

緊急車両走行のペトリネットシミュレーション開発に関する基礎的研究*

Development Study on Petri Net Simulation System of Emergency Vehicle Running
in Urban Road Network*

南部佳郎**・木俣 昇***

By Yoshiro NANBU**・Noboru KIMATA***

1. まえがき

地震時消防防災計画では、同時多発火災に対する出動計画の実行性の担保が強く求められる。その基礎となるのが、緊急車両の走行性であるが、その実績データは、通常時においてさえ入手困難であるのが現状である。そこで、本論文では、概念図と定性的情報を出発点とし、視覚的、定量的シミュレーションを構築し、その点検・討議を経て、拡張化・精緻化を導くペトリネットシミュレーション手法^{1),2)}の適用を提案し、緊急車両の出動から単路部・交差点部を経て走行するシミュレーション開発の基本手順と、シミュレーション結果による走行阻害の分析とその対策案の組み入れ法の検討を行う。

2. ペトリネットシミュレーション法の基本原理

(1) ペトリネットの基本要素と動的記述法

ペトリネットとは、 プレース($\circ$)、 トランジション($|$)、 アーク(入出力: $\rightarrow$, 抑止: $\cdots$)を要素とするグラフの一種による対象系の記述形式をいう。系の状態は、プレースへのトークン($\bullet$)のマーキングによって示され、系の状態推移は、トランジションの発火則によるもので、

- 1) 全ての入力プレースにトークンがマーキングされていて、かつ全ての抑止プレースにトークンが存在しないとき、トランジションは発火し、
- 2) 入力プレースからトークンが消えて、出力プレ

ースにトークンが配置されるという形で動的に表現される。

このペトリネットによるシミュレーション^{1),2)}は、対象系の概念的、定性的記述を出発点とし、視覚的な表現性と発火則の明快・汎用性による討議の容易性と、ネットの共通構造化と発火則の汎用性によるネット間の結合性を活用することで、その拡張化と精緻化展開に有利なものといえる。(2)では、緊急車両走行にも関係する交通流ペトリネットを事例に、これらの点を概説する。

(2) 交通流ペトリネットの構成手順

図-1は、片側1車線道路での車両走行の概念図とそのペトリネット記述を示したものである。概念図は、道路は閉塞区間(6.7m)に分割され、車両走行は前方閉塞区間への移動であり、その移動には信号現示(赤・青・黄)による制御を受けるとするものである。この概念図は、車両進行の部分ペトリネットが必要な分だけ、道路空間に沿って結合され、さらに信号制御の部分ペトリネット結合化されることによって、車両走行のシミュレーションネット化される。

車両進行のネットでは、各閉塞区間を“車両の存在”と“空間の空き”の2つのプレース(P_0, P_2), (P_1, P_3)で表現し、前方閉塞区間への移動というトランジション(T_1, T_2)の入出力関係をネット図のように想定することによって、赤信号時を除けば(抑止アークで保証)前方閉塞区間が空きのときのみにトランジションが発火し、車両進行がなされる形で、安全の確保が自動的になされる¹⁾。

図-2は、バスや緊急車両のような大型車が混在するケースへの拡張化を示している。“大型車の存在”を示す第三のプレースと、大型車の進行を示すトランジションを追加し、そのトランジションの入出力

*キーワード：計画手法論，システム分析，防災計画，

**学生員，金沢大学大学院自然科学研究科
社会基盤工学専攻

***正員，工博，金沢大学大学院自然科学研究科教授
社会基盤工学専攻

(〒920-1192 金沢市角間町，

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

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

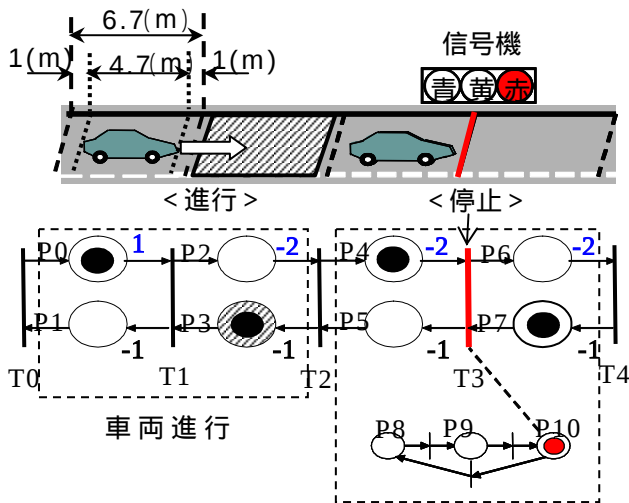


図-1 交通流の概念図とペトリネット

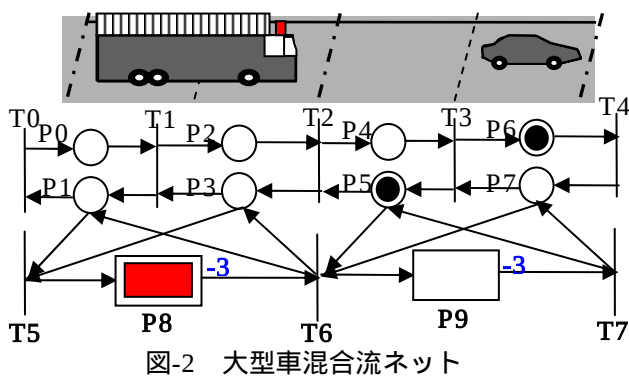


図-2 大型車混合流ネット

を，大型車は一般車の2つ分の“空間の空き”が必要として設定することで，実空間との対応性を持つ混在流ネットに容易に拡張することが可能となる．

3. 緊急車両走行のシミュレーションネットの構成法

(1) 緊急車両走行の基本概念モデル

緊急車両は出動指令を受けて，消防基地から道路に出て走行し，現場到着までの中で，様々な阻害を受ける．図-3は，片側1車線道路での緊急車両走行の概念図を示したものである．

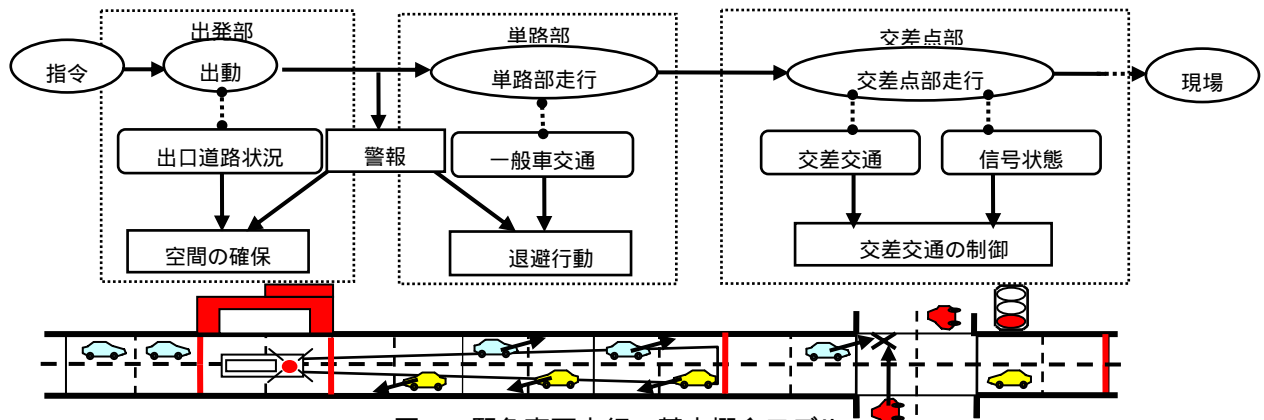


図-3 緊急車両走行の基本概念モデル

まず，緊急車両の出動と共に の“警報”が発せられる．この“警報”は、基地から出発する際の出口付近の一般車を規制し，出口空間の確保に働く．また緊急車両が単路部を走行する際にも，一般車の存在が大きな阻害要因となる．通常一般車は緊急車両の接近を知らせる“警報”により の“退避行動”をとる．

今回のように狭い幅員の道路の場合，緊急車両が中央線上を走行するため，対向車線上の一般車にも退避行動が求められる．

さらに交差点部を緊急車両が走行する際は，交差交通や信号状態と言った阻害が新たに加わり， の信号状態による交差交通の統制を行わなくてはならない．

このような概念モデルを出発点に，各概念の部分ペトリネットを構成し，それらの結合性を活用し，走行道路区間に沿って結合化することでシミュレーションネットが構成される．以下では基本概念の部分ペトリネットの幾つかを説明する．

(2) 基本概念モデルの部分ペトリネット構成

1) 一般車の退避部ネット

図-4は，一般車退避ネットを示したものである．緊急車両の接近に伴い，警報を受けた一般車は前方の路肩へと減速しながら退避行動をとる．これをペトリネットでは，先の図-2で述べた“大型車混在流ネット”に“緊急車両の警報部分”と“一般車退避行動部分”のネットを結合することで一般車退避部ネットに拡張できる．さらにこのネットを延長することで，単路部での緊急車両走行ネットを構成することが可能となる．図-4における一般車の挙動は，緊急車両の警報によって，通常走行(P7)から退避行動(P8)へと

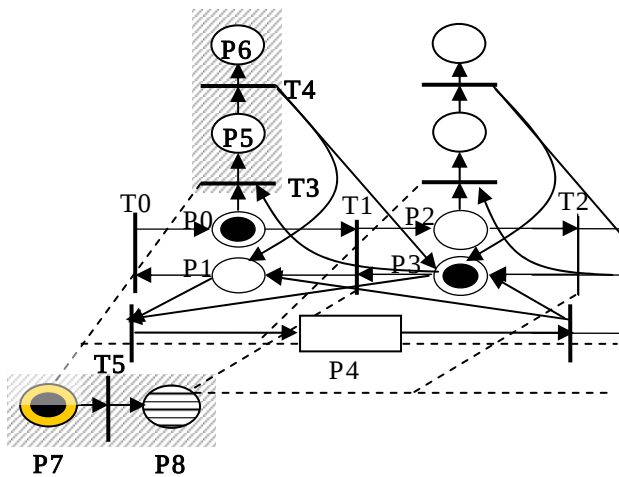


図-4 一般車退避部ネット

切り替えられた時(T5 の発火)、退避する一般車(P0)は「ひとつ前の閉塞区間に車両の空き(P3)があること」を確認して、退避を開始できる(T3 の発火)シナリオになっている。退避を開始した一般車は、減速ブレース(P5)を経て、路肩へと到着し(P6)、閉塞区間に車両の空きを生成する。(P1, P3 のトークンのマーキング)

2) 交差交通の制御部ネット

交差点での緊急車両走行ネットを構成するために、まず単路部の緊急車両走行ネットに“交差交通”と“信号”を追加・結合することで、交差点への拡張を行う。

この時、交差点の停止線手前の一般車は、交差交通や信号の影響により、退避行動が行えない状況に陥り、信号が切り替わるまで緊急車両が待機せざるおえない場合がある。この状況が発生する条件は決まっており、図-5 を用いて説明していく。

まず交差点の停止線手前の一般車(P2)は、緊急車両の接近(P1)と、前方の閉塞区間の車両の空き(P3)により、通常走行から退避行動に移行する。しかし交差交通側の信号が青現示であるため、交差交通は流れており、当然 P4 の一般車は直進してくる。すると P2 の一般車は高いリスクでの退避行動となり、困難である。それに伴い、緊急車両走行は必要な空間が生成されないため待機となる。

消防本部でのヒアリング調査によると、このような場合は、安全面を考慮し、緊急車両に同乗している誘導員が横断車線を止め、交差点内を制御し、一般車の路肩移動を指示する。このシナリオを表現しているものが図-5 のネットである。

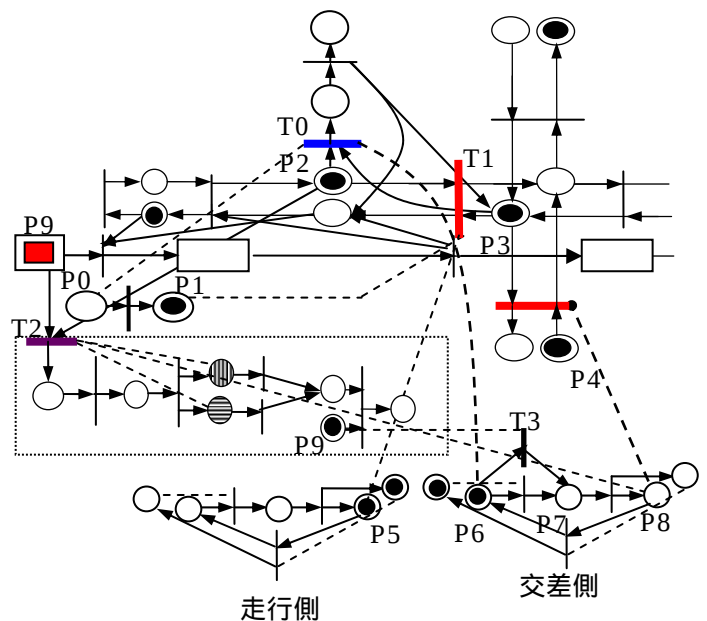


図-5 交差交通の制御部ネット

4. 走行障害要因分析と走行支援の組み入れ

(1)シミュレーション実行と考察

本研究では緊急車両が消防基地から出発し、単路部に出て、交差点2つを含む600mの想定道路を走行するネットを構成し、シミュレーションを実行する。

シミュレーション実行は、交通量を全流入方向がともに300台/時、600台/時、900台/時の各ケースで行う。なお計測項目として、基地から第一交差点までの区間(360m)、単路部区間(小65m、大240m)、各交差点区間(95m)、全体(600m)とし、緊急車両の旅行時間を計測¹⁾し、旅行速度に変換・表示する。

図-6は横軸に各計測区間を、縦軸に緊急車両の旅行速度をとり、交通量別にシミュレーション結果をグラフ化に示したものである。信号現示との関係でシミュレーション結果は異なる。そこで、緊急車両の出発タイミングを変化させてシミュレーション実行を繰り返し、その平均値を使用している。当然ではあるが、交通量が多くなるにつれ、緊急車両の旅行速度は遅くなっている。特に、交差点で著しく走行性が低下しており、交差点での走行障害が大きいことが読み取れる。

(2)交差点走行の支援システムの検討

(1)の結果を踏まえ、交差点部での一般車による

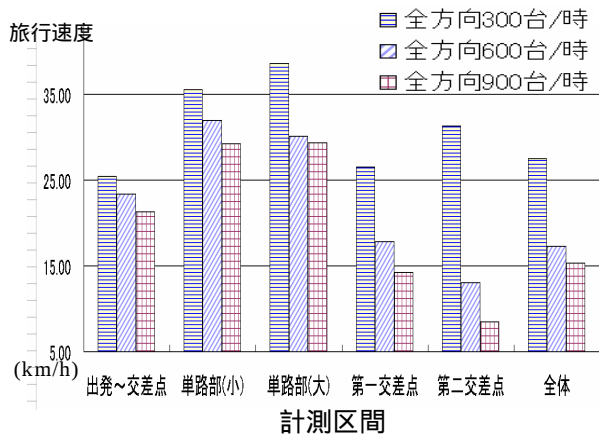


図-6 緊急車両の走行性結果

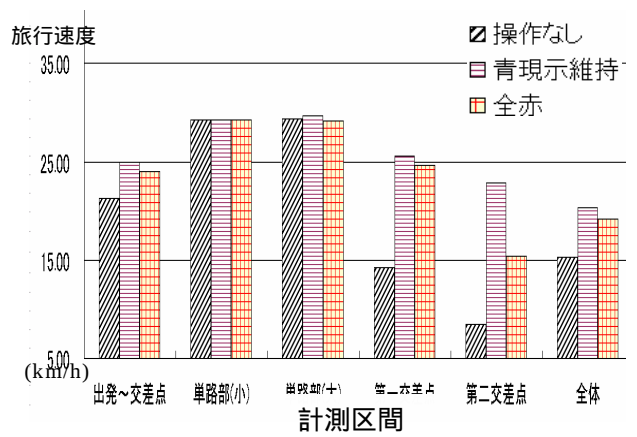


図-8 支援策のシミュレーション結果

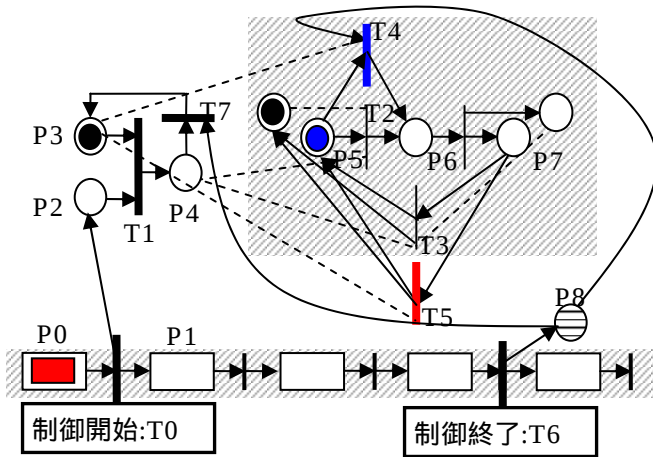


図-7 交差点走行支援制御ネット

緊急車両走行への影響を緩和し、走行性を向上させるために、走行支援の代替案として ITS による信号制御策を提案する。即ち優先信号の導入による交差点の通過時間の短縮化支援の提案である。

信号制御とは対象の車両に優先的な現示に信号を操作するもので、緊急車両の場合は一刻も早い現場到着が求められるため、強引な制御を行うことも可能である。そこで緊急車両の緊急性を考慮し、青現示維持制御と全赤制御を提案する。

図-7 は、この信号制御策をペトリネット化したもので、今回は青現示維持制御のネットである。全赤制御の場合も原理は同様である。緊急車両が制御開始位置(T0)を通過すると通常信号モード(P3)から制御信号モード(P4)に切り替わり(T1 の発火)、制御終了位置(T6)を通過するまで青現示を維持する仕組みになっている。

これをシミュレーションネットに取り込むには、緊急車両走行の任意のトランジションの出力に、P2 と P8 を追加することで、容易に行える。

図-8 は、信号制御を取り入れ、シミュレーションを先と同様な方法で行い、交通量の最も大きな 900 台/時の、信号操作なし、青現示維持、全赤の結果を示したものである。結果をみると、交差点での緊急車両の走行性は向上し、信号制御は有意義であることが読み取れる。

5. あとがき

本研究では、緊急車両の走行に関しては、実データの入手は困難であり、概念モデルより出発して、種々の要素の組み込みや精緻化が可能で、動的な討議も容易なペトリネットシミュレーション法によるアプローチを提案した。パラメータ設定など課題も多いが、アプローチの基本形は示せたと考えている。当事者との討議を試み、発展方向の検討に勤めたいと考えている。

参考文献

- 1) 木俣, 中村: 交通流れ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・論文集, Vol.21 no.10, pp.51-62, 2004.
- 2) 堀, 木俣: ペトリネットシミュレータによる背景画像上での地震時緊急路の点検・構築支援システム, 土木計画学研究・講演集 Vol.32 CD-ROM No.40, 2005.
- 3) 南部, 木俣: 信号交差点部における緊急車両走行支援のペトリネットシミュレーション研究, 土木学会中部支部・研究発表会講演概要集, 363-364, 2006.