

## 解説



# ジャストインタイム生産における 管理技術の動向<sup>†</sup>

宮崎 茂次<sup>††</sup> 太田 宏<sup>††</sup>

## 1. はじめに

ジャストインタイム (JIT) 生産は、第2次大戦後トヨタ自動車の製造現場で試行錯誤的に実施・改善されながら確立した生産方式 (トヨタ生産方式またはトヨタシステムと呼ばれる) の主要な概念のひとつである<sup>1)~4)</sup>。昭和48年のオイルショックの前後にジャストインタイム生産を実施する企業がめざましい業績をあげてから、産業界で広く注目され、各種の企業に導入されて顕著な効果を示している。今日では、MRP (資材所要量計画) システム<sup>5), 6)</sup>と並ぶ2大生産管理方式として、我が国ばかりでなく欧米諸国においても幅広く導入されつつある<sup>7)~9)</sup>。

ところで、ジャストインタイムを実施している企業では、その運用を管理する操作変数の多く (たとえば、かんばんの回収周期、かんばん枚数や部品の輸送法など) は、経験と慣習に頼って設定されている部分が多量にあり、科学的管理の観点からその運用法には改善の余地が残されている。このため、近年ジャストインタイム生産の原理を科学的に究明し、その運用の一層の効率化を図る目的で、各種の最適化手法の適用を中心とした、管理技術の研究が進められている。本解説では、このようなジャストインタイム生産方式に関する最近の研究動向を報告する。

## 2. ジャストインタイム生産の特質

### 2.1 目的と理念

ジャストインタイム生産は、必要なものを、必要なときに、必要な量だけ生産することによって、工程間の無駄な在庫を極限まで削減し、製造原価を切り下げることが目的とする生産方式である<sup>1)~4)</sup>。ジャストイ

ンタイム生産では、工程間在庫が諸々の非効率的な事態を生む最大の原因であるとみなされている。すなわち、工程間の過剰在庫によって製造現場の問題点が顕在化せず、改善の機会を失うことが指摘され、直接の在庫コストばかりでなく改善の機会損失の両面から、工程間在庫が企業の業績向上を阻害する最大原因であると考えられている。

工程間在庫を削減するという目標を実現するために、ジャストインタイム生産では、後工程引き取り生産の理念を用いている。すなわち、後工程が前工程に、必要なものを、必要なときに、必要な量だけ引き取りに行くという考え方である。前工程は、引き取られた量だけ生産する。これに対して、従来の生産方式では、前工程で生産が完了した品物が後工程に送られ、後工程は到着した品物に対して生産活動を実施するという考え方に基づいている。この従来方式によれば、計画変更などの予期しない事象により不要となったものが後工程に送られたり、必要量以上のものが送られたり、あるいは必要な時期より早く送られたりする事態が起こりうる。ジャストインタイム生産では、このような事態を避けるために、後工程引き取り生産方式を用いている。

### 2.2 手 段

ジャストインタイム生産を実現するための主要な手段は、次のようなものである。

#### (1) かんばん方式

かんばん方式は、後工程引き取り生産の理念を実現するための情報伝達の手段であり、ジャストインタイム生産の中核を構成している。かんばんとは具体的には、生産現場で使われるカード (通常、ビニール袋に入れられた紙製) を指し、部品を収納する個々のコンテナに1枚ずつ添付されている。かんばんには、コンテナに収納される部品の種類や量、その部品を生産する前工程および消費する後工程が明示され、コンテナの置場所や部品を補給する周期など、主要な生産関連

<sup>†</sup> Recent Research on Management Technologies in Just-in-Time Manufacturing by Shigeji MIYAZAKI and Hiroshi OHTA (University of Osaka Prefecture, College of Engineering, Department of Industrial Engineering).

<sup>††</sup> 大阪府立大学工学部経営工学科

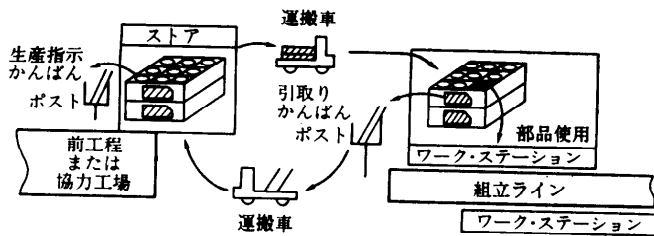


図-1 かんばん方式運用モデル<sup>1)</sup>

情報が記載されている。

図-1 に示すように、後工程のあるワーク・ステーションで作業者が、コンテナ内の最初の1個の部品を取り出すとき、そのコンテナに添付されたかんばん(引き取りかんばん)を外して、ワーク・ステーションサイドに設置されている引取りかんばんポストに投入する。後工程の運搬係は、定期的にあるいは、一定量の引き取りかんばんがポストに溜るたびに、かんばんを回収して、そのかんばんとともに前工程のストアと呼ばれる部品置場にその部品を引取りに行く。ストアでは、そこに置かれたコンテナに添付された生産指示かんばんを外して、持参した引取りかんばんを代わりに添付して後工程に運搬する。前工程では、外された生産指示かんばんに相当する量の部品を生産してストアに補給する。このサイクルが繰り返される。この方式によれば、後工程で消費された部品だけが補給され、前工程では必要部品のみの生産が行われ、無駄な工程間在庫の発生が極力避けられる。

### (2) 自動化

自動化とは、単なる自動化ではなく、にんべんの付いた自動化を用いているところに特徴がある。すなわち、生産設備に知恵を付与することである。たとえば、不良品を生産し始めた設備は自動的に止まるような工夫を実施することを指す。自動化は、後述する不良品を後工程に送らないというジャストインタイム生産方式の必要条件の確立に寄与している。

### (3) 目で見る管理

目で見る管理とは、たとえばかんばんにも見られるように、作業者が目で見て生産の状況を管理できるように工夫することをいう。標準作業票を製造現場に張りだしたり、あんどんと呼ばれるランプ式の表示盤をショップ内の要所に設置し、各工程の正常稼働、停止、補助要求などを示して、工程の進捗を管理している。

### (4) 人間性の重視

人間性重視の概念は、たとえばコンベア・ラインに

おいて、作業者の作業遅れなどによって、作業域の下流限界線までに割り当て作業がすべて完了できないとき、作業者が緊急停止用のコードを引くことによって、コンベアを停止させる権限が移譲されていることにみられる。これは、人間性重視と後述の不良品を後工程に送らないという条件を同時に満足させるためのものといえよう。また、改善活動・提案制度を推進することにより、各作業者のもつ自己実現の欲求の満足、および多工程もちによる職務充実などによって、人間性重視の姿勢が強化されている。

### 2.3 前提条件

ジャストインタイム生産を円滑に実施するために、整備しておかなければならない前提条件がある。それは、次のようにまとめられる。

- (1) 生産工程の流れの整備
- (2) 生産の平準化
- (3) 段取り時間の短縮
- (4) 不良品を後工程に送らないシステム

(1) 生産工程の流れの整備とは、工程間の物流がスムーズに行われるような生産現場を作ることである。この条件が満足されないと、かんばん方式が円滑に運用できず、したがって、ジャストインタイム生産も実現できないことになる。(2) 生産の平準化は、後工程から引き取られる資材の量が時間ごとに大きく変化しないように、製品の生産順序を決めることで実現される。そのためには、仕様の異なる製品が必要に応じて、小ロットで生産されることが要求される。すなわち、生産の平準化は、多くの段取り替えを実施して初めて可能となる。段取り替えを頻繁に行って、しかも生産効率を損なわないためには、(3) 段取り時間の短縮が、必要条件である。10分未満の段取り作業を指して、シングル段取りと呼び、ジャストインタイム生産の主要目標のひとつとされている。そして、生産技術的にさまざまな工夫をこらして、段取り時間の短縮を実現している。

ジャストインタイム生産は、工程間在庫を極限まで絞り込んだ生産方式であるため、後工程に送られてくるもののなかに不良品が含まれていると生産活動に重大な支障をきたす。そのため、(4) 不良品を後工程に送らないシステムが構築されなければならない。この

条件の実現には、種々の工程改善活動や、手段の項で述べた自動化が大きく寄与する。

### 3. かんばん方式の最適運用法

#### 3.1 かんばん方式運用モデル

かんばん方式の運用に関して、門田<sup>9)</sup>は、かんばんの引取り周期（発注間隔）とかんばん枚数の決定法を、1日当たりの需要量、リードタイム、安全在庫量、経済的ロットサイズからなる概念式で与えている。しかし、各値の具体的な算出手順は与えていない。かんばん方式は、在庫管理方式としてとらえることができるが、資材の発注量がかんばん枚数で指示されることによってロット単位の扱いとなるため、従来の在庫管理モデルをそのまま適用することができない。

宮崎ら<sup>10), 11)</sup>は、定期引取り形態のかんばん方式を対象に、工程間在庫量の挙動に影響を与える要因を分析し、それらの要因によって平均在庫量を求める式を誘導している。また、対象とする資材について発行されるかんばん枚数を、工程間在庫量が安全在庫水準を下まわらない最少の枚数に設定する方法、および資材の在庫費用と引取り費用の和からなるかんばん方式運用総費用を最小とする引取り周期を求めるアルゴリズムを示している。

柳川ら<sup>12)</sup>は、前工程のストアでの部品の在庫費用とコンテナに関連する費用を含めて、各費用項目（在庫費用、コンテナ費用）の具体的な算出手順を与えている。ついで、引取り周期に加えコンテナ容量も決定変数として、外注かんばんの最適運用法の決定アルゴリズムを与えている。さらに、企業の実際問題にそのアルゴリズムを適用し、各種パラメータの値と最適運用法との関係を分析している。

本章では、これらのかんばん方式の運用法の研究について解説する。まず、研究<sup>10)-12)</sup>の前提条件と記号の主なものを示す。

- (1) 対象とする資材の単位時間当たりの使用量 ( $d$ ) は、平準化生産が実施されているため一定である。
- (2) 資材の欠品、納期遅れはなく、かつ納入リードタイム ( $L$ ) は一定である。
- (3) 引取りは、引取り周期  $R$  で定期的に行われる。
- (4) 引取り周期  $R$  およびコンテナ内に収容できる資材の量（コンテナ容量  $u$ ）は、計画変数として意思決定される変数である。

(5) 安全在庫量 ( $I_s$ ) は、企業政策により定められ、計画期間中変更されない。

(6) かんばん方式運用総費用は、前・後工程のワーク・ステーションに置かれた資材の在庫費用と資材の引取り費用およびコンテナ費用の和からなる。

(7) 在庫費用は、平均在庫量 ( $\bar{I}$ ) に比例するものとする。

(8) 1回当たりの引取り費用は、引取り量に関係なく一定である。

以上の前提条件から、かんばん方式運用法の評価関数として、単位時間当たりのかんばん方式運用総費用 ( $C$ ):

$$C = C_1 \bar{I} + C_0 / R + C_c \quad (1)$$

を定義する。ここに、 $C_1$  は単位時間・単位量当たりの在庫費用、 $C_0$  は1回当たりの引取り費用、および  $C_c$  は単位時間当たりのコンテナ費用である。したがって、かんばん方式運用法の決定問題は、 $C$  を最小にする引取り周期 ( $R^*$ ) およびコンテナ容量 ( $u^*$ ) を求めるものである。

#### 3.2 平均在庫量の定式化

式(1)のかんばん方式運用総費用を具体的に求めるため、種々の  $R$  と  $u$  に対する平均在庫量  $\bar{I}$  の導出式が与えられている<sup>10), 11)</sup>。

定期引取り形態の社内かんばん（社内かんばんとは、自社内の前・後工程間の資材の引取りに用いるかんばんである）の運用によって、後工程のワーク・ステーションサイドの資材の在庫量は、図-2の太い実線に示されるような挙動を示す。細い実線による階段関数は、かんばんのついでにコンテナ内の資材の在庫量の挙動である。かんばんの外れる時刻が図中にかんばんの形で示されている。各発注時刻は、引取りか

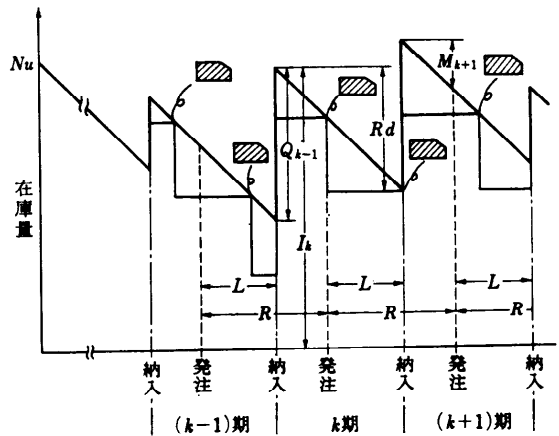


図-2 かんばん方式による在庫量の挙動<sup>10)</sup>

んぱんの回収時刻に相当する。発注時刻からリードタイム  $L$  (社内かんぱんについては  $L \leq R$ ) が経過した後、引き取られたかんぱん枚数と同数のコンテナに入れられた資材が納入される。

図-2 のように納入時刻から次の納入時刻までを1期と考えれば、社内かんぱんではリードタイムは引取り周期以下との前提があるので、第  $k$  期の期首在庫量  $I_k$  は

$$I_k = I_{k-1} - Rd + Q_{k-1}, \quad k \geq 2 \quad (2)$$

で表される。ここに、 $Q_{k-1}$  は第  $(k-1)$  期に発注され、第  $k$  期の期首に納入される資材量で、 $Q_k$  には

$$Q_k = \left[ \frac{Rd + M_{k-1}}{u} \right] u, \quad k \geq 2 \quad (3)$$

の関係がある。 $[x]$  はガウス記号である。 $M_{k-1}$  は、第  $(k-1)$  期のかんぱん回収時刻 (= 発注時刻) における使用中のコンテナ内の使用済みの資材量である。

かんぱん方式における在庫量  $I_k$  の挙動は、図-2 に示したように不規則な動きをするが、 $u$  と  $Rd$  の最大公約数を  $g$  とおけば、 $u/g$  の周期をもつ。したがって、全計画期間の平均在庫量は、1周期についての平均在庫量で求めることができる。第  $k$  期の平均在庫量  $\bar{I}_k$  は

$$\bar{I}_k = I_k - Rd/2 \quad (4)$$

である。在庫量の挙動は、 $k \geq 2$  で定常状態となるので、第2期目から第  $(u/g + 1)$  期までの1周期の平均在庫量

$$\bar{I} = \left( \frac{1}{u/g} \right) \sum_{k=2}^{u/g+1} (I_k - Rd/2) \quad (5)$$

が全計画期間の平均在庫量となる。ところで、第  $k$  期の期首在庫量  $I_k$  は、式(2)の再帰関係式を解くことにより

$$I_k = Nu - Ld + u - \text{mod} \left\{ \frac{(k-1)Rd - Ld}{u} \right\}, \quad k \geq 2 \quad (6)$$

で求められる。これを式(5)に代入すれば、全期間の平均在庫量は

$$\bar{I} = Nu - Ld + u - \frac{1}{2} Rd - \frac{g}{u} \sum_{k=2}^{u/g+1} \text{mod} \left\{ \frac{(k-1)Rd - Ld}{u} \right\} \quad (7)$$

となる。以上が、社内かんぱんの対象となる資材の平均在庫量である。

一方、外注先と自社間の資材の購入に用いられる外注かんぱん (通常、 $L > R$  の条件が成立する) では、その平均在庫量は

$$\bar{I} = Nu - \lceil L/R \rceil Rd + u - \frac{1}{2} Rd - \frac{g}{u} \sum_{k=\lceil L/R \rceil + 2}^{u/g + \lceil L/R \rceil + 1} \text{mod} \left\{ \frac{(k-1)Rd}{u} \right\} \quad (8)$$

で求まることが示されている。ただし「 $x$ 」は、切上げ記号である。

### 3.3 かんぱん枚数

平均在庫量の算出式の中で用いられている  $N$ 、すなわち対象とする資材に対して発行されるべきかんぱん枚数  $N$  は、在庫量を左右する重要な変数であり、次の二つの制約条件を満足するよう決定されなければならない。

制約条件 1: 定常状態において、最低在庫量が安全在庫量 ( $I_0$ ) を下まわってはならない。

制約条件 2: 制約条件 1 を満足する最少の枚数でなければならない。

制約条件 1 より

$$\min_{2 \leq k \leq u/g + 1} (I_k - Rd) \geq I_0 \quad (9)$$

を得る。式(6)を用いて、この式を変形すれば

$$Nu \geq I_0 + (R+L)d - u + \max_{2 \leq k \leq u/g + 1} \left\{ \text{mod} \left\{ \frac{(k-1)Rd - Ld}{u} \right\} \right\} \quad (10)$$

となる。制約条件 2 を考慮して、対象とする資材に必要なかんぱん枚数は

$$N = \left\lceil \left[ I_0 + (R+L)d - u + \max_{2 \leq k \leq u/g + 1} \left\{ \text{mod} \left\{ \frac{(k-1)Rd - Ld}{u} \right\} \right\} \right] / u \right\rceil \quad (11)$$

で与えられる。一方、外注かんぱんについては

$$N = \left\lceil \left[ I_0 + (\lceil L/R \rceil + 1)Rd - u + \max_{a \leq k \leq b} \left\{ \text{mod} \left\{ \frac{(k-1)Rd}{u} \right\} \right\} \right] / u \right\rceil \quad (12)$$

となる。ここに、 $a = \lceil L/R \rceil + 2$ 、 $b = u/g + \lceil L/R \rceil + 2$  である。

### 3.4 かんぱん方式運用総費用の算出

柳川ら<sup>12)</sup>は、3.1 で示されたかんぱん方式運用総費用の式で用いられる費用係数の具体的な導出法を与えている。ここでは、そのうち在庫費用係数をとりあげて以下に示す。

#### 3.4.1 在庫費用

在庫費用は、部品を在庫しておくのに必要な保管費用、在庫品に対する資本利子、およびワーク・ステーションの改善の遅れによる損失の和からなるものと

し、単位時間当たりの在庫費用 ( $C_s$ ) を

$$C_s = C_{s1} + C_{s2} + C_{s3} \quad (13)$$

で与えている。ここに

$C_{s1}$ : 単位時間当たりの保管費用

$C_{s2}$ : 単位時間当たりの在庫品に対する資本利子

$C_{s3}$ : 単位時間当たりの改善の遅れに対する損失

である。

改善の遅れによる損失は、次のようにして求められる。ジャストインタイム生産では、工程間在庫量が多いときワーク・ステーションの諸問題（加工方法、運搬などの無駄）は明らかにならず、改善可能な点がそのまま放置されるという損失（機会損失）が生じているとみる。すなわち、在庫を減らせば工程間の諸問題が明らかになり、問題点の改善活動によって無駄な費用を減らすことができると考える。しかしながら、この無駄な費用を直接算出するのは困難であるので、その代用として次の考えにより改善の遅れによる損失を求めている。

在庫量が最大のとき、改善の遅れによる損失が最大で、改善が進むにつれて損失が減り、もっとも改善が進んだ状態は在庫がゼロのとき達成され、改善の遅れによる損失もなくなるとする。すなわち、ワーク・ステーションにおける改善がもっとも進んだ状況とは、そのワーク・ステーションが必要なくなり、ステーションの維持費もいらなくなるときである。また、在庫量が最大になるような運用をしたとき ( $u$  と  $R$  の値)、ワーク・ステーションの維持費の 100% に相当する額が改善の機会を逃がすことによる機会損失として発生しているものとする。そして、ある  $u$  と  $r$  の値で運用したとき実現する平均在庫量に比例して、この機会損失が小さくなるものとする。この考えによれば、改善の遅れによる損失は、ひとつのワーク・ステーションを維持するのに要する費用に、コンテナ容量 ( $u$ ) と引取り周期 ( $R$ ) を変化させて求めた最大平均在庫量と  $u$  および  $R$  を指定したときの平均在庫量の比を乗じることによって求められる。したがって、単位時間当たりの改善の遅れによる損失 ( $C_{s3}$ ) は

$$C_{s3} = H_b \frac{\bar{I}_b(R, u)}{\max_{R, u} \bar{I}_b(R, u)} + H_r \frac{\bar{I}_r(R, u)}{\max_{R, u} \bar{I}_r(R, u)} \quad (14)$$

となる。ここに

$H_b$ : 後工程の 1 ワーク・ステーションの単位時間当たりの維持費

$H_r$ : 前工程の 1 ワーク・ステーションの単位時間当たりの維持費

$\bar{I}_b(R, u)$ : 引取り周期  $R$ , コンテナ容量  $u$  としたときの、後工程の平均在庫量

$\bar{I}_r(R, u)$ : 引取り周期  $R$ , コンテナ容量  $u$  としたときの、前工程の平均在庫量

である。

### 3.5 最適運用法の決定手順

アルゴリズムの基本手順は、実行可能な範囲内の引取り周期とコンテナ容量についてそれぞれ、かんばん方式運用総費用 ( $C$ ) を求め、その最小値を選ぶというものである。ある A 社の工場を例として、実際上の最適運用法が求められている<sup>12)</sup>。A 社の工場は、1 日 2 直、1 直 8 時間、年間 250 日操業である。また、安全在庫量を単位時間当たりの部品使用量の 4 時間分としている。また、前工程の安全在庫量は、単位時間当たりの部品生産能力の 4 時間分とする。前節までに示された費用構造分析に基づき、納入リードタイムを 12 時間、後工程の単位時間当たりの部品使用量を 30 個、前工程の単位時間当たりの部品生産能力を 60 個、後工程の安全在庫量を 120 個、前工程の安全在庫量を 240 個として、コンテナ容量 ( $u$ ) および引取り周期 ( $R$ ) をいろいろに変化させて、かんばん方式運用総費用を計算した結果が図-3 に示されている。

図-3 の場合は、コンテナ容量が 40、引取り周期が 6 のときに最適となっている。一般に、引取り周期が短くなれば、引取り費用が増加する代わりに在庫費用が減少し、逆に引取り周期が長くなれば、引取り費用が減少し、在庫費用が増える。

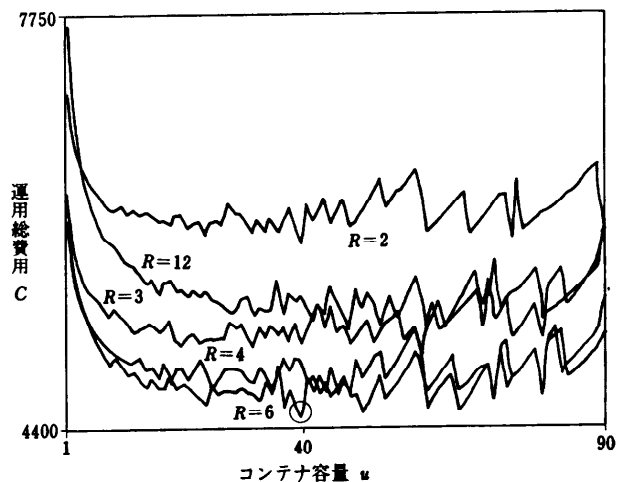


図-3 運用総費用の変化 (安全在庫量 4 時間分)<sup>13)</sup>

#### 4. 混載部品の最適輸送計画

前章では、かんばん方式の運用に関する費用を最小にする最適引取り周期、コンテナ容量と、その際に必要となるかんばん枚数の決定アルゴリズムおよび実際例への適用について述べた。ところで、ジャストインタイム生産では、在庫量を少なくするために、資材の納入回数を多くする必要がある。したがって、個別の資材ごとに別々に納入する方法では、輸送コストの増大という問題が起こる。そこで、複数の前後工程間で行われているかんばん方式の運用では、資材の輸送コストの削減のためにさまざまな工夫が凝らされている。

柳川ら<sup>13)</sup>は、複数の外注先からかんばん方式で納入されている異なる部品を混載して輸送する際の、代表的な輸送法であるデポ方式と巡回方式を取りあげ、その二つのいずれが有利になるかを考察するとともに、個々の部品の最適輸送法も同時に決定する輸送計画手法を与えている。さらに、各種パラメータの値をいろいろに変化させた場合につき、両輸送方式の有利な範囲がどのようになるかを示し、それぞれの場合の最適引取り周期、コンテナ容量およびその際の必要かんばん枚数を与えている。

##### 4.1 デポ方式および巡回方式

デポ方式とは、複数の前工程のそれぞれで作られた異なる部品を、積み替え作業を行うためのデポと呼ばれる場所に輸送し、次にデポから複数の後工程のそれぞれに部品を混載して輸送する方式である。一方、巡回方式とは、各後工程を出発点として複数の前工程を巡って順次部品を積み込み、再び後工程へと戻ってくる輸送方式である。後工程が2カ所、前工程が3カ所とした場合を例として、デポ方式の輸送法を図-4に、巡回方式の輸送法を図-5に示す。

##### 4.2 輸送方式の決定法

図-4、5に示された前工程とデポの距離  $D'$  および後工程とデポの距離  $D$  の比  $P (=D'/D)$  をパラメータとして、かんばん方式運用総費用を最小にする輸送方式を求め、有利な輸送方式を分ける  $P$  の分岐点が図-6に示されている。それは、次のような数値データに基づいている。後工程数  $n=2$ 、前工程数  $m=3$  とし、 $n$  個の後工程はおのおの同じ生産環境のもとで生産活動を行い、生産される部品の付加価値、生産にかかる費用などはすべて同じとする。また、 $m$  個の前工程についても同様とする。

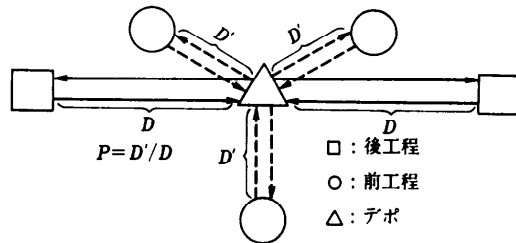


図-4 デポ方式の輸送法<sup>13)</sup>

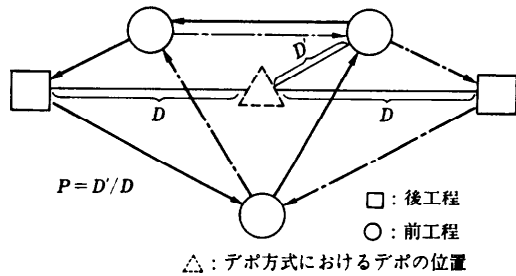


図-5 巡回方式の輸送法<sup>13)</sup>

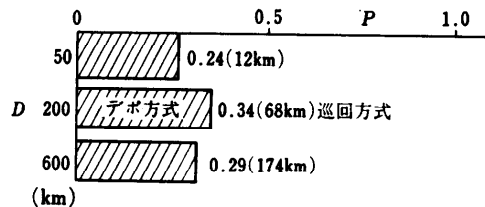


図-6 有利な輸送方式を判定するグラフ ( $t_0 = 4$  時間分)<sup>13)</sup>

さらに、各拠点間の輸送速度は、デポ方式では後工程とデポ間を 70 km/h、前工程とデポ間を 20 km/h とし、巡回方式では、後工程と前工程間を 40 km/h、前工程と前工程間を 20 km/h としている。それぞれの輸送速度は、使用するトラックの大きさや、拠点間の距離、道路の種類などの実際条件を反映したものである。

以上の条件で  $D$  の距離を種々にかえて、おのおの輸送方式でのコンテナ容量 ( $u$ ) および引取り周期 ( $R$ ) を最適に設定したときの、かんばん方式運用総費用を最小にする輸送方式を与える  $P$  の分岐点が図-6である。

図-6 は、後工程とデポとの距離を 50 km, 200 km, 600 km にとったときの有利な輸送方式を示す図で、図中の棒グラフは、デポ方式を採用するほうが有利な

範囲を示す。また、棒グラフの横の数字は、有利な輸送方式を判定する  $P$  の分岐点の値であり、( )内の数字はそのときの後工程とデポ間の距離を示す。たとえば、デポ(巡回方式の場合は各工程の重心)と後工程との距離が 50 km の場合には、複数の前工程がそれぞれデポから 12 km 以内に分布していればデポ方式が有利なことを示している。

これはたとえば、関西一円に親工場(後工程)が存在しているときには、12 km の範囲内にある複数の部品納入企業(前工程)から混載で部品を購入する場合は、デポ方式の輸送コストが小さいことを示している。また、デポと後工程との距離が 200 km (親工場がたとえば大阪にあり、デポが名古屋程度の離れた位置に存在している)のときには、複数の納入企業がデポの位置より 68 km の半径内に分布しているときにはデポ方式、それ以上の距離に分布しているときには巡回方式が有利なことを示している。距離が 600 km の場合とは、大阪をデポの位置としたとき、東京、福岡付近に親工場が存在するケースである。一般的には、 $D$ がいろいろに変わっても、 $P=0.30$  付近に分岐点があることが分かる。

## 5. ジャストインタイム・スケジューリング

### 5.1 実滞留時間の概念

従来多くの研究論文で取りあげられている静的スケジューリング問題<sup>14)</sup>では、各ジョブの生産開始可能時刻(到着時刻)を、スケジューリングの際の制約条件として、スケジュール作成前に与えて実行可能スケジュールを求めている。ところで、ジャストインタイム生産では、各ジョブの生産準備は、それぞれのジョブの生産開始時刻に合わせて(ジャストインタイムに)行うべきものとされている。したがって、この生産方式では、各ジョブの生産開始可能時刻は、スケジューリングの際の制約条件として考慮する必要はない。また、各ジョブのショップへの到着は、スケジューリングの結果決まる各ジョブの生産開始時刻に一致すると考えられる。

一方、ジョブがショップから立ち去る時刻は、従来の平均滞留時間の評価尺度では、各ジョブの生産完了時刻とされているが、現実の問題では、納期前に完了したジョブは、納期が到来するまで納入企業側で製品在庫として保管しなければならない。ジャストインタイム生産では、ジョブは納期と同時に納入するとの要請が厳しいことから、特に製品在庫期間の削減が重要

な課題となる。

そこで、文献 15), 16)では、各ジョブの生産開始時刻から納期までの期間を、ジャストインタイム生産方式のもとでのジョブの滞留時間と考え、これを実滞留時間と呼んで、スケジューリングの新しい評価尺度として提案している。さらに、納期遅れを起こさないという条件下で、全ジョブについての平均実滞留時間を最小にするバックワード・スケジューリング法を提案している。ここでは、各ジョブが同一の納期をもち、かつ段取り時間がジョブの順序づけに依存しない基本的問題を中心にジャストインタイム・スケジューリングの概念を述べる。

### 5.2 スケジューリング・モデル

ジャストインタイム・スケジューリング・モデルは、次のような前提条件に基づいている。

- (1)  $n$  個のジョブ  $J_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) が、単一設備で個々に生産され完成する。
- (2) 各ジョブの生産時間  $p_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) は、与えられており、変動はないものとする。
- (3) 各ジョブの生産開始のための準備(材料調達など)は、作成されるスケジュール上の生産開始時刻に合わせて完了できるものとする。
- (4) 各ジョブの納期は、同一時刻  $d$  であるとする。
- (5) 各ジョブは、納期遅れが許されず、また、納期より早く出荷することもできない。

ジャストインタイム生産の特徴は、上記の条件(3)および(5)にみられる。これらの条件下では、各ジョブがショップ内に留まる時間(滞留時間)は、スケジュール上の生産開始時刻から納期までとなる。この時間を実滞留時間  $F_i^*$  とよび

$$F_i^* = d - B_i, \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

で定義している。ここに  $B_i$  は、 $J_i$  の生産開始時刻である。文献 15), 16)では、条件(5)を満足しつつ

$$\bar{F}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i^* \quad (16)$$

で与えられる平均実滞留時間  $\bar{F}^*$  を最小にするために、バックワード・スケジューリング法を採用している。この解法は、最後に生産されるジョブから納期を基準に時間軸をさかのぼりながら、順次各ジョブを順序づけていく方法で、納期遅れを起こさないという条件下で、実行可能スケジュールを立案するために有効な手法である。

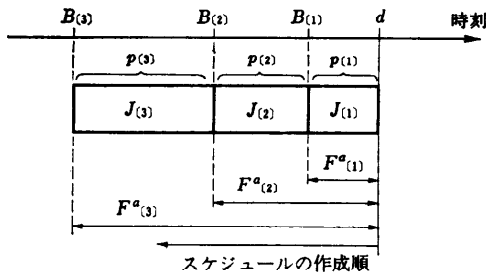


図-7  $n/1 // F^a/b$  問題のスケジュール例<sup>10)</sup>

### 5.3 最適解法

単一工程で、段取り時間が直前に生産されるジョブに依存しない場合の、平均実滞留時間最小化のバックワード・スケジューリング問題 ( $n/1 // \bar{F}^a/b$ ) のスケジュール例は、図-7 のように示される。  $J_{(1)}$ ,  $J_{(2)}$ ,  $J_{(3)}$  は、それぞれ時間軸の後方から第1番目、第2番目、第3番目に順序づけられたジョブである。段取り時間は、各ジョブの生産時間に含められるものとする。最後に生産されるジョブ  $J_{(1)}$  の完了時刻は、条件(5)と  $\bar{F}^a$  最小化の評価尺度から、納期  $d$  に一致する。

各ジョブの段取り時間がジョブの順序づけに依存しない問題に対する最適解は、LPT スケジュール (生産時間の長いジョブから時間軸の前方へ順序づける) で与えられる。同一の条件下で、従来の平均滞留時間最小化の評価尺度で最適解を求めれば、これとはまったく逆の SPT スケジュール (生産時間の短いジョブから時間軸の前方へ順序づける) が得られるのと好対照である。

段取り時間が順序づけに依存して変わったり、納期が異なるという条件のある種々の問題に対しては、分岐限界法を利用した最適化アルゴリズムが与えられている。また、そのアルゴリズムをC言語でプログラム化して各種の数値例を解き、アルゴリズムの性能が報告されている<sup>17), 18)</sup>。

### 6. まとめ

一般に、我が国におけるジャストインタイム生産に関連する文献は、この生産方式がどのような理念に基づき、いかなる方法で実施されているのか、また、これまでの生産方式とどのように異なるのか、などの解説に終始したものが多く、数理的にその特性を明らかにしたものは比較的少ない。一方、欧米諸国においては、ジャストインタイム生産を理論的に取り扱った技術論文が近年急速に増えつつある。しかしながら、諸

外国における技術論文のなかには、ジャストインタイム生産の本質の誤った認識に基づくものも少なからず見られる。それは、これらの国にジャストインタイム生産が導入されてから日が浅く、この生産方式を完全を実施している企業がそれほど多くないことなどにも起因する。

本稿では、ジャストインタイム生産を対象とした管理技術の根幹をなす情報源ともいべきかんばんの回収周期、かんばん枚数や部品の輸送法、さらにスケジューリングの最適決定に関する我が国における研究動向について述べた。前述のような観点から、ジャストインタイム生産の具体例を身近に見聞きすることのできる我が国で、この方式の特性を明らかにするための理論研究の進展がますます期待されている。なお、ジャストインタイム生産方式を効率的に運用するには、これらの個別情報を統合し、一元化する情報ネットワークシステムの構築が必要であるが、紙数の都合でこの分野に関する研究動向については割愛したことを断っておく。

### 参考文献

- 1) Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. and Uchikawa, S.: Toyota Production System and Kanban System—Materialization of Just-in-Time Respect for Humanity System, International Journal of Production Research, Vol. 15, No. 6, pp. 553-564 (1977).
- 2) 大野耐一: トヨタ生産方式, ダイヤモンド社, 東京 (1978).
- 3) 日本能率協会編: トヨタの現場管理, 日本能率協会, 東京 (1978).
- 4) Monden, Y.: Toyota Production System, IIE, Atlanta (1983). 門田安弘訳: トヨタシステム, 講談社, 東京 (1985).
- 5) Orlicky, J.: Material Requirements Planning, MacGraw-Hill (1975).
- 6) 吉谷龍一, 中根甚一郎: MRP システム, 日刊工業新聞社 (1977).
- 7) 門田安弘: ジャストインタイム—トヨタ生産方式海を渡る, 日本生産性本部 (1987).
- 8) Kim, T.: Just-in-Time Manufacturing System: A Periodic Pull System, International Journal of Production Research, Vol. 23, No. 3, pp. 553-562 (1985).
- 9) Rees, L. P., Philipoom, P. R., Taylor, III, B. W. and Huang, P. Y.: Dynamically Adjusting the Number of Kanbans in a Just-in-Time Production System Using Estimated Values of Leadtime, IIE Transactions, Vol. 19, No. 2, pp. 199-207 (1987).



- 10) 宮崎茂次, 西山徳幸: トヨタ生産システムにおけるかんばん方式の最適運用法, 日本経営工学会誌, Vol. 38, No. 2, pp. 126-131 (1987).
- 11) Miyazaki, S., Ohta, H. and Nishiyama, N.: The Optimal Operation Planning of Kanban to Minimize the Total Operation Cost, International Journal of Production Research, Vol. 26, No. 10, pp. 1605-1611 (1988).
- 12) 柳川佳也, 宮崎茂次, 太田 宏: かんばん方式の費用構造分析と最適運用法, 日本経営工学会誌, Vol. 40, No. 3, pp. 141-148 (1989).
- 13) 柳川佳也, 宮崎茂次, 太田 宏: かんばん方式における混載部品の最適輸送計画, 日本経営工学会誌, Vol. 40, No. 6, pp. 407-413 (1990).
- 14) Conway, R. W., Maxwell, W. L. and Miller, L. W.: Theory of Scheduling, Addison-Wesley Reading (1967). 関根智明監訳: スケジューリングの理論, 日刊工業新聞社, 東京 (1971).
- 15) 宮崎茂次, 太田 宏: ジャストインタイム・スケジュールリング, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 32, No. 11, pp. 739-743 (1987).
- 16) 宮崎茂次, 世古口謙二, 太田 宏: 平均実滞留時間最小化のバックワード・スケジュールリング・ジャストインタイム生産方式におけるスケジュールリング (第1報), 日本経営工学会誌, Vol. 39, No. 4, pp. 239-246 (1988).
- 17) 世古口謙二, 宮崎茂次, 太田 宏: 段取り時間を考慮した製品在庫コスト最小化のスケジュールリング, 日本経営工学会誌, Vol. 40, No. 2, pp. 90-96 (1989).
- 18) 宮崎茂次, 橋本憲一, 山本明夫, 太田 宏: 異なる納期をもつジョブを対象としたバックワード・スケジュールリング・ジャストインタイム生産方式におけるスケジュールリング (第2報), 日本経営工学会誌, Vol. 40, No. 3, pp. 133-140 (1989).  
(平成元年10月2日受付)