

ペトリネット型交通流シミュレーションシステムの安全性保証機構の
破綻化による事故モデルの基礎的研究

*Development of car-crash models by modifying
the safety proofed mechanism of Petri net-traffic-simulation system*

木俣 昇*, 鷺坂 崇**, 鷺見 育男***

By Noboru KIMATA, Takashi SAGISAKA, Ikuo SUMI

1. はじめに

交通流のミクロシミュレーションは、種々の方式によるものが開発され、適用されてきている。著者らは、事象に着目し、視覚的なネットによる表現法を取り、かつ単純で汎用的な駆動アルゴリズムを持つペトリネットに大きな魅力を感じ、ペトリネットによる交通流のミクロシミュレーション法の開発を試みている。

この方法の最大の特徴は、シミュレーションプログラムの変更なしに、ネットの工夫で種々のシミュレーションが実行できるという点にある。本論文では、この特徴を活かして、衝突事故シミュレーションへの発展を考える。

交通流のペトリネットシミュレーションシステムの開発に際しては、交通の安全な流れを論理的に保証するネットの工夫に努めてきた。即ち、車同志の衝突が発生しないことを論理的に保証する基本部分ネットモデルの作成と、それらの結合化ネットのどこにおいてもやはり衝突が発生しない工夫とによって、種々の交通流のシミュレーションシステムを開発、提案してきた。

しかし、現実の交通流では、しばしば衝突事故が発生している。通常時においては、道路の構造やドライバーの技術、特性といった原因によって事故が起きる。また、地震時というような災害状況下では、種々の混乱に伴う事故が起きることが予想される。本論文では、ペトリネットによる交通流のシミュレーションを支えてきた安全保証機構を明確にするとともに、その機構の破綻ないしは崩壊ネットの工夫

キーワード：交通安全，防災計画，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

, *学生会員 金沢大学大学院 工学研究科 土木建設工学専攻
(〒920 金沢市小立野 2-40-20 Tel 076-234-4914 Fax 076-234-4915)

によって衝突事故の発生シミュレーションネットの開発を試みる。

2. ペトリネット型交通流の安全性確保機構

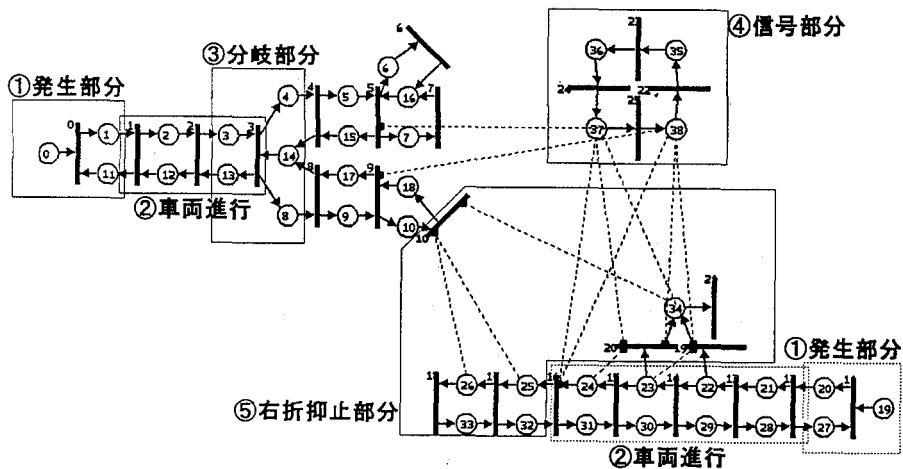
(1) ペトリネット型交通流シミュレーションの
基本構成

ペトリネットによる交通流のシミュレーションは、基本交通流の部分ペトリネットモデルを作成し、それらを結合化することによって対象を記述するシステムネットを構成し、そのネットを汎用的な駆動プログラムによって実行する形で行われる。著者らが開発してきた基本部分ペトリネットモデルとしては、①“車両発生”，②“車両進行”，③“車両分岐”，④“信号”，⑤“右（左）折抑止”，⑥“合流”，⑦“歩行者横断”などがある。

図-1は、片側1車線道路の交差点での交通流を、これらの部分ネットの結合化で構成したシステムネットの1例である。このネットは、左方から進行してきた車両が、交差点手前で直（左）と右折に分岐し、右方からの対向車の影響を受けながら信号交差点を通過する交通流を記述している。1.で述べたように、このネットには、車同志の衝突が起きないことを論理的に保証する機構が組み入れられている。次節では、この機構について述べる。

(2) 閉塞区間による自律的安全性確保機構

図-1のネットの基本は、②に示す車両進行の部分ネットである。この②の枠内のトランジション2に着目すると、このトランジションの入力プレースは2と13で、出力プレースは3と12である。そして2と13は車両の存在を表すプレース、12と13は閉塞区間の空きを表すプレースである。このことから、2と12、3と13というペアのどちらかの



図－１ 片側１車線道路の交差点モデル

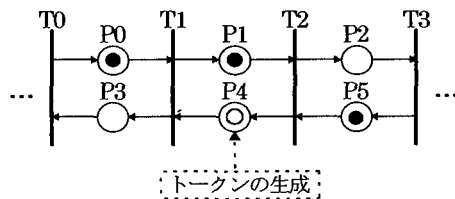
プレースのみにトークンが必ず１つマーキングされることを保証すれば、１つの閉塞区間に２台の車が入ること、即ち車同志の衝突は起きないことになる。

図－１の②の車両進行部分ネットでは、トランジション１が発火すれば、その入力プレースである２と１３のトークンは、出力プレースである３と１２に発火のルールによって自動的に移動し、上述の条件が保証されることになる。このように、ネット自身が安全性を確保する機構を自律型と呼ぶ。この型の機構は、図－１の③の分岐部分のネットでも使用されている。

（３）抑止アークによる強制的安全性確保機構

自律型の安全性確保機構は、ネット自身が自動的に衝突を防ぐ。これに対して、もう１つ抑止アークによって強制的に安全性を確保する機構が組み入れられている。その代表が、信号による交通流の安全制御である。

図－１の④の信号部分に着目する。赤現示を表すプレース（３８）から、直進車両の進行を示すトランジション５、右折のトランジションの９、対向車両のトランジションの１６に抑止アークが伸ばされている。即ち、赤信号になればこれらのトランジションの発火は、上述の進行の発火条件が成立していても抑止され、図－１の上下方向からの交通流との安全性が確保されることになる。このような抑止アークを用いる安全機構を強制型と呼ぶことにする。



図－２ 車両走行の部分ネット

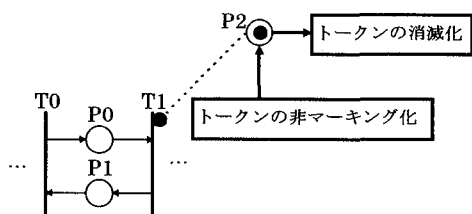
この型の機構は、右折車と直進対向車との安全性確保、左折車と横断歩行者との安全性確保にも使用されている。

３．安全性確保機構の破綻化ネットによる事故モデルの開発

（１）基本アイデア

交通流のペトリネットシミュレーションにおいては、前述したような２つの安全性確保機構が存在する。これらの機構が破綻ないしは崩壊すれば、交通流の安全性は保証されないことになる。換言すれば、車同志の衝突事故が発生する可能性が出てくることになる。本節では、これらの機構を破綻ないしは崩壊させる基本アイデアについて説明する。

まず、自律型の安全性確保機構について考える。図－２は、車両走行の部分ネットのマーキング例を示したものである。P１の車は、P５にトークンがマーキングされているから、P１のトークンのタイマが



図－3 強制型の安全機構破綻化アイデア

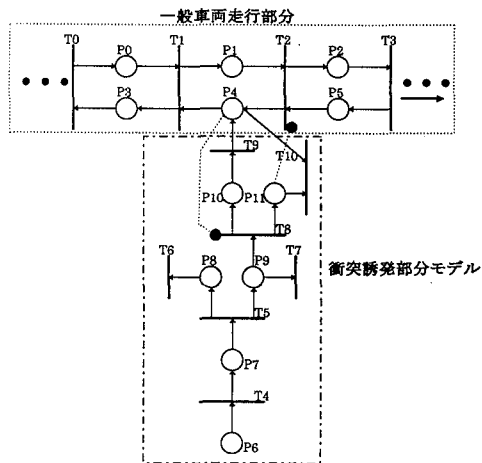
切れれば進行できる。しかし、P0 の車は、P4 にトークンがマーキングされていないために、P0 のトークンのタイマが切れても、P1 の車が進行し、P5 のトークンが P4 にマーキングされるまでは、P1 に進むことができないネットとなっている。

この安全性確保機構を自律型と呼んだ。いま、このネット状態で、P0 のトークンの P1 への進行という事態が発生すれば、同一の閉塞区間を 2 つのトークン、即ち 2 台の車が占めることになり、衝突することになる。この事態は、図－2 の破線で示しているように、T2 の発火以外のルールで P4 にトークンを発生させるネットの結合化によって生成させることができる。

次に、強制型の安全性確保機構の破綻について考える。この機構は、図－3 に示すように、トランジションの発火を抑止する抑止アークによって強制的に制約することによって、安全性を保証するものであった。この機構を破綻させるには、図－3 に示すように、2 つの方法が考えられる。1 つは抑止プレース P4 のトークンを消滅させることによって、T1 への抑止を無効とする方法であり、いま 1 つは、抑止プレース P4 にトークンがマーキングされるのを阻害ないしは回避させる方法である。前者を消滅型、後者を非マーキング型と呼ぶことにする。

(2) 自律型機構の破綻化ネット事例

図－4 に、(1) で述べたアイデアを具体化した自律型安全性確保機構の破綻化ネットの 1 例を示す。この破綻化のメカニズムは、図の破線部のネットで、空間の空きを示すプレース P4 に、トランジション T2 の発火以外のルートでトークンを生成させるというものである。即ち、P6 に事故の遠因となるトークンを発生させ、生成トランジション T4 と



図－4 衝突事故発生のパトリネットモデル

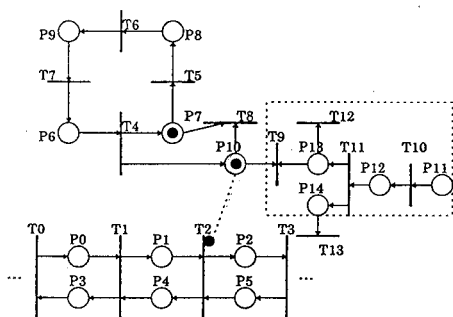
選択トランジション T5 によって、それが事故に結びつく第 1 次因子となるかどうかの識別を行い、P9、P10 と進んだトークンが T9 を発火させ、直接因となるトークンを P4 にマーキングするネットとなっている。

ここで、P10 のマーキングと同時に P11 へもマーキングしている。そして、P11 のトークンには、タイマを想定する。このことによって、自律的安全性確保機構が破綻して、P4 に事故の直接因となるトークンがマーキングされたとしても、それが事故因として顕在化する前に、T10 が発火し、P4 のトークンが消えれば、自律的安全性確保機構の破綻の回復もありえるモデルとなっている。即ち、破綻線のネットでは、破綻は決定的ではなく、事故は確率的に発生するものであり、破綻の回復も考慮できるネットとなっているといえよう。

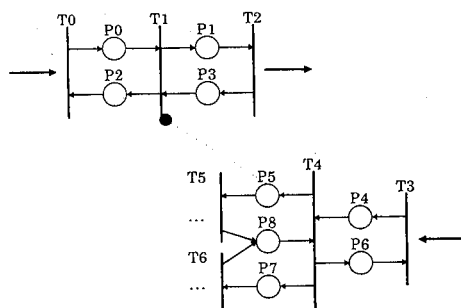
(3) 強制型機構の崩壊化ネット事例

強制型安全性確保機構の崩壊化には、前述したようにトークンの消滅型と、抑止プレースへのトークンの非マーキング型が考えられる。まず、図－5 に信号系におけるトークンの消滅型の例を示す。

既存モデルでは、赤信号を示す P7 から車両進行の T2 に抑止アークが伸ばされていた。これに対して、P7 と同時にマーキングされる P10 というプレースを導入し、ここから T2 に抑止アークを伸ばすこととし、この P10 のトークンを消滅させるネット



図－５ 信号系におけるトークンの消滅化による破綻ネット



図－６ トークンの非マーキング化による破綻ネット

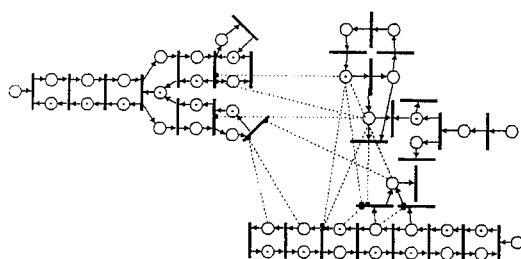
(破線部)を追加することでこのアイデアを具体化している。この消滅型ネットの追加によって、信号交差点で、地震時等の信号系の崩壊による事故等を考慮することが可能となるだろう。

もう１つのアイデア、抑止プレスへのトークンの非マーキングの１例を図－６に示す。この図は、右折車と対向直進車の抑止アークによる強制的安全性確保機構の崩壊を、抑止プレスへのマーキングの阻害ないしは回避を、生成トランジション T3 と選択トランジション T4 を利用して確率することで実現している。即ち、P5 にトークンがマーキングされれば、正常に対向車による抑止が働き、衝突は発生しないが、P7 にマーキングされれば、抑止が働かず衝突するネットとなっている。

４．動作確認と今後の課題

２．では、交通流のペトリネットシミュレーションにおける安全性確保機構について考察し、自律型と強制型の２つの機構を示し、３．では、それらの機構を破綻ないしは崩壊させるための基本アイデアと、その見本的なネット例を示した。本章では、そのような破綻化ネットを組み入れたシステムネットによる衝突シミュレーションの基本動作確認を行う。

図－７は、３．の（３）で示した信号制御の崩壊ネットを、図－１の交差点ネットに組み入れたネット図で、具体的には、このネットの動作確認のシミュレーション実行のために、コンピュータに登録した画面ネット図である。このシミュレーションも、やはりプログラムに手を加えることなく実行でき、



図－７ 衝突確認シミュレーション画面

赤信号時でも、抑止プレスのトークンの消滅によって、直進車、右折車、あるいは対向車が交差点に進入することをトークンの動きによって視覚的に確認した。

このネットでは、衝突が発生してもネット自身がそのことを告げるトランジションを有していない。この事故確認のネットの追加と、事故発生後の処理法の研究が目下の課題である。その上で、種々の状況下での衝突シミュレーションの実行システムの開発を考えている。

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システムの開発，土木計画学研究・論文集 No.12, pp691～699, 1995.
- ２）木俣昇，鷺見育男：ペトリネットによる防災活動阻害要因のシステム化と消防システムの見直し，第１回都市直下地震災害総合シンポジウム，pp.257～260, 1996.