生産スケジューリングを考慮した設備配置に関する研究*

藤原 豊^{*1}, 大崎 紘一^{*2}A Facility Layout Method Linked to
Production Scheduling

Yutaka FUJIHARA and Hirokazu OSAKI

In this paper, we propose a method of facility layout which allows scheduling flexibility corresponding to variations in production at different periods. The critical transportation is defined as the transportation between facilities which has zero idle time in the production schedule using only operation time. To determine the layout in the first period, the facilities with critical transportation are positioned so that they are as close as possible. After the second period, facilities whose critical transportation quantity is greater than that of the preceding period are rearranged, taking into account the re-layout cost, and the layout is determined such that the total flow time of rescheduling, including transportation time, is minimized. The final period layout is the one which can be utilized in all periods.

Key Words: Facility Layout, Production Scheduling, Critical Transportation, Multi-Production Planning Period

1. 緒 言

需要量の変動や生産機種変更によって、生産量やスケジューリング⁽¹⁾は変化し、それに伴い、各設備間の搬送量も変化する。従来、レイアウト問題においてはスケジューリングは考慮されておらず、またスケジューリングの際にも設備配置が関係する搬送時間も考慮されることが少なかった。

そこで本研究では、設備配置の変更に伴う生産の中断や莫大な経費の発生などによって、再配置を行うことが困難な状況の場合、生産計画期間の各单位期間ごとの加工時間のみによる生産スケジューリングが実現されるように、なるべく搬送時間が小さい設備配置を求めると同時に、各期ごとのスケジューリングの変更に対し、設備配置の変更を行わずに、期間全体に渡って使用できるような設備配置を求める方法を提案する。

2. 提案する設備配置手法

2・1 使用する記号

M_p : 配置の対象の設備, $p=0, 1, 2, \dots, N_s$

N_s : 配置の対象の設備およびステーションの総数

ST_p : 設備の配置先のステーション, $p=0, 1, 2, \dots, N_s$

$^{(t)}S$: 設備の配置先のステーション番号からなる第 t 期の配置ベクトル, $t=1, 2, \dots, T$

$FT(^{(t)}S)$: 配置ベクトル $^{(t)}S$ による搬送時間を考慮したスケジューリングによる総加工時間

$^{(t)}P=\{^{(t)}p_{ij}\}$: 第 t 期の加工順序行列, $t=1, 2, \dots, T$

$^{(t)}p_{ij}$: 加工部品 i の第 j 工程での使用設備番号, $i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, K_i$

N : 加工部品の総数

K_i : 加工部品 i の最大工程数

T : 最大生産期間

$^{(t)}PT=\{^{(t)}pt_{ij}\}$: 第 t 期における加工時間行列

$^{(t)}pt_{ij}$: 第 t 期における加工部品 i の第 j 工程での加工時間

$D=\{d_{pq}\}$: ステーション間搬送距離行列

d_{pq} : ステーション ST_p, ST_q 間の搬送距離

sp : 搬送速度

$^{(t)}PL=\{^{(t)}pl_i\}$: 第 t 期加工ロットサイズベクトル

$^{(t)}pl_i$: 第 t 期における部品 i のロットサイズ

$^{(t)}MH=\{^{(t)}mh_{pq}\}$: 第 t 期における設備間搬送量行列

* 原稿受付 1995年12月14日.

*1 正員, 松江工業高等専門学校 (〒690 松江市西生馬町14-4).

*2 正員, 岡山大学工学部 (〒700 岡山市津島中3-1-1).

$^{(t)}mh_{pq}$: 第 t 期における設備 M_p, M_q 間の搬送量 $p, q=0, 1, 2, \dots, N_s$

$^{(t)}CH=\{^{(t)}ch_{pq}\}$: 第 t 期におけるクリティカル搬送量行列

$^{(t)}ch_{pq}$: 第 t 期における設備 M_p, M_q 間のクリティカル搬送量

$C=\{c_p\}$: 再配置費用ベクトル

c_p : 設備 M_p の再配置費用, $p=0, 1, 2, \dots, N_s$

2.2 生産スケジューリング 設備配置の前提として

搬送経路があらかじめ設定されており、搬送経路に沿って配置された N_s 箇所のステーション $ST_1, ST_2, \dots, ST_{N_s}$ が置かれ、そこに N_s 個の設備 $M_1, M_2, \dots, M_{N_s}$ が配置される。加工部品は自動倉庫(ステーション ST_0 に置かれ、設備 M_0 とする)から搬出され、加工後再び格納される。また、搬送は双方向に可能とする。

計画期間は全体で T 期間あり、各期ごとの生産量や製品および加工工程に基づき、第 t 期の加工順序行列 $^{(t)}P=\{^{(t)}P_{ij}\}$ および加工時間行列 $^{(t)}PT=\{^{(t)}pl_{ij}\}$ のデータによって各期ごとの生産スケジューリングを行い、ガントチャートを求める。

2.3 搬送パターンと搬送距離行列 搬送パターンとしては、搬送機能の柔軟性の高い順に、ネット形、ツリー形、ループ形、U 字形、直線形がある⁽²⁾⁽³⁾。いずれのパターンにおいても、各ステーション間の搬送は最短距離で行われるとする。ステーションの配置図より、ステーション ST_p, ST_q 間の距離: d_{pq} を求め、距離行列 $D=\{d_{pq}\}, p, q=0, 1, \dots, N_s$ を求める。ただし、 $p, q=0$ は自動倉庫を表す。

2.4 搬送量行列とクリティカル搬送量行列 各期ごとの生産スケジューリングを作成する際に必要となる加工順序行列は、加工順序を示すと同時に各部品の設備間の搬送の発生を表す。ここで、各部品の第 t 期における加工ロットサイズベクトル $^{(t)}PL$ を用いて、設備間の搬送量 $^{(t)}MH=\{^{(t)}mh_{pq}\}$ を以下の方法で計算する。ただし、 $p, q=0, 1, 2, \dots, N_s$ とする。

加工順序行列において、第 i 部品の加工順序 $^{(t)}P_{ij}, ^{(t)}P_{ij+1}$ の工程における使用設備をそれぞれ式(1)で与える。

$$M_{q_j}=\{^{(t)}P_{ij}, M_{q_{j+1}}=\{^{(t)}P_{ij+1} \dots \dots \dots (1)$$

設備 $M_{q_j}, M_{q_{j+1}}$ 間の搬送量はその部品の加工ロットに等しくなり、 $^{(t)}pl_i$ となる。したがって、搬送量行列の要素 $^{(t)}mh_{q_j q_{j+1}}$ は式(2)で与える。

$$^{(t)}mh_{q_j q_{j+1}}=\{^{(t)}mh_{q_j q_{j+1}}+\{^{(t)}pl_i \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $j=1, 2, \dots, K_i, i=1, 2, \dots, N$ 。

ただし、各部品の第1工程に対しては自動倉庫

Fig.1 Gantt chart

(M_0)から搬送が行われ、また最終工程からは自動倉庫(M_0)に対して搬送が行われるとする。

搬送時間が考慮されていない生産スケジューリングにおいて、部品のある設備での作業終了時刻と次工程での作業開始時刻が等しくなり、かつ、この部品の搬送の遅延が総加工時間に直接影響するような設備間の搬送をクリティカル搬送と定義する。

例えば、図1のようなガントチャートが与えられた場合、加工部品 J_2 の設備 M_1 で加工終了時刻 t_1 と設備 M_3 での開始時刻は一致し、待ち時間なしで M_3 での作業を開始される。また、この搬送が遅れた場合、作業完了時刻が t_5 よりも大きくなる。したがって、 M_1 から M_3 への J_2 の搬送をクリティカル搬送とする。

同様に、時刻 t_2 での (M_1, M_2)間、 t_3 での (M_2, M_3)間、 t_4 での (M_1, M_3)間のそれぞれの搬送はクリティカル搬送となる。

クリティカル搬送量行列 $^{(t)}CH=\{^{(t)}ch_{pq}\}$ は、設備 M_p, M_q 間でクリティカル搬送となる部品 $J_i(i=1, 2, \dots, N)$ をガントチャートから採し、式(3)で求める。

$$^{(t)}ch_{pq}=\sum_{i=1}^N \{^{(t)}pl_i \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 $p, q=0, 1, 2, \dots, N_s$ とする。

2.5 設備再配置費用について 設備配置に関連する費用としては、工場内の物流に伴う費用と設備再配置の際に発生する費用に大別できる。前者は通常、搬送量と搬送距離の積の総和で近似されることが多く、受注量や受注製品の変化がない場合の設備配置案の評価値として用いられる⁽⁴⁾。

後者の設備再配置費用は、新しい受注品や生産量の変化、新しい生産ラインの導入などによって現在の設備配置を変更する際に発生する費用であり、配置変更に関連する設備の移設費用や移動距離に関する費用や配置変更のための生産中断に伴う費用などがあるが、本研究では再配置費用は、配置変更に関する設

備の組合せによる費用の変化はなく、また移動距離による費用の変動もなく、各設備とも一定の再配置費用が必要となるとする⁽⁵⁾。

そこで、各設備ごとに必要となる再配置費用を表す再配置費用ベクトル $C=\{c_p\}$ が与えられるとする。ただし、 $p=1, 2, \dots, N_s$ とする。

2・6 スケジューリングを考慮した設備配置法

(1) 第1期の生産スケジューリング

第1期の加工順序行列 ${}^{(1)}P=\{{}^{(1)}P_{ij}\}$ 、加工時間行列 ${}^{(1)}PT=\{{}^{(1)}pt_{ij}\}$ によって各設備間の搬送量行列 ${}^{(1)}MH=\{{}^{(1)}mh_{pq}\}$ を求める。同時に、スケジューリングを行い、ガントチャートを求める⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

また、スケジューリングの結果から総加工時間 FT を求め、加工ロットサイズ ${}^{(1)}PL$ から、クリティカル搬送量行列 ${}^{(1)}CH$ を求める。

(2) 自動倉庫隣接ステーションへの設備配置

自動倉庫への出庫あるいは入庫におけるクリティカル搬送の頻度の多い設備を自動倉庫に隣接したステーションに配置する。最初に、未配置ステーション番号の集合を $US=\{1, 2, \dots, N_s\}$ 、そして未配置設備番号の集合を $UF=\{1, 2, \dots, N_s\}$ とする。

① D 行列の第0行から、式(4)によって自動倉庫からの最短距離のステーション ST_{p_1} を求める。

$$D(ST_{p_1})=\min_{p \in US}\{d_{0p}\} \dots\dots\dots (4)$$

② ${}^{(1)}CH$ 行列の第0行から、式(5)によって自動倉庫からのクリティカル搬送量の最大の設備 M_{q_1} を選択する。

$$V(M_{q_1})=\max_{q \in UF}\{{}^{(1)}ch_{0q}\} \dots\dots\dots (5)$$

もし、自動倉庫からのクリティカル搬送が存在しないため、 ${}^{(1)}CH$ 行列の第0行の要素がすべて零ならば、式(5)の代わりに式(6)を用いる。

$$V(M_{q_1})=\max_{q \in UF}\{{}^{(1)}mh_{0q}\} \dots\dots\dots (6)$$

③ 設備 M_{q_1} をステーション ST_{p_1} に配置する。

$$US=US-\{p_1\}, UF=UF-\{q_1\}$$

とする。

④ ST_{p_1} を除き、自動倉庫への最短距離のステーション ST_{p_2} を求める。

$$D(ST_{p_2})=\min_{p \in US}\{d_{p0}\} \dots\dots\dots (7)$$

⑤ 自動倉庫への搬入について、クリティカル搬送量の最大の設備 M_{q_2} を選択する。

$$V(M_{q_2})=\max_{q \in UF}\{{}^{(1)}ch_{q0}\} \dots\dots\dots (8)$$

もし、自動倉庫へのクリティカル搬送が行われず $V(M_{q_2})=0$ ならば、式(9)を用いる。

$$V(M_{q_2})=\max_{q \in UF}\{{}^{(1)}mh_{q0}\} \dots\dots\dots (9)$$

⑥ 設備 M_{q_2} をステーション ST_{p_2} に配置する。

$$US=US-\{p_2\}, UF=UF-\{q_2\}$$

とする。

(3) 自動倉庫の両端以外の設備配置

物流方向を考慮し、設備間の搬送時間の短い配置を行うため、自動倉庫からの搬出方向へ搬送量の大きい設備同士をなるべく隣接して配置し、逆に自動倉庫への搬入方向への搬送量の大きい設備同士をできるだけ隣接するように配置を行う。

① 配置済みのステーション ST_{p_1} から最短距離にあるステーション ST_{p_3} を求める。

$$D(ST_{p_3})=\min_{p \in US}\{d_{p_1p}\} \dots\dots\dots (10)$$

② 設備 M_{q_1} からのクリティカル搬送量が最大となる設備 M_{q_3} を ${}^{(1)}CH$ 行列から式(11)によって求める。

$$V(M_{q_3})=\max_{q \in UF}\{{}^{(1)}ch_{q_1q}\} \dots\dots\dots (11)$$

もし、 $V(M_{q_3})=0$ ならば、式(12)を用いる。

$$V(M_{q_3})=\max_{q \in UF}\{{}^{(1)}mh_{q_1q}\} \dots\dots\dots (12)$$

③ 設備 M_{q_3} をステーション ST_{p_3} に配置する。

$$US=US-\{p_3\}, UF=UF-\{q_3\}$$

とする。

④ 配置済みのもう一方のステーション ST_{p_2} から最短距離にあるステーション ST_{p_4} を求める。

$$D(ST_{p_4})=\min_{p \in US}\{d_{p_2p}\} \dots\dots\dots (13)$$

⑤ 設備 M_{q_2} へのクリティカル搬送量が最大となる設備 M_{q_4} を求める。

$$V(M_{q_4})=\max_{q \in UF}\{{}^{(1)}ch_{q_2q}\} \dots\dots\dots (14)$$

もし、 $V(M_{q_4})=0$ ならば、次式を用いる。

$$V(M_{q_4})=\max_{q \in UF}\{{}^{(1)}mh_{q_2q}\} \dots\dots\dots (15)$$

⑥ 設備 M_{q_4} をステーション ST_{p_4} に配置する。

$$US=US-\{p_4\}, UF=UF-\{q_4\}$$

とする。

⑦ 以下、同様に手順(1)から、クリティカル搬送に関係する設備がすべて配置されるまで繰返す。

⑧ クリティカル搬送に関係のない設備が未配置で残っている場合、次のように配置を行う。

$$d_{p_mq_m}=\min_{p \in US} \min_{q \notin US}\{d_{pq}\} \dots\dots\dots (16)$$

式(16)より、配置済みステーション ST_{q_m} と最短距離にある未配置ステーション ST_{p_m} を探索する。次に ST_{q_m} に配置されている設備 M_{q_m} との搬送量が最大の未配置設備を式(17)から求める。

$$\begin{aligned} {}^{(1)}mh_{p_uq_m} &= \max_{q \in UF}\{{}^{(1)}mh_{pq_m}\}, {}^{(1)}mh_{q_mq_u} \\ &= \max_{q \in UF}\{{}^{(1)}mh_{qmq}\} \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

$^{(1)}mh_{p_u q_m} > ^{(1)}mh_{q_m q_u}$ ならば、設備 M_{p_u} をステーション ST_{p_m} に配置する。そうでない場合は、 M_{q_u} を ST_{p_m} に配置する。以下、 N_s 個の設備のすべてが配置されるまで繰り返す。

⑨ 最後に、各設備 $M_1, M_2, \dots, M_{N_s}$ が配置されたステーション番号のベクトルを第1期の配置ベクトル $^{(1)}S$ とする。

⑩ 配置ベクトル $^{(1)}S$ について各工程での加工時間と設備間の搬送時間を考慮に入れて再スケジューリングを行うため、第1期の加工順序行列 $^{(1)}P$ 、および $^{(1)}S$ から搬送時間を次のように算出する。

配置ベクトル $^{(1)}S$ において、設備 (M_q, M_r) 間の距離は、 d_{qr} であり、搬送速度を sp とすれば、設備間の搬送時間 tt_{qr} は式(18)で表せる。

$$tt_{qr} = d_{qr}/sp \quad \dots\dots\dots (18)$$

そして、加工時間と搬送時間を加えた時間値によって再スケジューリングを行い、総加工時間 $FT(^{(1)}S)$ を求める。その際、スケジューリングの手法は何を使用してもよい。

2・7 第2期以降の設備配置 第2期からの t 期の設備配置の探索においては、搬送時間を考慮しない通常のスケジューリングを行い、第1期と同様にクリティカル搬送量行列 $^{(t)}CH$ を求める。 $(t-1)$ 期のクリティカル搬送量行列 $^{(t-1)}CH$ と比較し、そして $^{(t)}CH - ^{(t-1)}CH$ の中でクリティカル搬送量が増加する設備の組を探索する。

そして、クリティカル搬送量が増加する設備間で再配置費用が最小の条件のもとで、これらの設備間の搬送距離が短縮されるように $^{(t-1)}S$ の設備配置の配置変更を行い、配置ベクトル $^{(t-1)}S'$ を求める。

さらに、 $^{(t-1)}S'$ について搬送時間を計算し、搬送時間を考慮にいったスケジューリングを行い、総加工時間を求める。そしてクリティカル搬送量が増加する設備の組について配置ベクトルを求め、その中から総加工時間が最小となる配置ベクトルを第 t 期の配置ベクトル $^{(t)}S$ とする。

① 第 t 期の加工順序行列 $^{(t)}P = \{^{(t)}P_{ij}\}$ 、加工時間行列 $^{(t)}PT = \{^{(t)}pt_{ij}\}$ によってスケジューリングを行い、ガントチャートを求める。その結果から各部品の加工ロットサイズ $^{(t)}PL = \{^{(t)}pl_1, ^{(t)}pl_2, \dots, ^{(t)}pl_{N_s}\}$ を用いて、クリティカル搬送量行列 $^{(t)}CH$ を求める。

② クリティカル搬送量行列が、 $^{(t-1)}CH$ から $^{(t)}CH$ に変更になった場合の差分行列 $^{(t)}ACH$ を求める。

$$^{(t)}ACH = ^{(t)}CH - ^{(t-1)}CH \quad \dots\dots\dots (19)$$

③ 差分行列 $^{(t)}ACH$ において、計画期間の推移に

よってクリティカル搬送量の要素 $^{(t)}\Delta ch_{qu ru} > 0$ を求める。ただし、 $u=1, 2, \dots, N_u$ とする。

④ この要素に関連する二つの設備 M_{qu}, M_{ru} (それぞれステーション ST_{qu}, ST_{ru} に配置されているとする)を最小限の再配置費用で隣接するように、次のように配置換えを行う。ただし、設備 M_{qu}, M_{ru} の再配置費用はそれぞれ c_{qu}, c_{ru} とする。

もし、 $q_u=0$ または、 $r_u=0$ ならば、自動倉庫の配置変更は行わないものとするため、零でない、つまり自動倉庫ではない設備の配置変更を行う。

(a) $c_{qu} > c_{ru}$ ならば、 M_{qu} をステーション ST_{qu} に固定し、 M_{ru} ができるだけ隣接されるように配置を次のように交換する。搬送距離行列において、

$$d_{quv} < d_{qu ru} \quad \dots\dots\dots (20)$$

となるステーション ST_v を M_{ru} の移動先のステーションとする。そこで、設備 M_{ru} をステーション ST_v に、 M_v を ST_{ru} に配置換えを行う。ただし、 $v=1, 2, \dots, N_v$ とする。

このような配置交換の総再配置費用を TC_v で表す。ただし、

$$TC_v = c_{qu} + c_v \quad \dots\dots\dots (21)$$

とする。

(b) $c_{qu} < c_{ru}$ ならば、 M_{ru} をステーション ST_{ru} に固定し、

$$d_{ruv} < d_{ru qu} \quad \dots\dots\dots (22)$$

が成立するようなステーション ST_v を同様に求める。その場合、総再配置費用は式(23)を用いる。

$$TC_v = c_{qu} + c_v \quad \dots\dots\dots (23)$$

そして、総再配置費用が最小となる配置ベクトルを各差分行列の要素 $^{(t)}\Delta ch_{qu ru}$ に対する再配置ベクトル $^{(t)}S_{qu ru}$ とする。

⑤ 再配置ベクトル $^{(t)}S_{qu ru}$ について各工程での加工時間と設備間の搬送時間を考慮に入れたスケジューリングを行うため、第 t 期の加工順序行列 $^{(t)}P$ 、加工時間行列 $^{(t)}PT$ および $^{(t)}S_{qu ru}$ から搬送時間を算出する。

⑥ 再配置ベクトル $^{(t)}S_{qu ru}$ について、加工時間に搬送時間を加えた時間値を用いて、再スケジューリングを行い、総加工時間 $FT(^{(t)}S_{qu ru})$ を求める。ただし、第1期と同じスケジューリング方法を使用するものとする。

そして、式(24)によって第 t 期の配置ベクトルを決定する。

$$FT(^{(t)}S) = \min_{1 \leq u \leq N_u} FT(^{(t)}S_{qu ru}) \quad \dots\dots\dots (24)$$

⑦ $t=t+1$ とする。 $t > T$ ならば、次節の2・8節へいき、最終的設備配置を求める。もし、 $t \leq T$ なら

ば(a)へいき、さらに各期の配置ベクトルを求める。

2・8 最終的設備配置 以上のようにして求められた各期ごとの配置ベクトル $^{(t)}S$, $t=1, 2, \dots, T$ において、最終生産期間の配置ベクトル $^{(T)}S$ を T 期間共通の最終配置ベクトル *S とし、期間全体を通じて使用する設備配置案とする。

3. 数値計算例

提案した手法により、以下の問題について設備配置を行った。図2に示すように搬送路の1辺が5mのネットワーク状にステーションが設置されていると仮定する。加工対象部品は部品 J_1 から部品 J_7 までの7種類とし、設備は M_1 から M_{10} の10種類、配置ステーションは ST_1 から ST_{10} の10箇所とする。また計画期間は全体で4期であり、それぞれの期の加工順序行列および加工時間行列が与えられると仮定する。また、各ステーション間の搬送速度 sp は10 m/minとする。

また、設備の配置変更に伴う各設備の再配置費用は表1で与えられるとする。

3・1 第1期における生産スケジューリング 第1期の加工順序行列 $^{(1)}P$ および加工時間行列 $^{(1)}PT$ がそれぞれ表2, 3で与えられる。表1の数値は各部品の各工程での加工に使用される設備番号を表す。また、表3の加工時間は分を単位とする。

各部品の加工ロットサイズを $^{(1)}PL=\{10, 30, 20, 55, 40, 25, 70\}$ とすれば、加工順序行列より、第1期の搬送量行列 $^{(1)}MH$ は表4となる。また、ガントチャートから、クリティカル作業は全部で13個あり、第1期のクリティカル搬送量行列 $^{(1)}CH$ は表4のように求まる。

3・2 自動倉庫隣接ステーションへの設備配置

自動倉庫(ST_0)から最短距離にあるステーションは ST_1 、次に ST_2 となる。また、表4のクリティカル搬送量行列の第1行めの要素より、自動倉庫からの搬出量が最大の設備は設備 M_4 であり、逆に自動倉庫への搬入量が最大となるのは、クリティカル搬送量行列の

Fig.2 Arrangement diagram of station

第1列めの要素から M_7 となる。そこで、自動倉庫に隣接するステーションへの設備配置は表5のようになる。

3・3 自動倉庫の両端以外の設備の配置 自動倉庫からの搬出方向において、すでに配置済みの設備 M_4 からのクリティカル搬送量が最大の設備は表4から M_2 となる。一方、搬送距離行列から、 M_4 が配置されているステーション ST_1 と最短距離にある ST_3 を

Table 1 Cost of re-layout ($\times 10^4$ Yen)

Machine	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}
Cost of Re-layout	120	300	250	500	100	300	400	250	320	110

Table 2 Process sequence matrix $^{(1)}P$

Product	Process						
	1	2	3	4	5	6	7
J_1	M_1	M_2	M_4	M_{10}	M_9	M_8	M_7
J_2	M_3	M_{10}	M_2	M_4	M_5		
J_3	M_2	M_4	M_{10}	M_8	M_9	M_5	M_2
J_4	M_4	M_2	M_3	M_{10}	M_9	M_8	M_7
J_5	M_{10}	M_3	M_4	M_2	M_5	M_4	M_1
J_6	M_4	M_1	M_3	M_6	M_8	M_{10}	M_7
J_7	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}	M_7

Table 3 Processing time matrix $^{(1)}PT$ (min)

Product	Process						
	1	2	3	4	5	6	7
J_1	10	4	1	4	10	6	3
J_2	3	1	5	9	3		
J_3	1	3	6	6	4	4	9
J_4	5	5	5	1	12	6	7
J_5	2	6	1	8	3	3	6
J_6	1	1	5	3	7	5	4
J_7	10	3	6	2	6	3	4

Table 4 Flow matrix $^{(1)}MH$ /flow matrix of critical transportation $^{(1)}CH$

	M_2	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}
M_2	0/0	10/10	20/0	30/0	80/55	70/0	0/0	0/0	0/0	0/0	40/0
M_1	40/0	0/0	10/10	25/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
M_3	20/20	0/0	0/0	55/0	60/10	40/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
M_4	0/0	0/0	0/0	0/0	40/0	0/0	25/0	0/0	0/0	0/0	85/0
M_5	0/0	65/0	95/55	0/0	0/0	30/0	0/0	0/0	0/0	0/0	30/30
M_6	30/0	0/0	20/20	0/0	40/0	0/0	70/0	0/0	0/0	0/0	0/0
M_7	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	70/0	25/0	0/0	0/0
M_8	160/70	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	70/0	0/0	0/0
M_9	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	65/55	0/0	90/0	25/0
M_{10}	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	20/20	0/0	0/0	65/55	0/0	70/70
M_1	0/0	0/0	30/0	40/0	0/0	0/0	0/0	95/70	20/0	65/10	0/0

Table 5 Layout of adjacent facility to automated warehouse

Machine	M_7	M_6	M_4
Station	ST_2	ST_0	ST_1

Table 6 Layout vector of the first period

Machine	M	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}
Layout Vector $(^1)S$		0	9	3	6	1	10	7	2	8	5	4

Table 7 Re-layout vector, production time and re-layout cost

	Machine											Production Time (sec)	Re-Layout Cost(Yen)
	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}		
$u=1$	0	9	3	6	1	10	7	2	4	5	8	82	360 x10 ⁴
$u=2$	0	9	3	6	1	10	7	2	8	5	4	90	220
$u=3$	0	9	3	6	1	10	7	2	8	5	4	90	200
$u=4$	0	10	3	6	1	9	7	2	8	5	2	75	220
$u=5$	0	9	3	6	1	10	7	4	8	5	2	81	510
$u=6$	0	9	3	6	1	10	7	2	8	5	4	90	220

求め、設備 M_2 をステーション ST_3 に配置する。

一方、自動倉庫への搬入方向については、自動倉庫へのクリティカル搬送が最大となった設備 M_7 へのクリティカル搬送が最大となる設備を表4の第7列めから求めると M_{10} となる。配置場所については、設備 M_7 が配置されているステーション ST_2 と最短距離にある ST_4 を選択し、 M_{10} を ST_4 に配置する。以下、自動倉庫からの搬出方向、搬入方向を基に配置を決定すれば、第1期の配置ベクトル $(^1)S$ を得る。さらに、この配置ベクトルから設備間の搬送時間を求め、加工時間と搬送時間を加えた時間値を用いて再スケジューリングを行った結果、総加工時間 $FT(^1)S$ は74分となった。

3.4 第2期の設備配置 第2期の加工順序行列 $(^2)P$ および加工時間行列 $(^2)PT$ から同様にスケジューリングを行い、ガントチャートを求める。そして、第2期の搬送量行列およびクリティカル搬送量行列を求める。そこで、式(19)によって、クリティカル搬送量の差分行列を求める。

$(^2)\Delta CH$ 行列において正の要素は $(^2)\Delta CH_{0,8}$, $(^2)\Delta CH_{0,10}$, $(^2)\Delta CH_{2,5}$, $(^2)\Delta CH_{7,1}$, $(^2)\Delta CH_{7,4}$, $(^2)\Delta CH_{10,2}$ の6箇所であり、 $N_u=6$ となる。そこで、これらの各組の設備を最小限の再配置費用で隣接するように第1期の配置の変更を行う。

差分行列において $(^2)\Delta CH_{2,5}=40$ を例に再配置を考えると、この値は設備 (M_2 , M_5) 間のクリティカル搬送量の増加量を表す。ここで、 M_2 , M_5 のそれぞれの再配置費用は表6より $c_2=300$ 万円、 $c_5=100$ 万円となり、 M_2 を固定し、なるべく隣接するように M_5 の移動を考えることにする。第1期の配置ベクトルから設備 M_2 , M_5 はそれぞれステーション ST_3 , ST_{10} に配置され、両ステーション間の距離は30mとなる。 ST_3

Table 8 Allocation plans of each period

Machine	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}
$(^1)S$	0	9	3	6	1	10	7	2	8	5	4
$(^2)S$	0	10	3	6	1	9	7	2	8	5	4
$(^3)S$	0	10	4	6	1	9	7	2	8	5	3
$(^4)S=^*S$	0	10	4	9	1	6	7	2	8	5	3

との距離が30m以下になるのは、 ST_1 , ST_2 , ST_4 , ST_5 , ST_6 , ST_7 , ST_8 , ST_9 の8ステーションである。

そこで、最初、 ST_1 に置かれている設備 M_4 と ST_{10} の M_5 の位置交換を行うと総再配置費用は600万円となる。以下同様にして、他のステーション ST_2 , ST_4 , ST_5 , ST_6 , ST_7 , ST_9 との位置交換を行い、その総再配置費用の最小値を計算すれば、 ST_9 の設備 M_1 と ST_{10} の設備 M_5 の設備交換の場合で、220万円となった。

以下、差分行列の正の他の要素についても同様な計算を行い、表7の結果を得た。そこで、総加工時間が最小となる再配置ベクトル ($u=4$) を第2期の配置ベクトル $(^2)S$ とする。この場合、再スケジューリングの結果、総加工時間 $FT(^2)S$ は75分となった。

3.5 各期および最終的設備配置について 第3期以降についても同様に計算を行い、各期ごとの配置ベクトルを表8に示す。そこで、第4期の配置ベクトル $(^4)S$ を最終的設備配置ベクトル *S とする。そして総加工時間 $FT(^3)S$, $FT(^4)S$ はそれぞれ77分、75分となった。また、全期間を通じて設備 M_4 および $M_6 \sim M_9$ は同じステーションに配置されることが明らかになった。

4. 結 言

本研究では生産期間によって生産量が変動し、生産スケジューリングも変化する場合、配置変更を行わず、全生産期間に渡って使用できる設備配置を求める手法を提案した。本手法は以下のような特徴を有する。

(1) 総加工時間に影響を与えるような搬送をクリティカル搬送と定義し、第1期の設備配置では、生産スケジューリングからクリティカル搬送量を求め、自動倉庫からの搬出方向および搬入方向にクリティカル搬送量が最短距離で搬送されるように設備配置を決定する。

(2) 第2期からの生産期間ごとの設備配置は、クリティカル搬送量の変化量を差分行列で表し、正の要素に関係する二つの設備間の配置変換を搬送距離短縮のもとで再配置費用が最小になるように行う。そして、搬送時間を考慮した再スケジューリングを行い、

総加工時間が最小となる設備配置を各期間ごとの設備配置とする。

(3) 各期間ごとの設備配置を順次求め、最終生産期間の配置ベクトルを最終的設備配置ベクトルとし、全生産期間で使用する設備配置を決定する。

文 献

- (1) Nakasuka, S. and Yoshida, T., Dynamic scheduling

system utilizing machine learning as a knowledge acquisition, *Int. J. Prod. Res.*, **30**-2(1992), 411-431.

- (2) 古賀久雄, FMS の設計, (1985), 69-80, 日刊工業新聞社.
(3) 伊東諄・岩田一明, フレキシブル生産システム, (1984), 85-119, 日刊工業新聞社.
(4) 藤原豊・大崎紘一, 機論, **59**-558, C(1993), 600-605.
(5) Rosenblatt, M. J., The Dynamics of Plant Layout, *Manag. Sci.*, **32**-1(1986), 76-86.
(6) 鍋島一郎, スケジューリング理論, (1974), 187-198, 森北出版.
(7) 村松林太郎, 生産管理, (1976), 170-204, 朝倉書店.