

台車及び NXT を用いた搬送系のペトリネットによる表現と解析

An Expression and Analysis of Transfer System Composed of Truck and NXT by Petri Net

○及川雄大*, 有我祐一*, 近藤優丞*, 渡部慶二*, 遠藤茂*

○ Takehiro Oikawa*, Yuichi Ariga*, Yusuke Kondo*, Keiji Watanabe*, Shigeru Endo*

*山形大学

*Yamagata University

キーワード：ペトリネット (Petri Net), 無人搬送車(Automated Guided Vehicle),

連絡先：〒992-0037 米沢市城南 4-3-16 山形大学工学部応用生命システム工学科 有我研究室
及川雄大, TEL&FAX 0238-26-3764, E-mail : take0531oichan@yahoo. co. jp

1. はじめに

今日、離散的な事象の発生で特徴づけられる離散事象システムの性質やシミュレーションに関する研究は、最近注目されている。そのひとつの背景には、離散事象システムとしてとらえることのできるシステムがきわめて広範囲にわたっている。離散事象システムシミュレーションは事象駆動形のプログラムであり、システムにおける事象の発生が中心的な役割をなしている。

事象駆動形システムの典型的な例としては、シーケンス制御で代表される機械加工、組み立てライン、ロボット動作、化学、鉄鋼、電力プラントの運転過程などがあげられるが、このほかにコンピュータのソフトウェア、ハードウェア、オペレーティングシステム、通信プロトコル、作業計画、工程管理、オフィスシステムなども離散事象システムとしてとらえることができる。

また、生産システム、あるいは、より一般的にはFA(ファクトリアオートメーション)は、FMSに代表されるように、複雑多様化の様相を呈している。FMSは、多くの並列的な構成要素、複雑な理論的關係および分散的システム構造をもつコンピュータ統合システムである。言い換えれば、FMSは協力したり競合したりする関係を同時にもちこ

とができるので、並列的に操作できる構成要素(機械、ロボット、無人搬送車 (AGV), コンベアなど)を含んでいる。したがって、このようなシステムの設計のための十分なツールをもつことが重要とされている。

ペトリネットは生産システム、通信システム、交通システムをはじめ、さまざまな離散事象システムに対してその中の情報の流れや制御を記述し解析するために考え出されたもので、いくつかの事象が並列的に発生する中で、それらの発生の順序、頻度などにある制約があたえられているようなシステムをモデル化し、実際にシミュレーションするために主として用いられてきた。特に、FMSに代表される生産システムのモデル化やシミュレーションは、ペトリネットにとって格好の応用分野である。

そこで本研究では、台車へと搬送する AGV (LEGO 社製のマインドストーム NXT を使用)の搬送システムを想定した実機試作し、ペトリネットシミュレータを用いて、動的にシステムを表現することのできるペトリネットへとモデル化を行い、実機におけるペトリネットの表現をして、システム全体の正当性を検証し、考察する。

2. ペトリネット

ペトリネット¹⁾では、条件をプレース (Place) と呼ばれる丸印“○”で表し、事象をトランジション (Transition) と呼ばれる棒“|”で表す。したがって、ペトリネットグラフにはプレースとトランジションの2種類の節点がある。これらの節点はアーク (有効枝→) によって結ばれる。ペトリネットの実行はプレースに置かれたアーク [これをトークン (Token) と呼ぶ] の位置とその動きとによって制御される。トークンは黒丸(●)で表し、プレースの中に置く。プレースにトークンを割り当てることをマーキング (Marking) という。

一般にペトリネットでは、システムの初期の状態を表すのに初期マーキングが割り当てられている。トークンの動きは発火規則 (Firing Rule) に従っている。図1にはペトリネットの構成要素を示す。トークンがペトリネット内を動きまわる様子、すなわち状態遷移 (State Transition) はボードを使うゲームに似ていて、それは次のような規則に従っている。

- (1) トークンは、ペトリネットのトランジションを発火 (Firing) させることによりネット内を移動する。
- (2) トランジションを発火させるためには、トランジションが発火可能 (Enable) でなければならない。トランジションのすべての入力プレースにトークンがあるとき、そのトランジションは発火可能である [図2(a)]。
- (3) トランジションが発火すると、その入力プレースからトークンを取り除き、新しいトークンを生成してそれを出力プレースに置く [図2(b)]。

このように、条件が成立しているということは、すべての入力プレース内にトークンがあり、そのトランジションは発火可能の状態、すなわち事象が生起する状態になっていることを意味する。よって、トークンがペトリネット内を発火規則に従って動きまわる様子は、ペトリネットの動的な性質を表している。

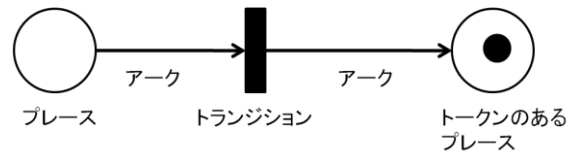


図1 ペトリネットの構成要素

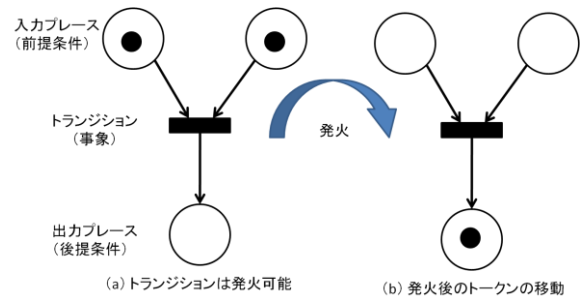


図2 発火規則の例

3. 実験システムの構成

本研究で試作した搬送システムは、2台のNXTと2台の台車を使用した。AGVモデルとして、前述のように制御が容易なLEGO社のロボット製作キットであるマインドストームNXTを用いる。このマインドストームNXTを使ってAVGを組み立て、専用プログラムである「教育用NXTソフトウェア」によって制御プログラムを作成する。

NXT1は台車から搬送されてきた荷物を光センサで判断し、荷台へと搬送する。NXT2は超音波センサで荷物の有無を判断し、光センサで荷物の色を判断する。搬送ルートのラインは黒いテープを用いて、それを光センサで読み取り台車までライントレースする。

台車1は白色の荷物を搬送し、台車2は、黒色の荷物を搬送する。また、台車にはPSDセンサが取り付けられており、荷物の有無を判断し一定時間後に台車を動作する。

搬送の流れとしては、NXT2が荷台で荷物を積み、荷物の色を識別してから、台車1か台車2へと荷物を搬送し、台車に置かれた荷物は目標位置まで荷物を搬送すると、NXT1が再び荷台まで搬送する流れとなる。図3に実際の搬送システムのモデルを示し、図4に試作した搬送システムの概要図を示す。

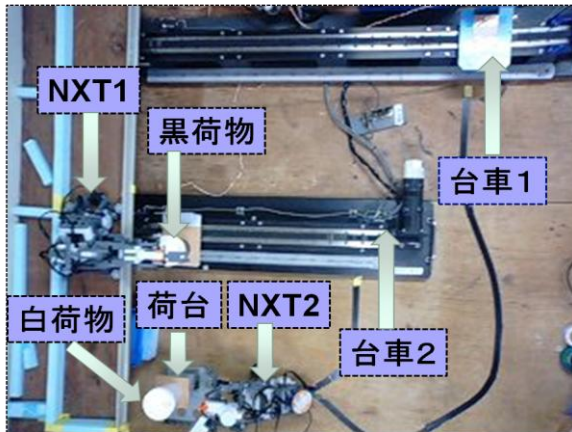


図3 台車とNXTを用いた搬送モデル

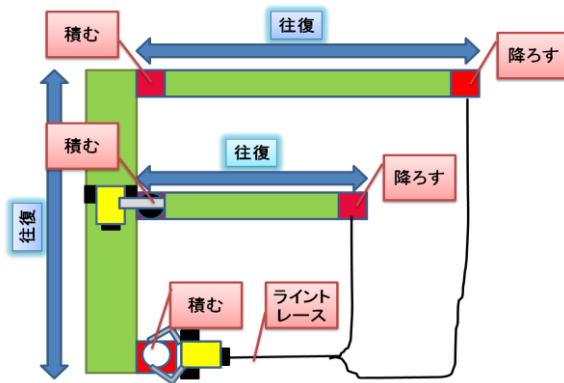


図4 搬送システムの概要図

4. ペトリネットによるモデル化

ペトリネットはシステムにおいて、事象と状況という2つの側面と、それらの間の相互関係をモデル化している。今回の搬送システムのモデル化において、プレースはNXTや台車による作業や単位動作の実行中の状況、トランジションは動作の開始、終了の事象、アークはNXTや台車の動作順序を表す。今回のペトリネットモデルはシステム全体を把握できるモデルだけを作成し、NXTの詳細な動作は正確にモデル化されていると仮定して行った。

4.1 ペトリネットを解析するための基本問題

ペトリネットによってシステムをモデル化し、そのモデルに基づいてシステムを解析しようとするときに、一般的にシステムが支障なく所定の動作を行うために必要な基本要素として、次の3つが考えられる。

(1) 《安全性問題》

安全性とは、プレースPが1-有界であることをいい、これは各プレースに複数のトークンが存在

しないとき（すなわち、0か1のとき）安全であるという。

(2) 《可到達性問題》

可到達性とは、ある初期状態から目標とする状態へ移行する発火系列が存在するか。すなわち、マーキングのある初期状態からスタートして、発火可能なトランジションを発火させ、目標マーキングに到達することができるか、ということ。

(3) 《活性問題》

活性とは、ペトリネット内のすべてのトランジションが決して発火不可能に陥ることがないことをいう。これは、システムのデッドロックの問題と関係している。デッドロックとは、すべてのトランジションが発火不可能に陥る状況であり、活性であれば、デッドロックは生じない。

4.2 搬送システムのモデル化

図5のモデルは、初期マーキングと各トランジションとプレース番号が付けられている。これは、NXT1が待機中で台車2に黒荷物が到着しNXT1による搬送待ちとNXT2が待機中で台に白荷物が到着しNXT2による搬送待ちの状態を表している。今回はこの状態を初期状態として設定した。

4.3 シミュレーションによる検証

ペトリネットシミュレータPIPE2.5 (Platform Independent Petri Net Editor2.5) を用いて、トランジションの発火順序をランダムに設定し、シミュレーションを行った。シミュレーションの動作を検証した結果が図6である。検証した結果、可到達性問題と活性問題は満たしており、モデルが支障なく動作を行う事ができた。

しかし、安全性問題に関しては、実機で試作したものでは起こりえない動作が起きてしまった。それはプレースの中にトークンが2つ以上存在していることである。これは、発火するトランジションが2つ以上あった場合に、一方のトランジションしか発火できないために起こってしまったためで、このネットではプレースにあるトークンの数が1を超えてしまっている。これは安全性問題を満たしていないので、正しいモデルということはいえない。

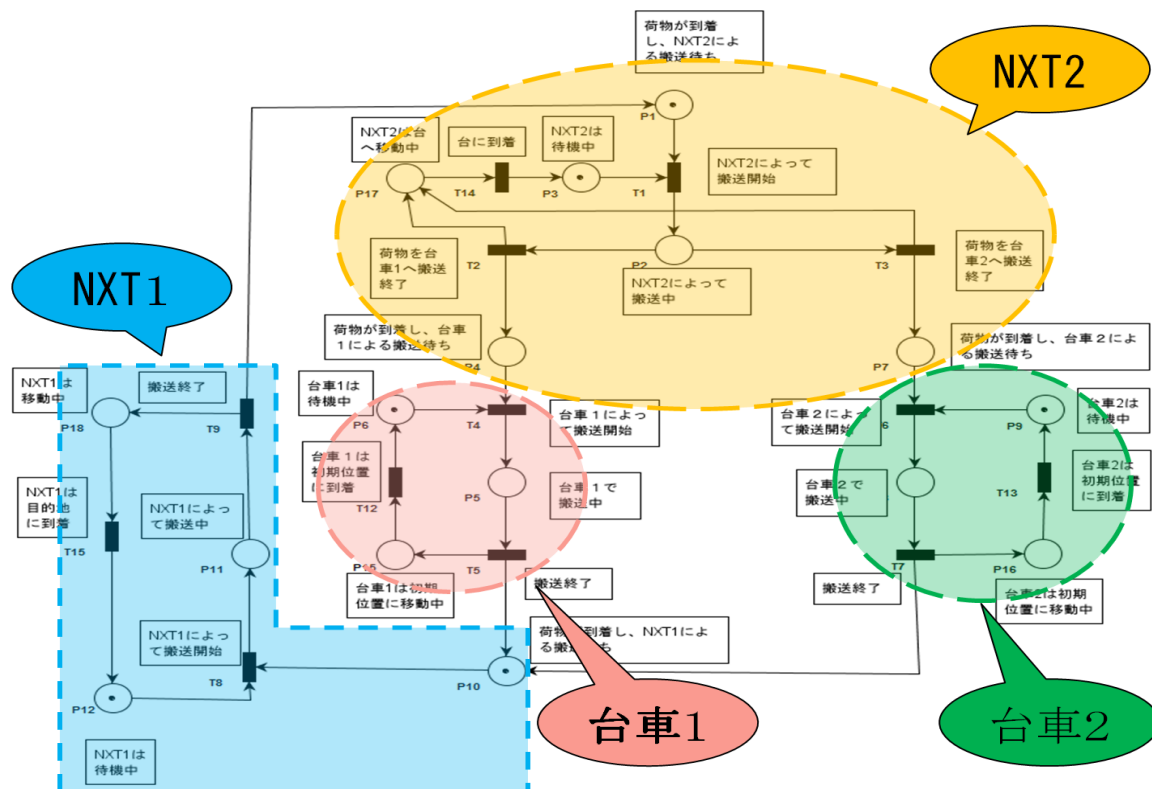


図5 搬送システムのペトリネットモデル

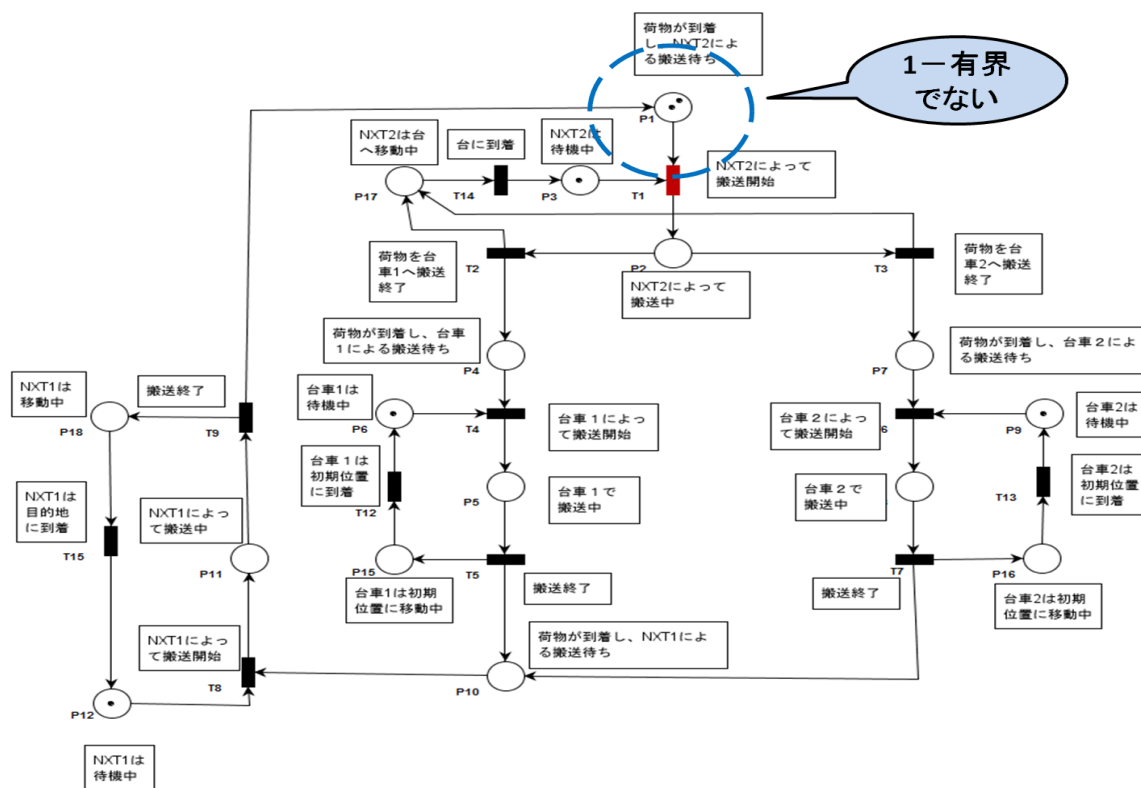


図6 図5のシミュレーション結果

全体の検証を行った。その結果、図 4 のモデル図では安全性問題を満たしていなく、正しくモデル化を行うことはできなかったが、再設計しなおした図 7 のモデル図では解析における基本問題 3 つを全て満たしており、正しくモデル化することを確認できた。しかし、本研究で示したモデルでは時間の概念を導入していなく、実システムの事象生起の様子をシミュレートするためには、発火に要する適当な時間遅れを想定した連続的な時間軸上でのマーキングの遷移を観測しなければならない。よって今後の課題としては時間ペトリネットを考慮したモデルの作成が必要となってくる。

参考文献

- 1) 椎塚久雄(著):実例ペトリネット その基礎からコンピュータツールまで, コロナ社 , (1995)
- 2) James L. Peterson(著):市川惇信, 小林重信(訳), ペトリネット入門 情報システムのモデル化 , 共立出版株式会社 , (1984)