

# 列車間の乗換を含む運転整理問題のペトリネットによるモデル化 Modelling of Rescheduling Problems Including Interchange Between Trains Using Petri Nets

小沼 匠 (電気システム工学科)  
Takumi ONUMA

電気鉄道システム研究室 指導教員 高木 亮 教授

## 1. はじめに

筆者の所属する研究室では、鉄道の指令所等に見られる在線表示板「Mimic Panel」をモデル化した「Mimic Panel 状態モデル (MPSM)」を用いた運転整理問題求解手法を提唱している<sup>[1]</sup>。この手法は、分岐や平面交差を含む鉄道での列車順序変更を伴う問題に適すると考えられるが、求解実績が不十分である。特に、そのような局面において発生する列車間接続に関する判断を含む問題を取り扱った実績がない。そこで、本研究では MPSM によりこのような問題を取り扱うための方法について検討した。

## 2. ペトリネットによる鉄道ネットワークの表現

「Mimic Panel」とは、運輸指令所等に設置されている線区全体の列車の在線状況を表示する装置である。MPSM はこの Mimic Panel の状態を数学的に表現したものである。その数学的表現として、ペトリネットの一種であるカラードペトリネット (CPN) が使えることが先行研究により示されている<sup>[2]</sup>。図 1 に CPN による MPSM で閉塞をモデル化した表現を示す。図 1 のプレース P1~P3 には常にトークンが 1 個あり、その色 T は「在線列車あり」、N は「在線列車なし」を意味する。

なお、在線ありのトークンの色を多様化し、存在する列車について種別等の情報を含める表現とすることも可能である。

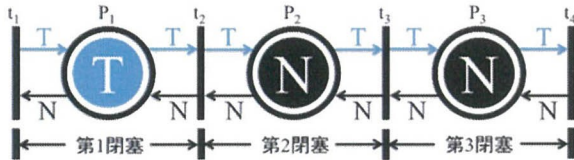


図 1 CPN による MPSM の状態表現(マーキング)

MPSM を表現する PTN や CPN のマーキング (MPS (Mimic Panel State) と呼ぶ) は、列車の動きに従い遷移する。運転整理問題の最適化においては、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて CPN における発火系統を状態遷移列として解き、それを運転整理案とすることで最適化を行っている。

遷移する MPS を並べた MPS 列は、MPSM におけるトランジションの発火系列と等価である。初めの MPS から順に発火可能なトランジションを探索・選択を繰り返し、生成された MPS 列が MPSM における 1 つのダイヤ案を与える。

## 3. 取り扱う問題の概要

MPSM についての検討において、これまでは乗客が列車間を乗り継ぐことが含まれる問題を扱ってこなかった。このため、1 つのプラットフォームの両側の番線に路線 A および路線 B の列車が進出、停車しうる状況を仮定する。

まず、 $n$  番線に列車が存在するかどうかを表すプレース  $P_n$  があるとする。このプレースにあるトークンの色は、N: 列車なし、A: A 線列車あり、B: B 線列車あり、At: A 線列車停車中、Bt: B 線列車停車中の 5 種類が考えられる。このとき、図 2 のような MPSM を各番線ごとに考えることができる。これにおいて、停車列車の動きを示すトランジションの発火系列は「 $t_{n,1} \rightarrow t_{n,2} \rightarrow t_{n,3} \rightarrow t_{n,4}$ 」となるのに対し、通過列車なら「 $t_{n,1} \rightarrow t_{n,4}$ 」となる。 $t_{n,2}$  および  $t_{n,3}$  はそれぞれ当該番線への列車の到着および出発を表すことになる。番線  $n=1$  および  $n=2$  がある場合、例えば 2 番線の列車から 1 番線の列車への乗り継ぎに関しては、もし  $t_{2,2}$  より  $t_{1,3}$  のほうが発火系列上後ろにある場合には当該乗り継ぎはできず、後続の列車を待つことが必要となる。

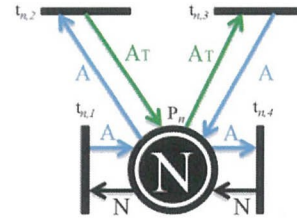


図 2 A 線列車の停車・発車・通過の CPN による表現

このようなモデルによっても接続についての検討はある程度可能だが、プラットフォーム間の所要時間が長いような場合には問題が生じる可能性がある。この場合、プラットフォーム上の乗客の動きも表現するネットワークを追加することが考えられる。図 3 は、番線 1 の列車の存在・不在・状態を表すプレース P1 だけでなく 1 番線・2 番線プラットフォーム上の乗客をそれぞれ表すプレース P1p および P2p を含めたネットワークである。1 番線には路線 A の列車のみ、2 番線には路線 B の列車のみ発着する。1 番線乗客プレース P1p には A 線列車に乗りたい乗客の存在・不在を表すトークン (色は  $T_A^0$  (不在) または  $T_A^E$  (存在) のいずれか) が常時存在するほか、B 線への乗換のため降りたばかりの乗客の存在を表すトークン (色は  $T_B^T$  のみ) も一時的に存在する。2 番線乗客プレース P2p には B 線列車に乗りたい乗客の存在・不在を表すトークン (色は  $T_B^0$  (不在) または  $T_B^E$  (存在) のいずれか) が常時存在する。 $t_{1,2}$  発火の際 P1p には  $T_B^T$  の色のトークンが追加される。このトークンは  $t_{1,2B}$  の発火で消去され、P2p のトークンの色を  $T_B^0$  から  $T_B^E$  に変更する (もともとトークンの色が  $T_B^E$  であればそのまま変更しない)。 $t_{1,3}$  の発火で 1 番線の A 線列車は発車し、その際プラットフォーム上にいた乗客はすべて当該列車に乗ると考えられるため、P1p に常時あるトークンの色が  $T_A^E$  である場合  $T_A^0$  に変更される。このようにして、列車の発車順序と乗換え乗客の接続をトランジションの発火系列から適切に再現することが可能となる。

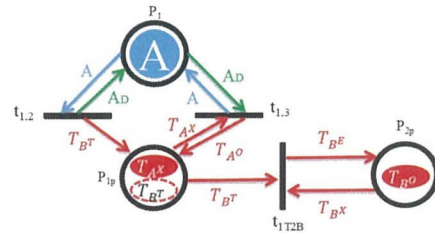


図 3 プラットホーム上の乗客を含んだ接続の表現。

ただし、 $T_A^X$  は  $T_A^0, T_A^E$  のいずれかとマッチする。 $T_B^X$  も同様。

## 4. おわりに

以上のように、MPSM により列車間の接続可否を含む運転整理問題のモデル化が可能であることが示された。今後は、これを用いた数値的求解を繰り返し、モデルの性質についての知識を深めることが課題である。

## 参 考 文 献

- [1] 山田真之:「Mimic Panel 状態モデルと遺伝的アルゴリズムを用いた運転整理最適化の検討」, 工学院大学(修士論文) (2017)
- [2] 光岡一樹, 高木 亮:「カラードペトリネットによる列車属性の表現と Mimic Panel 状態モデルの解析」, 平 26 電気学会全大, 5-104 (2014)