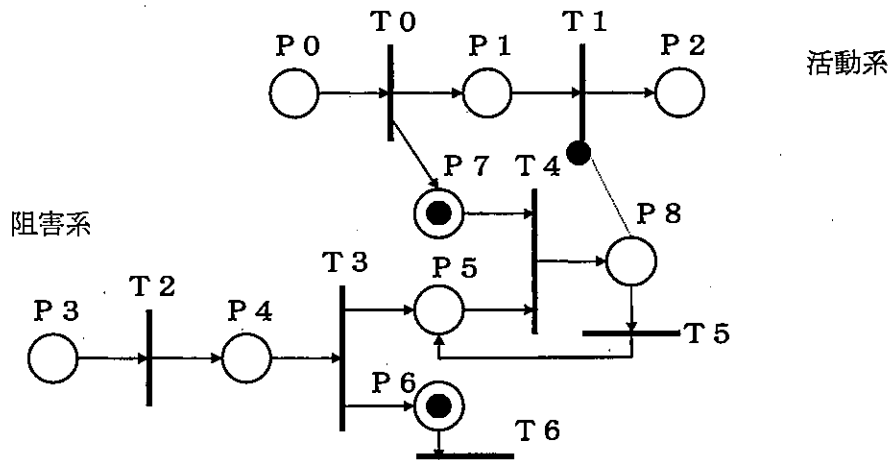


図 4-11(2) 制約型阻害ネット(非阻害時)

アークが伸ばされており、P8 に設定されたタイマ(PT)分だけ、T1 の発火は遅延させられることになる。即ち、発火則の R2) が働き、T1 は、P8 上のトークンが PT 後にマーキング状態となり、T5 を発火させて P5 へと移動するまでは発火しない。また、T5 の出力プレースを P5 としているのは、例えば、二台目の緊急車両にも同様の走行遅延が発生することに対応する工夫である。

一方、図 4-11 (2) は、T2 での生成カラーが非阻害レベルのケースでのトークン配置である。P6 のプレース上のトークンは、T6 を発火させて消滅し、活動系には影響を与えないことになる。

次に、図 4-12(1)に、b) の活動切断型阻害要因の基本ペトリネットを示す。切断型では、阻害要因は意識的に解除されるまで継続する。そこで、基本的には制約型と同形のネットであるが、T5 のトランジションに対して入力プレースをもう一つ用意し、P8 のプレース上のトークンは、このもう一つの

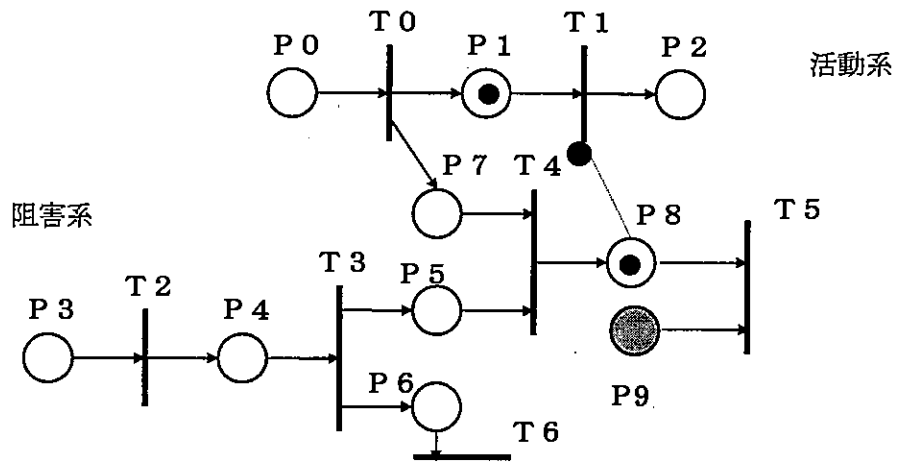


図 4-12(1) 活動切断型の障害ペトリネットモデル

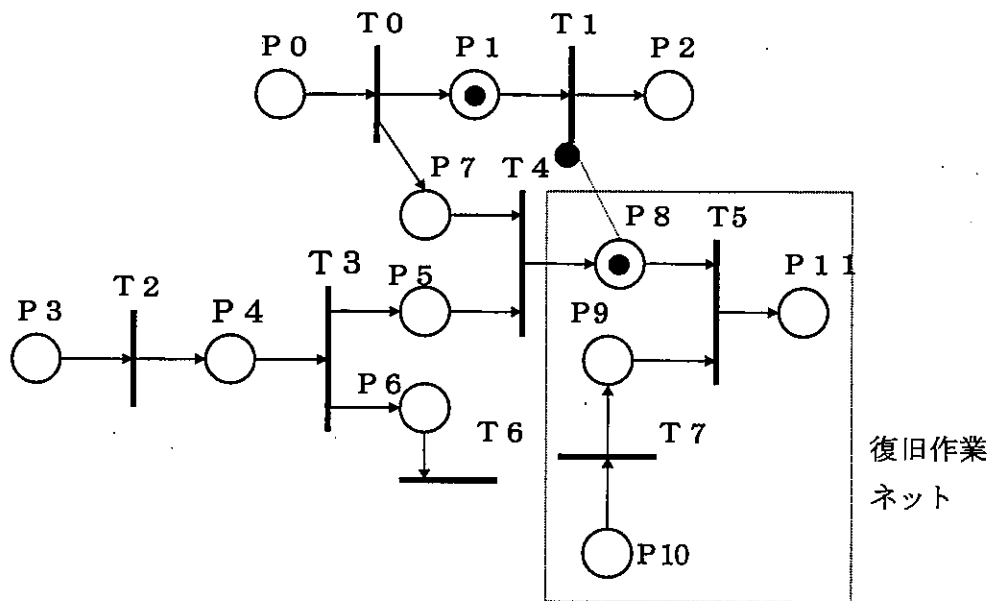


図 4-12(2) 切断型障害の解除ネット

入力プレース P9 にトークンがマーキングされない限り T5 の発火が生起せず、消滅することなく留まり続け、活動 T1 の遂行を抑止し続けるネットで表現している。即ち、意識的な復旧活動がなされ、それが完了し、P9 にトークンがマーキングされるまでは活動不全・切断状態に陥ることになる。

図 4-12(2) は、この意識的な復旧活動による障害の解除ネットを付加したものである。P10 にトークンが配置され、T7 が発火して、その結果 P9 に出力されたトークンがマーキング状態となって初めて T5 が発火可能となり、障害状態が解消され、活動が再開されることになる。

最後に、地震動に伴う障害要因への事前対策の進行状況の考慮りための工夫例を、図 4-12(3) に示す。即ち、新しいプレース P12 を追加し、例えば、T3 の抑止プレースとすれば、P12 にトークンが配置されているかどうかで、障害の発生とその後の推移が決まるネットとなる。

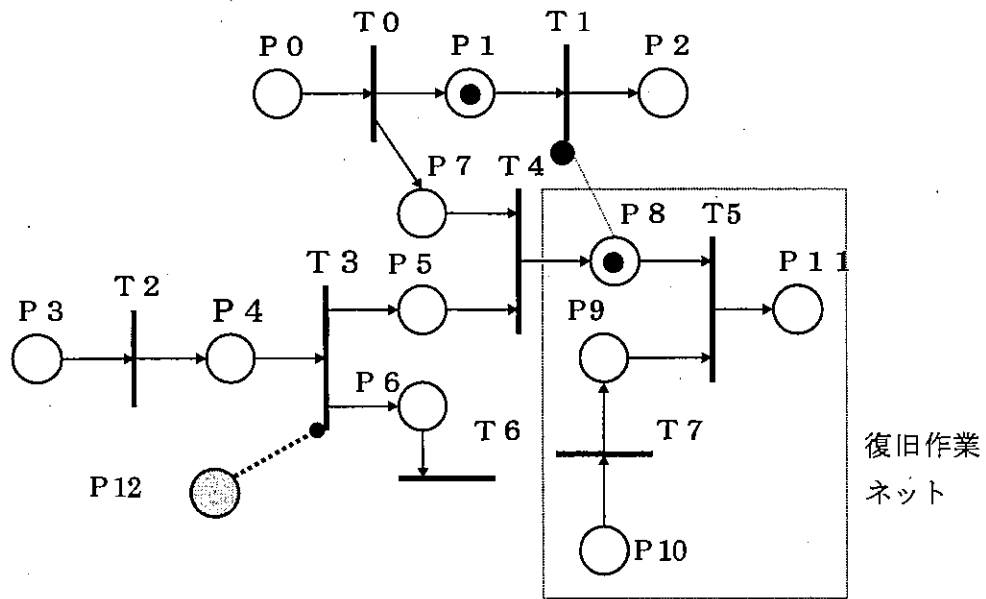


図 4-12 (3) 障害発生の事前対策の想定ネット

以上の基本ネットでは、地震動に伴う障害因を 2 レベルとしたが、2-2 で概説したペトリネットシミュレータでは、レベルの細分化による精緻化も容易に記述できる。即ち、生成カラー種類を複数個とし、出力先プレースも複数個用意して、レベルに応じた作用形態として活動系に抑止を掛ければよい。また、事前対策の考慮も、この精緻化に応じて対応レベルとの関係を組み入れたものとする事が可能となる。

4-3-3 ペトリネットシミュレータによる地震時消防防災システムの点検・見直し支援

(1) 通常時と地震時の比較シミュレーション実行による点検・見直し支援

図 4-7 に示した通常時シミュレーションと同じ現場に対して、地震時のマクロシミュレーションを実行するペトリネットは、障害要因の発生箇所と障害型を想定し、上述の基本障害ネットを結合化することで構築できる。図 4-13 にそのネット表現化の 1 例を示す。

図 4-13 では、図 4-7 の通常時と同一現場への出動を想定し、図に示すように、①通報時の制約型障害、②予告指令での切断型障害、③本指令での制約型障害、④・⑤ 3 区間・4 区間での制約型障害、⑥ 5 区間での切断型障害を想定し、図 4-11 と図 4-12 の部分ネットを結合化している。

同時多発性火災に伴う課題は、いま保留するとして、ここでは、同一現場への緊急車両の出動・走行・消火活動に関して、通常時と地震時の機能性を点検する。通常時の緊急車両の出動・走行・消火活動については、図 4-7 に示すペトリネットに記載してある。そして、地震時の記載は、このネットに、地震動に伴う活動障害要因を想定し、それらの記載部分ネットを結合化することで、図 4-13 に示す形で構成できるとした。

2-2 で述べたように、ペトリネットシミュレータでは、これらのネットを視覚的な出力画面として構築することで、いずれもプログラム変更なしでシミュレーション実行が可能となる。通常時のシミュレーション条件とその結果については、4-2-2 で述べた。ここでの地震時シミュレーションでは、

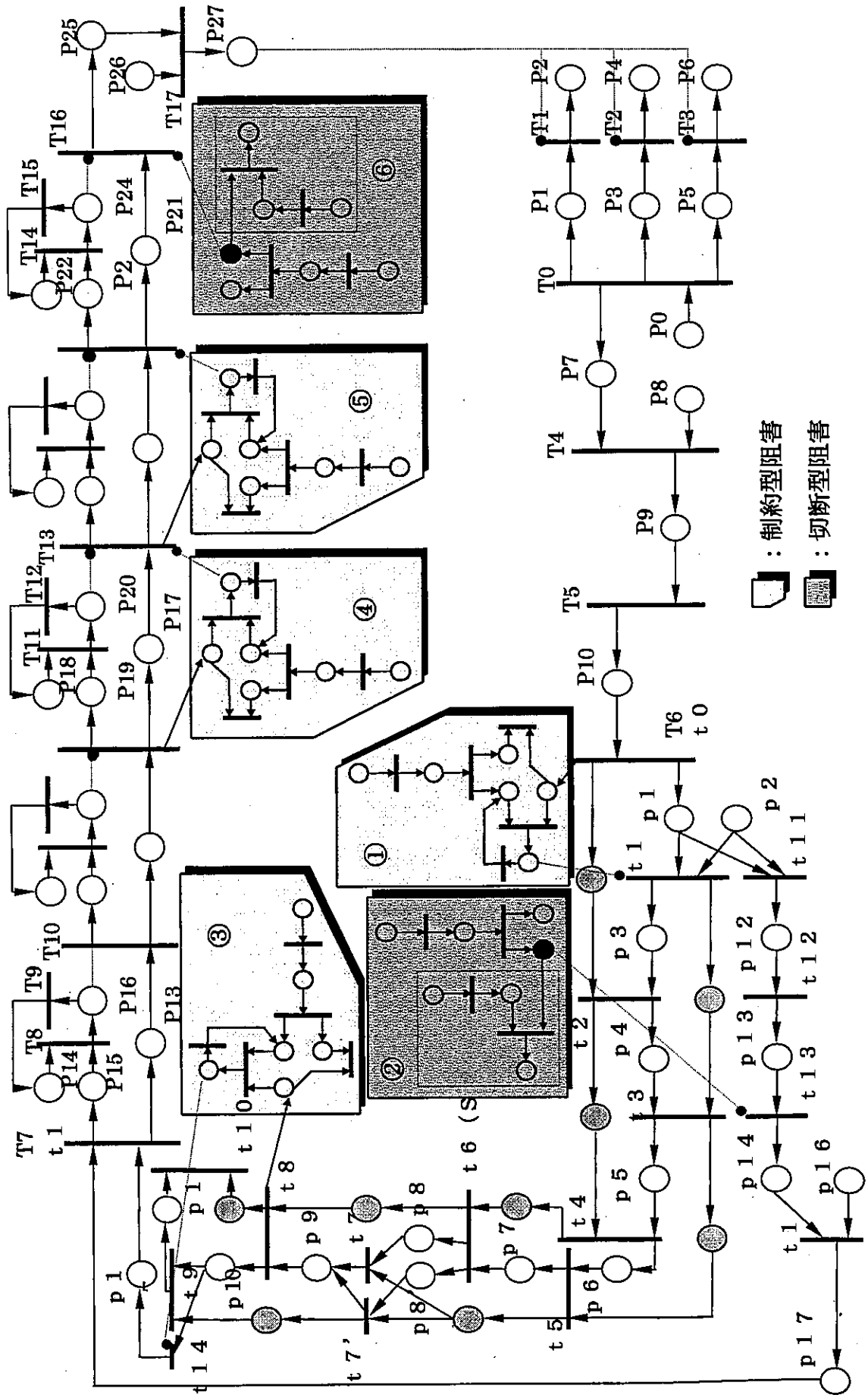


図4-13 地震時消防防災システムのマクロペトロリネット

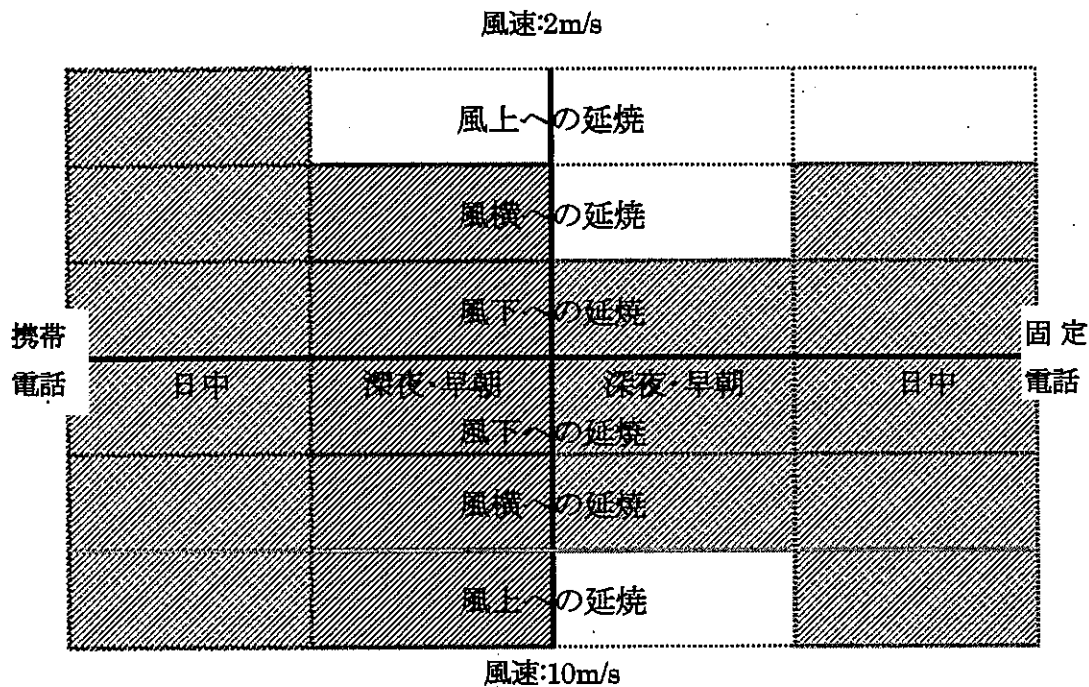


図 4-14 地震時消防防災システムのマクロシミュレーション結果

まず、切断型阻害は発生しないとし、通常時の条件に、上述した①と、③～⑤の制約型の各阻害に対して、30, 20, 50, 100 秒の活動遅延を想定し、Sdata のプレースタイマ設定を行い、シミュレーションを実行した。その結果を図 4-14 に示す。

通常時では、風速が 10 m/s の日中火災で、携帯電話通報のケースでは風上側への延焼拡大が発生するという結果であったが、地震時では、日中火災に関しては、風速が 2 m/s で、固定電話通報のときに風上側のみの延焼阻止が可能という厳しい結果となった。早朝・深夜でも、地震時では、風速が 10 m/s では、固定電話通報のケースでも、風横方向への延焼拡大阻止が困難となる。風速が 2 m/s のケースでも完全な延焼拡大の阻止は困難となり、現地での初期消火と延焼阻止線による戦略的な消防活動計画の策定が重要となることが分かる。

(2) 背景画像上での実空間対応型ペトリネット構築による点検・見直し支援

上で実行したように、ペトリネットシミュレータによる防災計画の点検・見直し支援の最大の特徴は、ペトリネットの特徴であるネットの共通構造性に由来するネット間の結合性を活用し、各自の問題認識を組み入れ、それを即時に視覚型シミュレーション実行に移し、容易に確認することが可能で、それを梃子にして、拡張化や精緻化を議論し、さらなる点検・見直し支援が可能となる点にある。もう一点は、第 2 章で基本ソフトウェアに付加し”背景画の挿入”のメニューを活用して、実空間との対応性の下での点検・見直し支援が可能となるところにある。

ここで、この型の支援例を示すために、2-3 で述べた背景画面像上でのペトリネット構築手順を再述する。図 4-15(1)は、「背景画の挿入」をサブメニューに含む拡張されたメニュー画面である。背景画像としては、ビットマップ形式であれば挿入可能であり、デジタル地図やスキャナーで取り込んだ図面が使用できる。

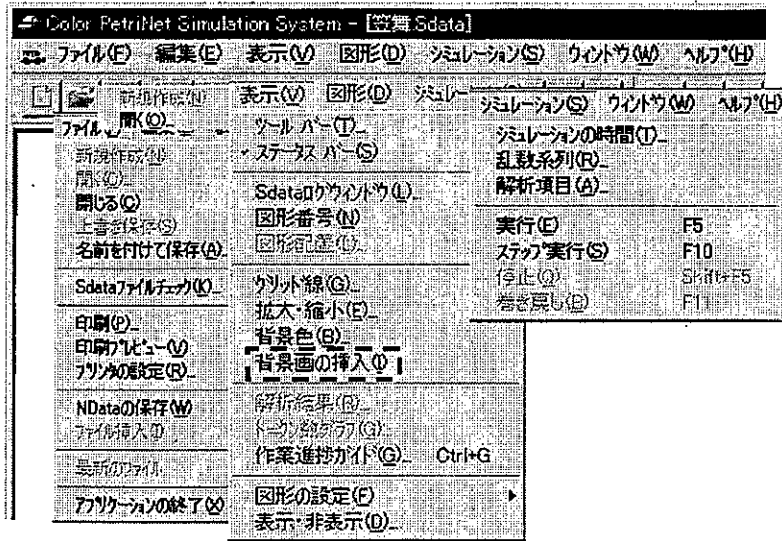
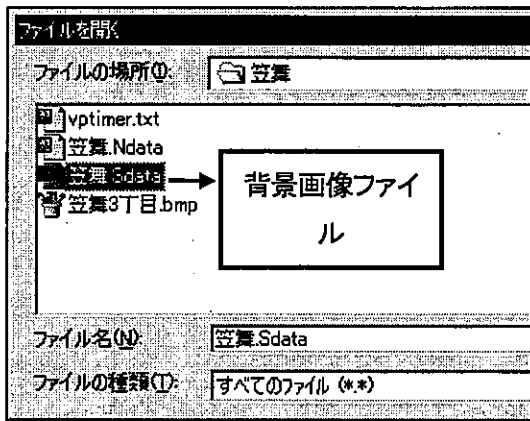
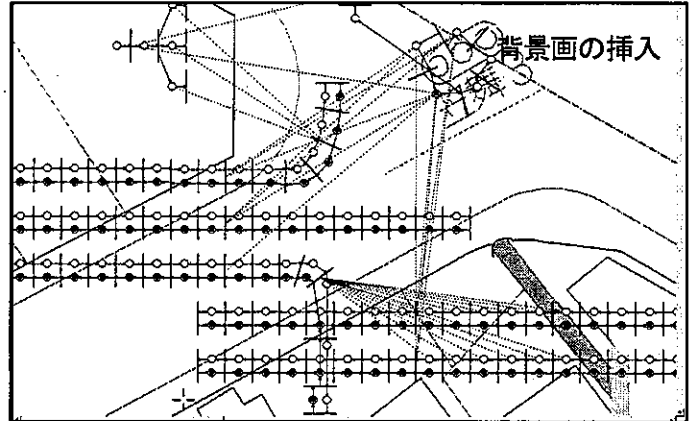


図 4-15(1) 拡張メニュー画面



(2) ペトリネットのファイルフォルダ



(3) 背景画上へのネット表示

図 4-15 背景画の挿入操作

まず、図 4-15(2)に、ネットモデルの Sdata ファイルと、その背景画像ファイルのフォルダを示す。Ndata とあるのは、視覚出力画面として作成したネット図の座標データで、作成時に自動生成されるもので、Sdata と対で保存されている。そして、図 4-15(3)が、ペトリネットシミュレータのメニューの”ファイル”によって、まず、このフォルダから Sdata を開き、ネット図を表示させて、次に、“背景画の挿入”のサブメニューによって、背景画像ファイルを指定することによって、背景画像をネット図の背景画として挿入したものであった。

図 4-15(4)は、ネット図を実背景空間との対応化の着眼点を探索し、ネット図を対応空間位置にドラッグし、再配置している操作画面である。こうして再構築したネット図の座標データは、やはり Ndata として自動更新されて保存される。この操作で、図 4-13 に示した地震時消防防災システムのマクロペトリネットを再構築したものが、図 4-16 である。

左上の防災センターから緊急車両が出動し、太矢線の街路に沿って、網掛けのプレース(O)を経由して、右方の火災現場に走行するマクロネットで、それに各阻害要因ネットが結合化されている。

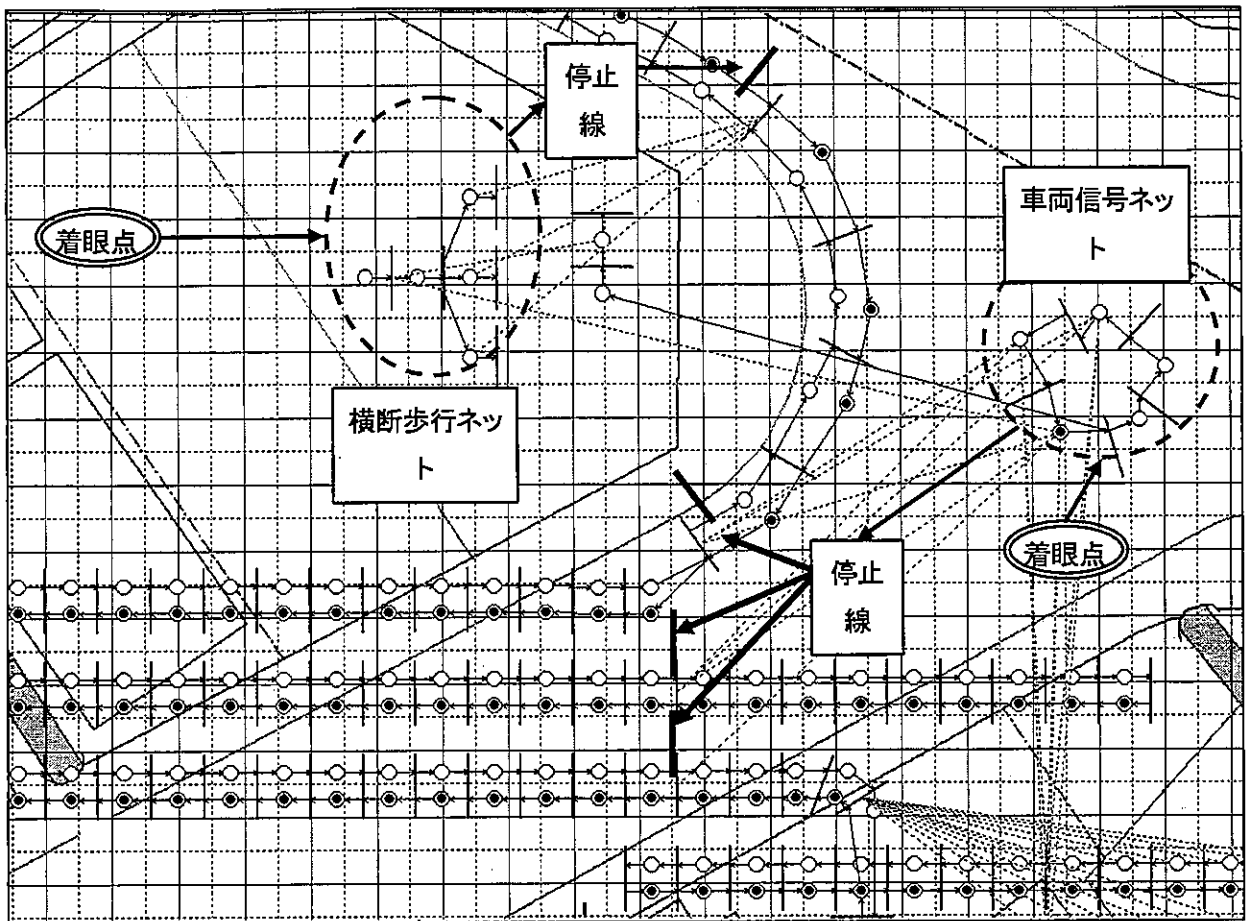


図 4-15(4) 構築ネットの空間対応化操作画面

まず、マクロとは街区を一つのブレースで近似表現するものであることが誰の目にも明らかとなるだろう。しかも、経路は直線ではなくって、直角に曲がる部分があることも分かる。緊急車両のサイズや走行特性が、このような空間特性にどのように適応し、走行するとしているのかというミクロな視点が出てくる。また、一般車の緊急車両の近接時の行動の反映生も疑問となる。これらに答える用意を行えるのかが問われるだろう。われわれは、緊急車両走行のこれら要因を考慮したミクロペトリネットは、バス・一般車混在流のペトリネットをベースに構築可能と考えている。

次に、この表示法によって、5区間目に想定されている切断型阻害が、河川に架かる橋梁に対して想定されたものであることも、一目瞭然となる。背景画像のもつ直裁的な情報は、防災計画の点検・見直し作業においては、重要な役割を担うと考えている。ペトリネットシミュレータによる支援法は、この背景画像上でのネット構築性の獲得で、点検事項の提示性、それらかなりの記述性、そして、その即時実行性で、十分期待に応えられるだろうと考えている。

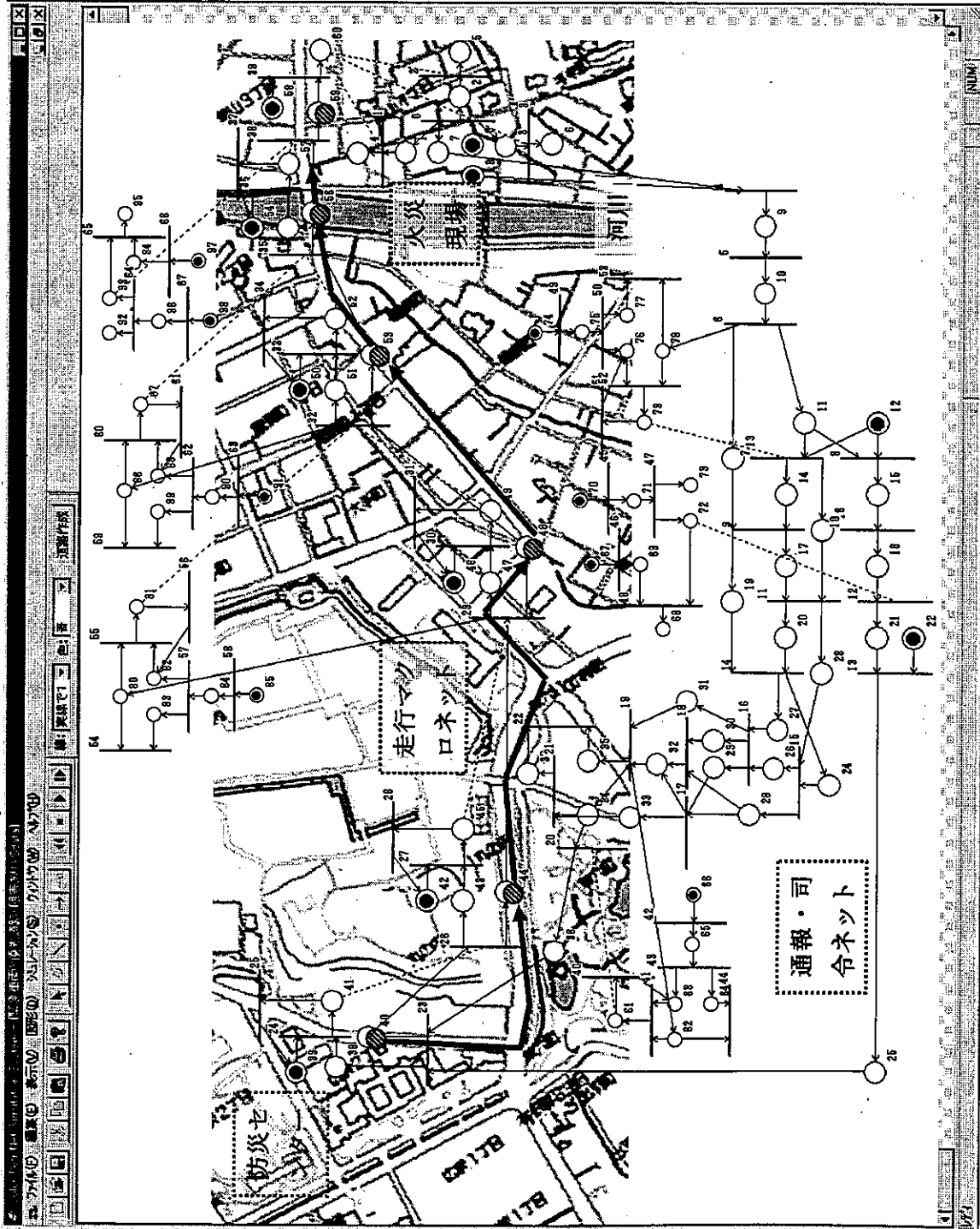


図 4-16 背景画上での地震時消防防災システムのマクロペトリネット

4-4 建物内避難計画シナリオシミュレーションのマイクロペトリネット開発

4-4-1 計画シナリオの対象空間とペトリネット記述の基本部分

本節では、建物内火災に伴う避難計画シナリオを対象に、そのペトリネットシミュレーションを試みる。まず、ここで取り上げる避難計画シナリオの対象空間を図 4-17 に示す。これは、3階建のコンクリート建物の2階部分の図面で、この階の避難を主と、それに3階からの避難者が合流する形のペトリネット表現を行う。

図に示すように、通路を挟んだ両側に部屋が並んでいる。まず、これらの各部屋から通路を使って避難するとする。次に、図に示すように、2箇所に階段があり、避難人は部屋を出て、これらの階段部へと進み、そこを通過して屋外へと避難するものとする。これらの階段には、防火シャッターがあり、煙感知器によって作動する。シャッターが開いているときには、階段の踊り場へ直接移動できるが、シャッターが閉まると、図に示す狭い非常口を通過して階段の踊り場へ移動しなければならなくなる。

この避難空間でのシミュレーションネットの開発には、以下に示す3つの基本部分ネットの開発が必要となる：

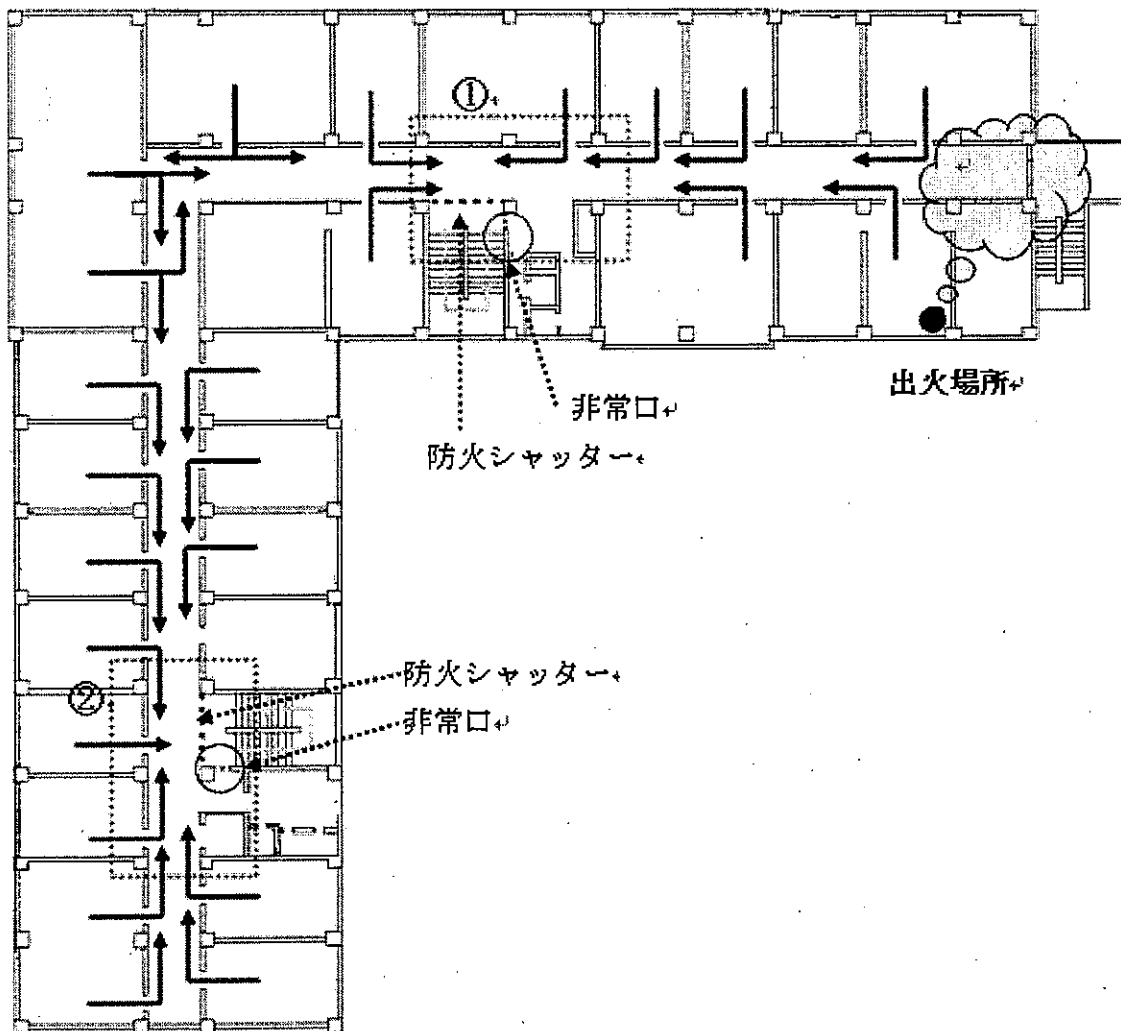


図 4-17 計画避難空間の概要

- ① 避難人は、限られた空間の占有化を争う。従って、まず、避難空間を1人が専有する空間に分割し、その空間の移動と競合化の記述ネットの開発が必要となる。
- ② 防火シャッターの作動によって、避難の流れは大きく阻害される。この作動のための煙の拡散と滞留、シャッターの作動とそれに伴う避難流の変化の記述ネットが、次に必要となる。
- ③ 避難人は、火災の発生を契機にして、居室から出て、階段部へ向かう。この部屋から通路部に出るに際してのルートを選定に関する記述ネットも必要となる。

これらのネット構築に際しては、まず、①については、空間の単一人による占有を前提に、秩序ある行動を想定する。また、②と③については、出火場所を前提として記述する。図 4-17 では、右端の部屋を出火場所としている。この制約性は、第2章で述べ、第3章で実証したペトリネットシミュレタの特徴、即ち、ネットの共通な構造的に由来する切断と結合性を活用することによって、十分に対応可能なものである。具体的には、4-4-3 で出火場所の変更に対応するペトリネット構成と、そのシミュレーション実行を行う。

4-4-2 避難計画シナリオの基本部分ペトリネットの構築

(1) 空間移動と競合部の基本ペトリネット

上述したように、ここでは、単一人による占有を前提に、避難計画空間を分割し、その間の移動をペトリネット表現する。まず、その基本ネットを、図 4-18 に示す。各プレースが、単一人による占有空間であり、各トランジションが、避難先への空間の移動を意味する。図 4-18(1)は、そのプレースとトランジション間に抑止アークを加えたネットとなっている。

このペトリネットが、単一人による占有を前提にするものであることは、トランジションの発火則を適用し、このネットを駆動することにより、誰にでも容易に理解することができる。発火則をここで再掲して置く：

当該トランジションについて、

- R1) 全ての入力プレースにトークンが配置されており、いずれもがマーキング状態にあり、かつ、
 - R2) 全ての抑止プレースにトークンが配置されていないとき、
- そのときに限り、トランジションは発火し、
- R3) 全ての入力プレースからトークンを一個ずつ消去し、

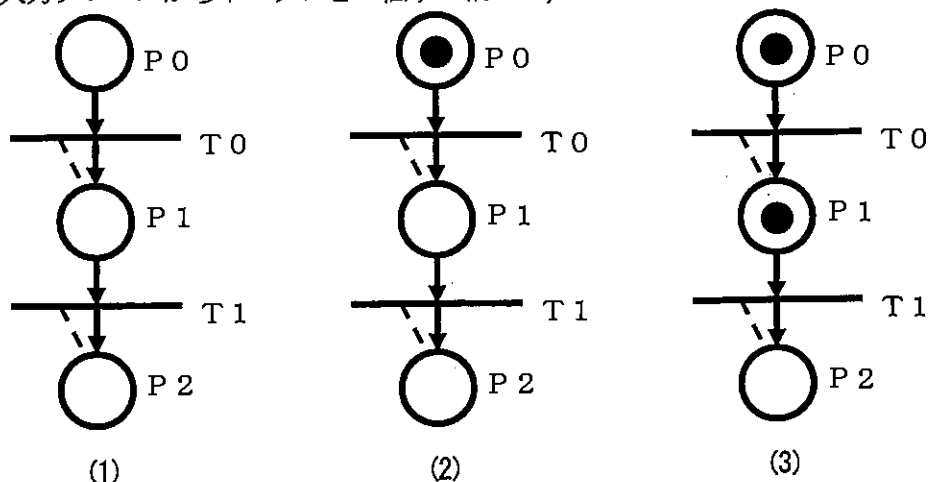


図 4-18 空間占有と移動ネット

R4) 全ての出力プレースにトークンを一個ずつ配置する
 というものであった。

図 4-18(2)では、トランジション T0 が上述の R1) と R2) を満たし、従って、P0 上のトークン(避難人)は、P1 に移動する。図 4-18(3)では、トランジション T0 の抑止プレースである P1 上にトークンがあり、上述の R2) を満たさず、従って、T0 は発火せず、P0 上の避難人は、P1 上の避難人が先に進むまでは、その場に留まることが分かる。

次に、空間を巡る競合状態でのネットを図 4-19 に示す。即ち、1つの空間に複数の人が移動しようとするケースである。上述したように、このようなケースでも人々は秩序を維持した行動をするとしている。図 4-19(1)では、空間 P1 にいる人と、空間 P3 にいる人とが、共に空間 P2 に移動章としている状況を示している。このネットでは、秩序の維持を抑止アークによる優先権の設定によって保証しようとしている。このネット状態で、上述のトランジションの発火則を適用すれば、T1 が P3 上のトークンで抑止されているために、T2 側が発火し、R3) と R4) の処理によって、図 4-19(2) に示すトークンの配置状態へと推移することになる。即ち、ここでの抑止関係の設定は、右方からの避難人に優先を認めるというルールとなっている。もちろんこの変更が容易に行えることも、この方式では明白であるだろう。

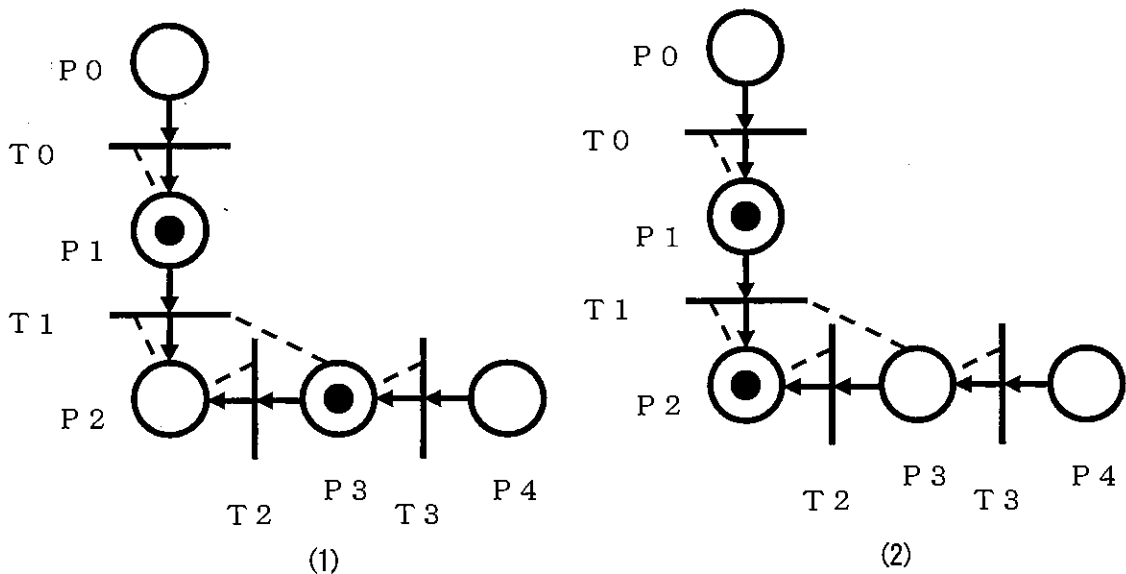


図 4-19 空間占有の競合化と優先順位設定

図 4-20(1)と(2)とは、このような競合が最も問題となる階段部での優先権の設定例を示したものである。まず、図 4-20(1)は、防火シャッターが開いているときの階段部での競合状況を示している。点線の矢線は、3階からの避難人の流れであり、細実矢線は、通路の両端からの避難人の流れを示している。これらの人々が、階段を通ろうとして、網掛け部の空間の占有を巡って競合化が発生する。そこで、ここでは、矢線の種類によって優先性を想定するとしている。即ち、太実矢線、細実矢線、点線矢線の順序によるモデル化を行う。

図 4-20(2)は、防火シャッターが閉じたときの競合状況で、狭隘な非常口手前の空間で発生する。ここでも、上と同様に、矢線の種類による優先性を想定する。この一部のペトリネット表現を、図 4-21(1)と(2)に示す。

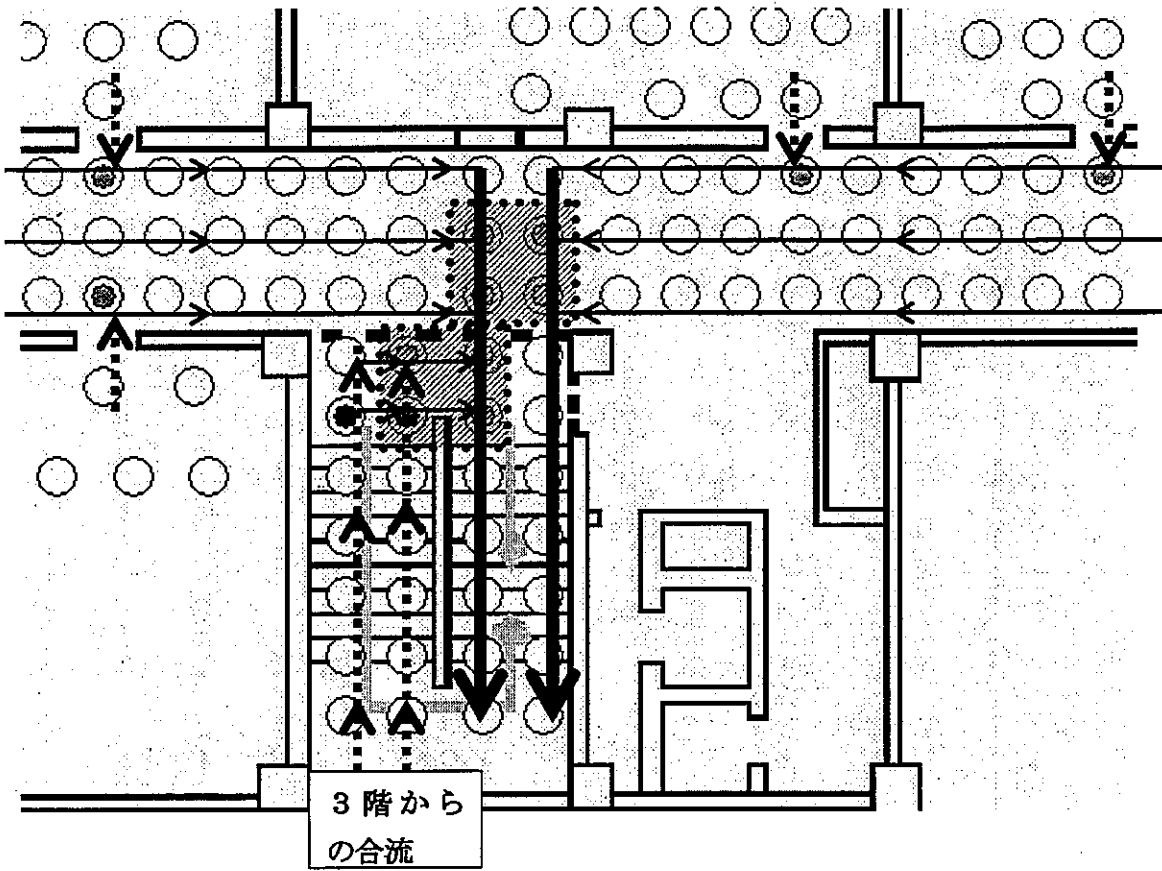


図 4-20 (1) 防火シャッター開時の優先移動方向

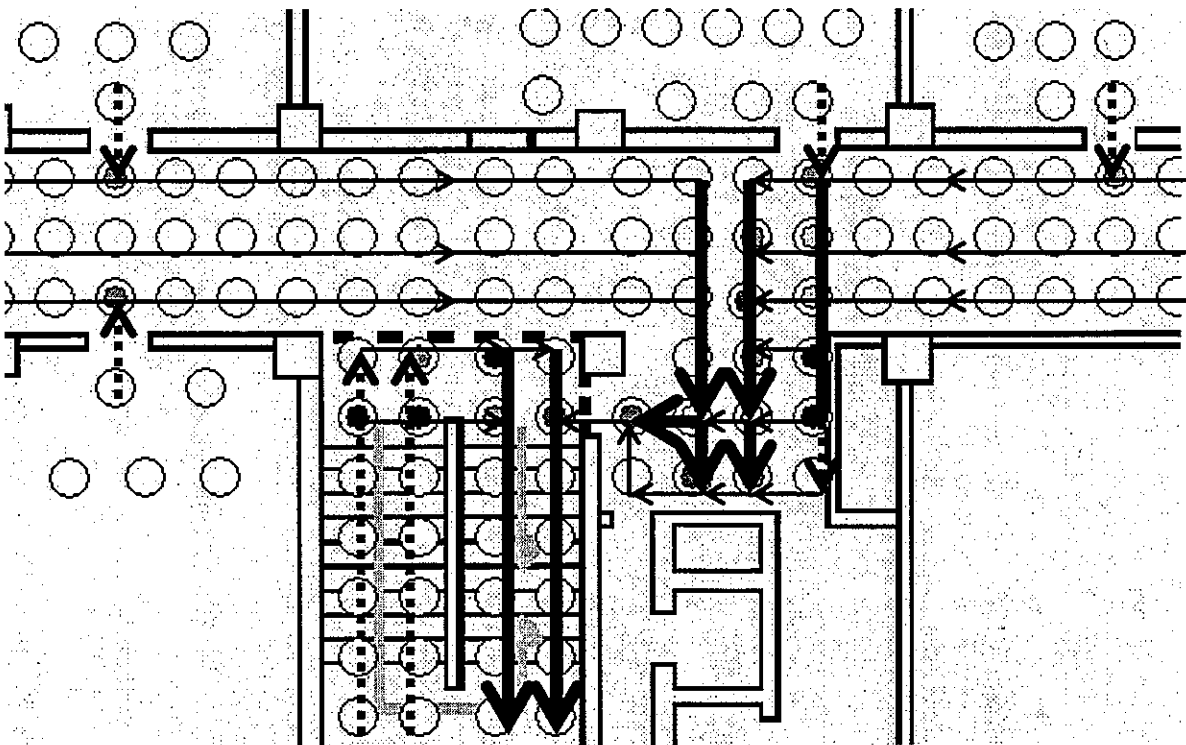


図 4-20 (2) 防火シャッター閉時の優先移動方向

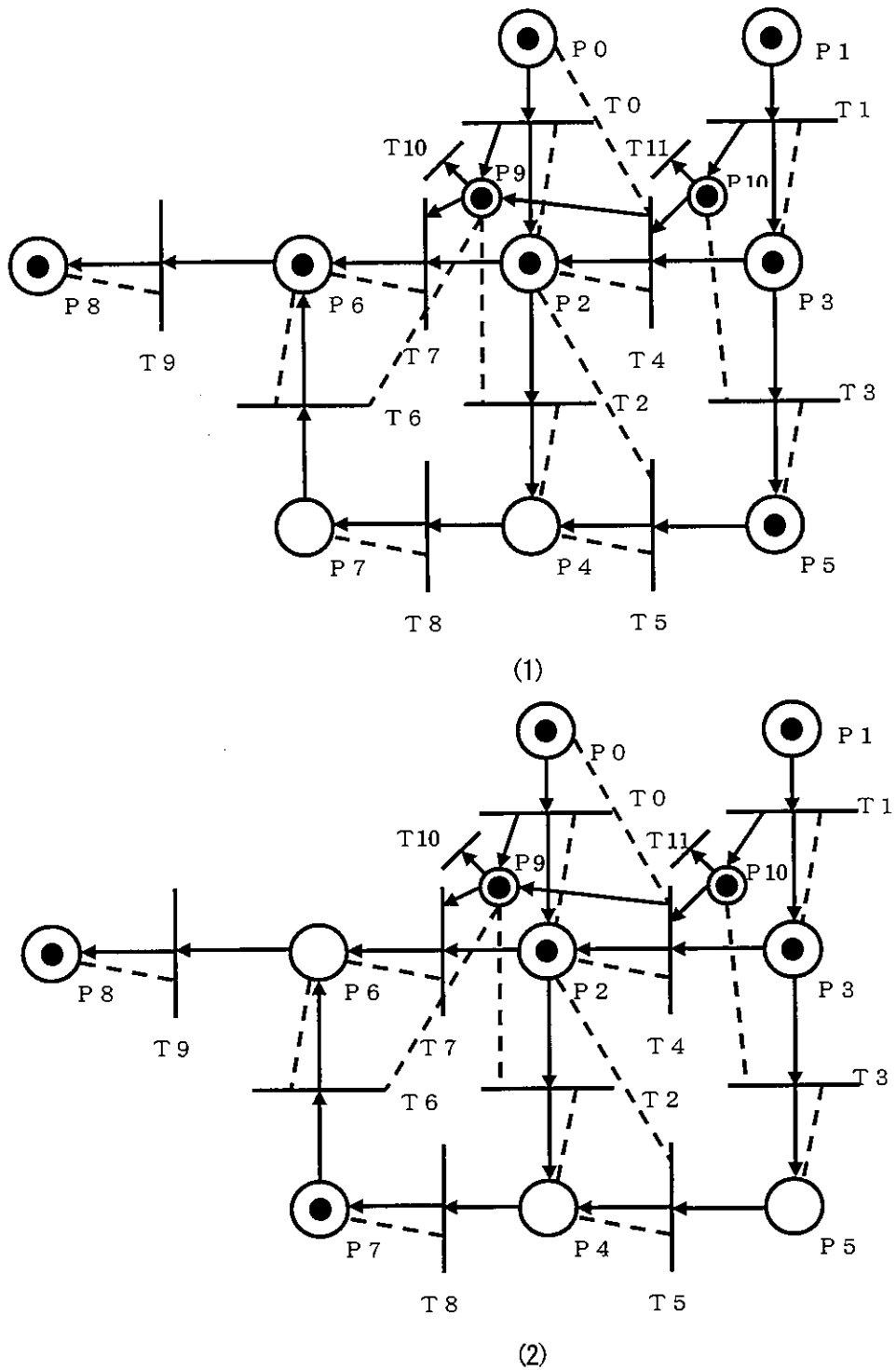


図 4-21 非常口近辺での空間占有の優先設定

図 4-21(1)のネット図では、P2 上のトークン(避難人)と、P5 上のトークン(避難人)が、空間 P4 への移動を巡って競合状態にある。このケースについては、図 4-20(2)では、上からの流れに優先を与えているとしており、このことが、図 4-21(1)のネットでは P2 から T5 への抑止として組み入れられている。そして、その結果、P2 上の避難人がこの空間に進めることも容易に確認できるだろう。

図 4-21(2)のネット図では、P2 上の人と P7 上の人、が、空間 P6 への移動を巡って競合状態にある。これについても、図 4-20(2)から P2 上の人に優先が与えられている。この抑止については、P2 上への

トークンの配置と同時に配置される補助プレース P9 を介して設定されている。これは、P2 への優先権が強く、T7 と T2 の同時発火に対応するもので、そのようなときには P2 上の人、当然非常口に向かうとして、T7 の方を発火させる工夫によることを付記して置く。

(2) 煙の拡散と防火シャッターの作動部の基本ペトリネット

次に、火災発生に伴う煙の拡散と、煙を感知して作動する防火シャッターに係わる部分の基本ペトリネットを考える。建物内火災では、煙については拡散と滞留の記述が必要となる。図 4-22(1)は、この記述ネットである。まず、図解的には、(1)で述べた空間占有と移動のペトリネットでは、“○”の形のプレースを使用したが、煙の滞留を示すのに“□”の形のプレースを用いている。

P0 が火災の発生状態を示すプレースで、T0、T1、T2 とトランジションを発火させて、煙の拡散が進行する。煙の伝播速度は、P1、P3、P5 の“○”のプレースにプレースタイマを設定することで組み込むことができる。図 4-22(1)のネットでは、これらのトランジションの発火と共に、P2、P4、P6 の“□”の形のプレースにもトークンが出力される。そして、これらのプレースには入力となるトランジションがなく、トークンはそこに留まることとなり、煙の滞留を表示するものとなる。なお、視覚的なシミュレーション出力画面では、“□”の形のプレースをドラッグして“○”のプレースに重ねることで、煙の滞留状況のみを表示する形態を採用する。

図 4-22(2)は、煙の拡散により、煙感知器が作動して、防火シャッターが閉の状態に推移する記述ネットである。P1 が煙の感知状態を示し、T1 が、それに伴う防火シャッターの作動開始に当たる。P2 には 3 秒のプレースタイマを設定してある。P3 は、防火シャッターの開の状態を示すプレースであり、ここにトークンが初期配置されている。従って、P2 上のトークンが 3 秒後にマーキング状態となると、T2 が発火し、P3 と P2 上のトークンが消えて、防火シャッターの閉の状態を示すプレース、P4 上にトークンが配置されるネットとなっている。

最後に、防火シャッターの作動に伴う避難ルートの変更を記述するネットを、図 4-23 に示す。このネットは、左方に、上述の図 4-22 の防火シャッターの作動部分ネットを配置し、右上に、左右方向への

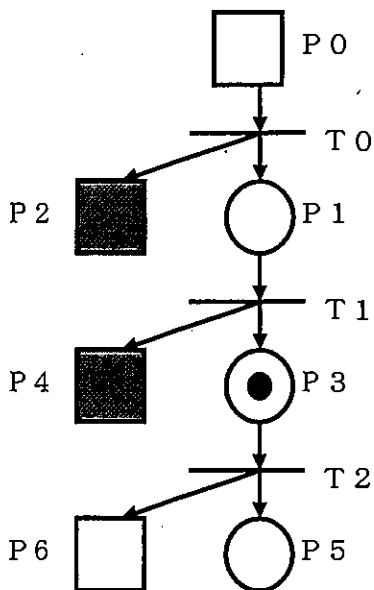


図 4-22(1) 煙の拡散と滞留ネット

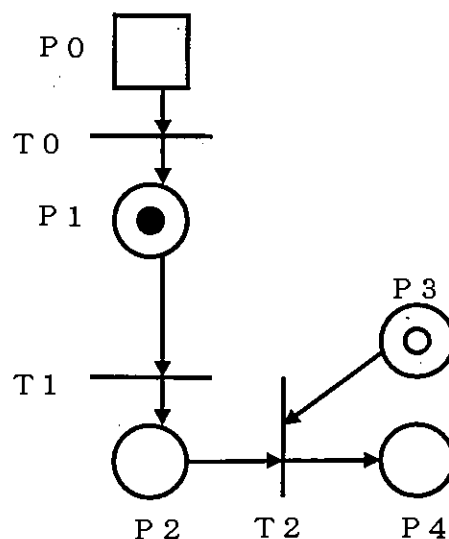
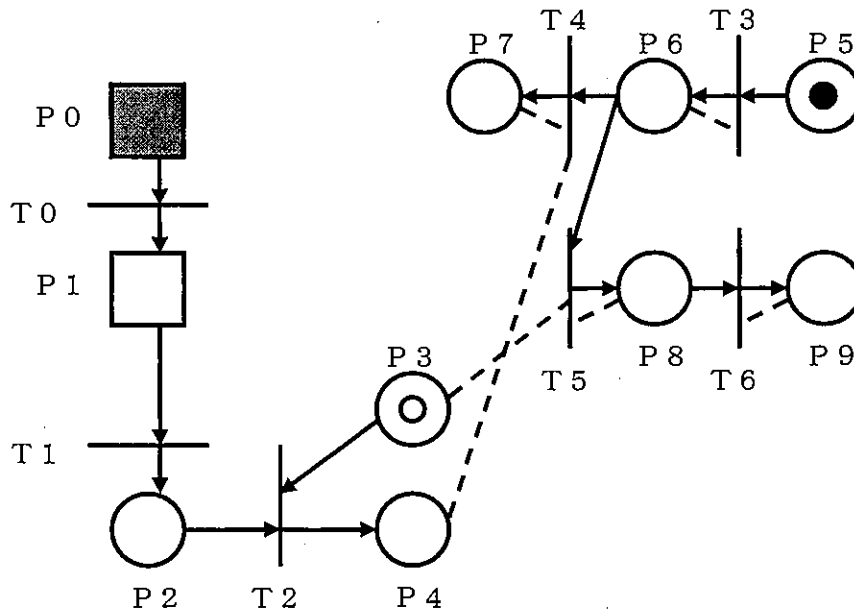
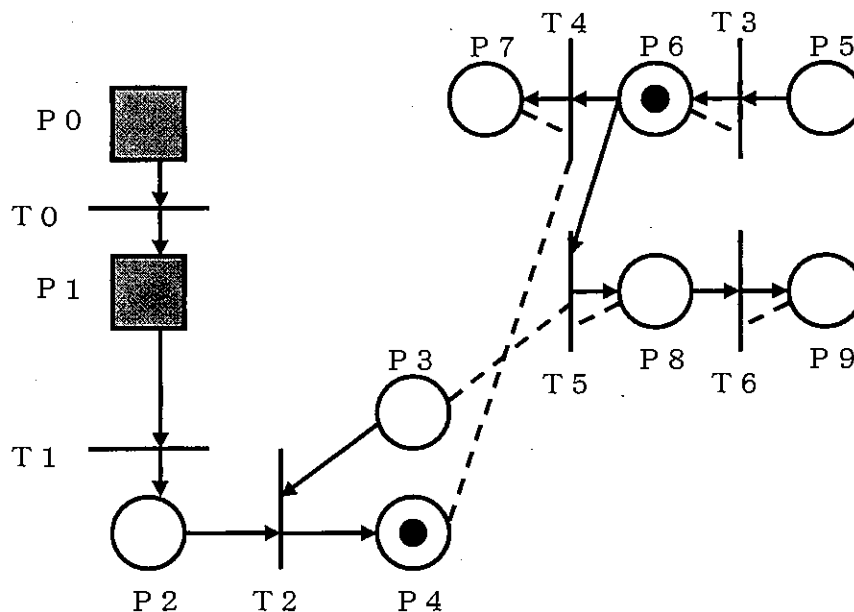


図 4-22(2) 煙感知と防火シャッター作動

空間移動の部分ネットを配置し、抑止関係で結合化して構成したものである。まず、図 4-23(1)は、P3 上にトークンがあり、防火シャッターが“開の状態”のケースを示している。このときには、避難は、当初通りに左方向に向かう。即ち、図 4-23(1)に示すように、T3、T4 側が発火し、T5、T6 の方には向かわない。このことは、図 4-23(1)の抑止関係を見れば分かる。次に、図 4-23(2)は、P4 上にトークンがあり、防火シャッターが“閉の状態”のケースに当たる。このときには、避難は、当初の左方向とは逆の右に向かう。即ち、図 4-23(2)に示すように、T4 の発火は抑止されて、T5、T6 を発火させる方向に切り替わることになる。このことも、図 4-23(2)の抑止関係を見れば分かる。



(1) 防火シャッターの開状態



(2) 防火シャッターの閉状態

図 4-23 防火シャッターの作動によるルート変更ネット

(3) 避難ルートの決定部の基本ペトリネット

避難は、火災報知器の警報音を契機にして、各部屋から開始される。図 4-17 に示したように、部屋は通路の両側にあり、手前の空間からなるルートと、中央の空間からなるルートを使用するとして、モデル化する。

まず、部屋からこのいずれかのルートの空間位置に出てくるネットを、図 4-24(1)(2)に示す。このネット図の上部は出口に向かう移動で、ここでは単純に図 4-18 の移動ネットを使用している。そして、その下に手前ルートの移動ネットと、中央ルートの移動ネットを配してある。部屋からの避難人は、P6 から手前の空間 P0 か、中央の空間 P2 に出てくる。この記述ネットを、トランジション T4 と T5 を介して、これらの部分ネットを結合化することで構成している。

図 4-24(1)は、まず、T4 が発火して、P6 から手前の空間 P0 に 1 人が移動し、その後さらに部屋を出ようとして並んでいる状態を示している。しかし、P0 から T4 には抑止が働いており、手前の空間 P0 には出られないことが分かる。一方、T5 の方は、P4 上のトークンが T4 の発火に伴い消滅するために、抑止がはずれ、発火可能となり、こちらを発火させて、中央の空間 P2 に移動することができることになる。

図 4-24(2)は、避難がもう少し進み、手前ルートに 2 人、中央ルートに 1 人が出てきており、さらに、次の人が部屋を出ようとしている状態である。このネット状態では、T5 の発火と共に一度消滅した P5 上のトークンが、T2 の発火と共に再度配置されることで、T5 の発火条件を整えることとなり、次の人は、この状況で中央の空間 P2 に移動することができることが分かる。

図 4-24 のペトリネット表現では、部屋を出てから向かう方向はルートの移動ネットで決められていた。この状態は、避難人全員に出火場所情報が完全に入手されている場合に成立する。しかし、広い建物内では、避難人が判断し、避難方向を決める必要が出てくる。そこで、その判断を記述する基本ペトリネットを導入する。

図 4-25(1)が、その基本ネットの 1 つである。ここでは、T1 をカラー生成トランジションとして、3 つの属性、a)左方向へ、b)右方向へ、c)躊躇状態を生成させ、そして、選択トランジション T2 によってそれぞれの属性に応じて、図 4-25(1)のプレース P3, P4, P5 に出力させるというネットとなっている。ちなみに、図 4-25(1)は、左方向へという判断がなされたことを示している。一方、図 4-25(2)は、躊躇状態にあることを示す。即ち、P5 上のトークンは、T5 を発火させて P1 に移り、再度 T1 を発火させて、避難方向の判断をすることになる。その結果また躊躇状態に陥る可能性もあり、人の判断による避難遅れを考慮することが可能となる。

図 4-26(1)と(2)は、このネットを部屋からの出口部に結合化したものである。図 4-26(1)で P6 にトークンが出力されれば、P1 上のトークンと合せて T1 の方が発火可能となり、P7 にトークンが出力されれば、逆の T2 の方が発火可能となり、避難は、ルートの移動ネットに示す方向に向かうことになる。

図 4-27(1)と(2)は、このネットに避難指示情報の提示の有無を追加し、指示情報がない場合は、図 4-26 と同様に左・右・躊躇の 3 状態に応じた形をとり、指示情報があれば、直ちにその指示方向を選択するネットとなっている。このことも、トランジションの発火則の適用で容易に確認できるだろう。

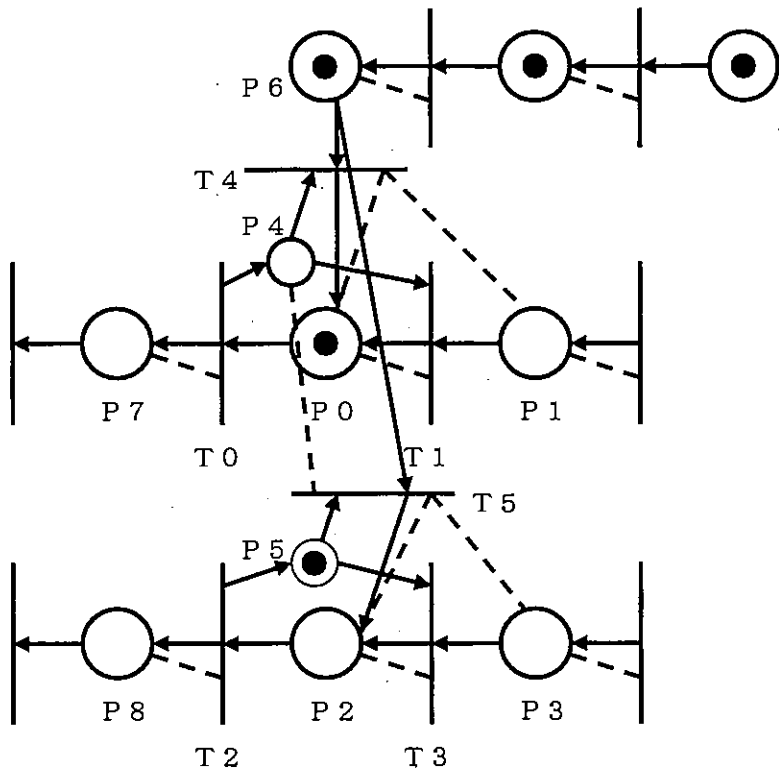


図 4-24(1) 出口からのルート決定ネット

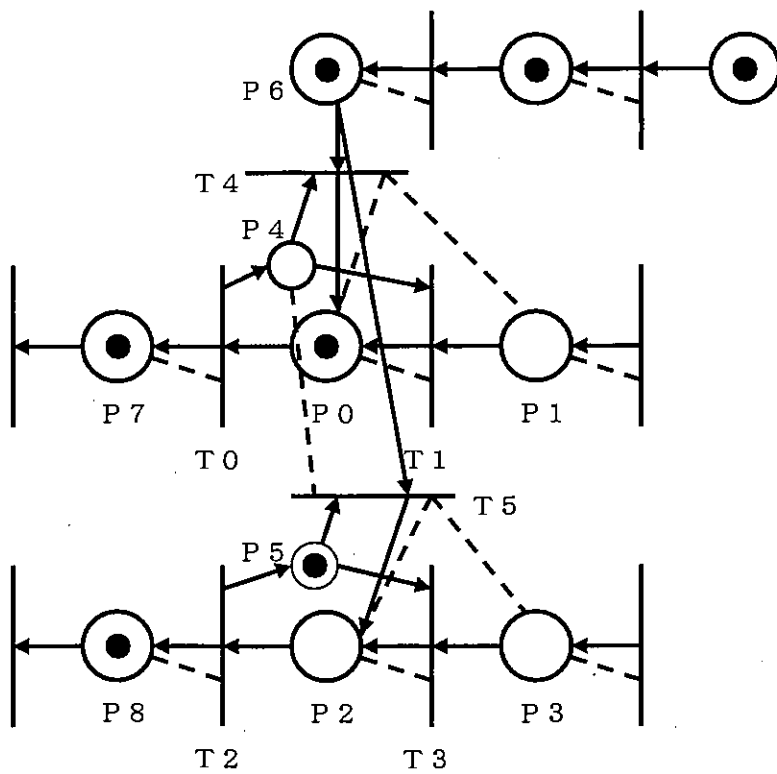


図 4-24(2) 出口からのルート決定ネット

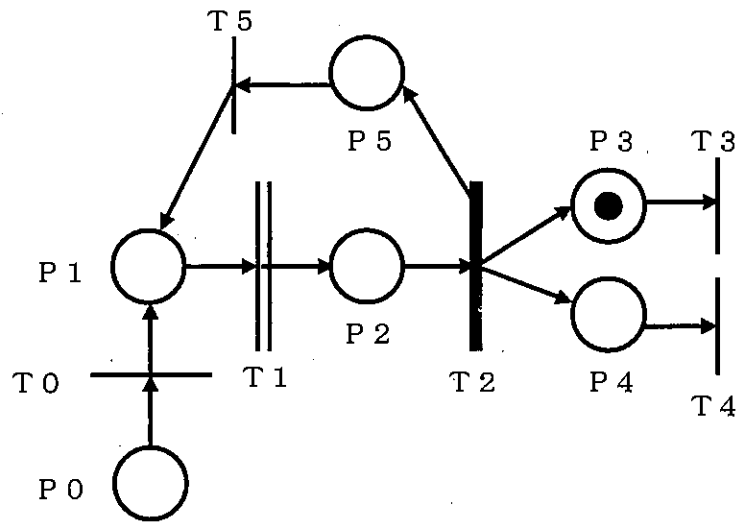


図 4-25(1) 判断ネット

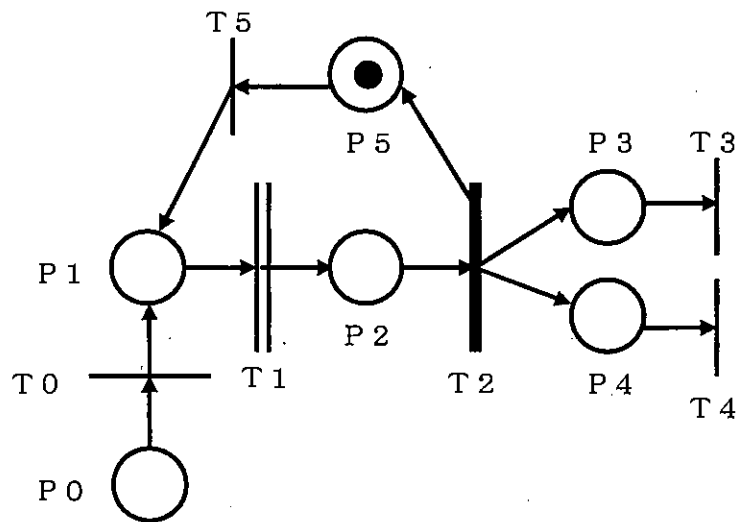


図 4-25(2) 判断ネット

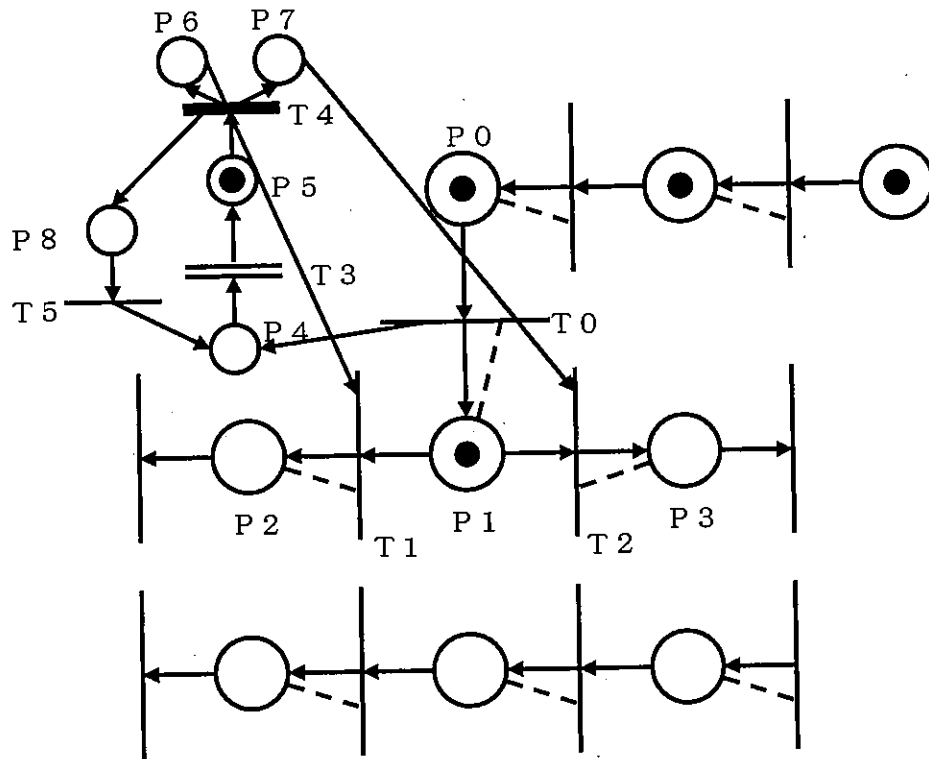


図 4-26(1) 判断ネット付の出口部ネット

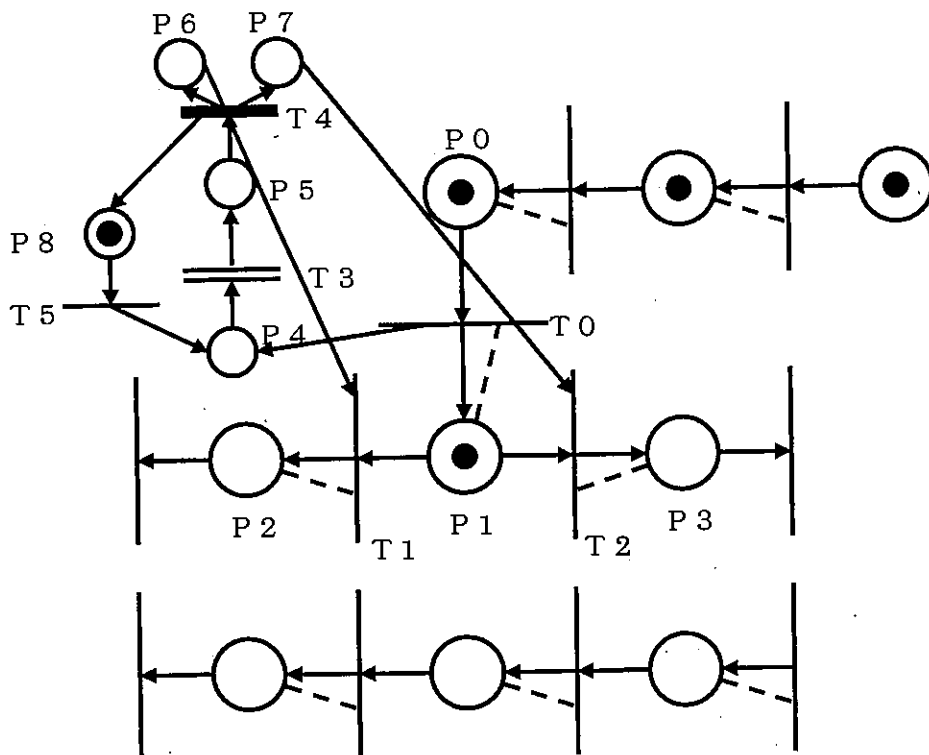


図 4-26(2) 判断ネット付の出口部ネット

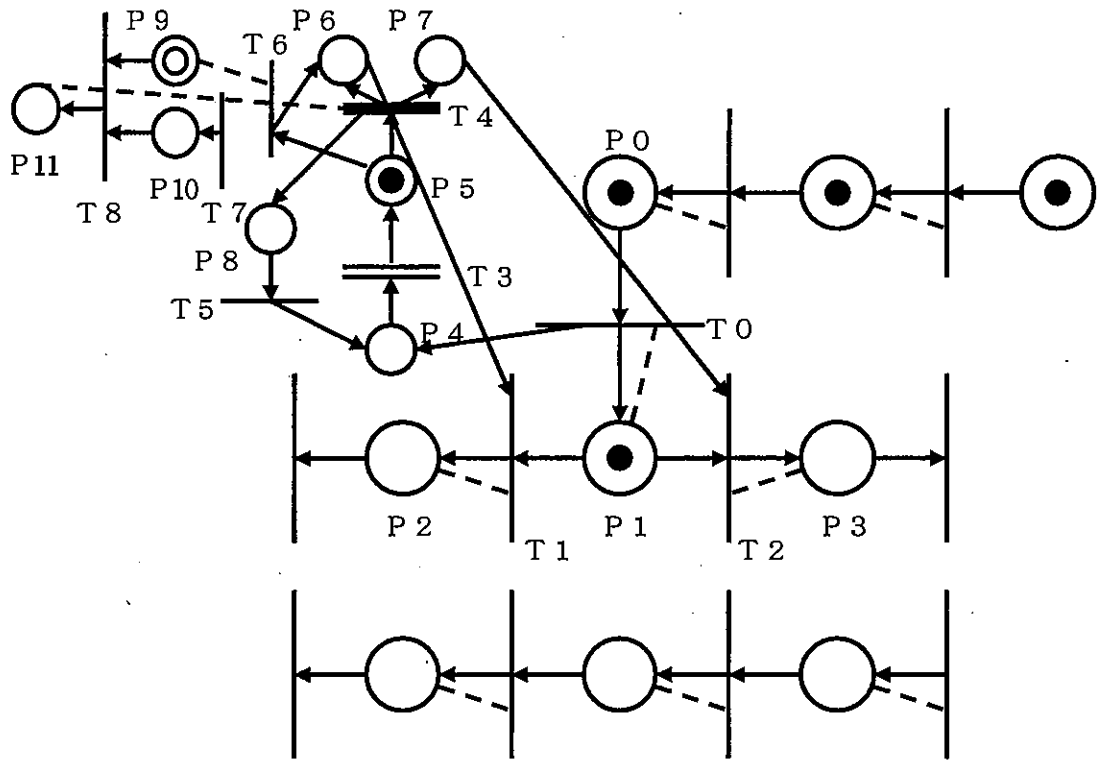


図 4-27(1) 指示情報の有無ネット(無)

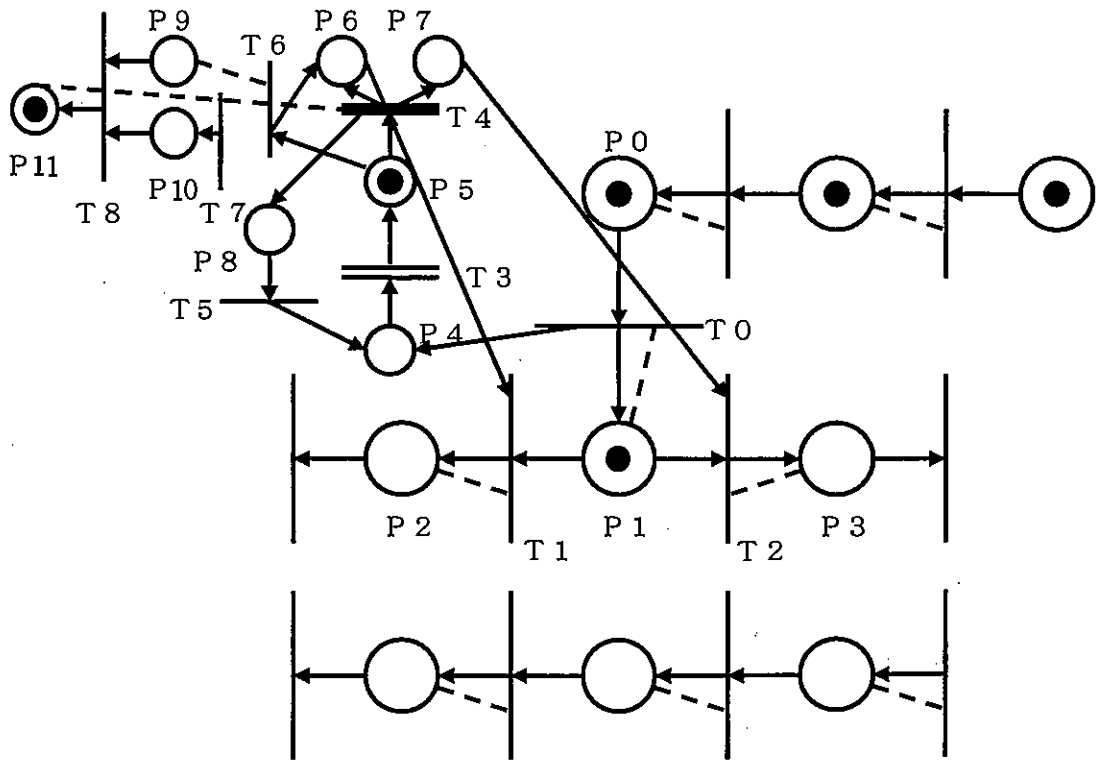


図 4-27(1) 指示情報の有無ネット(有)

4-4-3 避難ペトリネットシミュレーションの実行

(1) シミュレーションケースの設定とペトリネット表現

4-4-2 では、図 4-17 に示した対象空間における避難計画シナリオのシミュレーションに必要となる基本部分のペトリネットについて述べた。これらの基本部分ネットを、シミュレーションケースに応じて、図 4-17 の避難計画空間に配置し、結合化することで、即時シミュレーション実行が可能となるペトリネットを構築することができる。ここでは、以下の 3 ケースの避難シナリオのシミュレーションを行う：

S-1：①出火場所は図 4-17 に示す右端の室を想定する

②空間占有と移動は図 4-20 に示す形での優先を遵守する

③避難人は全員完全な指示情報を持ち、各室からの避難ルートは定まっている。

S-2：①と②は S-1 のケースと同じ

③各室からの避難ルートは、避難人の判断による

S-3：①出火場所は図 4-17 に示す中央階段の隣室を想定する

②と③は、S-2 のケースと同じ。

そして、煙の伝播速度は、0.5 m/s とし、避難速度は、通路部では 1.3 m/s、階段部では 0.8 m/s とし、プレースタイマに設定する。

まず、S-1 のケースのペトリネット表現を、図 4-28 に示す。このネットでは、上述のシナリオの設定により、各室からの出口部のネットは、図 4-24 に示す形のものとなり、これを通路の上下に配置している。また、図 4-28 は、Peri.exe のソフトウェアで視覚出力画面として構築したもので、1 人が専有する空間を示す“○”形のプレースと、出火と煙の滞留を示す“□”形のプレース等に焦点を当てて“表示”の操作を行い、トランジションやアークは全て“非表示”としたものである。

次に、S-2 のケースのペトリネット表現は、この図 4-28 に示すネットを基に、その出口部に、図 4-25 に示した判断ネットを、図 4-26 に示す形式で結合化させることで、展開的に構築することができる。図 4-29(1)は、この具体的な作業手順を示したものである。即ち、図 4-28 のネットを“全てを表示”の状態に戻して、その Sdata に判断ネットの挿入に伴うプレースとトランジションの追加数を加えて、“図形配置”のサブウィンドウを用いてそれらを追加していく。図 4-29(1)は、この手順で 1 つの出口への判断ネットの組み込みの完了図を示したものである。この繰り返しで、図 4-28 のネットを基に、漸進的に S-2 のケースのシステムネットが構築可能となる。

S-3 のケースのシステムネット構築では、出火場所との関係で煙の拡散方向の変更と、室との位置関係による避難ルートの方向の変更が必要となる空間が出てくる。これらについては、ネット図を“全てを表示”で画面表示し、それと同時に Sdata を表示させて、変更の必要となる部分の入出力関係を、ネット図表示で確認しながら修正することで実行することができる。この手法は、第 2 章のデータベース化においても使用している。

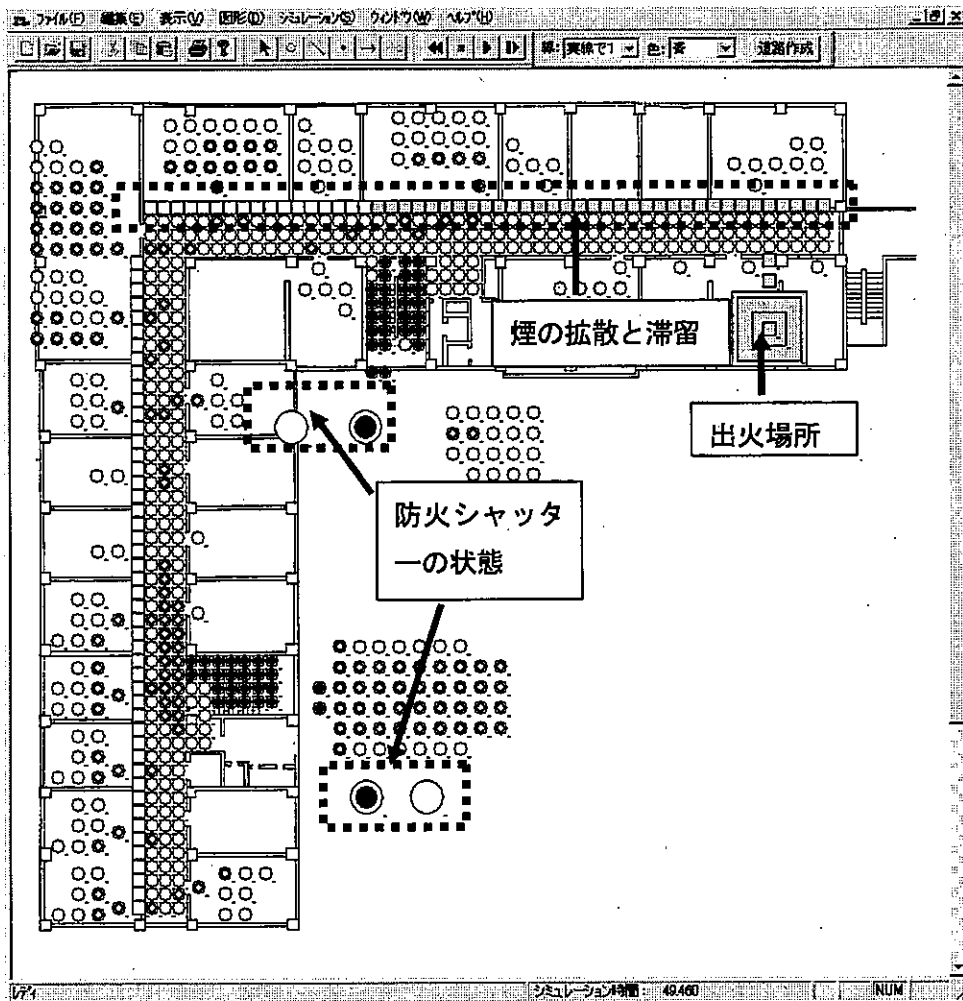


図 4-28 シミュレーションペトリネット

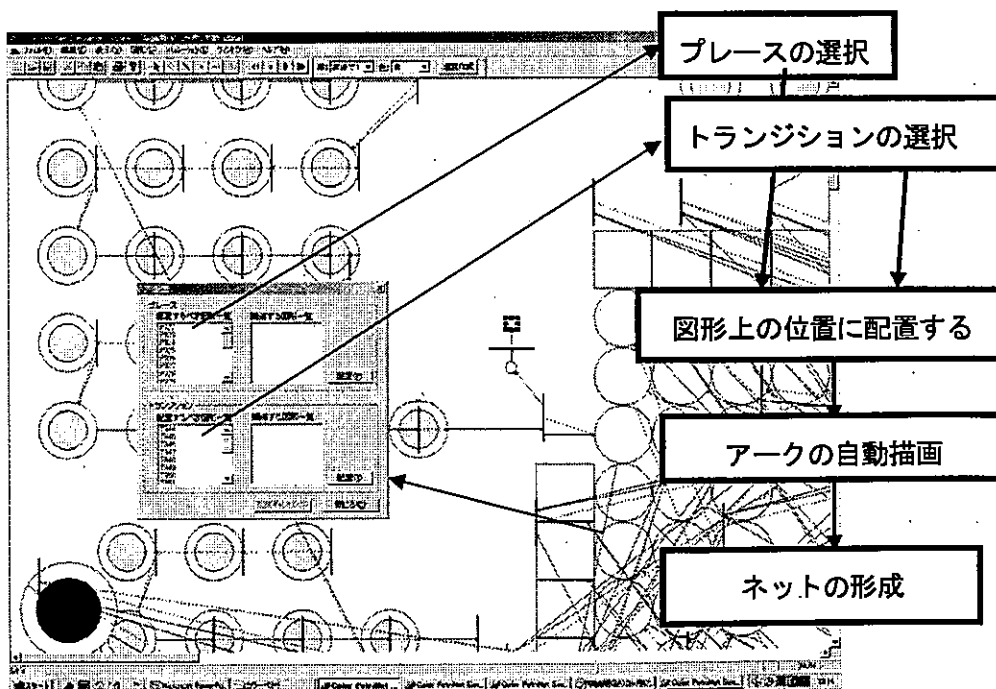


図 4-29(1) 判断ネットの挿入画面

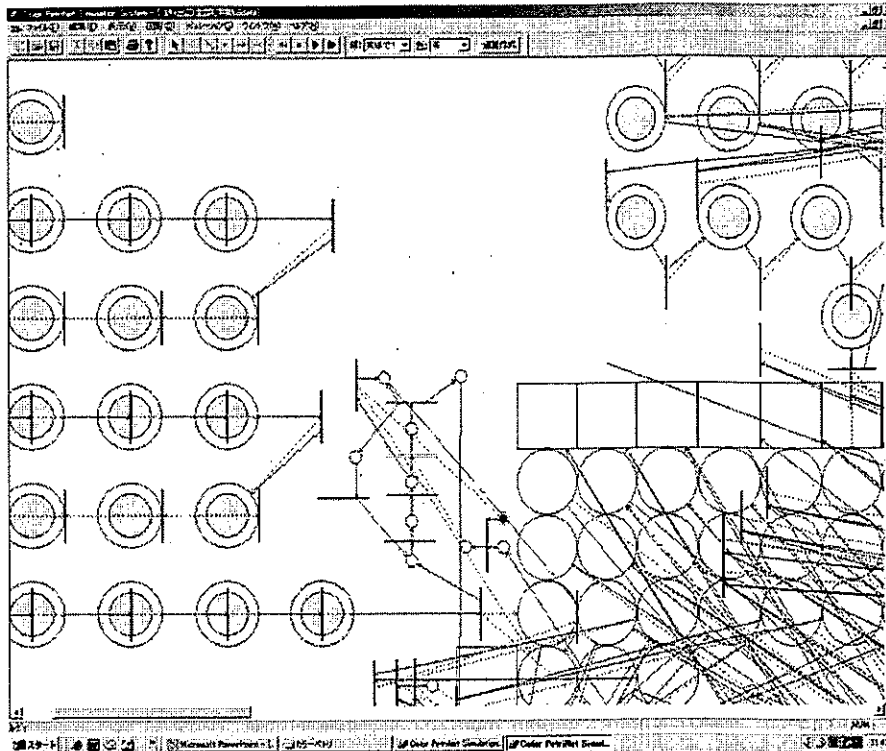


図 4-29(2) 1 出口での判断ネット挿入完了図

(2) シミュレーション実行と解析

各シミュレーションケースのペトリネットは、やはりそのままですぐに即時視覚型シミュレーション実行が可能となる。図 4-30(1)～(4)に、視覚シミュレーションの実行画面を示す。

まず、図 4-30(1)が、シミュレーション開始時の初期配置の画面である。各室に避難対象となる人が配置され、また、3階からの避難者の初期配置がなされている。2箇所の防火シャッターは、“開の状態”を示すプレースにトークンが配置されている。図 4-30(2)は、右端の室で火災が発生し、既に、その部屋と隣室の8名が避難を開始し、一部は階段に達している状況を示している。そして、“□”のプレースのマーキングから煙がこの隣室の前まで達していることが分かる。

図 4-30(3)では、中央部の階段に設置された防火シャッターが“閉の状態”に推移していることが示されている。そして、未だその階段を利用しようとして通路と、3階からの下り階段に人が残っており、それらの人々は非常口に向かうことになる。図 4-30(4)では、その非常口からの避難がほぼ終了している状況を示している。一方、火災発生場所から離れた左側の室からの避難はまだ継続中であることが分かる。

S-1～S-3 の各ケースのシミュレーション結果を数値比較するために、ここでも、“解析項目”のメニューを使用する。図 4-31 は、この解析項目の設定画面である。ここでは、まず、図 4-31 の画面に示すように、計測用の時計部ネットを導入している。そして、プレース 913 に 10 秒のプレースタイマを設定し、“解析項目の設定”のサブウィンドウで、「トランジション 838 が発火してから、トランジション 839 が発火するまでにトランジション 670 が発火する回数」という形式で、1 人の避難の完了を示す 4 つのトランジション、即ち、第 1 と第 2 の階段の各々に 2 個あるトランジションを指定することで、10 秒単位での避難完了人数が計測できることになる。

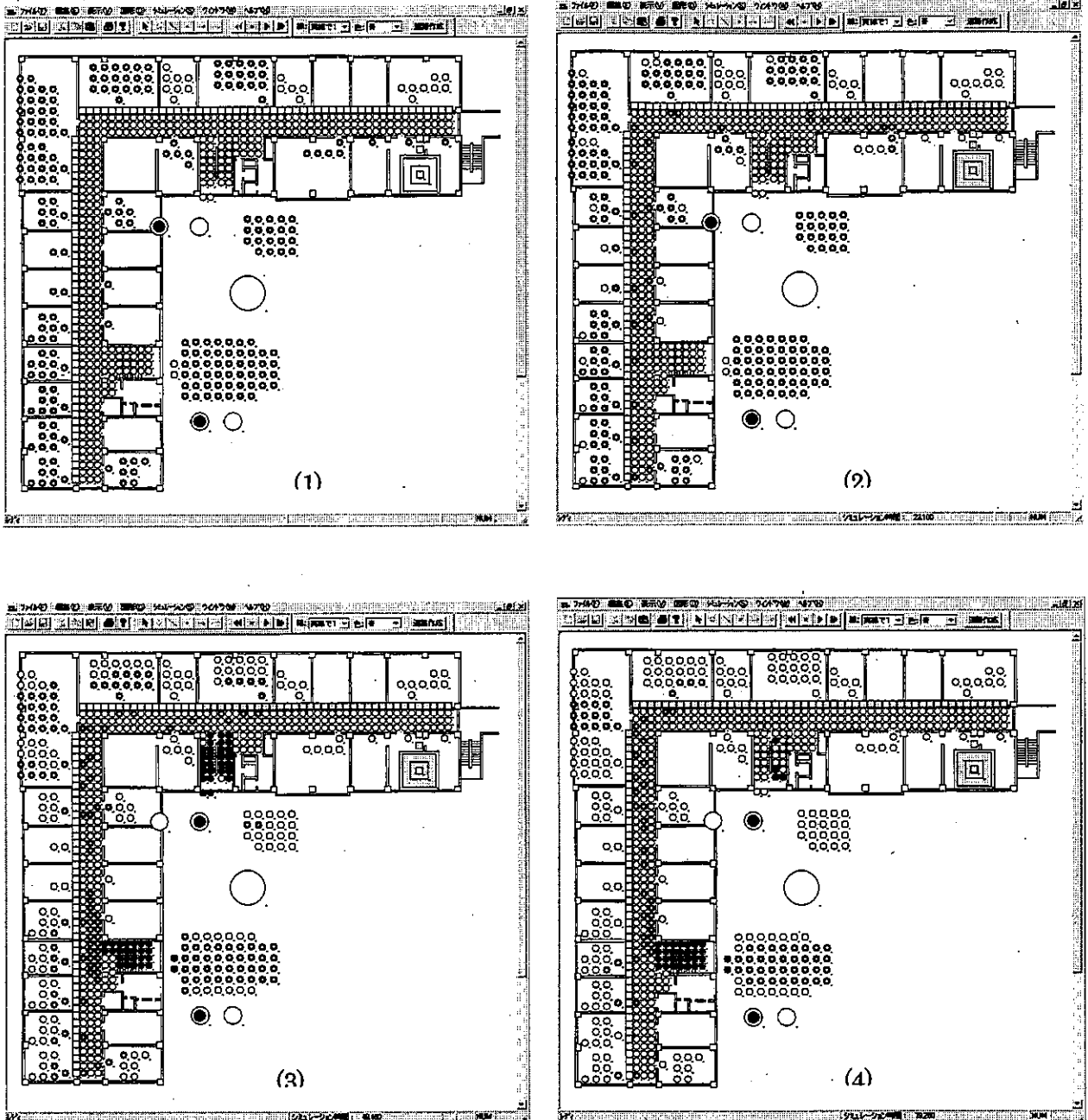


図 4-30 視覚シミュレーション実行画面

図 4-32(1) ~ (3)は、このような設定でケース S-1~S-3 のシミュレーション結果を求めたものである。ここでは、10 秒単位での避難完了人数の総和を使用している。

ケース S-1 では、最もリスクの低いと思われる右端の室を出火場所とし、しかも、完全な避難指示情報を想定している。図 4-32(1)より、第一陣の避難完了は 50 秒後であり、全員の避難完了には 150 秒を要するという結果となっている。これを基準に S-2 と S-3 のケースを検討する。

まず、ケース S-2 では、第一陣の避難完了は 50 秒後であるが、S-1 のケースと比較するとその人数は 1/4 に過ぎない。全員の避難完了には 210 秒を要し、S-1 のケースと比較すると 1.4 倍となっている。ケース S-2 とケース S-1 との違いは、避難開始時の避難方向の決定にあり、ケース S-1 では、完全な指示情報が全員に行き渡っており、スムーズに避難が開始されるが、ケース S-2 では、個人の判断によらず、室の場所によっては、左右の選択があり、かつ、そのいずれも決めかねる躊躇を加えたネットを使用している。その結果、避難開始のスムーズさに違いがでていることが、10 秒単位の避難完了人数の変化からも、総完了時間からも分かる。

次に、ケース S-3 と比較すると、第一陣の避難完了は 30 秒後と早くなる。これは、出火元から階段までの距離が短くなったためである。一方、全員の避難完了には 270 秒を要するという結果となっている。これは、ケース S-1 の 1.8 倍である。その理由は、出火場所の変更により、2 箇所の階段部への煙の到着が早くなり、防火シャッターの作動時刻が早まったためである。即ち、ケース S-1 と S-2 では、中央階段の防火シャッターの作動時刻は 49.5 秒後で、左下階段の方は 129.5 秒後であったのに対して、ケース S-3 では、前者は 24 秒後で、後者は 78.5 秒後となっており、図 4-32(2)の大部分の時間帯で両階段ともに狭い非常口に迂回して避難しなければならず、その間の 10 秒当たりの避難完了者が 6 人程度に減少していることによる。

以上のように、避難開始時の個人の判断と、出火場所は、建物内火災に伴う避難に大きな影響を与えることが分かる。これらの要因は、不特定多数が利用する建物では不可避なものであり、このことを踏まえた防災計画が重要となるだろう。

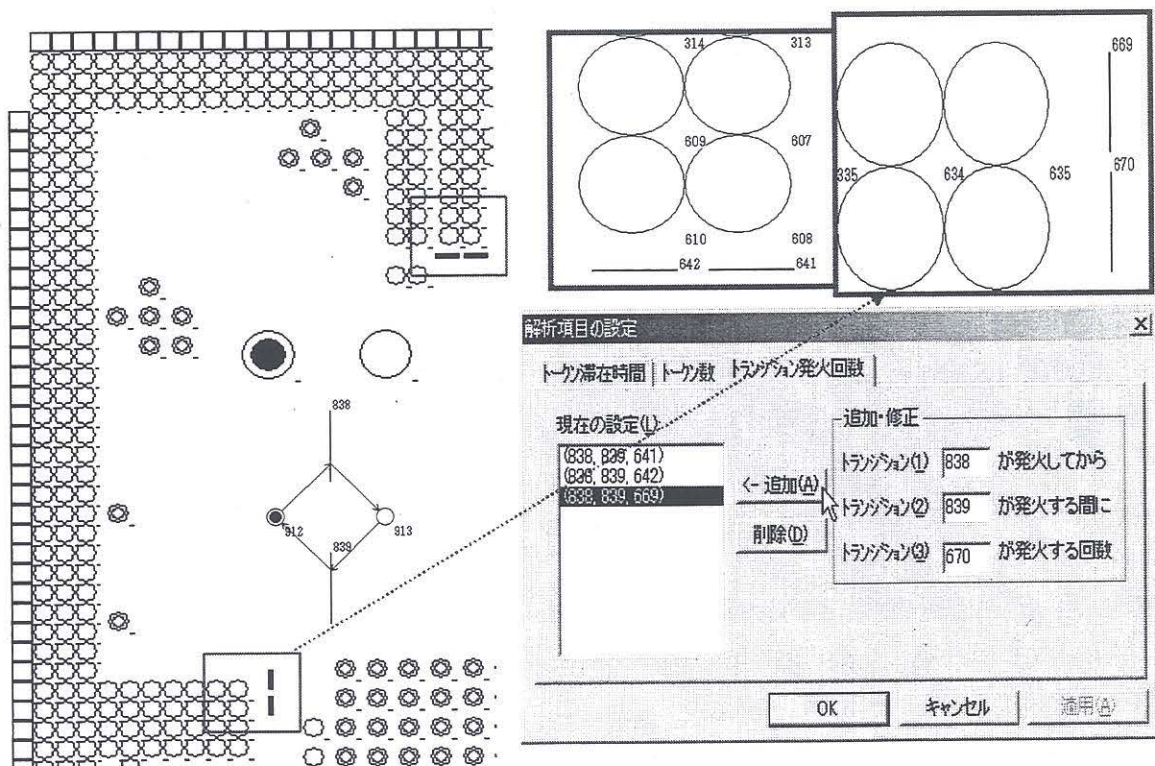


図 4-31 解析項目の設定画面 (10 秒単位での避難人数計測)

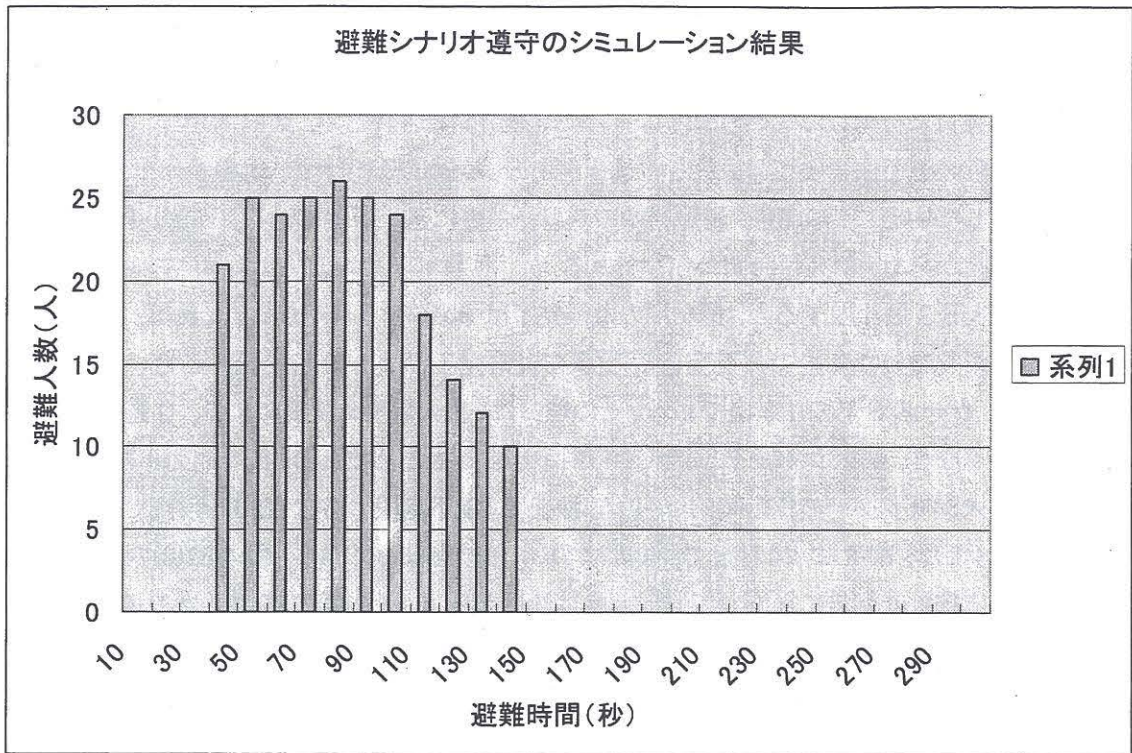


図 4-32(1) S-1 ケースのシミュレーション結果

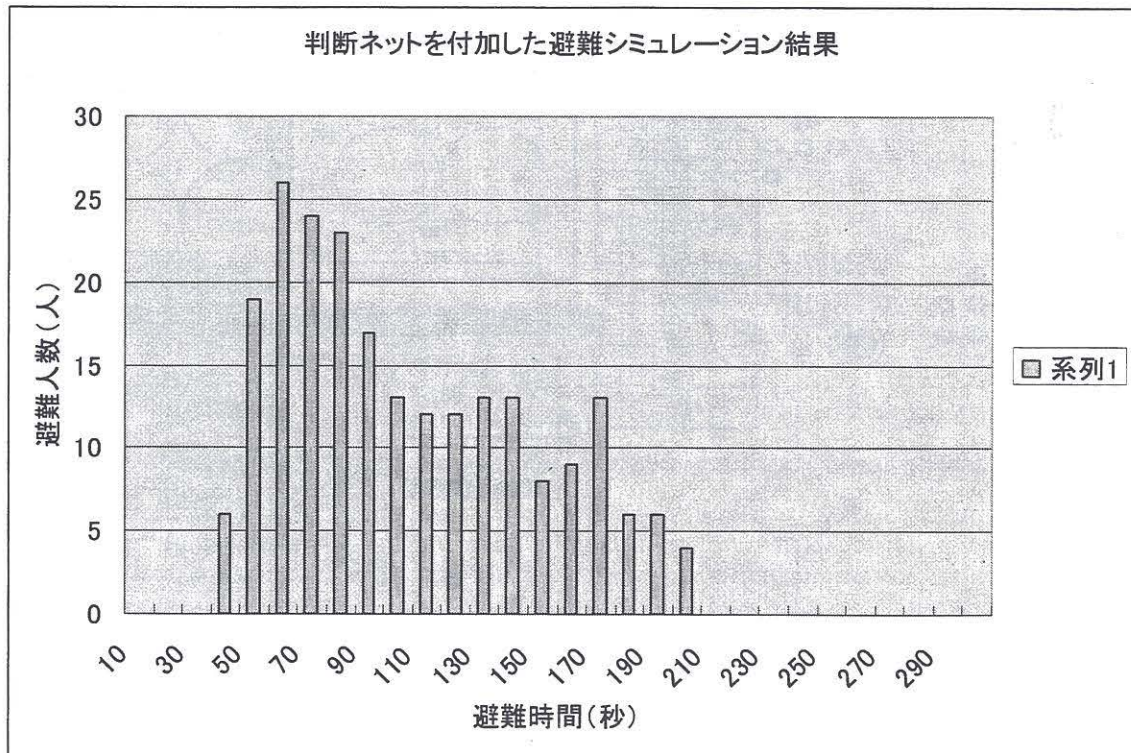


図 4-32(1) S-1 ケースのシミュレーション結果

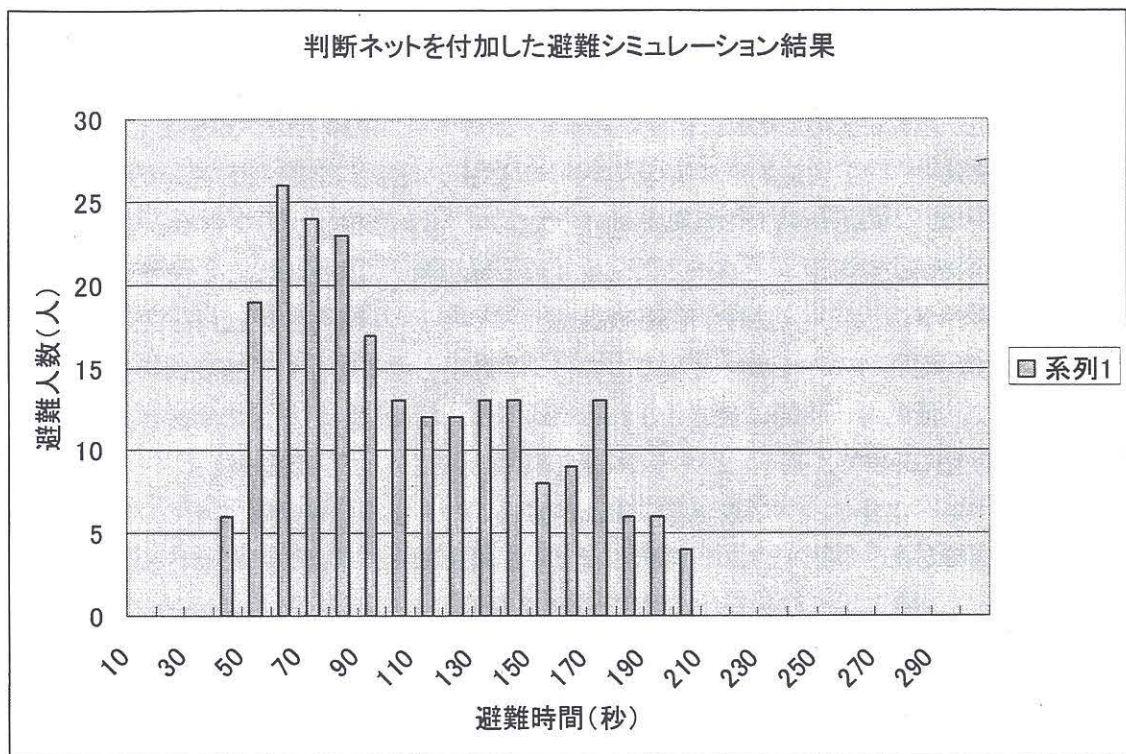


図 4-32(2) S-2 ケースのシミュレーション結果

4-5 まとめ

本章では、わが国で最も頻度の高い火災に対する防災計画を取り上げて、動的図解手法型ペトリネットシミュレータの適用化研究を試みた。1つは、わが国の都市における火災延焼リスク面から、それを阻止する消防防災システムに着目し、いま1つは、建物内火災から身を守る避難計画に着目し、それぞれのペトリネット表現化と、その即時シミュレーション実行による考察を行った。

まず、4-2 では、通常時消防防災システムのマクロペトリネット開発を行った。ここでは、5つの基本部分ネット、即ち、①火災延焼部、②火災通報部、③消防指令部、④緊急車両走行部、⑤緊急車両活動部の各部分ネットを作成し、それらを事象間の生起関連性に沿って結合化することで、まず、単純化した基本マクロネットを構成した。その上で、②と③との関係について、細部ヒアリングを行い、ペトリネットの特徴であるネットの共通構造的から生まれる結合性を活用し、拡張化・精緻化を進めた通常時消防防災システムのマクロペトリネット開発を実践した。

開発したネットを、2-2で紹介したペトリネットシミュレータで視覚出力画面ネットとして構築し、シミュレーション実行が直ちに行えることを示した。このシミュレーションでは、火災延焼部のパ

ラメータに関しては、著者らの別開発の延焼シミュレーション結果を用いて、風速が2m/sのケースと、10m/sのケースで想定し、通報形態を固定電話と携帯電話とし、交通量の少ない早朝・深夜火災と、交通量が多い日中火災での延焼拡大阻止の比較を行った。そして、携帯電話による現通報システムでは延焼リスクが大きくなり、位置・通報者確認システムの早期導入が望ましいとした。

4-3では、地震時消防防災システムのマクロペトリネット開発を実践した。基本的な考え方は、通常時消防防災システムの延長線上に地震時消防防災システムを想定すべきであるとするものである。即ち、通常時消防防災システムをベースに、地震時の機能環境に対応しうるシステムとして、常に点検・見直しを行うことが、実効的な地震時消防防災システムの条件となると考える。

そこで、まず、地震時の機能環境として、地震動を起因とする諸活動阻害要因の発生を予想することから始めて、活動が一時的に遅延させられる制約型と、活動は阻害要因の解除作業の終了まで不可能となる切断型に分けて、基本阻害ネットを開発した。そして、これらの阻害ネットを4-2で開発した通常時マクロペトリネットの被阻害事象に、抑止アークで結合させることで、地震時マクロペトリネットを構築した。ここでは、地震動に起因する阻害事象の事前対応の進行状況の組み入れも可能とし、さらに、阻害レベルとその対応策に関する精緻化も可能となることを述べた。

このネットも、プログラムの修正なしで直ちに視覚型シミュレーション実行が可能となることを示し、通常時シミュレーションと同一ケースについて、制約型の阻害のみの想定で比較シミュレーションを実施した。そして、機能環境の変容に伴い、早朝・深夜で、風速2m/sでも、地震火災の場合には、風下への延焼拡大阻止は困難となり、現地での初期消火の重要性、延焼阻止ラインの想定による戦略的消防活動計画の重要性を指摘した。

ここではさらに、機能環境の変容との関連での点検・見直しについては、2-3で導入した「背景面の挿入」のサブメニューを使用して、実都市空間画像を背景画として挿入し、その上で空間対応型の地震時マクロペトリネットを構築する方法を提示した。背景画像の持つ直裁的な情報提示性は、構築ネットの理解とともに、疑問点や点検要素の提案を加速させることを示唆した。そして、ペトリネットシミュレータによる支援システムの長所は、それらに対する高い対応性にあり、この形態での支援実践とその検討が今後の課題となるだろうとした。

この分野の近々の課題としては、緊急車両走行部の空間対応化であり、緊急車両のサイズや走行特性、一般車の挙動、沿道条件、さらには、緊急車両走行支援システムを組み入れたマイクロペトリネットの開発がある。これについては、著者等が提案しているバス交通のシミュレーションネットがヒントとなると考えている。もう一点は、他システムとのダイレクトな連携化である。マクロペトリネットとマイクロペトリネットの連携化や、火災延焼シミュレーションシステムとの連携もそうであると考えている。

4-4では、建物内火災に伴う避難シミュレーションのマイクロペトリネット表現を開発した。その基本部分ネットとして、まず、①空間移動と競合化部ネット、②煙の拡散と防火シャッター作動部ネット、③避難ルートの決定部ネットを構築した。①の開発では、1人が専有する空間に分割し、その間の移動として避難をマイクロペトリネットで表現するとし、ネットを提示し、それへのトランジションの発火則の適用で、シナリオ表現化を確認するという説明方法をとってきた。②では、□の形状のプレースを用いて、煙の拡散と滞留を視覚的に表現するとともに、防火シャッターの作動により、狭い非常口を通る形へと避難流が変更されるネットを提示した。③では、完全な避難指示

情報が全員に周知されているケースと、避難開始時に人々が判断するケースのネット化を示した。特に、後者では、“躊躇”という人に特有な状態も組み入れることを提案している。

これらを組み合わせて、3 ケースのシミュレーションネットを構築し、比較シミュレーションを行った。ケース1では、比較的安全な位置での出火で、しかも完全な指示情報を想定するもので、これを基準に、人々による判断の想定と出火場所の変化を要因とする2 ケースのシミュレーションを行った。ケース2は、人々による判断を付加したケースで、その結果、初期避難人数が減少し、完全な避難に要する時間も1.4 倍となることを示した。ケース3では、これに出火場所をより危険な場所に変更した。その結果、2箇所の階段部の防火シャッターが共に早い段階で作動し、閉の状態となり、避難は狭い非常口へ迂回する形となり、全員の避難に要する時間は、ケース1の1.8 倍にもなることが示された。

このシミュレーション研究でも、シナリオの変更とそのペトリネット表現化が、本シミュレータのマルチウインドウ表示性を用いて、ネットとSdataを同時表示させて、Sdataの仮想拡張化と修正化という手順により、初期ネットを基に、より実践的な形で漸進的に進められることを明らかにすることができた。防災計画の特徴は、対象空間の変容化にあるとしたが、これに対応するための支援システムとしてのペトリネットシミュレータの長所はここにあるといえよう。

4-6 参考文献

- 1)木俣昇, 高木秀彰, 黒川浩嗣: ペトリネットによる交通流シミュレーションの開発, 土木計画学研究・論文集, 12, 691~699, 1995
- 2) 木俣 昇, 鷺見育男: 消防防災システムの阻害要因のペトリネットシミュレーションに関する基礎的研究, 土木計画学研究論文集, 14, 393~400, 1997.
- 3) 木俣 昇, 鷺見育男: 地震時車両衝突火災事故リスクのペトリネットシミュレーション, 第3回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, 533~536, 1998.
- 4) 木俣昇, 岸野啓一, 白水靖郎, 交通流の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, Vol.9,31~40, 2000.
- 5) Noboru KIMATA, Junichi Takayama, Toru Futagami, Petri Net Simulation of Traffic Troubles in Urban Areas Hit by a Big Earthquake, Confronting Urban Earthquakes, 598-601, 2000.
- 6) Noboru KIMATA, Masaru Kitaura, Junichi Takayama, Development of Petri Net Simulator for Earthquake Fire Prevention Planning, Confronting Urban Earthquakes, 622-625, 2000.
- 7) Noboru KIMATA, Junichi Takayama, Toru Futagami, Development of Risk Evaluation Systems on Fire of Cars in Urban Area at Quake, Confronting Urban Earthquakes, 626~629, 2000.
- 8)木俣昇, 二神透, 他 2 名, 土地可燃性情報の地図化システムの開発に関する研究, 土木情報システム論文集,10, 11~22, 2001.

- 9) 木俣昇, 横山誠, 西村武敏, ミクロ交通流のペトリネットシミュレータの検証に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 18-4, 755~762, 2001
- 10) 木俣昇, 西村武敏, 四藤一成:バス交通流シミュレーションへのペトリネットシミュレータの適用化研究, 土木計画学研究・論文集, 19-4, 793~802,2002.
- 11) 木俣昇, 松井竜太郎: 背景画像上でのバス交通計画のペトリネットシミュレーション技術, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, 207~216, 2003.10.

第5章 動的図解手法型ペトリネットシミュレータの

風土イメージ表現への応用研究

5-1 社会基盤の風土イメージ形成とペトリネットシミュレータ

公共事業見直しの気運の中で、社会基盤整備計画には短兵急な厳しい視線が向けられている。また、費用対効果分析の適用も強く求められてきている。小林はその必要性を認めつつも“その多くは直接的な短期的便益で…長期的な効果を分析できる計算技術は発展途上にある”としている¹⁾。篠原は“「良い」社会資本とは…市民がそれを誇りとし、長年にわたって愛着を持ち続けることが出来る…”としているように²⁾、著者らは社会基盤整備の評価には長期性の視点が不可欠であると考え、その必要性は、近年認知されるようになってきた“土木遺産”という言葉にも十分に示唆されている。具体例でも、旧横浜船渠第二号ドックの活用による都市計画への歴史性の付与や、兵庫県朝来町でのダムを借景としたオープンミュージアム造り等は、社会基盤の持つ長期性と多様な効用性を示すものといえよう³⁾。

社会基盤整備計画の特徴は、長期性、広範囲性、および非可逆性にある。それ故に、多様な便益の創出とともに地域環境との整合性をも長期間にわたって評価する視点が不可欠となることは明らかであろう。著者らは、より積極的な長期性の視点として、社会基盤の地域風土の形成性に着目することを提案したい。この視点は、既に風土工学の導入として試みられている⁴⁾⁷⁾。

しかし、風土分析から計画コンセプトを抽出し、施設のネーミングや形状設計に活用するというレベルに留まっている。花鳥風月あるいは雪月花という言葉で称されるわが国の風土イメージ⁸⁾の中で、既往社会基盤を豊かな色彩性とその変化との関連で眺めるという取り組みまでには至っていない。第2章で述べたペトリネットシミュレータは、第3章と第4章で展開したように、多様な事象の、多様な形態での生起の記述性と、その結果のネットによる視覚的な表現性に優れていることを示してきた。その彩色面と形状面についても強化が可能であり、本章では、動的彩色図解型ペトリネットシミュレータへと強化した上で、風土イメージのペトリネット開発への展開を具体化し、社会基盤整備計画の構築と評価の新たな支援情報技術としての応用領域の拡張化を目的とする。

このような視覚的な課題に関しては、細密でリアリティに富む表現性を持つCG(*Computer Graphic*)の使用が想起される^{12) 13)}。本論文の方式では、後述するように、“ブレース”と呼ばれるものを主とする点描画的な表現となり、CGの細密性には遠く及ばない。しかし、風土の複雑な季節変化の動的記述性や、計画代替案等の取込みという目的性と操作性の面や、必要な作業量とコスト面では優位にあるだろう。また、風土とはある意味で脳内に構成される全体像であり、動的な点描画は素描であるが故により脳内イメージを強く喚起する可能性も秘めている点にも期待が持てる。著者らは、ペトリネット手法の論理的明解性に着目し、参加型交通計画の支援技術として研究を展開してきたが、視覚的なネット記述に表現力を見出すことで、交通計画以外の土木分野でも利用可能な情報技術となりうると考える。

具体的には、まず、5-2では、第2章で述べたペトリネットシミュレータを基に、動的表現性と彩色

化能力について説明し、風土の四季推移イメージの表現力を付与するために改良を行う項目を示し、それらの動的彩色型ペトリネットシミュレータへの実装化について述べる。5-3では、適用事例として、まず、わが国の風土イメージの代表要素の一つである桜木を対象に、その単体の四季推移のネット表現化を取り上げ、基本ネットの開発と桜単体の表現形のシミュレーション結果を提示する。次に、わが国の風土イメージのもう一つ原型である山並の中に橋梁を置き、遠・中・近景の水平目線での風土イメージネットを、背景画像上で構築し、その四季推移をシミュレーションすることを試み、対象の複雑性や見た目の具象性の表現技法としての基礎的検討を行う。

5-2 動的彩色図解型ペトリネットシミュレータへの改良

5-2-1 風土イメージ表現化のための改良項目

わが国の風土イメージの表現化には、多種多様な植生の四季推移に伴う多種多様な状態推移の記述が求められる。トランジションの発火則は、前述したように単純明解なもので、全てのネットに共通する。そのために、ペトリネットの駆動系は汎用性を持つ。さらに、ネットの共通構造性は、ネット間の結合化を可能とし、ある事象の生起が他の事象の前提条件やあるいは抑止条件を構成するという形で、より複雑な相互に関連し合う風土系の記述にも十分に対応し得るものである。しかし、風土イメージ表現の実用シミュレータとしては、既開発のソフトウェアでは十分とは言えず、その概説で示した潜在的な表現力を、形状面と彩色面で強化し、さらに、ネット駆動により刻まれる風土イメージのリズムを実時間と対応させる工夫が必要となる。以下では、各強化面について述べる。

a) 実時間リズムの付与：まず、時間進行については、ペトリネットでは最早生起事象時刻が探索され、その時刻に時計を進める可変時間増分法となり、事象生起による画面の推移は、例えば季節タイマを実時間に設定していても、実時間間隔とはならない。この問題は、一定時間間隔で事象を発生させる Visual C++の SetTime メンバー関数を割り込み処理させることで解決できる。この選択的実行を、第2章で示したペトリネットシミュレータの基本メニュー、図2-8の”シミュレーション”のサブメニューに加える。

b) 彩色性の強化：植生は、同一の季でも木々によって、また同一の樹木でも部位や場所によって色に差異がある。この彩色性は、ペトリネットシミュレータでは、第3章や第4章でもしばしば使用したカラートークンの生成トランジション GT を用いて付与することができる。それらの章での応用研究では、彩色性には特には触れて来なかった。そこでは、図5-1(1)に示すように、GT に設定された生成比率に応じてカラー属性を確率生成し、出力プレース上の1個のトークンにカラー属性を付与し、そのカラーに応じて次に選択トランジション ST で、指定された出力プレースにトークンを選択的に出すというものであった。これに対して、彩色表現性の観点から、図5-1(2)に示すように、トランジション GT に複数の出力プレースを配置し、GT に設定したカラー属性がその比率に応じて生成され、それが複数の出力プレースに出力されるように拡張化する。また、彩色するカラーを実物色に設定する編集機能も付加する。これらの拡張化によって、GT の使用数を節約し、かつ木々また部位や場所による彩色のリアリティと多様性を持たせることが可能となる。

b) プレース形状の多様化：論理的な構造分析を主とするペトリネットでは、プレースは条件や状態

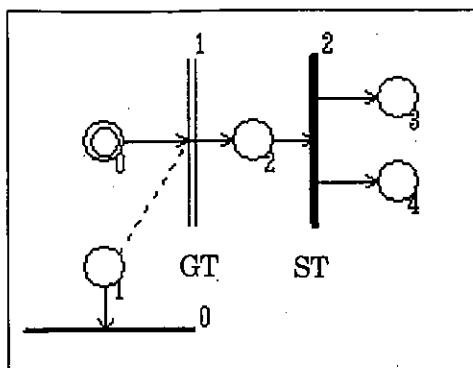


図 5-1(1) カラーの生成

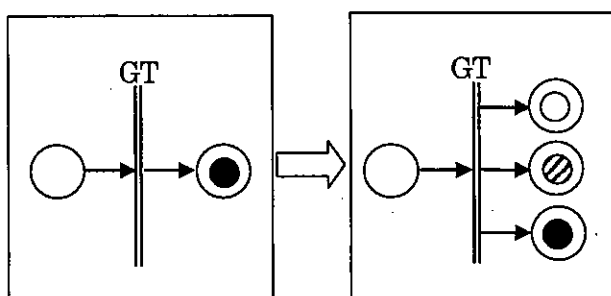


図 5-1(2) カラーの生成の拡張化

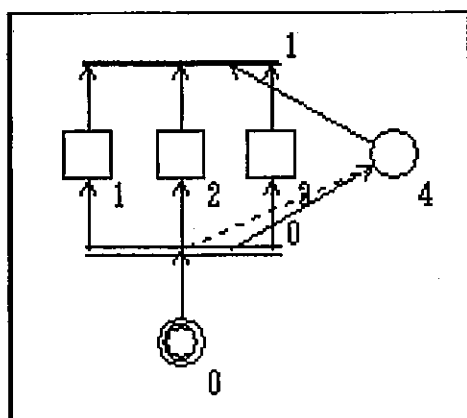


図 5-2(1) プレース形状の多様化ネット

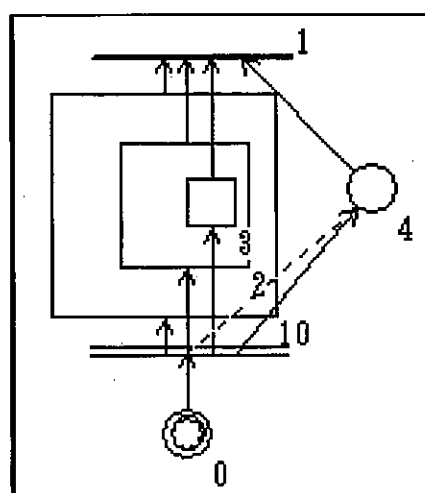


図 5-2(2) プレース形状の多様化ネット

の成立性を指定する場所に過ぎない。第3章や第4章では、プレースの実空間との対応化という提案を行い、道路空間の有効利用の諸代替案の発想と評価支援や、空間変容に対応する防災計画の点検・見直し支援に、ペトリネットシミュレータが有効となることを主張してきた。

風土イメージの表現体としてのペトリネット応用では、プレースにはそれ以上に植生の花や葉を表現する道具性が求められる。そのために、プレースの形状は、通常形の“○”に加えて“□”も使用し、さらに、遠景や近景の表現や、植生の複雑性の表現のために、この“□”については、構築画面上でのマウスによるクリックとドラッグ操作で、サイズをも容易に変更できる機能を付加が望ましい。また、“□”の形状プレース上にカラートークンが出力されると、その全面がトークンカラーで彩色化され、より鮮やかな彩色化が図れる工夫も必要となる。

図 5-2(2)は、図 5-2(1)の“○”と“□”のプレースを持つペトリネットに対して、マウスによるクリックとドラッグ操作により、サイズと配置の変更を加えて再構成し、3つの“□”のプレースを重ね合わせたネット図例である。図 5-2(3)は、この“□”の重ね合わせ部を全面彩色したイメージ図である。このような操作と、トークンカラーによる全面彩色化によって、“□”のプレースの重ね合わせ部を表現形とし、その彩色が、プレース 4 に設定されたタイマを周期とし、トランジション 0 で確率生成されるカラーで変化

するというペトリネット表現が可能となる。

d) ネットの視覚性の維持化: 上述したように, 図 5-2(2)のネット図は, "□"の重合せ部が植生の表現部で, 他の部分は四季変化に伴う発彩機構の記述部となっていると考えることができる. この四季変化に伴う発彩機構の記述部を細密にしようとすればするほど, この部分のネットは複雑化し, 煩雑性が増し, ネット表現の長所とした視覚性が損なわれる事態となる. 多様化, 詳細化を追求しつつ, 表現ネットの視覚性を維持するためには, それらの記述部は最終的な表現ネット図では表示しないという選択性の付与が必要となる. この点については, 第3章や第4章の応用研究でも示したように, 既開発のメニュー(図 2-8参照)にある「表示・非表示」によって可能となる.

e) 背景画像の取り入れ: 以上の3点に加え, 実用化上の工夫として, 地域の山並み等の形状を背景画像として取り込み, その上に植生のプレースを配置する形でネットモデルの構築を進めることが望ましい. そのことにより, 地域風土に形態的に近い形でのイメージペトリネットが作成可能となる. これについても, 既開発のメニュー(図 2-8参照)に組み込んである. また, 第3章や第4章の応用研究でも, その実行手順と効用を示しているものである.

5-2-2 改良項目の実装と実行画面

上では, 風土イメージのペトリネット表現に際して重要となる5項目について述べた. まず, これらに対処するために改良したペトリネットシミュレータのメニュー画面を, 図 5-3 に示す.

a)の実時間については, 図 5-3 に示すように, "シミュレーション"のサブメニューの「諸元値の設定」ウィンドウによって選択実行が可能となる. b)については, まず, 設定可能カラー数については, 標準では16個で, 拡張型では300個となっている. 次に, このような多様な実彩色化については, 図 5-3 に示すように, "図形の設定"のさらにサブメニューの"トークンの表示色の編集"で可能となる. 具体的には, 図 5-4 に示す色設定の画面で, トークン属性を示す番号と対応させた色彩の割り当てで編集し, Sdata ファイルの"generatetransZ"のフィールドで, 属性番号と比率を指定することで実現できる. 表 5-1 は, 図 5-2(1)の Sdata ファイルである. この"generatetransZ"のフィールドでは, 0番のトランジションが生成トランジション GT で, 1, 2, 3 の3種類のカラーが, 33:33:34 の比率で生成され, プレース 1, 2, 3 に同時に出力され, 前面にそれらのカラーで彩色されることになる.

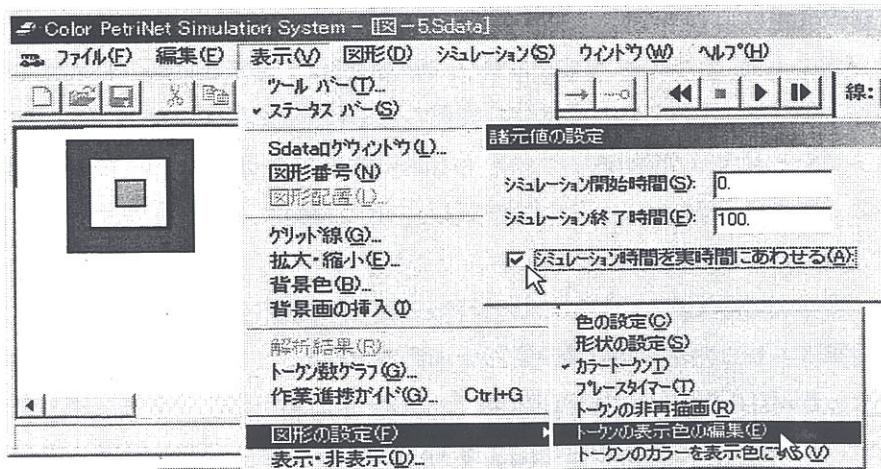


図 5-3 ペトリネットシミュレータの拡張メニュー画面

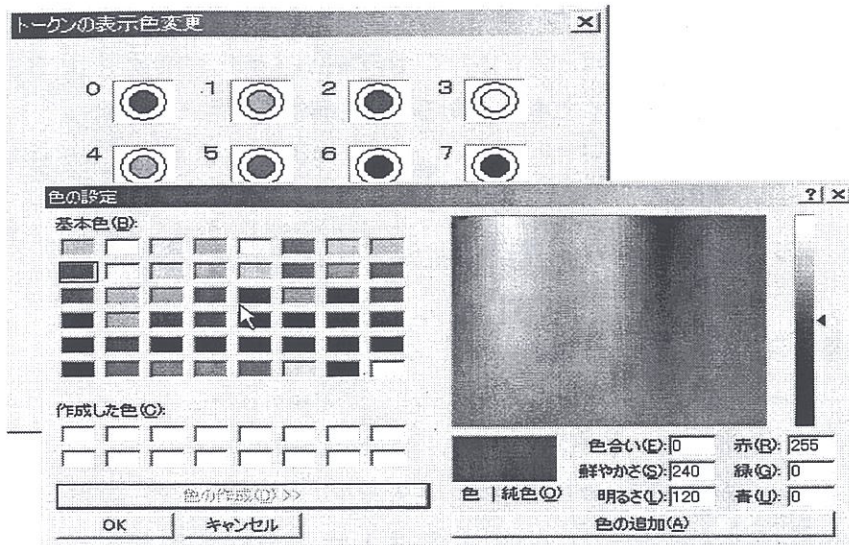


図 5-4 トークンカラーの編集画面

c)については、Sdata ファイルとともに Ndata ファイルが関係してくる。まず、表 5-1 に示すように、“○”の形態のプレース p0 と p4 は、最終列が 0 であるのに対して、“□”の形態のプレース p1~p3 は、最後が 299 となる。そして、プレースに関して、そのサイズの変更が可能となる改良を行っている。即ち、図 5-2(2)は、図 5-2(1)からの変形で、“□”の形態のプレースのサイズは、 $p1 > p2 > p3$ となっているが、それに対応するように、Ndata ファイルを拡張している。表 5-2 に図 5-2(2)のペトリネット図の座標データである Ndata ファイルを示す。“PLACE”の最後の列に、各プレースのサイズが記載されるように拡張している。これからも $p1=49 > p2=31 > p3=12$ となっていることで確認できるだろう。もちろんサイズを含めて自動生成されるようになっており、画面上で構築ネットを自由に再設計する操作性は維持されている。

表 5-1 ネット図 5-2 の Sdata

```

PLACE 5
-1 -1 0 0 //p0 発生プレース
-1 -1 0 299 //p1□プレース
-1 -1 0 299 //p2□プレース
-1 -1 0 299 //p3□プレース
0 -1 3 0 0 //p4 タイマー
end
TRAN 2
0 -1 1 2 3 4 -1 1 0 //t0 生成トランジション
1 2 3 4 -1 -1 0 0 //t1
end
TOKEN 10
0 -1
-2
GENE 1
0 10 0.01
-1
generatetransZ 1
0 1 33 2 33 3 34 //3 色発生
  
```

表 5-2 ネット図 5-2(2)の Ndata

PLACE	absolute position x,	y	radius
0	112	214	12
1	99	101	49
2	110	98	31
3	122	97	12
4	193	89	12
TRAN	absolute position x,y	angle	
0	119	170	0
1	121	28	0

d)とe)は、上述したように、図5-3のメニューに既に組み込まれている。ちなみに、この画面左に示されている3重の“□”からなる図形は、図5-2(2)にd)の“表示・非表示”を適用し、3重の“□”のみを表示とし、他を全て非表示として実行したものであることを付記しておく。

5-3 風土イメージのペトリネット表現化とシミュレーション実行

5-3-1 桜木の四季推移イメージネット表現

桜はわが国を代表する花木の一つである。まず、桜単体の四季変化を取り上げて、5-2で提案した動的彩色型ペトリネットシミュレータによるネット表現化の技法について検討する。

桜は、図5-5(1)に概略化して示したように、まず、枯れ木の状態から開花の状態を迎え、葉桜・新緑期を経て紅葉し、やがて落葉して枯れ木状態に戻るといったサイクルを繰り返す。また、桜は、この間に晴天や曇天の日、あるいは雨や雪の日を迎え、また、朝・昼・夜の光の中で見え方を変える。

次に、形態的には、図5-5(2)に示すように、幹があり、幹から枝が張り出し、枝に花一葉が着くという姿を持つ。まず、幹と花一葉については、5-2で述べた“□”の形状プレースを利用して構成し、枝については“|”のトランジションの表示を利用して表現する。

幹のプレースの色は変化しないが、花一葉のプレースについては、上述のように季の推移によってその色彩や形状に変化が生じる。この変化は、図5-6に示すように、過ぎ去る季の色を消去するトランジションと、到来した季の色を生成するトランジションを用いたネットで基本的には記述できる。

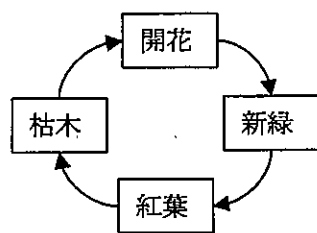


図5-5(1) 桜の四季の概略サイクル

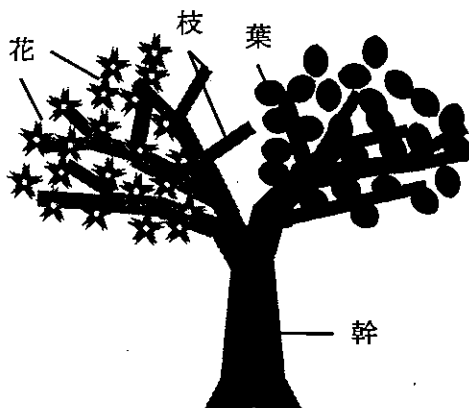


図5-5(2) 桜の形態

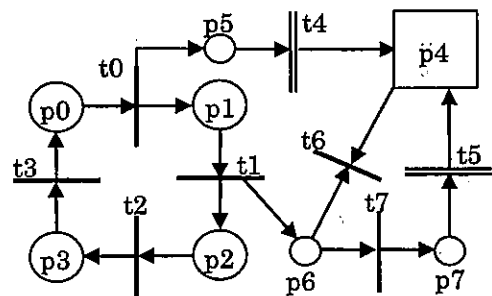


図5-6 花/葉プレースの四季拡張ネット

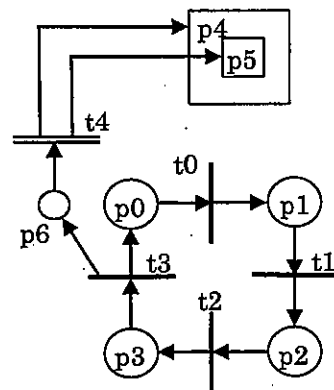


図5-7 落葉表現の原理

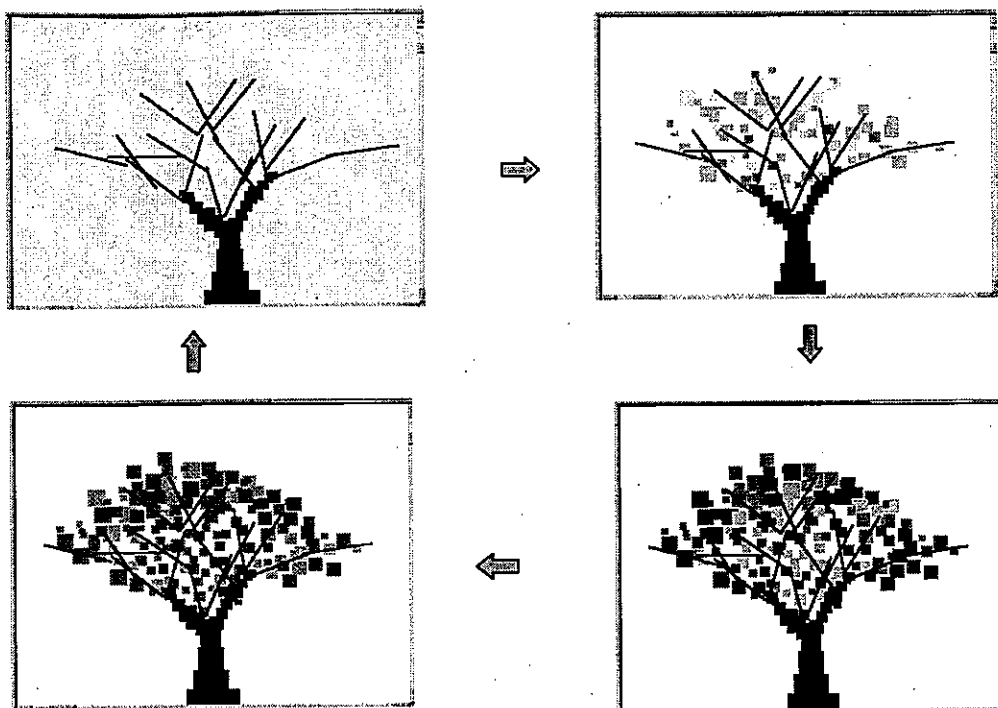


図 5-8 桜木ネットの四季イメージ推移実行画面

図 5-6 のネットでは、左方の 4 つの “○” のプレース、 $p_0 \sim p_3$ が、冬・春・夏・秋の四季の状態を示し、右方の “□”， p_4 が花-葉のプレースである。冬から春に移ると、春のプレース p_1 と同時にプレース p_5 にもトークンが出力される。その結果、春の色を生成する t_4 が発火し、花-葉のプレースの “□” に春色を彩色する。

t_1 が発火して、春から夏に移ると、 p_2 と p_6 にトークンが出力され、 t_6 と t_7 が発火する。その結果、“□” から春色を消去され、 t_5 の発火によって夏色が “□” に彩色されるというネットである。この消去トランジション t_6 は、上述の枝を表現するトランジションとして表示・使用する。夏から秋への推移も同様にして付加することができる。

秋から冬への移行では、紅葉が落下し、枯木状態になる。この表現ネットは、天候や時間帯によって変化する背景色プレースを導入することで構築できる。その原理を図 5-7 に示す。即ち、花-葉プレースと背景色プレースへの彩色を常に同色に制御すれば、5-2-1 の c) で述べたように、“□” へは全面に彩色されるために、花-葉プレースの “□” p_5 は同色に彩色された背景色プレース p_4 の中に消えることになり、桜のネットは幹と枝のみの枯木状態に戻ったように見えるという原理である。

図 5-6 と図 5-7 のネット表現技法を基礎に、桜木の四季イメージネットを開発した。まず、枝を桜らしい形状表現にするために複数化し、花-葉のプレースを群化させ、さらに、群内での花-葉のプレースの “□” のサイズを多様化させた。ちなみに、図 5-8 に示す桜木の基本ネットでは、18 本の枝に、135 の花-葉プレースを配置し、桜の木の形状表現を試みている。

色彩面では、各季での出現色を調査し、RGB 値との関係で色番を定義しておき、各季の色彩生成トランジションに、出現主色を中心に複数個の色番とその比率を設定するという方法をとっている。

生成トランジションで出力される色彩は、各トランジションが持つ乱数初期値にも規定される。今回は、色彩の多様化と複雑化の演出のために、各季に3種類の色彩生成トランジションを組み入れている。幹のプレースへの彩色は、固定色とし、季に関係しない専用トランジションからの出力トークンによってなされる。また、背景色としては、朝・昼・夜のそれぞれに、晴天と曇天を想定した6色を設定している。

図5-8は、図5-5(1)に示す季の推移を組み入れた桜木ネットを用いて、シミュレーション実行を行った画面である。ここでも、ネット表現がなされれば、プログラムの修正なしに即時に視覚シミュレーションが実行可能となる。今回は桜単体のイメージネットではあるが、裸木から開花への推移には、形状の違いを伴う面白さと、開花に伴う桜の姿の華やかなイメージが感じられる。開花から葉桜への推移は色彩のみの変化となっており、それはそれで桜木のイメージを形成しているだろう。

もちろんここで設定した季の数や色彩、枝や花-葉の数、生成トランジションの数等は試行例である。本シミュレータの長所は、作成ネットの駆動出力画面を見た上で、そのデフォルメや詳細化や複雑化がプログラムの変更なしに即実行できるところにある。このネットの改良可能点については最後の章で述べる。

5-3-2 雪見橋の四季風土イメージのペトリネットシミュレーション実行

日本人の風土イメージのもう一つの原型は山だとされる。本項では、山並の風土イメージの中に橋梁を置いた水平目線からの風土イメージネットの開発を試みる。

この場合、山並の形状は、当該地域の形でネットモデル内にも保持されていることが望ましい。そこで、5-2のe)で述べたように、まず、当該地域のデジタル画像を背景画像として取り込み、その上にプレースを配置して行くという手順をとる。具体的には、金沢市犀川に掛かる雪見橋という風土工学的な橋名を持つ橋梁を事例に、図5-9(1)に示す画像を取り込み、山並を遠近で①から⑥までの山塊グループに分割し、その四季推移のペトリネット表現を行う。

各山塊には当然大量の樹木が存在する。一方、取り扱えるプレースとトランジションの数には当然制約がある。従って、前景の樹木は別にして、山塊の各樹木を、5-3-1で示した桜木の次元のネットで表現することは困難であり、また効果的でもない。むしろ、一木ないしは樹木群を1つのプレースで表現する効果的な簡略化技法の採用が望ましい。特に、現ソフトウェアでは生成トランジションの使用数に最も強い制約がかかり、同じ表現性を持ち、かつ生成トランジション数が節約できる出力先プレースのランダム化ネット技法も重要となる。

山並らしさの表現には、遠山と近山との差異化の工夫が必要となる。これは、配置する“□”プレースのサイズを近山では大きめに、遠山になるほど小さめにすることで対処してみた。また、同じ山塊内でもプレースのサイズに差異を設けるという多様化・複雑化は、ここでも樹木の種類や地形を反映させる技法として必要となる。

最後に、山並ネットに橋梁の表示プレースを配置する。今回の例では、図5-9(1)の画像に示されているように、橋梁の表面を“□”の形状プレースを配置することで比較的容易に表現できる。図5-9(2)が、表示・非表示機能を使って示した構築ネットである。ちなみに今回作成したネットでは、図5-9(1)に示した①から⑥までの山塊グループそれぞれで使用した表示プレースとカラー生成トランジション

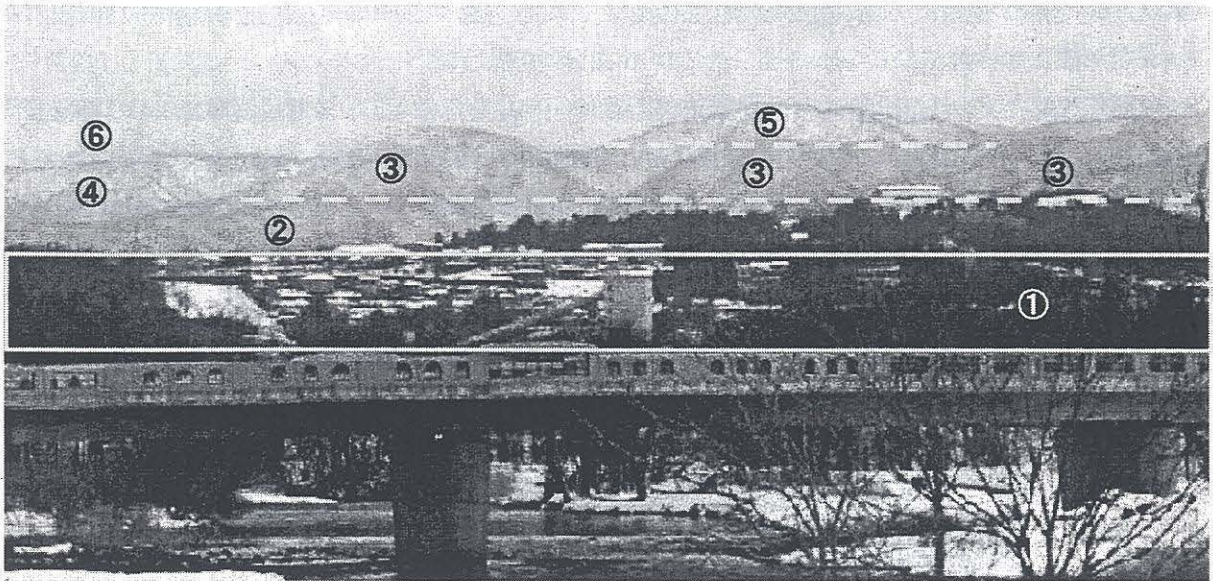


図 5-9(1) 山並の背景画像の取り込みと山塊化

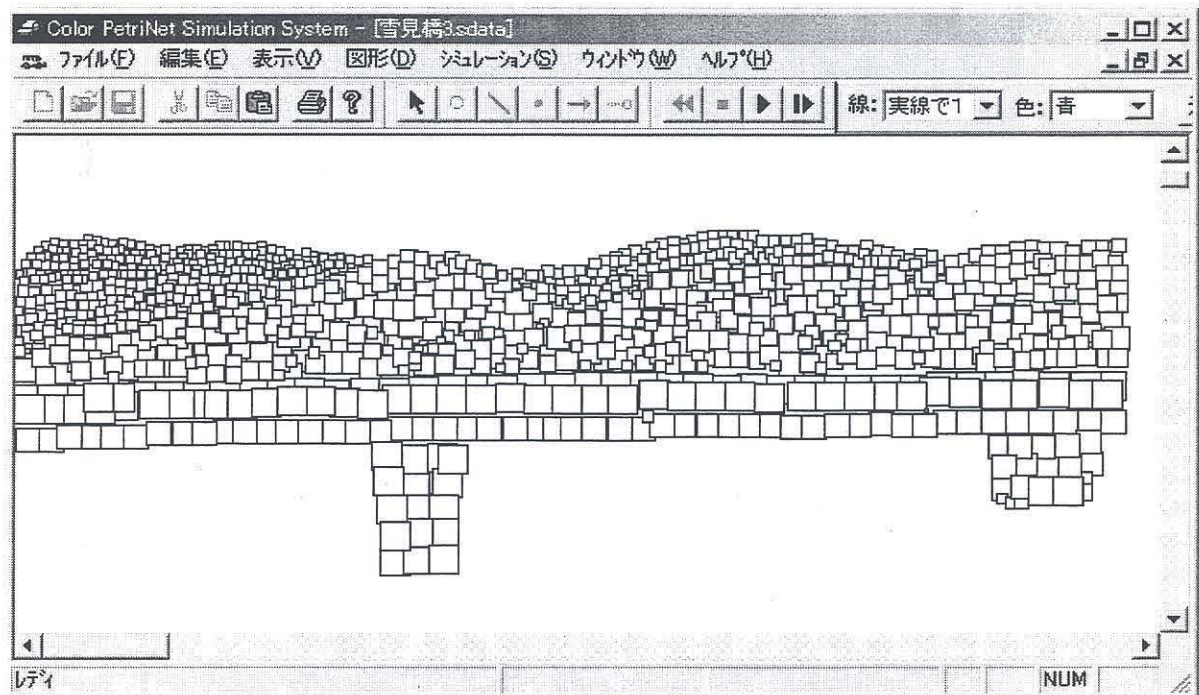


図 5-9(2) 山並と橋梁の風土イメージネットの構築

表 5-3 山並の構成図形要素数

対象	Place数	Trans数
①	179	26
②	251	38
③	80	14
④	180	26
⑤	75	14
⑥	180	26

数は、表 5-3 に示すような分布となっている。ここにも山塊グループを差異化する一方で山並のイメージを形成させる技法のヒントが隠されているようにも思う。

今回作成したネットでは、山並の状態推移の季は、半月を単位とし、1 サイクルで 24 の彩色画像が出力されることになる。この事例の橋梁には、雪見橋という風土工学的ネーミングがなされている。図 5-10 の実行画面では、遠山も近山も緑な状態から、遠山が紅葉し、やがて近山にまで紅葉が進み、遠山に雪が見られる状態への推移画面のみを示した。水平目線での山並と橋梁のイメージの表現化は、一応達成されているのではと考えている。

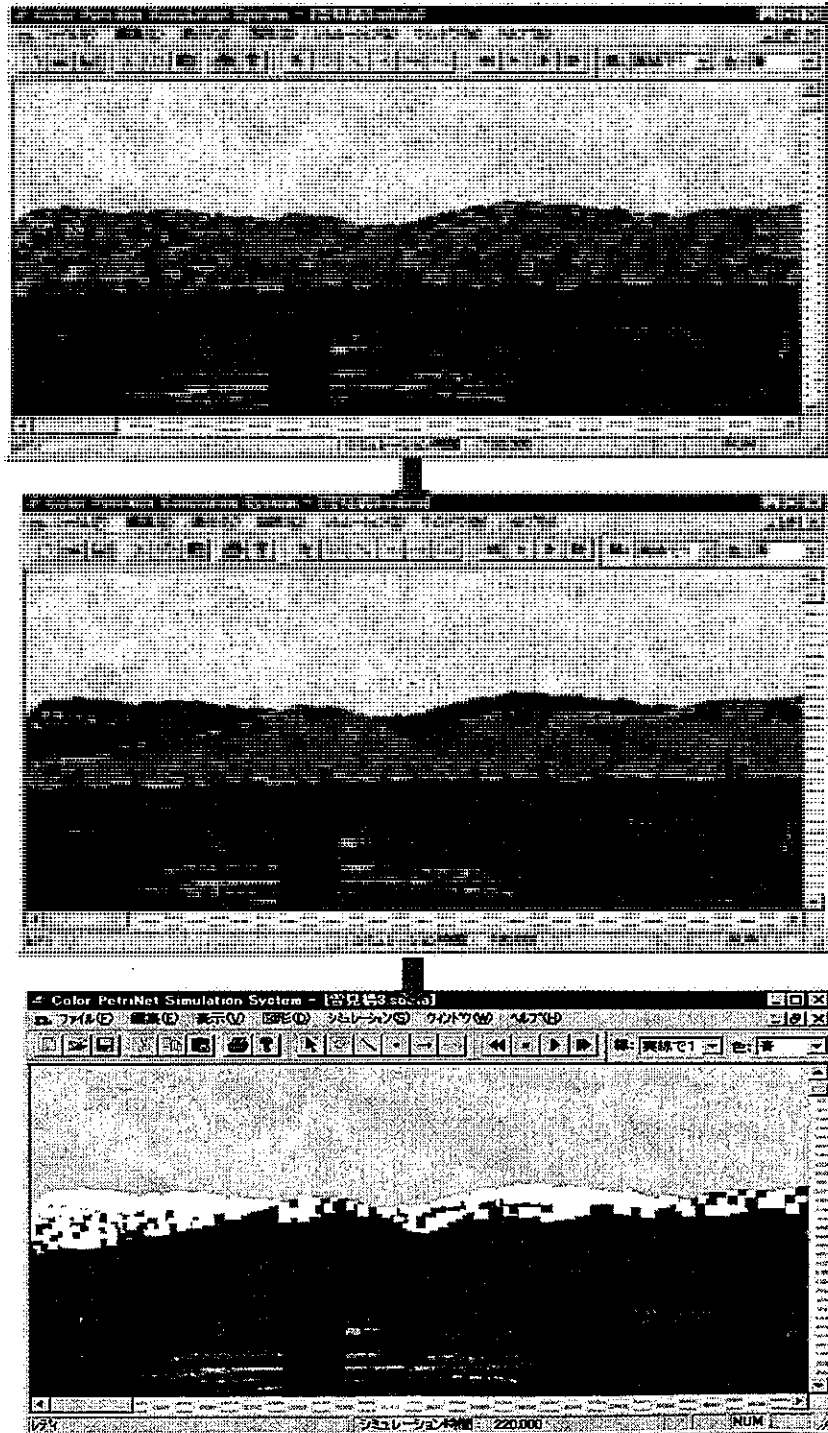


図 5-10 雪見橋の四季風土イメージネットの実行画面

次に、土木構造物の色彩調和支援の一例として、仮想的に橋梁の色彩をレンガ色に変化させたネットを構築し、そのシミュレーション実行画面を図 5-11 に示す。このネットは、図 5-10 におけるネットで橋梁プレースの彩色に用いていた出力カラーの変更のみで、極めて簡単に行える。図 5-10 と同じ季のものを平行して示してある。夏の生き生きとした緑には図 5-11 のレンガ色が映えるし、逆に秋の紅葉時には図 5-10 のコンクリート色が映えるようだ。この評価の適否は別にして、ペトリネットシミュレータによる橋梁の色と山並との検討の支援も十分に行えることが示せる。

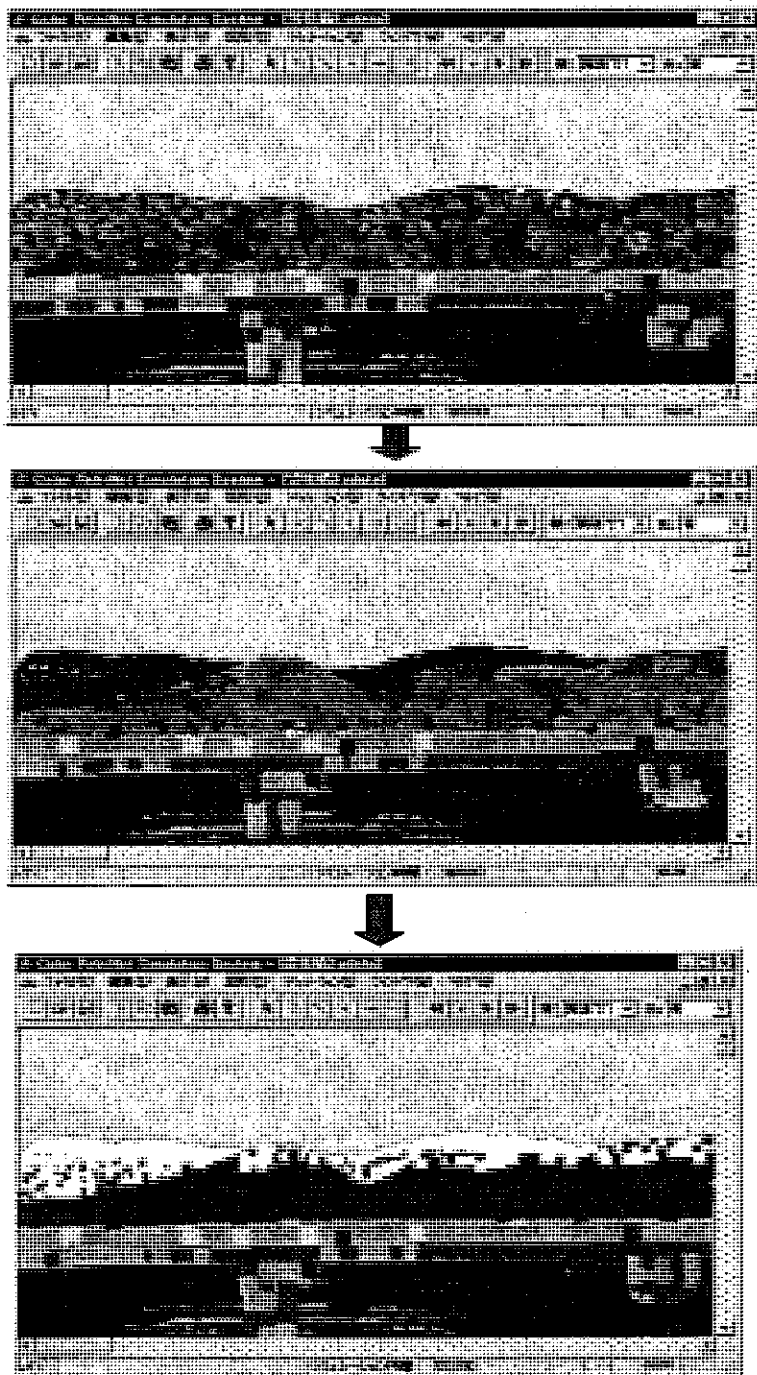


図 5-11 橋梁の色彩変化時の実行画面

前述のように、このネット開発では、背景画像上でプレースを配置して行くという作業手順をとった。背景面の図 5-9(1)と、駆動出力図の図 5-10 とを比較すると、ネットの構築作業中に、近景の部分については“修景”までも行ってしまっていることに気づく。この修景作業を意識的なものにまで高めれば、本研究で提案しているペトリネットシミュレータは、橋梁整備計画により広範囲な風土視点を提供し、当該橋梁のトータルイメージをより向上させる修景案を含むプロポーザル支援にも貢献するものともなるだろう。

5-4 まとめ

本研究では、社会基盤整備計画の長期性の視点として、風土イメージの形成性評価を提案し、四季推移の明確なわが国の風土の中に既往社会基盤を置き、そのイメージを動的彩色型ペトリネットシミュレータによって構築する方式を検討した。まず、シミュレータとしては、ペトリネットの長所を活用しつつ、形状面と彩色面における表現性を強化し、さらに複雑化するネットの視覚性保持のために表示・非表示機能を付加し、地形等の地域性反映のために背景画像を取込み、その上で逐次的にネット構築を進める等、実用的な特徴を備えたものが開発できた。

風土イメージネットの開発では、桜木のネットでは、四季推移基本記述と桜木の形状イメージの表現化を試み、枯木から開花に伴う華やかさや、幹一枝一花一葉の具象性と複雑性の表現化に一応の成果を得た。山並と橋梁の水平目線ネットでは、背景画像の取り込みで地域の山並の形状の保持を図り、遠山と近山の樹木群を“□”のプレースとそのサイズ差等で表現する簡略化技法を試み、山並らしさのネット表現化に一応の成果を得た。そして、本方式の特徴が、このような風土記述の内生化と、その結果の視覚シミュレーション実行への直結性にあることを示した。また、橋梁のネットを構築し、配置することで、形状やカラーの代替案の検討や、周辺環境の修景計画の支援など、本方式の最終的な利用形態の姿と展開性を示唆することもできたと考えている。

社会基盤整備計画を地域風土イメージの形成性という長期性の視点から評価するという提案を実現するには、まだまだ多くの課題が残されている。一つは、本論文で作成した風土イメージネットの改良と発展化である。桜木のネットでは、複数樹木による桜並木化や花・葉の複数プレース化に加え、桜木の鳥瞰図化や他の樹木ネットの開発がある。山並ネットでは、これらの樹木ネットを組み込む複雑化や、落葉樹と常緑樹の差異化や霧の演出等が考えられる。これらの精緻化・複雑化を支えるソフトウェア面の改良として、現状の数的な制約の緩和と、プレースの形状のさらなる多様化が必要と考えている。また、風土に特有のある種のリズムとの関連での、創生イメージの評価法も課題である。

最後に、本論文では長期性の視点といいながら、本風土イメージネットでの記述は年サイクルに留まっている。これをいかにして 10 年、20 年に伸ばすかが最大の課題である。エイゼンシュテインは、「ショットはモンタージュの要素ではない。モンタージュの細胞であり、胚珠である」と述べたが、この課題では、変化する要素ネットから成長する部分ネットへという工夫が必要になり、ペトリネットシミュレータの発展方向を示すヒントを得たと思っている。

5-5 参考文献

- 1) 小林潔司:費用対効果分析の理念と限界, 土木学会誌, 84-2, pp. 25~28, 1999.
- 2) 篠原修:社会資本を創る人の情熱とシステムの問題, 土木学会誌, 84-8, pp. 22~23, 1999.
- 3) 特集:土木遺産は世紀を超える, 土木学会誌, 85-6, pp. 5~57, 2000.
- 4) 竹林征三, 野村康彦:地域整備計画におけるデザインプロセスと風土工学的アプローチに関する考察, 土木計画学研究・講演集, No. 18(2), pp. 317~320, 1995.
- 5) 竹林征三, 野村康彦, 他:風土工学にもとづく地域整備の基本コンセプト創出に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 19(2), pp. 87~90, 1996.
- 6) 竹林征三:「風土工学序説」, 技報堂出版, 1997.
- 7) システム科学研究所:風土分析を用いた都市高速道路のイメージ調査報告書, 1995.
- 8) 中村良夫:研ぎすませ風景感覚-2, 国土の詩学, 儀暴動出版, 1999.
- 9) Kurt Jensen: Colored Petri Nets, Vol. 1~3, Springer, 1997.
- 10) 村田忠夫:ペトリネットの解析と応用, 近代科学社, 1992.
- 11) 木俣 昇, 岸野啓一, 白水靖郎: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, Vol. 9, pp. 31~40, 2000.
- 12) 末末良一, 山田宏尚:画像処理工学, コロナ社, 2000.
- 13) E. Teicholz, B. J. L. Berry: Computer Graphics and Environmental Planning, Prentice-Hall, 1983.
- 14) ハラルド・キュッパース(澤田俊一訳):色彩論の基本法則, 中央口論美術出版, 1997.
- 15) 日本色彩学会編:新編色彩科学ハンドブック[第2編], 東京大学出版会, 1999.

第6章 三次救急を対象とした救急車の走行時間信頼性

からみた救急搬送力評価に関する研究

6-1 概 説

6-1-1 本研究の背景と目的

消防に付随して実施されるようになった救急搬送サービスは市民に浸透するとともに、その需要は急速に増加してきている。金沢市における平成9年中の救急出動件数は8423件で、搬送人員は7990人であった¹⁾。これは、1日平均23件の割合で救急隊が出動し、市民の58人に1人が救急隊によって搬送されたことになる。

救急搬送業務は消防に付随した形で実施されるようになったという背景から、また、専門性の強い医療分野の比重が大きくとらえられていたために、消防の分野ほどには研究が進んでおらず、その業務内容は救急隊員の経験によるところが大きい。また、ここ数年、二次救急医療体制では対応が困難な心筋梗塞、脳卒中、頭部損傷等の一刻を争う重篤救急患者を扱う三次救急が、年々増加する傾向にある。さらに、三次救急については指定医療機関が少ない（県の大きさによっても異なるが、3箇所～5箇所程度と少ない）ために、地域によって救急搬送サービス水準の偏りが大きいと考えられる。

6-1-2 本研究の方法

本研究では、以上のような状況を踏まえ、三次救急搬送業務の現状を分析し、救急車両の走行時間信頼性の算出による救急搬送サービスのサービスレベル評価法を提案する。具体的には、金沢市の8つの救急隊が存在する消防署の三次救急搬送サービスの相対評価を行い、金沢市における三次救急搬送サービスのあり方について考察する。また、最近システム導入の検討が行われてきているITS技術の導入効果についても検討したい。

6-2 既存研究の整理と本研究の位置付け

6-2-1 救急搬送活動と施設配置に関する研究

救急搬送活動に関する研究では、現状分析に基づいた需要予測や現状評価といった研究が行われてきている。

高梨の研究²⁾では、救急事象の発生要因を的確に把握し、的確な施策を講じていくための救急発生要因を解明し、東京都全域を対象とする救急需要の発生マクロモデルにより、救急需要の将来予測を

検討している。

また、救急車の走行性に着目した研究として、以下のような研究が行われている。

小池、秀島、山本らの研究³⁾では、名古屋市の救急活動の現状を把握し、救急隊員を対象としたアンケートによって救急車の走行阻害要因についての意識調査を行っている。そして、これをもとに、救急車の走行阻害要因及び走行支援方法を検討している。

山田、柏谷、朝倉らの研究⁴⁾では、交通量が少なく道路整備による時間短縮便益総額が少ない中山間地域では、総走行便益額以外にも道路整備効果を表す指標が必要と考え、公共サービスの受益に着目して単純な救急サービスを取り上げ、MCLP(Maximal Covering Location Problem)モデルを用いた評価指標値を提案している。

さらに、救急サービスの向上策に関する研究として、施設の最適配置や道路整備、サービス圏域の最適化などの検討が行われている。

及川・藤井らの研究⁵⁾では、施設の現況の配置を保存したままで、その利用圏の合理的な分割方法を求め、圏域構成の最適化を図るという方針で、領域分割モデル(ミニマックスモデル)を提案している。

佐伯、柏谷、二神らの研究⁶⁾では、愛媛県中部地域を対象として、救急サービスの広域化による効率性の向上と公平性の確保について検討している。適性な施設配置のために、与えられた施設数のもとで許容時間内にサービスを受けられる人口を最大化するMCLPモデルを用いている。

折田、佐藤、武田らの研究⁷⁾では、傷病発生から医療施設までのアクセスビリティの向上のためには道路整備が必要であり、とりわけ時間短縮には高速道路の活用が重要との認識に立ち、救急医療活動を支える消防機関、救急隊員の視点からみた今後の高速道路整備のあり方を分析している。

6-2-2 時間信頼性に関する既存研究

道路網の信頼性という概念はかなり以前から研究されている。その一つは地震や豪雨などの自然災害において、リンクが通行不可能となってもネットワークの連結性が保たれる確率を指標化したものである。一方、自然災害は稀な事象であり、平常時における安定した信頼性のある道路サービスの提供も同様に重要であることから、平常時における旅行時間の信頼性を指標化する研究もなされている。

飯田・若林の研究^{8) 9)}では、災害等によってリンクが閉塞する確率を与えたときに、円滑な走行移動が不可能となり、道路網が機能しなくなる確率を、システム工学的方法によって求めている。また平常時における旅行時間の信頼性について、ネットワーク上の交通流の確率分布を想定し、リンク交通量が容量を超過し、ネットワークが閉塞状態に達する確率を求めている。

朝倉らの研究¹⁰⁾では、平常時ネットワークに対する異常時ネットワークのOD間最短経路長の比が、基準値を上回らない確率を連結度の指標とし、迂回距離の上限を考慮したOD間連結度指標について考察している。

6-2-3 交通量変動の推計に関する既存研究

時間信頼性指標を考える上で必要になってくるのが交通量変動の把握であって、今日では道路網の実測交通量を利用した新しい観点からの推計法が提案されている。

高山・飯田¹¹⁾は車両感知器による常時観測交通量データから車両感知器の設置されていない道路区

間の交通量を簡易に推計する方法を提案している。

6-2-4 本研究の位置付け

上述のように、時間信頼性の評価ならびに、交通量変動の推計に関する研究は、比較的数多く行われており、研究内容も進んだものになっている。また、救急に関する研究では、各地において救急出動の実データを用いた実態評価や、MCLP モデルを利用した医療機関ならびに救急拠点の最適配置の検討が行われている。しかし、救急車両の走行性を定量的に算出して、救急搬送サービス水準を評価する研究事例は少ないようである。

消防車両のリンクコスト関数を設定し、消防車の走行時間信頼性を評価する研究としては、著者らの研究¹²⁾があるが、現場から搬送先医療機関までの救急車両のリンクコスト関数を設定した研究事例は著者ら以外にはないようである。したがって、救急車両の走行性を定量的に評価するという点に本研究の特徴があると言える。よって、救急車両の走行性から地域の安全性を評価することができれば、病院の郊外移転などを検討する際に非常に有効な手法になると考えられる。

そこで本研究では、ネットワーク上の交通量を地点相互の相関関係を考慮して推計する高山・飯田の推計手法¹¹⁾により推計し、救急車両のリンクコスト関数を設定した上で、推計した交通量から救急車両の走行時間信頼性指標を算出する。こうして算出した走行時間信頼性指標を用いて救急搬送サービス水準を評価する簡便な方法を提案する。さらに、特に今回は三次救急搬送サービス力評価を中心に、三次救急搬送サービス力の増強方法についても、併せて検討する。

6-3 金沢市における救急搬送需要の現状分析

本章では、金沢市消防本部の協力によって閲覧が可能となった救急業務報告書のデータを分析することにより、金沢市内各署の三次救急搬送サービス水準の相対評価および三次救急搬送活動の現状把握を行う。

6-3-1 金沢市救急業務報告書のデータ閲覧内容

現在、金沢市の救急隊はその出動ごとに、その救急業務内容の詳細を救急業務報告書として記録している。この救急業務報告書には、搬送活動の時間経過だけでなく、傷病者の傷病内容等、詳細な情報が記載されている。金沢市消防本部の協力により、平成 10 年救急業務報告書のデータの一部を閲覧し、それに基づきデータの収集作業を行った。本研究の調査分析の対象とするのは、平成 10 年の 1 年間における業務報告書のデータ（三次救急総出動件数 154 件）についてである。今回、本研究のために閲覧許可が得られたのは、傷病者のプライバシーの問題もあり、下記の情報に限られた。

【収集データの内容】

- ・年月日
- ・天候（晴・曇・雨・雪・霧・その他）
- ・覚知別（119・110・警察直通・加入電話・駆付・その他）
- ・受令場所（署所・出場先・医療機関・帰途・移動先・他）

- ・時間経過（覚知→出場→現場到着→現場出発→医療機関到着→医療機関引揚→帰署）
- ・発生場所（町名）
- ・搬送始点（町名）
- ・医療機関選定者（救急隊・統制指令課・医師・傷病者・家族・その他）
- ・医療機関選定理由（直近適応・適応・特殊専門・三次救急・依頼（未）・依頼（済））

残念ながら本研究の特徴となるはずであった傷病別搬送形態の変化に関わる箇所は、閲覧することができなかった。救急車両と消防車両の走行性の違いは、現場から医療機関への搬送時の走行形態にあり、本来ならば現場出発から医療機関到着までの間の所要時間のデータを利用すべきであるが、搬送先医療機関名は残念ながら閲覧できない結果となった。

6-3-2 三次救急搬送サービスの相対評価

金沢市救急隊8署において、覚知から医療機関到着までの所要時間分布の累加曲線を図6-1に、また、所要時間の50パーセンタイル値・80パーセンタイル値を表6-1にそれぞれ示す。なお、救急搬送サービス力を相対的に評価するにあたり、走行性に関係ない現場処置時間を含んでいると、適切な評価ができないと思われる。したがって、図6-1・表6-1の結果には現場処置時間は含まれていない。

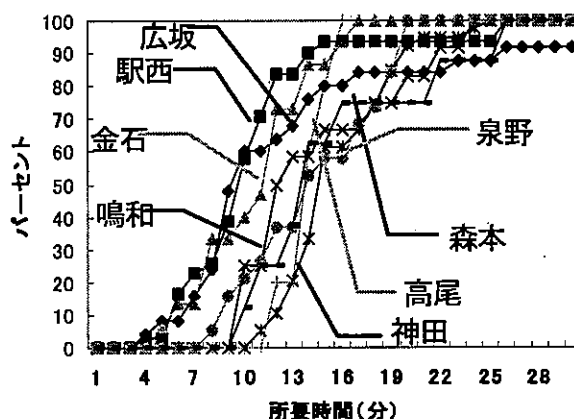


図 6-1 搬送所要時間についての累加曲

表 6-1 搬送所要時間の50パーセンタイル値（分）
および80パーセンタイル値（分）

	広坂	駅西	金石	鳴和
50パーセンタイル値	9.2	9.6	11.1	12.0
80パーセンタイル値	15.0	11.7	13.5	19.6
	神田	泉野	高尾台	森本
50パーセンタイル値	14.6	13.8	13.8	13.5
80パーセンタイル値	18.5	18.6	15.0	21.4

この結果、もっとも早く累積値が 80%を越えるのは、駅西署であり、金石署、広坂署、高尾台署、神田署、泉野署、鳴和署、森本署の順になっている。グラフでは曲線が左側にシフトしているほどその署における医療機関までの所要時間が短く、覚知から医療機関到着においてサービス水準が高いことを示している。この図 6-1 において、最もサービス水準が良好と思われるのは駅西署で、サービス水準が最も悪いと思われるのは、森本署であった。

6-4 走行時間信頼性指標の算出

本章では、救急搬送サービス水準を評価するための指標である、救急車の走行時間信頼性指標の算出方法を示す。

まず、道路ネットワーク全リンクの交通量をリンク間相互の相関関係を考慮して把握する方法を示す。次に、救急車のリンクコスト関数を、現場駆け付け時と医療機関搬送時に分けて設定し、走行時間信頼性指標の算出手法を示す。

6-4-1 交通量変動の推計

道路網の走行時間信頼性指標を求めるためには、すべてのリンクの交通量の分布が求まっていなければならない。しかし、実際に交通量の変動特性が求まるリンクは交通量観測が常時行われているものに限定される。したがって、道路網の走行時間信頼性指標を計算するためには、交通量観測が実施されていない非観測区間の交通量を何らかの形で推計して、全てのリンクの交通量変動を求めることが必要である。

ここでは、リンク交通量の分布形を正規分布と仮定し、交通量相互に存在する相関関係を利用して擬似的に相関を持つ正規乱数を発生させることによって、非観測区間交通量(変動分布)を推計するモデル¹⁴⁾を利用することにする。

6-4-2 走行時間信頼性指標の算出

OD ペア間の走行時間信頼性指標を求めるためには、リンク交通量の変動をリンク走行所要時間の変動へ変換する必要がある。ここではまず、交通量の変動をリンク走行所要時間の変動へ変換する方法を提案し、それをを用いた OD ペア間の所要時間の確率分布について考え、その確率分布から走行時間信頼性指標を算出する方法を述べる。

(a) 救急車のリンクコスト関数

一般車両の場合、一般に交通量(V)と走行所要時間 $t(V)$ の関係式として、(1)式のようなリンク交通量に対する単調増加な B. P. R 関数が用いられている。

しかし、救急車などの緊急車両の場合は一般車両の場合と異なり、サイレンを鳴らして道路を通過できるため、一般車両の場合よりも交通量から受ける影響が少ないと考えられる。そこで、ここでは救急車のリンクコスト関数を次の 2 つの場合に分けて考える。

$$t_a(V_a) = t_{a0} \left\{ 1 + r \left(\frac{V_a}{C_a} \right)^k \right\} \quad (1)$$

V_a : リンク a の交通量
 C_a : リンク a の交通容量
 $t_a(V_a)$: リンク a の走行所要時間
 t_{a0} : リンク a の自由走行所要時間
 r, k : B. P. R 関数のパラメータ

$$t_a(V_a) = t_{a0} \left\{ 1 + er \left(\frac{V_a}{C_a} \right)^k \right\} \quad (2)$$

V_a : リンク a の交通量
 C_a : リンク a の交通容量
 $t_a(V_a)$: リンク a の走行所要時間
 t_{a0} : リンク a の自由走行所要時間
 r, k : B. P. R 関数のパラメータ
 e : 交通量影響軽減係数

<非渋滞時の場合>

非渋滞時とは、道路が交通渋滞によって閉塞していない場合のことである。ここで道路の閉塞とは、リンクが一般車両によって満たされ、緊急車両のすり抜けが出来ない状態のことをいう。この非渋滞時の場合には、一般車両の場合よりも交通量から受ける影響が小さいと考えられ、式 (1) の第 2 項の交通量に関する項に、係数 e を乗じて交通量からの影響を軽減する必要がある。

<渋滞時の場合>

渋滞時とは、道路が交通渋滞によって閉塞している(混雑度が 1 を超える)状態で、一般車両の場合と交通量から受ける影響がほぼ同じものとする。この場合は一般車両と同様のリンクコスト関数式(1)を用いて走行所要時間を推定する。

(b) OD ペア間の走行時間信頼性の算出

リンクコスト関数の設定により、OD ペア間の所要時間の確率分布関数、確率密度関数を求めることができる。本研究では、走行時間信頼性に関する指標は、「所与の時間 (T) で目的地へ到達できる確率 $P_{ij}(T)$ 」とする。走行時間信頼性は、以下のように表せる。

【目標時間 T 以内でODペア i, j 間をトリップできる確率】

$$P_{ij}(T) = \int_0^T \phi_{ij}(t) dt \quad (3)$$

ここに、 $\phi_{ij}(t)$ はOD走行所要時間の確率密度関数である。

6-4-3 リンクコスト関数のパラメータ設定

ここでは、式(2)で使用したパラメータ e を実際の救急業務報告書のデータから推定する。

(a) 使用データ

使用データは、平成7年度金沢都市圏パーソントリップ調査報告書¹³⁾の配分交通量、混雑度と金沢市消防本部からの救急業務報告書のデータである。

(b) e の設定方法

救急車の走行性は、現場までの駆け付け時と、医療機関までの搬送時では異なると考えられる。現場までの駆け付け時では、どのような状況にも対応できるように、できる限り早く駆け付けようとするが、現場から医療機関までの搬送時は、その傷病内容や傷病程度によって、振動を与えないように、また、応急処置が行えるようゆっくり搬送する場合があるため、走行性が異なる。本研究では、式(2)の交通量影響軽減係数 e を駆け付け時と搬送時の2つに分けて推定する。

e の推定は、まず救急業務報告書のデータから、救急拠点から出動現場までの駆け付け所要時間、現場から三次救急指定医療機関までの搬送所要時間を把握する。次に各署から現場までの経路に沿って通行リンクを抜き出し、それぞれのリンクについて式(2)に平成7年度金沢都市圏パーソントリップ調査報告書から得た交通量、混雑度、B.P.R関数のパラメータ値($r=0.15, k=4$)を与え、リンク所要時間を求める。その和をとり、署から現場までの所要時間を求めた。求めた所要時間と救急業務報告書のデータの所要時間とを比較し、実際の所要時間との誤差が最小となるように e を決定する。その結果、駆け付け時の e は0.35(相関係数は0.65)、搬送時の e は0.43(相関係数は0.89)となった。ちなみに、一次・二次救急の場合の搬送時の e は0.61(相関係数は0.85)であった。

6-5 救急搬送サービス水準の評価

本章では、走行時間信頼性指標から救急搬送サービスの水準を評価する方法を示し、金沢市幹線道路ネットワークを対象に、三次救急に関する搬送サービス水準を評価する。

救急力を評価する際に、まずノードとリンクに囲まれた地域を分割し、ノードに集約する。図6-2のように集約化する地域が三角形ならば、その三角形の外接円の中心をその地域の中心点とし、その点から各リンクの midpoint に分割線を引く。多角形の場合、図6-3のように形状ができるだけ似るようにいくつかの三角形に分け、それぞれについて前述の三角形の場合と同じように分割を行う。また、三角形が鈍角三角形の場合は、図6-4のように中心点を長辺の midpoint と近似して分割する。こうして分割された地域をそれに最も近いノードとみなす。以上の考え方により、地域をノードに集約することにする。

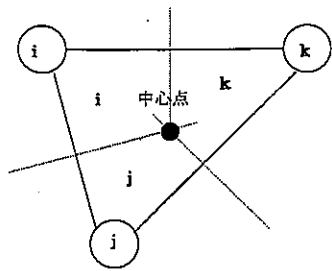


図 6-2 三角形地域の分割

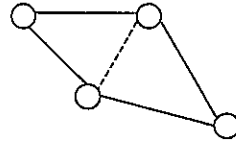


図 6-3 多角形地域の分割

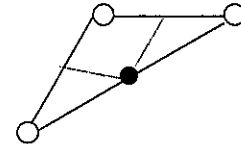


図 6-4 鈍角三角形の分割

次に、全現場ノードに対して、消防署から最短所要時間経路で現場に向かう時の所要時間、現場から最短所要時間経路で一番近い医療機関に搬送する時の所要時間の2つを足し合わせる。次に基準確率（目標時間内に患者を病院に搬送できる確率）を与え、式(3)でそのときの所要時間を計算する。さらに、現場で処置を行う時の現場処置時間を加え、総所要時間を計算する。次に、救急車が到達できるであろうと思われる基準確率を設定し、その時の総所要時間が目的時間より短いノードについては救急搬送サービスが行き届いていると判断する。以上の方法により、各地域の三次救急搬送サービスのサービスレベルを評価する。

本研究では、現場処置時間については、救急業務報告書の三次救急搬送における平均値 12 分を設定した。目標時間については、後ほど、三次救急搬送サービス水準と一次・二次救急搬送サービス水準とを比較・検討するために、今回は救急業務報告書の総所要時間の平均値 20 分（一次・二次救急）を設定することで、相対的な評価とした。また、基準確率は安全性・現実性を考慮するために 80% と設定した。

6-6 三次救急搬送サービス力の増強方法

本章では、三次救急搬送サービス力の増強方法を示す。具体的には、既存の医療機関のうちの1つを三次救急指定医療機関に指定し、三次救急搬送力の増強を図ろうとするものである。

目的関数として Z （走行時間信頼性×需要強度）を挙げ、全ノードについてこれを計算し、それら全てを足し合わせた値が最大になる時の医療機関の配置を抽出する。これを数式で表すと、下のようになる。

$$\max Z = \sum_j P_{ijk}(T) \cdot D(j) \quad (4)$$

i : 救急拠点ノード

j : 評価対象地域ノード

k : 搬送先医療機関ノード

$P_{ijk}(T)$: 目標時間 T における時間信頼性指標

$D(j)$: 評価対象地域ノードにおける需要強度

ここで需要強度とは、救急出動全件数に対する、それぞれのノードで発生した救急出動の割合である。

6-7 三次救急搬送サービスを対象とした金沢市におけるケーススタディ

6-7-1 対象道路ネットワーク

今回適用した金沢市の道路ネットワークは、ノード数 152、リンク数 260 の幹線道路ネットワークである。今回は、細街路は考慮せず、幅員 6m 以上の道路のみを対象とする。

6-7-2 三次救急搬送サービス水準の評価

平成 7 年度金沢都市圏パーソントリップ調査報告書に記載されている交通量、混雑度、また 3 章で設定した救急車のリンクコスト関数から、走行時間信頼性指標を金沢市の 8 署について算出し、各地域の三次救急搬送サービス水準を評価する。その結果を図 6-5 に示す。また、同様の方法で一次・二次救急搬送サービス水準を評価し（図 6-6）、三次救急搬送サービス水準と比較・検討する。なお、搬送先医療機関は、三次救急医療に指定されている 3 つの医療機関（金沢大学医学部附属病院・石川県立中央病院・金沢医科大学病院）を選定した。また、一次・二次救急搬送サービス水準の評価を行う際の搬送先医療機関は、平成 10 年度に金沢市で起きた、一次・二次救急搬送の全件数のうちの約 8 割が搬送された、13 の医療機関を選定した。

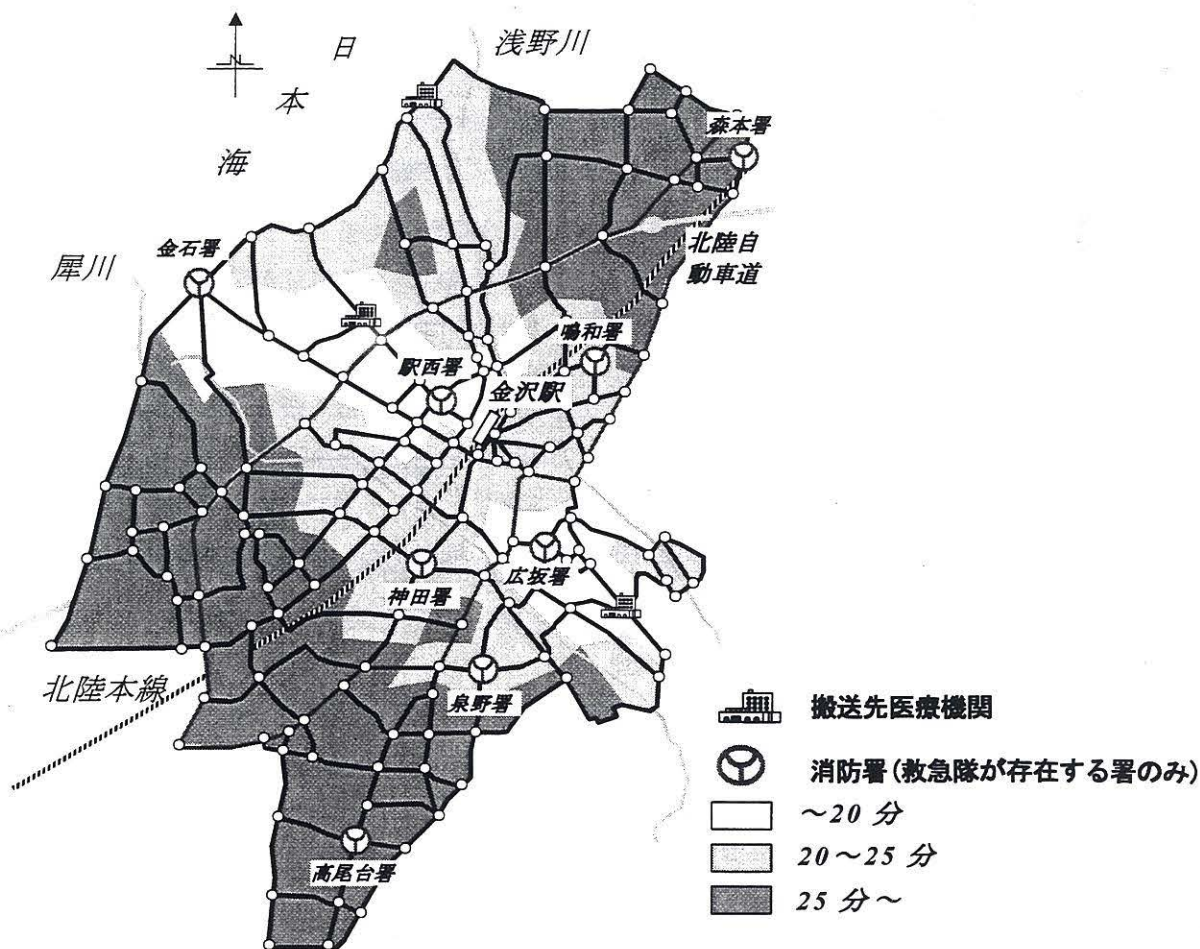


図 6-5 三次救急搬送サービス水準の評価

7-7-3 三次救急搬送サービス水準と一次・二次救急搬送サービス水準との比較・検討

図 6-5 と図 6-6 を見てみると、消防署と搬送先医療機関の両方に比較的近い地域については、搬送サービス水準は高いものとなっている。また、両図を見比べると、明らかに三次救急搬送サービス水準の方が劣っている。これは、図 6-5 と図 6-6 とでは消防署の配置は変わっていないが、搬送先医療機関の数が全く違うということから自明の結果と言える。しかし、平成 10 年度の救急出動発生件数を見てみると、一次・二次救急が約 4000 件（直近のみ）に対して三次救急が 154 件と圧倒的に少なく、救急需要と経済面から考えれば、この医療機関の数の差は妥当でないこともないと思われる。図 6-7 は、三次救急と一次・二次救急の総搬送所要時間の差を図示したものである。

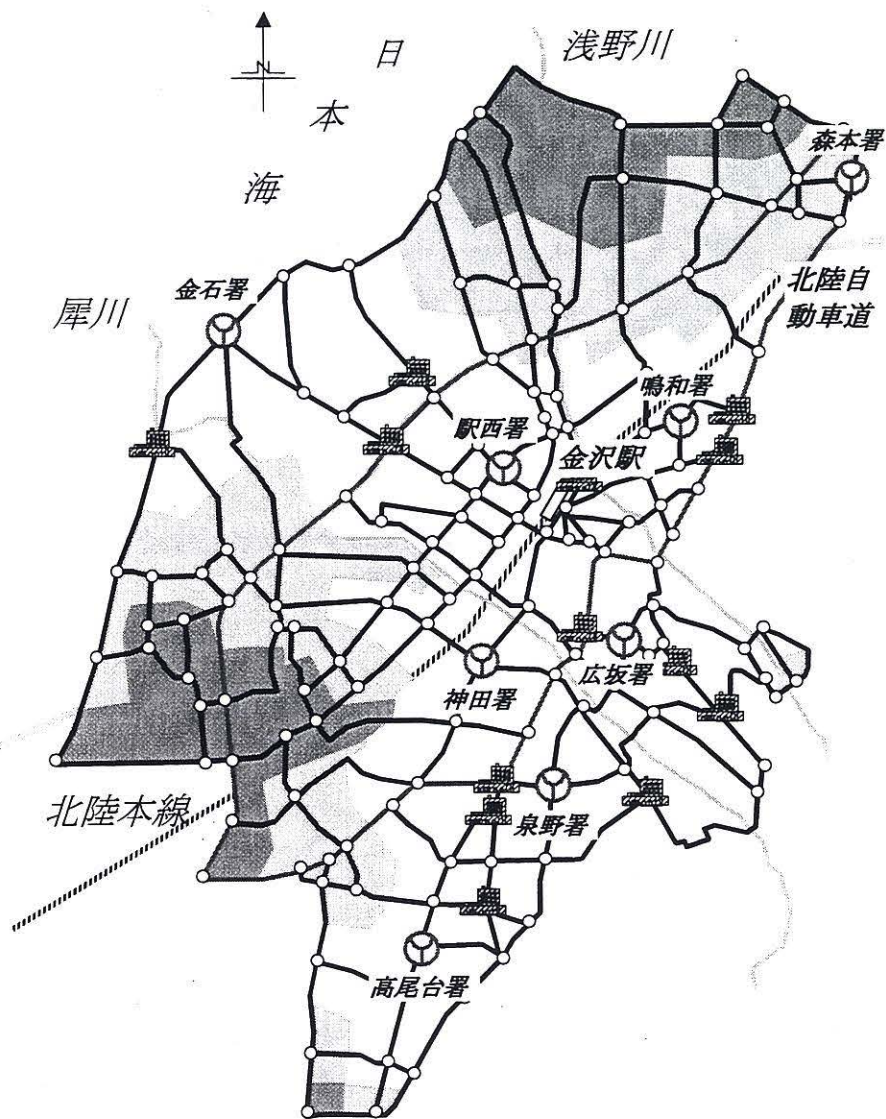


図 6-6 一次・二次救急搬送サービス水準の評価

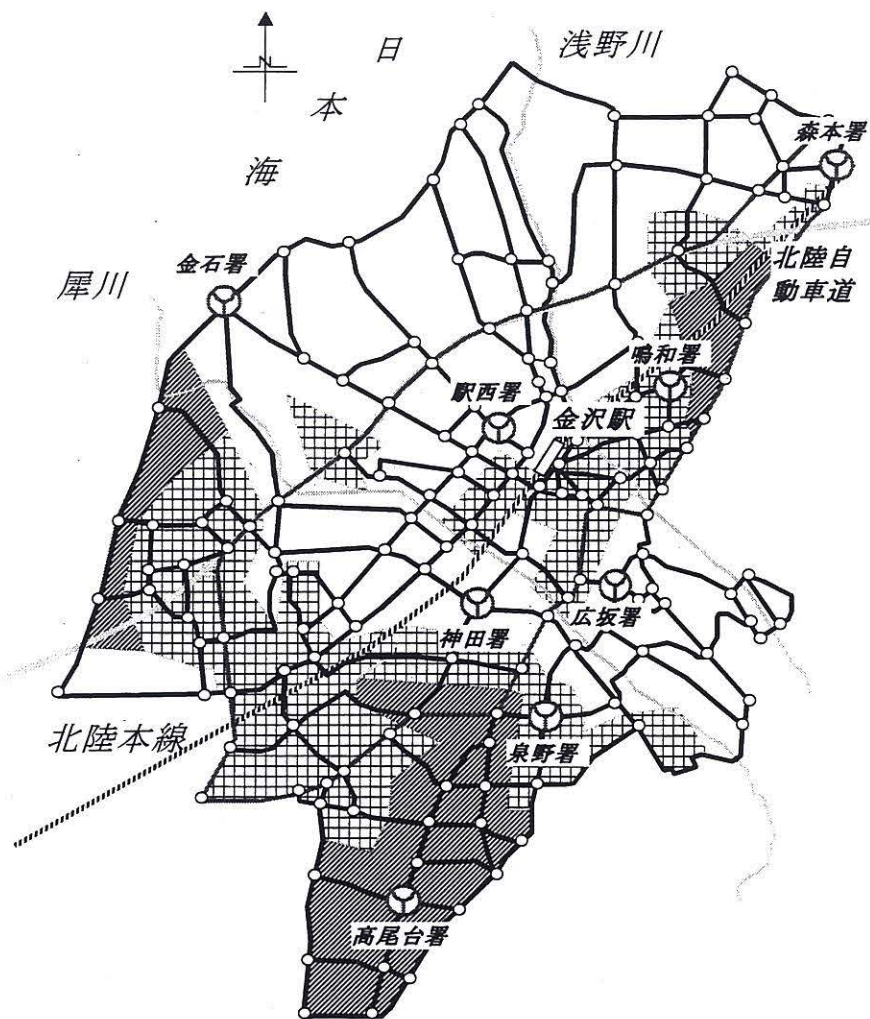


図 6-7 三次救急と一次・二次救急の総搬送所要時間の差

この結果を見ると、北部ではそんなに差は無いが、南部では大きな差が見られ、特に郊外部では差が大きいことがわかる。

6-7-4 三次救急搬送サービス力の増強

ここでは、6章で提案した三次救急搬送サービス水準の増強方法を、実際に対象ネットワークに適用した結果を示し(図6-8)、その結果について考察する。

結果としては、式(4)の目的関数より、図6-5において非常に三次救急搬送サービス水準が低かった地域の病院が、三次救急医療機関に指定されることとなった。さらにこの地域は、消防署からも比較的近いとあって、三次救急搬送サービス水準がかなり向上する結果となった。一方、南西部は、もともと救急隊が存在する消防署が無いという、患者を搬送できる医療機関も少ないことから、三次救急指定医療機関を1つ増やしても、三次救急搬送サービス水準にさほど変化は無かった。

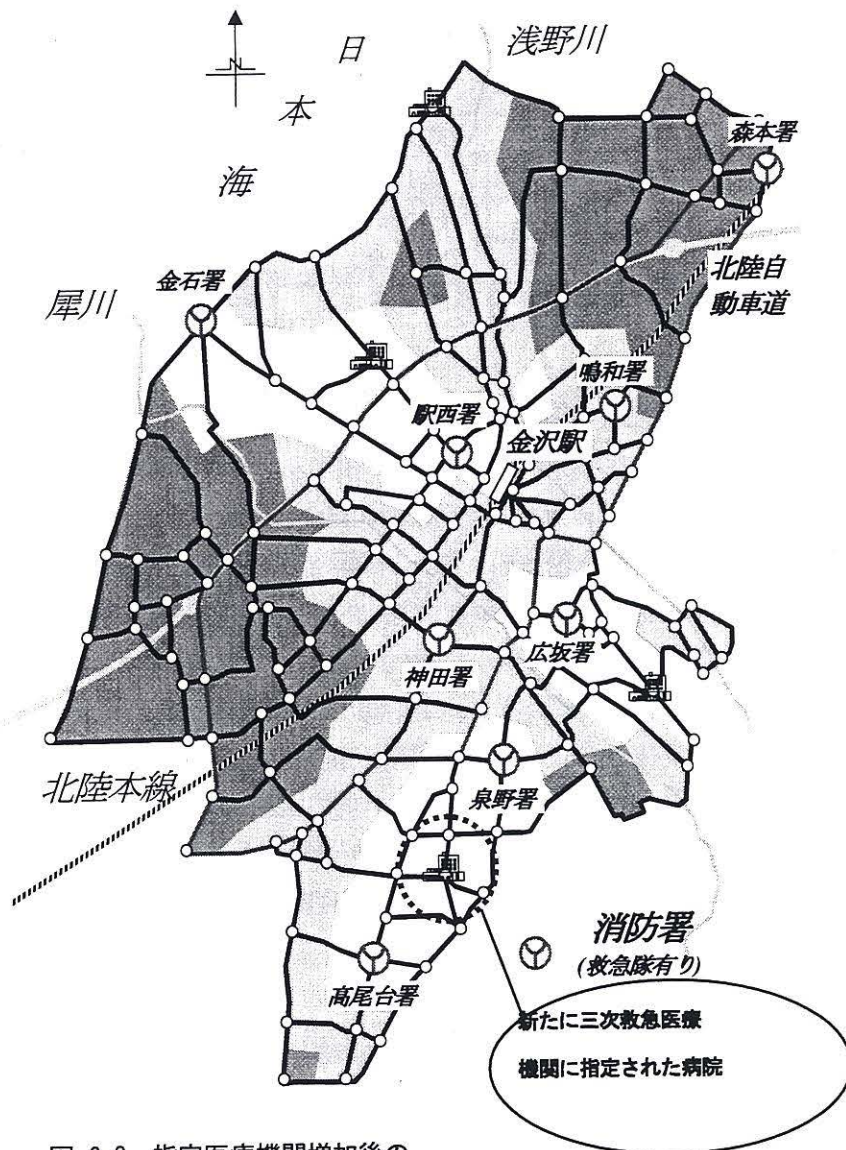


図 6-8 指定医療機関増加後の
三次救急搬送サービス水準の評価

6-8 救急 ITS の国内事例

救急 ITS の導入は、警察庁を中心とした新交通管理システム(UTMS : Public Transportation Priority Systems)整備の一部として取り入れられ、研究開発及び実用化が全国で進められている。

現在は表-1のように全国5箇所ですでに導入されている。しかし、FAST (Fast Emergency Vehicle Preemption Systems) の主な内容(信号制御、情報提供による最適経路への誘導、緊急車両の接近通知、その他の情報提供等)に対して、全国で導入されているシステムは主に信号制御のみとなっている。また、既存研究でも、その他のシステムの有用性について研究されたものは見当たらなかった。

そこで、本研究では情報提供による最適経路への誘導に焦点をあて、今後の救急ITS導入の可能性ならびにその効果について検討する。

表 6-2 救急ITS導入状況

	開始年月	内容
警視庁	平成13年8月	信号制御・接近通知
千葉県	平成14年5月	信号制御
岡山県	平成15年1月	信号制御
石川県	平成15年1月	信号制御
大阪府	平成15年3月	信号制御

6-9 救急ITS効果の検討方法

6-9-1 ITS導入効果の検討方法

本研究では、救急活動のITS導入効果を評価するにあたって、救急拠点～事故現場～救急医療機関の間の旅行時間を一つの指標とする。これは、三次救急にとって発病から治療にかかる時間が非常に重要であるからである。

方法としては、人間の経験によって経路選択を行った場合、そして、情報提供によって最適経路へ誘導した場合それぞれを想定し、一定期間内でのシミュレーションを行い、2パターンの旅行時間を比較することで有用性を検討する。ここで、人間の経験による経路選択とは、「ネットワーク上で、様々な条件を加味した結果、期待的に旅行時間が最短であると導き出された経路を毎回選択する」とし、情報提供による経路選択とは「確率的に変動する最短経路に対して、毎回最短経路を選択できる」とする。

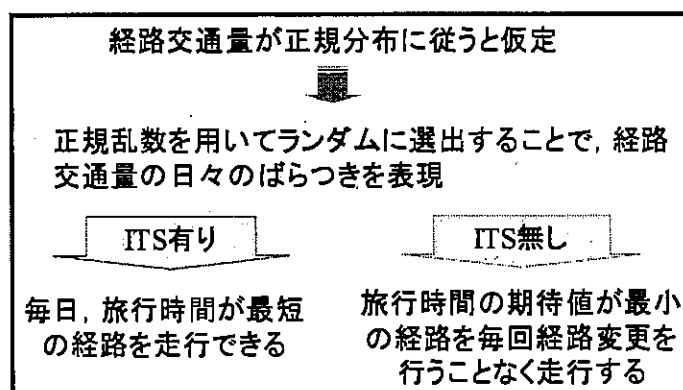


図.6-9 ITS効果の検討方法

6-9-2 リンク交通量の推定

道路ネットワークでの旅行時間を求めるためには、すべてのリンクの交通量変動が求まっていなければならない。しかし、全ての道路区間において同時に交通量観測を行ったり、また常時交通量観測のための車両感知器を設置することは経済的にみて実現不可能であることから、実際に交通量変動が

求まるリンクは交通量観測が行われているものに限られてくる。すなわち、交通量観測があまり実施されていない非観測区間の交通量を何らかの形で推計して、全てのリンクの交通量変動を求めざるを得ない。

そこでここでは、OD 交通量が正規分布に従うと仮定し、正規分布に従う交通量を配分するワードロップ均衡モデルを拡張した確率ネットワーク均衡モデル¹⁾を利用することにする。

交通量・旅行時間の不確実性を考慮する場合、交通需要を確率分布（確率変数）と仮定し、交通量を確率的に配分することが必要になると考えられる。そこで、OD 交通量が正規分布に従うと仮定し、正規分布に従う交通量を配分する確率ネットワーク均衡を用いる。このような均衡モデルは従来までのワードロップ均衡が確定値としての OD 交通量を確定的に配分していた点を大きく拡張し、確率的な OD 交通量を確率的な交通量として配分するものである。

(a) 交通量の分布

確定的な OD 交通量のデータは各種調査結果から算出することが可能であり、それを OD 交通量の平均に適用することができる。しかし、OD 交通量の分散（標準偏差）に関しては、データを得ることが極めて困難である。そこで、ここで用いるモデルでは、OD ペア i ($i \in U$) の OD 交通量の標準偏差 σ^i は $\eta\mu^i$ と仮定する。ただし、 η は正のパラメータ、 μ^i は OD 交通量の平均である。つまり、OD 交通量について、平均に比例して標準偏差が決まると仮定している。また、標準偏差 σ^i を $\eta(\mu^i)^{\kappa}$ とより複雑な式に仮定することも可能であり、そのように仮定しても以下、同様なモデル化が可能であるが、ここでは単純化のため上のように仮定する。また、経路交通量（OD ペア i の経路 j の交通量）についても、その標準偏差 σ_j^i は $\eta\mu_j^i$ と仮定する。このとき、 $\mu^i = \sum_j \mu_j^i$ 、 $\sigma^i = \sum_j \sigma_j^i = \eta \sum_j \mu_j^i$ である。

$$F_j^i \sim N[\mu_j^i, (\eta\mu_j^i)^2] \quad (5)$$

以上に加えて、各経路交通量は独立と仮定する。このとき、リンク a の交通量 X_a は正規分布に従う（独立な）経路交通量 F_j^i の和 $\sum_i \sum_j \delta_{a,j} F_j^i$ であるため、それは以下の正規分布となる。

$$N[\sum_i \sum_j \delta_{a,j} \mu_j^i, \sum_i \sum_j \delta_{a,j} (\eta\mu_j^i)^2] \quad (6)$$

なお、経路交通量は独立と仮定したが、リンク間で、特に隣接するリンク間では同一の経路交通量が流れることがあるため、リンク交通量は独立ではない。

(b) 定式化の方法

前節までに述べたように、OD 交通量が正規分布に従うとすると、実現される交通ネットワークの状態は以下のように表現できる。

$$E[T_j^i] = \lambda^i \quad \text{if } \mu_j^i > 0 \quad \forall j \in J \quad \forall i \in U \quad (7)$$

$$E[T_j^i] \geq \lambda^i \quad \text{if } \mu_j^i = 0 \quad \forall j \in J \quad \forall i \in U \quad (8)$$

T_j^i はODペア i の経路 j の旅行時間(確率変数), λ^i はODペア i の最短の期待旅行時間である。上式は, Wardrop 均衡と同様に, 以下のように定式化できる。

$$\min. Z = \sum_a \int_0^{\mu_a} g_a(w) dw \quad (9)$$

subject to

$$N = \sum_j \mu_j \quad \forall j \in J \quad \forall i \in U \quad (10)$$

$$\mu_a = \sum_j \delta_{a,j} \mu_j \quad \forall j \in J \quad \forall a \in A \quad (11)$$

$$\mu_a \geq 0, \mu_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad \forall a \in A \quad (12)$$

ここで

$g_a(\cdot)$: リンク a の期待リンク旅行時間関数

N : OD 交通量

μ_a : リンク交通量の期待値

μ_j : 経路交通量の期待値

6-9-3 所要時間の算出方法

指標となる旅行時間の算出方法は様々であるが, 本研究では, 先の4章で示した方法と同様に, 一般車両についてのリンク所要時間の算出に用いる走行時間関数(BPR関数)を用いる。ただし, 救急車両に対しては, 補正を行うことで救急車両のBPR関数を設定し, リンク所要時間を計算するものとする。

BPR関数は, 一般車両に対して, 交通量配分におけるリンク a の走行時間 $t(V_a)$ と交通量 (V_a) の関係を, 式(1)に示すようにリンクごとの走行時間関数を用いて表すものである。

救急車両の場合は消防車両の場合と同様に, 一般車両の場合と異なり, サイレンを鳴らして道路を通行できるため, 一般車両の場合よりも交通量から受ける影響は少ないと考えられる。そこで, 金沢市消防本部から得られたデータをもとに, 一般のBPR関数に補正を加え用いることにする。

また, 一般にリンク交通量は日々変動するものであるため, ここではリンク交通量を正規分布に従うものと仮定する。それぞれの分布からランダムに交通量を抽出し, 改良されたBPR関数により日々のリンク所要時間を算出する。

6-10 仮想ネットワークでのシミュレーション

6-10-2 単純ネットワークによる検討

ITSの効果を実際のネットワークで検討する前段階として, 図6-10のような単純な仮想ネットワークに適用し, 検討を行う。ネットワークは1OD2リンクであり, 表6-3のように走行時間関数を設定した。尚パラメータは $r=0.15$ $k=4$, 配分するOD交通量は, ノード1からノード2までの4000台とする。

このネットワークにおいて, 起点ノードを①, 終点ノードを②とし, 1000日間のシミュレーションを行った。その結果, 毎回変わる最短経路に対し, ITSによる情報提供で毎回最短経路を走行できた

車両は、経路旅行時間の平均値が最短である経路を変更することなく毎回走行した場合よりも、3.9分短くなり、分散でも約61から44へ改善が見られた。(表6-4参照)

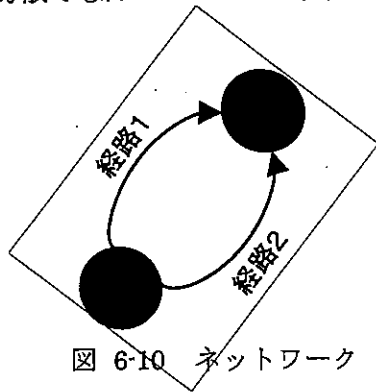


表 6-3 設定値

リンク	自由走行時間(分)	交通容量(台)
経路1	10	1000
経路2	10	1000

表 6-4 シミュレーション結果

	旅行時間		
	期待値	誘導による値	差
平均(分)	20.3	16.4	3.9
分散(分 ²)	60.5	20.1	40.4

6-10-2 混雑度の違いによる検討

ここでは、シミュレーションの設定値を変化させることで起こる影響を検討する。変化させる条件としては、混雑度を用いる。そこで、交通量を変化させ、前項のシミュレーション混雑度 2.0 に対して、起点①から起点②間での OD 交通量 3000 台 (混雑度 1.5)、そして OD 交通量 2000 台 (混雑度 1.0) にすることで変化を見る。

尚、BPR 関数に用いるパラメータは前項と同じく $r=0.15$ $k=4$, $e_a=0.35$ を用い、シミュレーション日数も前項と同じく 1000 日とした。

混雑度を変化させてシミュレーションを行なったところ、以下のような結果となった (表.5-3, 表.5-4)。をみるとわかるとおり、混雑度が高いほど、2 パターンの旅行時間の差、分散の差が大きくなった。つまり、これらのことから、道路が混雑しているほど ITS による最短経路への誘導の効果が高くなる傾向があることがわかった。

表 6-5 混雑度 1.5 の場合

	旅行時間		
	期待値	誘導による値	差
平均(分)	13.3	12.0	1.3
分散(分 ²)	6.1	1.9	4.2

表 6-6 混雑度 1.0 の場合

	旅行時間		
	期待値	誘導による値	差
平均(分)	10.65	10.41	0.24
分散(分 ²)	0.23	0.09	0.14

6-11 金沢市における道路ネットワークを用いた救急 I T S 導入の効果

本研究では実際のネットワークにおいて、ITS の効果のほどを検討するため、現実のネットワークにおいてもシミュレーションを行った。ネットワークは金沢道路ネットワークを取り上げることとする。金沢道路ネットワークは、金沢市、野々市町の一部の主に幹線道路を対象とした 220 ノード、712 リンクのネットワーク（図 6-12）である。このネットワークにおいて ITS による情報提供を行った場合の旅行時間の変化を確認、ITS を実際に導入した場合の効果を示す。

以上のような前提で、金沢市のネットワークにおいて 1000 日間のシミュレーションを行った。シミュレーション中に選択された患者発生ノードは消防管轄区域ごとに、図 6-12 のとおりのノード（広坂：橋場 神田：新神田 泉野：伏見台 1 丁目 駅西：中島大橋 鳴和：浅野元町 森本：疋田 金石：稚日野 高尾：額中前）であった。これらの患者発生ノードを対象に、起点のノードから中間ノードまでを「駆けつけ」、中間ノードから終点ノードまでを「搬送」とした。そして、前章で示したとおり、「駆けつけ」、「搬送」両方について、それぞれの経路旅行時間の期待値（人間が短時間でいけると判断する経路の旅行時間）と日々の経路最短旅行時間（ITS 導入後の旅行時間）の比較を行った（図 6-12 参照）。その結果、表 6-7 のような値が得られた。

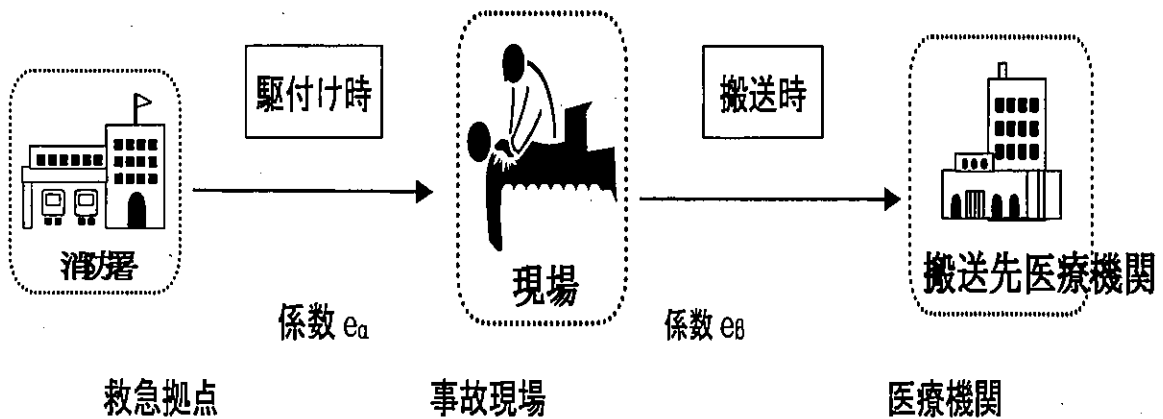


図.6-11 救急車両の搬送活動時の走行

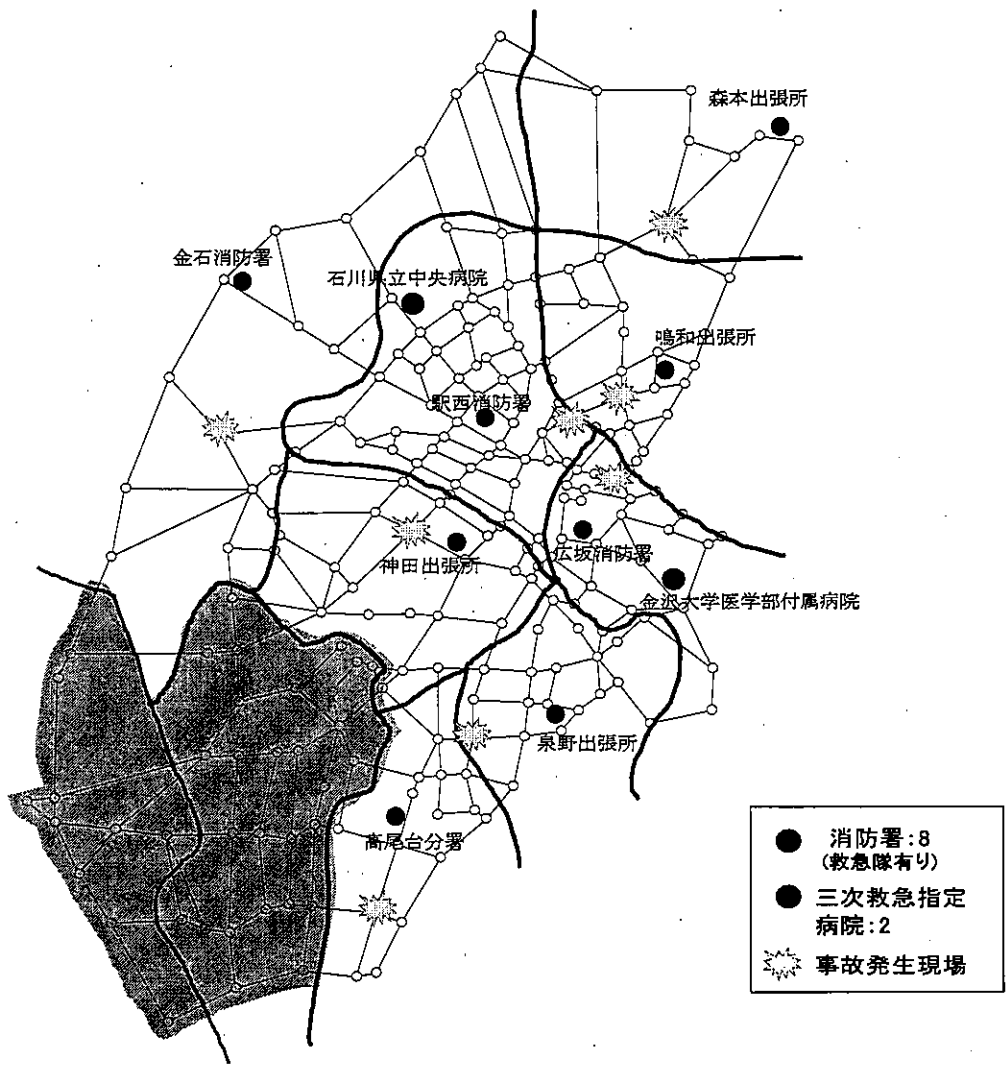


図 6-12 金沢ネットワーク図

表 6-7 シミュレーション結果

	駆けつけ		搬送	
	平均旅行時間の差	分散の差	平均旅行時間の差	分散の差
広坂	0.0	0.0	6秒	0.01
神田	0.0	0.0	7秒	0.02
泉野	0.0	0.0	5.5分	0.22
駅西	0.0	0.0	16秒	0.07
鳴和	0.0	0.0	14秒	0.04
森本	0.0	0.0	0.0	0.00
金石	0.0	0.0	0.0	0.00
高尾	0.0	0.0	5.9分	0.21
平均	0.0	0.0	1.4分	0.1

表.6-7 をみて一番に目に付くことは、駆けつけの経路旅行時間の差がいずれもゼロであるという点である。また、森本、金石、に至っては、搬送時間においても2つのケースの旅行時間に差はなかった。経路旅行時間の差がゼロになった OD ペア間では、シミュレーションの結果、1000 日間の最短旅行時間経路が毎日変わらず同じ経路であったため、誘導される経路と、人間の経験によって選択した経路が毎回同じとなり、差が生まれなかったものである。これは今回使用した金沢ネットワークが主要な幹線道路のみを対象としており、選択できる経路に限りがあったことが大きな要因であると考えられる。また、消防施設が細かに配置されていて救急車が走る時間が比較的短かったということも、選択できる経路が限られたこと、また、ITS の効果が仮想ネットワーク等に比べて比較的小さい値になったことの要因であると考えられる。すべての区域の駆けつけのシミュレーションで、2つのパターンに差が出なかったことは、これら2つのことが要因であると考えられる。また、森本、金石の搬送の旅行時間に差が出なかった原因は前者の要因が大きいと考えられる。

森本、金石の区域は金沢市のうちでも比較的郊外であり、主要幹線道路が比較的少ない。そのため、この区域に含まれるノードやリンク数が少なく、また、互いに疎になっている。このことから、他の区域に比べ、選択できる経路が大きく限られる結果となったと予想される。

これらの結果を見ると、比較的効果が ITS の導入効果があまり大きくないようにも見られる。しかしながら、高尾、泉野の区域を見ると、5 分の短縮と、他の地域に比べて大きな短縮となっている。これは、救急搬送活動にとって意味のある数字であると言えるだろう。

以上のようなことにも通じるが、結果を全体的に見ると効果が大きいのは、リンク・ノードが密になっており選択できる経路が比較的大きい地域、そして、搬送において搬送先の3次救急指定病院から比較的離れており、搬送に多くの旅行時間を要する区域である。これらの状況において、ITS による経路誘導は大きな効果を発揮することがわかる。泉野、高尾がその例である。これらの区域は、設定した3次救急指定病院から比較的離れている。このことが、他の区域よりもきわめて大きい結果を生んだ要因であるだろう。

以上よりまとめると、今回のシミュレーションでは ITS による経路誘導は、搬送時間が長くなる場合、そして、選択する経路が比較的多い場合に有効であることが示された。

また、渋滞等の影響による効果の差は残念ながら今回のシミュレーションでは確認できなかった。

この結果、ITS による経路誘導は、比較的医療機関や消防施設から離れている地域や、選択する経路が比較的多い地域においてより効果を発揮することが示された。

しかしながら、ノード・リンクは主要な道路のみを対象としており、その数は十分であるとは言えない。そのため、郊外では選択できる経路が限られ、実際の救急車の走行を忠実に示せていない可能性がある。今後、ノード・リンクの数を増やし、経路選択の幅を広げることで、より大きな効果を得られる可能性がある。

また、今回のシミュレーションでは、効果が小さい区域が見られた。しかし、この区域においても、交通量の配分方法や、旅行時間の算出の仕方、また、渋滞や突発的な事故の発生の組み込み等検討すべきことは多い。これらの検討方法に改良を加えることで、より大きな効果を得られる可能性があると思われる。

さらに加えると、旅行時間が大きい距離での経路誘導の効果がより大きいことは前述したとおりである。そのため、ヒアリングで日常よく行われるとされた、他の管轄区域への出動でより大きな効果をもたらすのではないかと考えられる。これは、同じ管轄区域内で患者が多数発生した場合管轄の消防署だけでなく、他の消防署からも救急車が出動する。この場合を指す。この場合、普段より走行距離は長くなり、経路旅行時間も長くなる。今回のシミュレーションでは検討していないが、前項の結果を考えると ITS による経路誘導が効果を発揮できるケースではないかと考える。

ここで以上を総合する。ITS による経路誘導は救急車の走行支援に有効であると考えられる。その程度は、パターンによって変わる。しかしながら、まだまだ検討の余地があり、いくつか手法を変えてシミュレーションを行う必要があると言えるだろう。

6-12 本研究の成果と今後の課題

6-12-1 本研究の成果

本研究ではまず、金沢市の救急活動の現状を統計資料を用いて分析することにより、把握することができた。この分析結果から、平均寿命の高まりによって、老人が増加し、その結果、必然的に急病によって搬送される患者が増加していることがわかった。このことより、三次救急医療体制の重要性を認識することができた。

また、走行時間信頼性を用いた救急搬送サービス力の定量的評価法の提案を行うとともに、金沢市の道路ネットワークを対象に、金沢市の三次救急搬送サービス力の評価を行った。本研究で示すように、複雑な救急業務のサービス水準について、三次救急医療体制における出動から搬送までの所要時間に着目して定量的に評価できれば、近年盛んに行われている大型病院の郊外移転計画の検討における移転先の決定や三次救急医療の指定病院の決定などに非常に有用な情報を提供できるものと思われる。さらに、三次救急の助けになると考えられる救急 ITS、特に救急車を対象とした経路誘導の有効性を評価する手法を提案した。具体的には、単純な 1 OD 2 経路の仮想ネットワークと金沢市の実際の道路ネットワークにおいて、消防署から現場を経て三救急指定病院までの過程のうち、救急車の走行の中でも性質の異なる、「駆けつけ」と「搬送」のそれぞれについて救急 ITS による効果の計測を試みた。

6-12-2 今後の課題

本研究の今後の課題としては、以下のものがあげられる。

(a) ネットワークについて

今回は金沢市の主要な道路を対象としたが、前章で述べたように、その数は十分であるとはいえない。3 次救急の様々な計画が県単位で立てられていることを考慮すれば、広域でより細かいネットワークにおける検討を行う必要がある。

(b) ITS による導入効果の検討手法について

今回のシミュレーションでは、リアルタイムの交通量、そして旅行時間が救急車のみを提供されていることとし、その他の影響については考慮していない。しかしながら、救急車の走行は路面状況、幅員、道路環境等により大きな影響を受ける。そのため、今後これらの要因も考慮していくことが重

要となると思われる。また、交通渋滞や突発的な事故等も組み込み、様々なパターンでシミュレーションしていくことが必要である。

(c) ITSによる情報提供の内容について

今回のシミュレーションでは、リアルタイムの交通量、そして、旅行時間のみの提供を行った。しかし、救急車の走行状況を見ると、救急車本来が必要とする情報があるようである。それらの情報をさらに加えることで、救急車のITS活用を検討して行くことが可能になる。

(d) 救急車の旅行時間の算出について

救急車の走行特性を表現するため、今回はBPR関数に修正を加えることによって表した。しかし、この方法では、救急車だけに起こる路面状況による速度制限等に柔軟に対応できない。様々な状況に対応できるより柔軟な方式を考えることが必要であろう。

6-13 参考文献

- 1) 金沢市消防本部：「消防年報」，pp88，1998.
- 2) 高梨敬子：「救急需要予測に関する研究」，建築学会大会学術講演梗概集，pp. 221-222，1990.
- 3) 小池則満・秀島栄三・山本幸司：「救急車の走行阻害要因と走行支援方法に関する基礎的研究」，土木計画学研究・講演集 No. 22，pp627-630，1999.
- 4) 山田耕介・柏谷増男・朝倉康夫・二神透：「救急サービスに着目した中山間地域道路網の評価手法」，土木計画学研究・講演集 No. 22，pp. 623-626，1999.
- 5) 及川清昭・藤井明：「施設配置に伴う圏域構成の最適化モデルに関する研究—その2. 最遠距離を最小化する圏域分割モデルについて—」，建築学会大会学術講演梗概集，pp. 249-250，1987.
- 6) 佐伯有三・柏谷増男・二神透：「愛媛県中部地域の広域救急施設配置に関する研究」，土木計画学研究・講演集 No. 22，pp. 631-634，1999.
- 7) 折田仁典・佐藤豪明・武田弘衛：「救急活動からみた高速道路整備課題」，土木計画学研究・講演集 No. 22，pp. 639-642，1999.
- 8) 若林拓史・飯田恭敬：「交通管理運用策による道路システムの信頼性向上効果」，土木計画学研究・講演集 No. 14(2)，pp. 51-54，1991.
- 9) 飯田恭敬・若林拓史：「道路網信頼性解析法の開発とライフラインネットワークへの適用性の検討」，土木計画学研究・講演集 No. 13(2)，pp. 915-922，1990.
- 10) 朝倉康夫・柏谷増男・藤原健一郎：「交通ネットワークにおける迂回の限度を考慮したODペア間信頼その指標」，土木学会論文集 No. 555/IV-34，pp. 41-50，1997.
- 11) 高山純一・飯田恭敬：「常時観測量データを用いた非観測区間交通量の簡易推計法」，第18回日本道路会議論文集，pp. 1146-1147，1993.
- 12) 高山純一・黒田昌生：「火災出火地点への消防車の走行時間信頼性からみた消防力評価に関する研究」，都市計画論文集，No. 34，pp. 709-714，1999.
- 13) 平成7年度金沢都市圏パーストリップ調査報告書，1995.
- 14) 高山純一・田中悠祐・中山晶一郎：「救急車の走行時間信頼性からみた救急力評価に関する研究—金沢市における三次救急—」，土木計画学研究・論文集，Vol.19，No.2，pp.237-244，2002.9

- 15) 中山晶一郎、高山純一、笠島崇弘：「旅行時間の不確実性を考慮した交通ネットワーク均衡：二項分布とポアソン分布を用いた確率ネットワーク均衡モデル」、土木計画学研究・講演集、Vol.26、講演番号-71、2002. 11
- 16) 中山晶一郎、高山純一：「リンク交通量間の相関を考慮した交通ネットワーク分析におけるパラメータ推定法：ポアソン確率ネットワーク均衡を用いて」、土木計画学研究・講演集、Vol.28、講演番号-284、2003. 11
- 17) 中山晶一郎、高山純一、長尾一輝：「正規分布に従う交通量を持つ交通ネットワーク均衡モデル」、土木計画学研究・講演集、Vol. 28、講演番号-285、2003. 11
- 18) 高山純一、中山晶一郎、田中悠祐、島崎翔子：「ITS を活用した緊急車輛の走行支援に関する研究」、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、平成 15 年度、pp. 329-330、2004. 3. 6
- 19) 高山純一、中山晶一郎、庵戸貢献：「道路交通量の確率分布特性に関する基礎的調査研究」、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、平成 15 年度、pp. 317-318、2004. 3. 6
- 20) 中山晶一郎、高山純一：「交通需要の確率変動を考慮した確率ネットワーク均衡」、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、平成 15 年度、pp. 283-284、2004. 3. 6
- 21) 中山晶一郎、高山純一、久保太祐：「旅行時間の不確実性を考慮した交通ネットワーク均衡モデルの拡張」、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、平成 15 年度、pp. 281-282、2004. 3. 6

第7章 CAによる建物内避難シミュレーションに関する研究

7-1 概要

近年、構造物は安全性、経済性、施工性ととも、使いやすさ、環境の調和などの点にも重点がおかれるようになった。歩行者によって利用される構造物ならば、歩行行動が快適かつ安全な空間を有する必要があり、特に不特定多数の人が利用する場合、混雑時にはできるだけ問題の生じないように、また緊急時や災害時には、その被害を最小限に抑えるようにしなければならない。

1995年の阪神大震災以降、緊急時の避難行動については特に注目が集まっており、構造物の耐震性、免震性、耐火性などに加え、災害時の避難計画などを構造物の防災性と関連付けて総合的に検討すべきであるということが強く認識されるようになった。この防災対策や計画を立案するうえで、災害時の人間の行動を予測しておくことは極めて重要なことである。しかし、設計段階で人の動きを実際に検証することは不可能であり、また災害時の避難行動などは実際に検証するには危険を伴う。そこで、人間の歩行行動をシミュレーションする試みがなされている。例えば、清野らの個別要素法を用いた被災時の避難行動シミュレーション¹⁾、堀内らの火災時の延焼を考慮したシミュレーション²⁾、瀧本らの防災要員と避難者間の情報伝達を考慮した避難行動シミュレーション³⁾、位寄らの人間の主体性を考慮したシミュレーションモデルの開発⁴⁾等をあげることができる。これらの研究を通して、避難時行動の詳細な再現を行う努力がなされている。

近年のコンピューターの発展により、様々なシミュレーションが容易かつ高速で計算できるようになってきた。人間の歩行行動は、心理状態や環境など、非常に多くの要素を含み、様々なパラメータを考慮する必要がある。避難を考慮したシミュレーションは、上記にも示したように、数多く報告されているが、本論ではセルラーオートマトン(Cellular-Automaton 以下 CA)を用い、歩行者個人個人に歩行のための規則を適用させ、その相互作用として群集歩行行動のシミュレーションモデルを構築する。これは群集を群集としてではなく、歩行者の集合としてとらえる方法であり、より現実に則したシミュレーションモデルが構築できる。

廣瀬ら⁵⁾は、清野らの研究¹⁾を基に、CAを用いた群集歩行シミュレーションモデルを構築し、CAの特徴である「簡単なセル間の局所的相互作用から、人の群集行動のような複雑な現象を再現」しようと試みた。さらに、浅地ら⁶⁾は、廣瀬ら⁵⁾の研究で作成されたシミュレーションモデルに、『通路誘導灯(以下 誘導標識)の設置』『対人回避行動の変更』『速度属性』の改良を加え、より現実に則したシミュレーションシステムを開発した。

CAを用いた避難シミュレーションモデルでは、

- 人の行動のモデル化の精緻化
- 避難を円滑に行わせるための構造の検討

という2つのアプローチが考えられる。本論ではそのうち『人の行動のモデル化の精緻化』に焦点を絞り、浅地の研究⁶⁾で開発されたシミュレーションシステム(以下 既存シミュレーションシステム)から以下の3点の改良を施す。

1. 歩行者が自らの位置から出口等の目的地までの距離を計算し、最短距離を進めるようにする
2. 既存シミュレーションシステムではモデル化されていない、誘導標識の方向指示をモデル化する
3. 速度属性の見直し、および、構成の見直し

1.により、歩行者が近くに出口があるにも関わらず、遠い出口へ向かうことを防ぎ、結果的に歩行者の脱出効率が向上することが期待できる。2.により、歩行者が出口を発見できず、誘導標識を頼りに移動する場合、到達した誘導標識から、次の目的地となるべき場所が発見できない場合に、無限ループに陥ることを防ぐことが期待できる。3.は、既存シミュレーションシステムで加えられた速度属性『速い(1Step1歩)、普通(2Step1歩)、遅い(3Step1歩)』および構成比『速い:普通:遅い=1:1:1』を、清野らの調査結果⁷⁾に基づいて、現実に沿った属性(『普通(1Step1歩)、遅い(2Step1歩)』)およ

び構成比(『普通:遅い=75%:25%』)に変更するものである。この変更を施す前後で、既存シミュレーションシステムで見られた『遅い歩行者が通路上で移動障害物となる』現象や『遅い歩行者が追い抜かれる』現象が再現できるかを検証する。

7-2 CAの概要

CAは、同一にプログラムされ、他と相互作用するオートマトン(automaton)を細胞上(cellular)に配列されたものであり、この配列されたオートマトンのことをセル(cell:細胞)と呼ぶ。

CAは本質的には次にあげる3つの要素を有する。

状態(state) : 実現可能な値の有限な数の集合に属する値をとる変数であり、その応用に依存した解釈が与えられる性質。本論で言えば、歩行者、障害物(構造物)、歩行可能空間などにそれぞれ、例えば、1, 2, 3...と数値を割り当てることに相当する。

近傍(neighborhood) : 注目しているセルの周辺のセルの集合。

遷移規則(transition rules) : あるセルの現在の状態とその近傍の状態をもとにそのセルの状態を変化させるための規則。

CAは空間、時間、および状態が離散的な活動的システムである。規則的な空間格子状のセルは、有限な状態の1つを有し、以前の時間ステップにおける状態と近傍の状態、ならびに局所的ルール(遷移規則)によってその状態を変化させる。全てのセルは同期して変化するため、全体は離散的な時間刻みで変化する。

7-3 歩行者空間とそのモデル化

(1) 空間のモデル化

シミュレーションモデルを構築するにあたり対象とする空間をモデル化する必要がある。本論では2次元CAモデルを採用し、空間格子としてもっとも代表的である図7-1のような空間格子をとるものとした。このメッシュ構造で分割されたそれぞれの要素をセルと呼ぶ。

(2) 歩行者のモデル化

既存シミュレーションシステム⁶⁾では、図7-1の空間格子の1つのセルに歩行者を配置するとき、人体楕円と呼ばれる楕円を1つのセルに配置することを想定した。人体楕円とは、人体を平面図で表したときの楕円であり、そのサイズは、45cm×60cm(縦×横)である。この楕円を図7-1の1つのセルに配置する場合、セルの1辺は50cmが妥当であるとしていた。しかし、本論は歩行シミュレーションモデルであり、歩行を第一に考えるべきである。そこで、本論では、後述する清野らの調査結果⁷⁾から、普通の人の歩行速度は約1.0m/secであるとし、図7-1の空間格子のセルの1辺長を1.0mとした。セルの1辺長を1.0mとしたときの人体楕円の配置を図7-2に示す。

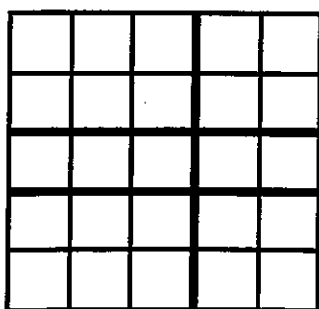
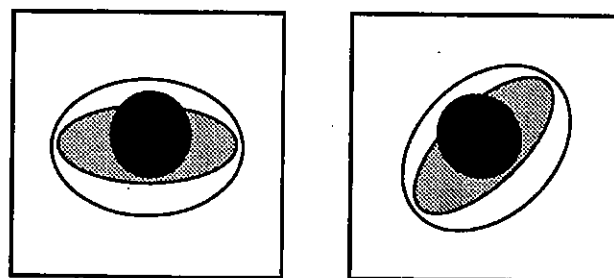


図7-1 採用する空間格子



(a) 前向き

(b) 斜め向き

図7-2 セルの1辺長を1.0mとしたときの人体楕円配置

(3) セルのとりうる状態

セルのとりうる状態は、以下のものがあげられる。

- (a) 歩行者
- (b) 障害物(構造物)
- (c) 歩行可能空間
- (d) 標識(出口・出口標識・誘導標識)



図7-3 セルのとりうる状態

特に (d) のうち、誘導標識にある矢印は本論で付け加えたものである。前述のとおり、通路誘導灯にある矢印をモデル化したものであり、歩行者は誘導標識から次の目的地を定めることができない場合、この矢印の指し示す方向へ移動する。

7-4 既存シミュレーションシステムの改良

(1) MAP.txt の読み込み

既存シミュレーションシステムでは、MAP の広さや歩行者の位置を示す情報をプログラムソース中に直接記述していたが、作業が非常に面倒であることや、プログラム開発環境が整っていなければ MAP の記述ができないという問題点を抱えていた。そこで、Microsoft Excel (以下 Excel) を用いて視覚的に MAP を描き、その情報を txt ファイルとして保存し、シミュレーターに読み込ませることにした。図7-4が Excel での記述例、図7-5がその MAP を読み込ませた結果である。これにより、MAP をビジュアルに描くことが可能となり、同時に MAP の作成を容易に行えるようになった。

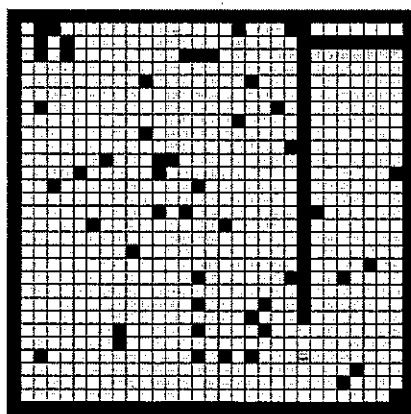


図7-4 Excelでの記述例

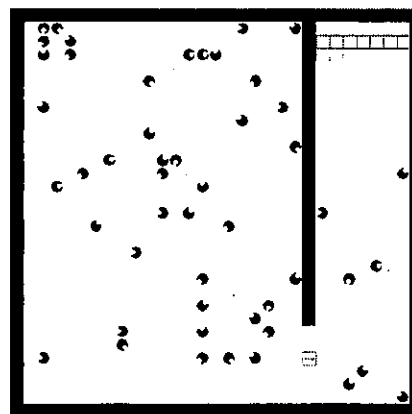


図7-5 読み込み結果

(2) 各標識までの距離計算

既存シミュレーションシステムでは、以下の方法で具体的な目的地を決定していた。

1. 真正面を見る。(標識がある?) Y: そこへ向かう。N: 次へ。
2. 右90度内を見る。(標識がある?) Y: そこへ向かう。N: 次へ。
3. 左90度内を見る。(標識がある?) Y: そこへ向かう。N: 適当な空間へ。

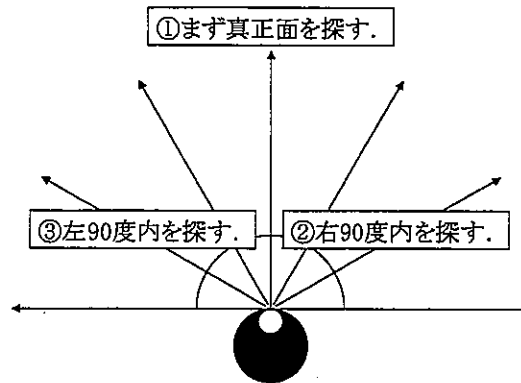


図7-6 歩行者の目的地決定手順

ここで問題となるのは、歩行者が真正面に出口を発見した場合、右視野内もしくは左視野内により近い出口があったとしても、そちらには向かわず、真正面の出口を目指してしまうということである。つまり、『近くに出口があるにも関わらず、遠くの出口を目指して動く』という現象が発生し、現実的ではない。

そこで、歩行者の目的地を決定する際に、真正面・右90度の視野内・左90度の視野内をすべて探索したあとに、発見した標識までの距離を計算し、もっとも近い距離にある標識へと向かうよう、目的地決定の手続きを以下のように変更した。これにより、『近くに出口があるにも関わらず、遠くの出口を目指して動く』という問題点は解決できた。

1. 真正面を見る。(標識がある?) Y: 標識までの距離を計算し、次へ。 N: 次へ。
2. 右90度内を見る。(標識がある?) Y: 標識までの距離を計算し、次へ。 N: 次へ。
3. 左90度内を見る。(標識がある?) Y: そこへ向かう。 N: 適当な空間へ。
1. 2. 3. で標識があった場合、見つかった標識までの距離を比較する。
4. でもっとも近い位置にある標識を目的地として設定する。

また、上記の方法で決定した標識に向かう途中も標識探索を行い、現在の目的地よりもさらに近い標識を発見した場合は、新たに発見した標識へ向かう。

図7-7と図7-8を見比べると、その差は明らかである。図7-7の距離計算をしない場合では、真正面に出口標識を見つけたため、右視野内にさらに近い出口があるにも関わらず、真正面の標識へ向かっている。対して図7-8の距離計算をした場合では、真正面の出口標識を見つけたが、右視野内にさらに近い出口標識があるため、右視野内にある標識へ向かっている。さらに、その標識へ向かう途中、今度は左視野内にさらに近い出口標識を発見したため、方向転換してそちらの標識へ向かっている。

(3) 誘導標識の方向指示

浅地の研究^④で新たに設置された誘導標識は、通路誘導灯をモデル化したものである。この誘導標識のモデル化により、歩行者が遠くの出口へ向かわずに、自身の死角にある出口標識へ向かうという行

動が再現できた。しかし、『誘導標識から次の目的地となる場所が定まらない場合、誘導標識の周りをうろうろする無限ループが発生する』という問題点も発生した。

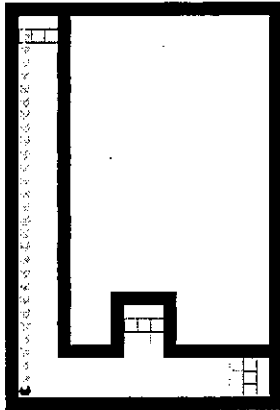


図7-7 距離計算をしない場合

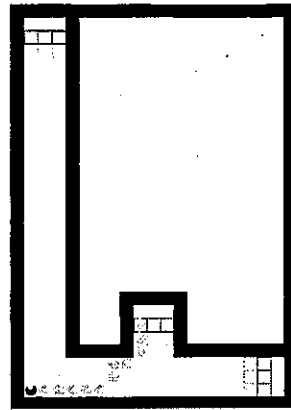


図7-8 距離計算をした場合

そこでさらに現実に則したシミュレーションシステムの構築のために、通路誘導灯には必ず記載されている、「→」や「←」といった、歩行者に「矢印の方向へ向かえ」という指示(図7-9の丸で囲んだもの)もモデル化する。この方向指示をモデル化することにより、『誘導標識から次の目的地となる場所が定まらない場合、誘導標識の周りをうろうろする無限ループが発生する』という問題点は解決できた。

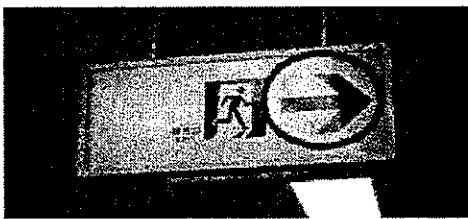


図7-9 一般的な通路誘導灯

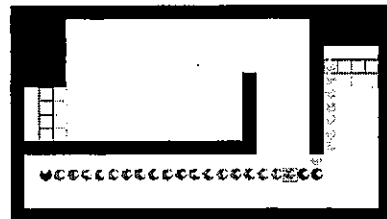


図7-10 方向指示を適用した結果

図7-10は、誘導標識に方向指示を与えた場合のシミュレーション結果である。初期状態で歩行者はどの出口も発見できない場所にいる。そのため、歩行者は、自分のいる位置から見える誘導標識を目的地として動き始めた。しかし、到達した誘導標識からは、次の目的地となるべき出口標識や誘導標識が見えない。そこで、歩行者は到達した誘導標識にある“→”の指示に従い、右方向へ移動した。すると、出口標識が発見され、脱出している。

(3) 速度属性および構成の見直し

浅地⁶⁾は、歩行者に『速い(1Stepに1歩)・普通(2Stepに1歩)・遅い(3Stepに1歩)』という速度差をつけ、MAP上に『速い:普通:遅い=1:1:1』で等分布させたシミュレーションを行った。その結果、『速度の遅い歩行者が通路上で移動障害物になる』という現象や、『速度の速い歩行者が速度の遅い歩行者を追い抜く』という現象が発生した。しかし、歩行速度の『速い』と『遅い』が3倍の速度差であるという点、さらに1:1:1の等分布という点は現実離れしているのではないか。実際、清野らの調査⁷⁾では、滞在人口に占める各属性の比率および歩行速度を以下のように示している。

表7-1 属性の分類とその歩行速度

属性	速度 (男性)	速度 (女性)
	m/sec	m/sec
乳幼児+保護者	0.88	0.88
小学生以下	1.02	1.09
中高生~50歳	1.45	1.23
50~70歳	1.19	1.04
70歳~	0.99	0.89
車椅子	0.75	0.75

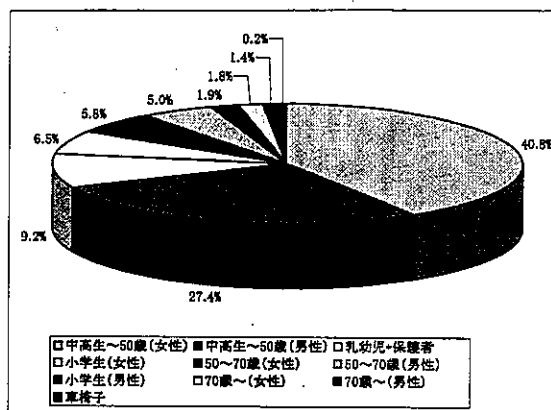


図7-11 滞在人口に占める各属性の比率

この調査はあくまで一調査例だが、表7-1の結果を見ても、もっとも遅い属性である車椅子で0.75m/sec、もっとも速い属性の中高生~50歳(男性)で1.45m/secであり、この最大差でも約2倍の速度差である。この調査結果を参考にすると、シミュレーションでは人の歩行速度を『普通(1Stepに1歩)・遅い(2Stepに1歩)』の2種類にする方が、より現実的であると考える。このとき、どの部分を境界線にするかだが、本論では1.1m/sec以上の属性を普通、1.1m/sec以下の属性を遅いとした。次に、この普通と遅いの構成を考えると、図-11を参考にすると、普通とした1.1m/sec以上の構成は、中高生~50歳(男性)、中高生~50歳(女性)、50~70歳(男性)を合わせ、約75%となる。このことから、構成を『普通:遅い=75%:25%』とするのが適当である。これら、速度属性および構成の変更に加え、前述した2点の改良『各標識までの距離計算』『誘導標識の方向指示』を加えたシミュレーションにおいて、浅地のシミュレーションでも見られた、『遅いセルが通路上で移動障害物になる』という現象や『速度の速い歩行者が速度の遅い歩行者を追い抜く』という現象を確認する。

7-5 シミュレーション結果および考察

(1) シミュレーションにおける歩行ルール

- 歩行者の目的は空間からの脱出である。
- 障害物を超えることはできない。
- 歩行者の目的地は一番近い出口標識である。
- 出口標識が見つからない場合は、一番近い誘導標識である。
- 誘導標識の方向指示に従う。
- 火災や煙等の環境的要因は考慮しない。
- 全ての歩行者は初期状態で出口の場所を知らない。
- 全ての歩行者は同一のルールによって動く。

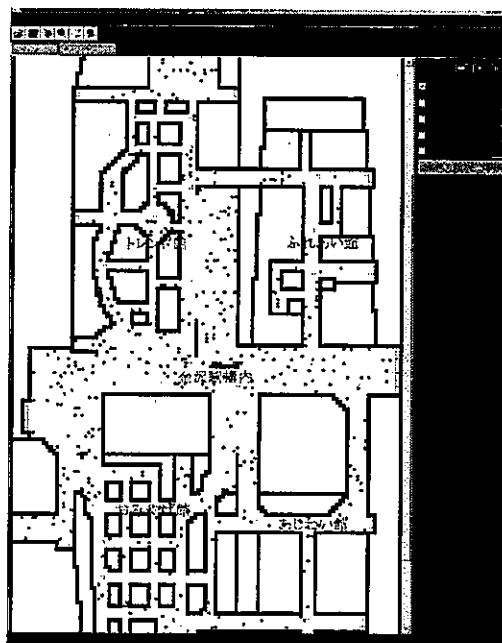


図7-12 金沢駅構内および金沢百番街

(2) MAPの設定

シミュレーションは金沢駅構内および金沢百番街全域を対象に行う。配置する歩行者の人数は500人である。シミュレーションは原則としてすべての歩行者は普通(1歩/1Step)で行うが、速度属性および構成の見直しでのシミュレーションでは、普通(1歩/1Step)の歩行者と遅い速度(1歩/2Step)の

歩行者を混在させる。MAPの全体図を図7-12に示す。このMAPには、出口が14ヶ所あり、誘導標識は30ヶ所設置した。

(3) 各標識までの距離計算による効果検証

改良前と改良後のシミュレーション結果を比較し、改良による効果を検証する。以下に、改良による効果が顕著に表れている部分をピックアップする。

トレンド館

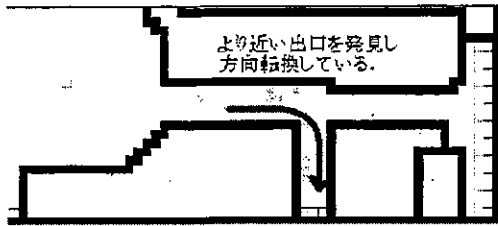


図7-13 改良後のシミュレーション

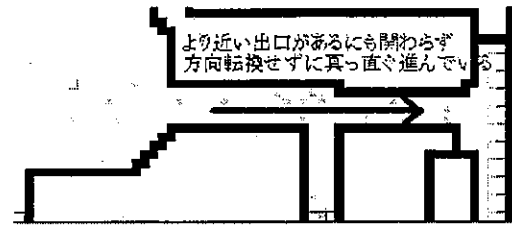


図7-14 改良前のシミュレーション

図7-13が改良後のシミュレーションである。図7-14の改良前のシミュレーションでは、ほとんどの歩行者が右側にある出口へ集中しているのに対し、改良後のシミュレーションでは、右側にある出口へ向かう途中に、歩行者の右視野内にさらに近い出口を発見したため、より近い出口を目指して、すべての歩行者が右折している様子が見てとれる。

おみやげ館

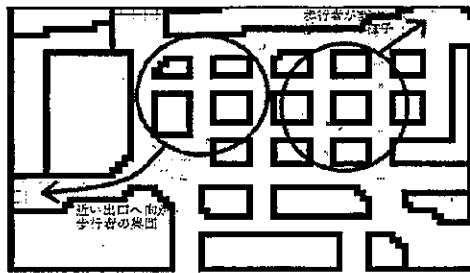


図7-15 改良後のシミュレーション

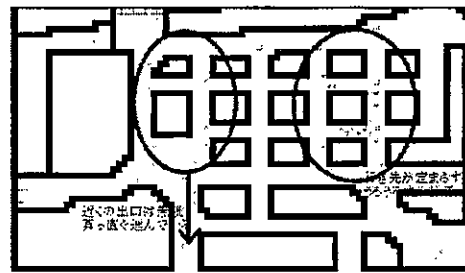


図7-16 改良前のシミュレーション

図7-15のMAP左側の歩行者の集団は、このMAPの下方方向に配置されているあじわい館にある出口を目指して進んでいたが、途中で右側により近い出口を発見し、そちらの方向へと方向転換して進んでいる様子が見て取れる。また、このシミュレーションでは、歩行者が群れを成して動くというプログラムを用意していないが、図にあるようにあたかも群れを成して動いているようにも見える。これはCAの基本原理である「局所的相互作用から群集のような複雑な現象が再現でき」といえる。対して、図7-16では、トレンド館のときと同様、一度あじわい館にある出口を目的地に設定してしまうと、途中で方向転換を行わないため、図のように近くに出口があるにも関わらず真っ直ぐ進んでしまっている。さらに、MAPの右側に注目すると、図7-15では、左側の歩行者と同様にあたかも群れを成して進んでいるようにも見える。対して図7-16では、行き先が一点に定まらず、通路の中をうろうろとしている歩行者の集団が見てとれる。

あじわい館

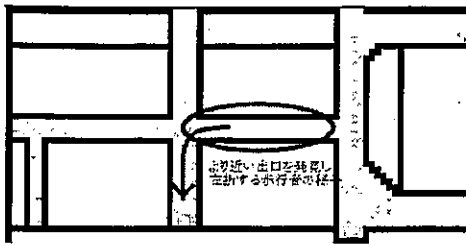


図 7-17 改良後のシミュレーション

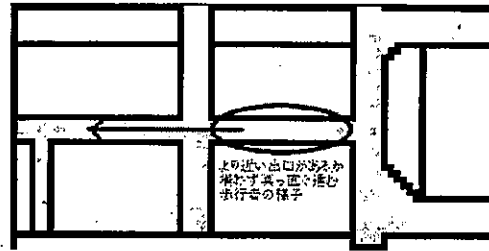


図 7-18 改良前のシミュレーション

図 7-17 の改良後のシミュレーションでは、シミュレーション開始時に青丸で囲まれた場所にいた歩行者は、MAP 左端にある出口へ向かう途中、左視野内により近い出口を発見し、左折する様子が見て取れる。これにより、歩行者が脱出する出口を分散し、効率の良い脱出がなされている。対して、図 7-18 では、同様に青丸で囲まれた部分にいた歩行者は、左側により近い出口があるにもかかわらず、正面の出口へ真っ直ぐ進んでいる。そのため、そちらの出口に歩行者が集中し、脱出の効率を悪くしている。この MAP では、『歩行者が自らの場所から最も近い場所を選ぶことによって、歩行者が分散し、脱出効率が向上する』ということも確認できた。

図 7-19 は改良前後の比較を示すグラフである。シミュレーション開始直後から改良による効果が、歩行者の脱出速度が速いことから、表れているといえる。改良前のシミュレーションでは、最終的に約 60 人の歩行者が MAP 内に残っているが、これは距離計算を行わないことで遠くの出口へ向かうが、途中で出口標識が死角に入るなどして、また誘導標識に戻るなどの無限ループが発生し、脱出できなくなっている歩行者がいることを示している。

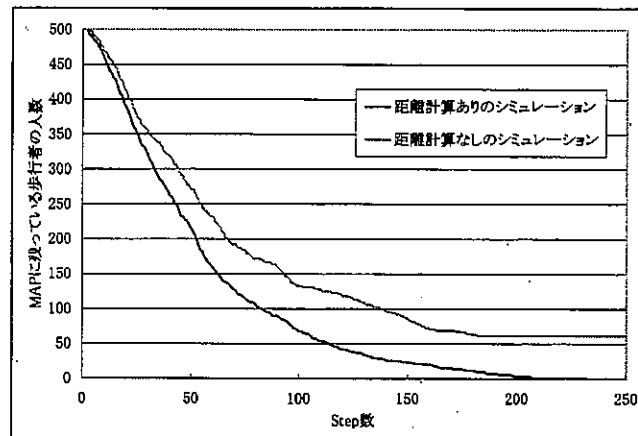


図 7-19 改良前後の比較グラフ

(4) 誘導標識の方向指示による効果検証

改良前と改良後のシミュレーション結果を比較し、改良による効果を検証する。以下に、改良による効果が顕著に表れている部分をピックアップする。

ふれあい館

ともに青丸で囲まれた部分を見ると、図7-20では、誘導標識に『(MAPの)下方向へ向かえ』という方向指示があるために、そこにいた歩行者はそれに従ってうまく脱出することができている。一方、図7-21には、そのような方向指示がないために、誘導標識にたどり着いてもその次の目的地を定められずに同じ場所でうろうろしてしまっている。

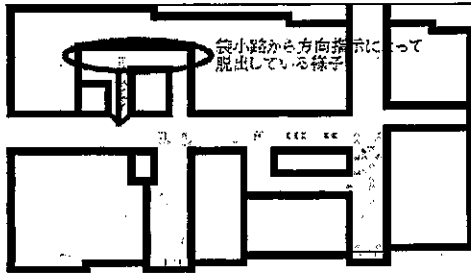


図7-20 改良後のシミュレーション

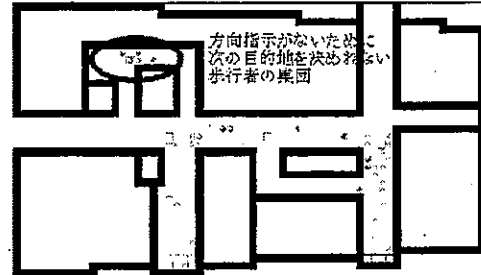


図7-21 改良前のシミュレーション

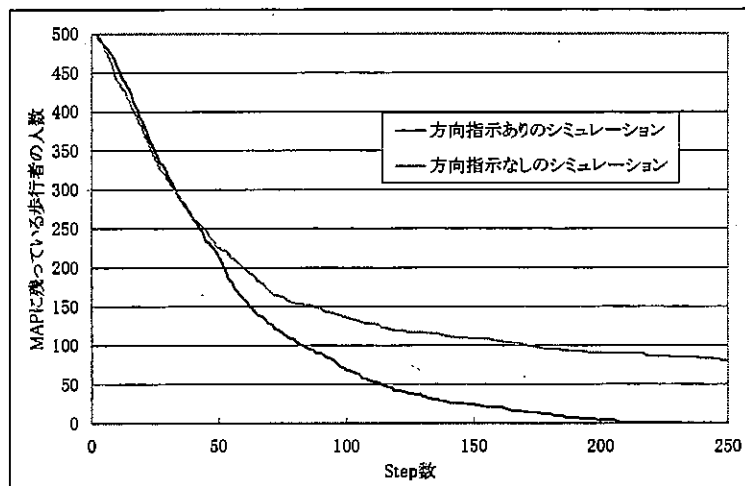


図7-22 改良前後の比較

図7-22は改良前後の比較を示すグラフである。Step50あたりまで、改良前後で大きな差は見られない。これは、上記に示した特に改良による効果が顕著に表れている『ふれあい館』と『おみやげ館』以外の場所では、歩行者がどこに配置されてもすぐに出口を発見できるような、見通しの良いMAPでは、この誘導標識の方向指示による効果があまり表れなかった、つまり改良前後で歩行者の動きに大差はなかったことが原因である。この改良は、前述の各標識までの距離計算と違い、歩行者の動き自体に変化を及ぼすものではなく、ある特定の条件下(前述したとおり、到達した誘導標識から次の目的地となる場所を特定できない場合)にのみ効果を発揮するものである。本論で期待した効果は、図7-20のような動きを歩行者に与えるというものであったが、さらに歩行者がスムーズに脱出することにも効果を与えることも確認している。そのことがグラフにも表れており、Step50を過ぎてからの、MAP内に残っている歩行者の数の減り方が、改良前後で大きく異なっている。改良前のシミュレーションでは、最終的に、誘導標識のある場所で無限ループにおちいる歩行者がいるために、約60人の歩行者が脱出不可能となっている。

(5) 速度属性および構成の見直しを行ったシミュレーション

速度属性および構成を変更した場合のシミュレーションを、速度属性なし(すべての歩行者が同一の速度で動く)の場合との比較で、『遅い歩行者が移動障害物になる現象』『遅い歩行者が追い抜かれる現象』が、既存シミュレーションシステム⁹⁾と同様に見られるかを検証する。このとき、シミュレーションは前述した2点の改良(『各標識までの距離計算』および『誘導標識の方向指示』)を施して行う。以下に、現象が顕著に表れている部分をピックアップする。

トレンド館

図7-23では、すべての歩行者が同じ速度で歩くため、きれいに一列になって脱出している様子が見て取れる。また、このMAPでは、図7-24に示すような、遅い歩行者が移動障害物になっている現象も見てとれた。

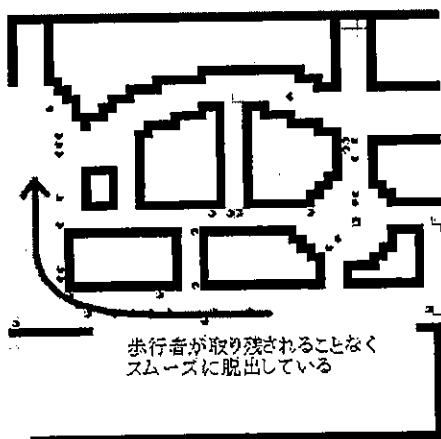


図7-23 速度属性なしの結果

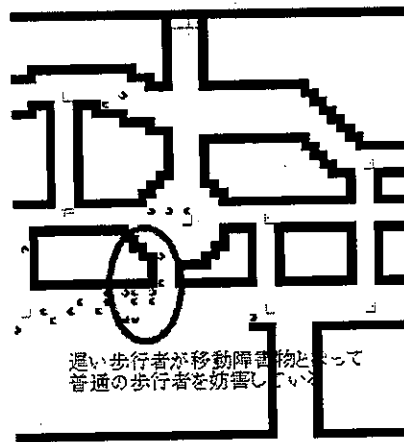


図7-24 速度属性ありの結果

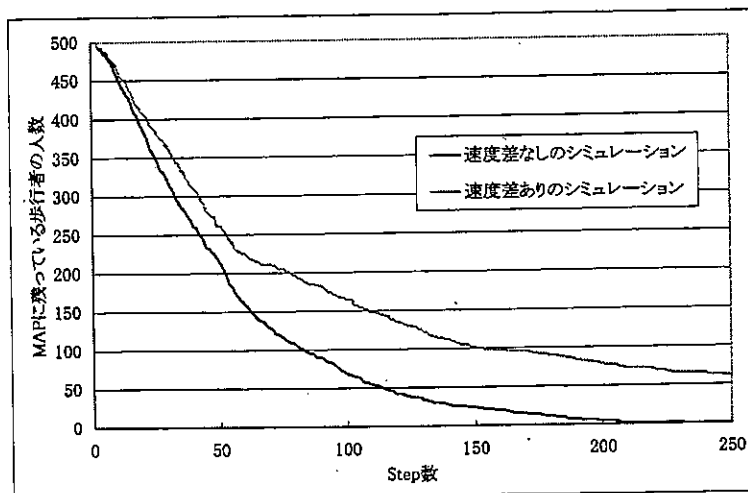


図7-25 速度差の有無の比較

速度差をつけたシミュレーションでは、Step350を過ぎたあたりから脱出速度が遅くなっている。これは、速度の遅い歩行者が通路上で移動障害物になるなどし、速い歩行者の歩行を妨げているためである。また、金沢駅構内など広いMAPでは、速い速度の歩行者が遅い速度の歩行者を追い抜くことが容易であるため、目立った渋滞などは発生しなかった。このシミュレーションから、速度属性を現

地調査を行った結果を参考にして変更し、さらに各標識までの距離計算を行うこと、および、誘導標識に方向指示を施した場合のシミュレーションでも、既存シミュレーションシステムと同様に、『遅い歩行者が移動障害物になる現象』『遅い歩行者が追い抜かれる現象』は見てとれた。

7-6 まとめ

本章では、以下の3点の改良を施すことで、既存シミュレーションシステムをより現実的なシミュレーションが可能なシミュレーションシステムへと改良した。

- 各標識までの距離計算を行うこと：各標識までの距離を計算することで、歩行者が遠い場所にある出口へ向かうことを防ぎ、結果的に歩行者の脱出効率向上につながった。
- 誘導標識の方向指示の設置：誘導標識(通路誘導灯)には元来あるべきはずの方向指示を付け加えることで、歩行者の脱出に効果があることを確認した。
- 速度属性および構成の見直し：属性や構成の変更に加え、上記2点の改良を施したシミュレーションでも、『遅い歩行者が通路上で移動障害物になる』『速い歩行者が遅い歩行者を追い抜く(遅い歩行者が取り残される)』という現象が再現できた。

また、MAP作成が容易に行えることで、既存施設だけでなく、今後計画される地下空間やショッピングモールなどの防災計画策定時に、安全性を評価するツールの1つとして有用と考えられる。

本シミュレーションシステムをさらに現実に則した形でシミュレーションができるようにするためには、主に以下の3点の改良が必要である。

- 火災・煙などの環境的要因の追加：火災による延焼や、火災発生場所からの煙などによる通路遮断の再現。
- 群集心理の取り組み：歩行者が同じ出口に向かうことで自然に発生する群集ではなく、意図的に群れをなし、あたかも1人の歩行者のように目的地へ向かう現象の再現。
- 個性の導入：他の歩行者を先導する役割の歩行者やパニック状態に陥っている歩行者のモデル化や、避難誘導員・警備員のモデル化など。

これら3点の課題は、冒頭で述べた避難シミュレーションモデルの命題のうちの『人の行動の精緻化』に分類されるものである。上記以外にも内在する課題は多くあるだろうが、それらの課題を解決した後、もう1つの命題である『避難を円滑に行わせるための構造の検討』へフィードバックする必要がある。

7-7 参考文献

- 1) 清野純史・三浦房紀・八木宏晃：個別要素法を用いた被災時の避難行動シミュレーション，土木学会論文集 No. 591/I-43, pp. 365-378, 1998
- 2) 堀内三郎，小林正美：都市防災計画のシステム化に関する研究(Ⅱ)－防災システムのシミュレーション－，日本建築学会論文報告集第 258 号，pp. 123-129, 1975
- 3) 瀧本浩一，三浦房紀，清野純史：防災要因と避難者の間の情報の伝達を考慮に入れた避難行動シミュレーション，土木学会論文集 No. 537/I-35, pp. 257-265, 1996
- 4) 位寄和久，池原義郎，中島高史，中村良三，宇土正浩，渡辺仁史：人間－空間系の研究
- 5) 廣瀬智士・近田康夫・城戸隆良：CA を用いた歩行シミュレーションモデルの構築，土木情報システム論文集，Vol. 9, pp. 19-30, 2000. 10
- 6) 浅地剛成・近田康夫・城戸隆良：CAを用いた避難シミュレーションに関する一考察，構造工学論文集，Vol. 49A, pp. 217-224, 2003. 3.
- 7) 清野純史・土岐憲三・犬飼信広・竹内徹：避難行動シミュレーションに基づく地下街の安全性評価，土木学会論文集 No. 689/I-57, pp. 31-43, 2001. 10

第8章 結 言

8-1 本研究の成果

本研究では、著者らが開発してきたペトリネットシミュレータの特徴は、

- ① 視覚型ネットによる記述の空間対応性
- ② 構築ネットの視覚出力画面への直結性
- ③ ネットの共通構造性と結合化による拡張性
- ④ 駆動原理の明快性と即時実行性

にあり、それらから生まれる動的図解手法性を活用し、計画代替案の展開的支援への応用性が大きな魅力であるとして、その実用化に向けて、ソフトウェアを含む基礎的強化と、その応用研究を通しての実践的展望を示すことを目的した。

まず、本研究での基礎的成果としては、第2章での

B-I：背景画の挿入メニューの付加による実空間対応性の強化

B-II：背景画像上でのペトリネットのデータベース化によるネット構築支援の強化
を挙げることができる。

B-Iは、上記①の特徴の強化策であり、B-IIの成果にも、応用研究の成果にも繋がるものである。

①でいう空間対応性とは、ペトリネットの基本図形要素である“プレース”は、従来の取り扱いでは、“condition-event net”では単に事象生起の前提条件や推移状態を意味し、“place-transition net”では単に変換を待つトークンの配置場所に過ぎなかったのに対して、交通流記述のペトリネット表現を通じて、“プレース”=“場所”として積極的な位置付けとして見出されたものである。

この特徴をより実践的な活用に繋げるには、よりリアルな対応性へと強化されることが望ましい。その手段として、B-Iの成果では、実空間画像をまず構築ネットの背景画として挿入するメニューを、ペトリネットシミュレータの基本メニューである「図形」のサブメニューとして付加した。そして、ペトリネットシミュレータの②の特徴と、その視覚出力ネットのドラッグによる操作性を活用することで、誰にでも容易に、構築ネットのプレースとトランジションを、背景画の実空間に対応化していくことができる具体的な手順を示した。

B-IIは、B-Iの成果を生かして、まず、既開発の交通流ペトリネットをその実道路を背景画として、その上で実空間対応型ネットとして再構築し、それらを単に再保存するのではなく、次のネット開発に際して活用可能となるデータベースとして保存することを提案したものである。具体的には、構築ペトリネットは、その細部記載がなされている Sdata ファイルと対応している。データベース化は、このファイルがテキスト形式で、各行の末尾にはコメントが付記できること、従って、標準的な文字列検索が身近なコンピュータ環境で容易に行えることに着目したものである。その特徴は、実空間対応型ネットと Sdata ファイルとを同時表示させ、開発者が、実空間対応型ネットを見ながら、開発時の経験や工夫点等について、Sdata ファイルにコメント記載していくことで、ネット構築支援に繋がるキーワードが的確に組み込まれる点にある。さらに、このデータベース化の状況は、利用者による検索時にもあてはまり、検索目的と必要ネットの抽出までのキーワード列や、その選択理由等に

ついでの利用者のコメントもデータベースに組み込める点にある。いわば双方向型で成熟する新しい形のデータベース構想であり、このこと自体も本研究の基礎的成果であるのではと考えている。

この第2章での実践的成果としては、道路の維持管理工事に伴う交通対策計画を事例として、

P・I：データベース検索による道路工事に伴う交通流ペトリネット構築

P・II：背景画像情報を活用した交通対策代替案ネットの展開的構築と評価支援
を実践して、以下の点が得られている。

P・Iでは、既開発ネットのデータベース化に際して、開発目的・対象道路名も必要となること、関連語などによる連想検索に加えて反対語による検索も考慮する必要があること、そして、それらのケースでは、抽出ネットの加工を視野に入れることが目的とするネット構築に繋がることを示した。

P・IIでは、代替案の体系的な発想に背景画の範囲の拡大化が効果的であり、さらに、そのペトリネット構築に向かうための検索キーワードの発見にも、背景画に内在している情報が有効に働くことを明らかにすることができ、B・Iの成果を、ここでも確認することができた。また、代替案の展開的支援において、ペトリネットシミュレータの特徴である③の結合性と、④の即時シミュレーションの実行性が不可欠の要件となることも実証することができた。

第3章以後では、より実践的な応用研究を行った。まず、第3章の基礎的成果としては、

B・III：バスと一般車の空間占有性と走行特性差を共に表現する混在交通流ペトリネットの開発が挙げられる。この成果により、既存道路の有効活用策として、バス交通の諸活性代替案を発想し、評価する支援シミュレーション開発を、対象道路空間の特徴をより現実的に取り入れた形で進めることが可能となった。

第3章の実践的成果としては、

P・III：出発バスの定時性確保優先策のペトリネットシミュレーション開発

P・IV：バス優先レーン策の運用代替案のペトリネットシミュレーション開発
である。

P・IIIでは、出発道路形状を利用して、出発バスの advance area を、一般車の停止線の配置と車両両信号間の連携制御で確保し、出発バスを信号毎にこの advance area の先頭位置に進めさせるという優先策として、そのペトリネット表現化を行い、このシミュレーションも、特徴の④より、プログラムの変更なしに即時に実行できることを示した。特に、この応用研究では、確保可能な bus advance area の実道路空間に現実的に収容可能なバス台数のネット上での表現性が重要な要件となり、基礎的成果として挙げた B・Iと B・IIIが、この実践的成果のバックボーンとなっていることを実証的に示すことができ、「なぜペトリネットを使うのか」という問いへの答えを1つ示せたのではと考えている。

P・IVでは、バスの接近時のみに一般車の走行規制を行い、バスの走行性を確保すると共に、一般車への影響も抑えるというバス優先レーン策を取り上げ、この難しい運用案を、③のネット間の結合性を活用し、ペトリネット表現化し、さらに④の即時シミュレーション実行性を活用し、評価し、その結果を次の運用代替案のペトリネット表現化へと展開することで、規制無しの状態に対して、バスの走行性を24%改善し、一般車への影響を45%減に抑える運用案を提示することに成功している。

第4章では、防災計画への応用研究を行い、実践的成果として、以下のようなものを得ている：

P・V：通常時消防防災システムのマクロペトリネットシミュレーション開発

P・VI：地震時消防防災システムのマクロペトリネットシミュレーション開発

P・VII：建物内火災の避難計画シナリオのマイクロペトリネットシミュレーション開発

まず、P・Vでは、火災発生と通報から始まり、それを受けての指令と出動を経て、現場に到着し消火活動を行うという消防防災のシステム全体の機能性を取り上げ、5つの基本部分ネットから成るマクロなペトリネットの構築とそのシミュレーション実行を実践し、異質な5つの基本部分ネットの開発性と、それらの結合化によるシステムネットの構築性により、ペトリネットシミュレータの特徴とした③のネットの共通構造性と結合性が、いかに応用研究において重要で不可欠な役割を担うかを示すことができた。もちろん、構築されたマクロペトリネットも、第3章の交通流のペトリネットと同様に、プログラムの変更なしに即時シミュレーション実行が可能となることも示せた。

P・VIでは、地震時消防防災システムは、通常時消防防災システムの機能環境に地震動に伴う諸阻害要因が作用し、空間変容が起きた中で機能しなければならないとして、その評価シミュレーションネットは、阻害事象を切断型と制約型に分けて、それぞれの型の基本部分ネットを、P・Vで構築したネットの阻害発生位置に結合化することで開発されるとし、まず、この手順に沿って構築した地震時消防防災システムのマクロペトリネットを示した。そして、このネットの即時シミュレーション実行性を示すとともに、通常時との比較結果として、単独火災でも延焼阻止は困難であり、同時多発性を考えると、延焼阻止線の想定による戦略的な指令が必要となるとした。

次に、地震時消防防災システムのマクロペトリネットを、B・Iの成果である”背景画の挿入”メニューを用いて、実背景画像上で再構築し、この形式での点検・見直し支援では、背景画像が持つより直裁的な情報提示性が働き、諸阻害要因についても、防災計画の進捗状況との整合についても、住民参加の下で活発なコミュニケーションがなされるであろうとした。

P・VIIでは、建物内火災から身を守る避難計画のシナリオを、一人一人が専有する空間の移動という形のマイクロペトリネットで表現した。従って、ここでは、狭隘な場所、人々が合流する場所、居室からの出口等で、占有空間を巡る競合が生じる。このペトリネット表現は、秩序ある行動というシナリオ想定の下では、優先権を設定し、抑止アークを工夫することで可能となることを示した。また、建物内火災では、煙の拡散と滞留、煙感知による防火シャッターの作動、それに伴う避難流の阻害化が重要な記述課題となり、これらのペトリネット表現も開発した。さらに、避難者による判断や出火場所の変化等、現実には計画シナリオからの逸脱が当然予想されるとして、それらへの対処も、ペトリネットシミュレータの特徴を活用することによって組み込み可能となることを示した。また、ペトリネットシミュレータは、動的視覚型のシミュレーションとして有用であると同時に、数値比較機能を備えていることを実証し、これらの逸脱が避難完了時間に大きく影響することを数値的にも示した。

著者らのペトリネットシミュレータでは、標準的な“○”形状のプレースに加え、“□”形状のプレースの使用が可能である。第3章では、バス接近情報の表示系として、第4章では、煙の拡散・滞留の表示系として、この“□”形状のプレースを使用し、視覚的シミュレーションにおける図解性をより強調することを試みてきた。第5章では、この表現形をヒントに、

B・IV：“□”形状のプレースのドラッグによるサイズ変更の自由化

B・V：生成トランジションによる生成カラートークンの多出力化とトークンカラーの編集機能

により、ペトリネットシミュレータの動的彩色型表現力を向上させ、社会基盤の地域風土イメージ形成の評価支援課題への適用化研究を行った。そして、

P・VIII：桜木の四季イメージ推移のペトリネット表現化とシミュレーション実行

P-IX：雪見橋の四季風土イメージ推移のペトリネット表現化とシミュレーション実行

により、風土イメージの動的彩色表現への応用と、その社会基盤評価支援への利用可能性を示した。

以上のように、本研究では、B-I～B-Vに示したペトリネットシミュレータの動的図解手法性の強化に係わる5項目の基礎的成果と、P-I～P-IXに示したペトリネットシミュレータの支援システムとしての9項目の実践的成果を挙げる事ができた。

8-2 本研究の今後の課題

本研究では、ペトリネットシミュレータの動的図解手法機能に着目し、その強化を図るとともに、空間対応型の諸計画課題への応用性と、参画型計画の支援性を実証することを目的とし、前者については、5項目の改善・強化を達成し、後者については、8項目の実践成果を達成した。しかし、それぞれの項目で、さらなる検討を要する課題も残されている。

まず、ペトリネットシミュレータのソフトウェア面に係わる基礎的課題としては、

i) 対象記述のペトリネット規模の拡大に伴うシミュレーション実行処理の高速化

ii) 背景画面上での視覚シミュレーション表示処理の高速化

が挙げられる。

本研究では参画型計画の支援システムとして位置付け、パーソナルコンピュータ環境を前提としているために、近年、その処理速度の高速化にはめざましいものがあるとはいえ、この面での限界は避けられないだろう。しかし、本研究では、第3章のバス・一般車の混在流シミュレーションにおいて、車両の発生を従来の特殊な発生ブレースによる方式から、生成と選択トランジションからなる発生部ネットに変更することで、シミュレーション時間が格段に短縮化されることを確認しており、まだまだ工夫の余地はあると考えている。また、

iii) 既開発ペトリネットのデータベースの充実化とその利用マニュアルの整備が重要な課題と考えている。

ペトリネットシミュレータの特徴である視覚表現性、駆動原理の単純明快性、即時シミュレーション実行性などから、参画型計画での支援システムとしての活用化を主張してきた。それには、ペトリネットシミュレータに対するできるだけ広い範囲の人々による使用性、受容性が必須条件となる。本研究では、コンピュータに関しては全くの素人とはいえ、研究室の学生とコンサルタントの人による利用実績しかない。この改善には、上述のiii)の課題を早急に解決する必要がある。現在、既開発ペトリネットの部分データベース、ペトリネットの基本事例と応用マニュアル、および、ペトリネットシミュレータの実行ソフトウェア(Peri.exe)を1枚のCDで一体化し、提供する形での利用実験を試みている。この本格実施とその結果の反映化が基礎的な課題となっている。

交通計画への応用面では、

iv) バス・一般車の混在流ペトリネットの実交通の再現性検証

が基本課題となる。これに関しては、信号停止後の走行特性や自由走行時の車間間隔などの基礎的な検証を終え、金沢市中心部でのバス専用レーン運用時と非運用時について目下実施中である。また、

v) 構築ネットの拡張化と精緻化

も課題となる。出発バスの定時性確保優先策に関しては、バスターミナル内のネットを含む形に、ま

ず拡張する必要がある。さらに、鉄道との結束点であることから、鉄道とバスとの間の人の流れ部のネットを組み込み、バスターミナルの運用代替案評価支援へと展開したいと考えている。

防災計画への応用面では、

vi) 緊急車両走行のマイクロペトリネット開発と消防防災システムのマクロペトリネットの連携化

vii) 広場を含む建物内避難シナリオのペトリネット開発

を課題としたい。前者は、本報告の第6章の関連研究で展開されている広域のシミュレーションにおいて、精度とシミュレーション時間の課題に対する回答として重要となる。後者も、本報告の第7章の関連研究で展開されているテーマへの適用化に必要となるものである。

これらの応用研究においても、参画型計画としての取り扱いが今後の大きな課題となる。最後に、風土イメージ表現への応用面では、

viii) プレース形状のさらなる多様化とその風土イメージ表現への活用化

を課題に挙げる。現在、この分野では、CG (Computer Graphics) が主流であり、表現の精緻性ではまったく及ばないが、動的記述の内包性、コストと時間、そして、粗描画故のイメージ喚起性では、本方式に利点があり、viii)による描画性の改善は、新応用領域の開発に寄与するのではと考えている。

謝辞

本研究は、研究分担者の皆様はいうまでもなく、多くの方々からの直接・間接のご協力の下で遂行されたものである。各研究室の学生諸君、国土交通省金沢事務所の諸氏、コンサルタントの諸氏に感謝の意を表します。