計算機による縫製工程の研究

(第1報) 縫製工程の計算機シミュレーション

繊維工業試験所[†] 渋谷 惇 夫 (会員)
 " 川 上 達 也
 " 西 川 茂 (会員)

Study on Making-up Process by Digital Computer

Part 1 : Computer Simulation of Making-up Process

Atsuo Shibuya, Tatsuya Kawakami and Shigeru Nishikawa

The Textile Research Institute of Japanese Government,^{††}

Yokohama, Kanagawa-Ken

Abstract

The making-up process is a kind of multi-stage production system. It is important to analyse such a system, but it is difficult to do so by mathematical methods.

This article explains how to simulate the making-up process by digital computer to obtain operation efficiency of the process.

A basic flow chart of the behavior of an operator is given as follows :

where N : State of an operator

N=1 at work

N=0 not at work

R(I) : The amount of work in process at service station I

T : Time for processing a piece of work in process

TT : Total working time

WT(I) : Time standard at service station I

Q : Idle time of an operator

This flow chart is modified under the following conditions :

- (1) The number of stations in the charge of an operator
- (2) Operation process chart of an operator
- (3) The number of routes of work in process to get in the station.

(Received March 19 1969)

[†] 繊維高分子材料研究所と改称 (昭和44年7月)

^{††} present name ; Research Institute for Polymers and Textiles

摘 要

目 的 縫製工程を解析し最適操業の探索を計算機で行なう。本報告では縫製工程のライン バランスの状態を動的に求めるため、計算機シミュレーションのためのアルゴリズムを導き出し、ラインの作業効率を求める。

成 果 基本的な作業員の作業状態を表わすフロー チャートは下図のようになる。

ここで N : 作業員の状態

$N=1$ 作業をしている状態

$N=0$ 作業をしてない状態

$R(I)$: 工程にある仕掛量

T : 1つの仕掛りが工程で処理されている時間

TT : 作業員がいままで作業した時間

$WT(I)$: 1つの仕掛りが処理されるのに要する時間

この基本的なフロー チャートは次の3つの場合により変更をうける。

- (1) 作業員の持っている工程が複数の場合
- (2) 処理する順序が一律でない場合
- (3) 仕掛りが入るルート数が複数の場合

この方法で、各工程での仕掛量 R の変化、作業員の手待ち時間 Q 、作業効率 η を動的に把握できる。(昭和44年3月19日 受理)

1. 緒 言

縫製工程は、工程がいくつも続いている直列型の工程系列を持ち、各工程での作業は、停滞をとまなうロット作業である。

縫製工程が他の生産工程と異なる大きな点は、織布、メリヤス工程などは、大部分は機械の稼働率によって生産性が決まるのに対し、主として人間の作業能率が生産性に大きく影響していることである。たとえば、織布工程では、人間は、糸切れの修理、よこ糸の補給、反上げなど機械が生産するために付随する作業が主であり、生産の大部分は機械が行ってくれる。一方、縫製工程の現状は、全作業に対する人間の処理時間が非常に長い。たとえば、縫製作業では、材料が針にかかっている純ミシン掛け時間は労働時間のうち12.5%、作業員の疲労、個人的な必要からの遅れや機械の故障などによるロスタイムは25%、布をミシンに掛けたり、脱したり、整えたりするハンドリング タイムは62.5%とほとんどが人間

の作業に依存している。極端な言い方をすれば、織布工程などは、機械の補助的手段として人間を用いるのであり、縫製工程では、人間による作業の補助的手段としてミシン、アイロンを用いるといえる。このような場合、生産性を上げるためには、縫製機器の自動化とともに、生産ラインの作業効率を高めることが大切である。この効率を高めるためには、まず、縫製工程の実態を把握しなければならない。従来は、経験や勘にたよることが多かった。そのために、工程及び作業の研究が非常に遅れており、I E技術の導入で十分能率の向上が考えられる要素を含んでいる。紳士服製造の場合、工程研究、時間研究、稼働研究、作業動作研究、工程編成研究などで30%程度の能率向上が期待できるといわれている。

本報告では、縫製工程のラインバランスの状態を、動的に求めるため、計算機シミュレーションから作業効率を求める方法について検討した。

2. 縫製工程の構成

縫製工程は、サービスステーション(工程)が数十と続いている **Multi-Stage** の代表的な工程である。そこで、各々のステーションでの作業員の処理能力、工程の仕掛量、工程分析表、作業配分表がわかれば、基本的なシミュレーションができる。

一般に、縫製工程の生産ラインは、第1図に示すよう

第1図 縫製工程の生産ライン

に、メインラインを中心に、いくつかのサブラインがあり、サブラインはそれぞれメインラインの途中の工程で合流し、1つのラインとなって製品を完成させる。

これらの工程での作業内容は、次の5つに分類できる。

- (1) 普通ミシン系統
- (2) 特殊ミシン系統
- (3) 普通アイロン系統
- (4) 特殊アイロン系統
- (5) その他、検査、糸切りなどの補助的な系統

次に、作業員の行動様式について分類すると、大部分の縫製工場では、1人の作業員が1工程から多くて5工程ぐらゐを受持っている。逆に、作業負荷の大きい工程では、2~3人の作業員で1工程を処理している場合もある。また、1人が複数工程を持っている場合でも、持ち工程すべてを均等に処理するのではなく、一定の比率で処理していることもある。

3. 行動様式のフローチャートの設定

縫製工程の作業内容をさらに細かく分類していくと、要素動作から、さらに最終的分析段階の動素までにな

る。しかし、縫製工程をシステム工学的に記述しようとするもので、もっとマクロ的な取扱いをする。システム工学的アプローチでは、エレメントという概念が重要である。エレメントは、その内部構造を考えずに、入出力の関係がわかればよいという要素である³⁾。このような考えから、作業内容がどのようなものであっても、製品の流れを中心に考えると、作業員の行動内容は、自分の持っている工程の仕掛りから1つもってきて、処理し、それを次の工程へ送り出すことのサイクルである。よって、フローチャートの相異は、作業内容の相異によって決まるのではなく、行動様式によって決まることがわかる。そこで、行動様式の基本となる1人の作業員が1工程を持っている場合の基本構成を示すフローチャートを第2図に示す。

第2図 1人1工程持つ場合の作業状態を表わすフローチャート

図中の記号は、作業員の状態、稼動時間などを示すものである。

N : 作業員の状態 ($N=1$ は作業をしている状態, $N=0$ は作業をしてない状態)

$R(I)$: I の工程にある仕掛量

$R(I+1)$: I の工程で処理が終わった後、送り出し先の工程の仕掛量

T : 1つの仕掛りが工程で処理されている時間

TT : 作業員がいままで作業した時間

$WT(I)$: I の工程で1つの仕掛りが処理されるのに要する時間

Q : 作業員の手待ち時間

第2図に示した基本フローについて説明する。

〔BOX 1〕 N が0(作業してない状態)か、1(作業をしている状態)かを判定し、0、すなわち作業をしてない状態ならば **BOX 2**、作業中ならば **BOX 6**へ行くような判定をする。ここで作業動作が大別される。

BOX6 では、第1番目の工程で作業できないので、第2番目の工程の作業をするように $M=2$ として切換えをする。BOX 19 も全く同じ意味で用いられる。この場合は第2番目の工程から第1番目の工程への切換えである。

〔BOX 15, BOX 28〕 一方の工程の作業が終わったとき、作業員が次にどの工程の処理を行なうかを指定する。BOX 15では、第1番目の工程の作業が終わったので、 M を2にして第2番目の工程の処理を行なうよう指定する。

以上、4種類のBOXを追加することで1人2工程を持っている作業員の行動様式を表現することができる。持ち工程が2工程以上でも基本的なアルゴリズムに変化なく、第2図の基本フローが並列に追加され、上記の4種類のBOXを付加することで表現できる。第3図の表現では、仕掛りは順序よく交互に処理されている。次に処理が交互ではなく一定の比率で行なわれているときの表現方法を考える。

4.2 各工程を一定の比率で作業する場合の表現法

仕掛りの処理方法は、一般には、均等に各工程を順々に処理している。しかし、工程編成上持っている工程をすべて等しく処理しないで、一定の比率で処理しなければならない場合がある。このときは、各工程で処理した回数を記憶させておき、あらかじめ設定しておいた比率に達したら工程を切換えるようなフローを入れることで処理できる。

第4図の記号を次のように定める。

$A, B, \dots$ 処理を行なうときの比の値

$m_1, m_2, \dots$ 工程で処理した回数の記憶

第4図は、1人2工程を持っているとき、工程間の比を $P(P=A/B)$ としたときの工程切換部のフローチャートである。このフローは第3図のBOX 15, BOX 28にそれぞれ第4図①, ②を入れられる。これは、一方の工程の処理回数が A に達したら、もう一方の工程へ切換え

第4図 工程切換え方法（1定比率の場合）

を行ない、ここで B 回処理されたら、工程が切換えられる。この動作を続けていくと、工程間の処理回数の比は A/B になる。持ち工程数が2より多い場合も、処理が終わったときに入るルーチンにある工程切換を第4図にあるフローで行ない、比の値をそれぞれ $A, B, C, \dots$ とすることで $A:B:C, \dots$ の比率で処理されることになる。

4.3 仕掛りが入る様式の表現法

ある1つの工程に入る仕掛りの入り方は、1つの仕掛りをもって処理したり、2つ以上のルートから異なった種類の仕掛りを1つずつもってきて処理したり、入り方の様式はいろいろな型がある。

複数のルートから入ってくるとき、その工程で処理できるかどうかは、工程に入るすべてのルートの仕掛量が0であってはならないことから判定する。もし1つのルートの仕掛量が0であっても、処理すべき部品がそろわないことになる。よって計算機でその工程が処理できるかどうかの判定は、工程に入るすべてのルートの仕掛量の積が0かどうかで判定する。(1)式のととき、この工程では作業できない。

$$\prod_{i=1}^n R_{ij} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

n : 工程に入る仕掛りルート数

複数の工程を持っているとき、作業員が手待ちになる状態は、工程別に仕掛量の積をとり、その和が0になるときである。(2)式のととき手待ちになる

$$\prod_{j=1}^{n_1} R_{1j} + \prod_{j=1}^{n_2} R_{2j} + \dots + \prod_{j=1}^{n_i} R_{ij} = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

n_i : 各々の工程に入る仕掛りルート数

($i=1, 2, \dots$ 持ち工程数まで)

ここで、ある作業員の受持ち工程数を k 、その工程中で仕掛りが入るルート数の最大のものを n とすると、作業員が手待ちになるかどうかは(3)式で与えられる。

$$\sum_{i=1}^k \prod_{j=1}^n R_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{手待ちになる} \\ \text{non zero} & \text{作業できる} \end{cases} \quad (3)$$

ただし、各々の工程に入る仕掛りのルート数 n_i は与えられていて、 $j > n_i$ のとき $R_{ij} = 1$ とする。

以上、仕掛りが入る様式の変化によるフローチャートでの表現は、第3図を利用するとBOX 3, BOX 17に

$$\sum_{j=1}^k \prod_{i=1}^n R_{ij} = 0 \text{ or } \neq 0 \quad \text{ただし } j > n_i \text{ } R_{ij} = 1$$

が入り、BOX 4, BOX 18にそれぞれ

$$\prod_{j=1}^{n_1} R_{1j} \text{ および } \prod_{j=1}^{n_2} R_{2j} = 0 \text{ or } \neq 0$$

が入る。1人2工程の場合、 $k=2$ になる。また n_1, n_2 については工程分析表から、その工程に入ってくるルート数でできる。

本節では作業様式のいろいろなケースについてフローチャートでの表現方法を検討した。縫製工程全体を表わ

すには、これら各作業員の行動様式を表わしたフローチャートをつなげて完成させる。実際計算機を用いて、作業状態、効率などを求めるためには、タイミングルーチン、プリントアウトルーチンを加え、初期条件を与えることから求められる。^{注1)}

5. 工程への応用

以上の方法で実際の縫製工程に利用して作業効率、仕掛量、生産量などを求めてみた。

第5図は対象とした縫製工程の概要である。実際の工

第5図 工程の概要

程数は約65程度であるが、サブラインでシステム全体として影響の少ない工程を削除して、メインライン19工程、サブライン33工程としてモデルを作成した。したがって作業員も33名で行なっているものとした。

第5図で、ラインAがメインラインで、サブラインB,C,D,E,Fがそれぞれメインラインの途中の工程に接続している。図でメインラインとサブラインの合流点をそれぞれa,b,c,d,eとした。

作業員の工程の持ち方は、多い人で4工程持っている作業員もいるが、大部分は1工程か2工程である。この工程では平均1人1.6工程であった。複数の工程を持っている場合、メインライン中の工程とサブライン中の工程の両方を持っている作業員もあれば、1つのライン中で連続して持ったり、とびとびに持ったりして、行動様式は作業の段取り、ピッチタイムの関連を中心に編成される。第1表に作業員の作業配分と各工程で1unitの仕掛りを処理するのに要する時間を示しておく。

仕掛りの流し方は、ある単位数量処理したら、これを1unitの仕掛量として次の工程へ流すシステムをとっている。

作業開始時における各々の工程での仕掛量は平均5unitsで行なっている。

部品の投入は66units timeごとに投入されるものとした。これは作業員1が持っている工程A1, B1の作業時間に合わせたもので工程のピッチタイムに相当する。(ただしE13の工程に入る部品は69units timeごとに投入されるものとした。これはE13の工程の前の工程を省略したためである。)

5.1 実験結果

第6図はこのラインの作業効率 η を求めたものである。作業効率は、作業時間(実働時間+手待ち時間)に対する実働時間の割合とした。実線は初期仕掛量5units

第1表 作業配分表

作業 者名	持っている 工 程 名	処理に要する 時 間	作業 者名	持っている 工 程 名	処理に要する 時 間	作業 者名	持っている 工 程 名	処理に要する 時 間
1	A1, B1	33.0, 33.0	12	A15	90.0	23	E3	180.0
2	A2, B2, B3	10.5, 30.0, 10.5	13	A16	97.4	24	E3	180.0
3	A6, A4	68.0, 10.5	14	A17, A18	75.0, 75.0	25	{E6, E10, E11, E12	{36.0, 15.0, 18.0, 15.0
4	A3, A5	19.5, 42.3	15	C1, C3	51.5, 19.5	26	E7, E13	52.5, 15.0
5	A7, D3	55.5, 19.5	16	C2, C4	45.0, 55.5	27	E8	90.0
6	A8, B4, C6, D4	{24.0, 22.0, 10.0, 35.0	17	D1	108.0	28	F5, F6, E4	18.0, 32.7, 36.0
7	A9, C5	31.6, 31.6	18	D2	143.3	29	F4	75.0
8	A10, A11	51.5, 45.0	19	D2	143.3	30	F3	51.5
9	A12	78.3	20	E1	69.0	31	F2	51.5
10	A13	85.7	21	E2	45.0	32	F1	68.0
11	A14, E9	52.5, 18.0	22	E3	180.0	33	A19	51.0

(時間の単位は unit time で 1unit time 10sec, 処理時間のデータは1部修正してある。)

第6図 作業効率の変化

で効率を求めたものである。最初の1時間はラインバランスがとれなくても仕掛量があるために手待ちは妨げるが、だんだん手待ちの機会が増加し、各所にアンバランスの影響が出てくるので徐々に効率は低下し、8時間は93.5%, 16時間目91.5%, 20時間目91.1%とほぼ定常になる。点線は初期仕掛量3 unitsとして求めたものである。アンバランスの影響は、仕掛量が少ないもので45分頃から生ずる。全体としての曲線は5 unitsの曲線を左にずらした形であるが、手待ちになる機会が各工程で急におこるので初めに低下し始めるところの勾配は5 unitsのときより急である。8時間目の効率は91.6%になった。

第7図は生産量を求めたもので、8時間目でそれぞれ28 units と 25 units である。

第8図はメインラインとサブラインの合流点を受持っている作業員について、仕掛量、手待ち時間の変化を調べたものである。合流点 *a, b, c, d, e* を持っている作業員名は第1表で7, 8, 9, 11, 13に相当する。

第8-1図で、*a*点に入るサブライン *B*とメインライン *A*とは仕掛量の変化は同じような傾向を示している。両ラインは均衡していることがわかる。一般に2

第7図 生産量の変化

第8-1図 a 工程を持つ作業員の作業状態

第8-2図 b 工程を持つ作業員の作業状態

第8-3図 c 工程を持つ作業員の作業状態

第8-4図 d 工程を持つ作業員の作業状態

第8-5図 e 工程を持つ作業員の作業状態

つ以上のルートから仕掛けをもってきて処理するとき、
両ルートから入る仕掛量の変化が同じような傾向のときは、
バランスがとれている。しかし、バランスのとれた
状態でもライン全体のピッチタイムより遅いとき、仕掛
量は増大し、速いときは減少する。それぞれの合流点を
分類すると

- (1) メインラインとサブラインのバランスが
とれている……………*a, d, e*
- (2) メインラインがサブラインの流れより速い ……*c*
- (3) メインラインがサブラインの流れより遅い ……*b*

になる。これは合流点から見た現象を分類したもので、
ライン全体のバランスではない。

手待ちの生ずるのは *a, c, d* である。 *a, d* の場合は仕
掛けが両ラインともなくなった状態で手待ちとなる。 *C*
の場合はメインラインに仕掛けがなくなったために生じ
たものである。

第9図は各ライン *A, B, C, D, E, F* について、時間ごと
に、工程の順序にしたがって仕掛量を表わしたものであ
る。各ラインとも時間が経過するにしたがい工程間の変
動は大きくなる。ただ第9—E図で1時間目から5時間
目の間で仕掛量の調節作用が1部の工程であるのが注目
される。図中×印は他のラインから入ってくる仕掛量
で、メインラインの工程列（第9—A図）で6,7,9,11,13
はそれぞれ *a, b, c, d, e* の工程に相当する。サブラインの
工程列の終りはメインラインに合流するから、それぞれ
a, b, c, d, e になる。

第9-A図 メインラインAの仕掛け量の変動
(第5図のA3, A4, A5の工程は省略してある)

以上、実際の工程に応用した例について述べた。こ
こではシミュレーションの手法を中心に考えたので、細か
い解析は行なわず現象の記述にとどめた。また、実際に
は、作業者の能率も一定でなく、季節、習熟度、時間に

第9-B図 サブラインBの仕掛け
量の変動

第9-C図 サブラインCの仕掛け
量の変動

第9-D図 サブラインDの仕掛け
量の変動

第9-E図 サブラインEの仕掛り量の変動

よっても変化し、仕掛りが多くなれば作業が速くなるなどというような工程調節能力も持っている。しかし、ここでは不確定的シミュレーションモデルとしてでなく、^{注2)} 確定的シミュレーションモデルとして取り扱った。不確定的シミュレーションモデルに切り換えることは困難なことではない。

6. 結 言

縫製工程の計算機シミュレーションの方法とシミュレーションから得られる仕掛量、作業効率などを動的に把握する方法について説明した。

基本的な作業者の作業状態を表わすフローチャートは第2図になる。そしてフローチャートの形成は次の3つの条件で修正される。

- (1) 複数の工程を持っている場合
- (2) 複数の持ち工程で、各工程を一定の比率で作業する場合
- (3) 仕掛りが入るルートが複数の場合

この方法を利用することにより、従来計数化しにくいラインバランスの動的把握が可能になった。しかし、この方法では、作業状態の取り扱いをマクロ的にしたので、ミシンの回転数を上げたら、ラインにどう影響するかというようなもっと細かい状態を把握する方法について目下検討中である。また、このような方法で、ケースバイケースにプログラミングすることは時間もかかり使用しづらい面がある。そこで、非常に簡単な表現で、工程の状態を表わし得るような方法があれば便利である。この

第9-F図 サブラインFの仕掛り量の変動

方法（プログラム言語）については次報で報告する。

なお、本研究の1部は昭和42年5月の本会年次大会研究発表会で発表した。

おわりに、本研究に際し、御協力いただいたアルプスシャツ(株)、および長野県繊維工業試験場の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) スタンレイ・J・ケイプリン；縫製講座，1, 2, 16(1968)
- 2) 通商産業省繊維雑貨用繊維製品課編；衣料縫製品製造業実態報告書，117(1966)
- 3) 大川善邦；機械の研究，20, 1, 209(1968)

補 遺

注1) 初期条件，タイミングルーチンについて

シミュレーションするとき、作業員の動作を表わすフローの他に、初期条件、裁断部門から縫製部門へ部品が投入されるルーチン、タイミングルーチン、プリントルーチンを加えなければならない。

初期条件は、計算を始めるときの工程の状態を表わすもので、各工程に仕掛りがどのくらいあるか、作業員はどのような状態から作業を開始するかをあらかじめ決めておくことをいう。

部品投入ルーチンは裁断部門から縫製部門へ部品が送られてくる様子を表わす。このルーチンがないと裁断部門から部品が流れなくなるので、初期仕掛量以上の処理はできなくなる。このシミュレーションでは裁断部門から一定時間ごとに投入されるものとして計算している。

タイミングルーチンには一定の時間隔で系の状態を追う方法と状態の変化する時点のみ追う方法の2つがある。ここでは一定時間隔で追う方式をとった。

注2) 不確定的シミュレーションモデルについて

ある問題を解くとき、まず問題を分析、解析し、数式化して解くのが基本的な方法である。しかしその中に不確定要素を含

んでいると、現象をすべて数式化することはほとんど不可能である。このようなときモンテカルロ法が有効な手段となる。

縫製工程でも、処理時間一定、行動様式も一定であるような場合、計算は複雑であるが、系を解析するにはそう困難なことではない。このようなとき作業能力は仕掛りの到着速度に等しいか、それ以上ならば、工程で仕掛りが増大してネックになることはない。（ただし、工程の流れが1つのときは簡単に見出せるが、流れが複雑で、作業員がメインラインとサブラインなどいくつかの工程を持っている場合、筆算ではむづかしい。）この報告では、基本的なモデルの作成と縫製工程の作業効率を求めることを目的としたので確定的モデルとした。

縫製工程で作業員の作業状態のモデルを不確定要素を含んだモデルで表わすには

- ① 1つの仕掛りを処理するのに要する時間は、機械の故障、糸切れ、糸補給などの要素を考慮すると、処理時間はある分布をもったものになる。その分布の状態。
- ② 工程の処理方法も順序よく行なわないで2回つづけてから他の工程へ移ったり、3回つづけてから移ったりする場合が考えられる。その移る状態。
- ③ 裁断部門から縫製部門へ部品が入ってくる頻度およびその量

第10図 ばらつきを持つ作業時間の決定

の少なくとも3つが必要になる。作業員のモデルをフローチャートで表わしてみる

①の場合

第3図のBOX 4の後に、その工程での作業処理時間のばらつきと同じ分布をもつ乱数から次に処理すべき仕掛りの処理時間を決めるBOXが入る。第4図ではBOX 7, BOX 20の後に入る。第10図がフローチャートである。

②の場合

一例として次のようなフローが考えられる。（第11図）まず乱

第11図 工程切換方法

数を発生させ、乱数により工程を切り換えさせる。たとえば、1人2工程を持つとき、全体としては1:1の割合で工程を処理しているが、処理の方法は交互でなく連続して同一工程を行なうこともあるような場合、まず一様乱数を発生させ、その乱数が0~4のとき1の工程、5~9のとき2の工程を行なうようにしておけばよい。