

需要適応型かんばん制御方式の有効性の検証と新方式の構築

福田 圭吾・谷口 修也 (沼田 一道 助教授)

1. はじめに

現在の日本経済においては、先端的産業分野である金融、IT、通信などが脚光をあびている。一方、日本の製造業は、低コストで生産することのできるアジア移転が進んでおり空洞化が心配されている。しかし、図1からもわかるように製造業は依然、日本の中心産業であり、そこにおける課題も存在する。最近の製造業における問題は、ただ作れば売れるという時代ではなくなったことに起因する。すなわち売れるものを、タイムリーに作る事が製造業に求められている。これを実現するためには、在庫管理方式及び、それと密接に関係する生産方式がカギになる。

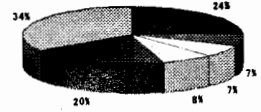
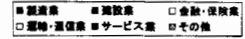


図1:国内算出額の業種別構成比

また、実際に売れるものをタイムリーに作ろうとすると、製品の多様化やライフサイクルの短期化などの様々な問題に会う。これらに単純に対処したのでは、完成品、仕掛品(部品, 半製品)の在庫増という新たな問題が発生してしまう。そこで製造業では、見込生産方式から受注生産方式に移行させることで問題の解決を図るが、そこでも競争激化に伴い短期間で製品を供給してほしいという顧客要求の問題にぶつかる。そこでそれら問題の解決を目指し、在庫量を制御しながら効率的に生産し供給しうる可能性を秘めているかんばん生産方式に着目し、検証を試みることにする。

2. 研究の目的

本研究では、需要が到着してから出荷するまでの納期(納入リードタイム)、需要が確定していないにもかかわらず生産を開始しているリスク(見込みリスク)、仕掛在庫量(完成品, 半製品)に着目し、石垣ら[1]で提案されている需要先取型生産方式と需要適応型生産方式の効果を Visual SLAM[2]を用いたシミュレーションにより検証する。検証の結果、[1]の主張通りに需要が一定の場合において、需要適応型生産方式が望ましい特性を示した。しかし[1]は、季節などにより需要に変動が起きる場合については論じていない。本研究では、需要の変動が大きい状況においても効果的に生産し供給できる生産方式の構築を検討する。

3. 本研究の概要

多段階生産システムにおける仕掛在庫を削減する方策として、トヨタのかんばん方式が知られている。トヨタのかんばん方式では図2のように各工程で半製品が消費されたときにかんばんが外され、前の工程へ生産指示が出されるが、[1]は図3のように需要の到着に伴う製品出荷(この方式では、需要が到着すると完成品在庫から、あるいは製品の完成を待って製品が出荷される)の際に外されたかんばんによって第1工程に生産指示が出される生産制御方式を「かんばん方式」と呼んでいる。本研究でもこの生産方式を基本として取り扱う。以下、この方式における見込生産方式と受注生産方式および[1]の生産方式を既存の方式として取り扱い、新しく提案する方式との比較を行う。まず、既存方式の概要を次節で示す。

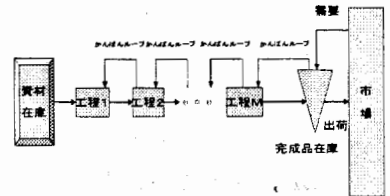


図2:トヨタかんばん方式の概要図

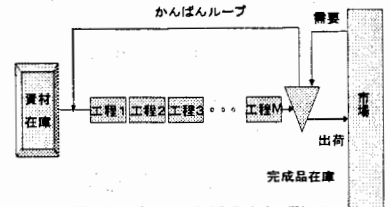


図3:かんばんによる生産制御方式の概要図

4. 既存の方式の概要

4. 1. 見込生産方式 (M方式)

M方式では、かんばんループに K 枚のかんばんを持つとき、この生産システムは最大で K 個までの製品を見込生産できる。第 m 工程の n 番目の品物の処理開始時刻を $a_m(n)$ 、処理完了時刻を $d_m(n)$ 、処理時間を $t_m(n)$ 、 n 番目の需要の到着時刻を $d(n)$ 、 n 番目の完成品の出荷時刻を $o(n)$ とすると、M方式の“ものの流れ”は(1)～(4)で定義される。

4. 2. 受注生産方式 (J方式)

この方式では、需要の到着を待ってから第1工程での生産が指示されるので完成品在庫を持たない。

J方式における第1工程での生産開始時刻 $a_1(n)$ は次式によって表現される。

$$a_1(n) = \text{Max}\{d_1(n-1), d(n)\} \quad (5)$$

従って、(5)式と(2)、(3)式によって“ものの流れ”は定義される。

4. 3. 需要先取型生産方式 (DS方式)

この方式は、M方式において受注残(完成品待ちの状態)が発生した場合、受注残分だけ受注生産を行う方式である。

DS方式における第1工程の生産開始時刻は次式で与えられる。

$$a_1(n) = \text{Max}\{d_1(n-1), d(n - K_L)\}, K_L: \text{基本かんばん枚数} \quad (6)$$

従って、(6)式と(2)、(3)式によって需要先取型生産方式の“ものの流れ”は定義される。

4. 4. 需要適応型生産方式 (DT方式)

この方式はDS方式における受注残による生産指令の下限を K_L とし、上限 K_U ($K_U = K_L + \Delta K$) まで適応的に生産指令できる量を制御する方式である。

DT方式における第1工程の生産開始時刻は次式で与えられる。

$$a_1(n) = \text{Max}\{d_1(n-1), d(n - K_L), o(n - K_U)\} \quad (7)$$

従って、(7)式と(2)、(3)式によって需要適応型生産方式の“ものの流れ”は定義される。

4. システム性能と評価尺度

システム性能は(8)、(9)、(10)式で定義される平均納入リードタイム LT 、平均仕掛在庫量 WIP 、平均見込リスク RS で評価される。 LT 、 WIP 、 RS が0に近づくことが望ましいが、全てを0にすることは、現実的に不可能である。そこで、 LT 、 WIP 、 RS がバランスよく制御されている状態を目指す。

5. 実験方法

本研究におけるシミュレーション解析では、各工程の処理時間と需要到着時刻はすべて平均1.0の指数乱数 y を用いて $t_m(n) = 0.5(1+y)$ 、 $d(n) = d(n-1) + y/\lambda$ により生成される。 λ は需要到着率であり、本研究では $\lambda = 0.9$ に設定する。総生産個数を $N = 5,000,000$ 個に設定し、かんばん枚数 $K = 0 \sim 40$ の範囲で変化させてシミュレーション実験を行い、かんばん枚数によって LT 、 WIP 、 RS

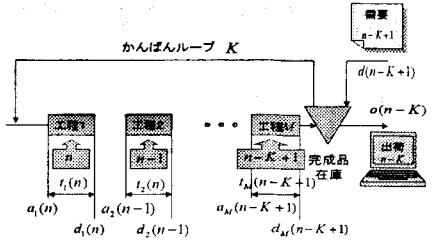


図4：“もの流れ”とイベントの発生時刻

$$a_1(n) = \text{Max}\{o(n-K), d_1(n-1)\} \quad (1)$$

$$a_m(n) = \text{Max}\{d_{m-1}(n), d_m(n-1)\}, (m=2, \dots, M) \quad (2)$$

$$d_m(n) = a_m(n) + t_m(n), (m=1, \dots, M) \quad (3)$$

$$o(n) = \text{Max}\{d_n(n), d(n)\} \quad (4)$$

がどのように変化するかを見る。Visual SLAMにおけるモデル化の例を図5に示す。

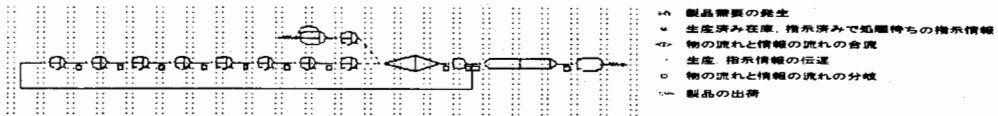


図5: Visual SLAMによるモデル化の例

6. 実験結果および考察

6. 1. 見込生産方式と受注生産方式の性能評価

図6よりM方式では、かんばん枚数が増加するとWIPも増加するが、LTは短くなる。これはかんばん枚数分の見込生産が許容されるためである。しかしRSはかんばん枚数を増加させても $K=17$ 近傍までほぼゼロである。これはかんばん枚数が少ないと生産率が需要到着率よりも低いためである。このときLTは無限大(∞)に大きくなる。

M方式ではかんばん枚数によって、LT, WIP, RSを制御できるが、J方式では、RSが0となるので、LTが約30(平均生産時間)に固定されることになる。

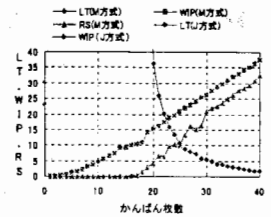


図6: M方式とJ方式の比較

6. 2. 需要先取型生産方式の性能評価

図3より $K_L=0$ のとき、M方式に一致していることがわかる。また、DS方式は需要量を先取することによって、WIP, RSは増加するが、LTは大幅に短縮される。これは、見込生産の許容量を越えた分だけ追加生産したためである。

DS方式はM方式に比べ、少ないかんばん枚数でRSを極端に増加させることなくLTの短縮に成功している方式であるといえる。

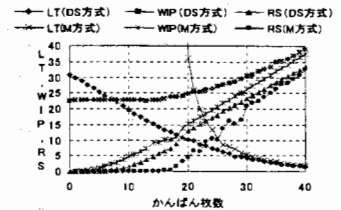


図7: M方式とDS方式の比較

6. 3. 需要適応型生産方式の性能評価

DT方式は、 $\Delta K=0$ ではM方式、 $\Delta K=\infty$ ではDS方式に一致する。これは ΔK の値によってM方式からDS方式まで性能を変化させることができることを意味している。例えば、LTを最大の目標とすれば、 $\Delta K=\infty$ に近づけていくことにより、良い結果が得られる。一方、WIP, RSを最大の目標としたとき、 $\Delta K=0$ に近づけていくと、良い結果が得られる。よって、 ΔK の設定によりLT, WIP, RSを総合的に制御することが可能な方式だといえる。

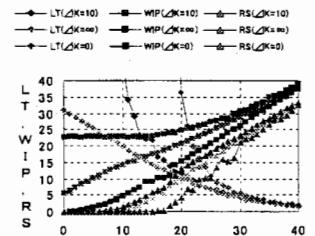


図8: DT方式における $\Delta K=0, 10, \infty$ の比較

7. 新方式

7. 1. 新方式の提案

前節の実験は[1]を追実験したものであり、そこでは需要の到着率が一定($\lambda=0.9$)の指数分布という限られた条件のもとで性能を評価している。この前提が変わると、結果(性能)も変わってくるのではないかと考えられる。そこで、需要が季節変動する商品(エアコンなど)を想定し、DT方式をさらに一般化した方式(新方式)を考えてDT方式と比較する。

需要が季節変動することにより完成品在庫が多量に出る可能性が考えられる。そこで、新方式では完成品在庫が生じている状態のときはかんばんによる生産指示は行わず、かんばんを減少させる。ま

た、受注残が発生している状態では需要の到着が生産指示となり、かんばんを増加させる。すなわち、需要の到着状況によりかんばんの増減を図る方式をA案として提案する。次に、需要の変動、すなわち、需要到着率の変動に対して $\Delta K (= 5 \text{ or } 10)$ を変化させることにより、WIP, RSを効果的に制御することを可能にする方式としてB案を提案する。

7. 2. 新方式における実験方法

新方式を運行するシミュレーションにおいては、平均1.0の指数乱数 y を用いて、各工程の処理時間を $t_m(n) = 0.5(1+y)$ 、需要到着率を $d(n) = d(n-1) + y/\lambda$ ($\lambda = 0.05 \sin(\pi/15000) + 0.85$)に設定する。総生産個数を $N = 5,000,000$ 個に設定し、かんばん枚数 $K = 0 \sim 40$ 枚に変化させてシミュレーション実験を行い、かんばん枚数によってLT, WIP, RSがどのように変化するかを見る。

8. 結果と考察

A案はかんばん枚数に依存することなく $K = 0 \sim 40$ でLT, WIP, RSは一定(WIPは約217, RSは約228, LTは7)である。WIP, RSに関しては $K = 0 \sim 40$ で、A案の方が劣る。LTに関しても、かんばん枚数が15以上のとき、A案の方が劣る。その様子を図9に示す。

図10より、B案はDT方式に包含された形になっている。B案は、 $\lambda > 0.85$ で $\Delta K = 10$ 、 $\lambda < 0.85$ で $\Delta K = 5$ に切り替わるように設定しているために、その前後でLT, WIPに大きな影響を及ぼしているために図10のように、曲線にならないと思われる。一方、RSについては、 ΔK が10から5(5から10)に切り替わっても、受注残が発生したときの生産指令がRSに影響を及ぼすことがないためである。

9. まとめ

本研究では、LT, WIP, RSに着目し、[1]で提案されているDS方式とDT方式の効果をVisual SLAMを用いたシミュレーションにより検証を行った。その段階で、需要が季節変動する場合においても、効果的な性能が発揮できるのかという疑問を持ち、新方式の提案に繋がった。しかし、DT方式は $\Delta K = 0$ ではM方式、 $\Delta K = \infty$ ではDS方式に一致するという特性を持っているため、需要の変動に関わらず、LT, WIP, RSを効果的に制御できる。その上、かんばん枚数を目的に合わせて設定することにより、より高い性能を発揮できる汎用的な生産方式であることから、かんばん枚数や ΔK が可変である新方式以上の性能の高さを備えた方式であることが証明された。本研究では、単一品目における生産システムのみを取り扱ったが、今後の課題としては、単一品目から多品目への拡張という問題が考えられる。

10. 参考文献

[1]石垣綾, 平川保博: “見込リスクを考慮した多段階生産システムにおける需要適応型かんばん制御方式の設計” 日本経営工学会誌, vol.54, No.2, pp114-pp123, 2003

[2]森戸晋, 相澤りえ子, 貝原俊也: “Visual SLAMによるシステムシミュレーション<改訂版>” 2001, 共立出版

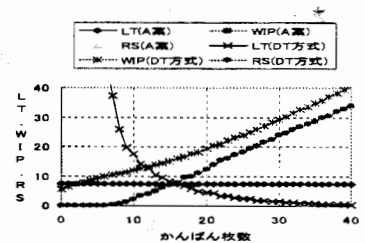


図9: A案とDT方式の比較

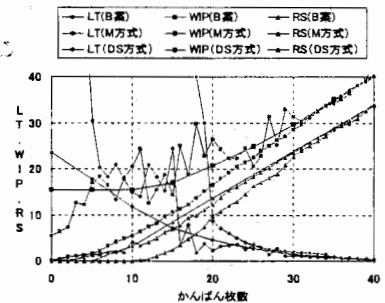


図10: B案とDT方式の比較