

JIT 生産システム

大野 勝久

1. はじめに

ジャストインタイム (Just-In-Time) 生産システムは、徹底的なムダの排除によるコスト低減をめざした生産システムであり、その基本理念は平準化を基礎とする JIT と自動化である。トヨタ生産方式として、1973年のオイル・ショック時に脚光を浴びて登場して以来、この25年間に本生産方式は、全世界に JIT Production System あるいは Kanban System として広く知られるようになってきた。

JIT 生産システムの特徴は、

- 1) 多種少量生産システムに適合した後工程引き取り後補充生産方式 (pull 方式)
- 2) 自律分散型生産システム
- 3) 改善による「徹底的なムダの排除」の「仕組み」と改善提案活動
- 4) 多能工とU字型生産ライン

である。本論では、2節でまず JIT 生産システムの理念、仕組みとかんばん方式を説明する。ついで、3節で定量引き取りかんばん方式のモデル化として生産指示かんばんモデルに関する豊富な研究成果を紹介する。4節では、外注かんばんによる定期引き取りかんばん方式のモデル化と安定性に関する研究を紹介し、5節では、多能工とU字型生産ラインを紹介する。

2. JIT 生産システム

JIT とは、必要な物を、必要な時に、必要なだけ生産するという理念であり、この理念を実現する方式として「後工程引き取り後補充生産方式」が創案され、工程内、工程間で必要な情報を必要なときに伝える手段としてかんばんが考え出された [1,2]。すなわち、いつ、何を、どれだけ必要かが最も早く、正確にわかる後工程が、使った分だけを前工程に引き取りに行き、

前工程は引き取られた分だけを生産し、補充するという生産方式である。このとき、後工程が自工程の都合だけで一度にまとめて引き取れば、前工程はそのための在庫を持つか、あるいは生産能力を増やして対応しなければならず、負担を強いられることになる。したがって、後工程は前工程から引き取る部品の種類、量が平均化するように生産しなければならない。これを生産の平準化と呼んでいる。自動化とは、機械に人間の知恵を付与することであり、良品のみを生産する理念である。すなわち、異常を自動的に検知して停止する機械、さらには不具合が発生すれば作業者がラインを停止させ、再発防止のための改善を行う生産ラインを生み出している。

かんばんは、需要変動、部品在庫、設備故障、出勤状況の変化等々の不確実性のもとで、JIT 生産を実現するために考案された「後工程引き取り後補充生産方式」における情報伝達・制御手段である。実際、各工程で使われるかんばん枚数が決められると、その工程は以下に述べるかんばんのルールに従い自律分散的に生産活動を継続する。

部品あるいは製品の収容箱には1枚のかんばんが付けられ、工程内あるいは工程間で循環し、各工程における生産と前工程からの部品の引き取りを制御する。かんばんには大別して、生産指示かんばんと引き取りかんばんの2種類があり、その流れは図1に示されている。すなわち、前工程で生産された部品は収容箱に入れられ、生産指示かんばんを付けられて所定の場所におかれる。後工程がこの部品を引き取りに来たとき、生産指示かんばんをはずして、かんばん受け取りポストに順に入れ、代わりに持ってきた引き取りかんばんをかけて収容箱を持ち帰る。はずされたかんばんは適宜集められ、はずれた順に生産指示かんばんポストにおかれる。前工程はそのかんばんの順に、対応する部品を収容箱の容量 (収容数と呼ぶ) だけ生産する。このとき、かんばんはその最初の部品とともに工程を流れる。一方、後工程が前工程からの部品を用いて生産

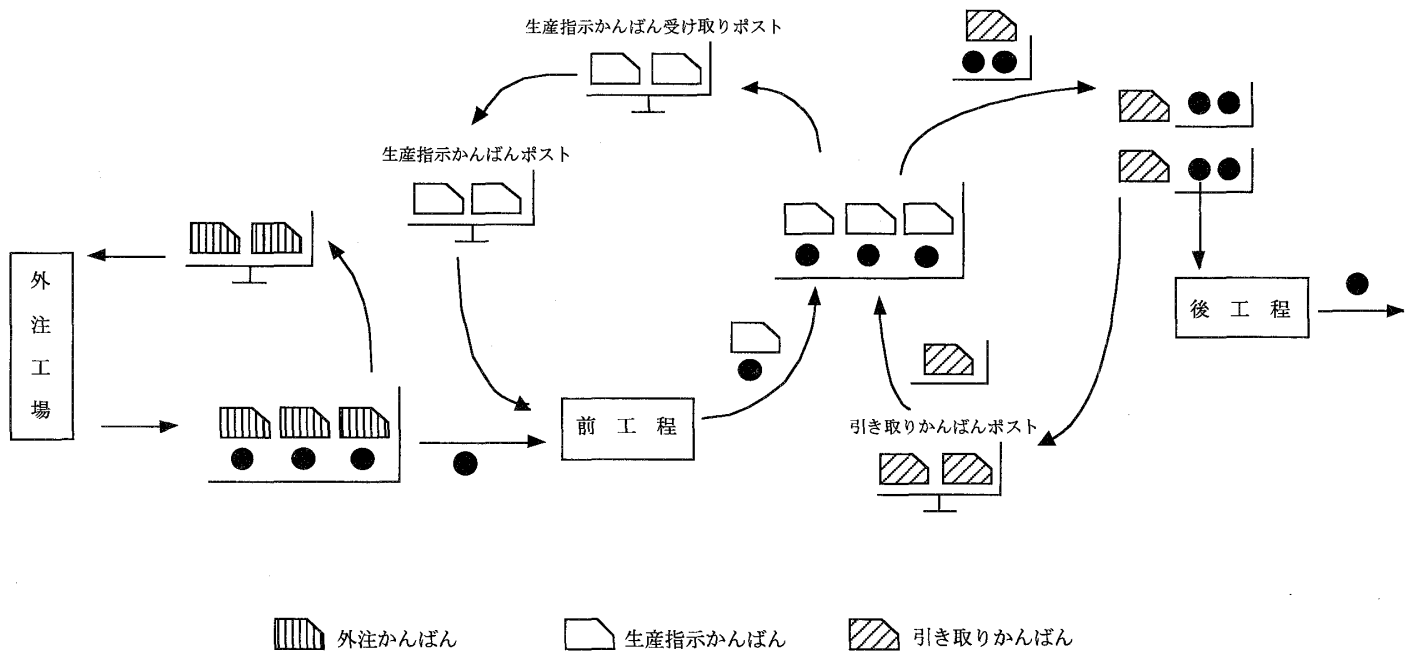


図1 生産指示かんばんと引き取りかんばんの流れ

を始める際、収容箱の最初の1個を使用するとき、かけられている引き取りかんばんをはずし、引き取りかんばんポストに入れる。後工程は、あらかじめ定められた時間毎に、あるいは定められた枚数がたまる毎に、空の収容箱と一緒にかんばんを持って前工程へ部品を引き取りに行く。前者を「定期引き取り方式」、後者を「定量引き取り方式」と呼んでいる。また引き取りかんばんは、前工程が外注工場の場合、特に外注かんばんと呼ばれている。外注かんばんの場合、引き取りに行くのではなく、外注工場が定められた納入間隔で定期的に納入し、同時に発注をうける方式を採用している。したがって、外注かんばんは、本質的に定期引き取り・発注方式であり、発注から納入までの納入リードタイムは、自社内に比べて相対的に長く、無視できないものになる。かんばんを運用するルールは、

1. 後工程は、前工程へはずれた引き取りかんばん分だけ引き取りに行く。
2. 前工程は、生産指示ポスト内のかんばん分だけ、その順番に生産する。
3. 良品だけを生産し、後工程へ不良品を送らない。
4. かんばんは、必ず現物に付けておき、実数と収容数が合わなければならない。
5. かんばんのない時は運ばない、作らない。
6. かんばんの枚数を減らしていく（問題を顕在化させ、絶え間ない改善にむすびつける）。

である。したがって、生産指示かんばんの枚数がその工程の完成品の収容箱単位の最大在庫量になり、引き

取りかんばんの枚数が前工程からの部品の収容箱単位の最大在庫量に対応する。もしかんばん枚数を多くすれば、工程は過剰在庫を抱えることになり、逆に少くすれば材料・製品切れを引き起こすことになる。

トヨタ自動車(株)におけるかんばん枚数の計算式は、生産指示かんばんの場合

$$C = [(dL_p + I_s) / u] \quad (1)$$

で与えられる。ここで $[x]$ は x 以上の最小の整数であり、

C : 生産指示かんばん枚数

d : 単位時間当たり平均需要量

L_p : 引き取りによりかんばんがはずされてから生産が完了し、所定の位置におかれるまでのリードタイム

I_s : 安全在庫量 (安全係数)

u : 収容数

である。(1)式は、かんばんが一巡する間に品切れを起こさないために必要となる量に安全在庫量を付け加えた枚数であり、 I_s は過去の実績、計画あるいは改善を目指した戦略から経験的に定められている。同様に、定量引き取り方式の場合

$$M = [(dL_w + I_s) / u] \quad (2)$$

M : 引き取りかんばん枚数

L_w : 最初のかんばんが外されてから引き取りが完了するまでのリードタイム

である。また、定期引き取り方式の場合

$$M = [(d(R + L) + I_s) / u] \quad (3)$$

である。ここで、

R : 引き取り周期

L : 引き取りを開始してから完了するまでのリードタイム

である。特に外注かんばんの場合

$$M = [(da(1+c)/b + I_s)/u] \quad (4)$$

で与えられる。ここで $a \cdot b \cdot c$ は納入サイクルを表す定数であり、 a 日間に b 回納入し、受注後 c 回目に納入することを意味する。すなわち、納入間隔 (周期) は a/b であり、納入リードタイムは ac/b で与えられる。

3. 定量引き取りかんばん方式

Mitra and Mitrani [3,4] は、工程 j が C_j 枚の生産指示かんばんをもつ、図 2 に示される N 工程からなる生産指示かんばんモデルを考えている。工程 j の機械の待ち行列 Q には、かんばんのついた工程 $(j-1)$ の完成品 (部品) が加工を待っており、加工が完了したとき工程 $(j+1)$ の生産指示かんばんポスト A' にかんばんがなければ、完成品置き場 B で A' にかんばんが到着するのを待つ。一方、加工が完了したとき A' にかんばんがあれば、直ちに工程 $(j+1)$ の生産指示かんばんとともに待ち行列 Q' に入り、工程 j の生産指示かんばんは生産指示かんばんポスト A に戻る。そして、工程 $(j-1)$ の完成品置き場に部品があれば、

直ちにその部品とともに待ち行列 Q に入る。したがって、 $n=1, 2, \dots, j=1, \dots, N$ に対して

S_n^j : n 番目の部品の工程 j における加工時間

U_n : n 番目の製品需要の到着時刻

A_n^j : n 番目の部品が工程 j の待ち行列に入る時刻

A_n^{j+1} : n 番目の製品需要が製品を引き取る時刻

D_n^j : n 番目の部品の工程 j における加工完了時刻

とおけば、工程 1 の前に原材料倉庫を仮定しているので、

$$D_n^0 = 0 \quad (5)$$

である。さらに

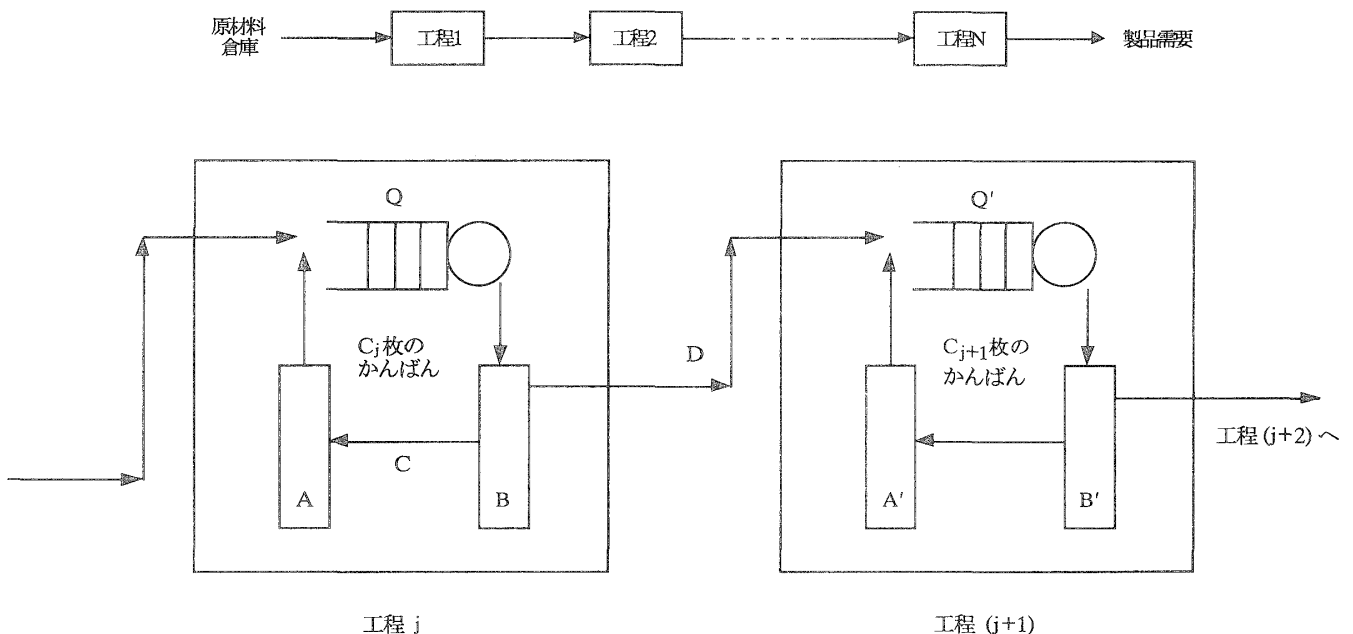
$$A_n^j = \max\{D_n^{j-1}, A_n^{j-1} + c_j\} \quad (6)$$

$$D_n^j = \max\{D_n^{j-1}, A_n^j\} + S_n^j \quad (7)$$

$$A_n^{j+1} = \max\{D_n^j, U_n\} \quad (8)$$

が成り立つ。実際、(6) 式 \max の第 1 項は、 n 番目の部品が工程 $(j-1)$ における加工を完了する時刻を表し、第 2 項は n 番目の部品につくかんばんが生産指示かんばんポスト A に戻ってくる時刻を表しており、 A_n^j はこれらの最大値として定められる。同様に考えれば、(7)、(8) 式を導くことができる。

この生産指示かんばんモデルと同じ条件のもとで、工程 j がかんばんの代わりに C_j 個の buffer (加工中を含む) をもつ通常の N 工程直列形生産ラインを考え



- A: 工程 j の生産指示かんばんポスト
- B: 工程 j の完成品 (部品) 置き場
- C: 完成品置き場から生産指示ポストへのかんばんの移動
- D: 工程 j から工程 $(j+1)$ へ運ばれる部品
- Q: かんばんのついた加工待ち部品の待ち行列

図 2 生産指示かんばんモデル

る。工程 j の加工が完了したとき、後工程の buffer に空きがなければ、加工済みの部品は工程 $(j+1)$ へ進めず、工程 j の機械をブロックする。これを manufacturing blocking と呼ぶ。この生産ラインに対して、 A_n^j, D_n^j 同様 $\tilde{A}_n^j, \tilde{D}_n^j$ を定義すれば、(5), (6), (8) 式はそのまま成立し、(7) 式も

$$\tilde{D}_n^j = \max\{\tilde{A}_n^{j+1}, \tilde{A}_n^j\} + S_n^j \quad (9)$$

と max 第 1 項が変わるだけである。実際、 n 番目の部品が加工を受けるためには、 $(n-1)$ 番目の部品が工程 $(j+1)$ へ進む必要があり、第 1 項をえる。したがって、(5)~(9) 式より同じ条件のもとでは、

$$A_n^j \leq \tilde{A}_n^j, D_n^j \leq \tilde{D}_n^j \quad (10)$$

が成り立つ。すなわち、生産指示かんばんは buffer に比べてより柔軟であり、通常の直列形生産ラインと比較し、需要の待ち時間が短く、生産リードタイムも短くなり、スループット (throughput, 単位時間当たりの平均生産可能数を表す) も向上することが示される。さらに、需要が Poisson 過程に従って到着し、各加工時間が指数分布に従うとき、この生産指示かんばんモデルは Markov 待ち行列としてモデル化でき、その定常確率は標準的な釣合方程式 (balance equation) から原理的に求めることができる。しかしその計算は極めて大規模になるため、各工程毎に分割して fixed-point equation を用いた近似解法を導き、シミュレーションと比較してその精度を検証している [4]。

前節に述べたように、実際の JIT 生産システムの引き取りは、引き取りかんばんを用いて行われる。一方、この生産指示かんばんモデルでは、生産指示かんばんポストにかんばんがある限り引き取られ、待ち行列 Q のように実際の JIT 生産システムにはない待ち行列がみられるものの、1 枚を定量とする生産指示かんばんと同数枚の引き取りかんばんをもつ定量引き取りかんばん方式のモデルと考えることができる。

Tayur [5] は、図 2 に示される N 工程からなる生産指示かんばんモデルにおいて、より一般的に各工程 j が、十分な buffer をとって直列に配置された M_j 台の機械からなる生産ラインを考え、記号 $N/(M_1, \dots, M_N)/(C_1, \dots, C_N)$ で表している。そして、(5)~(8) 式と同様な式から、標本過程法 (sample path method) により構造的特性として優越性 (dominance) と可逆性 (reversibility) を導いている。工程 N には常に製品需要が待っているものと仮定し、 T_n で n 番目の製品の完成時刻 ($=D_n^n$) を表すことにする。各工程 j のかんばん枚数が C_j' のときの製

品完成時刻を T_n' で表す。 T_n, T_n' の分布関数を $F(t), F'(t)$ で表したとき、すべての t で $F(t) \geq F'(t)$ ならば T_n は T_n' より確率的に小さいと呼ぶ。このとき、 T_n の平均が T_n' の平均より小さいこと等が導かれる。

定理 1 [優越性] $M_1 = \dots = M_N = 1$ のとき、任意の $1 \leq j < k \leq N$ に対して $C_j + \dots + C_k \geq C_j' + \dots + C_k'$ ならば、 T_n は T_n' より確率的に小さい。

この定理の系として、

- 1) 各工程のかんばん枚数が増加すれば、スループットも増加する。
- 2) 総かんばん枚数 $C = C_1 + \dots + C_N$ が一定のとき、 $N \geq 3$ ならば、 $C_1 = C_N = 1$ を満たす割り当てがスループットを最大にする。

が示されている。さらに上記 2) は、 $N/(1, M_2, \dots, M_{N-1}, 1)/(C_1, \dots, C_N)$ へと一般化されている。また、全工程の機械数 $M = M_1 + \dots + M_N$ と C が与えられたときの最適分割 (optimal partition) は次の定理で与えられる。

定理 2 [最適分割] M と C が一定のすべての構成の中で、 $1/(M)/(C)$ が T_n を確率的に最小化する。

この定理はあくまでも、最大工程間在庫量 C が一定のときに、スループットを最大にする生産システムが、工程間在庫量一定の単一工程生産システムになることを主張するものである。数値的にはあるが、各工程が単一機械からなる図 2 の生産指示かんばんモデルが、単一工程と同じ最大スループットをより少ない平均工程間在庫量で達成することが示されている [6]。

工程 1 から N の順番を逆にし、 N から 1 へと流す生産システムを逆システムと呼ぶ。両システムが共に空の初期状態から出発したとき、両システムの n 番目の製品完成時刻がすべての n で一致するとき、生産システムは D-可逆 (D-reversible) と呼ばれる。

定理 3 [可逆性] 生産システム $N/(M_1, \dots, M_N)/(C_1, \dots, C_N)$ は、D-可逆である。

$N/(M_1, \dots, M_N)/(\cdot)$ が与えられたとき、 C 枚のかんばんをスループットが最大になるように配分する問題を考える [5]。定理 1~3 等の結果を用いても、依然として多数の組合せ (C_1, \dots, C_N) に対するスループットを評価しなければならない。この計算は、各機械の加工時間分布が指数分布に従う場合の厳密値でさえ困難であり、通常シミュレーションによらなければならない。そこで、スループットの代わりに、各機械の加工時間分布が指数分布に従う場合の Markov 待ち行列の状

態数を最大化することを提案し、そのアルゴリズムを与え、大多数の数値例で実際にスループットを最大化することを示している。

[6] では、一般化セミマルコフ過程 (generalized semi-Markov process) [7] を用い、定理 1~3 の他に Schur 凹性等種々の構造特性を論じている。さらに、[8] では工程 1 への原材料の確率的な到着、工程 N からの需要の確率的な引き取りおよび各工程での機械故障、部品の再加工、部品の廃棄がある場合を論じ、部品の廃棄がある場合に可逆性が成立しない以外は、同様な結果が成り立つことを示している。

Buzacott and Shanthikumar [9, 第 4 章] は、原材料倉庫をもち、需要の確率的な引き取りがある単一工程生産指示かんばんモデルを考え、通常の待ち行列モデルと等価であることを示している。時刻 0 で C 枚の生産指示かんばんがすべて完成品置き場に製品とともに置かれているものと仮定し、 D_n で n 番目の客の引き取りにより生産される部品の加工完了時刻、 S_n でその部品の加工時間を表すことにすれば、(7)式同様

$$D_n = \max\{D_{n-1}, U_n\} + S_n \quad (11)$$

が成り立つ。さらに、時刻 t までの加工完了個数、需要の到着数、引き取られた製品数を各々 $D(t)$, $U(t)$, $R(t)$ で表し、時刻 t における製品の在庫量、繰り越し需要量、加工中を含む機械の待ち行列中のかんばん枚数を各々 $I(t)$, $B(t)$, $Q(t)$ で表せば、

$$I(t) = C - Q(t) \quad (12)$$

$$R(t) = \min\{C + D(t), U(t)\} \quad (13)$$

$$B(t) = U(t) - R(t) = [U(t) - D(t) - C]^+ \quad (14)$$

$$Q(t) = \min\{U(t) - D(t), C\} \quad (15)$$

である。ここで、 $[x]^+ = \max\{x, 0\}$ である。ところが (11) 式は、客の到着時刻系列 $\{U_n; n=1, 2, \dots\}$ およびサービス時間系列 $\{S_n; n=1, 2, \dots\}$ が与えられたときの単一サーバ待ち行列における n 番目の客の退去時刻を表す式と一致する。したがって

$$N(t) = U(t) - D(t) \quad (16)$$

は単一サーバ待ち行列における系内容数になり、 $M/G/1$ 等豊富な結果が知られている。まず (15) 式より

$$Q(t) = \min\{N(t), C\} \quad (17)$$

が成立し、(12), (14) 式より

$$I(t) = [C - N(t)]^+, \quad B(t) = [N(t) - C]^+ \quad (18)$$

が成り立つ。したがって、 $I(t)$, $B(t)$, $Q(t)$ 等の定常分布を $N(t)$ の分布から求めることができる。さらに、 N 工程直列生産システムに対して、調達タグ (tag)、発注タグ、加工タグ、生産指示かんばんを用

いる PAC (Production Authorization Cards) システムを提案し、MRP, かんばん方式, OPT 等を含むことやその性質を示し、近似的な性能評価を与えている [9, 第 10 章]。また、Glasserman and Yao [7, 第 5 章] もかんばん方式の一般化である (a, b, k) モデルを提案し、一般化セミマルコフ過程を用いて単調性, 凹性, 可逆性等の性質を導いている。

4. 定期引き取りかんばん方式

Kimura and Terada [10] は、直列形の N 工程からなる定期引き取りかんばん方式をモデル化し、需要の確率的変動が前工程にどのように波及するかをシミュレーションを用いて論じている。シミュレーションによる研究は数多く、また前節で述べたように、同一工場内の引き取りは定量で行われることが多い。唯一必ず定期引き取りが行われるのは、外注かんばんである。

外注工場から部品を引き取り、製品を完成させる単一工程 JIT 生産システムを考える [11]。図 1 の前工程が対象の JIT 生産システムであり、後工程は顧客の需要である。外注工場は、一定の納入間隔 (1 期とする) で納入リードタイム L 期前に発注された部品を納入し、同時に前期に生産に使われ、はずされた外注かんばんと空の取容箱を持ち帰る。生産指示かんばんと外注かんばんの枚数をそれぞれ C, M とおく。簡単のため取容数を 1 とし、工程の 1 期あたり生産能力を E とする。顧客の 1 期あたりの需要は、互いに独立で同一の分布に従うものとし、平均を d とおく。満たされなかった需要は次期に繰り越されるものとする。この節では以下の記号を用いる。

D_k : 第 k ($=1, 2, \dots$) 期の需要量

P_k : 第 k 期の生産量

B_k : 第 k 期首における繰り越し需要量

I_k : 第 k 期首の外注部品の在庫量

J_k : 第 k 期首の生産指示かんばんポスト内のかんばん枚数

$X_k = B_k + J_k$: 第 k 期首の生産繰り越し量

このとき

$$M = I_k + \{P_{k-1} + \dots + P_{k-L}\} \quad (19)$$

$$I_{k+1} = I_k + P_{k-L} - P_k \quad (20)$$

$$P_k = \min\{I_k, J_k, E\} \quad (21)$$

$$B_{k+1} = [B_k + J_k + D_k - P_k - C]^+ \quad (22)$$

$$J_{k+1} = \min\{C, B_k + J_k + D_k - P_k\} \quad (23)$$

$$X_{k+1} = X_k + D_k - P_k \quad (24)$$

が成立する。 $k \rightarrow \infty$ のとき、 X_k 等の分布が定常分布へ収束すれば、 JIT 生産システムは安定であるといわれる。 (19) ~ (24) 式より $n=1, 2, \dots$ に対して

$$Y_n = \max\{U_n, Y_{n-1} + V_n\} \quad (25)$$

が成り立つ。ここで、 $C' = \min\{C, E\}$ とおいて

$$Y_n = X_{n(L+1)+1}$$

$$U_n = \max\{D_{n(L+1)}, D_{n(L+1)} + D_{n(L+1)-1} - C', \dots, D_{n(L+1)} + \dots + D_{(n-1)(L+1)+1} - LC'\}$$

$V_n = D_{n(L+1)} + \dots + D_{(n-1)(L+1)+1} - \min\{(L+1)C', M\}$ である。待ち行列理論における安定性の議論と同様にして、次の定理が導かれる。

定理4 [安定性] $Pr\{D_k \neq d\} > 0$ ならば、JIT 生産システムが安定となるための必要十分条件は、

$$\min\{C, E, M/(L+1)\} > d \quad (26)$$

である。 $Pr\{D_k = d\} = 1$ ならば、その必要十分条件は、

$$\min\{C, E, M/(L+1)\} \geq d \quad (27)$$

となる。

安定条件のもとで、 X_∞ の確率母関数を求めることができ、平均総費用を計算することで最適かんばん枚数を定めることができる [11]。さらに、かんばんを用いることなく、各期首においてシステムの状態を観測し、部品発注量と製品生産量を決定する、単位時間当たり平均費用を最小化する最適発注・生産政策をマルコフ決定過程を用いて求めることができる [12]。

5. U字型生産ライン

1節で述べたように、JIT 生産システムを特徴づけるものが多能工とU字型生産ラインである。多能工とは、複数工程の作業を受け持つ作業者のことであり、U字型生産ラインとは、図2の工程1からNがU字型に配置された、原材料の入口と製品の出口が近接した生産ラインである。工程1とNを同じ多能工が受け持つことで、生産ライン内の部品在庫量を常に一定に保つことができ、また全工程を1人の多能工が受け持つことで、1個流しを実現できる。さらに、多能工数を調整することで、需要変動に柔軟に対応することができる。したがって、現今の需要の多様化と製品寿命の短命化に適合した数少ない生産ラインであるにもかかわらず、従来ほとんど研究されてこなかった。本節では紙数の関係で、U字型生産ラインのモデル化を簡単に紹介する [13,14]。

1人の多能工が工程1からNを受け持つものとし、時刻0で各工程jの機械(以下機械jと呼ぶ)は、加工を完了した1個の部品を保持しているものとする。

多能工は、まず機械1から加工を完了した部品をはずして機械2へ送り、原材料部品を機械1へ取り付ける。ついで、機械1のスタートボタンを押し、機械2へ移動を開始する。この動作を機械2, ..., N, 1と繰り返す。もし機械jへ到着したとき、前の周期に始めた加工が完了していなければ、その完了を待たなければならない。

したがって、 $n=1, 2, \dots, j=1, \dots, N$ に対して

R_n^j : 第n周期における機械jから(j+1)への移動時間

S_n^j : 第n周期における多能工の機械jでの作業時間

T_n^j : 第n周期における機械jの加工時間

W_n^j : 第n周期における多能工の機械jでの待ち時間

$$Y_n^j = T_{n-1}^j - R_{n-1}^j - \sum_{k>j} (R_{n-1}^k + S_{n-1}^k) - \sum_{k<j} (R_n^k + S_n^k)$$

とおけば、 $W_n^j = 0$ であり、 $n > 1$ に対して

$$W_n^j = \left[Y_n^j - \sum_{k>j} W_{n-1}^k - \sum_{k<j} W_n^k \right]^+ \quad (28)$$

$$\sum_{k=1}^j W_n^k = \max_{1 \leq k \leq j} \left[Y_n^k - \sum_{m>k} W_{n-1}^m \right]^+ \quad (29)$$

が成り立つ。そして、第n周期長を C_n とおけば、

$$C_n = \sum_{j=1}^N (R_n^j + S_n^j) + \sum_{j=1}^N W_n^j \quad (30)$$

である。特に、移動、作業、加工時間がすべて定数となる場合、それらを r^j, s^j, t^j で表せば、周期長Cは次式で与えられ、その逆数がU字型生産ラインのスループットを与える。

$$C = \max \left\{ \max_{j=1, \dots, N} (s^j + t^j), \sum_{j=1}^N (r^j + s^j) \right\} \quad (31)$$

6. おわりに

JIT 生産システムの研究は、製造業の復権をめざす米国を中心に精力的に理論的研究が進み、すでに1000を越える論文が発表されているものと思われる。紙数の関係もあり十分な紹介ができなかったが、本論がこの分野へ興味をお持ちいただくきっかけになれば望外の幸せである。おわりに、種々資料をご提供いただいた名古屋工業大学中出康一講師、小島貢利助手、伊藤崇博技官に深謝いたします。

参考文献

- [1] 大野耐一, 1978, トヨタ生産方式-脱規模の経営をめざして, ダイアモンド社.
- [2] 門田安弘, 1991, 新トヨタシステム, 講談社.

Computer Today

偶数月 18日発売 / 905円

5月号・特集

複雑系モデルと情報処理

—21世紀の科学—

計算の立場からみた力学系の複雑さ	山口 明宏
ワタリバッタ大発生 シナリオと確率モデル	香取 眞理 木崎 伸也
ソフトウェアの複雑さ	木下 佳樹
複雑系と生命の理解：雑感	萩谷 昌己
複雑系の数理：高次元圏論序説	辻下 徹

連載

SGML/XMLの入門から応用まで 続・アルゴリズムの道具箱 差分の世界 他

月刊誌

数理科学

毎月 20日発売 / 952円

6月号・特集

特異点

「特異点」とは何だろう	特異点いろいろ	渡邊 公夫
極限点の整列階層構造と自己複製パターン		西浦 廉政
ホーキングーペンローズの特異点定理		前田 健吾
偏微分方程式と特異点		泉屋 周一
流れの特異点と物理学		高木 隆司
微分位相幾何と特異点		佐伯 修
代数幾何と特異点		石井志保子

Java プログラミング

日本サン・マイクロシステムズ(株) 編

サーブレット & JavaWebServer

B5・208頁・2400円

ザ・Java —アプレットの作りかた

戸川隼人著

A5・200頁・1750円

サイエンス社

〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷1-3-25

☎ (03)5474-8500 ㊚ (03)5474-8900

インターネットホームページ <http://www.bekkoame.or.jp/~saiensu>

*表示価格は全て税抜きです。

- [3] Mitra, D., and Mitrani, I., 1990, Analysis of a kanban discipline for cell coordination in production lines. I, *Management Sci.*, 36, 1548-1566.
- [4] Mitra, D., and Mitrani, I., 1991, Analysis of a kanban discipline for cell coordination in production lines. II, *Operations Res.*, 39, 807-823.
- [5] Tayur, S. R., 1993, Structural properties and a heuristic for kanban-controlled serial lines, *Management Sci.*, 39, 1347-1368.
- [6] Tayur, S. R., 1992, Properties of serial kanban systems, *Queueing Systems*, 12, 297-318.
- [7] Glasserman, P. and Yao, D. D., 1994, *Monotone Structure in Discrete-Event Systems*, John Wiley & Sons, New York.
- [8] Muckstadt, J. A., and Tayur, S. R., 1995, A comparison of alternative kanban control mechanisms. I, *IIE Transactions*, 27, 140-150.
- [9] Buzacott, J. A., and Shanthikumar, J. G., 1993, *Stochastic Models of Manufacturing Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- [10] Kimura, O., and Terada, H., 1981, Design and analysis of pull system, a method of multi-stage production control, *Int. J. Production Res.*, 19, 241-253.
- [11] Ohno, K., Nakashima, K., and Kojima, M., 1995, Optimal numbers of two kinds of kanbans in a JIT production system, *Int. J. Production Res.*, 33, 1387-1401.
- [12] Ohno, K., and Nakashima, K., 1995, Optimality of a JIT production system, *Proc. Asian-Pacific Operational Res. Soc.* '94, 390-398.
- [13] Nakade, K. and Ohno, K., 1995, Reversibility and dependence in a U-shaped production line, *Queueing Systems*, 21, 183-197.
- [14] Ohno, K. and Nakade, K., 1997, Analysis and optimization of a U-shaped production line, *J. Operations Res. Soc. Japan*, 40, 90-104.