類似部品グループの分割による機械負荷計画*

宋 相 載^{*1}, 人 見 勝 人^{*2}

Group Machine Loading by Division of the Parts Family

Sangjae SONG and Katundo HITOMI, P. E.

Group technology (GT) has been considered a key concept to cope with multi-product, small-lot-sized production. One of the advantages of group production is to reduce setup times. It is often much advantageous when the number of parts in a parts family is large and the parts are machined in succession. Generally, when all of the parts in the parts family are assigned to a particular machine (or GT cell), it is difficult to balance the workload among the machines (or the GT cells). In this paper, a procedure is proposed to achieve workload balance among the machines by dividing the parts family into appropriate portions. The machine loading procedure under the balanced workload among the machines is developed to minimize the total production time (sum of group setup times and processing times). Numerical examples are demonstrated to show the effectiveness of the proposed machine loading procedure.

Key Words: Group Technology, GT Layout, Machine Loading, Workload Balance, Multi-Product Small-Lot-Sized Production, Production System

1. 緒 論

多種少量生産を効果的に行うための一つの対策としてグループ・テクノロジー(GT)がある⁽¹⁾。このGTに基づくグループ生産は、段取り時間や加工待ち時間を減少しつつ、大きいロットで、大量生産に近い効果を与え、生産性の向上をはかるものである。グループ生産においては、部品(製品)は類似部品グループに分類され、その同一グループ内の部品を連続して生産する限り、1回だけグループ段取りを行えばよいという特長があり、一部品ごとに個別の段取りを行う個別生産方式よりグループ生産のほうが有利である場合が多い。グループ生産において類似部品をグループ化し、ある特定の機械に割り当てた場合、グループ段取り時間の総和を小さくすることができるが、機械間の負荷の不均衡が生じやすい。そのとき生じてくる負荷の不均衡を解消し、機械間における負荷の均衡をとろうとするため煩雑な物の流れは避けられない。それゆえ、負荷の均衡を考慮した負荷計画問題は、GTセルレイアウト計画においても重要である。これまでの、グル

ープ生産では生産性の向上を目指して、同一グループに属する部品を連続生産するという仮定のもとで多種少量生産の効率化をはかってきた。

本研究では、GTの概念に基づき、グループ生産を行う場合、負荷の不均衡を解消しようとして同一部品グループを分割することから生じる物の流れの交錯を避け、加工の流れをできるだけ円滑化しようとするグループ生産のメリットを十分に活かしていくため、同一グループ内の類似部品の分割による機械間の負荷の均衡問題と全機械の稼働時間(グループ段取り時間と加工時間の和)最小化という二つの問題を同時に考慮して解析を行う。

2. 機械間の負荷均衡問題の構成

2.1 負荷の均衡問題の意義 組立ラインの各工程での組立時間がほぼ均等になるように要素作業の編成を行うライン・バランシング(line balancing)問題⁽²⁾や、最終工程において使用される部品の種類と生産量が均整になるように生産指示を行うJIT(Just-In-Time)生産方式での平準化問題⁽³⁾は、無駄な仕掛け在庫や遊休時間などをできるだけ排除することが基本的な考え方である。それに対し、フロー・ショップでの機械間の負荷の均衡問題では、通常余裕時間をもた

* 原稿受付 平成元年11月9日。

^{*1} 正員、京都大学大学院 (〒606 京都市左京区吉田本町)。^{*2} 正員、京都大学工学部/北京理工大学/西南交通大学。

ない隘路工程によって最大の生産率が決まってしまうから、全工程での生産時間ができるだけ均一となるように全部品を各機械に割り当てることが重要である。他方、グループ生産を行う GT レイアウトの生産方式では、多種少量生産を効率よく行うため、機械間の負荷の均衡や GT セル(機械のグループ)間の負荷の均衡が大事である⁽⁴⁾。負荷の均衡が崩れると、負荷の均衡を達成しようとして同一部品グループを分割し、いくつかの GT セルで生産を行うため、物の流れは機種別レイアウトより煩雑となりがちであり、GT レイアウトにした意味はなくなる。特にグループ生産の場合では、類似部品をグループ化して機械や GT セルに割り当てるため、負荷の均衡をとることが難しく、通常の機種別レイアウトでの生産より生産効率が悪くなるということも起こり得る。これは、物のフロー量だけを問題にしてきた従来のレイアウト計画とともに、GT レイアウトの構成にも関係する問題である。

負荷の均衡問題を解くには、山積法がよく用いられる。しかしこの方法では、生産量と生産時間の組合せによって多数の実行可能解が得られる。それゆえ、本研究では、機械間の負荷の均衡に関する問題は他の制約条件と一緒に制約条件としてとり上げ、それらの制約条件を満たす実行可能解から全機械での移動時間が最小となる近似最適解を求める問題について考え、その定式化と解法について述べる。

2.2 基礎データ 多種少量生産を対象とする工場における機械間の負荷の均衡問題を論じる際、生産の対象となる部品と生産手段である機械に関する表 1 の基礎データを用いる。

まず部品に関するデータとしては、比較的長い計画期間の中で生産する部品の種類と数量が、上位レベル

での生産計画に基づき、すでに決定されているものとする。それらの部品は、GT 手法でそれぞれ類似部品グループに分類されており、類似部品グループ $G_i (i=1, 2, \dots, N)$ に属する部品 $p_{ij} (j=1, 2, \dots, n_i)$ については、規定の期間内の予定生産量 x_{ij} が与えられており、グループ段取り時間 S_i 、ならびに各部品が必要とする作業内容に応じて、加工可能な機種 $l (l=1, 2, \dots, \sigma)$ と、その中の機械 k による加工時間 $t_{ijk}^l (k=1, 2, \dots, m_l)$ が定められている。

機械に関するデータとしては、与えられた全部品を確実に生産するために、異なる加工機能をもついくつかの機種があり、各機種は同一加工機能をもつ複数の機械 M_k^l からなっているものとする。なお同一加工機能をもつ機械では、生産能力が最も低い機械を標準機械とし、その機械による加工時間で他の部品の加工時間を定め、それ以外の機械の生産能力は標準機械の生産能力に換算して各機械の生産可能時間 C_k^l を定めておく。

2.3 前提条件 機械間の負荷の均衡問題の解析に当たり、次の前提をおく。

- (1) 生産モデルの中で用いる基礎データとして、予定生産量や加工時間、グループ段取り時間は既知である。
- (2) 原則として同一グループに属する部品は連続して生産を行い、グループ段取り時間は加工順序にはよらない。

3. 機械間における負荷の均衡問題の解析

3.1 問題の設定および定式化 本研究では、部品の類似性に基づいて分類された各部品を機種 l 内のどの機械で加工するかを決めるために、機種 l の全機

表 1 基礎データ

グループ	部品	生産量 x_{ij} (pcs/week)	グループ 段取り時間 S_i (min)	機種 1 による加工時間 t_{ij1}^1 (min/pc)			機種 2 による加工時間 t_{ij2}^2 (min/pc)		機種 σ による加工時間 $t_{ij\sigma}^\sigma$ (min/pc)			
				M_1^1	M_2^1	M_3^1	M_1^2	M_2^2	M_1^σ	M_2^σ	M_3^σ	
G_1	p_{11} p_{12}	x_{11} x_{12}	S_1	t_{111}^1 t_{121}^1	t_{112}^1 t_{122}^1	t_{113}^1 t_{123}^1			t_{111}^σ t_{121}^σ	t_{112}^σ t_{122}^σ	t_{113}^σ t_{123}^σ	
G_2	p_{21} p_{22} p_{23}	x_{21} x_{22} x_{23}	S_2	t_{211}^1 t_{221}^1 t_{231}^1	t_{212}^1 t_{222}^1 t_{232}^1	t_{213}^1 t_{223}^1 t_{233}^1	t_{211}^2 t_{221}^2 t_{231}^2	t_{212}^2 t_{222}^2 t_{232}^2				
G_N	p_{N1} p_{N2} p_{N3}	x_{N1} x_{N2} x_{N3}	S_N				t_{N11}^2 t_{N21}^2 t_{N31}^2	t_{N12}^2 t_{N22}^2 t_{N32}^2		t_{N11}^σ t_{N21}^σ t_{N31}^σ	t_{N12}^σ t_{N22}^σ t_{N32}^σ	t_{N13}^σ t_{N23}^σ t_{N33}^σ
生産可能な時間 (C_k^l (min/week))				C_1^1	C_2^1	C_3^1	C_1^2	C_2^2		C_1^σ	C_2^σ	C_3^σ

械の稼動時間が最小になるように、機械間の負荷の均衡問題を考慮する。ここでは、機種 l の全機械の稼動時間を総機械時間と呼び、その総機械時間の最小化のもとで各機械間の負荷の均衡を達成することは、各機械間の余裕時間が均一となり、その結果、生産する部品または生産量が多少変動しても柔軟に対処することができる。

総機械時間が最小になるように、機械間の負荷の均衡問題を考慮する問題は次のように定式化できる。

<問題 IP>

目的関数(機種 l における総機械時間の最小化)：

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N \left(\sum_{k=1}^{m_l} S_i Y_{ik} + \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{m_l} t_{ijk} x_{ijk} \right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

制約条件：

$$\sum_{i=1}^N \left(S_i Y_{ik} + \sum_{j=1}^{n_i} t_{ijk} x_{ijk} \right) \leq C_k^l \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\left\{ \sum_{i=1}^N \left(S_i Y_{ik} + \sum_{j=1}^{n_i} t_{ijk} x_{ijk} \right) / C_k^l - \sum_{i=1}^N \left(S_i Y_{iy} + \sum_{j=1}^{n_i} t_{ijy} x_{ijy} \right) / C_y^l \right\}^2 \leq \delta^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\sum_{k=1}^{m_l} x_{ijk} = x_{ij} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$Y_{ik} = \begin{cases} 0, & \sum_{j=1}^{n_i} x_{ijk} = 0 \\ 1, & \sum_{j=1}^{n_i} x_{ijk} \geq 1 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$x_{ijk} \geq 0, x_{ijk}$ ：整数変数

($i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, n_i, k=1, 2, \dots, m_l, k \neq y$)

ここで、決定変数は x_{ijk} ：グループ i の部品 j が機種 l の機械 M_k^l で生産される生産量である。したがって、総機械時間を最小化する最適な部品の割当問題は、生産可能時間に関する制約式(2)、機種 l における機械間の負荷の均衡に関する制約式(3)、生産量に関する制約式(4)、および機械 M_k^l で各グループ内の部品が生産されるかどうかによって変わる 0-1 型変数に

関する制約式(5)のもとで、総機械時間(グループ段取り時間と加工時間の総和)に関する目的関数(1)が最小になるように生産量 x_{ijk} を決定することである。

この整数計画問題は、負荷の均衡に関する 2 次の制約式(3)と、0-1 型変数 Y_{ik} を含んだ式(1)と(2)のため、通常の整数計画問題とは性質を異にする。したがって、整数計画問題に対する解法をそのまま適用したのでは解を求めることはできない。

ここでは、上の問題に対して 2 次の制約式(3)を線形化し、線形計画問題(LP)として解く方法を述べる。

3.2 解法 総機械時間の最小化と同時に同種の機械間の負荷の均衡をはかるのは、解法上難しい。原理的には 0-1 型変数 Y_{ik} のすべての組合せに対して得られる整数計画問題を解いて、そのうち総機械時間が最小になるものを選択すれば、それが最適解となる。しかし、この方法ではグループ数 N と機種 l の機械台数 m_l に対し、総組合せ数： $\sum_{i=1}^{m_l} m_l! / r! (m_l - r)!^N$ となり、 N と m_l が大きくなると、必ずしも実用的とはいえない。それゆえ、ここではまず、問題 IP からグループ段取り時間を除外した整数計画問題 ($\overline{\text{IP}}$) について x_{ijk} を求め、その求められた変数 x_{ijk} からグループ段取り時間を各機械に負荷する。そのとき、もし負荷の均衡に関する制約条件を満たさない場合は、問題 $\overline{\text{IP}}$ に負荷したグループ段取り時間を考慮した新しい問題について解いていく方法を提案する。これは、次に述べる性質(2)を考えれば、十分実用的である。

通常の整数計画問題と異なる問題 $\overline{\text{IP}}$ の性質、すなわち、(1)生産量に関する等式制約条件式(4)を持つこと、(2)負荷の不均衡を生産可能時間に対して $\delta\%$ 許しているため、他の制約条件より緩いこと、などの性質から LP 問題から得られる非整数解 x_{ijk} に対し、丸めを行えば、最適解に近い整数解を得ることができる。それを以下説明する。

便宜上、問題 $\overline{\text{IP}}$ を 2 台の機械 ($k=1, 2$) として想定する図 1 のような場合を考える。図の斜線の部分が制約条件(4)を考慮してない問題 $\overline{\text{IP}}$ の実行可能領域で、その中の格子点のうち、等式制約条件(4)： $x_{i1} + x_{i2} = x_{ij}$ の直線上にある格子点のみが問題 $\overline{\text{IP}}$ の実行可能解である。このような格子点のうちで目的関数が最大にするものを見い出したい。

(x_{i1}^*, x_{i2}^*) は LP の問題の最適解であるが、整数解ではない。そこで、まず (x_{i1}^*, x_{i2}^*) に最も近く、しかも実行可能な格子点の中から目的関数の値が最大になるような一つの点 C を得る。

しかし、この点 C は問題 $\overline{\text{IP}}$ の最適解ではなく、点

図 1 LP 解から整数解を得る方法

Eが最適解である。このような場合は、目的関数の傾きを α 、線分AFの傾きを β とすると、 $1 < |\alpha| < |\beta|$ に限って起こりうる。それ以外の場合は、LP最適解に最も近い実行可能な整数解に丸めることで問題IPの最適解が得られる。

目的関数にとりうる領域が非常に狭い $1 < |\alpha| < |\beta|$ の場合、最適解Eを求めるためには、組合せ問題の解法に有効な分枝限定法が考えられる。

ところが、本研究では、LP解を丸めた整数解Cに対する目的関数の値が、最適な整数解Eに対する目的関数の値に近い値を与えることから、生産量を連続的な変数とみなし、また問題LPは問題IPの下界値を与えるので、2次式の制約式(3)を線形化し、総機械時間の最小化を計る問題IPを線形計画問題として解く方法について、以下四つのステップに分けて解法を述べる。

3.3 アルゴリズム

(ステップ1) 問題IPと負荷の均衡に関する制約式(3)を取り除いた次の線形計画問題(LP1)を解く。

<問題LP1>

目的関数(全機械での加工時間の最小化)：

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{m_i} t_{ijk} x_{ijk} \quad \dots\dots\dots (6)$$

制約条件：

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} t_{ijk} x_{ijk} \leq C_k^i \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\sum_{k=1}^{m_i} x_{ijk} = x_{ij} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

($i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, n_i, k=1, 2, \dots, m_i$)

この問題LP1の最適解のうち、加工時間のみを考慮した目的関数(6)が最小で、非整数値 x_{ijk} に最も近い整数値 $\bar{x}_{ijk}$ を求める。ところで、各機械での割当作業負荷量 L_k^i は次の式で与えられる。

$$L_k^i = \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{m_i} t_{ijk} x_{ijk}, (k=1, 2, \dots, m_i) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式(9)の x_{ijk} に $\bar{x}_{ijk}$ を代入して、割当作業負荷量を求める。

(ステップ2) 問題LP1に、問題IPの負荷の均衡に関する2次の制約条件式(3)の代わりに次の線形化された制約式(10)を加えた線形計画問題LP2を解く。

<問題LP2>

目的関数：式(6)

制約条件：式(7), (4), (8), および

$$\frac{L_k^i}{C_k^i} - \frac{L_k^j}{C_k^j} \leq \delta \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$(k, y=1, 2, \dots, m_i, R_k^i \geq R_k^j, k \neq y)$$

ただし、 R_k^i は割当作業負荷率を表し、 L_k^i/C_k^i で与えられる。問題LP2の最適解のうち、目的関数(6)が最小で、非整数値 x_{ijk} に最も近い整数値を $\bar{x}_{ijk}$ と設定し、式(9)より各機械での割当作業負荷量 L_k^i を求める。

$$(\text{ステップ3}) \quad \sum_{j=1}^{n_i} \bar{x}_{ijk} \leq 1 (i=1, 2, \dots, N, k=1, 2,$$

$\dots, m_i)$ である機械の集合を $\Omega_1 = \{M_k^i\}$ とし、問題LP2での生産可能時間に関する制約式(7)の代わりに、グループ段取り時間を考慮した制約条件式(11)と(12)を用いた線形計画問題LP3の最適解のうち、目的関数(6)が最小で、非整数値 x_{ijk} に最も近い整数値を x_{ijk}^* とする。

<問題LP3>

目的関数：式(6)

制約条件：式(4), (8), (10), および

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} t_{ijk} x_{ijk} \leq C_k^i - \sum_{i=1}^N S_i Y_{ik}, (k \in \Omega) \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} t_{ijk} x_{ijk} \leq C_k^i, (k \notin \Omega) \quad \dots\dots\dots (12)$$

(ステップ4) 問題LP3の最適解に対して、 $\sum_{j=1}^{n_i} x_{ijk}^* \leq 1$ である機械の集合を $\Omega_2 = \{M_k^i\}$ とし、もし $\Omega_1 = \Omega_2$ であれば終了。さもなければステップ3へ戻り、同じ手順を踏む。

4. 数値計算例

前章で展開したアルゴリズムの有効性を示すために、数値計算を行う。ここで用いるデータは表2に示すように、機種二つ、部品グループ五つである。また、機械間の負荷の不均衡の許容度 δ は10%とし、2機種のそれぞれについて数値例を示す。

<機種1について>

(ステップ1) 線形計画問題LP1を解くと、各機械での生産量は、表3のようになる。

目的関数(6)が最小で、非整数解 $x_{33k}(k=1, 2)$ に最も近い整数解を $\bar{x}_{331}=19, \bar{x}_{332}=21$ とそれぞれ設定する。そのとき、各機械での割当作業負荷量は、 $L_1^1=1925[\text{min}], L_2^1=2068[\text{min}], L_3^1=1790[\text{min}]$ となり、目的関数(6)の最適値は、5783[min]となる。

(ステップ2) 次の三つの制約条件を先の問題LP1に加えた線形計画問題LP2について解く。

$$\frac{L_2^1}{2100} - \frac{L_1^1}{2400} \leq 0.1 \quad \dots\dots\dots (10 \cdot a)$$

$$\frac{L_2^1}{2100} - \frac{L_3^1}{1800} \leq 0.1 \quad \dots\dots\dots (10 \cdot b)$$

表 2 基礎データ

グループ G_i	部品 P_{ij}	生産量 x_{ij} (pcs/week)	グループ 段取り時間 S_i (min)	機種 1 による加工時間 t_{ijk}^1 (min/pc)			機種 2 による加工時間 t_{ijk}^2 (min/pc)	
				M_1^1	M_2^1	M_3^1	M_1^2	M_2^2
G_1	P_{11}	2 5	2 0	18	24	30	25	20
	P_{12}	2 0		15	12	12	12	8
G_2	P_{21}	5 0	3 0	18	15	10	28	10
	P_{22}	2 0		25	30	25	30	15
	P_{23}	2 5		30	25	22	36	35
G_3	P_{31}	5 0	4 0	10	14	20	46	34
	P_{32}	3 0		25	20	30	48	27
	P_{33}	4 0		25	22	30	29	50
G_4	P_{41}	2 0	3 0	20	15	25	34	28
	P_{42}	2 6		20	15	25	35	46
G_5	P_{51}	3 0	4 0	16	12	20	22	34
	P_{52}	5 0		20	15	10	30	25
生産可能な時間 (C_k (min/week))				2400	2100	1800	6000	5000

表 3 ステップ 1 で得られた解

機械 M_1^1	機械 M_2^1	機械 M_3^1
$\bar{x}_{111}=25$ $\bar{x}_{221}=20$ $\bar{x}_{311}=50$ $x_{331}=19.55$	$\bar{x}_{322}=30$ $x_{332}=20.45$ $\bar{x}_{412}=20$ $\bar{x}_{422}=26$ $\bar{x}_{512}=30$	$\bar{x}_{123}=20$ $\bar{x}_{213}=50$ $\bar{x}_{233}=25$ $\bar{x}_{523}=50$

表 4 ステップ 2 で得られた解

機械 M_1^1	機械 M_2^1	機械 M_3^1
$\hat{x}_{111}=25$ $\hat{x}_{221}=20$ $\hat{x}_{311}=50$ $x_{331}=25.13$	$x_{122}=4.28$ $\hat{x}_{322}=30$ $x_{332}=14.87$ $\hat{x}_{412}=20$ $\hat{x}_{422}=26$ $\hat{x}_{512}=30$	$x_{123}=15.72$ $\hat{x}_{213}=50$ $\hat{x}_{233}=25$ $\hat{x}_{523}=50$

表 5 ステップ 3 で得られた解

機械 M_1^1	機械 M_2^1	機械 M_3^1
$x_{111}^*=25$ $x_{221}^*=20$ $x_{311}^*=50$ $x_{331}=27.72$	$x_{122}=4.16$ $x_{322}^*=30$ $x_{332}=12.27$ $x_{412}^*=20$ $x_{422}^*=26$ $x_{512}^*=30$	$x_{123}=15.83$ $x_{213}^*=50$ $x_{233}^*=25$ $x_{523}^*=50$

$$\frac{L_1^1}{2400} - \frac{L_3^1}{1800} \leq 0.1 \dots\dots\dots (10 \cdot c)$$

そのとき、各機械における割り当てられた生産量は表 4 となる。

目的関数(6)が最小で、非整数解 $x_{33k}(k=1, 2)$ と $x_{12k}(k=2, 3)$ に最も近い整数解 $\hat{x}_{122}=4$, $\hat{x}_{123}=16$ と $\hat{x}_{331}=25$, $\hat{x}_{332}=15$ をそれぞれ設定する。そのとき、各機械での割当作業負荷量は、 $L_1^1=2075[\text{min}]$, $L_2^1=1984[\text{min}]$, $L_3^1=1742[\text{min}]$ となり、目的関数(6)の最適値は、5801[min]となる。

(ステップ 3) 各機械でのグループ段取り時間の総和を求めると、機械 M_1^1 では 90[min]、機械 M_2^1 では 130[min]、機械 M_3^1 では 60[min]となる。これらのグループ段取り時間を生産可能な時間 $C_k(k=1, 2, 3)$ から差し引いた残り時間、

$$C_1^1=2310(=2400-90)$$

$$C_2^1=1970(=2100-130)$$

$$C_3^1=1740(=1800-60)$$

を用いて、先の線形計画問題 LP2 を解くと、各機械における割り当てられた生産量は表 5 となる。

表 6 ステップ 1 で得られた解

機械 M_1^2	機械 M_2^2
$\bar{x}_{231}=25$ $\bar{x}_{331}=40$ $\bar{x}_{421}=26$ $\bar{x}_{511}=30$ $x_{521}=31.2$	$\bar{x}_{112}=25$ $\bar{x}_{122}=20$ $\bar{x}_{212}=50$ $\bar{x}_{222}=20$ $\bar{x}_{312}=50$ $\bar{x}_{322}=30$ $\bar{x}_{412}=20$ $x_{522}=18.8$

表 7 ステップ 2 で得られた解

機械 M_1^2	機械 M_2^2
$\hat{x}_{231}=25$ $\hat{x}_{331}=40$ $x_{411}=3.64$ $\hat{x}_{421}=26$ $\hat{x}_{511}=30$ $\hat{x}_{521}=50$	$\hat{x}_{112}=25$ $\hat{x}_{122}=20$ $\hat{x}_{212}=50$ $\hat{x}_{222}=20$ $\hat{x}_{312}=50$ $\hat{x}_{322}=30$ $x_{412}=16.3$

目的関数(1)が最小で、非整数解 $x_{33k}(k=1, 2)$ と $x_{12k}(k=2, 3)$ に最も近い整数解として $x_{122}^*=5$, $x_{123}^*=15$ ならびに $x_{331}^*=28$, $x_{332}^*=12$ をそれぞれ設定する。そのとき、各機械での割当作業負荷量は、 $L_1^1=2240[\text{min}]$, $L_2^1=2060[\text{min}]$, $L_3^1=1790[\text{min}]$ となり、目的関数(1)の最適値は、6090[min]となる。機種 1 について数値計算の結果得られた各機械での最適な割当作業負荷率は、 $R_1^1=0.93$, $R_2^1=0.98$, $R_3^1=0.99$ となる。

<機種 2 について>

機種 1 と同様に機種 2 についても同様な手段に従えば、各ステップでの計算結果は以下となる。

(ステップ1) 表6

$$\bar{x}_{521}=32$$

$$\bar{x}_{522}=18$$

$$L_1^2=4\,590[\text{min}]$$

$$L_2^2=4\,980[\text{min}]$$

$$\text{最適値: } 9\,570 [\text{min}]$$

(ステップ2) 表7

$$\bar{x}_{411}=3$$

$$\bar{x}_{412}=17$$

$$L_1^2=5\,253[\text{min}]$$

$$L_2^2=4\,466[\text{min}]$$

$$\text{最適値: } 9\,678 [\text{min}]$$

(ステップ3) ステップ2の結果と同様であり、機種2について数値計算の結果得られた各機械での最適な割当作業負荷率は、 $R_1^2=0.89$, $R_2^2=0.90$ となる。

7. 結 論

(1) 多種少量生産を能率よく、経済的に行うため、

グループ段取り時間と加工時間の総和からなる総機械時間の最小化のもとで類似部品グループの分割による機械間の負荷の均衡について解析を行った。

(2) 総機械時間最小化問題について定式化を行い、その問題を緩和して解く近似最適解アルゴリズムを提案した。

(3) 数値例により本研究で提案した近似最適化アルゴリズムの有効性を示した。

文 献

- (1) 人見, 生産システム工学, (1983), 25, 共立出版.
- (2) 例えば, 黒田, ラインバランシングとその応用, (1984), 日刊工業新聞社.
- (3) 例えば, 門田, トヨタシステム, (1985), 講談社.
- (4) 人見(監修), GTによる生産管理システム, (1981), 85, 日刊工業新聞社.
- (5) Inyong Ham, ほか2名, *Group Technology-Applications to Production Management*, (1985), Kluwer-Nijhoff Publishing.