

e-かんばん方式におけるかんばん枚数の 変更方法とその応用について

小谷 重徳

1. はじめに

トヨタ生産方式やかんばん方式が紹介されてから既に久しく、今日 JIT 生産方式として世界的に高く評価されている。現在では JIT 生産の考え方は、単に生産分野にとどまらずに各種の産業に取り入れられ、経営の基本コンセプトとして認識されている。最近注目されているサプライ・チェーン・マネジメント (SCM) などその基本理念は JIT であり、トヨタ生産方式の影響の大きさが窺われる。

最近、トヨタ自動車㈱ (以下、トヨタと呼ぶ) ではコンピュータネットワーク時代を反映して、かんばん方式を進化させた e-かんばん方式が開発され、運用されている。従来のかんばん方式でのかんばんの管理は主に人手作業であったが、e-かんばん方式ではコンピュータによりタイミングよく適切なかんばん管理ができるようになった。その結果、

- (1) かんばん運用に伴う発注量の変動の最小化やかんばん枚数の変更タイミングの適切化などによるかんばんの運用・管理の高度化
 - (2) 人手作業であったかんばん管理の効率化
 - (3) 各種管理の充実
- などの観点からかんばん方式の運用・管理の最適化が図られつつある。

ところで、かんばん方式の紹介やその研究は多数ある [1~4] が、かんばん方式で最も重要な一つであるかんばん枚数の変更を中心としたかんばんの枚数管理について議論した論文はない。

かんばん枚数の変更は、月次の生産計画が立案されたり、生産計画が変更されると、その都度行う必要があり、かんばん方式の運用における基本的な事柄である。本論文では、e-かんばん方式の骨格部分となる

こたに しげのり
トヨタ自動車㈱ コーポレート IT 部
〒471-8571 豊田市トヨタ町 1
受付 03.4.16 採扱 03.9.16

かんばん枚数の変更方法について、従来のかんばん方式と比較して考察し、適切なかんばん枚数の変更方法を提案する。また、この考え方を応用することによって、従来のかんばん方式より高度な管理ができるようになることを示す。

本論文の構成は以下ようになる。節 2 では従来のかんばん方式の運用方法について説明し、節 3 でそのかんばん枚数の変更方法について検討する。節 4 では e-かんばん方式の運用方法を説明し、かんばん枚数の変更方法について検討する。節 5 ではかんばん枚数の変更方法を応用することによって、従来のかんばん方式より高度な管理ができるようになることを明らかにする。節 6 では、e-かんばん方式にはいろいろな効果があるが、かんばんの枚数管理以外での主要な効果について述べる。

2. 従来のかんばん方式の運用方法

かんばんにはいくつかの種類があるが、ここでは仕入れ先との間で回している外注かんばんについて取り上げる。図 1 は組立ラインで使用されている最新の外注かんばんであり、2次元のバーコードが採用されている。かんばんには仕入先、納入場所、品名、部品番号、部品置き場などが記載されている。

次に、従来のかんばん方式の運用方法について説明する (図 2 参照)。

- (1) 部品ごとにかんばんの発行枚数が決められており、部品がまだ使用されていない部品箱にはかんばん



図 1 外注かんばんの例

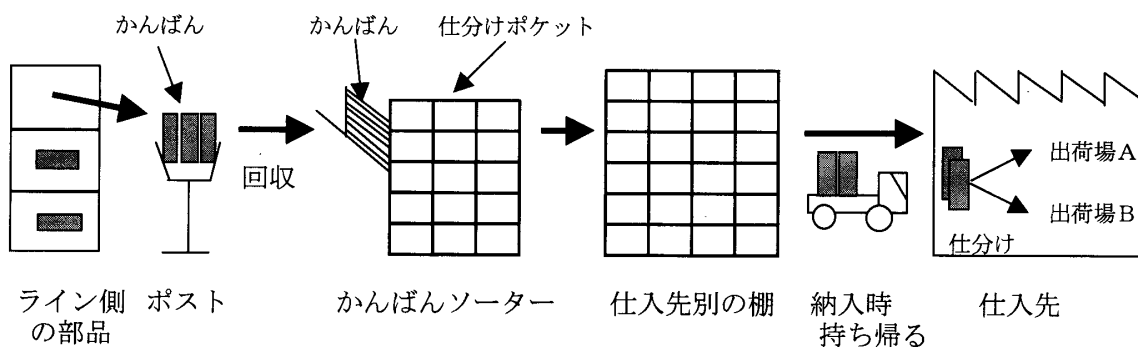


図2 かんばんが外されてから仕入までの流れ

が1枚添付されている。

(2) 部品箱の部品が初めて使用されるときに、かんばんが外されて所定のポストに置かれる。かんばんはポストから一定時間ごとに回収されて、かんばんソーターと呼ばれる機械で読まれ、仕入先ごとに仕分けられる。また、仕入先の納入タイミングに合わせて伝票も作られ、かんばんと伝票が仕入先別の棚に置かれる。

(3) 仕入先は納入時、棚から発注となるかんばん(外れかんばんと呼ぶ)と伝票を持ち帰る。

(4) 仕入先は決められたリードタイム後に、持ち帰ったかんばんを部品箱に添付して部品を納入する。仕入先ではかんばんを出荷場単位に仕分けたり、出荷作業のためにかんばんを必要な順番に並べ替えるなどの作業がある。

以上がかんばんの基本的な運用方法であるが、この運用のためには1車種当たり約6万枚のかんばん枚数が必要であり、かんばんの表記項目の変更などのため常にかんばんの作成が必要になる。

トヨタと仕入れ先の間で回しているある部品のかんばんの枚数は次式で計算できる[1, 2]。

$$N = \lceil \{D(K+L)+S\}/M \rceil \quad (1)$$

ここで、 D : ある部品の1日の平均需要量

K : 発注間隔

L : 発注から納入までのリードタイム

S : 安全在庫

M : 部品箱の部品の収容数

$\lceil x \rceil$: 以上の最小の整数

である。従来のかんばん方式では部品の納入のときに次の発注となるかんばんを持って帰るために、かんばん方式の納入方法を三つの整数 a, b, c を用いて表すことにしている。すなわち、 a 日間に b 回納入し、納入時持ち帰ったかんばん枚数に対応する部品を、かんばんを引き取った納入から c 回後の納入タイミングで納入することを表す。この三つの数字はかんばんサ

イクルと呼ばれ、一般に $a-b-c$ と表現されている。例えば、1-2-1 は毎日2回納入し、納入時持ち帰ったかんばん枚数分の部品を次回の納入タイミングで納入することを示す。したがって、かんばんサイクルと b 回の納入時刻を決めれば仕入れ先の納入方法が決定されることになる。かんばんサイクルが $a-b-c$ の場合、

$$\left. \begin{aligned} K &= a/b \\ L &= (a/b)c \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

となり、かんばんサイクルは部品の納入リードタイムを表していることになる。このことから c はかんばんの遅れ係数と呼ばれている。部品の納入リードタイムを短くするために常に各種改善が進められており、現状では基本的に $a=1$ であり、 $a>1$ は一部の特殊な部品だけである。また、組立ラインは一般に2直稼働のため、 $b>1$ の場合は b は偶数である。

かんばん方式では(外れかんばん枚数) $\times M$ が発注量になる。車両の生産は、販売店から毎日注文を受けて生産計画を作り、組立ラインに生産指示することにより行われる。需要変動が激しい今日では、ある範囲で需要に追従した生産計画を作る必要があり、その結果組立ラインで使用される部品の1日の外れかんばん枚数が、ある範囲で変動するのはどうしても避けられない。しかし、かんばんを手作業で扱うことによる外れかんばん枚数の変動は完全に排除する必要がある。そのため今日までいろいろな工夫がなされてきた。例えば、次のような改善がある。

(1) 日々の稼働時間は残業時間で変動するが、残業時間を含めてかんばんの回収間隔を等間隔にする。

¹ 直とは交代制勤務において、勤務を特定するために使用される。最近では昼夜2交替より連続2交替の勤務が多く、連続2交替の1直は6:00~15:00、2直は16:00~1:00の時間が多いようである。2直稼働とは昼夜2交替や連続2交替での稼働をいう。

(2) 1日のかんばんの回収回数をできるだけ納入回数
の最小公倍数（通常は24回）にし、すべての発注
が同一の回収回数になるようにする。

(3) 例えば、日当たり納入回数が10回の場合は、かん
ばんの回収回数である24の公約数ではない。この
ときは、1回当たりの発注量は2.4回の回収分となる
が、実際の発注では2回の回収分の場合と3回の回収
分の場合が発生し、発注量が変動する。そこで、1~3
回目の回収が1回目の発注になる場合は、3回目のか
んばん回収の6割を次回の発注に繰り越し、1回目の
発注量を2.4回の回収分になるようにする。納入回数
が回収回数の公約数でないときは以上のような処理を
し、発注量の変動を抑える。

(4) 仕入先と相談し、納入間隔をできるだけ等間隔
にしたり、かんばん枚数が1日に10枚程度は外れる
ような部品箱の部品の収容数 M にする。

以上のような取り組みによって、かんばんの取り扱
いによる発注量の変動を極力抑える努力をしてきた。
また、組立ラインでの1日の外れかんばん枚数は販売
店からの注文に基づいた生産計画で決まるが、1日の
単位時間当たりの外れかんばん枚数が変動しないよう
に、組立ラインへの車両の投入順序づけは部品の単位
時間当たりの必要数ができるだけ一定になるように工
夫している[2, 5]。

3. 従来方式でのかんばん枚数の変更

従来方式でのかんばん枚数の変更方法について検討
する。

3.1 かんばん枚数の変更の考え方

式(2)を式(1)に代入すると、

$$N = \left\lceil \frac{Da(c+1)/b + S}{M} \right\rceil \\ = \left\lceil \frac{\{aD/(bM)\}(c+1) + S}{M} \right\rceil \quad (3)$$

となる。式(3)からわかるように、かんばん枚数は、1

日の平均需要量、かんばんサイクル、部品箱の部品の
収容数などが変更されると変化する。例えば、平均需
要量が来月から変わり、来月のかんばん枚数が変更に
なるとする。このとき、かんばん枚数の変更をどのよ
うに行うかを考える。かんばん枚数の変更とは、ある
発注からある発注までのいくつかの発注に対して、外
れかんばん枚数に何枚のかんばんを増加したり、減少
したりするかを決める問題である。そしてこのときの
目標は、

(1) かんばん枚数の変更によって発注量が変動しな
いようにすること

(2) かんばん枚数の変更が早すぎたり、逆に遅すぎ
たりしない適切なタイミングでかんばん枚数の変更を
行うこと

の二つを満足することである。

式(3)より、かんばんの枚数をかんばんの回転枚数と
安全枚数の二つに分けて考える。かんばんの回転枚数
 N_K とかんばんの安全枚数 N_S を、それぞれ

$$N_K = \lceil aD/(bM)(c+1) \rceil \\ N_S = N - N_K \quad (4)$$

と定義する。かんばん枚数の変更を、かんばんの回転
枚数の変更と安全枚数の変更に分けて考える。

以下の議論では、1日の1回目の納入の納入時間は
稼働時間の最初とし、納入間隔（発注間隔）は稼働時
間で等間隔とする。これを図3で見ておく。図3では
発注と納入が区別され、同一の連番がつけられている。
納入 No. 1 が来月の初日の稼働時間の最初であることを
表している。納入間隔（発注間隔）が稼働時間で等
間隔であることは、納入 No. (発注 No.) が等間隔で
あることを示す。また、発注 No. $-c$ での発注は、
納入 No. 0 に納入することになり、左側の太い矢線が
これを表している。

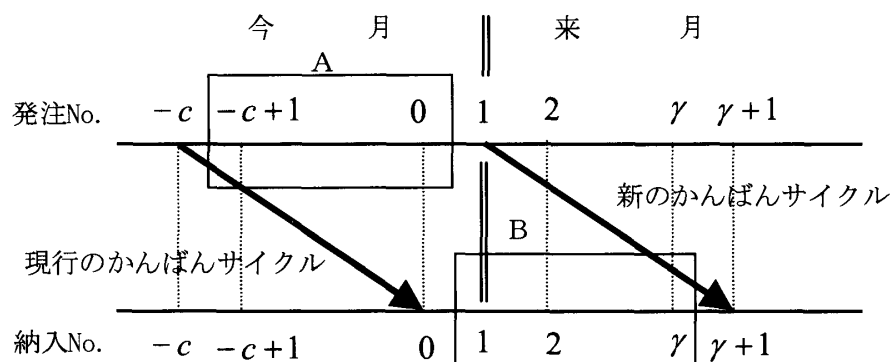


図3 かんばんサイクルの変更

3.2 かんばんの回転枚数の変更

以下の議論を簡単にするために $aD/(bM)$ は整数とする。したがって、式(4)は

$$N_k = aD/(bM)(c+1) \quad (5)$$

となる。Dがある部品の1日の平均需要量なので、 $aD/(bM)$ はある部品の1回当たりの外れかんばん枚数の平均となる。換言すると、 $aD/(bM)$ は1回当たりの発注における平均かんばん枚数となるので、簡潔に平均発注枚数と呼ぶことにする。したがって、かんばんの回転枚数は平均発注枚数やかんばんの遅れ係数が変化したときに変わることになる。次のようにある部品の記号を定める。

D_T : 今月の1日の平均需要量

D_N : 来月の1日の平均需要量

$a-b-c$: 今月のかんばんサイクル

$a-\beta-\gamma$: 来月のかんばんサイクル

H_T : 今月の平均発注枚数

H_N : 来月の平均発注枚数

今、 $aD_T/(bM)$ と $aD_N/(bM)$ が整数とすると、

$$H_T = aD_T/(bM)$$

$$H_N = aD_N/(bM)$$

である。かんばんの回転枚数の増加は式(5)より、

$$\Delta N = H_N(\gamma+1) - H_T(c+1) \quad (6)$$

となる。来月からかんばんサイクルが変わるので、来月の最初の発注 No. 1 の発注から新しいかんばんサイクルになる (図3参照)。当月の最後の納入 No. 0 の納入は現行のかんばんサイクルで納入されるので、当月の最終の c 回の発注 (図3のAの部分) を来月の最初の γ 回の納入 (図3のBの部分) に対しどのように対応させ、かんばん枚数の変更をどのようにするかを決定することが課題となる。これがかんばん枚数を変更する問題である。このとき図3の来月の最初の納入 No. 1 の納入から来月の平均発注枚数 H_N になっていることが必要である。

(1) $c = \gamma$ の場合

この場合は、式(6)より

$$\Delta N = (H_N - H_T)(c+1) \quad (7)$$

となり、平均発注枚数が増加することによるかんばんの回転枚数の変更となる。 $c = \gamma$ なので、図3の発注 No. $-c+1$ から No. 1 までの $c+1$ 回の発注に対して、

$$(\text{外れかんばん枚数}) + (H_N - H_T)$$

とする。このとき、各発注の外れかんばん枚数を今月の平均発注枚数 H_T とみなすと、各発注の発注枚数は

H_N となる。また、来月の最初の納入である納入 No. 1 から納入枚数は H_N となり、かんばん枚数変更の二つの目標を満足することになる。以下の議論においても同様に、外れかんばん枚数を平均発注枚数とみなしてかんばん枚数の変更を考える。

ところで、 $H_N < H_T$ の場合はかんばんの回転枚数は減少することになるが、

$$(\text{外れかんばん枚数}) + (H_N - H_T) < 0$$

となる場合がある。このときは

$$H_T - H_N - (\text{外れかんばん枚数})$$

のかんばん枚数が減少できないので、次回の発注に繰り越して減少する。かんばん枚数を減少するときは以上のような繰り越し処理が必要な場合があるが、以下の議論ではこの処理の追記は省略する。

(2) $c > \gamma$ の場合

この場合は、改善などにより部品の納入のリードタイムが短縮できた場合である。式(6)は次のように変形できる。

$$\Delta N = -H_T(c-\gamma) + (H_N - H_T)(\gamma+1) \quad (8)$$

したがって、かんばんの回転枚数の増加枚数はかんばんの遅れ係数が小さくなることによる減少枚数と平均発注枚数が増加することによる枚数に分けられる。 $c > \gamma$ なので、納入 No. 1 から No. $\gamma+1$ までの納入に対して、発注 No. $-\gamma+1$ から No. 1 までの発注を対応させると、かんばんの遅れ係数が小さくなるので発注 No. $-c+1$ から No. $-\gamma$ までの $c-\gamma$ 回の発注に対応する納入がない。したがって、発注 No. $-c+1$ から No. $-\gamma$ までの外れかんばん枚数を、No. $-\gamma+1$ の発注まで繰り越す。発注 No. $-\gamma+1$ の発注に対して、

(外れかんばん枚数の合計)

$$-H_T(c-\gamma) + H_N - H_T$$

とする。この場合の外れかんばん枚数の合計を $H_T(c-\gamma+1)$ とみなすと、No. $-\gamma+1$ の発注のかんばん枚数は H_N である。発注 No. $-\gamma+2$ から No. 1 までの γ 回の発注に対して、

$$(\text{外れかんばん枚数}) + H_N - H_T$$

とする。

(3) $c < \gamma$ の場合

この場合は納入のリードタイムが長くなるケースであり、実際の運用ではほとんどない。式(6)は次のように変形できる。

$$\Delta N = H_N(\gamma-c) + (H_N - H_T)(c+1) \quad (9)$$

したがって、かんばんの回転枚数の増加はかんばんの

遅れ係数が大きくなって増加する枚数と平均発注枚数が変化することによる枚数に分けられる。 $c < \gamma$ ので、発注 No. $-c+1$ から No.1 までの発注に対して、納入 No. $\gamma-c+1$ から No. $\gamma+1$ までの納入を対応させると、納入 No.1 から No. $\gamma-c$ までの $\gamma-c$ 回の納入に対応する発注がない。これはかんばんの遅れ係数が大きくなったからである。したがって、かんばん枚数の変更は発注 No. $-c+1$ から No.1 までの $c+1$ 回の発注に対して、

$$(\text{外れかんばん枚数}) + H_N - H_T$$

とする。納入 No.1 から No. $\gamma-c$ までの各納入に対しては、仮に発注があるとしてこれらの納入のかんばん枚数とする。

3.3 安全枚数の変更

かんばんの安全枚数は1日の需要量の変動、1日の中の需要量の偏り、さらに納入便の遅れ等に対応するものである。したがって、安全枚数を増加する必要がある場合は、安全枚数分の在庫を増加しなければならない日より前の納入に対応する発注に追加する必要がある。安全枚数の増加は直前に入荷していれば十分であるので、当月の最後の納入から c だけ遡った $c+1$ 回の納入に対応する発注に対し、

$$(\text{外れかんばん枚数}) + (\text{増加する安全枚数}) / (c+1)$$

とする。ここで、

$$(\text{増加する安全枚数}) / (c+1)$$

は整数とし、安全枚数の変更による発注量の変動を抑えるために $c+1$ 回の発注に分割する。安全枚数を追加する場合は、当月の平均発注枚数の上に安全枚数が追加されることになる。安全枚数を減らす場合は、当月中は安全枚数を減らすことは望ましくないので、来月の最初の納入から $c+1$ 回の納入で減らす。この場合は、1回目から $c+1$ 回目までの納入のかんばん枚数は来月の平均発注枚数より小さくなる。

以上のようなかんばんの回転枚数と安全枚数の変更を織り込んで、かんばん枚数変更の作業指示書を作成し、これに基づいて手作業でかんばん枚数の変更をする。かんばん方式はかんばん枚数を設定して運営を始めれば $(\text{外れかんばん枚数}) \times M$ が発注量になり、非常に効率的な発注ができる。しかし、生産計画が大きく変化すると、それに伴ってかんばん枚数を一つの組立ラインで1万枚以上変更しなければならぬ場合がある。かんばんの変更枚数が多いとかんばん枚数の変更の準備作業に時間がかかるため、最新の状況で

の作業指示書の作成が困難になり、また時間的にも指示書どおりのきめ細かな作業ができないときもある。そのためかんばん枚数の変更に伴う発注量の変動が避けられない場合が多々あり、大きな課題の一つであった。また、後で述べるが、かんばん枚数の変更で本来なら考慮すべきことが十分織り込めなかったこともあり、この問題の解消は、*e*-かんばん方式導入の主要な狙いの一つになった。

4. *e*-かんばん方式でのかんばん枚数の変更

4.1 *e*-かんばん方式の運用方法

e-かんばん方式では、従来のかんばん方式と比較して発注方法が変わる。納入便でかんばんを持ち帰るかわりに、通信ネットワークを利用して発注し、かんばんと伝票を仕入先で発行する。かんばんと伝票を仕入先の望ましい順番に出力できるので、従来のたいへんな作業であった、かんばんの仕分けや並び替えの作業が廃止できる。納入のリードタイムとしては納入便でかんばんを持ち帰るのに必要な時間が削減できることになる。遠隔地の仕入先の場合は大幅なリードタイムの削減が可能になり、その効果は大きいものがある。*e*-かんばん方式では従来のかんばん方式と同じように、部品が使用されて外されたかんばんは回収され、かんばんリーダと呼ばれる機械で読まれて次の発注量になるが、かんばんリーダで読まれるとかんばんは廃却される。従来のかんばん方式ではかんばんがトヨタと仕入先の間で回転するが、*e*-かんばん方式では仕入先からトヨタまでの一方向のかんばんとなる。廃却されたかんばんは段ボールの原料としてリサイクルされている。

e-かんばん方式の発注は、納入時刻から納入のリードタイムだけ遡った時刻に行えばよい。しかし、仕入れ先とトヨタの稼働時間は異なる場合が多く、納入のリードタイムだけ遡った時刻を発注時刻とするといっても単純ではない。仕入れ先とトヨタの稼働時間が相違するケースの多くは、トヨタは2直稼働であるが仕入れ先は1直稼働という場合である。仕入れ先とトヨタの稼働時間が異なる場合、納入時刻から納入リードタイムだけ遡って発注時刻を設定するときは、仕入れ先の稼働時間を考慮して、発注時間を決める必要がある。一方、かんばん枚数を計算するための部品の納入リードタイムは、発注時刻から納入時刻までの時間をトヨタの稼働時間で計算することによって求める。部

品の納入リードタイムが求まると、かんばんの遅れ係数 c は、

$$c = (\text{部品の納入リードタイム}) / (a/b)$$

となる。この結果、かんばんの遅れ係数 c は必ずしも整数にならない。

発注時刻や納入時刻の設定は、納入時刻がトヨタの稼働時間で等間隔になることや、トヨタと仕入れ先の稼働時間に差がある場合は特に納入方法を工夫することによって、納入リードタイムが短くなるようにすることが重要であり、仕入れ先との十分な調整後に決定される。

4.2 かんばんの回転枚数の変更

次に、 e -かんばん方式でのかんばんの回転枚数の変更について考える。従来のかんばん方式と異なることが二つある。一つはかんばんの遅れ係数が整数とは限らないことである。例えば、来月から平均発注枚数のみを変更になるとする。かんばんサイクルが $1-2-1.5$ の場合のかんばんの回転枚数の増加枚数は、

$$\Delta N = (N_N - N_T)(1.5 + 1) = 2.5(N_N - N_T)$$

となる。ここで、 $N_N - N_T$ は偶数とする。上の式の

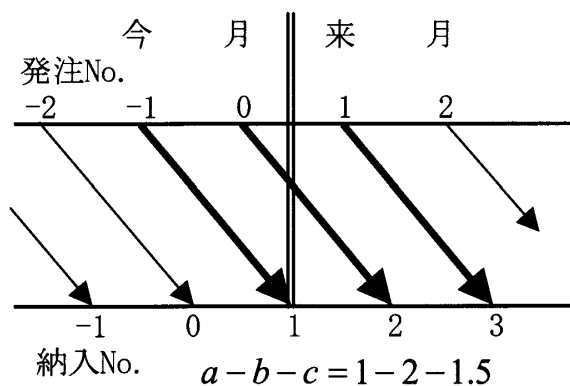


図4 かんばん枚数の変更

2.5 がかんばん枚数の変更でどのようになるのかを図4で示す。図4からわかるように、発注 No. -1 と No. 0 における外れかんばん枚数を H_T とすると、発注 No. -1 と No. 0 の発注に対するかんばんの回転枚数の変更は、

$$(\text{外れかんばん枚数}) + H_N - H_T$$

とすればよい。発注 No. 1 の外れかんばん枚数を $(N_T + N_N)/2$ と考えると、No. 1 の発注に対するかんばんの回転枚数の変更は、

$$\begin{aligned} & (\text{外れかんばん枚数}) + H_N - (H_T + H_N)/2 \\ & = (\text{外れかんばん枚数}) + (H_N - H_T)/2 \end{aligned}$$

とすればよい。したがって、発注 No. -1 から No. 1 までの各発注のかんばんの枚数は H_N とみなせる。

ほかの一つは発注時刻のことである。従来のかんばん方式では図3のAの部分を現行の発注時刻とした。発注と納入が同じタイミングの場合は、Aの部分は現行の発注時刻、すなわち納入時刻でなければならない。しかし、発注と納入が異なる時刻で行われる場合は、現行のかんばんサイクルの最後の発注 No. $-[c]$ (注： e -かんばん方式では $-c$ でなく、 $-[c]$ となる) の発注が終わった時点で、Aの部分の発注時刻は新しい発注時刻にしなければならない。Aの部分(正確には、図3で発注 No. $-c$ から No. 1 までの時間)を新しい発注時刻に変更したとき、いくつの発注ポイントが設定できるかを考える。Aの部分の時間はかんばんサイクルで $a(c+1)/b$ と表現でき、新しい発注間隔は a/β なので、新しい発注ポイント数 n は、

$$n = \lfloor \{a(c+1)/b\} / (a/\beta) \rfloor$$

となる。ここで、 $\lfloor x \rfloor$ は x を超えない最大の整数とする。図3のAの部分を発注 No. 1 の新しい発注から遡って新しい発注時刻を設定する(図5参照)。実際の

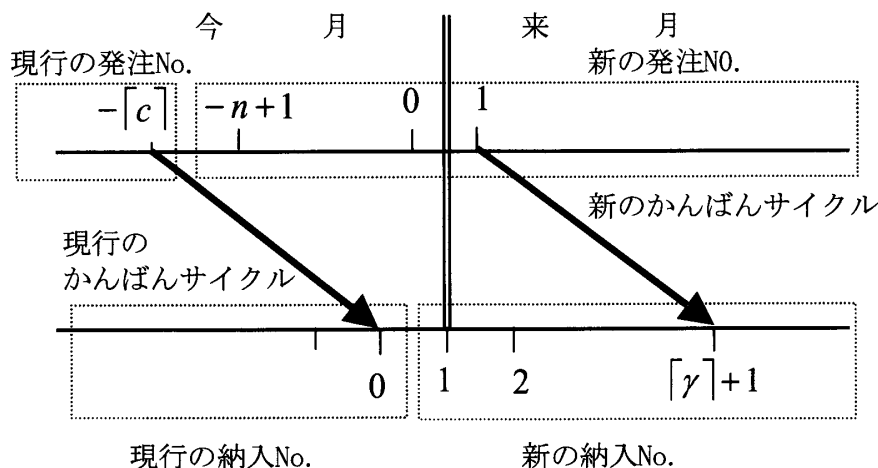


図5 かんばんサイクルの変更

発注時刻の設定は仕入先と相談して決定することになるが、本論文では発注時刻が等間隔に設定されているとする。図5の発注 No. 1 から No. $-n+1$ へと溯って発注を、図5の納入 No. $[\gamma]+1$ から No. 1 への納入に対して対応づけを行うと、次の三つの場合がある。

(1) $n=[\gamma]$ の場合

今月と来月のかんばんサイクルが同じであれば、式(7)と同じようになり、発注 No. $-n+1$ から No. 0 までの $n=[\gamma]$ 回の発注に対して、

$$(外れかんばん枚数) + (H_N - H_T)$$

とする。しかし、発注 No. 1 の時刻が図5のように来月であるとする、発注 No. 1 の外れかんばん枚数を $H_T[\gamma] + H_N(1-[\gamma])$ とみなすと、No. 1 の発注に対して、

$$(外れかんばん枚数) + H_N - H_T[\gamma] - H_N(1-[\gamma])$$

とする。ここで、 $[\gamma]$ は実数 γ の小数部分とする。追加したかんばん枚数の合計 N_C を求めると、

$$N_C = n(H_N - H_T) + H_N - H_T[\gamma] - H_N(1-[\gamma]) = (H_N - H_T)(\gamma + 1)$$

となり、追加枚数が正しいことを示している。

一方、かんばんサイクルが変更になる場合は発注間隔が変更になっている可能性がある、このことを考慮する必要がある。現行の最後の発注である No. $-[c]$ の発注と発注 No. $-n+1$ の発注との発注間隔は、

$$a(c+1)/b - an/\beta + a(1-[\gamma])/\beta = a(c+1)/b - a(n+[\gamma]-1)/\beta$$

となるので、外れかんばん枚数を

$$H_T\{a(c+1)/b - a(n+[\gamma]-1)/\beta\}/(a/b)$$

とみなす。よって、発注 No. $-n+1$ の発注に対し、

$$(外れかんばん枚数) + H_N + H_T\{a(c+1)/b - a(n+[\gamma]-1)/\beta\}/(a/b)$$

とする。発注 No. $-n+2$ から No. 0 までの各発注の外れかんばん枚数を

$$H_T(a/\beta)/(a/b)$$

とみなすと、各発注に対して

$$(外れかんばん枚数) + H_N - H_T(a/\beta)/(a/b)$$

とする。発注 No. 1 での今月の外れかんばん枚数と来月の外れかんばん枚数を、それぞれ

$$H_T(a[\gamma]/\beta)/(a/b), H_N(1-[\gamma])$$

とみなすと、発注 No. 1 の発注に対して、

$$(外れかんばん枚数) + H_N - H_T(a[\gamma]/\beta)/(a/b) - H_N(1-[\gamma])$$

とする。以上の $[\gamma]+1$ 回の発注で追加したかんばん枚数の合計 N_C を求めると、

$$N_C = H_N(\gamma+1) - H_T(c+1)$$

となり、追加枚数が正しいことを示している。

(2) $n > [\gamma]$ の場合

この場合は式(8)と同じようにかんばんの遅れ係数が小さくなり、発注 No. $-n+1$ から No. $-[\gamma]$ までの $n-[\gamma]$ 回の発注に対応する納入がない。そこで、その間の外れかんばんを発注 No. $-[\gamma]+1$ の発注まで繰り越す。その結果、発注 No. $-[\gamma]+1$ の外れかんばん枚数を

$$H_T\{a(c+1)/b - a(n+[\gamma]-1)/\beta\}/(a/b) + H_T\{a(n-[\gamma])/\beta\}/(a/b) = H_T\{a(c+1)/b - a\gamma/\beta\}/(a/b)$$

とみなすと、発注 No. $-[\gamma]+1$ の発注に対して、

$$(外れかんばん枚数の合計) + H_N - H_T\{a(c+1)/b - a\gamma/\beta\}/(a/b)$$

とする。発注 No. $-[\gamma]+2$ から No. 1 までの $[\gamma]$ 回の発注に対しては、 $n=[\gamma]$ の場合と同様にする。

(3) $n < [\gamma]$ の場合

かんばんの回転枚数の増加枚数は式(9)と同じように、かんばんの遅れ係数が大きくなって増加する枚数と平均発注枚数が変化する枚数に分けられる。かんばんの遅れ係数が大きくなるために、納入 No. 1 から No. $[\gamma]-n$ までの納入に対応する発注がない。したがって、納入 No. 1 から No. $[\gamma]-n$ までの $[\gamma]-n$ 回の各納入に対しては、仮の発注があるとしてかんばんの納入枚数を H_N とする。発注 No. $-n+1$ から No. 1 までの各発注に対しては、 $n=[\gamma]$ の場合と同様にする。

4.3 かんばん枚数変更のその他の考慮点

かんばん枚数の変更に関して次のような点も考慮する必要がある。

(1) 式(4)の $aD/(bM)(c+1)$ や (増加する安全枚数)/($c+1$) が整数でない場合は端数処理が必要である。かんばん枚数を変更する部品でみれば、ある発注で変更するかんばん枚数が1枚多いか否かのことで問題はないが、納入する部品が多い仕入先では、端数がある発注に重なることは望ましくない。そこで、仕入先単位に発注ごとのかんばんの変更枚数の枠を決め、この枠に部品ごとのかんばんの変更枚数を割り付ける。

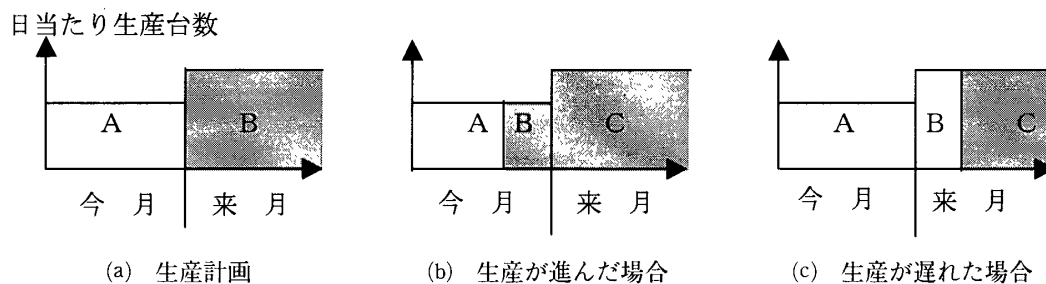


図6 生産進捗がかんばん枚数の変更にも与える影響

(2) 実際の生産が計画どおりなのか、そうでないのかという生産の進捗も考慮する必要がある。例えば、図6(a)のように日当たり生産台数が増加する場合、図6(b), (c)のように生産進捗が計画どおりでないと、生産計画は月によって車両の仕様が異なるので、かんばん枚数はAからBとBからCの2回の変更が必要になる。

(3) 組立ラインの生産計画は車両のラインオフに対する計画である。組立ラインの先頭で組み付けられる部品は車両のラインオフに対して5~6時間先に使用される。したがって、かんばん枚数の変更のタイミングは、組立ラインで使用される部品の組み付け位置を考慮する必要がある。

(4) かんばん枚数の変更は納入時刻によっても影響を受ける。例えば、かんばんサイクルが1-2-0.5の場合、納入が各直の最初なのか中央なのかにより、かんばん枚数の変更のタイミングやその枚数が変化する。このことは図から簡単に理解できるので、説明は省略する。

5. かんばん枚数変更の応用

かんばん枚数を適切に変更する方法を生かして、かんばん枚数管理の充実を図ることができるので、その基本となるケースについて考える。

5.1 新型車の立ち上がり生産の発注

新型車の立ち上がりの生産は、日当たり生産台数が0から初期需要に対応する台数、例えば1,000台まで、2週間毎日増加していく。この生産計画に合わせてかんばん枚数を毎日追加し合計で8万枚以上発行する車両もあり、従来のかんばん方式ではたいへんな作業である。また、従来のかんばん方式ではかんばん発行の準備作業に時間がかかるため、車両の生産の進捗より先行して部品を発注する傾向があり、組立ライン側に部品が溢れるケースが避けられない。しかし、e-かんばん方式では既に述べたかんばん枚数の変更処理で

あり、車両の生産進捗を的確に織り込めばタイムリーで適切な発注処理が可能になり、その効果は図り知れないものがある。また、従来のかんばん方式ではこの発行するかんばんを事前に作成しておく必要があったが、e-かんばん方式ではこれが解消された。そのため、工場での車両切り替えに伴う、かんばんにまつわる作業や管理が抜本的に改善された。

5.2 需要変動の大きい部品への対応

部品によっては日当たりの需要量の変動が大きいものがある。そのためにかんばん枚数が多くなり、部品の最大在庫が非常に大きくなる傾向がある。組立ライン側の部品置き場である棚のスペースは限られているため、最大在庫が多いと組立ラインの部品棚に部品を搬入するとき、部品棚に部品が収納できず部品を他の場所に仮置きすることがよく発生し、部品管理上大きな問題となっている。

そこで、この需要変動の大きな一部の部品に対して、次のような対応を考える。組立ラインの生産計画は販売店のオーダーから生産日の3日前に作られる。したがって、3日後の生産に必要なかんばん枚数がわかるので、日当たりの需要変動に対応する安全在庫をなくし、安全在庫は1日の中での部品の使用量の変動や納入遅れに対応するものとして設定する。かんばんの回転枚数は平均需要量で設定し、3日先の生産計画からかんばんの回転枚数が不足するときは、かんばんを追加発行することによって対応する。この追加したかんばんは、他のかんばんと同じように回収されかんばんリーダーで読まれるが、次の発注にはつながらないかんばんとし、このようなかんばんを臨時かんばんと呼ぶ。このような部品は毎日納入されるので $a=1$ であり、 $(c+1)/b \leq 2$ の部品に対して、3日後に追加すべき臨時かんばんの枚数 ΔN_3 は、次のように計算できる。

(1) $(c+1)/b \leq 1$ の場合

平均発注枚数を H_T とすると、1日の納入量は $H_T b M$ と考えることができる。したがって、3日後の

部品の需要量を D_3 とすると、

$$\Delta N_3 = \max \{ [(D_3 - H_7 b M) / M], 0 \}$$

となる。

(2) $1 < (c+1)/b \leq 2$ の場合

部品の納入リードタイム内の需要に対して、現在の回転枚数で対応できなければ追加枚数が必要になる。

一般的に表現すると非常に複雑になるので、 $b=1, c=1$ とし、 $(c+1)/b=2$ の場合についての説明に留める。2日後の部品の需要量と2日後に追加する臨時かんばんの枚数を、それぞれ $D_2, \Delta N_2$ とする。部品の納入リードタイムが2日なので、部品の納入リードタイム内の需要は、 $D_2 + D_3$ である。2日後に臨時かんばんを追加するとすれば、その分需要が少なくなると考えればよいので、

$$\Delta N_3 = \max \{ [(D_2 + D_3 - \Delta N_2 M) / M] - N_k, 0 \}$$

となる。

毎日 ΔN_3 を求め、 ΔN_3 が正の場合は ΔN_3 枚の臨時かんばんを3日後にかんばんの回転枚数が増加するという処理をする。

e-かんばん方式ではこのようなダイナミックなかんばん枚数の追加を簡単に行うことができる。しかし、この方法において大事なことは、かんばん枚数管理を単にコンピュータ任せにするのではなく、臨時かんばんを発行する場合は日当たりの需要の変動なのか、それとも日当たりの需要の平均が変わったのかを判断して、需要の平均が変更になったのであれば、仕入先に今後の発注量の増加を連絡し、仕入先の対応可否を確認することである。また、需要の平均が変更になれば、かんばんの回転枚数の変更を行う必要がある。

5.3 臨時稼働後の発注量変動への対応

需要が多く受注残を抱えている車両の組立ラインでは、場合によっては非稼働日である土曜日に臨時出勤して組立ラインを稼働する場合がある。仕入先が稼働日と同じように納入する場合は、通常のかんばんで運営できるが、臨時稼働日の必要量を前日までに納入したいというケースも多々ある。この場合は臨時稼働日の必要量を臨時かんばんで事前に発注する。既に述べたように臨時かんばんは、外されると回収されるが次の発注にはつながらない。したがって、臨時稼働日の部品の発注量が多くて、臨時稼働日以降に臨時かんばんが添付された部品が使用されると、その分発注量が減少することになる。臨時稼働日の必要量は予測で算出するため、臨時かんばんの枚数が実際の必要量より多くなる傾向がある。そのため、臨時稼働日以降の最

初の稼働日に発注量が減少するという問題がある。

ところが、e-かんばん方式では通常の運用の中で適切に処理をすることができる。臨時かんばんも回収されるため、臨時かんばんの外れかんばん枚数が把握できる。使用されずにライン側に残っている臨時かんばんの枚数は、

$$(\text{発注枚数}) - (\text{臨時稼働日の外れかんばん枚数})$$

となる。そこで、臨時稼働日以降の最初の稼働日から臨時かんばんも通常のかんばんと考えて、外れかんばんは次の発注につなげる処理をすれば、ライン側に残っている臨時かんばんの枚数分がかんばんの回転枚数として増加したことになる。したがって、臨時稼働日以降の最初の稼働日からこの増加したかんばん枚数をかんばんの回転枚数の減少という処理で対応すればよく、これにより発注量の変動を抑えることができ、効果は非常に大きいものがある。

5.4 1直稼働2直発注の場合

該当の組立ラインの稼働は1直であるが他の組立ラインが2直稼働のため、1直で外れたかんばんを2直にも繰り越して、両直で発注し納入を受ける場合がある。これは仕入先が複数の組立ラインの部品を混載で納入しているために、このような方法を採用する。このケースでは外れたかんばんの発注を繰り越すので、部品の納入リードタイムが長くなり、かんばん枚数の変更が必要になる。

まず初めに、1直稼働2直納入の場合のかんばん枚数の計算方法について考える。毎日 b 回納入されるとする。この場合の発注は次のようになる。

ある日の発注 No. 1 では、回収されているかんばん枚数の半分が発注され、残りの半分が繰り越されて発注 No. 2 で発注される。発注 No. 2 では、回収されているかんばんは同様に半分が発注 No. 3 で、残りの半分が発注 No. 4 でそれぞれ発注される。同様に、発注 No. $b/2$ で回収されているかんばんは発注 No. $b-1$ と No. b で発注される。以上をまとめると、

発注 No. 1 で回収されているかんばんの

発注遅れは、それぞれ 0, 1

発注 No. 2 で回収されているかんばんの

発注遅れは、それぞれ 1, 2

.....

発注 No. $b/2$ で回収されているかんばんの

発注遅れは、それぞれ $b/2-1, b/2$ となる。

発注遅れ 0 の場合のかんばんの遅れ係数をとすると、部品の納入リードタイムは、それぞれ

$$c/b, (c+1)/b, \dots, (c+b/2)/b$$

となる。このように納入リードタイムが一定でなく、複数ある場合のかんばん枚数は、部品の納入リードタイムが最も長い場合の需要にも対応でき枚数が必要となる。したがって、かんばん枚数は最も長い場合の納入リードタイムで計算すればよく、1直稼働で2直発注する場合のかんばんの回転枚数は平均発注枚数を H_T (整数) とすると、

$$H_T(c+b/2+1)=H_T(c+1)+H_Tb/2$$

となり、1日の発注量(納入量)の半分を在庫として追加していることになる。これは発注を遅らせていることに対応するための在庫である。以上のように1直稼働2直発注のかんばん枚数も a, b, c を用いて計算できるので、1直稼働2直発注の場合のかんばんサイクルも $a-b-c$ と表現する。

来月から1直稼働になり、節3.2と同じように今月から来月にかけてかんばんサイクルや平均発注枚数が変更になるとすると、かんばんの回転枚数の増加枚数 ΔN は、

$$\Delta N = H_N(\gamma+1) + H_N\beta/2 - H_T(c+1)$$

となる。かんばんの回転枚数の変更は、その増加枚数のうち、

$$H_N(\gamma+1) - H_T(c+1)$$

は既に述べたかんばんの回転枚数の変更として考えればよい。また、かんばんの回転枚数の増加枚数のうち、 $H_N\beta/2$ は組立ラインの全部品に必要で、仕入先ごとに見るとかなりの量になるため、仕入先の生産や輸送の都合と部品の受け入れ側の対応を勘案して、個別に仕入先と相談して決定せざるを得ない。仕入先ごとに納入量と納入タイミングが決まれば、発注は外れかんばん枚数に追加して発注すればよい。また、部品の納入リードタイムが長くなるので、安全枚数も変更する必要がある。

6. 管理の充実

e-かんばん方式はかんばんの枚数管理以外の効果も大きいので、その主なものをあげておく。

6.1 かんばんの表記項目の追加

かんばんをその都度作成するので、かんばんに納入日と1日の何回目の納入かを示す納入 No. を記載すると、ライン側の部品箱のかんばんを見れば

(a) 部品の使用に関する先入れ先出しの実施状況がわかることになる。また、先入れ先出しが実施されていると、かんばんの納入日や納入 No. から

(b) ライン側在庫の過大状況

(c) 使用量の少ない部品の動きなども簡単にわかるようになる。

部品単位の連番をかんばんに記載しこの連番をコンピュータに記録させると、かんばんの発行状況がわかる。かんばんが回収されたらこの連番を読み、コンピュータのデータと照合させると、

(d) 現在流通しているかんばん枚数の把握が可能である。また、

(e) 長期間回収されていないかんばんの把握もできる。これはかんばんを紛失したのか、それとも先入れ先出しが行われていないためなのかを調査する必要がある。さらに、

(f) 1日の終わりなどで外れたかんばんを回収し、かんばんリーダに読ませることにより、理論上のライン側在庫の計算や問題部品の早期把握などが可能で、少しの工夫で管理の充実を図ることができる。

6.2 かんばんの表記項目の変更への対応

かんばんには部品置き場などがあり、現場作業の指示にもなっている。改善により部品の置き場が変更になればかんばんの表記項目の変更が必要で、かんばんを交換しなければならない。従来のかんばんの表記項目の変更は、流通しているかんばんでまだ表記項目が変更されていないかんばんを見つけて、かんばんを取り替えるという作業が必要であった。しかし、e-かんばん方式では発注やかんばんの発行時に合わせてマスタデータを変更すればよく、簡単に常に正確なかんばんにすることができる。このことは非常に単純なことであるが、現場のかんばんの管理ではたいへん大きな効果がある。

6.3 タイムリな情報活用

e-かんばん方式では仕入先はリアルタイムに受注情報が把握できるため、売上の把握、生産や在庫へのフィードバックなどタイムリな情報活用が可能になる。

7. おわりに

e-かんばん方式の運用の基本である、かんばん枚数の変更方法とその応用事例について検討した。そしてこの方法を織り込んだシステムを開発し、従来手作業で行っていたことをコンピュータで行うようになり、適切で確実なかんばん管理ができ、e-かんばん方式の運用の最適化が図られつつある。

しかし、e-かんばん方式も発注の基本は外れかん

ばん枚数であり、外れかんばん枚数の平準化は今後も大切である。また、e-かんばん方式は

(1) 多数の人が運用するシステムとしては非常に複雑になり、よく理解して運営している人が限られ、システムがブラックボックスになる。

(2) 発注の仕組みが見えないため、製造部署が部品を単に使用するだけになりやすく、欠品などの問題の早期発見が困難になる。

などの問題が発生しやすい。e-かんばん方式のシステムの高度化は今後も続くが、これらの問題が起こらないように努力することが求められている。

最後に、日頃ご指導いただいております名古屋工業大学生産システム工学科の大野勝久教授に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 門田安弘, 「新トヨタシステム」, 講談社, (1991).
- [2] 小谷重徳, 「かんばん方式の数理」, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 32, No. 11, (1987), pp. 730-738.
- [3] Bitran, G. R. and Chang, L., 「A mathematical programming approach to a deterministic kanban system」, Management Science, Vol. 33, No. 4, (1987), pp. 427-441.
- [4] 大野勝久編, 「JIT 生産システムの数理」, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 47, No. 4, (2002), pp. 206-242.
- [5] 小谷重徳, 「混合ラインへの投入順序づけの近似解法」, トヨタ技術, Vol. 33, No. 1, (1983), pp. 31-38.