

Original

Analysis of Push and Pull-Type Production Systems Characteristics in Terms of Difference in Ordering Cycle Periods

Hiroyuki KATO^{*}, Masayuki GOTO^{**} and Nobuhiko TAWARA^{***}

Abstract

With conventional models, in order to compare the properties of push-type production systems with those of pull-type systems, in previous works it was assumed that the ordering cycle period of the push-type system was equal to that of the pull-type system. The ordering cycle period of the push-type system is, however, usually different from that of the pull-type system in actual use. For example, the ordering cycles of the push and pull-type systems may be given every day and every three hours, respectively. The results of previous works with the same ordering cycle period cannot be applied to the above practical cases. In this paper we propose a new model in order to compare the properties of the push and pull-type systems under condition that the ordering cycle period may be different. The criteria in this paper are variances in inventory and order quantity. This is because we want to investigate the essence of the behaviors of the production systems. At first, we formulate optimal push and pull-type production systems. Secondly, we formulate a demand model in order to consider the differences in the ordering cycle periods, and apply this model to both systems. Finally, we evaluate the performance through numerical analysis. We analyze the rate of the ordering cycle period coinciding with the evaluated value of the push-type system with that of the pull-type system, which is denoted by τ^* . As the result, we show that the effect of τ to the variances is very strong. If autocorrelation of the demand is strong, then τ^* is large, however, if the autocorrelation is weak, then τ^* is smaller than 2.

Key words: push-type production system, pull-type production system, differences in ordering cycle period, variances in inventory and order quantity

* Nippon Telegraph and Telephone Corporation
** Waseda University
*** Musashi Institute of Technology

発注サイクル期間の異なる Push 型生産システムと Pull 型生産システムの 発注量・在庫量変動に基づく特性解析

加藤 宏 幸*, 後藤 正 幸**, 俵 信 彦***

従来, Push 型生産システムと Pull 型生産システムの特性比較において, 両方式の発注サイクル期間は同じ時間として仮定されている. しかし, 発注サイクル期間は実際には異なっている. この発注サイクル期間が異なる場合を考慮した需要モデルを構築できれば, 両方式本来の発注サイクル期間の下で特性比較が可能となる. 本稿では, まず在庫量・発注量変動を評価基準とし, 両方式の発注サイクル期間を同一として扱った場合の特性比較を行う. そして, 次に Pull 型の発注サイクルに対して Push 型が $\tau(\tau \geq 1)$ 倍のサイクルで発注を行うモデルを構成することにより, 発注サイクル期間が異なる場合の両方式の特性比較を行う. その結果, 需要の自己相関が強い場合には両変動が同等となる τ が大きくなるが, 自己相関が弱い場合にはこの τ は 2 以下になってしまうことを明らかとした.

キーワード: Push 型生産システム, Pull 型生産システム, 発注サイクル期間の差異, 在庫量・発注量変動

1. はじめに

従来, 多段階生産-在庫システムにおける Push 型生産システム (以下, Push 型) と Pull 型生産システム (以下, Pull 型) の特性比較において, 両方式の発注サイクル期間は同単位として仮定されている [3]~[5]. しかし, Push 型は日単位, Pull 型は時間単位というように, 実際には両方式の発注サイクル期間は異なっている [6]. これより, 発注サイクル期間が異なる場合を考慮した両方式の特性比較に関して研究余地があると考えられる.

本稿では, システム特性の本質を把握し, 両方式の特性を比較検討するために, 在庫量・発注量変動を評価基準とする [1], [2]. そして, この基準の下で最適制御則により定式化された Push 型 [1] とかんばん方式を定式化した Pull 型 [3] の両モデルの比較・解析を行う. 当然, 両方式の発注サイクル期間を同一として扱った場合は, 在庫量・発注量変動の評価基準に対して最適化されている Push 型の評価値の方が良い値を示す [1]. しかし, 先にも述べたように現実的には, 発注サイクル期間の違いを考慮した場合を検討する必要がある. よって, 本稿では, Pull 型の 1 発注

サイクルを基準とし, それに対して Push 型は $\tau(\tau \geq 1)$ 倍のサイクルで発注を行うモデルを構成することにより, 発注サイクル期間が異なる場合の両方式の特性比較を行うことを目的とする.

まず, 発注サイクル期間が同じ場合 ($\tau=1$) について, 白色性をもつ定常需要系列と指数型自己相関を持つ定常需要系列に対する両方式の在庫量・発注量変動の挙動を比較・解析する. 次にこれを踏まえて, 発注サイクル期間が異なる場合を含んだ ($\tau \geq 1$) 需要モデルを構築して, Push 型と Pull 型に適用し, 発注サイクル比 τ と需要の自己相関係数 λ を変化させた場合の両方式における両変動の挙動を比較・解析する.

2. Push 型生産システムと Pull 型生産システム

2.1 評価基準の設定

生産-在庫システムの評価基準には, 主に在庫管理費用や品切れ費用等のコストの概念が用いられている [3]. しかし, コストでシステム性能の本質を捉えるには, 設定でき得るコスト要因や費用変数の決定, モデルの定式化が数多く考えられる. 一方, 在庫量・発注量の分散を評価基準として用いることは, 本質的な部分を捉えるという意味で有意義であると考えられる. 将来的にはコストによる比較が実務的に必要と考えられるが, 本稿ではコストは両変動に付随して間接的に利いてくるという理想的な状況を考え, 両変動による特性比較を試みる. 両変動のコストへの影響は通常多くのケースが考えられ, 今後の研究課題といえ

* 日本電信電話株式会社

** 早稲田大学

*** 武蔵工業大学

受付: 1997 年 1 月 14 日, 再受付 (3 回)

受理: 1998 年 3 月 19 日

る。なお、分散による評価は、十代田の研究〔7〕から始まる一連の研究〔1〕,〔2〕,〔8〕を受け継いだものである。

よって、本稿では、評価基準を以下のように需要量分散に対する両分散比の和で表す〔1〕,〔2〕。

$$J = q \frac{V(I)}{\sigma_D^2} + r \frac{V(O)}{\sigma_D^2} \quad (1)$$

$V(I)$: 在庫量分散, $V(O)$: 発注量分散
 σ_D^2 : 需要量分散, q, r : ウェイト

2.2 研究対象システム

2.2.1 生産-在庫システム

2.2.2 モデルの前提条件

- 1) 取り扱い品目は単一品目とする。
- 2) 各工程のリードタイムは、市場～在庫点②～生産工程②～在庫点①間は即納（リードタイム=1）とする。在庫点①～生産工程①間の納入リードタイムは2と設定する。
- 3) かんばん枚数は、適当に与えられているものとする。
- 4) 発注残を認める。品切れが生じた場合は、受注残という形で次期に繰り越すものとする。したがって、形式上は期末在庫量が負も許される。

- 5) 繰り越し需要量、発注量の制限等はないものとする。

2.2.3 対象需要系列

対象とする需要系列は指数型自己相関を持つ定常需要系列とする。

$$d(t+1) - \mu = \lambda \{d(t) - \mu\} + \nu(t) \quad (2)$$

$d(t)$: t 期末需要量, $\nu(t)$: 白色雑音

λ : 自己相関係数, μ : $d(t)$ の期待値

ここで、 $\nu(t)$ は独立で、平均0、分散 σ^2 の確率変数とする。

2.3 Push型生産システムにおける在庫量・発注量の分散の導出

Push型とPull型の在庫量・発注量変動の挙動を解析するため、両分散値の導出が必要である。まず、Push型における両分散値の導出を考える。

各在庫点での在庫構造式は、以下のとおりである。

在庫点①

$$I_1(t+1) = I_1(t) + O_1(t-1) - O_2(t) \quad (3)$$

在庫点②

$$I_2(t+1) = I_2(t) + O_2(t) - d(t+1) \quad (4)$$

$I_n(t)$: 在庫点 n における t 期末の在庫量

$O_n(t)$: 生産工程 n への t 期末の発注量

$d(t+1)$: $t+1$ 期末の市場からの需要量

このPush型に、有色雑音をもつ確率システムに対して定式化されている最適制御則〔1〕を適用するには、式(3), (4)の在庫構造式をまとめて状態方程式の形で表現する必要がある。そのため、Push型の在庫構造式を以下のように状態方程式の形で構成する。

$$\begin{pmatrix} I_1(t+1) - S_1 \\ I_2(t+1) - S_2 \\ O_1(t) - \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1(t) - S_1 \\ I_2(t) - S_2 \\ O_1(t-1) - \mu \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} O_1(t) - \mu \\ O_2(t) - \mu \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -\lambda \\ 0 \end{pmatrix} \{d(t+1) - \mu\} \quad (5)$$

ここで

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 0 \\ -\lambda \\ 0 \end{pmatrix}$$

とおくと、 $(B, A), (B, C)$ は可安定対であるので、評価関数

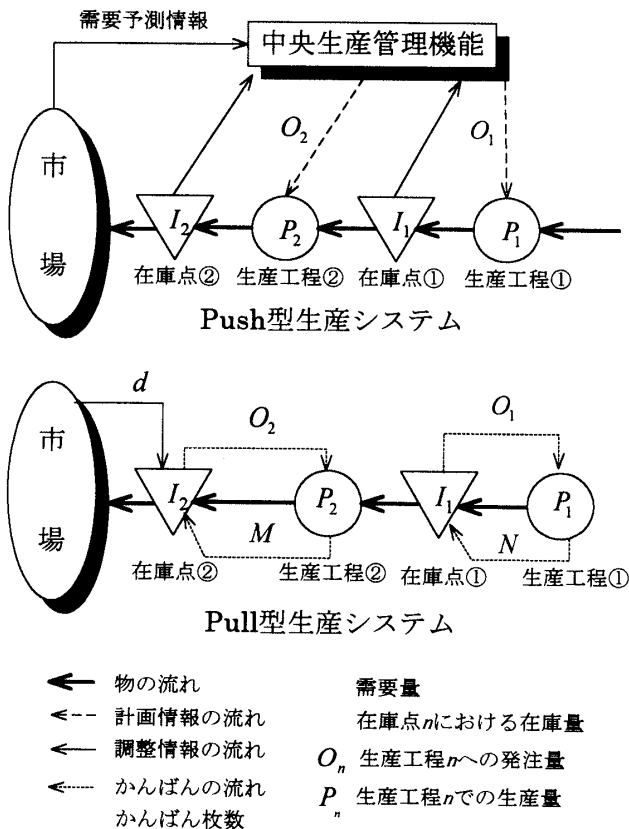


図1 Push型・Pull型生産システム概念図

$$J = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m} E \left[\sum_{n=1}^{t+m-1} \{x^T(n+1)Qx(n+1) + u^T(n)Ru(n)\} \right] \quad (6)$$

$$x(t) = \begin{pmatrix} I_1(t) - S_1 \\ I_2(t) - S_2 \\ O_1(t-1) - \mu \end{pmatrix}, u(t) = \begin{pmatrix} O_1(t) - \mu \\ O_2(t) - \mu \end{pmatrix}$$

Q, R : ウェイト

を最小とする定常安定解が存在する。ウェイト Q, R は在庫量・発注量変動を任意に制御するパラメータである。ここで、式(5)の状態方程式内には決定変数 $O_1(t)$ と $O_2(t)$ の2変数が含まれていることより、ウェイト Q, R は以下のように設定する。

$$Q = \begin{pmatrix} q_1 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 \\ 0 & 0 & r_1/2 \end{pmatrix}, R = \begin{pmatrix} r_1/2 & 0 \\ 0 & r_2 \end{pmatrix}$$

また、 $E[x(t)] = 0, E[u(t)] = 0$ となることから、 $V[x(t)] = E[x^T(t)x(t)], V[u(t)] = E[u^T(t)u(t)]$ となり、 $E[x^T(t)x(t)]$ の第1, 2行の要素は在庫量分散を示し、 $E[u^T(t)u(t)]$ と $E[x^T(t)x(t)]$ の第3行の要素との和は発注量分散を示すこととなる。

よって、Push型での評価関数は、式(1), (6)より

$$J = \frac{1}{\sigma_D^2} E \left[\begin{pmatrix} I_1(t) - \mu \\ I_2(t) - \mu \\ O_1(t-1) - \mu \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} q_1 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 \\ 0 & 0 & r_1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1(t) - \mu \\ I_2(t) - \mu \\ O_1(t-1) - \mu \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} O_1(t) - \mu \\ O_2(t) - \mu \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} r_1/2 & 0 \\ 0 & r_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} O_1(t) - \mu \\ O_2(t) - \mu \end{pmatrix} \right]$$

$$= q_1 \frac{V(I_1)}{\sigma_D^2} + q_2 \frac{V(I_2)}{\sigma_D^2} + r_1 \frac{V(O_1)}{\sigma_D^2} + r_2 \frac{V(O_2)}{\sigma_D^2} \quad (7)$$

となる。この評価関数は、在庫量・発注量変動を共に制御することが狙いであり、この評価関数を最小にする最適発注量は式(5)より、

$$\begin{pmatrix} O_1(t) - \mu \\ O_2(t) - \mu \end{pmatrix} = -F \begin{pmatrix} I_1(t) - \mu \\ I_2(t) - \mu \\ O_1(t-1) - \mu \end{pmatrix} - K \{d(t) - \mu\} \quad (8)$$

F, K : フィードバックゲイン

となる。フィードバックゲインを求める数式解は、文献[1]に基づいて導出される。

このPush型は、式(7)の評価関数を最小にするために最適に構成されている。よって、在庫量・発注量変動を共に制御するウェイト Q, R を決定しなければ最適な発注量を導出することはできない。これは実際

には両変動がコストに与える影響を考慮して決定されるべきものであるが、本稿では、両システムの本質的部分の特性解析を目的として、全変動の和を評価基準として与える。したがってこれに対応してウェイトを $q_1 = q_2 = r_1 = r_2 = 1$ として、特性解析を行うことにする[1], [2]。

以上より、Push型における在庫量・発注量(生産量)分散を求めることができる。

2.4 Pull型生産システムにおける在庫量・発注量分散の導出

次に、かんばんモデルを定式化したPull型[2]を参考にして在庫量・発注量分散の導出を行う。

最適制御則が適用できるように求めたPush型での在庫構造式(5)は、両生産-在庫システムを比較する上で、Pull型での在庫構造式をも兼ねている。異なっているのは発注量 $O_1(t), O_2(t)$ の算出法であり、これは以下のように与えられる。

生産工程①での発注量

$$O_1(t) = N - I_1(t) - \sum_{n=t-L+1}^{t-1} O_1(n) \quad (9)$$

N : かんばん枚数

生産工程②での発注量

$$O_2(t) = M - I_2(t) + d(t+1) \quad (10)$$

M : かんばん枚数

本稿では、評価基準を在庫量・発注量分散で捉えていることより、かんばん枚数 M, N は共に与えられているものとするが、この値は分散に対しては影響を与えない。

Pull型の在庫量・発注量分散の数式解は、式(5)に式(9), (10)を代入して計算することにより与えられる。

在庫点①での在庫量分散

$$V(I_1) = 2V(d) \quad (11)$$

在庫点②での在庫量分散

$$V(I_2) = 0 \quad (12)$$

生産工程①での発注量分散

$$V(O_1) = V(d) \quad (13)$$

生産工程②での発注量分散

$$V(O_2) = V(d) \quad (14)$$

3. Push型とPull型の発注サイクル期間を同一として扱う場合の特性比較

ここでは、これまでに多く研究されているPush型とPull型の発注サイクル期間を同一として両方式の在庫量・発注量変動の挙動を解析する。

3.1 白色性をもつ定常需要系列($\lambda=0$)の場合

式(2)の自己相関係数を0とすれば、需要系列は白色系列となる。本節では、この誤差項 $\nu(t)$ の分散をばらつかせることにより、両方式の挙動を解析する。これにより、Pull 型の条件である平準化需要の仮定が崩れた場合の特性を調べることができる。結果を図2に示す。

在庫点①、生産工程①・②で Push 型の方が優れて

いることが明らかである。在庫点②に関しては、式(12)、もしくは市場からの需要分だけを引き取り、生産する Pull 型の特性からも明らかなように、需要分散がばらついても在庫量分散値は常に0である。

3.2 指数型自己相関をもつ定常需要系列の場合

自己相関係数 λ を 0.1 から 0.9 まで変化させたときの需要量分散に対する両分散比の挙動を図3に示

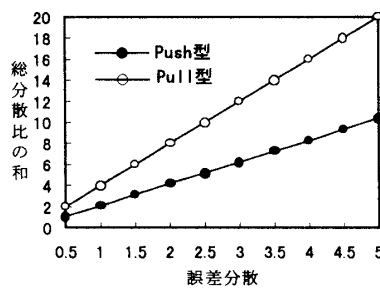
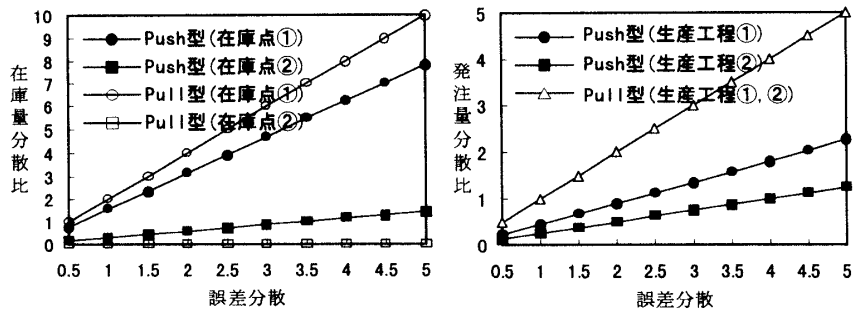


図2 白色性をもつ定常需要系列に対する比較

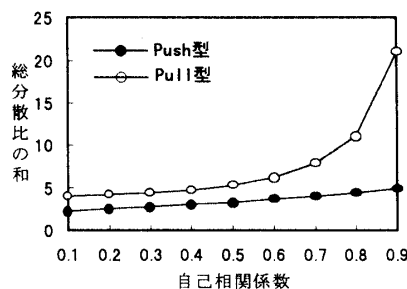
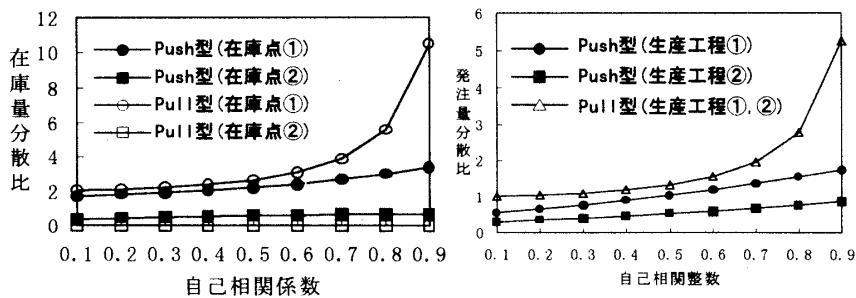


図3 自己相関を持つ定常需要系列に対する比較

す。

在庫点①，生産工程①・②で Push 型は Pull 型より良い評価値を示した。発注サイクル期間を同一として扱う特性解析を行えば，在庫量・発注量変動の評価基準に対して最適に構成されている Push 型の方が良好な値を示すのは明らかである。ただし， λ が 0.1～0.6 程度までは両方式の差は大きくない。 $\lambda=0.6$ 以上になると Push 型と Pull 型の分散比の差が非常に大きくなる。これは，Push 型は予測システムをもつ構造であるため，自己相関が高くなるにつれ予測精度が高くなるからである。

発注サイクル期間が同じ場合の特性比較を行ったが，現実に運営されているシステムでは，両方式の発注サイクル期間は異なる。これは在庫量低減を目指す Pull 型では引き取りサイクルを短くしようとし，Push 型では需要予測が必要であり，短時間ごとに予測を行うような手間は避ける傾向があるためと考えられる。そのため，実際には，発注サイクルの異なる場合を考慮した比較が必要である。

4. 発注サイクル期間が異なる場合を考慮した Push 型生産システムと Pull 型の特性解析

4.1 対象需要モデル

Pull 型の発注サイクル期間を基準とし，それに対して Push 型が τ 倍のサイクル期間で発注するような需要モデルを考える。

まず，Pull 型の 3 倍の発注サイクルで Push 型が随時発注を行うと仮定する。Pull 型は，式(2)に対し毎期ごとに需要量 $d(t)$ 分だけ引き取る。一方，Push 型は，3 回の需要をまとめて $D_3(t)=d(t)+d(t+1)+d(t+2)$ とし，次期 3 回の $D_3(t+3)=d(t+3)+d(t+4)+d(t+5)$ である需要量を予測し，それを基に発注を行う。ここで，式(2)に対する Pull 型のモデルは既に定式化されている。一方，3 回分の需要量をまとめた需要系列については，

$$D_3(t+3)-3\mu=\gamma\{D_3(t)-3\mu\}+\varepsilon(t) \quad (15)$$

γ ：自己相関係数， $\varepsilon(t)$ ：白色雑音

と表現できる。 $\varepsilon(t)$ は独立，平均 0 で，その分散が明らかとなれば，式(15)の需要量に対して，Push 型での最適発注量が算出でき，発注サイクル期間の比が 1:3 の場合において，両方式の比較を行うことができる。

以上より，Pull 型に対する Push 型の発注サイクル比を τ とした場合の一般的な需要モデルを求める。

Push 型における需要量 $D_\tau(t)$ は，

$$D_\tau(t)=\sum_{k=t}^{t+\tau-1}\{d(k)-\mu\}$$

$$=d(t)+d(t+1)+\cdots+d(t+\tau-1)-\tau\mu \quad (16)$$

式(2)を用いれば，一般的に

$$\begin{aligned} d(t+\tau)-\tau\mu &= \lambda^\tau\{d(t)-\tau\mu\} \\ &+ \lambda^{\tau-1}\nu(t)+\lambda^{\tau-2}\nu(t+1) \\ &+ \cdots + \lambda\nu(t+\tau-2)+\nu(t+\tau-1) \\ &= \lambda^\tau\{d(t)-\tau\mu\} + \sum_{k=0}^{\tau-1}\lambda^{\tau-k-1}\nu(t+k) \end{aligned} \quad (17)$$

と表現できる。したがって，式(16)より，

$$\begin{aligned} D_\tau(t+\tau)-\tau\mu &= \lambda^\tau\{D_\tau(t)-\tau\mu\} \\ &+ \sum_{l=t}^{t+\tau-1}\sum_{k=0}^{\tau-1}\lambda^{\tau+l-t-1}\nu(l+k) \\ &= \lambda^\tau\{D_\tau(t)-\tau\mu\} \\ &+ \sum_{l=0}^{\tau-1}\left\{\sum_{k=0}^l\lambda^{\tau-k-1}\right\}\nu(t+l) \\ &+ \sum_{l=0}^{\tau-2}\left\{\sum_{k=0}^l\lambda^k\right\}\nu(t+2\tau-2-l) \end{aligned} \quad (18)$$

が得られる。ここで，式(15)と比較して，

$$\begin{aligned} \gamma &= \lambda^\tau \\ \varepsilon(t) &= \sum_{l=0}^{\tau-1}\left\{\sum_{k=0}^l\lambda^{\tau-k-1}\right\}\nu(t+l) \\ &+ \sum_{l=0}^{\tau-2}\left\{\sum_{k=0}^l\lambda^k\right\}\nu(t+2\tau-2-l) \end{aligned} \quad (19)$$

とおけば，

$$\begin{aligned} E[\varepsilon(t)] &= 0 \\ V[\varepsilon(t)] &= \left[\sum_{l=0}^{\tau-1}\left\{\sum_{k=0}^l\lambda^{\tau-k-1}\right\}^2 + \sum_{l=0}^{\tau-2}\left\{\sum_{k=0}^l\lambda^k\right\}^2 \right] \sigma^2 \end{aligned} \quad (20)$$

となる。

よって，Push 型に対する一般的な需要モデルは，

$$D_\tau(t+\tau)-\tau\mu=\lambda^\tau\{D_\tau(t)-\mu\}+\varepsilon(t) \quad (21)$$

となり， $\varepsilon(t)$ は独立で平均 0，分散は式(20)の確率変数となる。

4.2 数値解析

式(21)に対し Push 型を適用し，式(2)に対する Pull 型の在庫量・発注量変動の挙動と比較した。各工程での結果を図 4～6 に示す。次に，生産-在庫システム全体の良さは全変動比の和で表す必要がある。また，Pull 型は在庫点②では常に分散は 0 であり比較ができず，この点で Push 型により常に優れることになるので，各工程だけの評価では不十分である。よって，総分散比の和における比較結果を図 7 に示す。横軸は Pull 型に対する Push 型の発注サイクルの比，縦軸は在庫量・発注量分散比を表した図である。発注サイクル比は Pull 型に対する Push 型の比なので，Pull 型の分散比は横軸に対して平行となる。

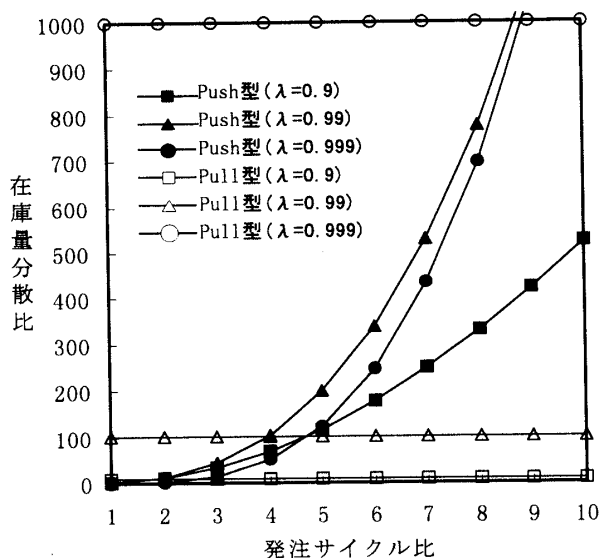


図4 在庫点①で在庫量分散の比較

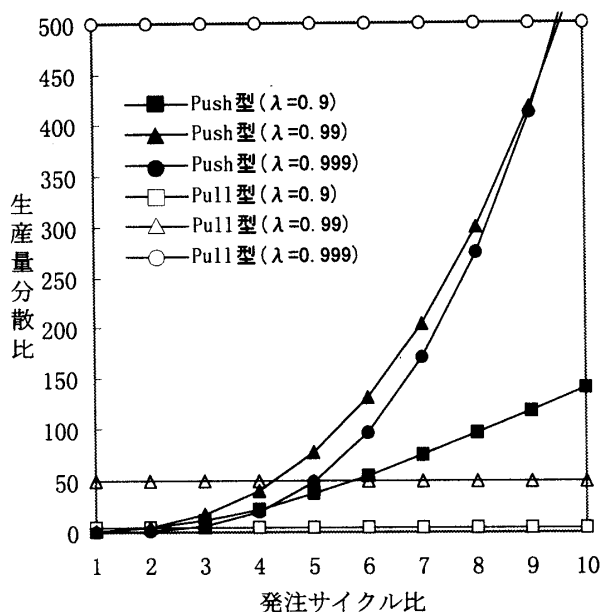


図6 生産工程②での発注量分散の比較

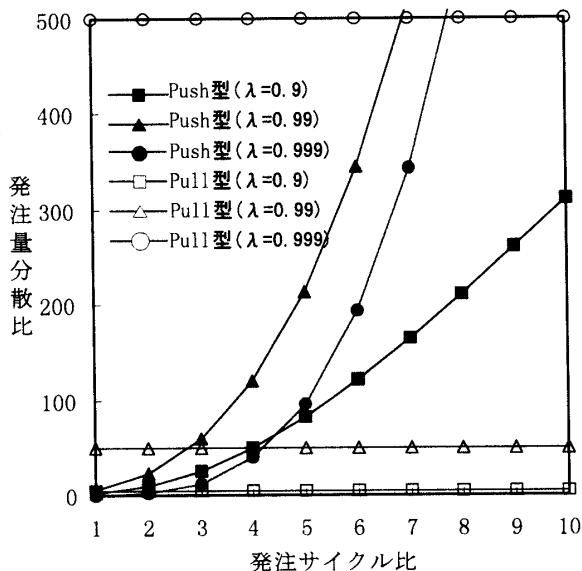


図5 生産工程①での発注量分散の比較

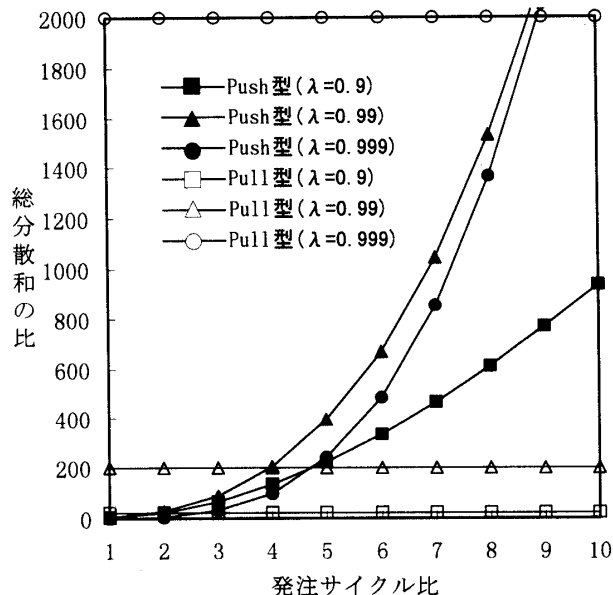


図7 総分散比の和における比較

例えば、図4に着目すると、自己相関係数 λ が0.99のとき、Push型とPull型の分散比が交差している(以下、交点と呼ぶ)。このとき、横軸の発注サイクル比は3.929を示している。つまり、Push型の発注サイクル期間がPull型のその4倍のとき、両方式は在庫点①において、同等の分散比を達成することが分かる。

また、この数値解析において、もっとも重要なことは、Pull型とPush型の評価値が交差した点の発注サイクル比 τ^* を求めることである。自己相関が変化すれば、システム性能が同一になる発注サイクル比 τ^* の値も変化する。よって、自己相関係数と交点 τ^* の関係を図8に示す。

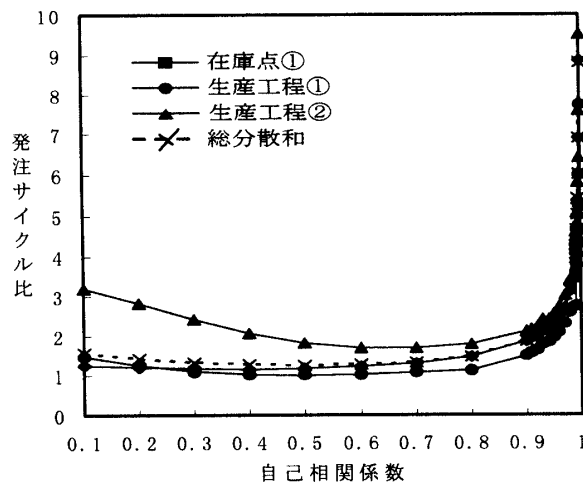


図8 自己相関と発注サイクル比の関係

在庫点①における解析 (図4) より Pull 型に対する Push 型の発注サイクル比は, 自己相関係数 λ が 0.1~0.9 のとき 2 倍未満, λ が 0.99 のときは 4 倍, λ が 0.999 のときは 9 倍となる. これは, 生産工程①・②, 総分散比の和の挙動の解析 (図5~7) においても同様の結果を示している. また, 図8における総分散比の和の挙動に着目しても, 自己相関係数 λ が 0.1~0.9 の現実的な需要モデルに対して, 発注サイクル比 τ^* は 2 倍以下である. ただし, 生産工程②の挙動は, λ が 0.1~0.4 のとき, 発注サイクル比は 2~3 倍の値を示した.

これらの結果は, 需要の予測精度が高まらなると Push 型の方が有効に働かないことに起因している. つまり, 非常に 1 に近い自己相関の場合でないと交点の発注サイクル比 τ^* は 3 以上にはならないことを示している. これは, 発注サイクル比 τ が 2, 3, ... と大きくなると, 単純に考えても Push 型は 2 倍, 3 倍, ... の在庫量, 発注量が必要となることからわかる. つまり, この 2 倍, 3 倍, ... と在庫量, 発注量が飛躍的に大きくなることによる評価値の増分を打ち消すことには, 予測精度が非常に高くなければいけないといえる. これは, 発注サイクルを変えることによる発注量・在庫量分散への影響は非常に大きく, いくら最適な Push 型を用いたとしても, 発注サイクルを短くする努力が必要であることを示している. しかし, 需要予測精度が非常に高い場合には, 発注サイクル比が大きくても Push 型の方が良い性能を示すので, 需要量が確定的に与えられるような場合には, Push 型の方が両分散を低く抑えられることを示している.

また, 総分散比の和での比較解析において, Push 型の両変動を制御するウエイト q_1, q_2, r_1, r_2 は 1 で行ったが, これを変化させて比較を行えば, Pull 型に対する発注サイクル比は, ウエイトの値に依存すると考えられる. よって, 在庫点②での Pull 型の分散値が 0 であったとしても, ウエイトが変化すれば同じ評価基準の下で発注サイクル比 τ を大きくできる可能性がある. ウエイトは通常, 両変動がコストに与える影響を考慮して決定させるものであり, 現実状況に大きく依存すると考えられる. ただし, 理想状況下ではそのコストは, 両システム間での両変動の差や比に本質的に依存すると考えることができ, その場合には, 本稿で示した両変動がコストの差を生じさせる本質的部分であるといえる. よって, 一般的なコストの概念を用いた比較は, 今後の重要な課題といえる.

本稿でのシステムの評価値は, 需要量変動の大きさによる影響を除くため, 在庫量・発注量変動を需要量変動で基準化している. そのため, 4. の数値解析で

は, 平準化された需要系列の需要量分散がどの程度ばらつきが多くなれば, Pull 型が使用できなくなるかを示すことはできない.

5. 結 論

多段階生産-在庫システムでの Push 型生産システムと Pull 型生産システムにおいて, 発注サイクル期間が同じ場合と異なる場合に関して特性比較を行い, 両方式の挙動解析を行った.

発注サイクル期間を同一として扱った場合は, 在庫量・発注量変動の評価関数に対して最適化されている Push 型の方が当然ながら優れる. 逆に, 発注サイクル期間が異なる場合は, 需要系列の自己相関が 0.9 以下の現実的な需要モデルに対して, Push 型は Pull 型の 2 倍以下の発注サイクル比でしか同等のシステム性能を示せないことが明らかとなった. 発注サイクルを変えることによる評価値への影響は非常に大きく, 発注サイクル比が大きいと Push 型の性能をもってしても, Pull 型の評価値より良くするためには非常に高い予測精度が必要であることが明らかとなった.

今後の課題としては, 両方式のモデルを多段階に拡張して特性比較を行うことが挙げられる.

参 考 文 献

- [1] 後藤正幸, 内園みどり, 俵 信彦: “有色雑音をもつ線形システムの最適制御則と定期発注システムへの適用”, 日本経営工学会誌, Vol. 47, No. 2, pp. 107-116 (1996)
- [2] 俵 信彦, 増井忠幸, 鈴木晴久: “Z 変換による G 型定期発注方式の解析”, 日本経営工学会誌, Vol. 41, No. 41, pp. 275-282 (1990)
- [3] 中島健一, 大野勝久: “外注かんぱん方式の確率的性質と最適性”, 日本経営工学会誌, Vol. 47, No. 2, pp. 100-106 (1996)
- [4] 高橋勝彦: “傾向変動を伴う需要系列に対する生産指示方式の特性解析”, 日本経営工学会誌, Vol. 44, No. 1, pp. 64-70 (1993)
- [5] Sarker, B. R. and Fitzsimmons, J. A.: “The Performance of Push and Pull Systems: A Simulation and Comparative Study”, *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 27, No. 10, pp. 1715-1731 (1989)
- [6] 村松林太郎: 「新版生産管理の基礎」, 国元書房 (1970)
- [7] 十代田三知男: “定期発注システムにおける在庫量および発注量の変動に関する研究”, 学位論文, 早稲田大学 (1971)
- [8] 平川保博: “生産計画規則の決定”, 日本経営工学会誌, Vol. 26, No. 4, pp. 343-348 (1976)