

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 *Study on Simulation System of Car-crash Accidents by Petri Nets*

木俣 昇*, 千田 諭**, 浦本 武***

By Noboru KIMATA, Satoshi SENDA, Takeru URAMOTO

1. まえがき

道路審議会建議は、交通安全の確保を21世紀に向けての重要課題としている。その研究は、通常時に止まらず地震時防災計画にとっても重要となる。即ち、車両衝突事故は地震時にもその発生時間帯によっては多発する可能性が考えられ、それらが緊急車両の走行を著しく阻害することが予測されるからである。さらに、近年の車両衝突事故を見ると、それが車両火災へと進展ケースがしばしばあり、その場合は、避難路の安全性を脅かすのみならず、道路空間を地震時火災の延焼阻止空間から延焼促進要素に変える危険性すらあるからである。

本論文では、通常時の車両衝突事故を出発点として、地震時の車両衝突事故とその車両火災への進展の可能性のシミュレーションを目的に、ペトリネットを用いて基礎的な研究について報告する。

2. 車両衝突事故シミュレーションの基本枠組み

(1) 衝突事故類型と事故要因の考察

車両衝突事故には種々の型がある。それらは道路区分によって異なる。研究目的で述べたように、われわれの対象とする道路は幹線道路である。幹線道路では、追突事故が43%弱を占め、次に、接触事故が23%弱を占め、正面と出会い頭衝突は合わせて8%に過ぎない。これは地域全体での統計でも同じ傾向を示す。地震時の交通特性は不明な部分が多いが、瞬時的には通常時の交通に外力が働く状況を想定すれば良いだろう。直後は路肩に移動し停車することになっているが、現実はどうなるかは不明で

あるし、その後の余震時は、地震のタイプや震災規模によって異なり、全く不明といってよい。それらの可能態の検討が最終目的であるが、本研究では、追突事故を取り合えずは対象とする。

一般に、事故要因は、a) 環境要因、b) 人間要因、c) 自動車要因の3つに分けられ、それらが複合化して事故が発生するとされる。c) は近年は稀なケースで、a) とb) を考えればよい。認知危険度の研究は、a) の主観的評価であり、一種の複合化といえる。浜岡、森地の研究は、その意味でa) とb) との複合化に向けてのヒントを与える。即ち、認知危険度と事故率は、認知危険度が極めて低いときは事故率が高めに、逆に高いときには低くめになるという。これは人間の情報処理に特有な特性で、ドライバーモデルでの考慮の必要性を示唆している。

(2) CED変換モデルによる人間要因の考察

人間要因の中で、その情報処理系に着目するのがドライバーモデルである。現在、ファジィ理論やニューラルネットを用いたエキスパート型のシステム化が研究されている。それらは、図-1に示すように、処理すべき入力情報と、処理結果としての出力行動という基本構造を持ち、そのパラメータの設定は学習過程によって行われる。その意味では、基本的には正常運転のモデル化で、事故モデルへの適用は、もっぱら誤情報による事故という形式になる。人間的要因のより広範囲なミスを取り扱うには、人間の情報処理システムのより一般的なモデル化の1つであるCED変換モデルの導入が有効だろう。

図-2は、CED変換モデルの基本形を示したものである。図-1のエキスパート型システムは、この各部分間の変換形が確立されたCD変換型モデルと解釈することもできる。

われわれの情報処理の特徴は、同じ情報が提示されていても、個々の人によって評価が異なる点にある。

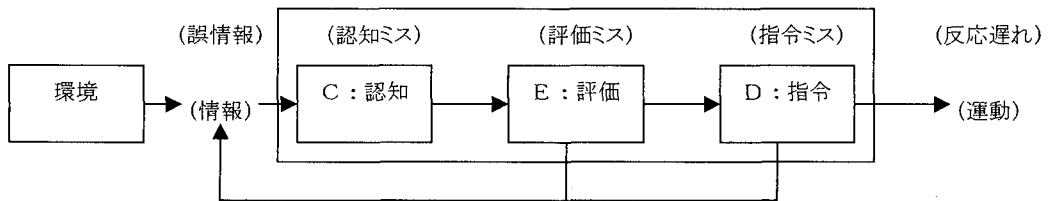
キーワード: 交通安全, 交通行動分析, システム分析

*正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科

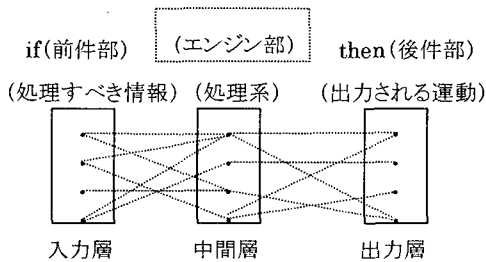
**学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境基盤工学専攻

***学生会員 金沢大学 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)



図一2 CED変換モデルによる一般化



図一1 エキスパート型システムの基本構造

それが創造性をもたらすと同時に、われわれに誤動作もさせる。CED変換モデルを適用すると、図一2に示す種々のミス、反応遅れ、および不適切情報を事故因とするモデル化が可能となる。

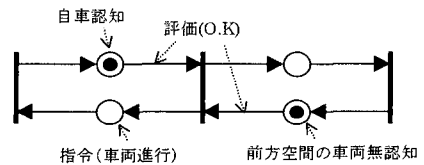
3. 車両衝突事故の基本ペトリネットの検討

(1) 交通流のペトリネットシミュレーション・システムのCED構造の解釈

著者らは、渋滞対策の検討支援を目的に、ペトリネットを用いた交通流のシミュレーションシステムを開発してきた。ここでは、まず、図一2のモデルとの関連で、その安全確保の機構を考察する。

図一3は、自律型機構と呼ぶ型のもので、車両進行の基本ネット自身で追突事故を完全に防ぐ構造となっている。ペトリネットシミュレーションでは、トランジション(図中の|)の”発火”により、トークン(図中の●)がプレース(図中の○)の中を移動する形式でダイナミックな記述がなされる。この”発火”は、当該トランジションへの全ての入力プレースにトークンがマーキングされているときに起きる。これを指令(D)とすれば、図一3のネットは、”前方空間の空き”と”自車両の存在”を認知(C)し、評価(E)し、車両進行を指令する構造を持つと言える。

この処理の中で、まず、情報の認知状態はトークンのマーキング状態で示される。図一3のネットでは、



図一3 自律型安全確保機構の解釈

は、上下2つのプレースは、補完関係(complement)にあり、どちらか一方のみがマーキングされる設計となっている。このことは、前方車の認知ミスは、このネットでは発生しない。また、評価結果は、当該トランジションへの出力アークで示される。ここでは共に矢線(→|←)となっている。矢線は評価結果がOKを意味し、ここでもミスは発生しない。

”発火”は、上述のルールによって、この2つの評価結果が共にOKのときに起きることになり、指令ミスも生じない。即ち、実質的には認知即指令というCD変換構造を持っている。自律型という意味はここにある。事故は、誤情報が提示されたときのみ発生する。換言すれば、車両進行のシステムネットでの”発火”以外のルートで、”空間の空き”を示すプレースにトークンがマーキングされない限り事故の発生はない。

図一4は、もう1つの型で、ここでは、右折車と対向直進車の衝突に関する安全確保機構の基本ネット図の解釈を示す。まず、ここでは認知情報として、対向直進車が加わってくる。そして、その評価は、今度は抑止アークとして右折トランジションに出力される。これは、上述の矢線が評価結果をOKとするものであったのに対して、NOとするものである。ここでも、衝突は確実に回避されるCD変換構造になっている。右折車と直進車との衝突は、この抑止を無効にする何か作用したときに始めて可能性が出てくる。

最後に、図一2の車両運動は、このシステムではトランジションの”発火”に伴うトークンの移動で

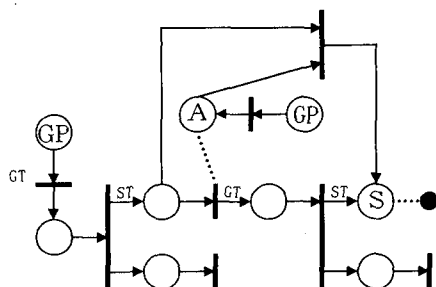
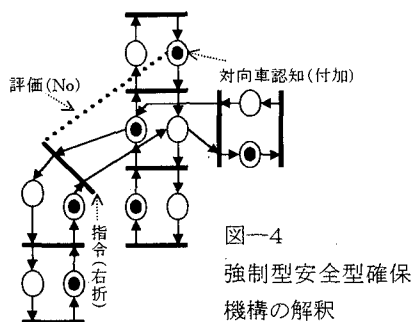


図-8 外的要因による緊急制動の部分ネット

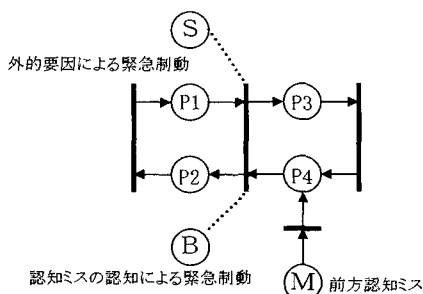


図-5 追突事故の内在型の基本ペトリネットモデル

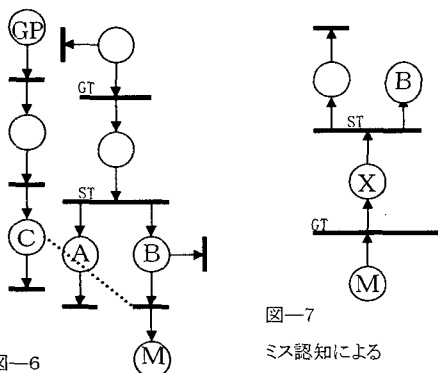


図-6 認知ミス発生の部分ペトリネット

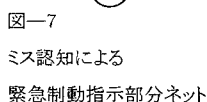


図-7 ミス認知による緊急制動指示部分ネット

表現される。その実時間はトークンに設定されるタイマによって決定される。トークンのプレースへのマーキングは、このタイマが切れた時点で有効となる。即ち、このタイマの工夫によっては、行動ないしは反応遅れを事故要因とするモデル化の可能性もこのシステムは秘めている。

(2) 事故内在化ペトリネットへの拡張化

既開発のペトリネットによる交通流のシミュレーションの安全確保機構を、図-3のCED変換の視点から検討した。本論文では、CED変換モデルの視点から、図-5に示すように、前方認知ミスと緊急制動というドライバー側の要因による事故内在型

の追突事故ネットについて考察する。

図-6が認知ミスの発生の部分ネットである。ここでは、ドライバーの認知ミスの潜在的発生確率を、カラー生成トランジションGTと与え、選択トランジションSTでプレースAに出力されれば発生なし、Bに出力されれば発生の可能性があるとする。しかし、プレースCにもトークンがあれば抑止が働き、最終的な認知ミス状態、Mには移行しないとしている。このプレースCへのマーキング度は、環境要因の認知危険度が高くなると注意喚起力が大きくなるとし、GPの生成率とCのタイマで表現する。このMにトークンがマーキングされると、図-5によってP4にトークンが出現し、追突事故の原因が形成されることになる。

緊急制動は、2種類想定している。1つは、図-7に示す認知ミスを認知し、指令される緊急制動である。ここでも、カラー生成トランジションGTと選択トランジションSTを活用し、プレースBにトークンがマーキングされたときに、図-5によって緊急制動が作用し、車両の進行を抑止する。このネットでは、プレースXのトークンにタイマを設定することで反応時間の考慮も行っている。

もう1つの緊急制動は、外的要因によるもので、自車が追突される原因を構成するものである。そのネットの1例を図-8に示す。ここでは、まず、環境要因が危険な地点ほど緊急制動の必要性が増すとし、左方の発生プレースGPの発生率を設定する。そして、通常時には、中央のGPからトークンの発生はなく、プレースAはトークンを持たず、下方のネットを経由して2組のGTとSTで処理されて、プレースSにトークンがマーキングされたときに緊急制動ないしは減速が行なわれる。地震時には、中

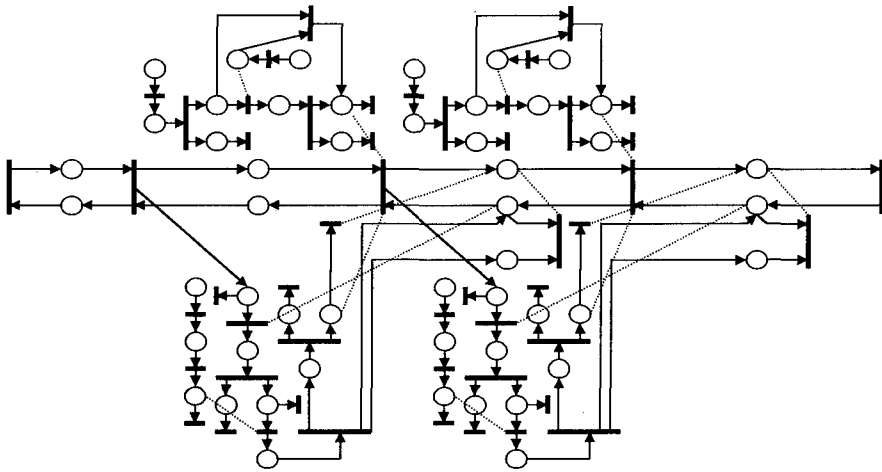


図-9 衝突事故内在型の単路部ネット事例

中央のGPからトークンが発生し、Aにトークンがマーキングされ、上方のネットを経由して、1組のGTとSTでSにマーキングされる。この違いで、地震時の外力の危険性を表現している。

(3) 事故シミュレーションネットの構成例と基本動作の確認

車両走行の基本ネットに、図-6、図-7、および図-8のネットを、図-5の基本構成図を形成する形で結合化し、シミュレーションネットを構築する。図-9は、中央に車両進行の基本ネットを置き、その下方には、認知ミスとその修正としての緊急制動関連の図-6、図-7、図-8のネットを、上方には、外力による緊急制動のネットを結合させ構成した事故内在型シミュレーションシステムのネットの1例である。この結合化に際しては、補助的トランジションや抑止の追加といったいくつかの付加的作業が必要となるが、紙面の制約上省略する。このシステムネットを用いて、まず、正常交通時、認知ミス発生時、認知ミス認知による緊急制動時、外的要因による緊急制動時のネットの定性的挙動の確認を、前述した発火ルールを適用して手動で行い、想定のように動くことを確認した。

次に、このネット図を組み込んだシステムネットを用いて、交通量を10台/分とし、(2)の部分ネットで言及したパラメータを想定し、単路部での簡単な事故シミュレーションを実施した。反応時間を再認知を含む2秒とした場合、シミュレーション開

始6分後に、前方車が外的要因で10Km/h以下に減速し、後方車に認知ミスが生じ追突事故が発生した。

4. あとがき

ペトリネットによる交通流シミュレーションにおける安全確保機構を、人間の情報処理系の一般モデルであるCED変換との関連で解釈し、その部分的拡張化と、そこでのミスを事故要因とする追突事故内在型のペトリネットシミュレーションの作成を試みた。そして、その基本挙動を確認し、さらに衝突時の速度差も計測が可能であることも示した。このことは、車両火災シミュレーションへの今後の発展化の可能性も示唆している。

もちろん、認知情報の拡大化と評価プロセスの精緻化、指令と車両の反応時間のブレースタイムによる表現の正確化など課題は多い。ペトリネットによるニューラルネットの研究成果の取り入れも課題である。個別事故のプロセス調査という困難な仕事は、今後の何よりの課題であると考えている。

参考文献

- 1) 浜岡、森地：交通事故発生と住民の危険認知度との関連分析、土木学会49回年次学術講演会 pp302～303 (1994)
- 2) 木俣、鷺坂、鷺見：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、土木計画学研究・講演集 No20(1) pp.489～492 (1997)