遊休時間とラインの停止を考慮した混合組立ラインの スケジューリング*

倉 重 賢 治^{*1}, 柳 川 佳 也^{*2}
宮 崎 茂 次^{*2}, 亀 山 嘉 正^{*1}

Mixed-Model Assembly Line Scheduling in Consideration of Idle Time and Line Stops

Kenji KURASHIGE^{*3}, Yoshinari YANAGAWA,
Shigeji MIYAZAKI and Yoshimasa KAMEYAMA

^{*3} Okayama Prefectural University, Faculty of Computer Science and System Engineering,
Kuboki 111, Soja, Okayama, 719-1197 Japan

In mixed-model assembly line problem in JIT production system, to keep the consumption rate of each part is very important. It is called parts usage leveling goal. The goal chasing method (GC) and a number of paper have been proposed to achieve this goal. Recently, the time-based goal chasing method (TBGC) that is consideration of the different assembly time among each product has been proposed. The good point of TBGC is able to consider the working situation at assembly line. However, TBGC has been only applied to simple assembly line problem. In the assembly line, line stops do not happen because working area is not restricted and total length of the line is assumed to be long enough. In this paper, working situations are formulated in order to apply TBGC to an assembly line problem which has line stops.

Key Words: Production Planning, Production System, Process Planning, Goal Chasing Method, Time Based Goal Chasing Method, Mixed-Model Assembly Line, Parts Usage, JIT

1. 緒 言

JIT 生産方式における多品種混合組立ラインにおいて、部品の平準化を考慮して、製品の投入順序を決定することは重要であり、目標追跡法 (Goal Chasing Method: GC)⁽¹⁾をはじめとする様々な解法が提案されている^{(2)~(6)}。さらに、最近では、組立時間の違いを考慮したTBGC (Time Based Goal Chasing Method)^{(7)~(9)}、ならびに、その新たな目的関数も提案されている^{(10),(11)}。このTBGCにおいては、実際の作業状況に基づく遊休時間やラインの停止時間も含めた部品の平準化を行うことが可能となる。しかしながら、現在までに、ラインの停止が起りえない単純な組立ラインに対する問題にしか適用されていない⁽¹²⁾。そこで、本研究では、作業遅れによってラインの停止が起りえる混合組立ライン問題に対して、TBGCを適用することを目的とし、ライン上における作業状況の定式化を行った。

2. 本研究の目的

生産組立ラインにおける計画期間は、ある部品 R_i を消費する作業と消費しない作業、ならびに遊休時間から構成される。図1の実線を部品 R_i の消費線を描いたものとすれば、部品 R_i を扱わない作業や遊休時間などは、部品 R_i の消費が行われないため水平線で表され、部品 R_i を扱う作業部分は、その取付け個数と作業時間から得られる傾線で表すことができる。実際の部品の消費線が、時間を考慮した理想的な消費線 (図1での一点鎖線) となるべく一致させることで、より精度の高い部品の平準化を行う。

3. 本研究のモデル

3.1 前提条件 本研究で取り扱う生産組立ラインの前提条件は以下の通りである。

- (1) 多品種の製品を組み立てる混合組立ラインである。
- (2) コンベヤ速度は一定の移動作業方式であり、原則として上下流とも開ステーションである。
- (3) 固定サイクルタイムで製品を投入し、投入された製品の間隔距離は常に一定である。

* 原稿受付 2000年4月14日。

^{*1} 正員, 岡山県立大学 (☎ 719-1197 総社市窪木 111)。

^{*2} 正員, 岡山大学 (☎ 700-8530 岡山市津島中 3-1-1)。

E-mail: kura@cse.oka-pu.ac.jp

 Fig.1 Example of consumption line of parts R_j

- (4) 各作業は一人の作業者が担当し、複数の作業者が同時に作業をすることはできない。
- (5) 各製品に対する各工程での作業時間は一定とする。つまり、作業時間に確率変動は存在しない。
- (6) 作業者の移動に要する時間は無視するものとする。
- (7) 各工程の下流境界線に、製品が達するまでに所定の作業が終了しない場合、一旦ラインを停止させて残りの作業を行う。
- (8) 前期の計画終了時には、今期の生産計画に含まれる製品の一部分が投入されており、計画開始時には、ライン上に仕掛品として存在している。同様に、今期における最後の製品をラインに投入してから、完成品としてラインを離れるまでの間に、来期の生産計画に含まれる製品をいくつか投入する。
- (9) 各作業には、使用する部品（作業）が、すでに割り当てられている。つまり、ラインバランシングはすでに行われているものとする。
- (10) ある作業を終了してから、その次の作業を終えるまでの間に、高々一度しかラインの停止は起こらないものとする。

3.2 記号

- P_i : 製品番号 ($i = 1, 2, \dots, I$)
 R_j : 部品番号 ($j = 1, 2, \dots, J$)
 W_h : 作業 (工程) 番号 ($h = 1, 2, \dots, H$)
 L : 製品の投入間隔 ($LF_h - LB_h < L$)
 LB_h : 作業 W_h に対する作業領域の上流境界線
 LF_h : 作業 W_h に対する作業領域の下流境界線
 V : コンベヤの速度
 C : サイクルタイム ($= L/V$)
 k : 製品の投入番号 ($k = -H+2, \dots, 0, 1, \dots, K$) (図 4.5 参照)

- $P_{[k]}$: k 番目に投入された製品番号
 Q_i : 製品 P_i の需要量
 B_{ij} : 製品 P_i を 1 個組み立てるのに必要な部品 R_j の取付け個数
 N_j : 生産期間中に消費する部品 R_j の総数
 T : 生産計画の終了時刻
 t_{hi} : 作業 W_h による、製品 P_i の作業時間
 $t_{h[k]}$: 作業 W_h による、製品 $P_{[k]}$ の作業時間
 WR_j : 部品 R_j を取付ける作業番号
 $it_{h[k]}$: 作業 W_h が、製品 $P_{[k-1]}$ の作業を終了してから、製品 $P_{[k]}$ の作業に取りかかるまでの遊休時間
 $bt_{h[k]}$: 作業 W_h が、製品 $P_{[k]}$ の作業を開始する時刻
 $ft_{h[k]}$: 作業 W_h が、製品 $P_{[k]}$ の作業を終了する時刻
 $lt_{h[k]}$: 製品 $P_{[k]}$ が下流境界線 LF_h に達する時刻
 $bd_{h[k]}$: 作業 W_h が、製品 $P_{[k]}$ の作業を開始する位置
 $fd_{h[k]}$: 作業 W_h が、製品 $P_{[k]}$ の作業を終了する位置
 stb : ライン停止の開始時刻
 stf : ライン停止の終了時刻
 A_j : 部品 R_j に対して、時間を考慮した理想的な部品消費線と実際の部品消費線で囲まれる面積

3.3 作業領域と作業者の移動

本研究では、ラインの全長を $L \times H \pm \alpha$ (投入間隔に工程数をかけたものに近い値) とし、仕掛品は $H \pm 1$ 個の範囲でライン上に存在しているものとする。また、共同作業領域の存在を仮定しており、ラインの停止を含めた作業者の移動例を図 2 に示す。

Fig.2 Example of operator movement

Fig.3 Diagram of operator movement and number of parts consumption

Fig.4 Situation at the beginning time of plane

Fig.5 Situation at the end time of plane

3.4 部品の消費 本研究では、より厳密な部品の平準化を目指しており、作業状況に応じた部品の消費線の例を図3に示す。図3の()内の数字は、部品 R_i の取付け個数を示しており、作業状況と取付け数によって、部品の消費線が描かれているのがわかる。

次に、計画開始直前には、図4のような状況になっており、製品 $P_{[0]}$ を投入する時（時刻0）から今期の計画が始まる。ここで、現在の仕掛品に取付けられている部品（今期の計画開始以前に消費された部品）は、前期の部品消費に含まれることになる。また、今期における最後の製品 $P_{[K+H]}$ を投入する頃には、来期の生産計画が明らかになっているとし、製品 $P_{[K+H]}$ が完成品となるまでの間に、来期の製品を $H-1$ 個（製品 $P_{[K+H+2]}$ ～製品 $P_{[K]}$ ）投入する。最後は図5のように所定の位置でラインを停止させ、すべての工程での作業を終えた時点で、今期の計画が終了する。これらの仕掛品に対する部品の消費は、今期の部品使用に含まれることになる。以上のことから、製品の投入順序が決まっていない初期段階では、計画の終了時刻と部品の使用量はともに未知である。

3.5 目的関数 本研究では、JIT生産方式における部品の平準化を第一の目的と考えており、作業遅れやラインの稼働率などは考慮せず、部品消費の平準化

をのみを目指した式(1)の目的関数を使用する^{(10),(11)}。 A_j は、図1において理想的な部品消費線と実際の消費線で囲まれた面積の大きさである。ここで、 A_j を算出するためには、各作業が実際に行なわれる時刻を求める必要があり、次節に作業状況の定式化を行なう。

$$\text{Minimize } \sqrt{\sum_{j=1}^J (A_j)^2} \quad (1)$$

4. 作業状況の定式化

ここでは、 W_h による $P_{[k]}$ の作業状況（遊休時間、作業開始時刻、作業終了時刻、作業開始位置、作業終了位置）の定式化について述べる。ただし、上流工程での作業（ W_{h-1} による $P_{[k]}$ ）と、対象工程での前作業（ W_h による $P_{[k-1]}$ ）の作業状況は、すでに明らかになっているものとする。まず、ライン停止の有無によって場合分けを行う。

4.1 ラインの停止がない場合

4.1.1 遊休時間 作業者が前作業を終えた時点で、上流の作業がすでに終了し、その仕掛品が上流境界線を越えている場合には遊休時間は発生しないが、そうでなければ発生する。どちらの作業が先に終了するかによって場合分けを行う。

Fig.6 Idle time without line stop

Fig.7 Idle time with line stop

 $(ft_{h-1[k]} \leq ft_{h[k-1]} \text{ and } LB_h > fd_{h[k-1]} - L)$

[A] 上流工程の作業が先に終了する ($ft_{h-1[k]} \leq ft_{h[k-1]}$) 場合
仕掛品が、上流境界線を超えていると作業に取りか
かれるが、そうでない場合、境界線を超えるまで待つ
必要がある (図 6(A) 参照)。

$$it_{h[k]} = \max \{ 0, (LB_h - fd_{h[k-1]} + L)/V \} \quad (2)$$

[B] 上流工程の作業が後に終了する ($ft_{h-1[k]} > ft_{h[k-1]}$) 場合
上流の作業が終了し、製品が上流境界線を超えた場
合に作業に取りかけられる (図 6(B) 参照)。

$$it_{h[k]} = ft_{h-1[k]} - ft_{h[k-1]} + \max \{ 0, (LB_h - fd_{h-1[k]})/V \} \quad (3)$$

4.1.2 作業開始時刻 前作業の終了時刻に、遊
休時間を加えたものが作業開始時刻となる。

$$bt_{h[k]} = ft_{h[k-1]} + it_{h[k]} \quad (4)$$

4.1.3 作業終了時刻 作業開始時刻に、作業時
間を加えたものが作業終了時刻となる。

$$ft_{h[k]} = bt_{h[k]} + t_{h[k]} \quad (5)$$

4.1.4 作業開始位置 上流境界線か、前作業を
終えた場所から製品間隔しだけ戻った位置、もしくは
上流作業の終了位置のなかで、最も下流にある場所が
作業開始位置となる。

$$bd_{h[k]} = \max \{ LB_h, fd_{h[k-1]} - L, fd_{h-1[k]} \} \quad (6)$$

4.1.5 作業終了位置 下流境界線、もしくは作
業開始位置に作業中の移動距離を加えたもので、上流
にある場所が作業終了位置となる。下流境界線が上流
に位置する場合は、この工程ではラインの停止が引き
起こされる。

$$fd_{h[k]} = \min \{ bd_{h[k]} + V \times t_{h[k]}, LB_h \} \quad (7)$$

4.2 一度のライン停止がある場合

(時刻 $stb \sim stf$ の間にラインは停止する)

4.2.1 遊休時間 ライン停止を無視した場合の
遊休時間と作業開始時刻を、それぞれ仮遊休時間
 $it'_{h[k]}$ と仮作業開始時刻 $bt'_{h[k]}$ とする。これらは、前節
で求めた $it_{h[k]}$ 、 $bt_{h[k]}$ と同じ式で表される。

[A] 遊休時間はライン停止の影響を受けない場合

仮遊休時間が遊休時間と同じだと考えられる。

$$it_{h[k]} = it'_{h[k]} \quad (8)$$

[B-E] 遊休時間はライン停止の影響を受ける場合

ここでは、4 通りの場合分けを行う。

[B] 上流工程の作業が先に終了し ($ft_{h-1[k]} \leq ft_{h[k-1]}$)、仕
掛品が上流境界線を超えている ($LB_h \leq fd_{h[k-1]} - L$) 場合
遊休時間なしで、すぐに作業に取りかかる。

$$it_{h[k]} = 0 \quad (9)$$

[C] 上流工程の作業が先に終了し ($ft_{h-1[k]} \leq ft_{h[k-1]}$)、仕
掛品が上流境界線を超えていない ($LB_h > fd_{h[k-1]} - L$) 場合
ラインが動き出すまでの時間と仕掛品が境界線を越
えるまでに移動する時間を考慮する必要がある。その
ため、前作業の終了時刻 $ft_{h[k-1]}$ とライン停止時刻によ
って 3 通りの場合分けを行う。

[C-a] ($stf < ft_{h[k-1]}$) の場合

$$it_{h[k]} = (LB_h - fd_{h[k-1]} + L)/V \quad (10)$$

[C-b] ($stb \leq ft_{h[k-1]} \leq stf$) の場合 (図 7(C-b) 参照)

$$it_{h[k]} = (LB_h - fd_{h[k-1]} + L)/V + stf - ft_{h[k-1]} \quad (11)$$

[C-c] ($ft_{h[k-1]} < stb$) の場合 (図 7(C-c) 参照)

$$it_{h[k]} = (LB_h - fd_{h[k-1]} + L)/V + stf - stb \quad (12)$$

[D] 上流工程の作業は後に終了し ($ft_{h-1[k]} > ft_{h[k-1]}$)、仕
掛品が上流境界線を超えている ($LB_h \leq fd_{h-1[k]}$) 場合
上流の作業が終了次第作業に取りかけられる。

$$it_{h[k]} = ft_{h-1[k]} - ft_{h[k-1]} \quad (13)$$

[E] 上流工程の作業は後に終了し ($ft_{h-1[k]} > ft_{h[k-1]}$)、製
品が上流境界線を超えていない ($LB_h > fd_{h-1[k]}$) 場合

上流の作業が終了する時間とラインが動き出すまで
の時間、製品が境界線を超えるまでに移動する時間を
考慮する必要がある。そのため、上流の作業終了時刻
 $ft_{h-1[k]}$ とライン停止時刻によって 3 通りの場合分けを
行う。

[E-a] ($stf < ft_{h-1[k]}$) の場合

$$it_{h[k]} = ft_{h-1[k]} - ft_{h[k-1]} + (LB_h - fd_{h-1[k]})/V \quad (14)$$

[E-b] ($stb \leq ft_{h-1[k]} \leq stf$) の場合 (図 8(E-b) 参照)

$$it_{h[k]} = ft_{h-1[k]} - ft_{h[k-1]} + (LB_h - fd_{h-1[k]})/V + stf - ft_{h-1[k]} \quad (15)$$

[E-c] ($ft_{h-1[k]} < stb$) の場合 (図 8(E-c) 参照)

$$it_{h[k]} = ft_{h-1[k]} - ft_{h[k-1]} + (LB_h - fd_{h-1[k]})/V + stf - stb \quad (16)$$

Fig.8 Idle time with line stop
($ft_{h-1}[k] > ft_{h[k]}$ and $LB_h > fd_{h-1}[k]$)

Fig.9 Difference of task-completing point of worker

4.2.2 作業開始時刻 前作業の終了時刻に、遊休時間を加えたものが作業開始時刻となる。

$$bt_{h[k]} = ft_{h[k-1]} + it_{h[k]} \quad (17)$$

4.2.3 作業終了時刻 作業開始時刻に、作業時間を加えたものが作業終了時刻となる。

$$ft_{h[k]} = bt_{h[k]} + t_{h[k]} \quad (18)$$

4.2.4 作業開始位置 上流境界線か、前作業を終えた場所から製品間隔しだけ戻った位置、もしくは上流作業の終了位置のなかで、最も下流の場所が作業開始位置となる。

$$bd_{h[k]} = \max \{ LB_h, fd_{h[k-1]} - L, fd_{h-1}[k] \} \quad (19)$$

4.2.5 作業終了位置 下流境界線を無視した場合の作業終了位置を仮作業終了位置 $fd_{h[k]}$ とする。

[A]作業中にラインの停止がない場合

$$fd_{h[k]} = bd_{h[k]} + V \times t_{h[k]} \quad (20)$$

[B-E]作業中にラインの停止がある場合

作業状況とラインの停止の関係より、以下の4通りの場合分けを考える。

[B]ラインの停止前に作業は始まり、停止中に終了する ($bt_{h[k]} < stb < ft_{h[k]} \leq stf$) 場合 (図9(B)参照)

$$fd_{h[k]} = bd_{h[k]} + V \times (stb - bt_{h[k]}) \quad (21)$$

[C]ラインの停止前に作業は始まり、ラインが動き出した後に終了する ($bt_{h[k]} < stb < stf < ft_{h[k]}$) 場合 (図9(C)参照)

$$fd_{h[k]} = bd_{h[k]} + V \times (stb - bt_{h[k]}) + V \times (ft_{h[k]} - stf) \quad (22)$$

[D]ラインの停止中に作業は始まり、停止中に終了する ($stb \leq bt_{h[k]} < ft_{h[k]} \leq stf$) 場合 (図9(D)参照)

$$fd_{h[k]} = bd_{h[k]} \quad (23)$$

[E]ラインの停止中に作業は始まり、ラインが動き出した後に終了する ($stb \leq bt_{h[k]} < stf < ft_{h[k]}$) 場合 (図9(E)参照)

$$fd_{h[k]} = bd_{h[k]} + V \times (ft_{h[k]} - stf) \quad (24)$$

以上のケースから、 $fd_{h[k]}$ を求めて、

$$fd_{h[k]} = \min \{ fd_{h[k]}, LB_h \} \quad (25)$$

が得られる。下流境界線が上流に位置する場合、この工程ではラインの停止が引き起こされる。

4.3 ラインの停止

4.3.1 ラインの停止時刻の算出

W_h による $P_{h[k]}$ の作業状況の算出には、他工程で引き起こされる同時刻帯でのライン停止の有無によって、前節と前々節を使い分ける必要があるが、どちらの場合においても下流境界線位置 LB_h に達するまでに所定の作業を終えることができれば ($LB_h < fd_{h[k]}$)、この工程でのライン停止は発生する。その場合の停止を仮ライン停止とし、その停止時刻を $stb \sim stf$ とすれば、仕掛品が下流境界線に達してから、作業が終了するまでの間に停止すると考えられるので、

$$stb' = lt_{h[k]} \quad (26)$$

$$stf = ft_{h[k]} \quad (27)$$

と表すことができる。ただし、同時刻帯に他の工程でラインの停止がない場合は、

$$lt_{h[k]} = bt_{h[k]} + (LB_h - bd_{h[k]})/V \quad (28)$$

となり、他の工程においてラインの停止 ($stb \sim stf$) が確認されている場合は、

$$lt_{h[k]} = bt_{h[k]} + (LB_h - bd_{h[k]})/V + \max \{ bt_{h[k]}, stf \} - \max \{ bt_{h[k]}, stb \} \quad (29)$$

となる。

4.3.2 他工程へのライン停止の影響

ある工程での作業状況の算出には、前作業と上流工程での作業

状況がすでに明らかになっている必要があり、そのために、下流工程で引き起こされるライン停止が考慮されていない場合が存在する。そこで、最終工程までの計算を終えるまでに新たなライン停止が確認されるたびに、 W_i にさかのぼって計算を繰り返さなければならない。ここでは、仮停止時刻 (stb~stf) が認識されてから、停止時刻 (stb~stf) がどのように更新されるかについて述べる。

[A]他工程でのライン停止がない(stb = stf = ϕ)場合

$$\text{stb} = \text{stb}' \quad (30)$$

$$\text{stf} = \text{stf}' \quad (31)$$

[B]ラインの停止が同時に発生する(stb = stb')場合

$$\text{stb} = \text{stb} \quad (32)$$

$$\text{stf} = \text{Max} \{ \text{stf}', \text{stf} \} \quad (33)$$

[C]仮のライン停止が先に発生する(stb' < stb)場合

先に起こったラインの停止が、他の工程に影響を及ぼすために

$$\text{stb} = \text{stb}' \quad (34)$$

$$\text{stf} = \text{stf}' \quad (35)$$

[D]連続してライン停止が発生する(stf = stb)場合

$$\text{stb} = \text{stb} \quad (36)$$

$$\text{stf} = \text{stf}' \quad (37)$$

[E]一旦ラインが動き出してから再びライン停止が発生する(stf < stb)場合

本研究での作業状況の定式化では、stb~stf に発生する一度のライン停止しか考慮していないため、この様な場合には対応することができない(前提条件 10)。

4.3.3 作業状態算出手順 作業状況の算出手順を以下に示す。

Step1 初期設定、仕掛品についての作業状況を求める。また $k = 1$ とし、stb と stf の値はクリアする。

Step2 $h = 1$ とする。

Step3 工程 W_h での $P_{[k+h]}$ の定式化を行なう。ここで、新たなラインの停止が起こらない場合は Step5 へ、ラインの停止が起こる場合は stb' と stf' を計算する。

Step4 4.3.2 節より、stb' と stf' から stb と stf を求め、Step2 へ進む。ただし、stf < stb' の場合は強制終了する。

Step5 $h = H$ なら、Step6 へ、そうでなければ $h = h+1$ として Step3 へ進む。

Step6 $k = K$ なら終了、そうでなければ $k = k+1$ として Step2 へ進む。

5. 数値計算例

ここでは、作業状況ならびに部品の平準化に関する評価値の計算例を示す。

5.1 問題設定 作業人数 H は 4、製品の種類 I は 5、部品の種類 J は 10、今期の計画に必要な製品数 K は 10、サイクルタイム C は 10 単位時間、コンベヤー速度 V は毎単位時間あたり 1m、製品間隔 L は 10m とする。続いて、表 1 には各工程での作業時間 t_{hi} を、表 2 には製品と部品の構成 B_{ij} 、表 3 にはそれぞれの部品を取り付ける作業員 WR_i 、表 4 には各工程での境界線 LB_h と LF_h を示す。なお、計画開始当初の仕掛かり品、ならびに製品の投入順序はすでに決定しているものとして表 5 に示す。製品 $P_{[2]} \sim P_{[7]}$ の 10 製品は今期の生産計画に必要とされるもので、製品 $P_{[2]} \sim P_{[6]}$ は前期に投入した今期の計画開始時の仕掛品で、製品 $P_{[8]} \sim P_{[10]}$ は来期のための仕掛品となる。

5.2 作業状況の計算結果 前節で示したデータを基に、作業状況の算出を行う。作業開始終了時刻、開始終了位置をそれぞれ表 6, 7 に示す。表 6 より計画期間の終了時刻は、計画開始から 106 単位時間後であることがわかる。また、ラインの停止は 32~34, 74~76, 86~88 単位時間の 3 回にわたり発生しており、これらのライン停止を発生させる部分は、表 6, 7 中では太線で表す。

Table 1 Operation time (t_{hi})

	W_1	W_2	W_3	W_4
P_1	12	10	9	10
P_2	10	8	6	8
P_3	12	10	12	12
P_4	9	12	8	8
P_5	9	10	9	8

Table 2 Parts used structure (B_{ij})

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}
P_1	2	0	1	0	4	2	0	2	2	0
P_2	2	0	0	0	4	0	0	2	0	2
P_3	2	0	1	0	4	0	2	2	4	0
P_4	0	2	0	1	4	2	2	0	0	2
P_5	0	2	1	0	4	2	0	2	0	2

Table 3 Relation of parts and worker (WR_i)

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}
WR_i	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4

Table 4 Range of working area (LB_h and LF_h)

W_1	W_2	W_3	W_4
$LB_1 : LF_1$	$LB_2 : LF_2$	$LB_3 : LF_3$	$LB_4 : LF_4$
0 : 13	8 : 24	17 : 32	30 : 42

Table 5 Product sequence in this planning (P_i)

	A	B	C
	$P_{[2]}-P_{[0]}$	$P_{[1]}-P_{[7]}$	$P_{[8]}-P_{[10]}$
Product Sequence	$P_1-P_2-P_3-$	$-P_2-P_1-P_5-P_1-P_3-P_2-P_1-$	$-P_2-P_3-P_5$

A: Semi-finished products at the time of current plane start

A&B: Products for current plan

C: Semi-finished products at the time of next plane start

Table 6 Task-stating and task-completing time ($bt_{[k]}$ and $ft_{[k]}$)

$P_{[k]}$	P_i	W_1	W_2	W_3	W_4
$P_{[2]}$	P_1	*	*	*	0-10
$P_{[1]}$	P_2	*	*	0-6	10-18
$P_{[0]}$	P_3	*	0-10	10-22	22-34
$P_{[1]}$	P_2	0-10	10-18	22-28	34-42
$P_{[2]}$	P_4	10-19	19-31	31-39	42-50
$P_{[3]}$	P_5	20-29	31-41	41-50	52-60
$P_{[4]}$	P_1	30-42	42-52	52-61	62-72
$P_{[5]}$	P_3	42-54	54-64	64-76	76-88
$P_{[6]}$	P_2	54-64	64-72	76-82	88-96
$P_{[7]}$	P_4	64-73	73-85	85-93	96-104
$P_{[8]}$	P_2	73-83	85-93	93-99	*
$P_{[9]}$	P_3	84-96	96-106	*	*
$P_{[10]}$	P_5	96-105	*	*	*

Table 7 Task-stating and task-completing point ($bd_{[k]}$ and $fd_{[k]}$)

$P_{[k]}$	P_i	W_1	W_2	W_3	W_4
$P_{[2]}$	P_1	*	*	*	30-40
$P_{[1]}$	P_2	*	*	20-26	30-38
$P_{[0]}$	P_3	*	10-20	20-32	32-42
$P_{[1]}$	P_2	0-10	10-18	22-28	32-40
$P_{[2]}$	P_4	0-9	9-21	21-27	30-38
$P_{[3]}$	P_5	0-9	11-19	19-28	30-38
$P_{[4]}$	P_1	0-10	10-20	20-29	30-40
$P_{[5]}$	P_3	0-12	12-22	22-32	32-42
$P_{[6]}$	P_2	2-12	12-20	22-28	32-40
$P_{[7]}$	P_4	2-11	11-21	21-27	30-38
$P_{[8]}$	P_2	1-9	11-17	17-23	*
$P_{[9]}$	P_3	0-10	10-20	*	*
$P_{[10]}$	P_5	0-9	*	*	*

Fig.10 Consumption line of parts R_9

Table 8 Estimation values of each product

A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
58.96	64.33	36.78	20.56	36.42
A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
84.45	38.09	63.05	80.54	81.80

5.3 評価値の計算結果 前節での結果をもとに各部品に対する評価値を算出する。ここでは、部品 R_9 を例にとり、 A_9 を求める。

まず、部品 R_9 は、作業員 W_4 (表 3 参照) によって、製品 P_1 には 2 個、製品 P_3 には 4 個 (表 2 参照) 取付けられる。さらに、計画期間中、作業員 W_4 は、製品 $P_{[2]} \sim P_{[7]}$ に対して作業を行っており、この間に製品 P_1 と P_3 を対応させると、表 6 より、時刻 0~10 の間に 2 個、時刻 22~34 に 4 個、時刻 62~72 に 2 個、時刻 76~88 の間に 4 個、合計 12 個の部品が消費されている。

以上のことより、図 10 に示すような理想的な部品の消費線と実際の消費線で囲まれた部分の面積 A_9 を計算すると、80.54 となった。同様に、他の部品についての計算結果を表 8 に示す。これらの値を、式(1)に代入すると評価値として 190.93 が得られた。

5.4 製品の投入順序決定法 製品の投入順序決定法について、ライン停止を起こさない単純な組立ラインに対する問題では、構築型の解法では従来からの目標追跡法、改良型では SA(Simulated Annealing)⁽¹²⁾ の適用が効果的であると報告されている⁽¹²⁾。本研究でも、同様の結果が予想されるが、新たな構築型アルゴリズムの開発が今後の課題となる。また、SA については、アルゴリズムならびにその有効性が、すでに認証されており、比較的容易に適用可能である。

6. 結 言

本研究では、TBC をラインの停止をも含む一般的な組立ラインに適用することを目指として、作業状況の定式化について述べた。ただし、今回の内容では、同時刻帯に何度もラインが停止するような場合には適用不可である。また、製品の投入順序決定法については、SA 以外に効果的な解法、特に構築型の解法の開発が、今後の研究課題として挙げられる。

参 考 文 献

- (1) 門田安弘, 新トヨタシステム, (1991), 講談社.
- (2) Miltenburg J., Level Schedules for Mixed-model Assembly Lines in Just-in-time Production Systems, Manage.Sci., **35**-2 (1989), 192-207.

- (3) Miltenburg, J. and Sinnamon, G., Scheduling Mixed-model Multi-level Just-in-time Production Systems, *Int. J. Prod. Res.*, **27-9** (1989), 1487-1509.
- (4) Iman, R.R. and Bulfin, R.L., Quick and Dirty Sequencing for Mixed-model Multi-level JIT Systems, *Int. J. Prod. Res.*, **30-9** (1992), 2011-2018.
- (5) Cakir, A. and Iman, R.R., Modified Goal Chasing for Products with Non-zero/one Bills of Material, *Int. J. Prod. Res.*, **31-1** (1993), 107-115.
- (6) Pleschberger, T.E. and Hitomi, K., Flexible Final-assembly Method for a JIT Manufacturing Environment, *Int. J. Prod. Res.*, **31-5** (1993), 1189-1199.
- (7) ワンウィワッシン・ポーンデット, 柳川, 宮崎, 単一組立工程における異なる組立時間をもつ製品の投入順序決定法, *経営工学学会誌*, **47-2** (1996), 84-90.
- (8) Pomdech, W., Yanagawa, Y. and Miyazaki, S., Sequencing Method by Considering Different Assembly Time in a Single Work Station, *Proceedings of the Third China-Japan International Symposium on Industrial Management*, (1996), 48-55.
- (9) ワンウィワッシン・ポーンデット, 柳川, 宮崎, 単一工程における組立時間および部品消費割合に基づく多品種組立スケジューリング, *機械学会論文誌C編*, **63-610** (1997), 2181-2188.
- (10) Kurashige, K., Yanagawa, Y., Miyazaki, S. and Kameyama, Y., Sequencing Method for Products in Consideration of Assembly Time, *Int. J. Prod. Econ.*, **60-61** (1999), 565-573.
- (11) 倉重, 柳川, 宮崎, 亀山, 新しい目的関数に基づく組立時間を考慮した製品の投入順序決定法, *経営工学学会誌*, **49-6** (1999), 384-392.
- (12) 倉重, 柳川, 宮崎, 亀山, 組立時間を考慮した混合組立ラインのスケジューリング, *機械学会論文誌C編*, **64-624** (1998), 3238-3245.
- (13) 木瀬, スケジューリング問題に対するシミュレーテッドアニーリング法, *オペレーションズ・リサーチ*, **40-5** (1995), 268-273.