658.5.015

機械工場における生産ラインの研究*

石 井 威 望**

A Study on the Production-Line of Machine Shop

by Takemochi ISHII

This paper deals with a theoretical study of the production system of machine shop on the basis of the Markov process and the information theory.

It includes a simple example and a basic flow chart for a digital computer.

まえがき

本研究の目的は、機械工場における複雑な生産体系を理論的に解明する有効な手法を開発し、応用することである。この研究の内容は大別して次の3部から構成されている。

1. 基礎理論
2. 電子計算機コード
3. 応 用

この論文は、主として第1部の成果を発表するものであるが、理論の性格上第2部の一部（たとえば、basic flow chart）をも含んでいる。

1. 機械工場における生産ライン

はじめに、対照的に考察して特性を浮彫りにすることを試みよう。すなわち、装置工業に入れられる一連の工場があるが、たとえば、それは典型的な石油化学工場のように、一定の設備が、一定の条件下で単一製品を連続的に生産している。装置工業における生産設備は、原則として特定製品以外の生産には転用し得ない。このような装置工業の特質に対する、反対の極として、万能機械工場概念が存在する。たとえば、1台の工作機械でさえも、多種の製品を工作することができるし、何台かの工作機械を組合わせれば、さらに多くの種類の製品をつくることが可能である。この特性を理想化すれば、きわめて多数多種の工作機械や機械工作設備を有する万能機械工場概念になる。つまり機械工場の一つの特質は、工作機械の使用法とその組合せによって、多種の製品をとりまぜ生産することである。もちろん量産するために、専用工作機

械を採用し装置工業に近い形態をとる場合もある。典型的装置工業と、万能機械工場概念の間には、多くの中間的形態があって実際の工場は、両者が混合していると考えるほうがよい。

さて、上述のフィロソフィーに基づいて、機械工場における生産が本質的に動的(dynamic)であり、装置工業のそれは固定的(fixed)である点を十分とり入れた理論が必要になる。機械工場は、常に流動し生産ラインが人間によって制御されている場合が多い。したがって、機械工場(万能に近づくほどますます)には、人間による生産体系の制御の問題が重要になってくる。過去においては、きわめて複雑な生産ラインの設定、実施、管理をことごとく試行錯誤と経験、勘にゆだねることが多かった。しかし、電子計算機の発達によって、複雑かつ錯綜した生産ラインを理論的に解明し得る可能性が高まってきた。

生産ラインを構成するのは、第1に技術的要因である。研究と開発試験によって最終的に与えられるものは、次のような形の情報である。まず、素材の問題についてであるが、これは生産ラインと直接の関係がない。生産ラインにとって重要であるのは、その次の問題である。いかなる機械を、いかなる順に使用して、何段階行なうか、またその作業時間はいかほどで、取付け取りはずし、検査、運搬等の問題や、その系統で予想される故障、修理、保守、工具管理等々の問題である。一番簡単で、基本的な情報は、製品 C (commodity) と生産設備 F (facility) と、作業ないし加工時間 T である。C と F は、おのおの番号 1, 2, ... であらわされているとしよう。T については、取付時間、余裕時間を含めるかどうかについて、実際には場合によって考慮していかねばならない。以下、しばらく、C と F に対して(最も簡単な場合として)

* 昭和 36 年 10 月 5 日 第 39 期東京秋期講演大会において論文講演として講演、原稿受付 昭和 36 年 7 月 20 日。

** 正員、東京大学大学院(東京都文京区本富士町 1)。

T が与えられているものとする。故障等も除外しておこう。したがってたとえば、C として 3 (つまり No. 3 の製品) が与えられたときに、F の数列 $\{F\}$ たとえば、8, 6, 12, 5, ..., 2, (つまり No. 8 の機械, No. 6 の機械, No. 12, ... No. 2 の機械の順に加工されていく) が技術的知識より定まり、さらに T の数列 $\{T\}$ たとえば、2.10, 3.25, ..., 1.81 (つまり、No. 3 の製品は、No. 8 の機械で 2.10 時間、No. 6 の機械で 3.25 時間、... No. 2 の機械で 1.81 時間加工されて完成する) が与えられる。

次に問題になるのは、経営学ないし会計学の知識である。C と $\{F\}$ と $\{T\}$ が与えられたときに、金額としていかに見つめるかである。これも実際上は特殊性が多分に影響するから一般的には、何らかの算定基礎によって決定されるときえざるを得ない。たとえば、C=3 のとき、 $\{F\}=(8, 6, 12, \dots)$ に対応して $\{G\}=(0.2, 0.5, 1.2, \dots)$ というように、単位時間あたりの経費が与えられる場合もあろう。とにかく、後ほど良否の判定にはどうしても金額の測度が必要である。これらの問題は、原価計算論の主たるところであるから、生産ラインとしては、たとえば $\{G\}$ のようなデータが与えられているということにしておいて先に進むことにする。

以上で、製品 C が定まると、対応する $\{F\}$, $\{T\}$, $\{G\}$ が与えられることを設定したが、C は場合によると 1 ロットのときも考えられる。そのときは $\{T\}$ が変更される。次に、C=1, 2, 3, ... は、実際の製品またはその 1 ロットを示すが、仮想的に C=0 を導入する。C=0 は、たとえば、F=4 (No. 4 の機械) に何も加工すべきものがかかっていないときに、C=0 がかかっていると想定する。このとき C=0 に対する $\{F\}$ は無意味であるが、 $\{G\}$ は、むしろ重要な量である。故障等の偶然的要因や、C に対する複数の $\{F\}$ $\{T\}$ $\{G\}$ の系列の対応がある場合等は、後で追加することとして、さしあたり上記の要素をもって、生産ラインの内容とする。簡単な一例を示す。この例題は以下でもしばしば引用する。すなわち、ある工場に、3 種類の機械設備 F=1, 2, 3 があり、各 1 台ずつであるものとする。このとき、2 種類の製品 C=1, 2 がそれぞれ下のような $\{F\}$, $\{T\}$, $\{G\}$ を有し、また C=0 についての $\{G\}$ も次のように与えられている。 $\{G\}$ の金額単位は適当にきめる。

[Ex]

C=1; $\{F\}=(1, 2, 3)$, $\{T\}=(1, 1, 1)$, $\{G\}=(1, 1, 1)$

C=2; $\{F\}=(1, 3)$, $\{T\}=(1, 1,)$, $\{G\}=(1, 1)$

C=0; かりに $\{F\}=(1, 2, 3)$ とすれば、 $\{G\}=(1, 1, 1)$

ここに、 $\{T\}$, $\{G\}$ をとくに単純にしてあるのは、電子計算機等を用いなくて、手計算が容易なためであって現実的ではない。

2. 受注と生産計画

生産ラインの前に、受注と生産計画の部門があるのが普通である。本研究は、生産ラインに焦点をしばっているから、受注業務や生産計画の内容に立入ることはしないが、密接な関係にあるということは当然である。受注の予測は一般にはかなり困難な問題であるが、市場調査や統計データから確率的に何らかの情報が得られることがある。生産ラインの設定は、当初これらの予測をもとに行なわれる。生産ライン設定後は、受注が逆に規制される要因が働くと同時に、受注と生産ラインのギャップを調整するため生産計画が重要な問題になってくる。

現実には、この計画が必ずしも合理的ではないが、それは生産計画の問題として別に研究開発されるものであって、生産ラインを中心とした本研究においては、次のように仮定する。すなわち、対象とする生産ラインの前に連なる受注と生産計画はいちおう別に処理されており、生産ラインには確定した入力指令が投入される。これを前節までの流儀で規定すれば、受注数列 $\text{ord}\{C\}$, [たとえば $\text{ord}\{C\}=(1, 2, 6, 5)$ は、No. 1 の製品, No. 2 の製品, No. 6 の製品, No. 5 の製品の順に注文があったことを示す] と時間間隔の数列 $\text{ord}\{T_i\}$ [たとえば、上の $\text{ord}\{C\}$ に対応して $\text{ord}\{T_i\}=(2.3, 1.8, 4.1,)$ は、No. 1 の製品と No. 2 の製品の受注間隔が 2.3 時間, No. 2 と No. 6 の製品の受注間隔が 1.8 時間, No. 6 と No. 5 の製品の受注間隔が 4.1 時間であることを示している] の二つの数列を入力と考えることにし、これらが生産計画の部分で、調整業務によって再編成され生産ラインに負荷される数列 $\{C\}$ および $\{T_i\}$ の形になり、最終的に確定した生産ラインへの入力になる。前節の例題を引続いて用いることにし、最も簡単な一例を示す。

[Ex] $\text{ord}\{C\}=(1, 2, 1, 1, 2)$

$\text{ord}\{T_i\}=(0, 0, 0, 0)$

が受注入力とすれば、生産計画としては、いろいろの可能性があるが、 $\text{ord}\{C\}$ をそのままにして、この C=1, 2, の $\{F\}$, $\{T\}$ に関する前節の制限を守りながら、F=1, 2, 3, のいずれかに同時に C=1, 2, の 2 製品が「ぶつかり」合うことがない (生産ラインが交わらない) ようにせよ、そしてまた各 F の前で待合せ行列 (queuing) ができない (生産ラインが停滞しない) ようにせよという生産計画の条件を付加す

ると、生産ラインへの確定入力 $\{C\}$, $\{T_i\}$ は次のとおりである。

$$\{C\} = (1, 2, 1, 1, 2)$$

$$\{T_i\} = (2, 1, 1, 2)$$

もし $\text{ord}\{C\}$ にこだわらず、順を自由に入れかえて $\{C\}$ をつくってよいならば、 $\{C\}$ は全部で十とおり可能である。十とおりの $\{C\}$ に対して、上記の生産ラインの交わりと停滞を禁止する条件で以下この例題を利用していくことにする。

上記をまとめて、図示すれば、第1図のとおりである。

3. 生産ラインと工場の状態

一工場内にただ一つの実験ラインが固定し、化学工場のように連続的に生産しているときには、工場の状態は固定的であるが、いくつかの実験ラインがあるときは、工場の状態は動的に変化していく。機械工場の動的な特質を、この状態という観点からとらえてみよう。

前章2において使用した例題によって、「工場の状態」(state)を解説することにする。

[Ex] 1章で与えた生産ラインの内容をもつ例題であって、2章では生産ラインへの確定入力 $\{C\}$, $\{T_i\}$ が、

$$\{C\} = (1, 2, 1, 1, 2), \{T_i\} = (2, 1, 1, 2)$$

であるとした。 $F=1, 2, 3$ に $\{C\}$, $\{T_i\}$ を、1章の $\{F\}$, $\{T\}$ の制限の下で負荷してみると、第1表のようになる。この第1表の意味するところは、時刻(0から)1までは、工場内の $F=1$ に $C=1$ が仕掛かっている、 $F=2, 3$ には何もかかっていなかった。時刻2までは、 $F=2$ に $C=1$ が仕掛かっており、他の F には何もかかっていなかった。以下同様である。各 F がどうであったかということは、 $C=1, 2$, および0の三とおりであるから、全部で 3^3 とおりの組合せがある。しかし、 $C=2$ の $\{F\}$ は、 $F=2$ をふくまないという情報を注意すれば、 $3 \times 2 \times 3$ とおりである。もっとも、 3^3 とおりの中にも、 $3 \times 2 \times 3$ とおりの中にも、 $F=1, 2, 3$ いずれにも $C=0$ がかかっているという無意味な場合がふくまれている。したがって、それぞれ 3^3-1 , $3 \times 2 \times 3-1$ と考えるほうがよい。表の

かこみの右側に示したように、 $F=1, 2, 3$ に対応して仕掛かっている C をすなをに書いた3けたの数字をもって状態と定める。この例では、 $C=0, 1, 2$ であるから、三進法3けたの数字となっている。これを十進法になおしてみると、一番右の列のとおりである。

次に $\text{ord}\{C\}$ にこだわらず、自由に順序を入れかえて $\{C\}$ をつくってみると既述のとおり十とおりあるが、そのおのおのを上述のように生産ラインの F にかけて行き工場の状態を調べつくしてみると下の11個の状態しか出現しない。これは、 (3^3-1) や $(3 \times 2 \times 3-1)$ よりはるかに少ない。ただし、このとき既述のとおり生産ラインの交わりと停滞を禁止している。この禁止と、 $\{F\}$ $\{T\}$ の制限条件のために、可能な状態の数が11個に減少したのであって、これを状態の数の減少化(reducing)と呼ぶことにする。

reducingの後に、第2表右端の列に示すように、新しく状態の呼名を一連番号で与えてしまう。このように、工場の状態を整理しておくことは、状態の数が大きくなったとき、特に重要な問題になる。それは電子計算機の記憶容量の問題のみならず、次節に述べる状態遷移確率行列 P をできるだけコンパクトにする点からもぜひ必要である。さて、この例題の工場の生産ラインが活動しているということは、上記の11の状態のいずれかの状態になっており、時間とともにつぎつぎに状態を移行していることである。したがっ

第 1 表

時刻	F	1	2	3	完成品在庫	状態	十進数状態
1	1	0	0			100	9
2	0	1	0			010	3
3	2	0	1			201	19
4	1	0	2	1		102	11
5	1	1	0	2, 1,		110	12
6	0	1	1	2, 1,		011	4
7	2	0	1	1, 2, 1,		201	19
8	0	0	2	1, 1, 2, 1		002	2
2, 1, 1, 2, 1							

第 2 表

状態 (三進表示)	十進数状態	reducing 後の新しい状態番号
001	1	1
002	2	2
010	3	3
011	4	4
100	9	5
102	11	6
110	12	7
111	13	8
200	18	9
201	19	10
202	20	11

第 1 図

て、この工場の動的挙動を正確に記述するには、状態 (reducing 後の新しい番号によって以下ことわりがない限り表示する) の時系列として表わせばよい。この例題においては、{C} が決定すると、時系列が一意的にきまってしまう。第 3 表に十とおりの {C} 全部に対して時系列を示す。

この表は、工場の状態の推移に関して細部にわたって決定的 (deterministic) に全部を網らしたものであるが、一つの大きな欠点を有している。すなわち、この程度の単純な問題ですら相当数の可能な場合がある。いわんや、{C} が大きくなり {F} {T} が複雑になれば、表の大きさは巨大なものとなるであろう。またこのような簡単な問題では論理的にすべての時系列をつくることが可能であるが、現実の大工場の場合にはとうてい人力のみでは不可能である。電子計算機を使用するとしても、いかなるプログラミングにするか問題である。そこで、これらの難点をさけて実用性を拡大するために、確率的な手法を導入する。

この例題でいえば、{G} の条件から、工場は時間 1 単位当たり常に 3 単位の経費がかかっている。上の状態推移の時系列の表を注意すれば、{C} の 1-3 は時間 7 で終わっているから、そのいずれであっても 21 単位の経費でよい。4-9 の {C} では時間 8 で 24 単位、10 の {C} では、時間 9 で 27 単位かかっている。そこで、金額の上からは {C} の 1, 2, 3 は同等であるから、そのいずれにきめてもよい。すなわち生産計画の方針を「C=1 を 3 個続けるように {C} をつくれ」と定めておけば、{C} が 1 でも 2 でも 3 でもよく、無作為的にきめられる。{C} が 1 であるか、2 であるか、3 であるか全く均等に 1/3 であると考えてよい。他方、十とおりの {C} を全く均等に考えて無作為的にその一とおりを選択するとすれば、平均所要時間は、 $7 \times \frac{3}{10} + 8 \times \frac{6}{10} + 9 \times \frac{1}{10} = 7.8$ であり、期待経費は 23.4 単位になる。前者の生産計画を以下では「optimal policy」(最適政策) と呼び、後者を「random policy」(無作為政策) と呼ぶことにする。両者を経費の点の差からでなく、生産ラインの動き、つまり工場

の状態の推移の立場からながめてみよう。

4. 状態遷移確率行列

状態 i であるとき、次に状態 j に推移する確率を p_{ij} で定義する。状態が $1, 2, \dots, N$ と一般に N 個存在するとき、 p_{ij} を要素とする $N \times N$ の正方行列 P を求めることができる。ここで、各状態とその推移の間に、

$$\sum_{j=1}^N p_{ij} = 1$$

の関係を成立せしめる条件が成立しているものとする。工場の状態の推移に関して、最適政策の場合と、無作為政策の場合について、それぞれ P を与えてみると第 4, 5 表のとおりである。ただし、この際いずれの場合でも継続して {C} が反復、生産ラインにかかるものとしている。つまり最終時間の状態の次は、第 1 時間の 3 個 (optimal) または 10 個 (random) の状態のいずれかへもどると考えている。また、たとえば最適政策のとき、{C} は 1, 2, 3 のいずれであるか不明 (確率 1/3) と考え、ある状態 i の次の状態 j の確率を算出してあるのはもちろんである。

ある時刻において工場がどの状態にあるかに答えるのには、二つの答え方がある。一つは、すべての情報をつめて決定論的 (deterministic) に正確にどの状態と答える方法と、他の一つは、不十分な情報で確率的に答える方法がある。既に指摘したように後者のほうが実用度が高いので、確率的な状態の記述を行な

第 4 表 最適政策の P

0	0	0	0	1/3	0	0	0	2/3	0	0
0	0	0	0	1/3	0	0	0	2/3	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1/3	0	0	0	0	0	0	0	0	2/3	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1/2	0	0	0	0	1/2
0	1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	1/2
0	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0	0	0

第 5 表 無作為政策の P

0	0	0	0	3/5	0	0	0	2/5	0	0
0	0	0	0	3/5	0	0	0	2/5	0	0
1/3	0	0	0	0	0	0	0	0	2/3	0
1/3	0	0	0	0	0	0	0	0	2/3	0
0	0	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0	0
0	0	1/2	0	0	0	1/2	0	0	0	0
0	0	0	2/3	0	0	0	1/3	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	3/4	0	0	0	0	1/4
0	1/4	0	0	0	1/2	0	0	0	0	1/4
0	1/4	0	0	0	3/4	0	0	0	0	0

第 3 表 状態推移の時系列

		時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	{C}											
1	1	1	1	2	2	5	7	8	4	10	11	2
2	2	1	1	1	2	9	11	6	7	8	4	1
3	2	2	1	1	1	9	6	7	8	4	10	2
4	2	1	2	1	1	5	7	4	10	6	3	10
5	1	2	2	1	1	5	7	4	10	11	6	3
6	1	1	2	2	1	5	3	10	11	6	7	4
7	2	1	1	2	1	5	3	10	6	7	4	10
8	1	2	1	1	2	9	6	7	4	10	6	3
9	1	1	2	1	2	9	6	3	10	6	7	4
10	1	2	1	2	1	5	3	10	6	3	10	6

う。状態 i にある確率を $\pi_j (j=1, 2, \dots, N)$ とし $\sum_{j=1}^N \pi_j = 1$ が成立するものとする。すなわち工場の状態は排反事象として生起する。 π_j を要素とする行ベクトル π を状態確率ベクトルという。

生産ラインの特質を表示する法則として、マルコフ過程であると仮定する(すなわち、ある段階における状態遷移確率は、それに先立つ有限個の過去の状態によって決定される)。さしあたり単純マルコフ過程として考察をすすめる。つまり生産ラインの動的挙動の特色を理論的にマルコフ過程でとらえるわけである。 n 段階(時刻)の状態確率ベクトルを $\pi(n)$ であらわせば、 $\pi(n+1) = \pi(n)P$ なる関係式によって定式化される。マルコフの定理に従って、 $n \rightarrow \infty$ の $\pi(n) = \pi_\infty$ は、極限状態確率ベクトルとして存在し、定常状態と考えられる。上記の例題について、 π_∞ を求めると次のとおりである。

最適政策：状態 3 からは出発しない ($\pi_3 = 0$) とする。

$$\pi_\infty = \left(\frac{1}{21}, \frac{2}{21}, 0, \frac{3}{21}, \frac{1}{21}, \frac{2}{21}, \frac{3}{21}, \frac{3}{21}, \frac{2}{21}, \frac{2}{21}, \frac{2}{21} \right)$$

無作為政策：

$$\pi_\infty = \left(\frac{6}{78}, \frac{4}{78}, \frac{9}{78}, \frac{9}{78}, \frac{6}{78}, \frac{12}{78}, \frac{9}{78}, \frac{3}{78}, \frac{4}{78}, \frac{12}{78}, \frac{4}{78} \right)$$

一般に P から π_∞ を計算するには N 元一次連立方程式を解かねばならない。 N が大となれば、電子計算機を利用するのが便利である。

$\pi(n)$ とくに π_∞ は、生産ラインの定常状態の様相を示し、工場の設計上重要な情報である。たとえば、同一の $\{F\} \{T\} \{G\}$ や $\text{ord}\{C\}$, $\text{ord}\{T_1\}$ でも生産管理システムが異なり、最適政策と無作為政策の場合、状態の分布が大幅に変化し、工場もそれに即応しなければならない。

しかし、 P や π_∞ を行列やベクトルの形式で与えて動的生産ラインの指標とするのは不十分である。とくに N が大となると直観的見とおしがきかなくなってしまう。

5. マルコフ過程の情報量と生産ライン

前節までに述べた単純マルコフ過程としての生産ラインを、情報量として一つの量で表示すれば、系がいかに複雑になり N が大となっても無関係であって、実用上便利であるにちがいない。まず、マルコフ過程の情報量は次のように導かれる。

$$\bar{I}_n = - \sum_{i=1}^N \pi_i(n) \sum_{j=1}^N p_{ij} \log p_{ij}$$

$$\bar{I} = - \sum_{i=1}^N \pi_i(\infty) \sum_{j=1}^N p_{ij} \log p_{ij}$$

第2の式は、 $n \rightarrow \infty$ の場合である。 $\log$ の底を通常2とし、 $\bar{I}_n$, $\bar{I}$ の単位をビット (bit) とする。

かくて、生産ラインが情報量によってその動的特性を定量的にビットであらわされる。これはシステムの不確定性の測度であるエントロピに対応するものである。

既に何度も用いてきた例題にもどり、その情報量を求めると

最適政策の場合； $\bar{I} = 0.6793$ (bit)

無作為政策の場合； $\bar{I} = 1.115$ (bit)

したがって、最適政策と無作為政策の情報量の差： $1.115 - 0.679 = 0.436$ (bit) が、両生産ラインの複雑度、または不確定性の差になる。つまり無作為政策の不確定性 1.115 ビットのうちから 0.436 ビットの確定性を除くために 0.436 ビットに相当する適切な規制を系外部から加えれば、最適政策にすることができ。その結果経費は、23.4 単位から 21.0 単位に節約され、10.3%の利益になった。 θ を、利益とそれに要した情報の比とすれば、

$$\theta = \frac{10.3\%}{0.436 \text{ bit}} = 23.6\% / \text{bit}$$

θ は、分母がエントロピに相当するものであり、分子を授受された熱量に見たてるとちょうどその熱移動現象の温度に相当している。もっとも、分子を%でなく絶対金額であらわすことも場合によっては適切かも知れない。

以上主として簡単な例題を中心として説明を試みたが、最終的な結果、 $\bar{I}$ や θ に至るまでに、状態の整理、 P を作ること、利益を算出すること、 π_∞ を求めること、等多くの作業を必要とする。生産ラインが、複雑になると加速度的に作業は困難になる。これを解決するには、大形高速の電子計算機を用いるべきである。

6. Computer simulation

(計算機シミュレーション)

生産ラインの内容が、確率的になったり、生産ラインでいくつかの代替案が可能である場合、 P や経費をいかにするか、この間に答えるのは、電子計算機によるシミュレーションである。そして、モンテカルロ法

の手法を導入して、 P の近似値や、経費の期待値を求めるのである。本論文の目的は、電子計算機コードに詳しく立入ることではないから、以下に概要を述べるにとどめる。

初めに、計算機の記憶装置におさめられる各部分を分類すると次のとおりである。

1. plant part (工場部)
2. ware house part (倉庫部)
3. state record & time record (状態記録と時間記録)
4. cost record (原価記録)
5. P record (P 記録)
6. π_{∞} record (π_{∞} 記録)
7. idle machine & -time record (遊休機械と、その時間記録)
8. technical part (技術部)
9. Monte Carlo part (モンテカルロ部)
10. business part (営業部)
11. production scheduling part (生産計画部)
12. plant general control part (工場一般管理部)

13. incident system (偶発事故システム)
 14. maintenance system (保守システム)
 15. computation of $\bar{I}_n$ & θ ($\bar{I}_n$, θ の計算)
 16. replacement system (更新システム)
- 第 2 図に、basic flow chart を示す。

7. む す び

機械工場の生産ラインを電子計算機でシミュレートした状態、 P 原価を求め、上記の計算式に入れて、 π_{∞} , $\bar{I}_n$, $\bar{I}$, θ の形にまとめることができる。とくに computer simulation の technical part, plant general control part の二つを、適当にシミュレートしようとする対象工場ごとに差しかえるだけで、このコードによって各工場の生産ラインの評価が、理論的に可能である。つまりこの 2 部分はまさに工場の生管組織そのものに対応しているわけである。また、この理論は、いかなる改善策があるかをおしえるものではなく、あくまで判定法にすぎない点に注意しておきたい。

最後に、本研究の御指導を賜っている東京大学菊池教授、渡辺教授両先生へ感謝を表します。

参 考 文 献

本理論に直接参考文献はないが、マルコフ過程、計算機シミュレーション、モンテカルロ法、情報理論、OR などの書籍で本研究の基礎知識として有用と思われる文献を以下に列記する。

- (1) R. Howard, *Dynamic Programing and Markov Process*, (1960), Technology Press & Wiley.
- (2) R. Bellman, *Dynamic Programing*, (1957), Princeton Univ. Press.
- (3) R. Bellman, *Adaptive Control Process (A Guided Tour)*, (1961), Princeton Univ. Press.
- (4) J.L. Doob, *Stochastic Process*, (1953), John Wiley & Sons.
- (5) M.S. Bartlett, *An Introduction to Stochastic Process*, (1955), Cambridge Univ. Press.
- (6) P. Suppes & R.C. Atkinson, *Markov Learning Models for Multiperson Interaction*, (1960), Stanford Univ. Press.
- (7) A.T. Bharucha-Reid, *Elements of the Theory of Markov Process and their Applications*, (1960), McGraw-Hill.
- (8) E.B. Dynkin, *Theory of Markov Process*, (1960), Pergamon Press.
- (9) 寺本, マルコフ過程と力学過程, (昭 36), 槇書店.
- (10) 国沢, 近代確率論 (岩波全書), (昭 26), 岩波書店.
- (11) 伊藤, 確率過程 (岩波講座現代応用数学), (昭 32), 岩波書店.
- (12) 河田, 確率論, (昭 23), 共立出版.

第 2 図

- (13) 伏見, 確率論および統計論, (昭 17), 河出書房.
 (14) ア. ヤ. ヒンチン (森村訳), 待ち合せ理論入門, (昭 35), 広川書店.
 (15) IBM Mathematics and Application Department, M & A-1, *The Job Shop Simulation Application*, (1960).
 (16) IBM, M & A-4, *The Machine Loading Problem*, (1960).
 (17) IBM, M & A-6, *The IBM Taxonomy Application*, (1960).
 (18) 小川, シミュレーションによる発電電系統計画の研究, 海外文献評釈第4号 (昭 35), 電力中央研究所.
 (19) E.D. Cashwell & C.J. Everett, *Monte Carlo Method for Random Walk Problems*, (1959), Pergamon Press.
 (20) H.A. Meyer ed., *Symposium on Monte Carlo Method*, (1954), John Wiley & Sons.
 (21) 中山・宮武, モンテカルロ法, (昭 35), 日刊工業新聞社.
 (22) E.M. Grabbe et al., *Handbook of Automation Computation and Control*, (1958), John Wiley & Sons.
 (23) D.A. Bell (唐津訳), 情報理論とその工学的応用, (昭 29), 丸善.
 (24) ヤグロム (井関・西田訳), 情報理論入門, (昭 32), みすず書房.
 (25) 国沢・ほか, 情報理論, (昭 35), 共立出版.
 (26) 関, 情報理論 (岩波講座現代物理学), (昭 30), 岩波書店.
 (27) 喜安・室賀, 情報理論 (岩波講座現代応用数学), (昭 32), 岩波書店.
 (28) 本多, 情報理論入門, (昭 35), 日刊工業新聞社.
 (29) 国沢, OR のための情報の理論入門, (昭 34), 日本科学技術連盟.
 (30) Operations Research Center, M.I.T., *Notes on Operations Research*, (1959), The Technology Press.
 (31) *Proceedings of the Second International Conference on Operational Research (AIX-EN-PROVENCE)*, (1960), (1961), English Univ. Press.
 (32) American Mathematical Society, *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics, Combinatorial Analysis*, (1960).
 (33) D.P. Eckman ed., *Systems; Research and Design, Case Institute of Technology*, (1961).
 (34) F.M. Bass et al ed., *Mathematical Models and Methods in Marketing*, (1961), Richard D. Irwin.
 (35) E.J. Hannan, *Time Series Analysis*, (1960), John Wiley & Sons.
 (36) D.N. Chorafas, *Statistical Processes and Reliability Engineering*, (1960), D. van Nostrand Co.
 (37) W. Ross Ashby, *Introduction to Cybernetics*, (1956), John Wiley & Sons.

28 巻 187 号 (昭 37-3) 正 誤 表

執筆者名	ページ	欄	行	誤	正
石 井 明	332	第3図(b)		油膜と空どうとの境界線 1' 3' 5' は 1' 3' 5' とする.	
	337	左	下 1	} Jakobson	Jakobsson
	338	右	下 3		
荻野 修作	358	(1) 式		$z_1(\text{inv } \theta_1 + \text{inv } \alpha_{s1}) + \dots$	$z_1(\text{inv } \theta_1 - \text{inv } \alpha_{s1}) + \dots$
	360	右	下 15	0.000 003 01.....	0.000 002 77.....
	〃	〃	下 14	0.000 000 38.....	0.000 000 45.....
	〃	〃	下 11	$B(\alpha) \doteq 0.001\,023\,90$	$B(\alpha) \doteq 0.010\,239\,0$
	361	右	下 2	“前刷”を削除する.	