

ペトリネットを用いた交通流シミュレータの応用可能性 Possible Applications of Petri-net Modeling in Traffic simulation

木俣 昇* 千田 諭** 岸野 啓一*** 樫村 吾郎****

by Noboru KIMATA, Satoshi SENDA, Keiichi KISHINO and Goro KASHIMURA

1. はじめに

経済社会の諸情勢がこれまでになく急速にかつ大きく変化する中で、交通施設整備に対する考え方も従来の需要追従型の施設整備からの脱却が求められている。道路審議会建議では、21世紀のビジョンとして「効率的で質の高い、創造的な社会の実現」が掲げられ、その実現のためには社会資本整備において、①既存ストックの有効活用、②良質な社会資本の効率的な整備、③透明で公正なルールの確立、といった新たな仕組みが必要であると述べられている。また、建議では、道路政策の評価のものさしを供給量から社会的価値（国民生活や経済活動にとっての価値）へ転換すること、供給者側の作る目標（整備目標）だけではなく利用者の立場に立った使う目標（サービス目標）を国民に分かり易く示すこと、などの必要性が合わせて示されている。¹⁾

こうした背景のもとで、筆者らは、今後の交通施設整備では社会的合意形成が重要な要因の一つとなるものと認識し、それを支援するためのツールとして、政策の評価を分かり易く示すことのできる交通流シミュレータの開発を行ってきた。

交通流シミュレータについては、様々なモデルが実用の域に達していると認識している。それらのモデルの開発により、比較的大規模な道路ネットワークを対象に経路選択等を加味したビジュアルな交通流シミュレーションが実現化している。しかし、そ

れらのモデルでは、個々の自動車の挙動の分析や、シミュレーションのメカニズムの説明などの点で改良の余地があると考えられる。

これに対し、筆者らが開発を進めてきたペトリネットを用いた交通流シミュレータは、視覚的で、かつ手動による駆動確認も可能なペトリネットによる記述一駆動法を採用することにより、シミュレーションのメカニズムを明示的に示すことのできるシステムであり、利用者が主体的に活用可能な支援システムを目指すものである²⁾。すなわち、このシステムは種々の条件設定のもとでの自動車1台1台の挙動を目で確認しながらシミュレートできる仕組みとなっており、例えば道路整備に関する関係機関との協議や一般市民への説明に活用することが期待されるなど、社会的合意形成を図る上で有効な支援システムであると考えられる。

これまでの研究成果により、システムの基本的な枠組みは形成されたと認識している。本稿は、システムの概要について整理して示すとともに、シミュレーションシステムの応用の可能性について見解を示すものである。

2. ペトリネットシミュレータの概要

(1) シミュレータの基本構造^{2) 3)}

ペトリネットシミュレータは、交通流現象をいくつかの単純な基本事象に分割し、それらをペトリネット表現することで交通流のシミュレーションを行う離散型のモデルである。基本構造は図-1に示す通りである。図中に示した閉塞区間(6.7 m)が自動車1台分に相当し、上側のプレースにトークンが打たれた状態が自動車の存在を表している。自動車の走行速度はプレースタイマー(プレースにトークンが存在できる時間)によって表現され、前車の速度や他の閉塞区間における自動車の存在の有無などの条件(例えば対向車線に自動車が存在する場合に

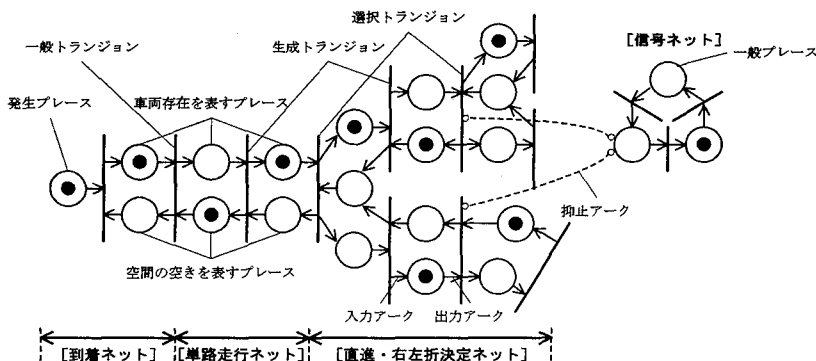
キーワード：交通制御、システム分析

*正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科
(〒920-0942 金沢市小立野 2-40-20 TEL 076-234-4914
FAX 076-234-4915)

**学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境基盤工学専攻 (同上)

***正会員 中央復建コンサルタンツ(株) 計画設計部
(〒532-0004 大阪市淀川区西宮原 1-8-29 TEL06-393-1198
FAX 06-393-1145)

****正会員 工修 中央復建コンサルタンツ(株) 計画設計部



図－１ ペトリネットによる交通流基本モデル

右折車は停止すること等)に基づく車両の挙動をペトリネットによって記述するものであり、このネット上でプレースタイマーの更新をダイナミックに行うことによって自動車の走行状態をシミュレートするものである。

(2) これまでの開発状況

ペトリネットシミュレータの現段階での開発状況は次表に示す通りである。

表－１ ペトリネットシミュレータの主な開発状況

分類	項目	開発状況
車両の挙動	発生	・ボアソン到着、平均発生率を台／分で設定。
	走行	・前車の走行速度との関係で自車の速度を設定。 ・最高速度は任意に設定可。
	加速	・前車の走行速度との関係で自車の速度を設定することで、発進時の加速を表現。
	発進遅れ	・停止状態からの発進遅れを表現。
	減速	・前車の走行速度との関係で自車の速度を設定することで、停車時の減速を表現。
	経路選択(右左折)	・交差点において、設定された右左折率になるよう、ランダムに右左折を設定。
沿道条件等	信号	・信号はペトリネットで表現。現示時間はプレースタイマーで設定。 ・赤信号は特定のプレースの車両進行を抑制することにより反映。
	道路線形	・曲線部等における減速をペトリネットで表現。
	踏切	・踏切における一旦停止はプレースタイマーで設定。 ・列車の通過は特定プレースの車両進行を抑制することにより反映。
	路側駐車	・駐車による車線変更や走行速度の低下をペトリネットで表現。
分析項目	平均走行速度	・指定された区間にプレースが存在した時間により計測。
	渋滞長	・指定された区間に存在するプレース数(車両数)により渋滞長を計測。
	交通量	・指定した場所の通過プレース数により交通量を計測。
表現	動画	・自動車の走行状況や信号については動画での表現が可能。
	線画	・道路の形状や車線構成、レーンマーク等を示す線画の描画も可能。

自動車の挙動については、発進時の発進遅れや加速などがシミュレータ上で表現可能になっている。その他に、信号による停止や対向車・歩行者の存在による停止や発進の抑止等、自動車交通に関する条件を組み入れることが可能である。さらに、曲線部における減速や踏切部における一旦停止、路側駐車車両による車線変更や減速等、沿道条件等に伴う自動車の挙動もモデル上で表現することができる。

こうしたシミュレータの機能に対し、設定が必要なパラメータは次の通りである。

- ①自動車交通の発生率
- ②個々の自動車が閉塞区間に存在する時間(プレースタイマー、走行速度や加減速を決める要素)
- ③交差点での右左折率
- ④信号現示

これ以外の項目については、全てペトリネットの設定により表現する。これまでに、基本的なパラメータの設定について検討し、走行速度や加速については一定の結論を得ている。一方で、減速の方法やパラメータ設定など一部の項目については改善の余地がある。

3. ペトリネットシミュレータの応用可能性

(1) ペトリネットシミュレータの特性

このように、ペトリネットシミュレータは、図－１に例示した３つの基本要素の組み合わせによって対象とする交通流を表現する。すなわち、３種類のトランジション(一般、生成、選択)、４種類のプレース(発生、車両存在、空間の空き状態、一般)、

3種のアーク（入力、出力、抑止）の組み合わせのみによって種々の交通条件を表現することが可能である。加えて、シミュレータにおいて設定すべきパラメータはこれらの要素と明確に対応しており、また、車両進行に関するシミュレーションのロジックも極めて単純であることが特徴としてあげられる。このため、自動車1台1台の挙動をそのロジックとともに明示的に説明可能であるところが本シミュレータの最大の特徴である。

一方、様々な表現をペトリネットの組み方によって表現する仕組みとなっているため、ネットワークモデルが煩雑になる。これに対し、シミュレーションの動画では、不必要な部分を表示しないような工夫を行い、視覚的に分かり易いプレゼンテーションが実現されているが、実作業としてのネットワーク作成に係る作業量が多くなる。そのため、検討対象のネットワークが大規模になるとネットワークモデルが煩雑になるため、適用範囲に自ずと制約が生じるほか、操作性の改善などについて改善の余地が残されている。

(2) 適用例

これまでの研究・開発の途上において、様々な事例への適用を試みてきた。それらについては既往の報告^{4) 5) 6)}の通りであるが、シミュレータの主要な諸元の設定や様々な条件のペトリネットへの適用方法の検討などが主たる検討内容であった。

本稿では、実用化に向けてさらに一步踏み込んだ検討を行った事例を示すこととしたい。

図-2に示すのは、某市の中心市街地におけるシミュレーションの例である。ここでは、駅前の交通量が多い交差点に近接して鉄道の踏切があり、交差点と踏切の影響により交通渋滞が発生している。これに対し、踏切の立体交差化が計画されており、踏切が除去された場合の渋滞状況をシミュレーションにより検討しようとするものである。

ペトリネットシミュレータによる検討では、交差点における信号現示や右左折交通量の影響による交通流シミュレーションに加え、踏切の遮断による交通流の変化を見ることが出来るほか、例えば、踏切

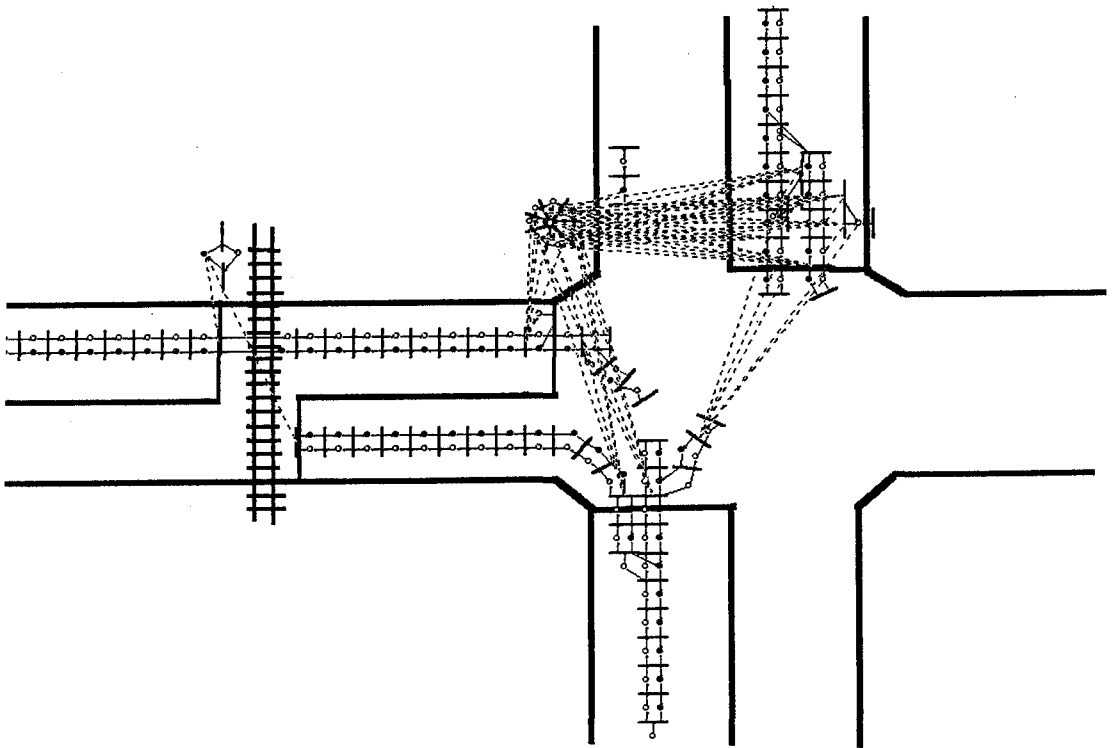


図-2 ペトリネットシミュレータの応用例

と信号の間の自動車の動きを見て、踏切を渡るかどうかを判断する様子をモデルに明示的に組み込むことができるなど、近接している交差点と踏切が交通流に及ぼす相互作用を検討することができる。また、踏切の遮断時間や遮断パターンの変化などに対する自動車の挙動についても分析が可能であり、例えば、踏切の遮断時間をゼロにすれば、踏切が除去された場合の様相についても検討することが可能である。

(3) 応用の可能性

この事例に示すように、ペトリネットシミュレータによる交通流シミュレーションでは、様々な交通条件に対する適用が可能であることが、分かり易さとともに大きな特徴である。当然、四枝交差点等シンプルな形状の交差点における右左折レーンの設定に関する検討等、標準的な検討ケースへの適用も可能であるが、こうしたケースでは、他の様々な手法による対応が可能である。

現段階では、実務への適用例が少なく、現況再現性に関する精査など改善の余地は残されているものの、ペトリネットシミュレータは、次のようなケースにおいてより有効であると考えている。

①交通条件が複雑なケースへの適用

複雑な形状の交差点、交差点と踏切の近接等、交通流に影響を及ぼす要素が多数関係したり、それらの相互関係が複雑なケースが考えられる。ペトリネットシミュレータでは、交通流への影響要因相互の関係やそれに伴う自動車の走行条件をネットワークモデルで表現でき、それらの相互作用を視覚的に確認することを通じて、その現象を分析することができることから、こうしたケースに対する適用が有効であると考えられる。

②運転者の判断が影響するようなケースへの適用

高速道路の入路におけるウィービングや、大規模商業施設の出口における自動車の挙動、見通しの悪い交差点における右折車の挙動等、運転者の判断が交通流に影響するようなケースが考えられる。ペトリネットシミュレータでは、車間距離や相対速度等に対する運転者の判断とそれに基づく自動車の挙動について、ネットワークモデルに組み込むことが可能であり、こうしたケースへの適用が有効であると考えられる。

③マクロ交通流シミュレーションとの連携

ペトリネットシミュレータでは、大規模なネットワークへの適用は困難であると考えており、道路の新線区間の開通によるネットワークの交通量の変化等の分析には適していない。しかし、例えば都市高速道路の本線の交通流はマクロシミュレーションにより検討し、入路における合流や出路の一般道路との交差点での交通流の影響等についてはペトリネットシミュレータを用いるなど、マクロ交通流シミュレーションとの連携を図ることにより、その有効性を一層高めていくことが可能であると考ええる。

4. まとめと今後の課題

本稿では、筆者らがこれまでに開発を進めてきたペトリネットを用いた交通流シミュレータについて最近の開発動向を概説するとともに、その実務への応用の可能性について、見解を示した。

理論上は、複雑なケース等への適用が可能と考えられるが、実務への適用例が現段階では決して多いとはいえない状況であることは否めない。そのため、本シミュレータの特徴である分かり易さの向上と実務への適用事例の拡大を図るべく、引き続き次のような検討を進めることが課題であると考ええる。

①減速の表現の改善やシミュレーションのアウトプットの改善等、システムの改良

②交通条件が複雑なケースでの検討を通じたモデルの現況再現性の向上

③実務への応用を図るための分かり易いプレゼンテーション手法の確立

<参考文献>

- 1) 道路審議会建議、平成9年6月
- 2) 木俣昇、高木秀彰、黒川浩嗣：「ペトリネットによる交通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年8月
- 3) 木俣昇、千田諭、横山誠：「ペトリネットによる違法駐車に伴う迷惑渋滞のシミュレーション実験」、土木計画学研究・論文集 No. 16 (投稿中)
- 4) 木俣昇、鷲坂崇、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年11月
- 5) 木俣昇、鷲見育男、辻浦宗兵：「ペトリネットによる渋滞時の緊急車両走行シミュレーションモデルの開発」、土木計画学研究・講演集 No. 20(2), pp. 511~514、1997年11月
- 6) 木俣昇、千田諭、浦本武：「ペトリネットによる車両衝突事故シミュレーションに関する基礎的研究」、土木計画学研究・講演集 No. 21(1), pp. 363~366、1998年11月