

# グループ・テクノロジーを活用した 組立セル生産方式の編成に関する研究

三 浦 達 司

## A study on design of cell production system for assembly process utilizing group technology

Tatsushi MIURA

### Summary

The current diversification of customer needs has enabled the manufacturing industry in our country to move into the age to produce a variety of products in variable quantities in consequence of shorter life cycles of products. Thus, conventional mass conveyor production system has been difficult to continue and the production centers are about to relocate to overseas due to some problems including labor costs.

Meanwhile, companies in our country are about to shift to a business structure to introduce advanced-development strategies and they need to consider changes in production system when they manufacture or assemble new products. Consequently, they aim to make a transition from conveyor production system to cell production system not only in manufacturing process but also in assembly process.

However, the original benefits of cell production system can not be enjoyed if the cells are structured only by randomly sectioning conventional conveyor lines into several portions.

This study reveals problems and achievements when companies introduce cell production systems and organize cell production system in the process design phase by focusing on process partition.

### 要 旨

現在、我が国の製造業では顧客のニーズが多様化したことにより、製品のライフサイクルの短期化に共なって変種変量生産の時代に入った。従って、従来のコンベアによる量産体制が困難になり、人件費等の問題で海外に生産地が移転しつつある。

これに対し我が国の企業は、開発先行型の企業体質に変化しており、新製品を加工・組立てる場合、生産システムの変更を考慮する必要がある。そのため加工工程だけでなく組立工程においても、コンベア生産からセル生産システムへの転換を図っている。

しかし、セル生産を導入するに当たって、ただ単に従来のコンベアラインを適当に区切ってセルを構成しただけでは、セル生産本来のメリットを享受できない。

従って本研究では、企業のセル生産システム導入時における問題点と成果を明らかにした上で、工程設計の段階で、工程の分割に着目して組立工程におけるセル生産方式の編成を行うものである。

## 1 はじめに

近年、我が国においては、物が溢れ製品を作れば売れる時代から、顧客のニーズに柔軟に対応しなければ売れない状況にある。

従って、生産現場においては、製品のライフサイクルの短期化に備える多品種少量生産に耐える体制を整える必要が生じている。

人件費の安い海外にその生産拠点を移していく傾向がみうけられ、従来のコンベアによる生産システムは困難になっている。

しかし、我が国の製造業の生き残りとして、開発先行型の企業体質に変化させ、その為の生産システムも従来のコンベアラインよりも効率の良いセル生産システムへの移行が考えられる。

以上の観点より本研究では、企業のセル生産導入時における実態を調査し、問題点と成果を明らかにした上で、工程設計の段階で、工程の分割に着目して組立工程におけるセルの編成方式の設計を試行するものである。

## 2 研究の過程

今日、経済の発展、及びニーズの多様化にともない、ロットの大きさが中量以下の、多品種少量生産が生産領域の大半を占めている現状がある。

多品種少量生産においては、一般に、設計、生産準備、調達活動、段取替え等を当該計画毎に行わなくてはならず、生産性の低下が問題となっている。

そこで、組織的な方法で類似部品を集約して、あたかも一回の生産において、ロット当りの生産量を増大したのと同じ効果を上げようとするGT（グループ・テクノロジー）方式は、生産性を向上させる有効な手段と考えることができる。

GT方式を活用した加工工程におけるセル生産システムの設計について、プロダクト型の工程編成方式については、すでに報告した（高崎経済大学附属産業研究紀要、第41巻第2号参照）。

従って、本研究では、組立工程における企業のセル生産導入時の問題点、改善策、成果を明らかにしてセル生産のもたらす効果を従来のコンベア生産ラインと比較する。

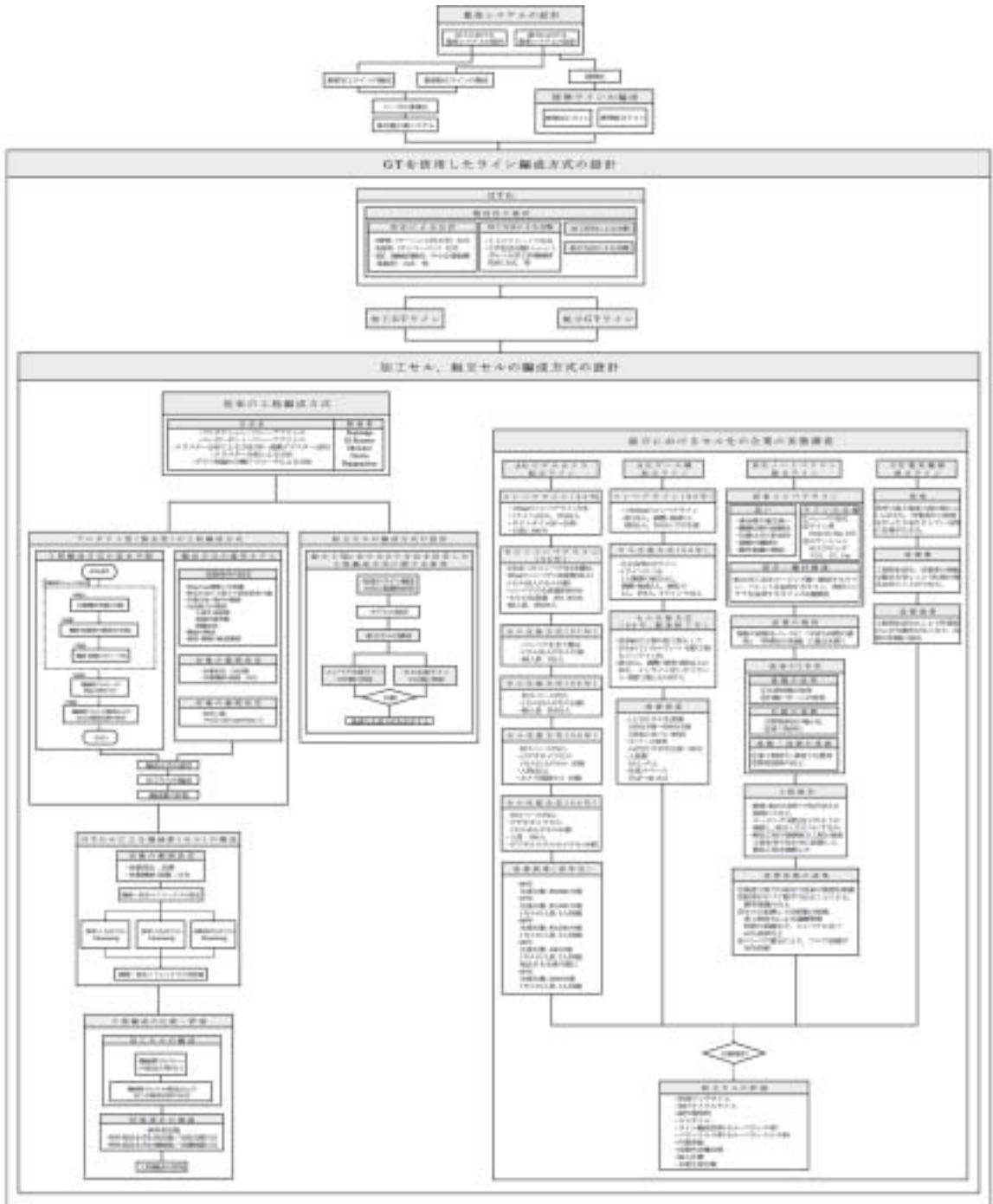
ここでは、組立キット・デルタックスのフォークリフトをモデルとし、実際に組立て、種々のラインバランスの技法を適用した結果、最も有効であった位置重みづけ法によるコンベアラインの編成を行い、さらにそれをセル化するため、例えば8工程を4セル（1人2工程持ち）、2セル（1人4工程持ち）のように分割する。その後も9工程を3セル（1人3工程持ち）のように工程を分割し、ヒューリスティック・アプローチによりセルを編成していく。

そこで得られた結果を基に、従来のコンベア生産ラインと、セル生産ラインの比較・評価を行い、最適なライン編成方式を決定する。

加工工程、並びに組立工程に関する工程編成の関係について概要図に示すと、図表2-1の

ようになり、さらに組立ラインの工程編成に関する工程編成について示すと、図表2-2のようになるが、前述のとおり加工工程におけるセル生産システムについては、すでに報告したのでここでは組立工程について以下述べる。

図表2-1 グループ・テクノロジーを活用したセル生産方式の編成手順の概要





### 3 従来のライン編成に関する基礎的研究

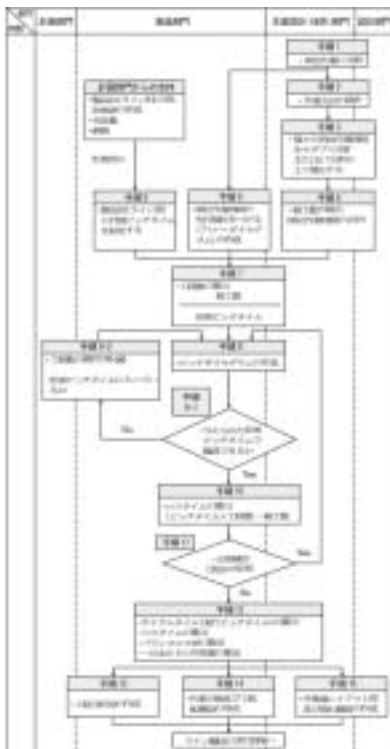
#### 3-1 ライン編成に必要な情報とその準備活動

一般に、長期利益計画、開発計画、販売計画等から、各種年間計画が立案されるが、ここでは年間計画に基づいて、以下のライン編成に必要な準備活動を行う。これを基にライン・バランシングを行う。

- (1)年間利益計画に基づき、販売部門から年間販売計画が示され、それを基に生産部門では年間生産計画を立案し、製品別に各々月次生産計画を立て、月間生産量を設定する。
- (2)設計部門で製品設計が行われ、具体的な図面と仕様書等の情報の提供に基づき月産生産量の情報を基に、メイン・ラインの本数とそのラインでの生産品目を決定する。
- (3)必要に応じて、メイン・ラインに種々の部品やユニット部品を供給するサブ・ラインの検討をする。
- (4)設計部門からの情報に基づいて人による作業か、機械作業かを決定する。
- (5)治具・工具・取付け具等のリストと使用機械、設備リストを作成する。
- (6)④、⑤を基に製作図面（加工・組立図）を作成する。これにより、作業者が加工・組立を行う際、解り易く、見やすい図面に置き換えることができる。

また、ライン編成を行うに当たり、ラインのメンバに公平、且つ効率よく仕事を割り当てることが重要である。以下その手順をフローチャートで示し、主な手順を具体的に解説する。

図表 3-1 計画段階でのライン編成手順のフローチャート



手順1：単位作業に分割する。

各々の単位作業について、作業の手順を決め、そこで使用される治具・工具等も決める必要がある。同時に、部品の配置や、治具・工具などの配置も決める。

手順4、6：総工数の算出、並びに優先順位を決定する。

単位作業の時間値が設定されたら、各々の単位作業の時間値を合計して、総工数を算出し、同時に単位作業の優先順位を明らかにする。

手順5：ピッチタイムを設定する。

ピッチタイムをP、日産台数をQ、1日当りの稼働時間をTとすると、 $P = T / Q$ となる。

手順7：工程数を算出する。

・求め方  $N \geq WP$

(ただしNはW/Pより小さくない整数)

N：工程数 P：ピッチタイム W：総工程数

手順8：山崩し作業を行う。

・初めに計画されたピッチタイム内に入るかを検討する。  
入らなければ工定数を増やすか、山崩しを行う。

手順12：ライン編成効率を算出する。

C：サイクルタイム  $C = (S / N \times P) \times 100$

L：バランスロス率 S：ロスタイム

N：工程数 P：ピッチタイム

暫定的なライン編成ができたなら、実際にラインを設定し、稼働させ、不具合を見だし改善する。その手順を以下示す。

- ①ネック工程を探す…一般に、作業時間が一番大きい工程がネック工程となる。
- ②ネック工程を改善する…まず、すぐに実行できる改善から着手し、時間のかかるものは費用・効果を検討して実行する必要がある。一般に、動作レベル→作業方法→設備の改善の順で行う。
- ③種々のライン・バランスの技法を活用し、山崩しを再度試みる。  
ここで、山崩しの方法として以下の手法がある。
  - a) 位置重みづけ法（工程数が与えられた場合、ピッチタイムが与えられた場合）
  - b) 逆位置重みづけ法（工程数が与えられた場合、ピッチタイムが与えられた場合）
  - c) 列挙消去法
  - d) 段階順位付け法

### 3-2 モダプツ法によるライン編成の仕方

一般に、作業者は無意識のうちに、前後の作業や、ラインのスピードに合わせて、作業をするものである。従って、ストップウォッチや、ビデオによるタイマーなどで、本当の正味時間を実測することはレイティングの問題等があり困難が生じる。従って、ストップウォッチによる実測値をもとにして工程編成をすると効率の面から良い編成ができないことがある。

モダプツ法を用いて分析すると、客観的に本当の正味時間が把握できるため、理論的に効率の良いライン編成をすることができる。理論をベース(消費エネルギー最小)にしているので、現場で起こる種々の問題に対して現場の人にも理解をして活用される。

モダプツ法の利点を活かして、次の点を考慮してライン編成をするとより効率的なラインを設計することができる。

- (1) まず理論上最も効率のよい編成を考える。
- (2) ネック工程を徹底的にモダプツ法で改善する。
- (3) ①, ②を繰り返して最良のライン編成効率の工程を編成する。
- (4) 作業者の能力・適正を考慮し、最適と人員配置を行う。
- (5) 現状をビデオや、ストップウォッチで実測し、理論値と比較してさらに次の改善に役立つ。

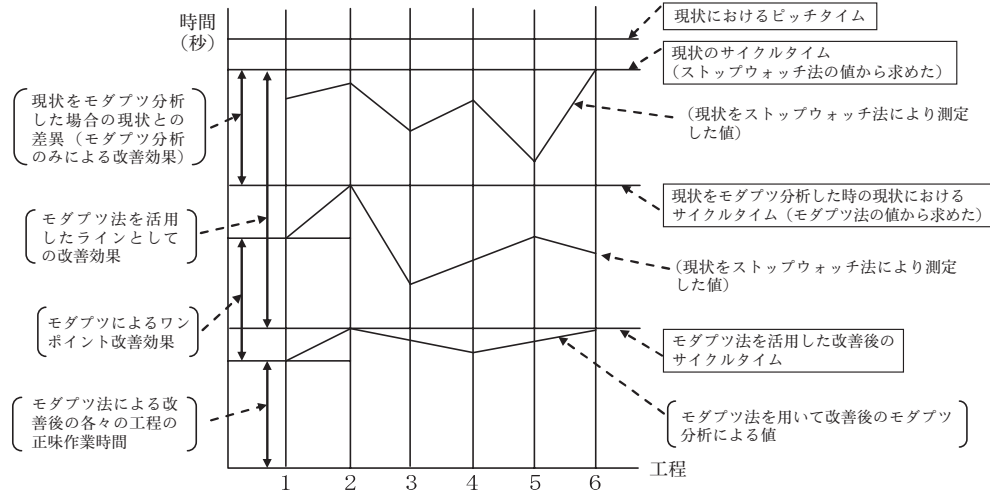
以上のことを考慮すれば、経験をベースにして、自然と改善活動のレベルアップをしていくことができる。

このように理論を実務に結びつけ、活用していくことがモダプツ法によるライン編成の狙いであり特長でもある。

実測値とモダプツ法による現状分析、並びにモダプツ法による改善効果の概念図を表すと図表3-2のようになる。

次章からはこれらをもとにして、まずフォークリフトをモデルにしてコンベアのライン編成を行う。

図表 3-2 実測値とモダプツ法による現状分析並びにモダプツ法による改善効果の概念図



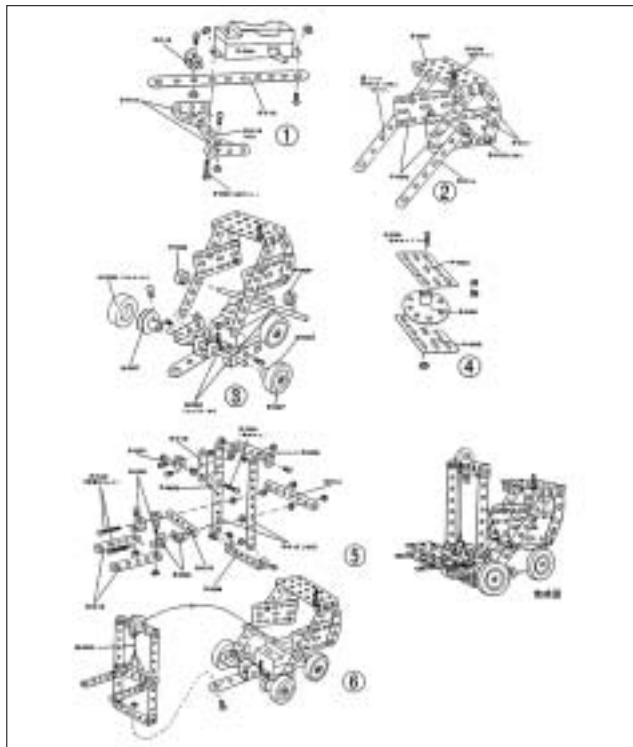
(注) 各サイクルタイムは正味時間で求めているので、実際に活用する場合は得られたサイクルタイムにその職場における余裕率を加えた値で活用すること。(例えば10%)

#### 4 設計部門からの組立図を基にしコンペアを活用したラインの編成

##### 4-1 フォークリフトをモデルとした組立ラインの編成

設計部門から提出されたフォークリフトの組立設計図は、図表 4-1 のようになる。

図表 4-1 フォークリフトの組立設計図



<手順1> 単位作業に分割する。

図表4-2 単位作業分割表

図面上の仮の工程	単位作業（ユニット）	
①	U1	U1を組み立てる
	U2	〃
	U3	〃
	U4	〃
②	U5	〃
	U6	〃
	U7	〃
	U8	〃
	U9	〃
	U10	〃
③	U11	〃
	U12	〃
	U13	〃
	U14	〃
	U15	〃
	U16	〃
④	U17	〃
	U18	〃
	U19	〃
⑤	U20	〃
	U21	〃
	U22	〃
⑥	U23	〃
	U24	〃

U1	S-016とS-010を組み付ける
U2	E-004とA-013を組み付ける
U3	U1とU2を組み付ける
U4	U3とS-019を組み付ける
U5	S-002とS-034を組み付ける
U6	U5とS-011を組み付ける×4
U7	U6とS-015を組み付ける
U8	U7とS-013を組み付ける
U9	U8のS-011とP-002を組み付ける
U10	U9のS-013とP-002を組み付ける
U11	U10とS-014を組み付ける
U12	S-027とS-035とM-005を組み付ける×4
U13	U4とU12を組み付ける
U14	U11とS-024とP009を組み付ける
U15	U13とU14を組み付ける
U16	U15とS-024とU12を組み付ける
U17	S-029とP-002（×2）を組み付ける
U18	S-013（×2）とS-006を組み付ける
U19	S-015とS-020を組み付ける（×2）
U20	U19（×2）とS-029（×2）とS-015とS-014を組み付ける
U21	S-006とS-016とS-020とP-008を組み付ける
U22	U18とU20とU21を組み付ける
U23	U16とU22にM-003を組み付ける
U24	U16とU23を組み付ける

<手順2> 個々の単位作業時間をモダプツ分析又はST資料により算出する。

（今回はモダプツ分析により算出）

図表4-3 単位作業分割表

仮の工程	単位作業	単位作業の時間値(MOD)	工程ごとの時間値(MOD)	工程ごとの時間値(MOD)
①	U1	191	442	57.018
	U2	86		
	U3	84		
	U4	81		
②	U5	86	672	85.688
	U6	166		
	U7	83		
	U8	83		
	U9	83		
	U10	83		
③	U11	88	663	85.527
	U12	133		
	U13	54		
	U14	132		
	U15	224		
	U16	120		
④	U17	93	93	11.997
	U18	194		
	U19	191		
	U20	335		
	U21	224		
⑤	U22	231	1175	151.575
	U23	66		
	U24	78		
Σ		3189	3189	411.381

<手順3> 総工数を算出する。

図表4-3より総工数を求める。

$$\sum_{U=1}^{24} W = 3189(\text{MOD}) = 411.381(\text{秒})$$

W：そのラインにおける当該製品にかかる総工数

<手順4> 組立作業手順を設定する。

図表4-4 U1の組立作業手順の例



<手順5> ピッチタイムを設定する。

生産計画より月産台数8665/月が与えられたとする。

（3%の不良率を考慮すると8925台/月となる）

1日当りの生産台数は、357台/日となる。

（稼働時間は月当り25日、1日当り7.5時間とする）

計画ピッチタイムを求める。

$$\begin{aligned} \text{計画ピッチタイム} &= \frac{\text{1日当りの稼働時間}}{\text{日産台数}} \\ &= \frac{7.5\text{時間}}{357\text{台/日}} \\ &= \frac{7.5 \times 60 \times 60 (\text{秒})}{357 (\text{秒})} \\ &= 75.7\text{秒} (586.8\text{MOD}) \\ &\quad (\text{余裕率}10\% \text{含を含む}) \end{aligned}$$

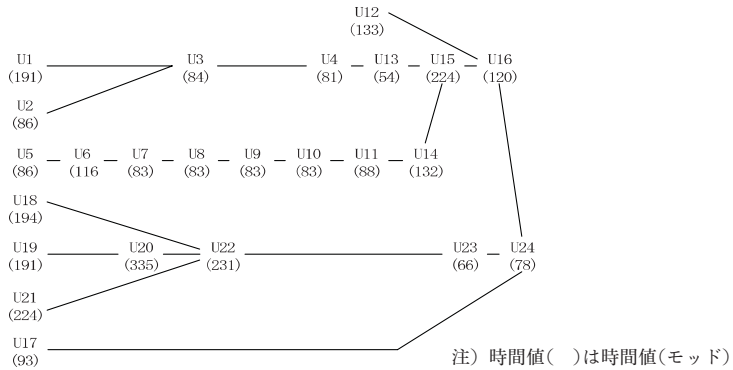
<手順6-1> 直接先行作業との関係一覧表を作成する。

図表4-5 直接先行作業関係表

単位作業	位置重み値	直接先行作業
U1	191	特になし
U2	86	特になし
U3	84	U1, U2
U4	81	U3
U5	86	特になし
U6	166	U5
U7	83	U6
U8	83	U7
U9	83	U8
U10	83	U9
U11	88	U10
U12	133	特になし
U13	54	U4, U12
U14	132	U11
U15	224	U13, U14
U16	120	U12, U15
U17	93	特になし（荷物）
U18	194	特になし
U19	191	特になし
U20	335	U19
U21	224	特になし
U22	231	U18, U20, U21
U23	66	U22
U24	78	U16, U23
計	3189	

<手順6-2> 単位作業時間の先行順位をつける。

図表4-6 アロー・ダイアグラム



<手順7> 生産計画より求められた計画ピッチタイム587MOD(75.7秒)から余裕率(10%)を除く。

(ライン編成は正味時間で行う為、余裕率は編成後与えることとする)

従って、計画ピッチタイムは、 $587\text{MOD} \div 1.1 = 533.6$

$$\approx 534 \text{ MOD}$$

工程数を算出する。

$$\text{工程数 (N)} = \frac{\text{総工数}}{\text{計画ピッチタイム}} = \frac{W}{P} = \frac{3189 \text{ MOD}}{534 \text{ MOD}} = 5.971\dots$$

$$\approx 6 \text{ (工程)}$$

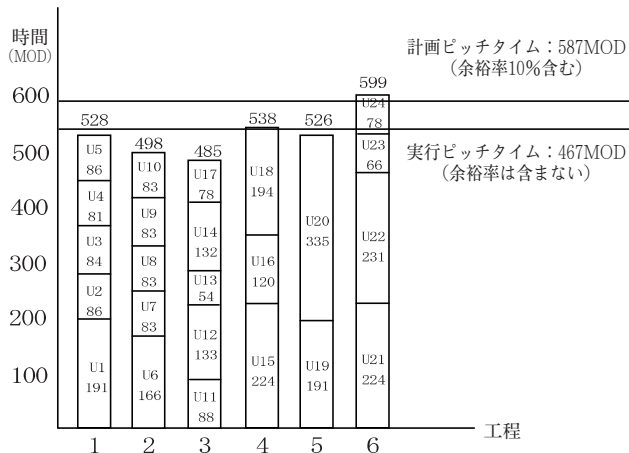
ただし、Nは  $\frac{W}{P}$  より小さくない整数とする。

N : 工程数      P : 計画ピッチ・ダイアグラム      W : 総工数

<手順8> ピッチ・ダイアグラムを作成する。

(単位作業時間の先行関係を考慮し、ユニット1から順次山積みを行う)

図表4-7 ピッチ・ダイアグラム(1)



<手順9-1> 与えられた計画ピッチタイムで編成できるか、ピッチ・ダイヤグラムを見てチェックする。

手順7でピッチ・ダイヤグラムを作成した結果、計画ピッチタイムは534MODであり、その時の工程数は6工程で編成することになっているが、手順7のピッチ・ダイヤグラムに示すように、ライン編成は6工程では不可能である。

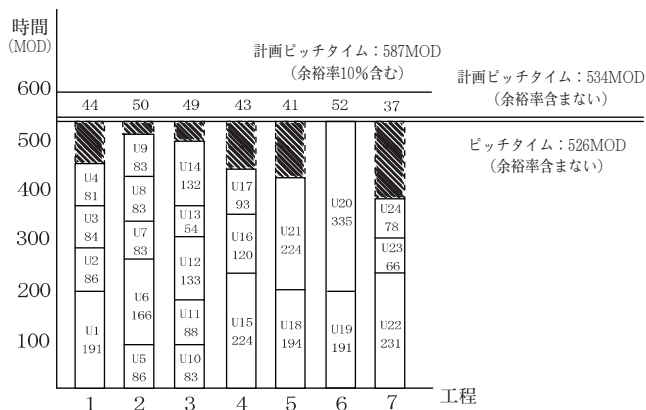
<手順9-2> 工程数を検討する（増，減）…工程数を1つ増やして7工程とする。

手順8-1によって与えられたピッチタイムでは編成できないので工程数を1つ増やし、手順7で求められたピッチ・ダイヤグラムをもとに計画ピッチタイム534MOD以内におさまるように先行順位を考慮して山積みをし、ピッチ・ダイヤグラムを作成する。

注) この場合のサイクルタイム(ピッチタイムに余裕率を加えたもの)は、余裕率10%とすると、 $526\text{MOD} \times (1 + 0.1) = 578.6\text{MOD}$  となる。

この578.6MODは、計画ピッチタイム(587MOD)内に入っている。

図表4-8 ピッチ・ダイヤグラム(2)



<手順9-3> ロスタイム(アイドルタイム又はスラックとも言う)を算出する。

$$\begin{aligned} \text{ロスタイム} &= \text{ピッチタイム} \times \text{工程数} - \text{総工数} \\ &= 526\text{MOD} \times 7 - 3189\text{MOD} \\ &= 493\text{MOD} (\text{余裕率を含まない}) \end{aligned}$$

<手順10> ラインバランシングの種々の技法を用いたライン編成をする。

<手順10-1> 更に山崩し可能かを検討する。

ここで、山崩しの方法には次のような方法が挙げられる。

(1) Helgeson, Birneの位置重み付け法

(工程数が与えられた場合、ピッチタイムが与えられた場合)

(2) 逆位置重み付け法

(工程数が与えられた場合、ピッチタイムが与えられた場合)

(3)列挙消去法

(4)段階順位付け法

このケースでは、それぞれの手法を検討した結果、(1)の位置重み付け法(工程数が与えられた場合)が、1番良い結果を示したので、その手順に従って行く。手順については、図表4-9に示す。

図表4-9 位置重み付け法の手順



<手順10-2> Helgeson, Birneの位置重み付け法(工程数が与えられた場合)、前述の手順5-2で求めた単位作業間の先行順位(アロー・ダイヤグラム)をもとに先行順位行列をつくる。

図表4-10 先行順位行列

単位作業(U) \ 作業時間(MOD)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
単位作業(U)	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
3	-1	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
4	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	-1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
13	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
15	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	1
16	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	1	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	1
24	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0

注) 図表の1, 0, -1の意味は以下の通りである。

- ①先行作業(すでに終わっているべき作業) 1
- ②先行作業がない作業 0
- ③同じ作業(その単位作業自体) 0
- ④後続作業(その後に始めるべき作業) -1

<手順10-3> 各作業について位置重み値を計算する。

図表4-11 位置重み値の算出表

単位作業	位置重み値
U1	191+84+81+54+224+120+78
U2	86+84+81+54+224+120+78
U3	84+81+54+224+120+78
U4	81+54+224+120+78
U5	86+166+83+83+83+83+88+132+224+120+78
U6	166+83+83+83+83+88+132+224+120+78
U7	83+83+83+83+88+132+224+120+78
U8	83+83+83+88+132+224+120+78
U9	83+83+88+132+224+120+78
U10	83+88+132+224+120+78
U11	88+132+224+120+78
U12	133+224+120+78
U13	54+224+120+78
U14	132+224+120+78
U15	224+120+78
U16	120+78
U17	93
U18	194+231+66+78
U19	191+335+231+66+78
U20	335+231+66+78
U21	224+231+66+78
U22	231+66+78
U23	66+78
U24	78

注) 手順10-2より, その単位作業者自身(数値0)を含め, 数値1の与えられているユニットにかかる所要時間(MOD)を加算する。

例えば, ユニット1の場合

その単位作業者自身の所要時間(191MOD)に, その行で1が記入されているユニットの所要時間を加算する。

<手順10-4> 位置重み値の大きい順に列記する。

図表4-12 位置重み値のランキング表

単位作業	位置重み値	直接先行作業
U5	1226	特になし
U6	1140	U5
U7	974	U6
U19	901	特になし
U8	891	U7
U1	832	特になし
U9	808	U8
U2	727	特になし
U10	725	U9
U20	710	U19
U11	642	U10
U3	641	U1, U2
U12	609	特になし
U21	599	特になし
U18	569	特になし
U4	557	U3
U14	554	U11
U13	476	U4, U12
U15	422	U13, U14
U22	375	U18, U20, U21
U16	198	U12, U15
U23	144	U22
U17	93	特になし
U24	78	U16, U23

<手順10-5> 手順9-2で工程数7と与えられているので, 次にこの条件で計画ピッチタイムをもとに, 第1回目のライン編成を行う。

(位置重み値と手順6-2で求めたアロー・ダイヤグラムの先行順位関係を同時に考慮しつつ各工程に割り当てる)

手順7より, 計画ピッチタイムを534MODとする。

図表4-13 <第1回目のライン編成> ピッチタイム: 534MOD

第1工程		第2工程		第3工程		第4工程		第5工程		第6工程		第7工程	
U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計
5 (86)	86	8 (83)	83	20(335)	335	12(133)	133	18(194)	194	15(224)	224	16(120)	120
6(166)	252	1(191)	274	11 (88)	423	21(224)	357	14(132)	326	22(231)	455	24 (78)	198
7 (83)	335	9 (83)	357	3 (84)	507	4 (81)	438	17 (93)	419	23 (66)	521		
19(191)	526	2 (86)	443			13 (54)	492						
		10 (83)	526										

<手順10-6> 手順10-5で求められた各工程の所要時間のうち最大のものに着目し、それより1MOD小さい新たなピッチタイムを決めライン編成を行う。

※第1回目のライン編成のうち所要時間合計が最大のものは、第1工程と第2工程の526MODであるので、それより1MOD小さい525MODをピッチタイムとする。

図表4-14 <第2回目のライン編成> ピッチタイム：525MOD

第1工程		第2工程		第3工程		第4工程		第5工程		第6工程		第7工程	
U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計
5 (86)	86	19(191)	191	10 (83)	83	3 (84)	84	18(194)	194	15(224)	224	17 (93)	93
6(166)	252	1(191)	382	20(335)	418	12(133)	217	14(132)	326	22(231)	455	24 (78)	171
7 (83)	335	2 (86)	468	11 (88)	506	21(224)	441	13 (54)	419	23 (66)	521		
8 (83)	418					4 (81)	522	16(120)	500				
9 (83)	501												

以上の新たなピッチタイムの設定により、それによるラインの編成を決められた工程数では、全ての単位作業が割り当てられなくなるまで繰り返す。

<手順10-7> 第2回目のライン編成のうち所要時間合計が最大のものは第4工程の522MODであるので、それより1MOD小さい521MODをピッチタイムとする。

図表4-15 <第3回目のライン編成> ピッチタイム：521MOD

第1工程		第2工程		第3工程		第4工程		第5工程		第6工程		第7工程	
U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計
5 (86)	86	19(191)	191	10 (83)	83	3 (84)	84	18(194)	194	15(224)	224	16(120)	120
6(166)	252	1(191)	382	20(335)	418	12(133)	217	4 (81)	275	22(231)	455	17 (93)	213
7 (83)	335	2 (86)	468	11 (88)	506	21(224)	441	14(132)	407	23(66)	521	24 (78)	291
8 (83)	418							13 (54)	461				
9 (83)	501												

<手順10-8> 521MODより1MOD小さい520MODをピッチタイムとする。

図表4-16 <第4回目のライン編成> ピッチタイム：520MOD

第1工程		第2工程		第3工程		第4工程		第5工程		第6工程		第7工程	
U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計
5 (86)	86	19(191)	191	10 (83)	83	11 (88)	84	18(194)	194	15(224)	224	16(120)	120
6(166)	252	1(191)	382	20(335)	418	12(133)	217	4 (81)	275	22(231)	455	23 (66)	186
7 (83)	335	2 (86)	468	11 (84)	506	21(224)	441	14(132)	407			17 (93)	279
8 (83)	418							13 (54)	461			24 (78)	357
9 (83)	501												

<手順10-9> 506MODより1MOD小さい505MODをピッチタイムとする。

図表4-17 <第5回目のライン編成> ピッチタイム：505MOD

第1工程		第2工程		第3工程		第4工程		第5工程		第6工程		第7工程	
U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計
5 (86)	86	19(191)	191	10 (83)	83	11 (88)	84	18(194)	194	15(224)	224	16(120)	120
6(166)	252	1(191)	382	20(335)	418	12(133)	221	4 (81)	275	22(231)	455	23 (66)	186
7 (83)	335	2 (86)	468	3 (84)	502	21(224)	445	14(132)	407			17 (93)	279
8 (83)	418							13 (54)	461			24 (78)	357
9 (83)	501												

<手順10-10> 502MODより1MOD小さい501MODをピッチタイムとする。

図表4-18 <第6回目のライン編成> ピッチタイム：501MOD

第1工程		第2工程		第3工程		第4工程		第5工程		第6工程		第7工程	
U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計
5 (86)	86	19(191)	191	10 (83)	83	11 (88)	88	21(224)	224	15(224)	224	16(120)	120
6(166)	252	1(191)	382	20(335)	418	3 (84)	172	4 (81)	305	22(231)	455	23 (66)	186
7 (83)	335	2 (86)	468			12(133)	305	14(132)	437			17 (93)	279
8 (83)	418					18(194)	499	13 (54)	491			24 (78)	357
9 (83)	501												

<手順10-11> 501MODより1MOD小さい500MODをピッチタイムとする。

図表4-19 <第7回目のライン編成> ピッチタイム：500MOD

第1工程		第2工程		第3工程		第4工程		第5工程		第6工程		第7工程	
U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計
5 (86)	86	19(191)	191	2 (86)	86	20(335)	335	21(224)	224	14(132)	132	22(231)	231
6(166)	252	1(191)	382	10 (83)	169	4 (81)	416	18 (194)	418	15(224)	356	23 (66)	297
7 (83)	335	9 (83)	465	11 (88)	257	13 (54)	470			16(120)	476	17 (93)	390
8 (83)	418			3 (84)	341							24 (78)	468
				12(133)	474								

<手順10-12> 476MODより1MOD小さい475MODをピッチタイムとする。

図表4-20 <第8回目のライン編成> ピッチタイム：475MOD

第1工程		第2工程		第3工程		第4工程		第5工程		第6工程		第7工程	
U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計	U(MOD)	累計
5 (86)	86	19(191)	191	2 (86)	86	20(335)	335	21(224)	224	14(132)	132	22(231)	231
6(166)	252	1(191)	382	10 (83)	169	4 (81)	416	18(194)	418	15(224)	356	16(120)	351
7 (83)	335	9 (83)	465	11 (88)	257	13 (54)	470			17 (93)	449	23 (66)	417
8 (83)	418			3 (84)	341							24 (78)	495
				12(133)	474								

オーバ

※第8回目のライン編成で全ての単位作業を割り当てることができなくなる。

従って、第7回目のライン編成が適当である。このラインのピッチタイムは、その際のリミッティング・タイムである476MODとなる。

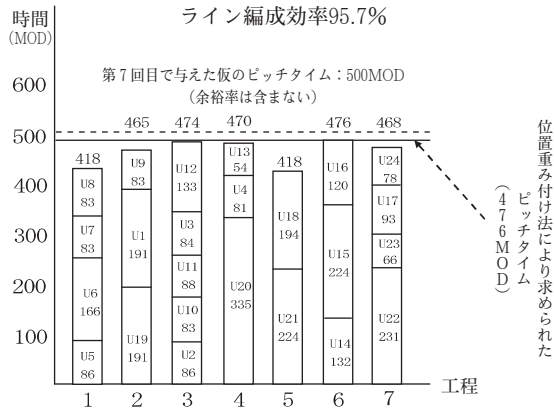
<第7回目のライン編成>のライン編成効率を求める。

$$= \frac{3189\text{MOD}}{476\text{MOD} \times 7} = 0.957\cdots$$

∴95.7%

手順10-11より求められたピッチタイムにより、ピッチ・ダイアグラムを作成する。  
 <第7回目のライン編成>

図表4-21 ピッチ・ダイアグラム(3)



4-2 コンベア生産方式の評価

サイクルタイム(実行ピッチタイム), ロスタイム, バランスロス率, 1日当りの生産量を算出する。

図表4-22 コンベア生産方式の評価表

サイクルタイム (実行ピッチタイム) =ピッチタイム×余裕率	$476 \times (1 + 0.01)$ $= 523.6 \text{ MOD}$ $\approx 524 \text{ MOD}$	$\text{バランスロス率} = \frac{\text{ロスタイム}}{\text{サイクルタイム} \times \text{工程数}}$	$\frac{479}{524 \times 7}$ $= 13.05$ $\approx 13\%$
ロスタイム (余裕率を含む) =(サイクルタイム)×(工程数) -(総所要時間)	$524 \times 7 - 3189$ $= 479 \text{ MOD}$	$\text{1日当りの生産量} = \frac{(\text{1日当りの稼働時間}) - (\text{1台の総工数} \times \text{余裕率} 10\%)}{\text{サイクルタイム} \times \text{工程数}}$	$\frac{209250 - (3189 \times 1.1)}{524}$ $= \frac{205794.1}{524}$ $\approx 392.7$ $= 392 \text{ 台/日}$

※ これは、手順5で求めた生産計画より算出した生産台数(357台/日)を満たす。

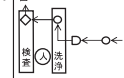
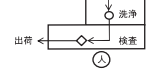
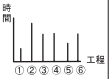
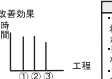
5 セル化に関する企業の実態調査

ここでは、セル生産を導入している企業について実態を調査するものである。紙面の都合上、特徴ある企業についての例を以下示す。

A社については、ビデオカメラ・ゲーム機, B社については、ノートパソコン, C社については、電気機器, D社については、オフィス機器部品の組立ラインについて、各社における従来(コンベア)の生産の特徴・問題点・条件・実績を調べ、セル化によってどのように効率化されたかまとめるものである。

以上の特徴を図表5-1に示す。

図表5-1 セル導入企業の実態例

会社	評価項目	従来(コンベア)での生産			セルの導入		評価	
		特徴	問題点	現状の条件	セルの条件	セルの実績		
A社 ビデオカメラ 組立ライン	特徴	・コンベアを撤去 ・空いたスペースに複数 個の1セルで完結するセル を設置し、1セル当たりの 人数を減らしつつ決めら れたタクトタイムで生産し、 生産性向上を図る。	・作業改善を行う上で様々 な制約がある ・多品種少量生産へのフレ キシブルな対応が難しい ・コンベアの設備リース負 担がかかる ・ラインバランスロスの低 減が限界 ・ビデオカメラ小型化が進 んでいるためコンベアを用 いる必要性が薄れてきた	・120mのコンベアライン 5本 ・1ライン約100人、計約 500人 ・タクトタイム20~25秒 ・日産1000台	・1ライン当たり 1000台 ・5ラインでの日産合 計5000台 ・一人当たりの生産量 10台	・タクトタイム 90~65秒 ・日産 400台	96年【80mライン1本、16セル(1セル29人)】 ・コンベアの生産量 約600台 ・セルの生産量6400台、計約7060台 ・総人員530人 ・一人当たり13台 97年【121セル(1セル25人)】 ・生産量8400台 ・総人員525人 ・一人当たり16台 98年【25セル(1セル23人)】 ・生産量9600台 ・総人員522人 ・一人当たり16台 99年【25セル(1セル21人)、備品目セル18個】 ・生産量1000台(ビデオカメラ) ・総人員525人(ビデオカメラ) ・一人当たり19台(ビデオカメラ) 00年【33セル(1セル18人)、備品目セル27個】 ・生産量1300台(ビデオカメラ) ・総人員594人(ビデオカメラ) ・一人当たり22台(ビデオカメラ)	・間スペース内 で、95年当時と 比べ、生産性が 約2.6倍向上した。
		A社 ゲーム機 組立ライン	・コンベアを活かした1人 完結の組立セルからさらに 人数を減らしつつ、最終 的に当初の半分以下の 人員で倍の生産量向上を 図る。	・当時ゲーム機の生産を採 算ベースに要せざるは概算 で2倍の生産性が必要にな る。	・1本30mのコンベア ライン ・組立工8人、調整・検査 7人、梱包4人計19人 ・タクトタイム1人12秒 ・生産スペース75㎡ 日産2000台	・日産 2000台 ・一人当たり 105台/8H ・1㎡当たり27台	96年 ・タクトタイム 組立80~100秒 調整、検査、梱包 20~25秒 生産スペース112.8㎡ 99年 ・タクトタイム 20秒 ・生産スペース42.8㎡	96年 ・生産量1ライン1100台(2ラインで2200台) ・一人当たり122台/8H ・1㎡当たり20台 ・総人員1ライン9人、計18人 99年 ・生産量1ライン1250台 ・一人当たり208台/8H ・1㎡当たり29台 ・総人員7人
B社 ノートパソコン 組立ライン	・10人1ラインを2人1組に し、2人完結の多工程もち 作業に切り替えて生産性 向上を図る。	・コンベア時は作業の遅い 人のペースでタクトタイム が決まっている ・「切り替えロスが多い」 「ラインが長く、仕掛り台数 が多い」など柔軟性と迅速 性が弱い	・組立ライン 19m+20.6mライン2式 ・ステーション数及びピッ チ10個、1.7m	・1ライン16~20人編 成で生産台数300~400 台	導入1項目 ・1時間当たりの生産量1~5組まで目標数 に対し、2人1組の多工 程持ち作業に切り替 える。	導入2項目 ・1時間当たりの生産量1~5組まで目標数 に対し、2組が目標数に達し、3組が1台 マイナスの生産量 導入3項目 ・1時間当たりの生産量1~5組まで目標数 に対し全ての組で目標値達成	・導入後、3週間 で目標を達成	
C社 電気機器 組立ライン	・工程間を詰め、製造工 程を一方向の流れにし、作 業と待機のみができるこ とで生産性向上を図る。	・仕掛品が洗浄、検査工 程で発生 ・作業者の移動のムダがあ る	検査工程 	該当データなし	・工程間を詰める ・多能化する ・工程数を削除する	レイアウト改善 	・工程間を詰め、 洗浄工程と検査 工程を1つにした。 そうすることで仕 掛品の削減につ ながった。 また、多能化で 人員、工程を削 減することがで きた。	
D社 オフィス機器部品 組立ライン	・コンベアでの単一工程 の分業から、多工程持ち による人員削減で生産性上 向上を図る。	・工程間に仕掛品ができる ・部材の買い過ぎ、製品の 造りすぎによる在庫の発生 ・最終工程担当が検査、梱 包、運搬するため運搬中 に仕掛が発生し、梱包に追 われ、検査が不十分になる	・30mのコンベアライン 3本 ・タクトタイム1台12秒 ・日産台数1200台		・コンベア撤去 ・隣の作業者へ手渡し ・作業人員を6人から 3人にした	改善効果 	効果 「作業バランスが取 れたことで手持 が削減された」 「動作のムダがな くなった」 「リードタイムが 30秒短縮された」	・コンベアライン のリース料が 削減 ・撤去したコンベ アのスペース を有効に活用で きるようになった。

## 6 セル生産ラインのモデルの設計

この項では、セル化の為に以下述べるヒューリスティックな方法でセル生産ラインの編成を試みる。

まず、工程数を8に増やしたラインを編成し、その後8工程を4セル(1人2工程持ち)と2セル(1人4工程持ち)に分けてセル生産ラインを編成してラインの評価を行う。

比較項目を満足させることができなかつた場合、あるいは満足させているがさらに効率よくラインを編成することができるかと想定した場合、工程数を9に増やし、その後3セル(1人3工程持ち)でラインを編成して評価を行う。

それでも満足させることができなかつた場合、あるいは満足させているが、さらに効率よくラインを編成することができるかと想定した場合、工程数を増やしてセル生産ラインの編成を試みる。

### 6-1 前提条件の設定

生産台数と作業時間の決定を行う。年間計画生産台数103980台(不良率を考慮すると107099台)、月産台数8665台/月(不良率3%とすると8925台)、稼働時間は月当たり25日で日当たり7.5時間とする。

この条件から日産台数を求めると、

$$\begin{aligned} \text{日産台数} &= \text{月産台数(不良率を考慮したもの)} \div \text{稼働時間} \\ &= 8925(\text{台}) \div 25\text{日} \\ &= 357\text{台/日} \end{aligned}$$

また、各セルの配置人員は1名とする。

ライン編成の計画ピッチタイムは、すべて534MOD(余裕率10%込みで587MOD)とする。  
ここでは紙面の都合上、8工程4セルの場合を例として挙げてある。

### 6-2 仮に8工程を4つのセルに分け、ラインを編成した場合

8工程を4つのセルに分け、ラインを編成する。

ここでは、1人2工程持ちとし、4人で組立を行う。編成したセルラインのピッチ・ダイヤグラムを作成することで、ラインバランスの善し悪しを検討する。

また、作成されたラインのライン編成効率、ロスタイム、サイクルタイム、日産台数、月産台数、年間生産台数を計算し、そのラインの評価を行う。

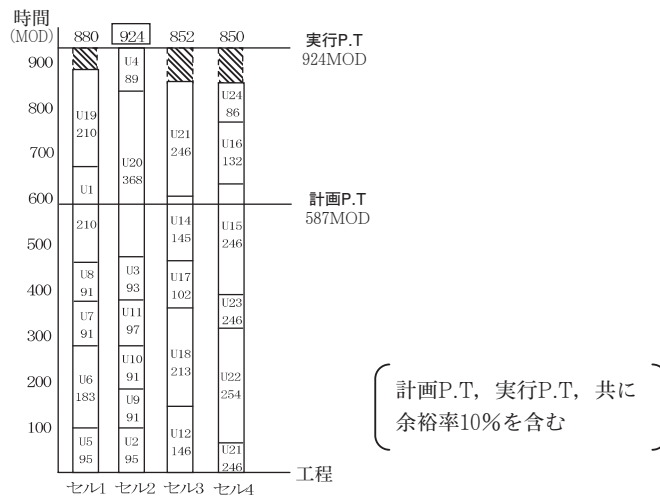
<手順1> 位置重みづけ法を用いて、コンペアラインで求められたものでセルを編成する。

図表6-1 8工程を4工程で組立てるライン (余裕率10%を含む)

第1工程		第2工程		第3工程		第4工程	
ユニット	累計	ユニット	累計	ユニット	累計	ユニット	累計
U 5		U 2		U12		U13	
U 6	278	U 9	186	U18	359	U22	313
U 7	369	U10	277	U17	461	U23	386
U 8	460	U11	374	U14	606	U15	632
U 1	670	U 3	467	U21	852	U16	764
U19	880	U20	835			U24	850
		U 4	924				

<手順2> 手順1の位置重み値による山積み表を元にピッチ・ダイヤグラムを作成する。

図表6-2 8工程を4セルで組立てるラインのピッチ・ダイヤグラム



<手順3> ライン編成効率、サイクルタイム、ロスタイム、バランスロス率、日産台数を算出する。

図表6-3 セル生産方式の評価表

1日の生産量	$\frac{209302 - (3189 \times 1.1)}{924}$ $= \frac{205794}{924}$ $= 222.72$ $\approx 222\text{台/日}$	ライン編成効率	$3508 \div (924 \times 4)$ $= 0.9491\dots$ $\approx 94.9\%$
		ロスタイム	$696 - 358 = 188\text{MOD}$
		サイクルタイム	$840 \times 1.1 = 924\text{MOD}$
		バランスロス率	$\frac{188}{924 \times 4}$ $= \frac{188}{3696}$ $= 0.0508$ $\approx 5.1\%$
月産生産量	$222\text{台} \times 25\text{日} = 5550\text{台/月}$		
年間生産量	$222\text{台} \times 25\text{日} \times 12\text{月} = 66600\text{台/年}$		

<手順4> ラインの評価。

8工程のコンベアラインを4つのセルに分けてラインを編成した場合、ライン編成効率、ロスタイム、バランスロス率の項目に関しては満足できる値が算出されたが、計画日産台数357台には135台及ばない。

仮に24工程を4セルで組もうとした場合、1セルの持ち工程が8になる。8工程を持つとどうしても計画ピッチタイムをオーバーしてしまうため、24工程を4セルで組むラインは採用しない。同様に24工程を2セルで組むラインも条件を満たさないため採用しない。

### 6-3 セルの比較・評価

今回編成したラインでは、24工程を6セルで組立てる場合と21工程を7セルで組立てる場合の2ラインで効率よく生産することが可能となった。

24工程を6セルで組立てるラインの場合は、サイクルタイム586MOD、ロスタイム153MOD、ライン編成効率95.8%、バランスロス率4.2%、作業人数7人、日産台数404台を示した。

21工程を7セルで組立てるラインの場合は、サイクルタイム587MOD、ロスタイム153MOD、ライン編成効率95.8%、バランスロス率4.2%、作業人数7人、日産台数404台を示した。

セル生産ラインの比較を図表6-4に示す。

図表6-4 セル生産の比較表

生産方式	比較要因		計画ピッチ	サイクル	ロス	ライン	バランス	作業人数	日産台数	備考
	工程	単位	MOD	MOD	MOD	%	%	人	台	
セル生産方式	8工程を4セル(1人2工程持)で組立てる場合		587	924	188	94.9	5.1	4	228	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	8工程を2セル(1人4工程持)で組立てる場合		587	1804	100	97.2	2.8	2	117	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	9工程を3セル(1人3工程持)で組立てる場合		587	11875	3	98.5	1.5	3	178	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	10工程を5セル(1人2工程持)で組立てる場合		587	765	317	91.7	8.3	5	277	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	10工程を2セル(1人5工程持)で組立てる場合		587	1861	214	94.3	5.7	2	113	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	12工程を6セル(1人2工程持)で組立てる場合		587	606	128	96.5	3.5	6	349	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	12工程を4セル(1人3工程持)で組立てる場合		587	910	132	96.4	3.6	4	232	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	12工程を3セル(1人4工程持)で組立てる場合		587	11782	6	99.3	0.7	3	179	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	12工程を2セル(1人6工程持)で組立てる場合		587	17601	2	99.7	0.3	2	119	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	14工程を7セル(1人2工程持)で組立てる場合		587	525	167	95.5	4.5	7	402	計画P.Tに収まり、日産計画台数も満たしている。効率よく生産が可能なライン。
	14工程を2セル(1人7工程持)で組立てる場合		587	17601	2	99.7	0.3	2	119	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	15工程を5セル(1人3工程持)で組立てる場合		587	730	142	96.1	3.9	5	289	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	15工程を3セル(1人5工程持)で組立てる場合		587	1228	176	95.2	4.8	3	172	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	16工程を8セル(1人2工程持)で組立てる場合		587	464	204	94.5	5.5	8	456	計画P.Tに収まり、日産台数も満たしている。効率よく生産が可能なライン。作業人数がコンベアの最良のものに比べ多い。
	16工程を4セル(1人4工程持)で組立てる場合		587	893	64	98.2	1.8	4	236	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	16工程を2セル(1人8工程持)で組立てる場合		587	17521	6	99.5	0.5	2	119	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	18工程を9セル(1人2工程持)で組立てる場合		587	469	713	83.1	16.9	9	451	サイクルタイムは短い。ライン編成効率が悪くロスが多い。日産台数は満足させているが、作業人数が多い。
	18工程を6セル(1人3工程持)で組立てる場合		587	596	68	98.1	1.9	6	355	ライン編成効率が良くロスが小さいが計画P.Tをオーバーし日産台数が不足する。
	18工程を3セル(1人6工程持)で組立てる場合		587	11741	4	99.6	0.4	3	180	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	18工程を2セル(1人9工程持)で組立てる場合		587	17723	6	99	1	2	119	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	21工程を7セル(1人3工程持)で組立てる場合		587	523	153	95.8	4.2	7	404	全体的に優れたライン。効率よく生産できるライン。
	21工程を3セル(1人7工程持)で組立てる場合		587	11947	4	97.9	2.1	3	177	サイクルタイムが長く、計画P.Tを満たすことができないため、日産台数が不足する。
	24工程を12セル(1人2工程持)で組立てる場合		587	415	1472	70.4	29.6	12	509	サイクルタイムは短い。ライン編成効率が悪くロスが多い。日産台数は満足させているが、作業人数が多い。
	24工程を8セル(1人3工程持)で組立てる場合		587	488	396	89.9	10.1	8	433	全体的に優れたラインだが、若干ライン編成効率が悪く、バランスロスも大きい。日産台数は満足させている。
24工程を6セル(1人4工程持)で組立てる場合		587	586	8	99.8	0.2	6	361	全体的に優れた。効率よく生産できるライン。1人の省人に成功。	

注) 評価項目の良いものに  を入れる

7 コンベア生産ラインとセル生産ラインの比較評価

7-1 コンベア生産ライン(位置重みづけ法を活用し、工程数が与えられた場合)

工程数7で生産を行った場合、計画ピッチタイム(587MOD、余裕率10%含む)を満足させ、ライン編成効率も95.6%で、ロスタイムも160MODと少ない。

また他のラインよりも作業人数の少ないラインを編成することができ、これはコンベア生産で最も生産効率の良いラインとなる(図表7-1参照)。

図表7-1 コンベア生産

比較要因	計画ピッチ	サイクル	ロス	ライン	バランス	作業人数	日産台数
	MOD	MOD	MOD	%	%	人	台
7工程	587	524	160	95.6	4.4	7	392

### 7-2 セル生産ラインの場合

位置重みづけ法を活用したコンペアでラインを編成し、工程数を増やしてそのグループ化を行い、ヒューリスティック・アプローチでセル化を行う。

できたセルのライン編成効率、サイクルタイム、ロスタイム、バランスロス率、日産台数を比較したところ、12工程を6セルで組立てるライン、14工程を7セルで組立てるライン、16工程を8セルで組立てるライン、18工程を6セルで組立てるライン、21工程を7セルに分割して組立てる5つのセルが効率よく生産することができる。

以下、セル化のために検討した方法について、効率の良いライン、良くないラインの比較を図表7-2、7-3に示す。

図表7-2 効率の良いセルの比較表

工 程	比較要因 単 位	計画ピッチ	サイクル	ロス	ライン	バランス	作業人数	日産台数
		タイム	タイム	タイム	編成効率	ロス率		不良率3%含む
		MOD	MOD	MOD	%	%	人	台
8工程を4セル（1人2工程持）で組立てる場合		587	924	188	94.9	5.1	4	228
8工程を2セル（1人4工程持）で組立てる場合		587	1804	100	97.2	2.8	2	117
9工程を3セル（1人3工程持）で組立てる場合		587	1187	53	98.5	1.5	3	178
10工程を5セル（1人2工程持）で組立てる場合		587	765	317	91.7	8.3	5	277
10工程を2セル（1人5工程持）で組立てる場合		587	1861	214	94.3	5.7	2	113
12工程を4セル（1人3工程持）で組立てる場合		587	910	132	96.4	3.6	4	232
12工程を3セル（1人4工程持）で組立てる場合		587	1178	26	99.3	0.7	3	179
12工程を2セル（1人6工程持）で組立てる場合		587	1760	12	99.7	0.3	2	119
14工程を2セル（1人7工程持）で組立てる場合		587	1760	12	99.7	0.3	2	119
15工程を5セル（1人3工程持）で組立てる場合		587	730	142	96.1	3.9	5	289
15工程を3セル（1人5工程持）で組立てる場合		587	1228	176	95.2	4.8	3	172
16工程を4セル（1人4工程持）で組立てる場合		587	893	64	98.2	1.8	4	236
16工程を2セル（1人8工程持）で組立てる場合		587	1752	16	99.5	0.5	2	119
18工程を9セル（1人2工程持）で組立てる場合		587	469	713	83.1	16.9	9	451
18工程を3セル（1人6工程持）で組立てる場合		587	1174	14	99.6	0.4	3	180
18工程を2セル（1人9工程持）で組立てる場合		587	1772	36	99	1	2	119
21工程を7セル（1人3工程持）で組立てる場合		587	523	153	95.8	4.2	7	404
21工程を3セル（1人7工程持）で組立てる場合		587	1194	74	97.9	2.1	3	177
24工程を8セル（1人3工程持）で組立てる場合		587	488	396	89.9	10.1	8	433

図表7-3 効率の良いセル比較表

工 程	比較要因 単 位	計画ピッチ	サイクル	ロス	ライン	バランス	作業人数	日産台数	1人当り
		タイム	タイム	タイム	編成効率	ロス率		不良率3%含む	生産台数
		MOD	MOD	MOD	%	%	人	台	台
12工程を6セル（1人2工程持）で組立てる場合		587	606(6)	128(3)	96.5(3)	3.5(3)	6(1)	349(6)	56(3)
14工程を7セル（1人2工程持）で組立てる場合		587	525(3)	167(5)	95.5(5)	4.5(6)	7(4)	402(3)	55(5)
16工程を8セル（1人2工程持）で組立てる場合		587	464(1)	204(6)	94.5(6)	5.5(6)	8(6)	456(1)	55(5)
18工程を6セル（1人3工程持）で組立てる場合		587	596(5)	68(2)	98.1(2)	1.9(2)	6(1)	355(5)	57(2)
24工程を7セル（1人3工程持）で組立てる場合		587	523(2)	153(4)	95.8(4)	4.2(4)	7(4)	404(2)	56(3)
24工程を6セル（1人4工程持）で組立てる場合		587	586(4)	8(1)	99.8(1)	0.2(1)	6(1)	361(4)	58(1)

注）評価項目の一番良いものに□を入れる（ ）内は評価項目中の順位

図表7-3によると、1番効率の良いセルは24工程を6セルで組立てるラインで、21工程を7セルで組立てるライン、12工程を6セルで組立てるライン、14工程を7セルで組立てるライン、16工程を8セルで組立てるラインの順に効率が良い。

これら以外のセルラインでは、サイクルタイムが長く、計画ピッチタイムを大幅にオーバーしてしまい、計画日産台数を満足しないので採用しない。

### 7-3 コンベア生産ラインとセル生産ラインの比較

コンベア生産ラインの最も効率の良かったライン(工程数7でのライン編成)と、セル生産ラインで効率の良かったライン(21工程を7セルで組立てる場合、24工程を6セルで組立てる場合)をピックアップして比較を行った。その比較表を以下の図表に示す。

図表7-4 7工程でのコンベア生産と効率の良いセルの比較表

工 程	比較要因	計画ピッチ タイム	サイクル タイム	ロス タイム	ライン 編成効率	バランス ロス率	作業人数	日産台数 不良率3%含む
	単位	MOD	MOD	MOD	%	%	人	台
コンベアライン7工程(7人で組立てる)場合		587	524	160	95.6	4.4	7	392
21工程を7セル(1人3工程持)で組立てる場合		587	523	153	95.8	4.2	7	404
24工程を6セル(1人4工程持)で組立てる場合		587	586	8	99.8	0.2	6	361

注) 評価項目の一番良いものに  を入れる

生産性の向上を目的とした作業方式を決定する場合、いくつかの項目を断片的に取り上げるのではなく、全ての項目で総合的に判断することが必要である。

したがって、フォークリフトの組立を行った場合、1番効率よく生産が行えるラインは、24工程を6セルで組立てるセルの設計を行うことで、サイクルタイム(586MOD)、ロスタイム(8MOD)、ライン編成効率(99.8%)、バランスロス率(0.2%)、作業人数(6人)、日産台数(361台)の編成が全ての項目で良い結果を得られた。

図表7-4に示した3セルのラインは、ライン編成効率も良く日産台数も満足させているため現場で採用され得ると判断することができる。仮に採用された場合、以下の順に採用されると考えられる。

#### ・第1案

##### 24工程を6セルで組立てるラインの場合

サイクルタイム586MOD、ロスタイム8MOD、ライン編成効率99.8%、バランスロス率0.2%、作業人数6人、日産台数361台であり、コンベアの7工程に比べこのラインは1人省人できる。

#### ・第2案

##### 21工程を7セルで組立てるラインの場合

サイクルタイム523MOD、ロスタイム153MOD、ライン編成効率95.8%、バランスロス率4.2%、作業人数7人、日産台数404台。

#### ・第3案

##### コンベアラインでの7工程の場合

サイクルタイム524MOD、ロスタイム160MOD、ライン編成効率95.6%、バランスロ

ス率4.4%，作業人数7人，日産台数392台。

また，セル化によるラインを編成することにより，ただ効率の良いラインが採用されるのではなく，前述のセル生産導入企業の例(図表5-1参照)で示したように，以下のような効果も得られる。

1. コンベアを撤去したことによって同床内で別製品の製造が可能になる
2. コンベアラインよりも需要の変動に対応しやすい
3. 多工程を持つことで作業者のモチベーションの向上が図れる
4. 仕掛待時間，工程待時間の解消
5. 運搬時間の削減
6. 不良の低減
7. 設備投資の軽減

## 8 今後の課題と展望

現在，製造業では顧客のニーズが多様化したことにより，製品のライフサイクルの短期化に共なって変種変量生産の時代に入った。従って，従来のコンベアによる量産体制が困難になってきている。

国内企業は，開発先行型の企業体質に変化しており，新製品を加工・組立てる場合，生産システムの変更を考慮する必要性があり，加工工程だけでなく組立工程においてもコンベア生産ラインからセル生産ラインへの転換が図られている。

しかし，セル生産を導入するに当たり，ただ単にコンベアを区切ってセルを構成しただけでのラインでは，セル生産本来のメリットを享受できない状況にある。

そのため今回の研究では，工程設計の段階で，まず位置重みづけ法を用いて工程数を増やしたコンベアラインを編成し，それを工程の分割に着目して組立工程におけるセルの編成を行った。

このセル生産ラインの編成を行うことで，従来のライン編成と比べ，ライン編成効率，サイクルタイム，ロスタイム，バランスロス率，作業人数の面で優れたラインを編成することができる。

しかし今回行った研究はフォークリフト単一製品の組立であり，実際の製造現場においては複数製品が製造されているため，別製品の同時生産についても考える必要がある。また，今回の研究でモダプツ分析を行ったが，さらに細かいモダプツ分析で日々ワンポイント改善を行い，より効率の良いラインの設計を試みる必要がある。

(みうら たつし・本学経済大学教授)

### 〔参考・引用文献〕

- [1] Jhon Gaillard 『It's Principles and Application』 Industrial Standardization, 1934
- [2] Herwart Opitz 『Verschlüsselungsrichtlinien und Definitionen zum werkstück beschreibenden Klassifizierungssystem』 Verlag W.Girardet.Essen, 1951

- [3] 澤潟作雄, 中井重行『工場計画』丸善, 1957
- [4] 社内標準化便覧編集委員会『社内標準化便覧』日刊工業新聞社, 1964
- [5] 吉谷龍一『生産システム設計ハンドブック』日刊工業, 1967
- [6] Herwart Opitz (鈴木 隆, 三宅弘訳)『グループ・テクノロジー』日本能率協会, 1969
- [7] 石原勝吉他『多品種生産工場における標準化の推進と展開』標準化と品質管理, 1970
- [8] 吉沢武男他『生産システムの数値制御 (SME編)』東洋経済, 1970
- [9] 三浦達司『複種ラインの工程設計に関する研究』早稲田大学大学院理工学研究彙報, 1970
- [10] R.バサッカー, T.L.サーティ『グラフ理論とネットワーク基礎と応用』共立出版, 1970
- [11] 村松林太郎『生産管理の基礎』国元書房, 1970
- [12] 中島誉富『経営のための標準時間 (基礎編, 機械編)』日本能率協会, 1971
- [13] 古川 光, 並木高矣『工程管理』森北出版, 1971
- [14] J.Mc Auley『Machine Grouping for Effective Productions』Production Engineer vol.51 No.2,1972
- [15] I.G.K.E.l-Essawy, J.Torrance『Component Flow Analysis — An Effective Approach to Production Systems Design—』Production Engineer vol.51 No.165, 1972
- [16] 本田巨範他『旋盤マニュアル』大河出版, 1973
- [17] 朝倉行一他『NC工作機械ハンドブック』大河出版, 1973
- [18] 高橋輝男, 久保 章『プラント・レイアウト』建帛社, 1973
- [19] 東 秀彦『標準化の考え方, 進め方』丸善, 1974
- [20] 細川 鴻『自動盤ツーリングマニュアル』大河出版, 1974
- [21] 長谷川一郎 (訳)『治具設計の理論と実際 (I), (II)』大河出版, 1974
- [22] 三浦達司, 古川 光, 久保 章『昭和49年春期予稿集 グループ・テクノロジーに関する研究—一段取時間を考慮した部品の投入順序に関する研究—』経営工学会, 1974
- [23] 三浦達司, 古川 光, 久保 章, 深野 彰『グループ・テクノロジーへの数量分類法の適用に関する一考察 (その1), (その2)』日本IE協会 IEレビューvol.15. No.4, 1974, vol.15. No.5, 1974
- [24] A.S.Carrie『Numerical Taxonomy Applied to Group Technology and Plant Layout』Int.J.Prod.Res vol.11, No.4, 1973
- [25] Walter Pollak (清水敏夫訳)『GTの理論と実際』建帛社, 1974
- [26] 三浦達司『使用機械選択に関する研究』IEレビューvol.15, No.5 日本IE協会, 1975
- [27] 日本経営工学会 (標準化: 平野敏也)『経営工学便覧』丸善, 1975
- [28] 山岸正謙『NC工作機械』大河出版, 1975
- [29] R.Rajagopalan, J.L.Batra『Design of Cellular Production Systems, A Graph Theoretic Approach』Int.J.Prod.Res vol.13, No.6, 1975
- [30] J.L.Burbidge, Heinemann『The Introduction of Group Technology, Chapter 9』Production Flow Analysis, 1975
- [31] 村松林太郎『生産管理』朝倉書店, 1976

- [32] 梅田正夫『幹部のための工場管理の実務』日科技連, 1977
- [33] 菅野能之『工程編成システムに関する研究』修士論文, 1977
- [34] 日本機械工業連合会編『食品機械の標準化に関する調査・研究』日本機械工業連合会, 1977
- [35] 人見勝人, 中島 勝『G.Tによる生産管理システム』日刊工業新聞社, 1981
- [36] 伊藤 詮『FMC入門』日刊工業新聞社, 1983
- [37] 大場史憲, 加藤 清 他『フレキシブル生産システムの構造設計』日本機会学会論文集C編50巻455号, 1984
- [38] 大場史憲, 加藤 清 他『フレキシブル生産システムの構造設計 第2報』日本機会学会論文集C編50巻459号, 1984
- [39] 長谷川幸男, 粟根 洋 他『多品種少量生産システム』日刊工業新聞社, 1984
- [40] 三浦達司, 横溝克己 他『あたらしいワーク・スタディ』技報堂出版, 1987
- [41] 三浦達司『ライン編成マニュアル』日本モダブツ協会, 1987
- [42] 深澤 勉『数量化理論とデータ処理』日刊工業新聞社, 1991
- [43] 橋本文雄, 帆足辰夫 他『新編 生産管理システム』共立出版, 1993
- [44] 小林重信『遺伝的アルゴリズムの基礎と応用』オペレーションズリサーチ学会, 1993
- [45] Tatsushi Miura, Tsutsumi Koshiba, Masayasu Tanaka, 『Automatic Assembly Systems In Japan and Related Industrial Engineering Problems』Institute of Engineers, 1993
- [46] 三浦達司『IEr.の役割と将来展望』IEレビューvol.185 日本IE協会, 1995
- [47] 東京理科大学, 理工学事典編集委員会『理工学事典』日刊工業新聞社, 1996
- [48] 日本IE協会編『セル生産方式への転換』IEレビューvol.39, No.4 日本IE協会, 1998
- [49] 日本IE協会編『セル生産方式の課題と展望』IEレビューvol.212 日本IE協会, 1999
- [50] 日本機械工業連合会編『食品機械への先端技術対応に関する調査・研究』日本機械工業連合会, 2001
- [51] 三浦達司, 相良康行, 万本康行, 川村邦明『食品工業における生産技術と先端技術』食品工業vol.15, No.17 光林, 2001
- [52] 岩室 宏『セル生産システム』日刊工業新聞社, 2002
- [53] 三浦達司『ベンチャー型社会の到来, 本業を軸に新事業転換へ的一方策—食料品加工機械工業を例とした異業種分野技術との融合を中心として—』p.87~p.169 日本経済評論社, 2002
- [54] PHP編集ビデオ『「セル生産」実現のポイント』PHP, 2002
- [55] 内田 治 管民朗 他『アドインによる多変量解析』東京図書, 2003
- [56] 日本IE協会編『デジタル屋台による1人1台生産』IEレビューvol.232, No.4 日本IE協会, 2003
- [57] 宮川雅巳, 水野真治 他『経営工学の数理I』朝倉書店, 2004
- [58] 宮川雅巳, 水野真治 他『経営工学の数理II』朝倉書店, 2004
- [59] 木崎健太郎『このままでは危ういセル生産』日経ものづくり7月号, 2004

- [60] 日本 I E 協会編『セル生産システムの構築とパフォーマンスの改善』 I E レビュー vol.145, No.2 日本 I E 協会, 2004
- [61] 日本 I E 協会編『基盤実装工程のセル生産設備による 1 個流し生産の実現』 I E レビュー vol.145, No.2 日本 I E 協会, 2004
- [62] 日本 I E 協会編『セル生産方式を導入しての同期化生産ラインの再構築』 I E レビュー vol.145, No.2 日本 I E 協会, 2004
- [63] 日本 I E 協会編『スピードと感度に富んだ商品共同体の構築』 I E レビュー vol.145, No.2 日本 I E 協会, 2004
- [64] 日本 I E 協会編『セル生産 (AGV ライン) 導入後の活用』 I E レビュー vol.145, No.2 日本 I E 協会, 2004
- [65] 日本 I E 協会編『セル生産方式導入後の改善』 I E レビュー vol.235, No.2 日本 I E 協会, 2004
- [66] 日本機械工業連合会編『機械工業の安全化技術に関する調査・研究～食品加工機械を対象としたモデルケース分析調査～』, 2004
- [67] HMS コンソーシアム『ホロニック生産システム』日本プラントメンテナンス協会, 2004
- [68] 日本 I E 協会編『セル生産システムの構築とパフォーマンスの改善』 I E レビュー vol.235, No.2 日本 I E 協会, 2004
- [69] 三浦達司『21世紀のモノづくりと I E の役割』 I E レビュー vol.240 日本 I E 協会, 2005
- [70] 日本 I E 協会編『さらなるフレキシビリティを求めて』 I E レビュー vol.248, No.2 日本 I E 協会, 2006
- [71] 日本 I E 協会編『セル生産導入によるリードタイムの短縮』 I E レビュー vol.248, No.2 日本 I E 協会, 2006