

Original

An Extension of JIT Production to Improve Production Efficiency as a Total System

Jae Kyu YOO¹ and Yoshiaki SHIMIZU¹

Abstract

This paper discusses a novel idea to integrate a whole production system that involves JIT (Just-In-Time) production downstream. If we apply conventional JIT technology to such a production system, it is difficult to keep production efficiency because production smoothing is not kept between processes with different production styles and production lead-times. To cope with this difficulty, we propose a new type of JIT production system in which scheduling is decided using a heuristic algorithm instead of conventional JIT production. Through computer simulations, we evaluate the proposed JIT production system regarding two cases; i.e., lot process and painting process.

Key words: efficiency, JIT production system, Pull-Push, scheduling method

¹Production Systems Engineering, Toyohashi University

Received: June 13, 2002

Accepted: March 7, 2003

JIT 生産の拡張による生産システムの統括的効率化

柳 在 圭¹, 清 水 良 明¹

本研究では、JIT (Just-In-Time) 生産システムの拡張として生産システム全体としての効率化を計るために新たな生産システムの構築を試みる。そのため、適応範囲を拡張したことにより生じる問題点の解決案として、全生産工程において、当該工程とその後工程の効率を十分に引き出す Pull-Push 型生産を提案する。また、提案手法を生産方式、生産リードタイムが異なる工程間に適応し、その有効性を調べる。

キーワード： 効率化、統括化、JIT 生産システム、Pull-Push 型生産、スケジューリング手法

1. はじめに

近年、多くの製造業において顧客のニーズに応じるために生産管理などがより複雑になり、その環境での生産方法の合理化が求められている。そうした生産方式の一つとして JIT 生産システムが注目されてきた。JIT 生産システム [1], [2] は、必要な物を必要な量だけ必要なときにつくることにより生産におけるムダな要素を徹底的に排除し、生産コストを低減することを目指す生産方法である。JIT 生産システムは、生産現場を中心とした実践の中で創り出されたものであり、その理論的な体系化は不十分であることから現在、理論的な研究が盛んに行われている [3]~[5]。しかし、それらの研究は、製造のある限られた部分を対象としている。また、現実に JIT 生産が効率的に運用可能であるのは、各工程と各々の工程における部品供給を行うサブ工程間あるいは多段工程を形成しているサブ工程間に限られている。このため全生産工程を対象として JIT 生産を運用した場合には、各工程間の異なる生産方式、異なる生産リードタイムなどにより JIT 生産の効率性を高めるために必要となる平準化生産 [1] (生産期ごとの生産量、品種を一定に生産すること) の達成、維持が困難である。その結果、様々な問題が生じる。

そこで、本論文では、JIT 生産を生産システムにおいて全体としての効率化を計るための新たな生産システム (本論文では、統括的な JIT 生産システムと呼ぶ) の構築を試みる。その際、適応範囲を拡張したことにより生じる問題点の解決案として、後工程に対する生産と自工程の効率を考慮した生産を併用して行う生産手法 (本論文では、Pull-Push 型生産と呼ぶ) を提案する。Pull 型生産と Push 型生産を併用した従来の研

究は、多段生産システムにおいてある生産状況に応じて工程ごとに Pull 型生産または Push 型生産から一つのみを用いることである [6], [7]。一方、本論文で提案する Pull-Push 型生産は、各工程が Pull 型生産を基に、同時に Push 型生産を行う生産ルールである。

以下、2. で、JIT 生産を全工程 (図 1 のプレス、ボディ、塗装、組立) に拡張した場合の問題点とその解決案としての統括的な JIT 生産システムと Pull-Push 型生産について述べる。3. で、生産方式が異なる工程間、生産リードタイムが異なる工程間などに統括的な JIT 生産システムを適用した場合の数値例を具体的に示す。

2. 統括的な JIT 生産システム

JIT 生産では、あるメイン工程と平準化生産を維持しているサブ工程の限られた工程間でのみ、その効率性を高めることが可能である (図 1 中点線枠内)。このため工場全体あるいは、全工程に JIT 生産の適用範囲を拡張した場合、たとえば、生産方式が異なる工程間、生産リードタイムが異なる工程間などでは、合理的な生産を行うことが困難である。これは JIT 生産の環境の下では自工程の生産行為が後工程に依存する (Pull 型生産) という特徴に起因している。一方、本論文で提案する統括的な JIT 生産システムでは、図 1 に示すようにメイン工程間 (図 1 中範囲 A と B) あるいはメイン工程とそれを支えるサブ工程間 (図 1 中範囲 C) に各々の工程が生産に対するスケジューリング機能 (図 1 中◇ボックス印と●印) を持たせる。これによって、生産システム全体としての効率化を計ることができ、工程間の生産状況の変動に対する柔軟性を高めることが期待できる。

2.1 システム構成

表 1 に JIT 生産システムと統括的な JIT 生産システムの比較を示す。統括的な JIT 生産システムでは、既

¹豊橋技術科学大学

受付：2002年6月13日，再受付（2回）

受理：2003年3月7日

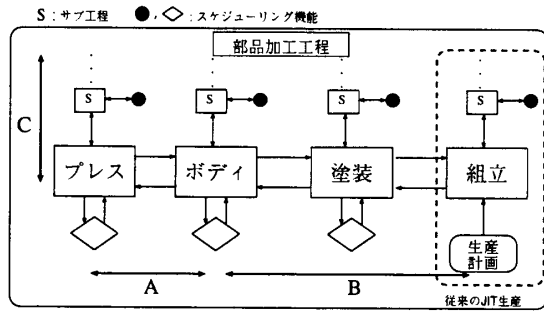


図1 統合的なJIT生産システムの概要

存のJIT生産システムの生産ルールであるPull型生産にPush型生産を併用することによって前工程の効率(少ない仕掛り在庫)と後工程に関する制約(納期)を達成して生産システム全体の効率を引き出すことを試みる。

表1 JIT生産システムと統合的なJIT生産システム

	JIT生産システム	統合的なJIT生産システム
生産ルール	Pull型生産	Pull-Push型生産
情報伝達機能	かんぱん	-
前提条件	平準化生産の達成	なし

- ; 特定しない

図2は、上述のPull-Push型生産をより具体化したものである。通常のJIT生産のように後工程からの生産指示に対してそれをそのまま実行するのではなく当該工程が自工程の効率も考慮することにより独自に指示(スケジュール)を生成する(太実線)ことで、全工程にJIT生産を適用した場合に生じる問題点の克服が期待される。以下、そのルールを示す。

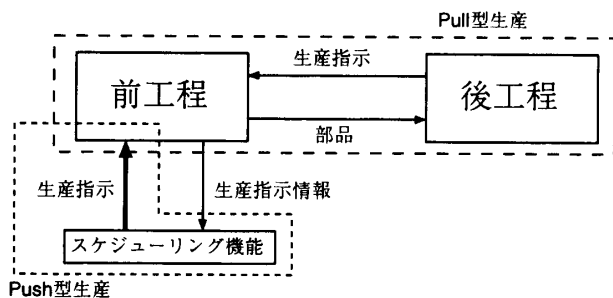


図2 Pull-Push型生産方式

[生産ルール]

- 手順1 : 後工程からの生産指示を受け取る (Pull型)。
- 手順2 : 受け取った生産指示を基に前後工程の効率(前工程; 納期余裕あるいは仕掛け在庫の最小化, 後工程; 納期遅れの最小化)を考慮したスケジュールを生成する (Push型)。

手順3 : 前工程は生成されたスケジュールに従って生産を行う。

手順4 : 前工程の完成品を後工程に運搬する。

2.2 スケジュールリング機能

一般にスケジュールリング手法としては、各工程の生産におけるある目的関数(生産コスト、納期ずれなど)に対して最適化を行うことによって構築される最適スケジュールリングを用いる手法[8]~[10]があるが、扱う生産ジョブの数によっては、現実的な時間内に最適なスケジュールを求めることは困難である。また、生産状況の変化によるスケジュールの更新が必要となる場合が多い。このことから、本論文では、Pull-Push型生産におけるスケジュールリング機能として、JIT生産の特徴(Pull型生産)と、JIT生産が適用される各工程の特徴を考慮したヒューリスティクスを用いたスケジュールリング手法を用いる。これによって現実的な時間内の解法、生産変動に対する柔軟性といった効果が得られる。

3. 統合的なJIT生産システムの構築例

図1に示すように生産システム全体を対象とする場合、JIT生産を適用する上で不適切な特徴をもつ工程が含まれることになる。こうした一状況においてもPull-Push型生産を組合せて適用することによって生産システム全体としてJIT生産システムに基づく効率的な生産が可能となる。

3.1 生産方式が異なる工程間でのJIT

ロット工程にJIT生産を適用し多品種少量生産を行なう場合について考察を行う(図1の範囲Aの場合)。このとき、品種ごとに後工程からの生産指示量または、後工程の単位時間当りの使用量が異なる場合、後工程からの偏った生産指示の到着が生じる[11],[12]。ロット工程では、こうした生産指示だけで生産を行うと、生産の待ち状態、空き状態の生産状態の原因で納期遅れ、またはアイドル時間などの不効率が生じる。

そこで、ロット工程にPull-Push型生産を行うことにより、納期ずれ(納期遅れと納期余裕)を少なくし、前後工程の効率を上げることを試みる。ロット工程とその後工程に対し、以下の条件を仮定する。また、図3にロット工程とその後工程において多品種少量生産に基づいたものと生産指示情報の流れを示す。

[仮定]

- 1) ロット工程では、その後工程からの指示に従って多

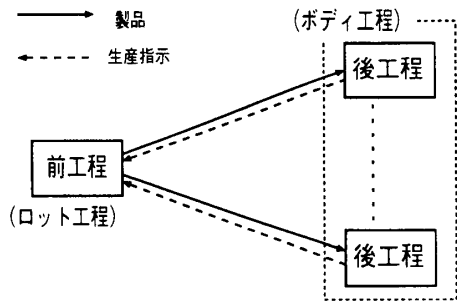


図3 ロット工程におけるものと生産指示情報の流れ

品種少量生産を行うものとする。

- 2) ロット工程に対して生産指示を出す後工程は複数存在する。また、ロット工程は、各後工程に対し一つの品種に対応するものとする。
- 3) 各後工程からの生産指示間隔は異なるものとする (式(1))。

$$LT_i = LT_j \quad (i \neq j) \quad (1)$$

ここで、 $i, j (= 1, 2, \dots, N)$ は、品種で、 $LT_i (= q_i/p_i)$ は、品種 i の生産指示間隔である。また、 q_i, p_i は、各々品種 i の生産指示量と後工程の単位時間当りの使用量である。

- 5) ロット工程とその後工程間での運搬時間は無視できるほど短いとする。

3.1.1 ロット工程における Pull-Push 型生産

以下、ロット工程における Pull-Push 型生産の手順を示す。

- 手順1 ロット工程は、後工程と Pull 型生産を実行し、後工程から最初に到着した生産指示のジョブを生産する (Pull 型)。
- 手順2 生産完了後、生産中に到着した生産指示の数を調べ、以下に述べる3つのケースに分類し (図4)、それらに応じてスケジューリングを行う (Push 型)。
- 手順3 生成されたスケジュールを実行し、手順2へ。

上記の手順において、後工程からの生産指示がロット工程に到着する状況を3つに分け、それらに応じてスケジューリングを行うことにより、ケース3のような組合せ問題として扱うスケジューリング問題に対して負荷を減らすことが可能である。さらに、スケジューリングを小刻みに (スケジュール実施ごとに) 行うことにより、その対象となるジョブの数を少なくし、ケース3における組合せ数を少なくすることによって現実時間内に解を得ることが可能である。

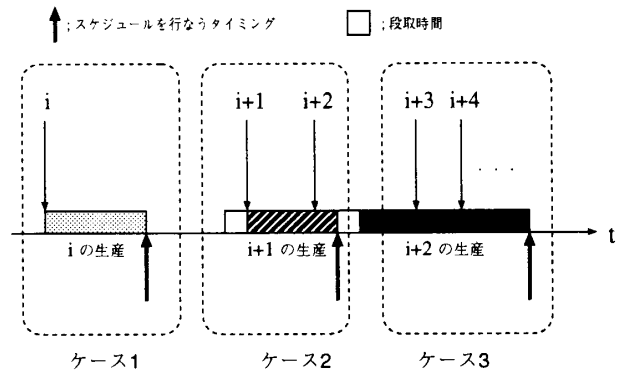


図4 生産指示到着の数による3つのケース

以下、3つの生産指示到着の状況に応じたロット工程の Pull-Push 型生産におけるスケジューリングを示すために次の記号を定義する。

- N : 総生産指示回数
- F : 現在生産中のジョブの生産完了時刻
- l : 生産中に到着した生産指示数, ($l = 1, 2, \dots$)
- Π : l 個のジョブにおける生産順序の組合せの集合
- π : Π 中の一つの処理順, $\pi \in \Pi$
- v : 処理順 π の中で v 番目に生産するジョブ, ($v = 1, 2, \dots$)
- f : 現在までの生産完了ジョブ数
- l_{idle} : F から $(F + H)$ の間に到着する生産指示数, ここで H は時間パラメータ
- $T_{idle}^{(v)}$: v 番目のジョブのアイドル時間
- $L^{(v)}$: v 番目のジョブの納期ずれ
- $D^{(v)}$: v 番目のジョブの納期遅れ
- $F^{(v)}$: v 番目のジョブの生産完了時刻
- $S^{(v)}$: v 番目のジョブの納期

[ケース1]

あるスケジュールにおける最終ジョブの生産完了までに、到着した生産指示が一つもない場合、過去のデータから次に来る生産指示を予測し、そのジョブを次の生産ジョブとする。

$$\sum_{v=1}^{l_{idle}} D^{(v)} \quad (2)$$

$$D^{(v)} = \begin{cases} F^{(v)} - S^{(v)} & (F^{(v)} > S^{(v)}) \\ 0 & (F^{(v)} \leq S^{(v)}) \end{cases} \quad (3)$$

式(2)は、 F から $F + H$ の間に到着する全生産指示に対する納期遅れを表す。ここで、 H は時間パ

ラメターである。また、 $D^{(v)}$ は式 (3) より求められる。 $\sum_{v=1}^{l_{idle}} D^{(v)} - T_{idle}^{(v)} \geq 0$ である場合、つまり、アイドル時間より予想される納期遅れの和の方が大きい場合は、 F より直ちに次のジョブの生産を開始する。 $\sum_{v=1}^{l_{idle}} D^{(v)} - T_{idle}^{(v)} < 0$ の場合、つまり、アイドル時間の方が予想される納期遅れの和よりも大きい場合は、納期遅れ分だけ次のジョブの生産開始時刻を早めることとする。また、 $\sum_{v=1}^{l_{idle}} D^{(v)} = 0$ の場合は、アイドル時間中の生産は行わない。

[ケース 2]

あるスケジュールにおける最終ジョブの生産完了までに、到着した生産指示が一つの場合、その生産指示のジョブを次に生産する。

[ケース 3]

あるスケジュールにおける最終ジョブの生産完了までに、到着した生産指示が複数個 ($l \geq 2$) の場合、 l 個の生産指示に対して納期ずれ (納期遅れ + 納期余裕) を評価尺度とした組合せ最適化問題として扱い、スケジューリングを行う。

【目的関数】

$$\min_{\pi \in \Pi} \left[\sum_{v=1}^l (L^{(v)}(\pi)) + \sum_{i=N-l-f}^N L^{(i)} \right] \quad (4)$$

式 (4) の第一項は、生産中に到着した生産指示の生産順序ごとの納期ずれを表し、第二項は残りのジョブについての納期ずれを表している。また、 l ($1 \leq l < N$) はスケジューリングを行う対応ジョブ数ある。ここで、納期ずれ $L^{(v)}$ は式 (5) より求める。

$$L^{(v)} = |F^{(v)} - S^{(v)}|, \quad \forall v \quad (5)$$

また、ケース 3 における解法としては全探索を用いる。

3.1.2 数値実験

提案手法 (Pull-Push 型生産) の有効性を調べるために、表 2 のように設定するパラメータを用いて JIT 生産と提案手法における納期ずれの比較を行った。ここで、JIT は、Pull 型生産のみで生産を行うことを意味する。

図 5 に JIT と提案手法において納期ずれを示す。図 5 から、提案手法では、JIT と比べて品種数の増加に関係なく納期ずれの値が小さいことが分かる。これは、提案手法において、ロット工程がアイドルであった場合に、次に来る生産指示を予測し生産することと、納期ずれが最小になるようにスケジューリングを行うことが効果的であることを意味している。

表 2 パラメータ設定

生産計画期間	800 [h]
段取り時間	3 [min]
各後工程の生産指示量 (q_i)	450~600
各後工程の部品使用量 (p_i)	10~20
生産時間	$0.117 \cdot q_i$ [h]
安全在庫量	$q_i \cdot 0.1$
H	10 [h]

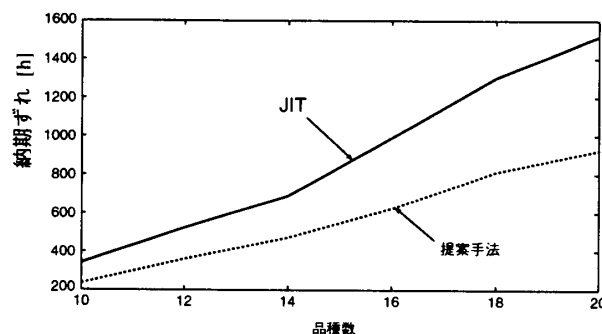


図 5 JIT と提案手法における納期ずれ

表 3 に品種数が 16 の場合、2 つの手法における納期遅れと納期余裕を示す。この表から、JIT と提案手法では納期遅れの値においてはほとんど差がないが、納期余裕に対しては提案手法が JIT より良い性能を示す。このことから、提案手法が少ない仕掛け在庫 (納期余裕) を維持することにより、JIT 生産が目指す効率を十分に引き出すことが分かる。

また、ロットサイズの変化した場合を定性的に考察して見ると、ロット工程の生産能力を越える場合には、多くの納期遅れが生じ、生産能力に下回る場合には、多量の遊休時間が発生することが考えられる。

表 3 JIT と提案手法における納期遅れ、納期余裕

	納期遅れ [h]	納期余裕 [h]
JIT	76.275	914.547
提案手法	78.096	545.700

上記の数値例を通じて、生産方式が異なる工程間 (前工程がロット生産、後工程が多品種少量生産) においてスケジューリング機能を前工程に付加する Pull-Push 型生産により、効率よく JIT 生産が適用可能であることを示した。前工程が多品種少量生産、後工程がロット生産を行うような工程間に対しても前工程の生産特徴を取り入れて新たなスケジューリング機能を構築することによって、生産方式が異なる工程間に対して効率的な JIT 生産の適用を可能とすることが期待できる。

3.2 生産リードタイムが異なる工程間での JIT

1つのジョブを完成するまでの時間が後工程より長い塗装工程の場合は、後工程の生産指示情報を予測した見込生産を行うのが一般的である。しかし、予測した生産スケジュールと後工程の生産順序が異なった場合、納期遅れが生じる。そのために、塗装ラインは、バッファ内に多くの仕掛り在庫を維持することが必要である。このような生産環境で仕掛り在庫を減らし、効率性を高める一つの方法として JIT 生産の適用が有効である。しかし、生産リードタイムが長い塗装ラインでは、後工程からの生産指示に基づく生産を直ちに実行することが困難であるために、そのままでは Pull 型生産を取り入れることは難しい。ここでは、こうした問題点を解決する Pull-Push 型生産手法を示す。ここでの対象範囲は図 1 における領域 B の部分に該当する。

塗装ラインとその後工程である組立ラインにおいて以下の条件を仮定する。また、図 6 に塗装ラインと組立ラインにおけるものの流れを示す。

[仮定]

- 1) 塗装ラインは、色と塗り回数（1度塗り、2度塗り）において多品種生産を行う。
- 2) 組立ラインの導入順序は、平準化に基づいている。また、生産期ごとに生産量と品種において変化するものとする。
- 3) 生産計画における各ジョブの総数は既知とする。
- 4) 塗装ラインと組立ラインの間には、仕掛り在庫をおくバッファが存在する。

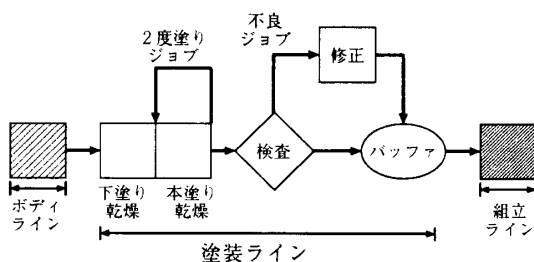


図 6 塗装ラインにおけるものの流れ

3.2.1 塗装ラインにおける Pull-Push 型生産

塗装ラインにおける少ない仕掛り在庫の維持とその後工程である組立ラインに対する納期遅れを防ぐために Pull-Push 型生産を塗装ラインに適用する。以下にその手順を示す（図 7）。

手順 1 組立ラインの生産量と順序と変動（以下、生産変動と呼ぶ）に対しての納期遅れが起こらない

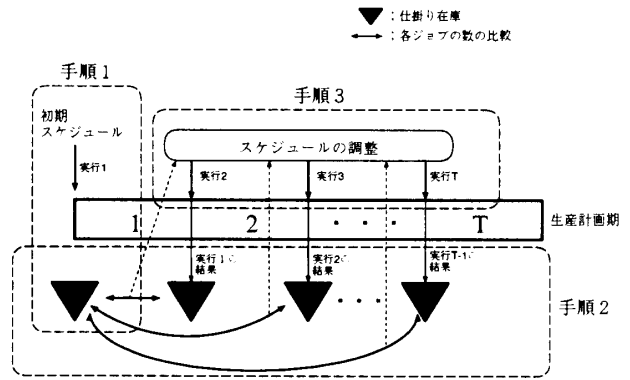


図 7 塗装ラインにおける Pull-Push 型生産

塗装ラインの初期スケジュールを過去の組立ラインの生産順序から生成し、そのときの最小仕掛り在庫量と各ジョブの数（以下、基準状態と呼ぶ）を求める（Pull 型）。

手順 2 生産計画に基づく生産開始後、各生産期ごとに仕掛り在庫の割合を調べ、基準状態と同数のジョブを確保するのに必要となるジョブ数を以下のように求める（Pull 型）。

$$d_{ij} = C_j - B_{ij}$$

- ・ (i + 1) 期に $|d_{ij}|$ だけ減少 (if $d_{ij} \leq 0$)
- ・ (i + 1) 期に d_{ij} だけ増加 (if $d_{ij} > 0$)

B_{ij} : 期 i ($i = 1, 2, \dots, T$) におけるジョブ j ($j = 1, 2, \dots, N$) の仕掛り在庫数

C_j : 基準状態におけるジョブ j の数

手順 3 各ジョブの必要な増減数に対して、生産順序の変更を行う。順序変更は、 $d_{ij} > 0$ となるジョブのうちから以下の優先順位に従って、 $d_{ij} \leq 0$ で初期スケジュールにおける最も早く順序付けられているジョブと置き換える（Push 型）。

【順序に関するジョブの優先順位】

- 1) 生産時間が長い 2 度塗りジョブ
- 2) 期 i において仕掛り在庫が少ないジョブ
- 3) 生産数の割合が高いジョブ

得られたスケジュールを次期スケジュールとする。

手順 4 生産期間終了まで手順 2, 3 を繰り返す。

手順 1 において、初期スケジュールを生成する際に現実問題では、組立ラインの生産変動を十分に考慮する必要がある。ここでは、組立ラインの生産変動に対して仕掛り在庫を少なくするスケジュールを求めるため、LS (Local Search) を用いる。LS における近傍は、ジョブ一つに対する挿入近傍とする。また、過去の組立ラインにおける投入順序パターン群に対して、納期遅れが生じない仕掛り在庫量に基づいて解の評価を行

う。以下に LS を用いた初期スケジュールと納期遅れが起こらない仕掛り在庫の生成アルゴリズムを示す。
[初期スケジュール生成アルゴリズム]

- Step 1** : 任意のスケジュール S を生成し, 過去の組立ラインにおける投入順序パターン群 FS と比較を行い, 納期遅れが起こらない仕掛り在庫の量を B (バッファサイズと呼ぶ) 求める。
 $m := 1, S^* := S, B^* := B$ とする。
- Step 2** : もし, $m = M$ の場合, Step 5 へ。
- Step 3** : スケジュール S の挿入近傍 S' を生成し, Step 1 と同様に納期遅れが起こらない B を求める。
- Step 4** : もし, $B < B^*$ の場合のみ, $S^* := S', B^* := B$ とおく。 $m := m + 1, S := S'$ とし, Step 2 へ。
- Step 5** : S^* を初期スケジュール, B^* を仕掛り在庫の量とし, 終了。

3.2.2 数値実験

シミュレーションパラメータ設定は, 生産計画は 10 日とし, 1 日の生産時間は 480 分, 生産ジョブ数は 100 個, 各ジョブの生産数と生産時間は表 4 とする。生産計画開始時には, バッファ内には予め仕掛り在庫ジョブがあり, 生産ライン上にもジョブが配置されている。組立ラインにおける生産順序を変えるジョブ数は, 全ジョブ数の 4% とする。各ジョブの生産量が変化する確率は 50% で, その変動する生産量は全ジョブ数の 2% 以内とする。

表 4 各ジョブの数と生産時間

	Job A	Job B	Job C	生産時間 [min]
1 度塗りジョブ	24	26	30	480
2 度塗りジョブ	10	7	3	720

本スケジューリング手法の有効性を調べるために, 初期スケジュールの生成法において平準化を用いた従来法 [13] と比較した。この手法は, 組立ラインが平準化生産を行うことを考慮し塗装ラインも平準化に基づいて生産を行う手法である。図 8 に従来法における初期スケジュールの生産順序の例を示す。ここで全ジョブにおける 2 度塗りジョブの割合は 1/3 とする。順序付けは, 各ジョブの割合を考慮して, まず, 1 度塗りジョブを同じジョブが近接しないように順序付け, その後に 2 度塗りジョブを 1 度塗りジョブと同様に順序付ける。

各ジョブの割合
A:B=2:1 a:b:c=1:2:3

A, B : 2 度塗りジョブ
a, b, c : 1 度塗りジョブ

初期スケジュール

$$S = [cbAcaBcbAcB \dots AcaBcbA]$$

図 8 平準化を用いた初期スケジュールの生成例 (従来法)

表 5 は生産期間を 1 日とし (初期スケジュールのみ), 従来法と提案手法において納期遅れが発生しない必要バッファサイズと平均納期余裕を示す。LS を用いた提案手法のほうが少ないバッファサイズで納期遅れを発生しないことが分かる。また, 納期余裕も提案手法において良い値を示す。これは, LS を用いたことにより変動する後工程の生産に対応するスケジュールができていたためである。

表 5 各手法とのバッファサイズの比較

	従来法	提案手法
バッファサイズ	41	37
平均納期余裕時間 [min]	107.1	102.1

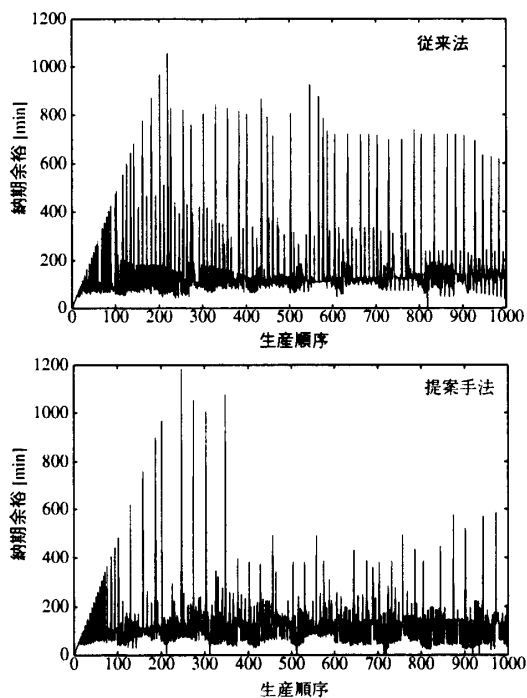


図 9 従来法と提案手法による納期余裕と仕掛り在庫

図 9 は, 生産期間を 10 日間としたとき, 従来法と提案法において納期遅れが生じない最小のバッファサイズ (従来法は 41, 提案手法は 39) におけるそれぞれの納期余裕 (従来法は 146.0 [min], 提案手法は 134.4 [min])

を示す。提案手法は従来法に比べ、少ないバッファサイズで納期余裕も少なく生産維持が可能であることが分かる。これは、塗装工程において Pull-Push 型生産を適用することによって、後工程である組立ラインの生産変動の影響を緩和できることを示している。

上記の数値例で、生産リードタイムが異なる工程間において仕掛け在庫が少なくなるスケジューリング機能を付加した Pull-Push 型生産を前工程に構築することにより、JIT 生産が適用可能であることを示した。生産リードタイムが異なる工程間における全組合せに対しても既存の Pull-Push 型生産を基にしてスケジューリング機能における評価値を更新することによって JIT 生産の効率性を高めることが期待できる。

4. おわりに

本論文では、生産の一層の合理化を進めるために、JIT 生産を全工程に適用可能にする新たな提案を行った。工程間の特徴の差異が JIT 生産の適用を困難にしているとの認識から生産行為に対して Pull-Push 型生産を行うことを試みた。そのようにして構成された統合的な JIT 生産システムの有効性をロット生産と多品種少量生産を行う工程間、また、生産リードタイムの差が大きい工程間に対して、具体的に示した。

参考文献

- [1] Monden, Y.: "Toyota Production System", An Integrated Approach to Just-In-Time Industrial Engineering and Management Press (1983)
- [2] 門田安弘: "新トヨタシステム", 講談社 (1991)
- [3] Miltenburg, J. and Sinnamoni, G.: "Scheduling Mixed-Model multi-level Just-In-Time Production Systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 27, No. 1, pp. 1487-1509 (1989)
- [4] 門田安弘: "JIT 混流組立ラインの多目標順序計画における目標の調整方法に関する研究", 生産スケジューリング・シンポジウム'95 講演論文集, pp. 199-204 (1995)
- [5] 大野勝久, 大竹裕一, 趙 暁波, 木瀬 洋: "ライン停止を考慮した混合品種組立ラインの順序づけ問題", 日本経営工学会誌, Vol. 46, No. 3, pp. 187-193 (1995)
- [6] Huang, C.C. and Kusiak, A.: "Manufacturing control with a pull-push approach", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 36, No. 1, pp. 251-275 (1998)
- [7] 平川保博, 星野拱二, 片山 博: "多段階生産システムにおける押し引き混成型生産指示方式の特性解析", 日本経営工学会誌, Vol. 45, No. 2, pp. 148-154 (1994)
- [8] 茨木俊秀: "組合せ最適化とスケジューリング問題, 新解法とその動向", 計測と制御, Vol. 34, No. 5, pp. 340-346 (1995)
- [9] 柳浦睦憲, 茨木俊秀: "遺伝的アルゴリズムと局所探索法のロバスト性", 生産スケジューリング・シンポジウム'95, pp. 79-84 (1995)
- [10] 木瀬 洋: "生産スケジューリングの現状と動向", システム制御情報学会誌, Vol. 41, No. 3, pp. 92-99 (1997)
- [11] 柳 在圭, 鳩野逸生, 富山伸司, 田村坦之: "JIT 生産におけるロット工程のスケジューリング手法", システム制御情報学会誌, Vol. 43, No. 9, pp. 515-521 (1999)
- [12] 小谷重徳: "信号かんぱんによるロット工程の運用とその稼働特性の解析", トヨタ技術, No. 33, pp. 21-30 (1983)
- [13] 柳 在圭, 野口雅史, 鳩野逸生, 富山伸司, 田村坦之: "JIT 生産を考慮した塗装工程における動的なスケジューリング手法", システム制御情報学会誌, Vol. 44, No. 2, pp. 65-71 (2000)