

# 確率ペトリネットを用いた 経営情報システム分析に関する研究

中 島 健 一

## 1. 緒 論

経営組織における事務部門の効率化は、生産部門の合理化と並んで今日では重要な課題である。しかし、仕掛り在庫量や生産率等の定量的なシステム評価を行う生産部門に対し、事務部門では、事務手続フローチャートによる「入出力データ」の流れの分析と、機能関連図による「機能、処理」の流れの分析を基軸に定性的な分析が行われてきた [1]。このため、今日の合理化された生産部門に比して、事務部門の効率化は遅れたものとなっている。

通常、経営情報システムの構築において、現状分析が行われた後に、情報システムに関するアーキテクチャ設計が行われる。この情報システムアーキテクチャ設計に対して、IBM 社が提案した BSP (Business Systems Planning) 手法を用いた研究がこれまでに行われてきた。BSP 手法は、必要なデータベースの種類を整理する一方、データ処理部門管理職とトップ・マネジメントの間の意思疎通改善を目的としている。これまでの研究 [2,3] では情報システムにおいて必要とされる定性的データを用いてサブシステム構築を行うものであった。しかし、サブシステム構築に際して、完全自動化を除いては、時間量、作業負荷量などの定量的データを考慮に入れることが不可欠であると考えられる。

本研究では、経営情報システムを構築する際の現状分析において、作業環境の不確実性を考慮するために、確率ペトリネット (Stochastic Petri Net: SPN) を適用する。ペトリネットは、非周期的かつ並列的にふるまう離散事象システム

確率ペトリネットを用いた経営情報システム分析に関する研究

ムの解析に有用であることがよく知られている。これにより、指数分布に従う納入指示時間間隔と各事務作業時間や、それに伴う文書の滞留時間を考慮することができ、定量的事務分析が可能となる。この結果、経営システムにおける各部署間の作業負荷平準化を考慮した効率的なシステムの構築を行うことが可能となる。






## 2. 事務分析アプローチ

事務分析の手法は数多く存在するが、その内から一般的によく用いられているものとして事務フローチャート分析について考える [1]。事務フローチャート分析は事務システムを調査分析し、新しい事務システムを設計する技法である。これは従来からの生産現場における工程分析手法に相当するものと考えられることができる。ただし、フローチャートは主として文書処理の流れを図表化する技法であり、したがって、文書処理が多い事務システムの分析に有効である。

ここでは、事務フローチャートの代表例としてNOMA式フローチャートと、能大式フローチャートについて概説する。

### 2.1 NOMA式フローチャート

表1：主要な処理とその記号

処理内容	処理記号
転記	
照合	
収集	
保管	
仕分け	

この方式の特徴は、

- ・タテに描く
- ・システム別に描く
- ・組織別、担当者別に描く
- ・時の流れにしたがって描く
- ・記号の数が少ない
- ・転記の記号がよく目立つ

などがあり、その表現例を表1に示す。

## 2.2 能大式フローチャート

この方式の特徴は

- ・ヨコに描く
- ・システム別に描く
- ・組織別、担当者別に描く
- ・時の流れにしたがって描く
- ・記号の数が多い
- ・品物には特別の表現を用いる
- ・帳票名を再掲する
- ・手続きの区切りを表す

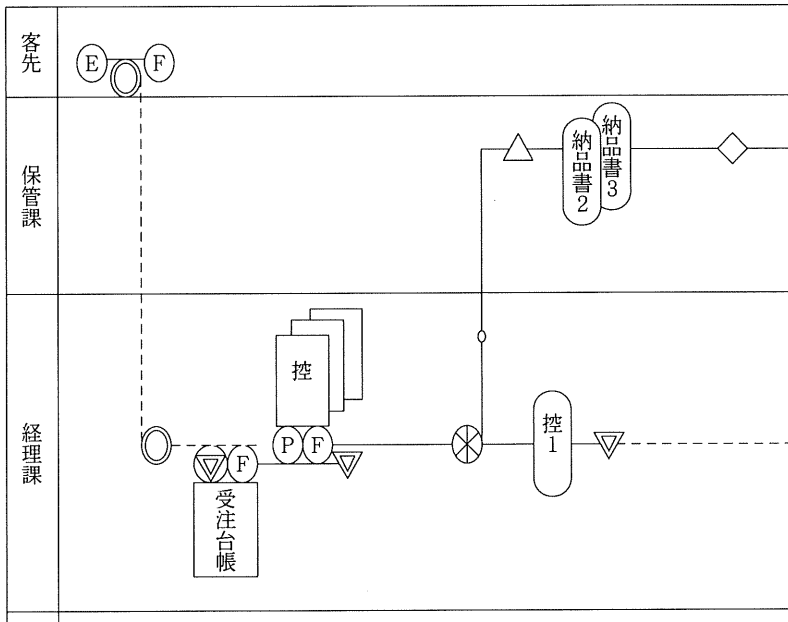


図1：能大式フローチャート表現例 [1]

確率ペトリネットを用いた経営情報システム分析に関する研究

などがあり、その表現例を図1に示す。

### 2.3 事務分析手法における問題点

現状の事務分析手法についての問題点は、時間の表示が困難であることが挙げられる。時間図表を併用することによって、ある程度の時間的分析は行えるが、処理待ち時間などの、詳細に関する分析を行うことは困難である。また、時間図表を別の事務分析図と平行して作成することは、システム全体として読みにくい欠点があり、実際の事務システムの稼働状況のような動的な様子を認識することが困難である。

## 3. 定量的システム分析

前節で述べたように、経営情報システム構築における現状の事務分析では、従来、定性的な分析しか行われていなかったため、時間的な概念を導入することが困難であった。そこで本研究では、確率ペトリネット (SPN) を用いてシステムをモデル化し、各作業時間を考慮した定量的分析を行う。そして各作業における作業負荷を定量化することにより、システムのボトルネック工程を発見するための新たなアプローチを提案する。

### 3.1 確率ペトリネット

ペトリネット (Petri net) は、1962年にドイツの Carl Adam Petri が提案したものであり、非周期的かつ並列的にふるまう離散事象システムの解析に有用であることがよく知られている [4]。ペトリネットモデルにおいて、さらに時間の概念を導入したものが、時間ペトリネット (Timed Petri Net) と呼ばれている。ここでは、各トランジションで、トランジションの発火が可能になったときから発火までの遅延時間間隔として、指数分布に従う確率変数を関連づけたペトリネットである確率ペトリネット (SPN) を扱うものとする。SPN は、トランジションの発火が確定的遅延時間をもつ時間ペトリネットにおいて、遅

延時間を指数確率分布に従う確率変数に変換したものと定義できるため、そのモデルは6項組であり、

$$SPN=(P, T, I, O, M_0, \Lambda)$$

で表わされる。ここで、

$P=(p_1, p_2, \dots, p_L)$  : プレースの集合 ( $L$ はプレース総数)

$T=(t_1, t_2, \dots, t_N)$  : トランジションの集合 ( $N$ はトランジション総数)

$I \subset P \times T$  : プレースからトランジションへの入力アークの集合

$O \subset T \times P$  : トランジションからプレースへの出力アークの集合

$M_0=(m_{01}, m_{02}, \dots, m_{0L})$  : 初期マーキング

$\Lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$  : 発火率ベクトル

である [5]。

確率ペトリネットの理論的解析法に関しては、待ち行列理論等におけるマルコフモデルとの対応が成り立つ。すなわち、マルコフ連鎖の状態とペトリネットのマーキングとが対応する。また、システムの定常状態での評価尺度であるスループットや平均滞留時間を求めるために用いられる定常状態確率は、システムの平衡状態における各マーキングの存在確率に対応している。今、マーキング  $M_i$  の定常確率を  $\pi_i$  とするとシステムの定常分布  $\Pi=(\pi_1, \dots, \pi_s)$  ( $s$ は総状態数)は、 $Q$ を推移率行列とする以下の連立一次方程式を解くことにより得られる。

$$\Pi Q=0, \quad \sum_{r=1}^s \pi_r=1$$

これにより、各プレースにおける定常確率も計算することができ、トークンの平均滞留時間等、性能評価尺度を求めることが可能となる。なお、大規模問題に対しては、問題となる状態遷移確率行列の肥大化により計算時間が膨大になるので、コンピュータ・シミュレーションによるアプローチ [6] がとられる。

### 3.2 事務分析への適用

事務において処理される文書は、その処理間に待ち時間が存在する。そこで、処理間に文書が滞在する場所 (プレース) を設定することにより、その状態を

確率ペトリネットを用いた経営情報システム分析に関する研究

モデル内に書き込むことが可能となる。また、ペトリネットモデルの構成要素の1つであるトランジションを発火規則にしたがって発火させることにより処理が行なわれ、時間的定義、確率過程などの導入を行って拡張された確率ペトリネットを用いることにより、実システムへの近似が可能となる。

本研究で分析を行うモデルとして仮想的モデル企業を設定し、販売課、工程管理課の2部署に対して分析を行う。このモデル企業についての特徴は以下に示す通りである。

- ・NOMA 式事務フローチャートが採用されている。
- ・すべての処理は人的処理で行われている。
- ・削除すべき処理は存在しない。

このモデル企業の2部署をNOMA 式事務フローチャートで記述したものを図2に示す。

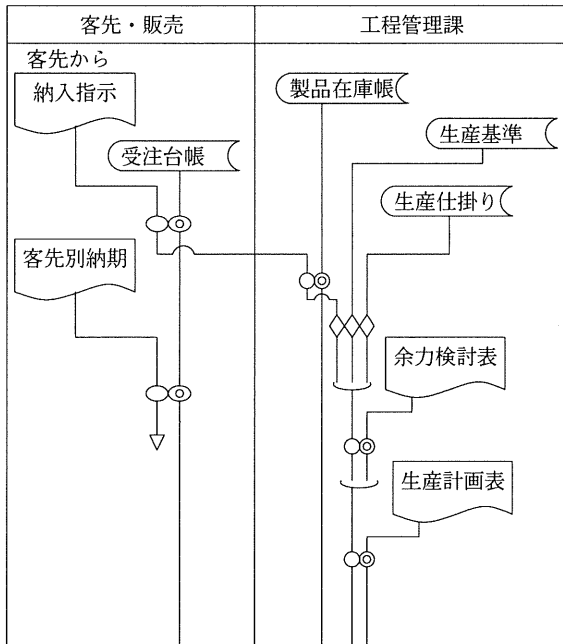


図2：モデル企業の事務フローチャート

### 3.3 確率ペトリネットによるモデル化

確率ペトリネットによる事務処理の記述例を図3に示し、特徴を以下にまとめる。

- ・文書が存在する場所：円プレース
- ・文書が保存される場所：楕円プレース
- ・納入指示の到着間隔：指数分布にしたがうタイムドランジション
- ・すべての処理：指数分布にしたがうタイムドランジション
- ・文書の流れ：実線有向アーク
- ・使われた文書のフィードバック：点線有向アーク
- ・ある時点における文書の存在：トークン






処理内容	ペトリネット表現
転記	 転記
照合	 照合
収集	 収集
保管	 保管
仕分け	 仕分け

図3：確率ペトリネットの表現例

図2で示されたモデル企業のNOMA式事務フローチャートに対して、SPNを適用してモデル化したものを図4に示す。また、表現方法の詳細について、以下にまとめる。

- ・転記処理において転記する側、転記される側を分類するために、される側に対しては太線有向アークを用いる。
- ・転記、照合、収集、仕分けに関してはその処理内容をタイムドランジションの横に随時記述するものとする。
- ・保管は処理としてはあつかわないものとする。
- ・初めて現れる文書に対してはそのプレース内に文書名を記述するものとする。

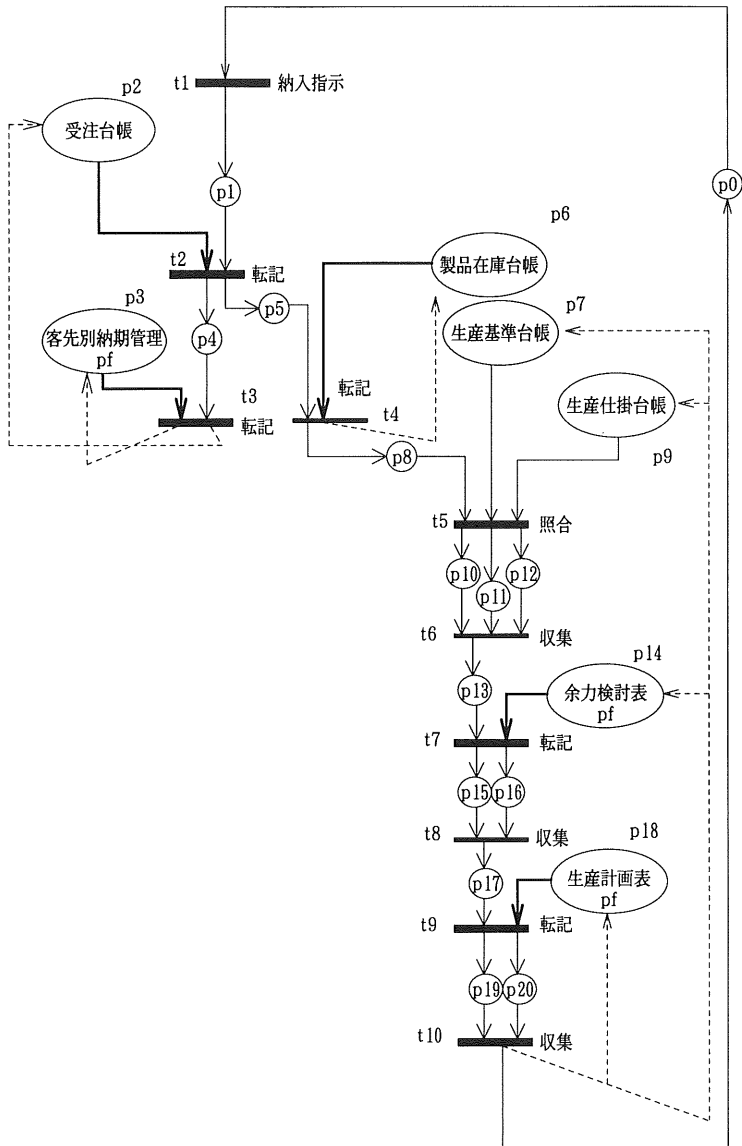


図4：確率ペトリネットによるモデル化



る。

#### 4. 数 値 例

前節におけるモデル企業に対して、以下の前提条件を与える。

- ・納入指示の到着間隔： $\lambda_1=1/2$
- ・転記処理： $\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=\lambda_7=\lambda_9=2$
- ・照合処理： $\lambda_5=1$
- ・収集処理： $\lambda_6=\lambda_8=\lambda_{10}=1/2$

また、初期マーキングは、

$$M_0 = (2, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0)$$

とし、この時の総状態数は53となった。

表2：システムの定常分布

$M_0$	0.144192	$M_{27}$	0.004876
$M_1$	0.028876	$M_{28}$	0.003848
$M_2$	0.012869	$M_{29}$	0.000701
$M_3$	0.013007	$M_{30}$	0.000872
$M_4$	0.066213	$M_{31}$	0.000135
$M_5$	0.142231	$M_{32}$	0.000143
$M_6$	0.03583	$M_{33}$	0.001305
$M_7$	0.144047	$M_{34}$	0.00412
$M_8$	0.036032	$M_{35}$	0.004726
$M_9$	0.144182	$M_{36}$	0.000941
$M_{10}$	0.007354	$M_{37}$	0.001451
$M_{11}$	0.002451	$M_{38}$	0.000249
$M_{12}$	0.000272	$M_{39}$	0.000313
$M_{13}$	0.000182	$M_{40}$	0.001084
$M_{14}$	0.00002	$M_{41}$	0.003469
$M_{15}$	0.000013	$M_{42}$	0.005169
$M_{16}$	0.000003	$M_{43}$	0.001117
$M_{17}$	0.007219	$M_{44}$	0.002054
$M_{18}$	0.005218	$M_{45}$	0.000381
$M_{19}$	0.004704	$M_{46}$	0.000555
$M_{20}$	0.002372	$M_{47}$	0.006939
$M_{21}$	0.000441	$M_{48}$	0.034553
$M_{22}$	0.000389	$M_{49}$	0.009755
$M_{23}$	0.000051	$M_{50}$	0.047237
$M_{24}$	0.000041	$M_{51}$	0.01219
$M_{25}$	0.000012	$M_{52}$	0.050983
$M_{26}$	0.002609		

確率ペトリネットを用いた経営情報システム分析に関する研究

この実験におけるシステムの定常分布の計算結果を表2に示す。この結果、各事務作業前後において滞留する平均文書量を求めたところプレース8番( $p_8$ )での値が大きくなっており、その前後での改善が求められていることが分かった。これによりシステムのボトルネックを明らかにすることができ、作業の不確実性を考慮した経営情報システム分析が可能となった。

## 5. 結 論

本研究では、従来、定性的に行われてきた事務分析に対して、確率ペトリネットを適用し、作業環境の不確実性を考慮した定量的事務分析を行った。これにより変動する事務作業時間を考慮でき、各作業間で滞留している平均文書量が求められた。この結果、各作業や部署間での作業負荷を平準化することができ、効率的な経営情報システムの構築を可能としている。

謝辞 本研究を進めるにあたり、種々御助言、御助力いただいた大阪工業大学能勢豊一教授、中林伸充氏に深謝致します。また、本研究は神戸学院大学経済学会2003年度研究プロジェクトの研究助成を受けて行われたことを付記致します。

## 参 考 文 献

- [1] 鯉沼章著, 1987, フローチャートによる事務分析-第2版-, 日刊工業新聞社。
- [2] 能勢豊一, 栗山仙之助, 椎原正次, 1994, “ワークデザインによる経営情報システムの設計”, 日本経営システム学会誌, 11, 43-49.
- [3] 能勢豊一, 栗山仙之助, 199, “経営情報システムの構築とそのアプローチ”, OA学会論集 情報系, 第4号, 73-85.
- [4] 椎塚久雄, 1992, 実例ペトリネット, コロナ社.
- [5] 村田忠夫, 1992, ペトリネットの解析と応用, 近代科学社.
- [6] NAKASHIMA K., 1999, “A design for a management information system with consideration for stochastic variability,” *International Journal of Production Economics*, 60-61, 171-176.