

適応型ジャストインタイム生産方式

01306205 広島大学 *高橋勝彦 TAKAHASHI Katsuhiko
広島大学 中村信人 NAKAMURA Nobuto

1 はじめに

益々厳しくなる生産環境の下で効率的な生産活動を実施し、生産システムの高い競争力や機動力を維持するためには、変化に対する適応性が求められている。そのために本報では、多段階生産在庫システムに対するジャストインタイム生産方式において、需要の変化を検知し、それに対してバッファサイズや指示方式の切り替えを臨機応変に行う適応型ジャストインタイム方式について述べると同時に、今後の課題について述べる。

2 対象とする生産システム

2.1 前提条件

① 見込み生産可能な単一の標準製品を生産。② 第 i 番目の需要の到着間隔 x_i は、確率変動を伴い、分散 σ_x^2 は一定、平均 μ_i が時間とともに変化。③ N 段階直列型の生産工程。最初の工程から順に第 1, 第 2, ..., 第 N 生産工程。④ 各生産工程の生産時間は、確率変動を伴う。⑤ 第 n 生産工程とその直前の生産工程との間を、第 n 運搬工程と呼ぶ。⑥ 生産工程の前後に生産待ち在庫点 B と生産済み在庫点 A を設置。⑦ 各生産工程の前後の在庫点には、バッファ $S_B^{(n)}$, $S_A^{(n)}$ が在庫され、そのサイズは、検知された需要の変動に対応して動的に制御される。⑧ 需要の受注残は認められる。

2.2 指示方式

ここでは、以下の 2 種類のジャストインタイム指示方式について取り扱う。

1. かんばん方式：かんばん方式では、第 n 工程の第 i 番目の生産指示、運搬指示の時点 $OP_i^{(n)}$, $OT_i^{(n)}$ は、以下の式で定式化される ([4, 5] 参照。[15] では異なるモデルに定式化。[7] などではそれらと比較)。

$$OP_i^{(n)} = \max\{OT_i^{(n+1)}, P_{i-S_A^{(n)}}^{(n)}, T_{i-1}^{(n+1)}\} \quad (n=1, 2, \dots, N-1) \quad (1)$$

$$OP_i^{(N)} = \max\{D_i, P_{i-S_A^{(N)}}^{(N)}\} \quad (2)$$

$$OT_i^{(n)} = \max\{OP_i^{(n)}, T_{i-S_B^{(n)}}^{(n)}, P_{i-1}^{(n)}\} \quad (n=1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

ここで、 D_i は、第 i 番目の需要の到着時点 ($=D_{i-1} + x_i$)。また、 $P_i^{(n)}$, $T_i^{(n)}$ は、第 n 生産、運搬工程の第 i 番目の処理完了時点を示し、以下の式で表される。

$$P_i^{(n)} = \max\{OP_i^{(n)}, T_{i-S_B^{(n)}}^{(n)}, P_{i-1}^{(n)}\} + p_i^{(n)} \quad (n=1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

$$T_i^{(1)} = \max\{OT_i^{(1)}, T_{i-1}^{(1)}\} + t_i^{(1)} \quad (5)$$

$$T_i^{(n)} = \max\{OT_i^{(n)}, P_{i-S_A^{(n-1)}}^{(n-1)}, T_{i-1}^{(n)}\} + t_i^{(n)} \quad (n=2, 3, \dots, N) \quad (6)$$

ただし、 $p_i^{(n)}$, $t_i^{(n)}$ は、第 n 生産、運搬工程の第 i 番目の処理時間。

2. コンカレント方式：コンカレント方式 [14] では、後続工程からの需要の到着と同時に指示が行われる。したがってこの方式では、 $OP_i^{(n)}$, $OT_i^{(n)}$ は、以下の式で表せる。

$$OP_i^{(n)} = D_i \quad (n=1, 2, \dots, N) \quad (7)$$

$$OT_i^{(n)} = D_i \quad (n=1, 2, \dots, N) \quad (8)$$

また、生産や運搬の完了時点は、かんばん方式と同一の式 ((4)-(6) 式) で表される。

3 バッファサイズによる適応

かんばん方式では、かんばん枚数およびそれに連動したバッファサイズ制御が検討されている [1, 3]。それにより、需要の非定常変動に対する適応が考えられる [6]。

3.1 非定常変動の検知

確率変動する需要データから非定常変動を検知するために、需要の第 i 番目の到着間隔 x_i を、次式により指数平滑した値 H_i を利用する。

$$H_i = \alpha x_i + (1 - \alpha)H_{i-1} \quad (9)$$

ここで、 α は平滑化係数を表す。求めた平滑値 H_i に管理図 [2] の考え方を応用し、以下の式で示す上限値 UCL_s と下限値 LCL_s により、現在のバッファサイズ s を変更すべき需要の平均到着間隔の非定常変動を検知する。

$$UCL_s = \bar{\mu}_s + \delta \sqrt{\frac{\alpha}{2 - \alpha}} \sigma_x \quad (10)$$

$$LCL_s = \underline{\mu}_s - \delta \sqrt{\frac{\alpha}{2 - \alpha}} \sigma_x \quad (11)$$

ここで、 δ は乗数。また、 $\underline{\mu}_s$ と $\bar{\mu}_s$ は、需要の平均待ち時間を要求水準以下に抑えるために、バッファサイズを s に設定するのが望ましい、需要の平均到着間隔の下限値と上限値を示す。

3.2 バッファサイズの制御とその効果

需要の平均到着間隔の非定常変動が検知されたときのバッファサイズの制御則は、上述の上下限値を利用して、次式で表す。

$$S_X^{(n)} = \begin{cases} s & (LCL_s < H_i < UCL_s) \\ r & (\text{上記以外}) \end{cases} \quad (12)$$

ここで、 $X = A, B$ 。また、バッファサイズを変更する値 r は、バッファサイズ r が望ましい、需要の平均到着間隔の区間 $[\underline{\mu}_r, \bar{\mu}_r]$ のうち、 H_i が含まれた区間より求める。

図 1 には、かんばん方式において需要の平均到着間隔の影響により、需要の平均待ち時間が増大すること、およびその影響に対してバッファサイズの制御により (図中の太線)、需要の平均待ち時間の要求水準 (図では 1.5) を満たし、平均総在庫量を大幅に抑えることが可能となることを示している。

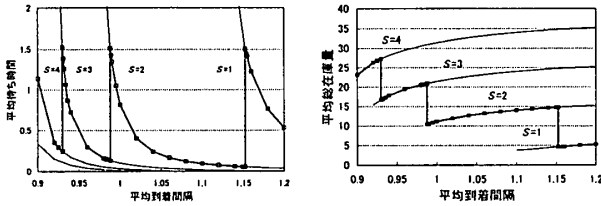


図 1: かんばん方式における需要の平均到着間隔の影響とバッファサイズ制御

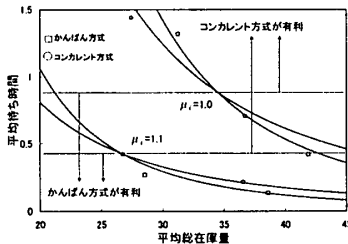


図 2: 両指示方式における平均総在庫量と需要の平均待ち時間の関係

4 指示方式の切替えによる適応

需要の条件により、先に示した指示方式のいずれが有利となるかが影響を受けることから、需要の非定常変動に対して指示方式の切替えによる適応 [8] が考えられる。

4.1 指示方式の比較分析

需要の平均到着間隔 1.0, 1.1 の下で、色々なバッファサイズにおける両指示方式の特性をシミュレーションにより実験的に明らかにした結果を図 2 に示す。図 2 より、需要の平均待ち時間に対する要求水準が厳しい場合にはかんばん方式が、そうでない場合にはコンクレメント方式が有利となり、その境界条件は需要の平均到着間隔の影響を受けることがわかる。このことより、需要の非定常変動により指示方式を切替える適応が考えられる。

4.2 指示方式の切替えとその効果

需要の非定常変動に対してそれぞれの指示方式でバッファサイズのみを制御した場合 (図中の細線; かんばん方式, 点線; コンクレメント方式), および両方式を切替えた場合 (図中の太線) の平均総在庫量を、図 3 に示す。図 3 より、需要の非定常変動に対して、それぞれの指示方式でバッファサイズのみを制御することに加えて、両方式の切替えにより、平均総在庫量は更に小さく抑えられることがわかる。

5 まとめ

本報では、需要の非定常変動に対してバッファサイズ、および指示方式の切替えにより対応する適応型ジャストインタイム生産方式について述べた。その他これまでに、工程により異なるバッファサイズも認める場合 [9]、生産工程間の運搬工程の条件について特に考慮した場合 [10]、需要の到着間隔の平均ばかりでなく分散の変化も考慮した場合 [11] などについても研究が行われている。今後の課題としては、ニューラルネットワークなどを応用したより洗練された制御方式 [13]、あるいはバッファサイズや指示方式といった生産管理方式のみならず、生産システムそのものによる対応 [12] などが挙げられ、現在研究を進めている。

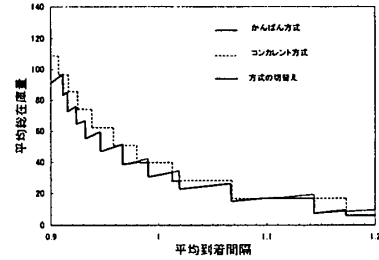


図 3: 両指示方式におけるバッファサイズ制御、指示方式の切替えによる平均総在庫量

参考文献

- [1] Gupta, S. M. and Y. A. Y. Al-Turki, "An Algorithm to Dynamically Adjust the Number of Kanbans in Stochastic Processing Times and Variable Demand Environment", *Prod. Plann. Cont.*, 8(2), 133-141, (1997).
- [2] Lucas, J. M. and M. S. Saccucci, "Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements", *Technometrics*, 32(1), 1-12, (1990).
- [3] Rees, L. P., P. R. Philipoom, B. W. Taylor, III, and P. Y. Huang, "Dynamically Adjusting the Number of Kanbans in a Just-in-Time Production System Using Estimated Values of Leadtime", *IIE Trans.*, 19(2), 199-207, (1987).
- [4] Spearman, M. L., "Customer Service in Pull Production Systems", *Operat. Res.*, 40(5), 948-958, (1992).
- [5] 高橋勝彦, 中村信人, "かんばん方式における指示遅延の効果", *日本経営工学会誌*, 46(5), 467-475, (1995).
- [6] 高橋勝彦, 中村信人, "適応型かんばん方式に関する研究," *日本経営工学会論文誌*, 48(4), 159-165, (1997).
- [7] Takahashi, K. and N. Nakamura, "Ordering Alternatives in JIT Production Systems," *Prod. Plann. Cont.*, 9(8), 784-794, (1998).
- [8] 高橋勝彦, 中村信人, "指示方式の動的切替えに関する研究," *日本経営工学会論文誌*, 50(3), 131-138, (1999)
- [9] 高橋勝彦, 中村信人, "かんばん枚数の配分を考慮した適応型かんばん方式," *日本経営工学会論文誌*, 50(5), 333-340, (1999).
- [10] Takahashi, K. and Nakamura, N., "Reactive Logistics in a JIT Environment," *Prod. Plann. Cont.*, 11(1), 20-31, (2000).
- [11] 高橋勝彦, 中村信人, "需要の平均と分散の変化に対する適応型かんばん方式," *日本経営工学会論文誌*, 51(3), 203-212, (2000).
- [12] 高橋勝彦, 中村信人, "かんばん枚数と処理時間の制御による適応型かんばん方式," *日本経営工学会平成 12 年度秋季研究大会予稿集*, 70-71, (2000).
- [13] 高橋勝彦, 中村信人, "ニューラルネットワークによる適応型かんばん方式," *日本経営工学会論文誌*, 52(1), (2001) (掲載予定)
- [14] Takahashi, K., N. Nakamura, and M. Izumi, "Concurrent Ordering in JIT Production Systems," *Int. J. Operat. Prod. Manage.*, 17(3), 267-290, (1997).
- [15] Tayur, S. R., "Structural Properties and a Heuristic for Kanban-controlled Serial Lines," *Manage. Sci.*, 39(11), 1347-1368, (1993).