

## I-23 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

## Development of Bus Traffic Alternative Simulation on Its Background Image

by Petri Net Simulator

木俣 昇<sup>1</sup>松井竜太郎<sup>2</sup>

Noboru Kimata

Ryutaro Matsui

[抄録] 近年の交通計画には、既存の道路空間の有効活用が広く求められるようになってきている。著者らの交通流ペトリネットシミュレータは、道路を閉塞区間に分割し、その時空間の占有性をスペースとトランジションとトークンから成るネットモデル<sup>1)</sup>で視覚的に記述し、トランジションの発火則による車両トークンの移動としてシミュレートするものである。著者らは、この型のシミュレータの実用化システムを開発してきた<sup>2)3)</sup>。本論文では、そのシステムに背景画像の挿入メニューを追加し、その上でのネット構築法に進化させることで、バスと一般車の空間占有性を、より実道路空間に対応したものとし、既存の道路空間の特性を活かすバス優先策の検討シミュレーションにも有効となることを示す。

[Abstract] Nowadays we should research more ideas on effective usage of our road spaces for transportation planning. We proposed the practical software of micro traffic simulation based on Petri nets in our previous paper. On this simulator, the road space is divided into blocks and vehicle's advance to the forward block is modeled by a visual Petri net composed of place, transition and token. Here, places are defined as corresponding to space occupations. In this paper, we add menu on insert of background image to this simulator and show a method for construction of traffic flow net model for its background image. And applying to simulation of bus priority alternative near bus terminal area, we practice its net model build on real image of the site and demonstrate how buses always queue at the front position though one signal cycle.

[キーワード] 交通計画, バス優先策, 交通流マイクロシミュレーション, ペトリネット, ソフトウェア改良

[keywords] transportation planning, bus priority alternative, micro traffic simulation, improvement of software.

## 1. まえがき

近年、道路予算は抑制傾向にあり、それに伴い既存道路空間の活用や、信号制御の見直しなどによる交通対策計画が多くの自治体で検討されている。そこでは、交通計画とは、制約された道路時空間を各車両にいかにして安全に、かつ効果的に占有化させるかの工夫と捉えられる<sup>4),5)</sup>。現在、種々の実用システムの開発・研究がなされている交通流のマイクロ・視覚型シミュレーション<sup>6)~8)</sup>は、住民参加型計画の支援とともに、この課題の支援に

も有効なものといえよう。

著者らの交通流ペトリネットシミュレータも、同様のマイクロ・視覚型のシミュレーションシステムを意図したものである。その特徴は、道路を閉塞区間に分割し、その時空間の占有性をスペースとトランジションとトークンから成るネットモデルで視覚的に記述し、明解なトランジションの発火則により、ネット上で車両トークンを駆動し、シミュレートする視覚性と即時実行性にある<sup>9)~12)</sup>。

この記述において、スペース(place)は、そ

1 : 金沢大学工学部土木建設工学科 教授

(〒920-0942 金沢市小立野2-40-20 Tel. 076-234-4914 Fax. 076-234-4915 E-mail kimata@t.kanazawa-u.ac.jp)

2 : 金沢大学大学院自然科学研究科環境基盤工学専攻

の字義通りに”場所性”を保持し、実道路空間との直接的対応性を持つ。これらの特徴が十分に活かされれば、既存道路空間の種々の活用策の発想と、その評価シミュレーションに威力を発揮すると考えられる。著者らは、このシミュレータの実用化システムについて報告した<sup>2)</sup> <sup>3)</sup>。また、空間占有性を異にするバスと一般車の混合交通流シミュレーションへの本シミュレータの適用化についても、検討している<sup>12)</sup>。本論文では、まず、本方式のシミュレータに”背景画像の挿入”のメニューを追加し、その上でのネット構築法を提案する。次に、バスターミナル近辺の実道路空間を背景画像として取り込み、既存の道路空間の特性を活かすバス優先策の検討シミュレーションネットを構築し、効果評価のシミュレーションを実行し、この方式の有効性と課題について検討する。

## 2. 混合交通流のペトリネットモデル

### 2-1 道路空間の車両占有性のペトリネット記述

本シミュレータでは、図-1 に示すように、道路を閉塞区間に分割し、プレースとトランジションとプレース上のトークンで構成されるネットモデルで交通流の記述・表現化がなされる。各閉塞区間は、“車両の存在”を示すプレース(ネットの上段の○)と、“空間の空き”を示すプレース(ネットの下段の○)の2つで記述され、“車両の進行”を意味するトランジション(ネット内の|)と矢線で結ばれる。○→|のプレースが、トランジションへの入力プレース、|→○のプレースが、トランジションからの出力プレースと呼ばれる。

信号も赤・青・黄色等の現示状態を示すプレース群と、現示の切り替わりを意味するトランジション群から成るネットで表現され、赤現示のプレースと“車両の進行”を意味するトランジションが破線(…)で結ばれる。この○…|の型のプレースは、抑止プレースと呼ばれる。

車両の進行や信号現示の切り替わりは、全てのトランジションに共通の発火則によって起こる。即ち、

- 1) 当該トランジションの全ての入力プレースにトークンがマーキングされており、かつ
  - 2) 当該トランジションの全ての抑止プレースにトークンがないとき、
- そのときに限りトランジションは発火し、
- 3) 当該トランジションの全ての入力プレ

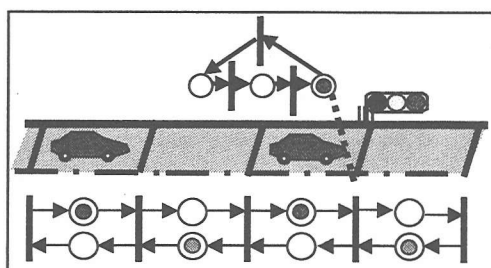


図-1 車両走行の基本ペトリネット

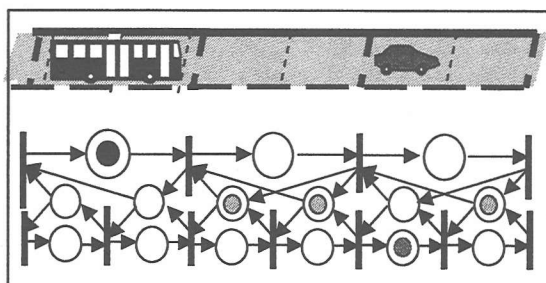


図-2 一般車とバスの混合流ネット

- スからトークンを1個ずつ消去し、
- 4) 当該トランジションの全ての出力プレースにトークンを1個ずつ配置するというルールである。

図-1 のネットでは、後続車については、この発火則の条件1)と2)が満たされ、トランジションが発火し、3)と4)によりトークンが移動して、前方の閉塞区間へ進行したマーキングとなる。前方車の方は、条件1)は満たされているが、2)が満たされていないために発火せず、停車状態となる。これが信号制御の原理である。

このネットでは、一般車のみの走行を想定しており、道路は閉塞区間長を6.7mとして分割している。バスは大型車であり、一般車と道路空間の占有性に差があるから、本方式では、このことをネットとして陽的に記述・表現することで、バスの組み入れも可能となる。文献12)の想定と同様に、その閉塞区間長を一般車の2倍とした混合交通流のネットモデルを図-2に示す。

このネットでは、“バスの存在”を示すプレース(ネットの上段の○)を導入して、その占有空間は、従来の一般車の占有空間に対応する”空間の空き”を示すプレース(ネットの中段の○)が2個対応するとし、一般車のみの交通流ネットに結合させている。即ち、道路空間を、“バスの存在”、“空間の空き”、及び“一般車の存在”(ネットの下段の○)の3種類のプレースを使用して記述し、“バスの進行”を意

表-1 Vptimer.txt (加速更新表)

当該区間	進行先区間	更新率	
0.80	0.60	0.40	(-2)一般車 の設定
1.20	0.80	0.60	
2.40	1.20	0.80	
else	2.40	1.00	
1.40	1.20	0.60	(-3)バス の設定
1.55	1.40	0.70	
1.75	1.55	0.80	
1.95	1.75	0.90	
2.35	1.95	1.00	
4.80	2.35	1.00	
else	4.798	1.00	

lag time 4.8 1.2

停車判発進遅れ

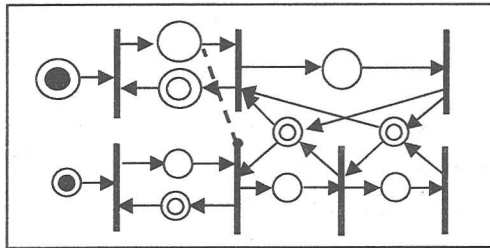


図-3 車両発生部ネット

味するトランジションの入力プレースと出力プレースとして、“空間の空き”プレースを2個結合している。

以上のように、本シミュレータでは、プレースに道路時空間との直接的対応性がある。また、車両進行は、上述した単純で明解な共通のトランジションの発火則のみによるために、ネットモデルが構築されれば、プログラムに手を加えることなくシミュレーション実行ができる。これらの特徴は、既存道路空間の有効活用に着目する計画案の発想とその直接検討のシミュレーションを可能とするものといえよう。

**2-2 車両走行の動的特性の記述**

本シミュレータでは、動的特性の記述にタイマを使用する。タイマとは、当該プレースに配置されたトークンに与えられる時間特性を指す。プレースは、このタイマ種類によっても識別される。図-1と図-2のネットには、4種類のタイマ型プレースが使用されている。即ち、“空間の空き”、“一般車の存在”、“バスの存在”、“および”信号現示”の4つである。“信号現示”プレースのタイマは現示時間であり、一般的には固定型で、“空間の空き”プレースはタイマ無し型である。残りの2つは、そこ

に配置されるトークンは車両を意味し、従って、それらに設定されるタイマは車速に対応するもので、可変型となる。

本シミュレータでは、現閉塞区間での車速を基に、表-1に示すような更新表を参照し、進行先閉塞区間のタイマ(車速の逆数)は、加速ないしは現状維持に、設定された更新確率で設定される。図-1や図-2のネットモデルでは、追従走行を想定しており、減速は前方に低速車がいる場合に起きる。

一般車とバスの走行特性の違いは、存在プレースの違いによって記述される。即ち、同じ可変型プレースであるが、前者のプレースを(-2)型で、後者を(-3)型で定義し、表-1に示すように、参照部分を2領域にすることで可能となる。その再現性等の詳細は、文献12)に譲る。

図-3は、混合流ネットにおける車両発生部ネットである。即ち、図-2のネットモデルの左端に、バスと一般車の2つの発生プレースを結合したものであるが、“バスの存在”を意味するプレースから“一般車の進行”を意味するトランジションに抑止を掛けている。これは、トランジションの同時発火に伴うトラブルの可能性を排除する工夫で、ここではバス発生を優先するネットとなっている。しかし、どちらを優先にしても、交通量が、一般車で1800(台/時間)でバス100(台/時間)程度までであれば、設定交通量の生成には影響が出ないことを確かめている。

最後に、時間進行の機構について触れておく。本シミュレーションの時間進行は、一定時間毎に時計を進める一定時間増分法ではなく、最早生起事象時刻が探索され、その時刻にまで時計が進む可変時間増分法である。前者がいわば時間推移優先的なのに対して、後者では占有場所推移が優先的となり、確実に道路空間の占有性がシミュレーションされる。この点でも、1.で掲げた現有道路空間の有効活用策の検討に適していると考えている。

**3. 背景画像上での交通流ネットの構築法**

**3-1 ペトリネットシミュレータの改良**

ペトリネットによるシミュレーションでは、2.で述べたように、対象は、プレースとトランジションをアークで結合した視覚的なネットモデルで記述される。そして、その駆動は、トランジションの発火則と呼ばれるアルゴリズムで行われる。ネットは、共通の要素と形式性を持ち、発火則も、トランジションの種

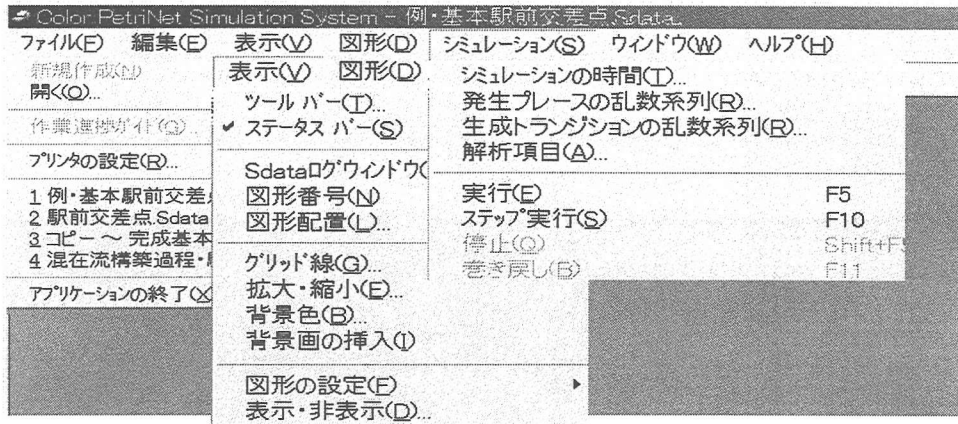


図-4 改良シミュレーションの基本メニュー画面

類等に係わらない共通で、単純・明解なものである。トークンの時間特性については、車両に対応するトークンのタイマを、現走行速度に応じて変化する可変型とするアルゴリズムを組み込めばよく、作成されたソフトウェアは、ネットモデルが構築され、その各要素とそれらの関係が Sdata ファイルと呼ばれる形式で特定化されていれば、プログラムの変更なしで即時に実行できる汎用性を持つ。著者らは、交通流シミュレーションに特化したそのような実用基本ソフトウェアを既に開発している<sup>2)</sup>。

2.では、また、交通流のネットモデル化において、プレースが道路空間との場所対応性を持つこと、その時間進行機構面でも道路時空間の占有性を確実に記述するものであることを述べた。ネットモデルの持つ視覚性と、これらの空間対応性をより引き出し、既存道路空間の活用化交通計画をより有効に支援するには、実道路空間を背景画像として、その上で交通流ネットを構築する改良が望ましい。図-4 に”背景画像の挿入”と”グリッド線”等をサブメニューに導入した改良ソフトウェア、Color Petri-Net Simulation System の基本メニュー画面を示す。

背景画像の挿入とその上でのネット構築については次節で述べる。ここでは、”グリッド線”の利用と、ネットの操作性と”表示・非表示”による空間対応化について述べる。

図-5 の左に示すネットは、バスと一般車の混合流の基本ネットモデルで、図-2 に示したものである。プレースが縦に 3 個配置されているが、2-1 で説明したように 1 車線の交通流のネットモデルである。ネット図の各部分は、画面上でマウスによるクリックとドラッグに

よって容易に位置を変更できる。また、図-4 の表示のサブメニューの最下段にある”表示・非表示”と、Sdata での指定により、プレースやトランジションやアークを非表示にすることが選択できる。図-5 の右のネットは、図-4 の表示のサブメニューの”グリッド線”により、閉塞区間長と車線幅でグリッド幅と高さを設定し、左の基本ネットのバスと一般車の存在プレースの位置を 1 車線の道路空間に対応させ、さらに他の要素を全て非表示することによって作成したものである。

### 3-2 背景画像上でのネット構築法

図-4 の基本メニューを使用したネットの構築手順を、図-6 に示す。まず、Windows パソコンで実行可能な改良シミュレータの基本メニューの[ファイル]の”開く”から当該の Sdata ファイルを開く。次に、[表示]の”背景画像の挿入”から当該の背景画像ファイルを開く。図-7(1)がその手順画面例である。この実行によって、図-7(2)に示すように、図形配置の支援画面が背景画像の上に表示されてくる。

支援ウインドウにリストされたプレースないしはトランジション番号を順次選択し、画面上のマーカーを、それらの配置したい背景画像上の位置に移動させ、”配置”ボタンをクリックしていけばよい。プレースとトランジションのアーク関係は、Sdata を参照して、自動描画される。そして、構築されたネットモデルの表示座標データも、Ndata ファイルに自動生成される。

この作業は、未完成のネットとその Sdata によっても行えるし、一時中断し、後に再開する場合に構築分を継承することも可能である。いずれにしても何らかの Sdata ファイルが

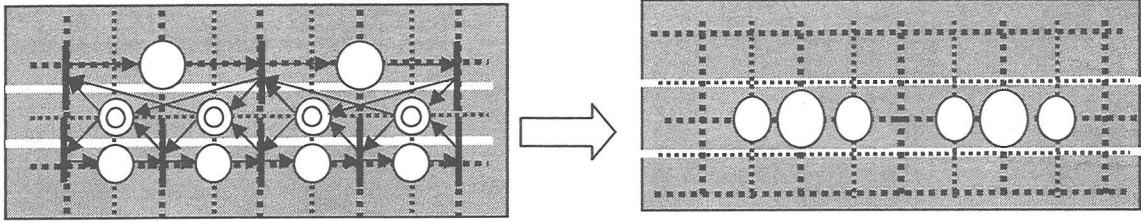


図-5 ネットの操作と表示・非表示による空間対応化の手順

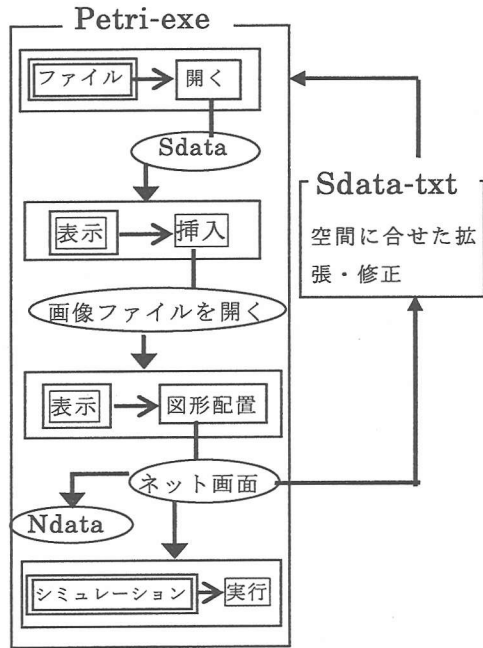


図-6 背景画像上でのネット構築手順

必要となる。実道路を背景画像として、その空間活用策を発想し、ネット構築を試みるには、手掛かりとなるネットとその Sdata ファイルを出発点として、このような漸進的な構築性を活用することが、現実的でもあり、効果的でもある。図-6 のフィードバック部は、そのような構築手順を示したものである。

図-7(3)は、この手順の実行画面例である。即ち、構築してきたネット画面と Sdata ファイルを同時に開き、背景画像に閉塞区間長と車線幅に設定したグリッド線を引き、さらに配置することができるプレースの種類と個数を算定し、まず、Sdata ファイルのプレースとトランジションの総数の項を変更し、その拡張 Sdata のもとで図形配置を継続する。そして、次のステップで、背景画像から実道路空間の特性を把握して、プレースとトランジションの関係、およびプレースとトランジションの個々の特定化を行い、Sdata ファイルに書き込み、再実行を行う。このフィードバ

ックを繰り返すことによって、交通流ネットが構築されていくことになる。

#### 4. 道路形状活用型バス優先策のシミュレーション事例

##### 4-1 適用道路空間画像とバス優先策

金沢駅東口のバスターミナルの改良が計画され、施工中である。このバスの到着・出発口の道路形状は、図-8(1)に示すようになっている。ここで、まず、到着バスについては、道路形状とターミナル空間との位置関係を利用して、進入空間を確保してバス交通流を分離すれば、到着バスはターミナル内に左折で信号なしで流入可能となることが分かる。

次に、出発バスは、図-8(1)の停止線①から出てくる。図-8(1)の C の信号交差点の手前は、直進・直進左折・左折の 3 レーンがあり、各々 3~4 台のバスが並べるスペースがある。出発バスの主要路線は、この交差点を左折するものであり、最大 8 台のバス占有空間があることになる。このスペースと道路形状を活用して、さらに信号制御を行うことで、C の信号交差点で常にバスを先頭に出すことでできれば、バス交通の定時性は向上するだろう。

そのために、まず、右方向から交通の停止線を図-8(1)の②に、左方向から交通の停止線を③に設置し、A と B と C の信号の連携化を図るというバス交通対策案が考えられている。本章では、3.で述べた拡張型ペトリネットシミュレータの適用事例として、この検討シミュレーションを取り上げる。

##### 4-2 構築ネットとシミュレーション結果

2-1 では、一般車の交通流と、一般車とバスの混合交通流の基本ネットモデルについて述べた。2-2 では、混合交通流の車両発生ネットモデルについて述べた。それ以外にも、著者らは、一般車の発生、専用車線への分岐、右折抑止のネット、車線変更や横断歩行者のネットを開発してきている<sup>9) 10)</sup>。また、混合

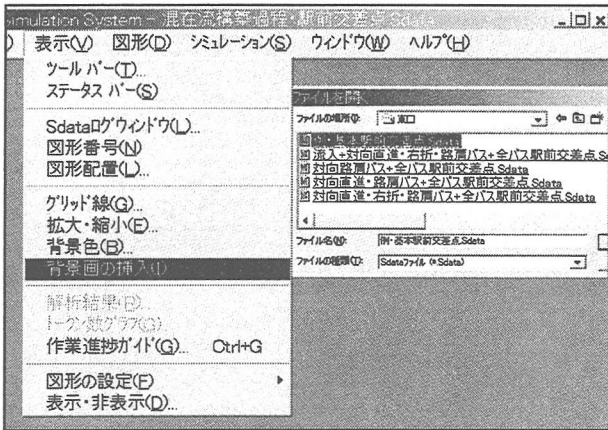


図-7(1)背景画像の挿入手順

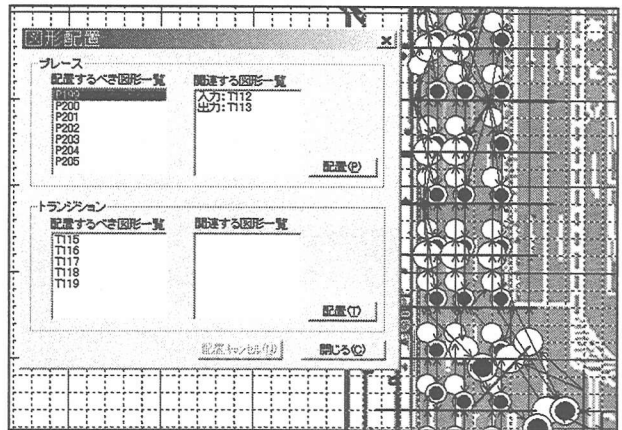


図-7(2)背景画像での図形配置支援画面

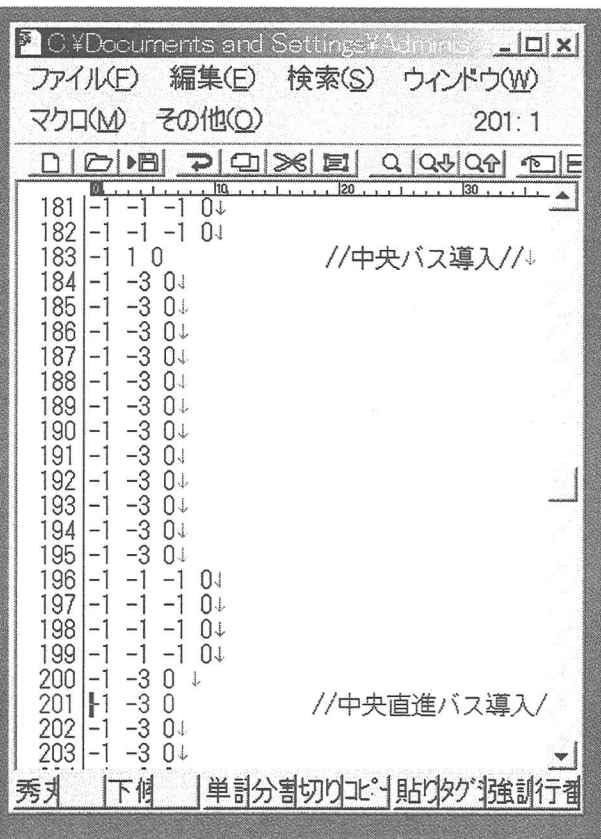
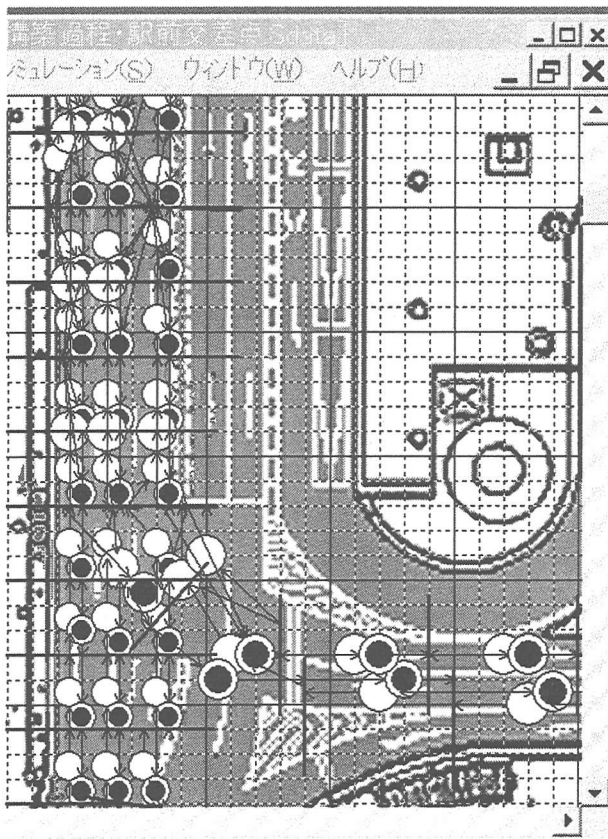


図-7(3)背景画像上での漸進的ネット構築手順

交通流については、バス停留所での乗降サービスネットや、バス停付近での一般車の追い越しネットも構築してきている<sup>12)</sup>。

図-8(2)は、この検討シミュレーションで組み込まなければならない交通流の形状を、背景画像上で示したものである。まず、車両発生については、(a)～(d)の4箇所があり、(a)と(b)は、現場特性より2-2で示した混合交通流の車両発生部ネットとなり、(c)は一般車の発生部ネットとなる。(d)は、ターミナルか

らの出発バスの発生部であり、定時発車のネットが必要となる。ここでは、時刻表から出発時刻間隔を求め、それらを固定タイマとしてプレースに初期配置することで、定時発車を実現するネットを考案した。

(a)からの交通流については、交差点を右折するもののみを組み込む。図-8(2)に示すように、この交通流には、ターミナルへの進入路に分岐するバスと、2車線に分かれて直進する車両とがあり、カラートークン<sup>13)</sup>を使用

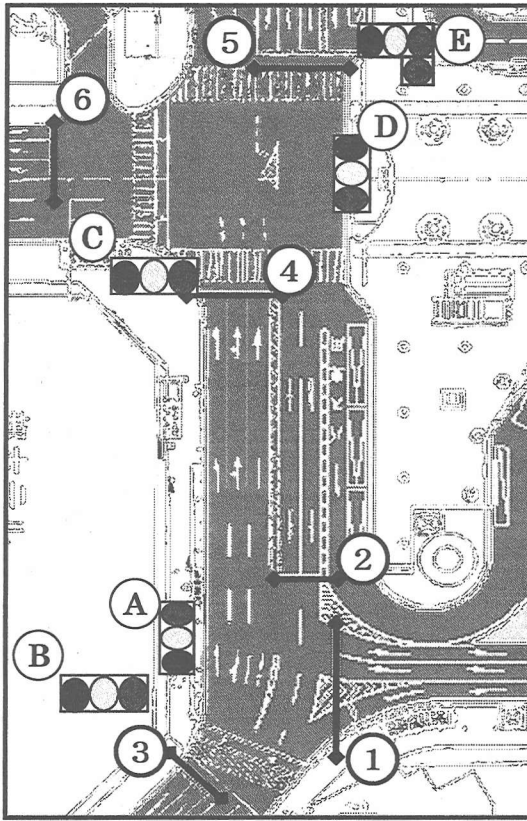


図-8(1) 適用道路空間画像

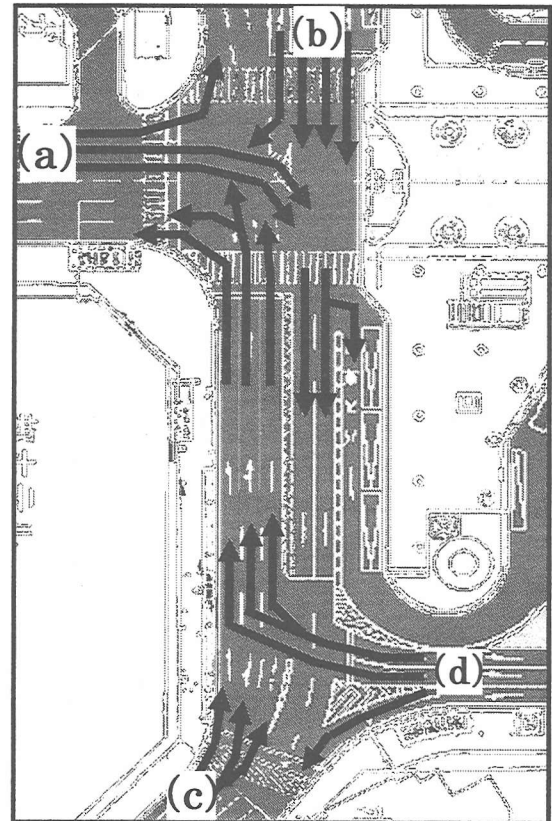


図-8(2) 適用道路空間画像

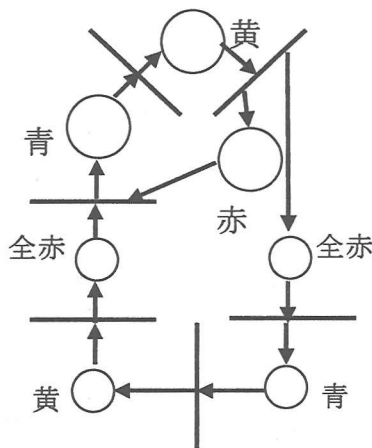


図-9(1) 信号AとBの連結ネット

した車線分岐ネットとなる。(b)からの交通流については、路肩側車線はバス専用で、中央車線は右折専用で、残りが混合流である。(c)からの交通流については、路肩側車線の車両は直進し、中央車線の車両が分岐するネットを適用する。(d)からのバス交通については、ここでは中央の2車線からの出発のみとし、図-8(2)に示すように、一方のバスは路肩側左折レーンに進行し、もう一方のバスが直進・

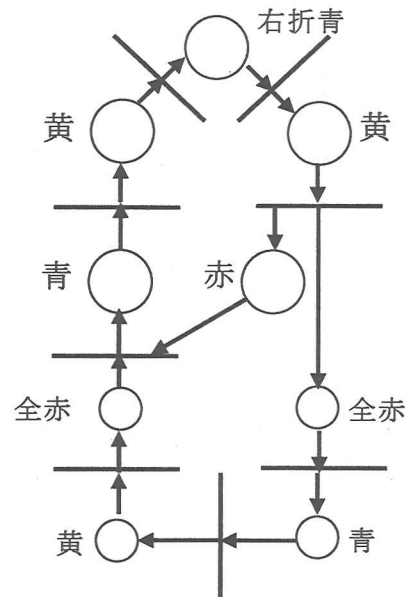


図-9(2) 信号C・D・Eの連結ネット

左折レーンと直進レーンに分岐するネットとなる。

信号については、図-8(1)に示すAが出発バスの制御信号で、その青現示時間が出発の優先性を規定する。この信号と表裏で切り替わるのがBである。A信号の青・黄現示時

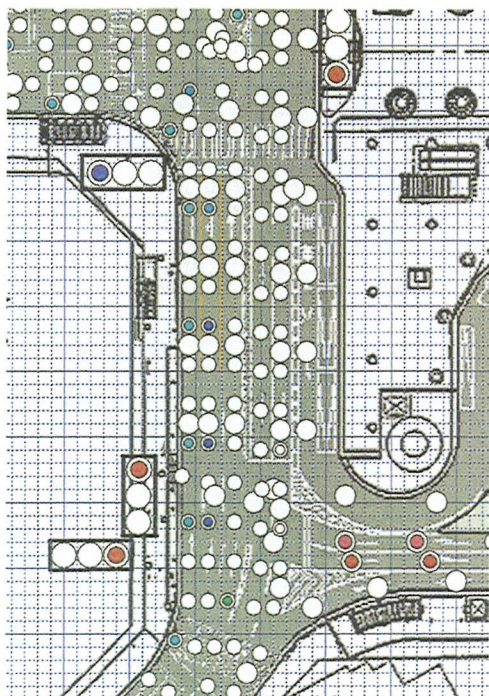


図-10(1) シミュレーション画面

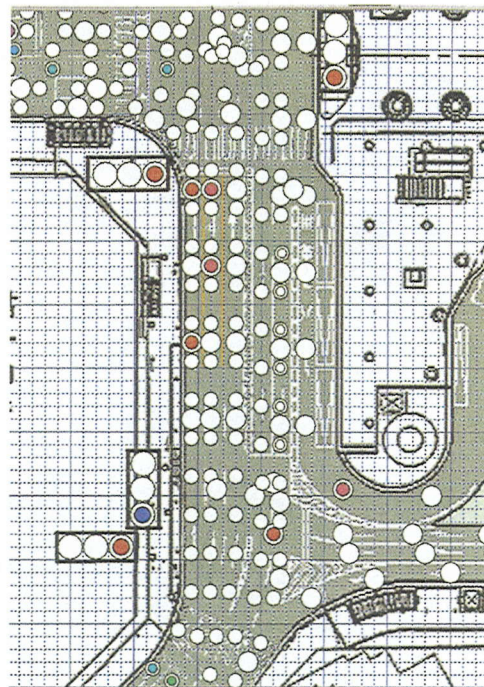


図-10(2) シミュレーション画面

表-2 信号現示時間

	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 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

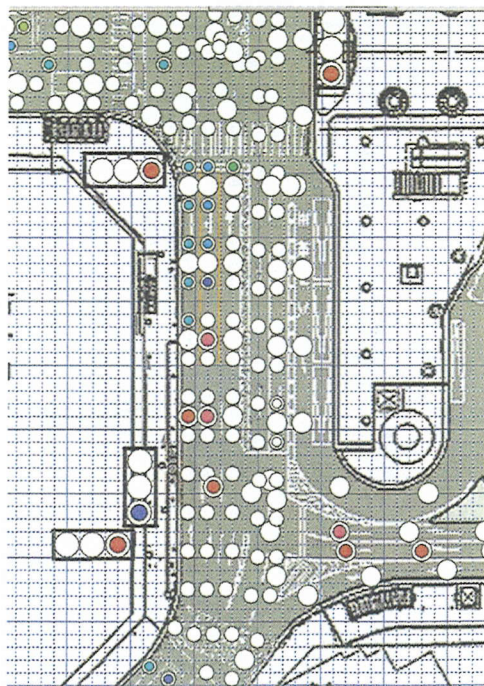


図-10(3) シミュレーション画面

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-8(1)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-8(1)に示す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ネット構築を行う。

図-9(1)が、信号 A と B の制御部ネットである。下部の小さい円が信号 A の現示制御部で、上部の大きい円が信号 B の現示制御部である。信号 B が赤になると同時に信号 A も赤となり、

全赤状態になる。そして、信号 B は赤で、信号 A が青・黄と推移し、再度全赤となった後に、信号 B は青になり、信号 A は赤を維持するというネットである。図-9(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-8(1)の③の停止線を通じた車両が信号 C を通過するには、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。表-2 に示す現示時間のとき、信号 A と B を全赤とし、信号 E の右折青に 2 秒のタイマをもつ初期配置を行えば、このタイミングとなる。表-2 の信号と表-3 の交通量の下で、この初期配置によるシミュレーション結果を、図-10(1)と(2)に示す。大きいスペース上の赤色系トークンがバスで、小さいスペース上の水色系トークンが一般車で、バスが信号 C 交差点で先頭の位置に並んでいる。図-10(3)は、このタイミングでない初期配置のケースのシミュレーション結果である。同じ信号状態であるが、一般車が残っており、バスは先頭位置には出られていない。

本シミュレータでは、図-4 のメニューに示したように、解析項目の設定も可能である。ここでは、上の両ケースで、バスの出発から C 交差点の通過に要するまでの時間の比較を行った。まず、平均値では、178.3 秒と 175.1 秒となり、違いはあるが、差はそれほど大きくはない。しかし、標準偏差の方は、24.8 と 66.6 でかなり差がでており、定時性確保としては効果があるといえよう。

## 5. あとがき

著者らは、ペトリネット手法に基礎を置く交通流ペトリネットシミュレータの開発を行ってきた。その交通流記述法は、スペースによる車両の空間占有性の記述を基とする視覚的なネットモデルによるもので、実道路空間との直接的な対応性と、その視覚型シミュレーションへの直結性を特徴としている。即ち、本方式は、2-2 で述べたように、占有場所推移優先型であり、また、諸アイディアや諸意見はネットモデル記述さえなされれば、その視覚的・動的シミュレーションは、プログラム修正なしで直ちに実行可能となる点に他手法との違いがある。

本論文では、この特徴をより引き出し、現

在、交通計画に求められている既存道路空間の有効活用化策の検討にも寄与することを目的に、背景画像上でのネット構築性を付与するソフトウェアへの改良と、その適用化を試みた。

具体的には、3. では、改良したペトリネットシミュレータの基本メニューを示し、それらによる空間対応性のある交通流のペトリネット構築法の手順を述べた。ここでは、背景画像とグリッド線を活用し、さらにネットの移動と非表示機能によって、実空間とネットモデルの対応化が可能となること、構築ネット図とその Sdata を同時に開くことで、背景画像上の実空間情報を参照し、ネット構築を漸進的に進める現実的な手順が可能なことなどを示した。

4. では、金沢駅東口のバスターミナルの到着・出発口周辺の道路空間画像を取り込み、その空間形状を活用して、到着バスをスムーズにターミナルに誘導し、出発バスを 1 回の信号で先の信号交差点の先頭位置に出すという案を取り上げ、そのシミュレーションを試みた。そして、グリッド線によるバスと一般車スペースの実道路空間への配置と、その上でのシミュレーション結果の視覚提示を行った。ここでは、信号系の連結ネットを作成し、初期配置とタイマ設定により、種々の信号連携タイミングのシミュレーションを可能とし、目的達成ケースとそうでないケース例を示した。また、その数量比較も可能であることも示した。

本研究では、検証については全く触れていない。この案は現に試行中であり、検証は可能である。これが第一の課題であると考えている。また、本研究では、ターミナル内のバス交通流のネットや、横断歩道のネットも欠いている。これらの拡張化がもう一つの課題である。現信号のタイミングでは、バスは先頭位置に並ぶが、必ず赤信号で停車する。横断歩道ネットの組み入れは、この改善策の検討には不可欠であり、この組み入れによる検討を早急に行いたいと考えている。さらに、文献 4)、5) に示されているようなバス優先策の導入検討への適用化を試み、IT を活用したタイムリな空間占有の制御法提案へと発展させたいと考えている。

## 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