

グラフィカルモデルでのペトリネットのSLAM-II変換

池田 雄太[†] 三浦 孝夫[†]

[†] 法政大学 工学研究科 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2

E-mail: [†]yuta.ikeda.rc@stu.hosei.ac.jp, ^{††}miurat@k.hosei.ac.jp

あらまし シミュレーション実行時, オブジェクトの動きをダイアグラムを用いて図示できればモデル構築の正確性は格段に改善される. 本研究ではグラフィカルモデルとしてペトリネットを例にとり, その動作を待ち行列型シミュレーション言語である SLAM-II により模倣する方式を提案し, 変換方式の検証を行う

キーワード ペトリネット, SLAM-II, シミュレーション,

Translating PetriNet to SLAM-II through Graphical Interface

Yuta IKEDA[†] and Takao MIURA[†]

[†] Dept.of Elect.& Elect. Engr., HOSEI University 3-7-2, KajinoCho, Koganei, Tokyo, 184-8584 Japan

E-mail: [†]yuta.ikeda.rc@stu.hosei.ac.jp, ^{††}miurat@k.hosei.ac.jp

Abstract Whenever we give model description for simulation purpose, we always face to a problem how to describe behaviors correctly in terms of objects. Clearly diagram approach would facilitate matters greatly if we describe them by diagrams. In this investigation we propose how to translate Petri Net models to Block models such as SLAM II. We examine our approach by means of experimental systems.

Key words Petri Net, SLAM-II, Simulation,

1. 前書き

近年, 大規模な物流, 生産施設などが増えてきておりシミュレーションによって, どの程度の効率が見込めるか, それに見合ったコストでの設備投資ができるかなどを事前に検証することは重要になってきている. さらにシミュレーションにより何が問題点が見つかることも考えられる.

だが実際にシミュレーションを行う場合に, シミュレーションを作成する者が対象のモデルの内容を熟知していないことが多い. その場合, モデルの内容が正しいかという正当性や, 結果がモデルの内容に則しているかという妥当性の検証が困難である. 逆にモデルの内容を熟知していても, シミュレーションを熟知していない場合は正当性の検証が難しい.

そこで離散事象システムをモデル化するツールであるペトリネットを利用することでシミュレーションをダイアグラムで捉え, 数値などでは理解し難いシミュレーションを, 全体の流れとしてとらえられるため結果の意味することを判断しやすくなるであろう. しかしペトリネットはトークンを用いてモデルの動きを掴みやすくはなるが, 例えば生産システムなどの場合, 材料が加工されるまでにかかる平均時間や, 加工されるまでの順番待ちの時間といったものの統計を取ることに向いていない. 事前検証を目的とするならば, 統計解析が必要である. 様々な用途に利用可能な待ち行列型汎用シミュレーション言語では平均

時間などの統計をとることを目的として開発されたために, 十分機能が備わっている. 反面, 特殊なモデル構築 (業務の記述) ルールに従って記述されるため, 構築に時間がかかり, モデル検証も容易ではない.

本研究では, 同種のトークンを扱い作業の同期を表現するペトリネットをシミュレーション言語 (本研究では SLAM-II) に変換する方式を提案する. 具体的には, 両モデルの対応を考え, ペトリネット機構が SLAM-II 言語で表現できることを示す. また, 機械的に変換する手順を論じ, 試作システムについて述べる.

2章ではペトリネットについて述べる. 3章では SLAM-II について述べる. 4章ではペトリネットと SLAM-II の対応について述べる. 5章で作成したツールの検証を示し, 6章で結びとする.

2. ペトリネット

ペトリネットは離散事象システムをモデル化する表現技法である. 2種類のノードがあり, 条件を表すプレースを P , 事象を表すトランジションを T で表現し, この2つをアークという条件と事象の関係を表す矢印で結ぶ. プレースとトランジションにはラベル (名前) をつけることができ, ラベルがある場合はそれぞれの近くに記述する. さらにシステム内を動作する要素であるトークンを τ で表現し, ペトリネットモデルでは初期状態でプレース内にトークンが存在することがあり, これを初期

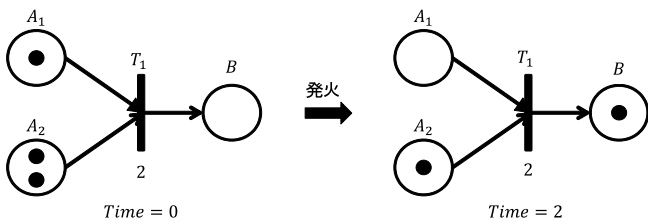


図1 動作例

トークンと呼ぶ1つのプレース内に多数トークンがある場合はプレース内の数字によりトークンの個数を表現する。また本稿では、トークンの発生するプレースをスタートプレース、トークンが滞留するプレースをエンドプレースと呼ぶ。

プレースの入力に所望のトークンが滞留すると遷移(トランジション)可能となり、実際の遷移が生じることを発火するという。ペトリネットの状態はトランジションの発火によって遷移し、トランジションに入力されるプレース(以下入力プレース)すべてに条件を満たす数のトークンが存在する場合、トランジションは発火可能となる。トランジションが発火すると、各入力プレースからトランジションに接続しているアークの重み分だけトークンが消費され、トランジションから出力されるプレース(以下出力プレース)に重みの分だけトークンが発生する。トランジションに付けられた添字で発火可能になった時間から発火までの遅延時間を表し、これによって作業時間を表現することができる。ただし添字がない場合は発火可能となった時にただちに発火する。またアークは正の整数の重みを持ち、アークの重みだけトークンは消費、発生する。重みは矢印の本数、または添字で表現される。

ペトリネットの動作する例を図1に示す。図1ではトランジション T_1 に添字で2とされているので発火遅延時間が2となっている。よってシミュレーション時間が2進んだ時に、入力プレース A_1, A_2 からそれぞれ1つのトークンが消費され、出力プレース B に1つのトークンが発生している。

次に1つのトランジションでの動作毎にモデルを考え、各モデル毎にコマンドを与える。図2は初期トークンが i 個、発火遅延時間が t で、発火毎に1つずつトークンが発生するモデルであり、このモデルを $start(t,i)$ コマンドで表す。同様にコマンドに変換したものが図3,4であり、図3(a)は初期トークンが i 個、発火遅延時間が t で、発火毎に全出力プレース (B_1, B_2, \dots, B_n) に1つずつトークンが発生するモデルで $nstart(t,i)\{B_1, B_n\}$ と表す。また図4(b)はプレースがエンドプレースであること、図4(c)(d)は多重アークで接続されていることを表す。

ダイアグラムにしたがってペトリネットの動作をコマンドで表現することができ、例えば図1は発火遅延時間が2であり、2つの入力プレース A_1, A_2 と1つの出力プレース B を持つ。出力プレース B がエンドプレースなので

$$fire(2)com\{A_1, A_2\} \\ end\{B\}$$

となる。

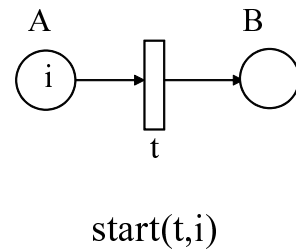


図2 ペトリネットコマンド例1

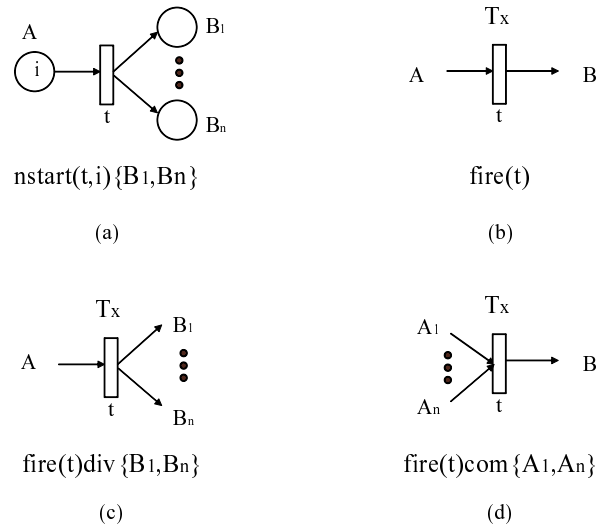


図3 ペトリネットコマンド例2

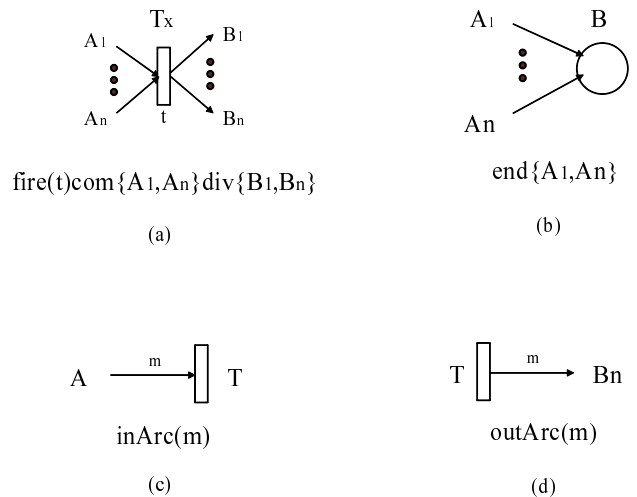


図4 ペトリネットコマンド例3

3. SLAM-II

SLAM-II(Simulation Language for Alternative Modeling) は、A.A.B.Pritskerにより、1979年に開発された離散型・連続型共用のシミュレーション言語である。FORTRANで開発されたプログラムであるため、ユーザ記述のFORTRANプログラム(あるいはFORTRANとリンクできるCプログラム)とSLAMプロセッサが組み合わせられ、多モデルを作成す

ることができる。標準的な FORTRAN コンパイラを備えたコンピュータであれば機種にかかわらず導入ができる。

SLAM-II では、システム内の動作を要素と定義し、モデルは要素がノードとアークで表されたネットワークの中を流れることによって表現される。例えば生産ラインでは流れる部品や製品を要素とする。モデルは約 20 種類の特定の機能を表すノード、それをつなぐ矢印であるアークの集まり、および、宣言文に相当するブロックからなる。各々のパラメータにより動作を具体的に規定する。ノードは名称、をラベルとして与えることができる。これにより要素のつながりや、ラベル毎に要素の到着個数などの統計を初期の機能として与える。細かい統計は制御文内に記述する。

SLAM-II の構成要素の例を図 5 で示す。QUEUE はサーバーが利用可能となるまで要素をファイル IFL に入れて待たせるためのノードである。パラメータ IQ は初期状態における待ち行列の要素数、QC は待ち行列の容量を示す。SELECT ノードは接続されたノードの選択規則を指定する。ASM ルールでは前方に繋がれたノードすべてに要素が 1 以上あるときに次のサービスが行われる。パラメータ SAVE とは作り出される要素への属性値を与え、SSR は後方のアクティビティを選択するルールを指定する。ACCUMULATE ノードは複数要素を一つにまとめるために用いられる。FR は最初に要素を後方に進ませるために必要な要素数であり、SR は 2 回目以降に必要な要素数である。SAVE は SELECT と同様に属性値を与える方法であり、M はこのノードからの分岐にあたり最大いくつの分岐が許されるかを示す値である。

4. ペトリネットと SLAM-II の対応

4.1 ペトリネットと SLAM-II の機能対応

基本的にプレースを QUEUE、トランジションをアクティビティと考える。そしてトークンの行き先が分離している場合は要素 M に複製できる GOON ノード、前方に繋がったプレースが複数の場合 SELECT(ASM) ノードを利用することによりペトリネットの動作を表すことができる。また多重アークも発生には GOON、消費には ACCUMULATE を使用することによって表現できる。

図 6 に 2 つのプレースから 1 つずつトークンを消費して 1 つのプレースに 1 つトークンを生産するトランジションを示す。

図 6 上部にペトリネットモデルを示す。ここでは前方に 2 つのプレースが繋がっているので SELECT(ASM) ノードで記述する。前方の 2 つのプレースを QUEUE1 と QUEUE2 とし、両方の QUEUE に要素があるとき SELECT(ASM) によって QUEUE3 に要素が発生する。

4.2 ペトリネットから SLAM-II への変換

ここではペトリネットから SLAMII のコマンドに変換する手法について述べる。変換を以下のアルゴリズムに沿って行う。

[1] 全てのスタートプレースからアークの繋がりを取得してエンドプレースにたどり着くまでの要素の流れの順序を取得する。

[2] ペトリネットモデルを全てのトランジションに対し、それぞれのトランジションとそこに直接繋がるプレースに分解する。

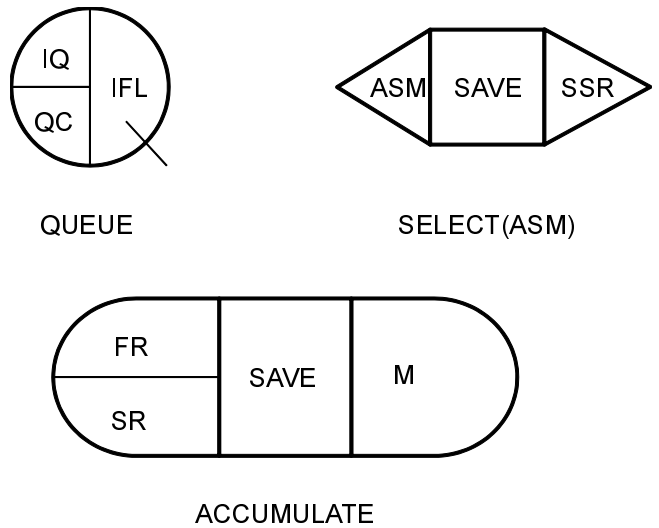


図 5 SLAM 構成要素

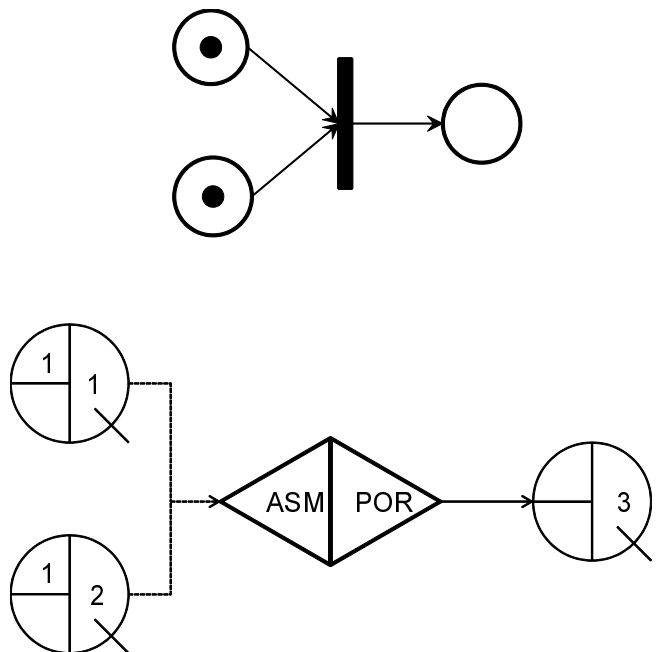


図 6 対応例

[3.1] 分解後のそれぞれのモデルを繋がったプレースの状態などから対応するペトリネットコマンドに変換する。

[3.2] 変換するモデル内にエンドプレースや多重アークがある場合、対応したコマンドを追加する。

[4] 最初に取得した順序にそって変換したペトリネットコマンドをすべて列挙する。

[5] ペトリネットコマンドをそれぞれ対応する SLAM 制御文に変換する。

ここで上記の [5] で使用するペトリネットコマンドの各動作を同様の働きをする SLAM-II 制御文に変換する例を図 7,8,9 に示す。

例えば図 7(a) では初期の要素が発生するモデルについての対応を示す。対応するペトリネットモデル start(t,i) の動作は SLAM-II では create と queue を使用して表すことができるの

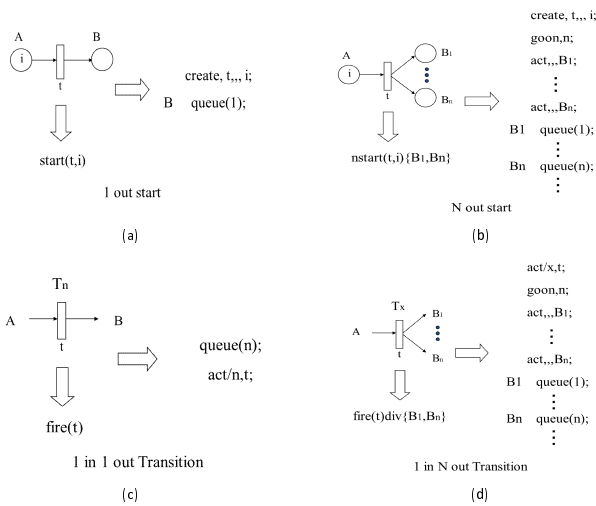


図 7 変換 1

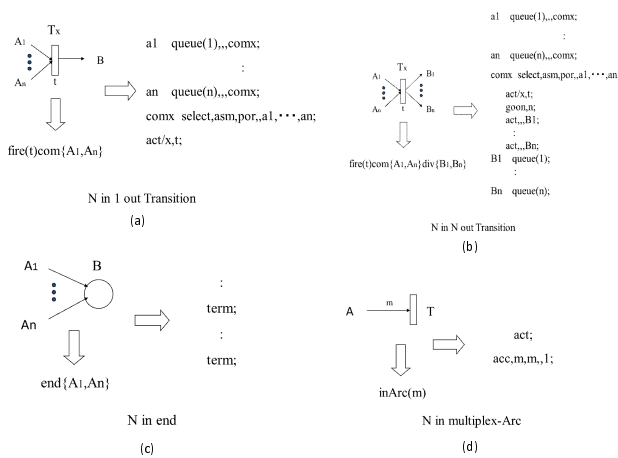


図 8 変換 2

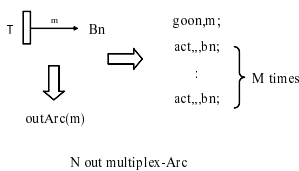


図 9 変換 3

で右側のような制御文が対応する．ここで制御文内の t,i はペトリネットモデルでの t,i に相当する．

実際に流れに沿って図 1 のモデルを変換すると、今回のモデルはトランジションが 1 つなので [1][2] は省略でき [3] の変換の過程に入る．トランジション T1 には 2 つの入力プレース A1,A2 と 1 つの出力プレース B が繋がっており、出力プレース B がエンドプレースとなっているので

```
fire(2)com{A1,A2}
end{B}
```

のようなペトリネットコマンドになる．トランジションが 1 つなので [4] も省略でき、[5] を行うことによって

```
a1 queue(1),1,,com1;
```

```
a2 queue(2),2,,com1;
com1 select,asm,por,,a1,a2;
act/1,2;
b term;
```

のような SLAM-II 制御文に変換される．

4.3 変換システムの構成

パネル上で作成したペトリネットのモデルを機械的に SLAM-II での実行コマンドに変換し出力するシステムについて述べる．

ペトリネットを描写するための、プレースモード、トランジションモード、アークモード、また各パラメータを入力する設定モード、ペトリネットから SLAM-II に変換する機能から成っている．

モードを選択し、プレースとトランジションを画面内に配置する．その後アークモードで接続するプレースとトランジションを選択しアークを配置する．またこの際アークの重みも入力する．次に設定モードにてプレースの初期要素数、トランジションのサービスタイムを設定する．なおここで設定しない場合初期値は 0 となる．

ペトリネットモデルの記述終了後、プレース、トランジションとそれぞれ接続されたアークの本数を読み込み、まず入力アークが 0 本ならばスタートプレース、出力アークが 0 本ならばエンドプレースとする．スタートプレースからアークの繋がりを辿ることでトランジションの実行順序を検出し、エンドプレースまで続ける．各トランジションについてこの作業を繰り返し、すべて終了したところでテキストファイルとして SLAM-II コマンドを出力する．

5. 実験

5.1 実験方法

本稿では、まずペトリネットと SLAM-II のモデルの対応をモデルを分割して考え、ペトリネットでの実行結果と SLAM-II での実行結果を検証する．さらにそのアルゴリズムを用いて作成したツールで、ペトリネットモデルから SLAM-II での実行用制御文を出力し、その有用性についても検証する．

実験として 2 つの原材料を使用し 2 つの製品を造る例についてそれぞれ検証を行う．以下がその内容である．

A1 には原材料が 1000 個あり 3 分毎に B1 に 1 つ加工される．A2 には原材料 1000 個あり 2 分毎に B2 と B3 にそれぞれ 1 つ加工される．加工された B1 と B2 を 1 つずつ消費し 1 分毎に製品 E1 が 2 つ生産される．同様に加工された B3 を 2 つ消費し 2 分毎に製品 E2 が 1 つ生産される．

これをペトリネットモデルで表したものを図 10 に示す．

5.2 実験結果

今回の実験では要素の発生、すなわち流れのスタートとなるトランジションが T1,T2 の 2 つある．この 2 つを起点とし、順に変換する．T1 では 1000 個の原材料をもつ A1 から 3 分毎に B1 に 1 つ加工する．よって 1 out start として変換する．T2 では 1000 個の原材料をもつ A2 から 2 分毎に B2 と B3 にそれぞれ 1 つ加工する．よってこちらは n out start とみなす．T1,T2

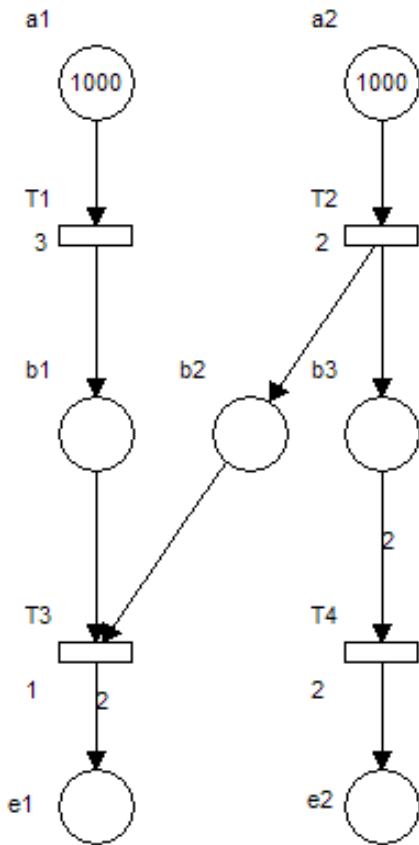


図 10 実験用ペトリネットモデル

からつながる T3, T2 からつながる T4 が次の変換に該当する。T3 では B1, B2 の 2 つの材料を消費し, E1 を 2 つ生産するため N in 1 out トランジションと N out 多重アークとして変換し, E1 が終点となっているので end の変換も行う。同様に T4 では N in 多重アーク, 1 in 1 out トランジション, end として変換を行う。

変換のために対応させたコマンドと SLAM-II での変換手順を図 11 で示す。左側が分割した各ペトリネットを表したものであり, 変換した SLAM-II コマンドを右側に示す。ここで A_n, B_n は各ブレースを示し, T_n は各トランジションを表している。

これを SLAM-II で実行した結果を図 12 で示し, 図 10 をペトリネットシミュレータで実行した結果と比較したものを図 13 で示す。

ここで終了時トークン数が同じことから各トランジションでの発火が正しく行われたことがわかり, 終了時間にも大きな差が見られないという結果が得られた。

次に図 10 のモデルのツール使用時の変換結果を図 14 に示し, これを SLAM-II で実行した結果を図 15 に示す。

これより図 11 結果と同じ結果が得られていることがわかる。また終了時トークン数も同様の結果が得られていたことから変換は成功したと言える。

5.3 考 察

実験結果から, 本手法についての考察を行う。今回の実験で

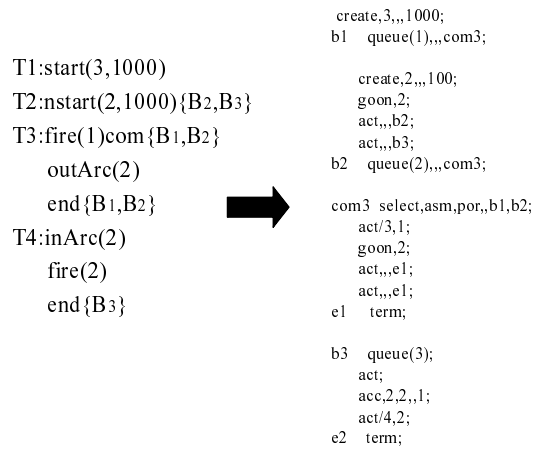


図 11 変換コマンド

■ SLAM II SUMMARY REPORT

■ SIMULATION PROJECT PN_EX1 BY Y1

■ DATE 29/12/2010 RUN NUMBER 1 OF 1

■ CURRENT TIME 0.2998E+04

■ STATISTICAL ARRAYS CLEARED AT TIME 0.0000E+00

■ **FILE STATISTICS**

FILE NUMBER	LABEL/TYPE	AVERAGE LENGTH	STANDARD DEVIATION	MAXIMUM LENGTH	CURRENT LENGTH	AVERAGE WAITING TIME
1	B1 QUEUE	0.0000	0.0000	1	0	0.0000
2	B2 QUEUE	166.6111	96.1617	333	0	499.5000
3	B3 QUEUE	0.0000	0.0000	0	0	0.0000
4	QUEUE	0.0000	0.0000	0	0	0.0000
5	E1 QUEUE	0.0000	0.0000	0	0	0.0000
6	E2 QUEUE	0.0000	0.0000	0	0	0.0000

図 12 SLAMII 実行結果

	SLAM II	ペトリネット
実行時間	2998	3001
終了時トークン数 E1	2000	2000
終了時トークン数 E2	500	500

図 13 結果比較

はペトリネットから SLAM-II への変換が行えることが確認できる。また SLAM-II の出力結果からブレース B2 では材料が使われるまでに待ちが生じており, 最大で B2 に滞留した材料の数は 33 個, また B2 での材料の平均待ち時間が 499.5 であることなどペトリネットだけでは得られなかった情報を得ることもできている。要素の滞留や, 待ち時間など物の流れの詳細をみれることから生産システムや, 受付窓口などに有効になると考えられる。

変換ツールを使用した結果も, ペトリネットシミュレータの結果と同様のものが得られペトリネットと SLAM-II の動作の対応をとることで機械的に変換することも可能だということがわかる。

6. 結 論

本研究ではペトリネットモデルから SLAM-II での制御文に変更する手法を提案した。本手法によりペトリネットから SLAM-II への変換が可能であることを実験から示した。また

```

tra0 create,3.0,,,1000.0;
que3 queue(3),,,,tra2;
  goon,1;
  act,,,tra2;
tra1 create,2.0,,,1000.0;
  goon,2;
  act,,,que4
  act,,,que5
que4 queue(4),,,,tra2;
  goon,1;
  act,,,tra2;
que5 queue(5);
  act;
  goon,1;
  act,,,tra3;

tra2 select,asm,por,,que3,que4;
  act/2,1.0;
  goon,2;
  act,,,que6
  act,,,que6
que6 queue(6);
  act/16;
  term;
tra3 queue(15)
  act;
  acc,2,2,,1;
  act/3, 2.0;
  act,,,que7
que7 queue(7);
  act/17;
  term;

```

図 14 ツール出力

```

CURRENT TIME 0.2998E+04
STATISTICAL ARRAYS CLEARED AT TIME 0.0000E+00

```

FILE STATISTICS

FILE NUMBER	AVERAGE LABEL/TYPE	STANDARD LENGTH	MAXIMUM DEVIATION	CURRENT LENGTH	AVERAGE LENGTH	WAITING TIME
1		0.0000	0.0000	0	0	0.0000
2		0.0000	0.0000	0	0	0.0000
3	QUE3 QUEUE	0.0000	0.0000	1	0	0.0000
4	QUE4 QUEUE	166.6111	96.1617	333	0	499.5000
5	QUE5 QUEUE	0.0000	0.0000	0	0	0.0000
6	QUE6 QUEUE	0.0000	0.0000	0	0	0.0000
7	QUE7 QUEUE	0.0000	0.0000	0	0	0.0000

図 15 SLAMII 実行結果 (ツール使用)

対応のとれたモデルであれば機械的に変換することが可能であることがわかった。

今回は単純なペトリネットについて考えたが、新しく対応を考えることで確率ペトリネットなど他の機能をもったペトリネットにも応用ができると考えられる。

文 献

- [1] 松本 篤, 三浦 孝夫 : GPSS による時間ペトリネットの性能解析, 2001 年電子情報通信学会総合大会
- [2] 森戸 晋, 中野 一夫, 相沢 りえ子, : SLAMII によるシステム・シミュレーション入門 改訂版, 共立出版株式会社, 1993.
- [3] 椎塚 久雄 : 実例ペトリネット, コロナ社, 1992.