

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.3 (1971) No.1

生産予測から納期指定までの一貫化モデルによる在庫管理法—定盤購買計画法を事例として—

Inventory Control System by the Throughout Process Model Which Decide Production Quantity and Finally Due Date -as an Example "Programming for Purchase of Stools"-

太田 豊彦(Toyohiko Ota) 三平 武男(Takeo Mihira) 田原 博信(Hironobu Tahara)
森田 昭一郎(Shoichiro Morita)

要旨：

従来在庫管理を構成する主要因として、発注費在庫保管費、品切れ損失費などであったが、それらはいずれも測定が難しく、さらに需要予測の難しさがあるため、どんぶり勘定的在庫管理がなされがちであった。この点を反省し、予測には誤差がつきものであるが、前提を明確化すればフォローがしやすいとの考えから、先づ需要予測に関しては汎用予測シミュレーダを開発した。また、購入量決定方式についても従来の考え方にはとらわれず、生産量に応じた必要常備数を導くルールを算出し、時系列的廃却予想に基く納期、納入量指定を行なう在庫管理法を確立した。この考え方に基づく事例として在庫量を半減した定盤購買計画法を示す。

Synopsis：

Hitherto, main factors of inventory control system were usually ordering cost, holding cost, shortage cost and so on. It was difficult to measure these factors, and above all, demand forecasting was hardly possible. The result was a tendency toward a wayward and blassed attitude in the inventory control. Though forecasts are liable to error, they can easily be rectified under quantitative assumptions. Based on this viewpoint, the authors have developed the General Purpose Forecast Simulator to forecast the demand. As for purchase programming, too, the authors, without prepossession of popular theories, established a new inventory control system in which a rule has been setup for determining a standing number according to production quantities, and for forecasting the scraps on time series. As an explanation of a merit of the new inventory control system, the report includes an example of application whereby a stock level of stools was reduced by half through the programming of the purchase of stools.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

生産予測から納期指定までの一貫化モデルによる在庫管理法 ——定盤購買計画法を事例として——

Inventory Control System by the Throughout Process Model Which Decide
Production Quantity and Finally Due Date

——as an Example "Programing for Purchase of Stools"——

太 田 豊 彦*

Toyohiko Ota

三 平 武 男**

Takeo Mihira

田 原 博 信***

Hironobu Tahara

森 田 昭 一 郎***

Shoichiro Morita

Synopsis :

Hitherto, main factors of inventory control system were usually ordering cost, holding cost, shortage cost and so on. It was difficult to measure these factors, and above all, demand forecasting was hardly possible. The result was a tendency toward a wayward and blassed attitude in the inventory control. Though forecasts are liable to error, they can easily be rectified under quantitative assumptions. Based on this viewpoint, the authors have developed the General Purpose Forecast Simulator to forecast the demand. As for purchase programming, too, the authors, without prepossession of popular theories, established a new inventory control system in which a rule has been setup for determining a standing number according to production quantities, and for forecasting the scraps on time series.

As an explanation of a merit of the new inventory control system, the report includes an example of application whereby a stock level of stools was reduced by half through the programming of the purchase of stools.

1. 概 要

従来在庫管理を構成する主要因として、発注費、在庫保管費、品切れ損失費などであったが、それらはいづれも測定が難しく、さらに需要予測の難しさがあつた。したがってどんぶり勘定の在庫管理がなされがちであった。この点を反省し、予測には誤差がつきものであるが、前提を明確化すればフォローがしやすいとの考えから、先ず需要予測に関しては汎用予測シミュレータを開発し

た。また、購入量決定方式についても従来の考え方にはとらわれず、生産量に応じた必要常備数を導くルールを算出し、時系列的廃却予想に基づく納期、納入量指定を行なう在庫管理法を確立した。この報告ではこの考え方に基づく事例として在庫量の半減に成功した定盤購買計画法について述べる。ここで定盤とは溶鋼を鋳型に注入する際鋳型の下に敷く台のことである。

定盤購買計画システムは大別して次の5部門から成っている。

(1) 生産量予測部門

* 千葉製鉄所製鋼部部長
*** 千葉製鉄所企画部能率課

** 千葉製鉄所企画部能率課課長

- (2) 常備数決定部門
- (3) 修理予備数決定部門
- (4) 消耗廃却計算部門
- (5) 納入時期別納入量決定部門

生産量予測とは購買計画立案の対象となる期間の月別定盤別平転炉別鋼種別鋼塊生産量を予測することである。これは汎用予測シミュレータ (GPFS) による予測計算に始まり、関係部課の協議による修正、本社総括課計画と一致させるための調整を経て決定される。

常備数決定とは、計画された生産を達成するためにつねに使用可能な状態で確保しておくべき定盤枚数をいい、定盤別に生産量に応じて定められる。

修理予備数決定とは、常備数をつねに確保するためには所内にどれだけの枚数を常備数の他にもたねばならないかを定めることをいう。修理予備数は定盤別に生産量に従って決定される。

消耗廃却計算とは、生産を達成する過程でいつ何枚の定盤が廃却されてゆくかの計算をいう。この計算は時系列的定盤年令構成と寿命分布より計算される。

納入時期別納入量決定とは、当所としていつ何枚の定盤を納入してもらいたいかを決定するもので、定盤別に半月ごとの納入枚数を決定することをいう。

以上が概要であるが、その大部分は鑄型購買計画の考え方を採用したものであり、両購買計画は対象が鑄型と定盤で異なるだけで基本的考え方は同じと考えて良い。ただし、定盤購買計画の方が

幾分複雑になっているが、その理由としては定盤に対する鑄型の対応関係が多いこと、20T定盤に関しては、20Tのまま寿命となり廃却されるものと、20Tから途中でW8Tへ変換して使用されW8Tとして廃却されるものがあり、後者の場合、W8Tの何回の使用のところにいつ投入するかという問題が生ずることの2点が挙げられる。

図1に定盤の流れを、図2に定盤購買計画システムの概略フローを示す。

2. 定盤別鋼塊生産量予測方式について

2.1 汎用予測シミュレータ GPFS¹⁾²⁾

2.1.1 GPFS 概説

当社のGPFSは生産量予測決定問題を含め、種々の予測を行なうために役立ち得るように筆者らが作成した一つの汎用シミュレータである。予測方式としては

- (1) 単純移動平均法
- (2) 最小自乗法の傾向をもった単純移動平均法
- (3) 二重移動平均法
- (4) 一次指数平滑法
- (5) 二次指数平滑法
- (6) 二重指数平滑法
- (7) 三重指数平滑法

の7種を考え、どのような時系列データについても各種の予測方法を検定し、予測誤差の標準偏差を測定し、予測誤差の最小標準偏差という意味でどの方法がその時系列に対して最適であるかを決定することを考え方の基本としている。指数平滑法についてちょっと触れておこう。GPFSの7種類の予測法の中には含まれていないが指数平滑法の中で最も簡単な単純指数平滑法について例をとってみる。単純指数平滑法とはつぎのような方式で予測する方法をいう。すな

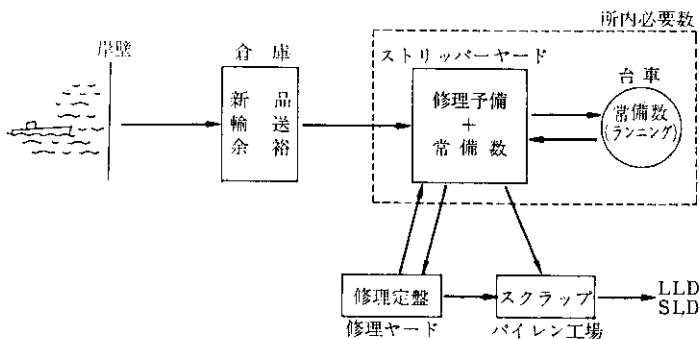


図1 定盤の流れ

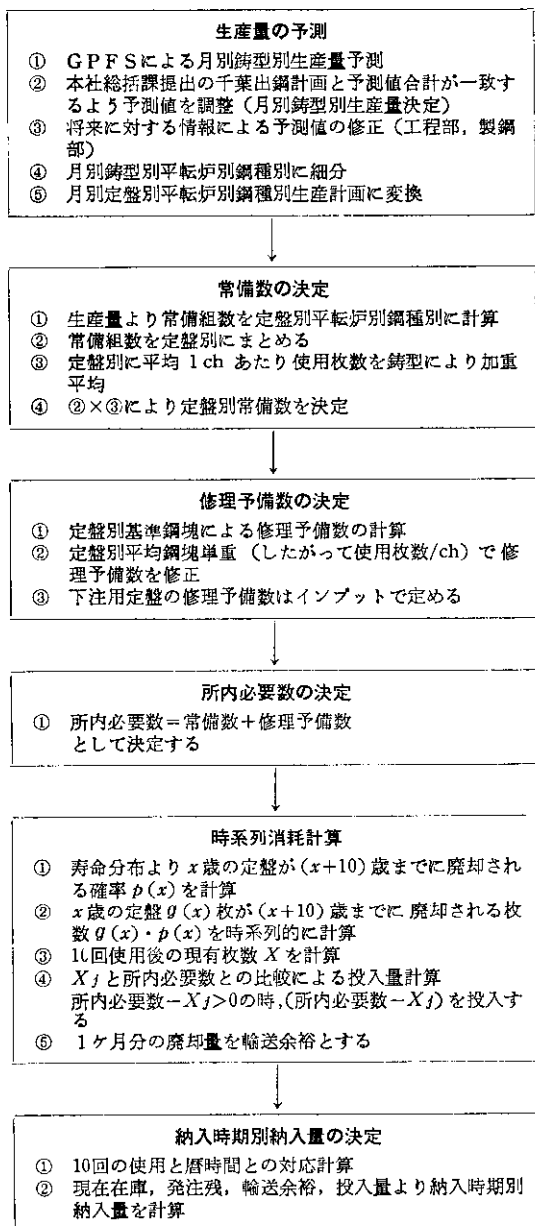


図 2 定盤購買計画システム概略フロー

わち、

X_t : t 期における時系列の観察値

α : 平滑化定数 $0 \leq \alpha \leq 1$

$\hat{X}_{t+L}$: $(t+L)$ 期の予測値

としたとき

$$S_2 = (X_2 + X_1) / 2 \text{ とおき}$$

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) S_{t-1} \text{ で定義し}$$

$$\hat{X}_{t+L} = S_t$$

として予測する方法である。

もう少し直観的にこの予測法を見直してみよう。

$$\begin{aligned} \hat{X}_{t+L} &= S_t \\ &= \alpha X_t + (1 - \alpha) S_{t-1} \\ &= \alpha X_t + (1 - \alpha) \{ \alpha X_{t-1} + (1 - \alpha) S_{t-2} \} \\ &= \alpha X_t + \alpha(1 - \alpha) X_{t-1} + (1 - \alpha)^2 S_{t-2} \\ &\vdots \\ &= \alpha X_t + \alpha(1 - \alpha) X_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 X_{t-2} + \cdots \\ &\quad \cdots + \alpha(1 - \alpha)^k X_{t-k} + (1 - \alpha)^{k+1} S_{t-k-1} \end{aligned}$$

と書ける。

すなわち、

最新のデータ X_t に対する重みは α

1 期前のデータ X_{t-1} に対する重みは $\alpha(1 - \alpha)$

2 期前のデータ X_{t-2} に対する重みは $\alpha(1 - \alpha)^2$

$\vdots$

k 期前のデータ X_{t-k} に対する重みは $\alpha(1 - \alpha)^k$

のように、過去のデータに重みづけを行ない、その期待値で将来を予測しようとすることを考え方の基本としているのである。上記からもわかるとおりここで問題になるのが、各データに対する重みづけの基本となる平滑化定数 α の選び方である。平滑化定数として小さい値、たとえば $\alpha = 0.01$ を選ぶと応答は遅くゆるやかなものとなる。なぜなら非常に長期にわたる平均をもとにして計算されることになるからである。 $\alpha = 0.5$ のような大きな値をとると、実際の変化に対する応答だけでなく、ランダムな変動に対する応答も早くなる。平滑化定数の値をきめるもっとも確かな 1 つの方法はいろいろの違った値の α をとり実際のデータを用いて何回もためてみることである。しかしこれは計算時間も多く、コスト高の方法である。そこで α がその時々に応じて、適当に自動的に変わる方法、すなわち adaptive control する方法を考え出すことが要求された。この問題に対しては Chow³⁾ の考え方を発展させてつぎのような方法で解決を与えた。

2.1.2 平滑化定数 α の Adaptive Control 方式について

(1) 最初の α の定め方

任意の α_0 を与えさらに適当に小さい $\Delta\alpha$ を与える。GPF S では $\Delta\alpha$ を任意に与えることが出来るが鋼塊生産量予測を行なう際は、 $\Delta\alpha = 0.05$ としている。 α_0 を $\alpha_0 = 0.5$ とした場合はつぎのよう

にして最初の α を決める。 $\alpha_0=0.5$ を中央にして

$$\begin{cases} \alpha_0 - \Delta\alpha = 0.45 \\ \alpha_0 = 0.50 \\ \alpha_0 + \Delta\alpha = 0.55 \end{cases}$$

を求め 0.45, 0.50, 0.55 の 3 種の α で実績値のわかっているデータに対する予測を行ない 3 種の誤差を計算する。

$\alpha=0.45$ に対する誤差が 1 番小さければ, 0.45 を中央にして

$$\begin{cases} 0.45 - 0.05 = 0.40 \\ 0.45 = 0.45 \\ 0.45 + 0.05 = 0.50 \end{cases}$$

を求め 0.40, 0.45, 0.50 の 3 種の α で予測をやり直す。このとき 3 種の誤差の中で $\alpha=0.40$ に対する誤差が 1 番小さければ同様に 0.40 を中央にして

$$\begin{cases} 0.40 - 0.05 = 0.35 \\ 0.40 = 0.40 \\ 0.40 + 0.05 = 0.45 \end{cases}$$

を求め 0.35, 0.40, 0.45 の 3 種の α で予測をやり直す。このとき 3 種の誤差の中で $\alpha=0.40$ に対する誤差が 1 番小さければ, 0.40 は 0.35, 0.45 の中央の数であるので, 最初の α を 0.40 として定める。すなわち 3 種の α ($\alpha - \Delta\alpha$, α , $\alpha + \Delta\alpha$) の中で最小誤差を与える α が中央にくるまでくり返しその時の中央の α の値を最初の α とするのである。ただし, $\alpha=0$ または $\alpha=1$ の時の誤差が最小誤差を与えるときは $\alpha=0$ または $\alpha=1$ は中央の α ではないが最初の α として $\alpha=0$ または $\alpha=1$ を採用する。

(2) 予測計算遂行途中の α の定め方

上記の方法で定った最初の α を α_1 とする。第 2 番目の予測時の $\alpha=\alpha_2$ はつぎの 3 通りの α , すなわち

$$\alpha_1 - \Delta\alpha$$

$$\alpha_1$$

$$\alpha_1 + \Delta\alpha$$

の 3 種で予測を行ないその中で最も予測誤差の小さなものを α_2 とする。以下 $\alpha_3, \alpha_4, \dots$ は同様の方法で定めてゆく。

2.2 予測のための層別

定盤購買計画立案は鑄型購買計画と同様, 予測

シミュレータによる鋼塊生産量の予測に始まる。予測は過去の月別鑄型別鋼塊生産実績の時系列データを用い, 購買計画立案の対象となる期間について月別鑄型別に行なわれる。一方, 購買計画に必要な鋼塊生産計画は月別定盤別平転炉鋼種別に必要なので予測値はさらに平転炉鋼種別に細分された後, 鑄型別から定盤別へ変換せねばならない。

定盤別の予測を直接行なわずに先ず鑄型別に行なった後, 定盤別に変換する理由は, 定盤別の生産量を予測し難いためと, 鑄型購買計画と共用の予測を行なうことにより両購買計画の統一をはかるためである。

2.3 月別, 鑄型別, 平転炉別, 鋼種別, 生産計画の作成

予測の第 1 段階では鑄型購買計画と共用の月別鑄型別生産計画を作成する。ここでは過去の月別鑄型別鋼塊生産実績の時系列データから購買計画立案対象となる期間について月別鑄型別鋼塊生産量を汎用予測シミュレータ (GPFS) により統計的に予測する。結果を鑄型に関して加え合せると月別鋼塊生産量になるが, この値が本社総括課の「月別千葉出鋼計画」の値に等しくなるように後者を月別鑄型別生産量予測値の比で鑄型別に配分することにより月別鑄型別生産計画が作成される。

予測の第 2 段階では月別鑄型別生産計画をさらに平転炉鋼種別に細分する。すなわち同一鑄型の月間生産量を転炉キルド, 同キルド以外, 平炉キルド, 同キルド以外, 同下注に分ける。細分の方法は同一鑄型の月間生産量における上記細目別の生産比を過去の実績平均より決定し, この比率で配分する。

2.4 鑄型別から定盤別への生産計画変換

予測の第 3 段階では鋼塊生産計画を購買計画インプット用として鑄型別から定盤別へ変換する。ここで必要な鑄型と定盤の対応関係は表 1 で与えられる。W 8 T と 5 T はともに上注小型鑄型と対応して分離がなされないが, 定盤別の生産量は両定盤の鋼塊生産本数実績比 (約 0.95 : 0.05) で上

表 1 定盤と鋳型との対応関係

定 盤	注入方法	対 応 鋳 型
20T	上 注	C24FR _{1.9} , C23FR _{1.7} , C22FR _{2.0} C22FR _{1.4} , CC22FR _{1.7} , CC21FR _{1.4} C19FR _{1.6} , C18FR _{1.1} , CC18FR _{1.1}
W8T, 5T	上 注	CC14FR _{0.7} , C11FR _{1.3} , CC11FR _{1.3} M11C, C9FR _{1.0} , CC9CR _{1.0} C7C _{0.8} , CC7FR _{0.8} , C6C _{0.7} CC5FR, KVH7, KVH5
DS75t	下 注	KVH7, KV3S
DS160t	下 注	KV4S, S5.0V
DSR	下 注	DS75t, DS160t の使用鋳型以外
KVH10	上 注	KVH10

注 小型鋼塊生産量を配分することにより定める。

以上の段階を経て得られた結果を購買計画に必要な鋼塊生産計画としている。

2.5 鋼塊生産計画の安全余裕について

上述の方法で定められた鋼塊生産計画はあくまでも予測値であり、予測どおりの生産が行なわれないのはもちろんのこと、予測値にある程度の余裕をつけ加えておかないと危険である。一方、この余裕を多くとりすぎると結果として過剰な定盤の在庫を持つことになり好ましくない。安全余裕をどの程度にすべきかはさらに検討を要する問題であるが、ここでは漸定的に予測値の10%として与えている。

3. 常備数決定方式について

ここでいう常備数とは鋼塊生産計画を達成するのに必要十分で、つねに使用出来る状態、あるいは使用中の定盤数をいい、修理のための予備や、入荷遅れに対する余裕を含まない数をいう。

3.1 常備数決定ルール

3.1.1 常備組数決定ルール

定盤は鋳型のようなグループ管理ではなく、1枚ごとに管理されているが、ここではシミュ

レーションの便宜上1チャージ当りの使用枚数を1組とし、シミュレーションでは生産量に対応した常備組数を求め、これをルール化した。常備組数は定盤別平転炉別鋼種別に表2のとおりとなった。

3.1.2 常備枚数決定ルール

鋼塊生産量に対応して常備組数が決定されたら組数を枚数に換算せねばならない。その換算は

$$(\text{常備枚数}) = (\text{常備組数}) \times (\text{平均1チャージ当り使用枚数})$$

として行なう。上式の計算方法は平転炉別に同じ方法で次のとおりである。

今、鋳型、定盤、鋼種をそれぞれ添字 i, j, k で表わし、

m_{ij} : 第 i 鋳型 第 j 定盤で出鋼したときの定盤使用枚数 (枚/charge)

n_{ij} : 第 i 鋳型 第 j 定盤の計画鋼塊生産本数 (本/month)

q_{jk} : 第 j 定盤 第 k 鋼種の平均常備組数 (組)

とすると定盤別平均1組枚数 $\bar{m}_{\cdot j}$ は m_{ij} を n_{ij} で加重平均して次式で与えられる。

$$\bar{m}_{\cdot j} = \frac{\sum_i m_{ij} \cdot n_{ij}}{\sum_i n_{ij}}$$

また、 q_{jk} は鋼塊生産計画を与えることにより表2より得られる。必要組数を定める際の安全余裕は定盤別平転炉別として鋼種に対してはまとめて与えてよいと考えられるので、必要組数を $\tilde{q}_j$ として次式で与える (3.2 参照)。

$$\tilde{q}_j = \sum_k q_{jk} + 3 \sqrt{\sum_k q_{jk}}$$

したがって、常備枚数 Q_j は

$$Q_j = \bar{m}_{\cdot j} \tilde{q}_j$$

表 2 常備組数計算式 (シミュレーション結果による)

工 場	鋼 種	平均組数 (組)	必要組数 (組)	定 盤
転 炉	上注 リ セ ミ キ ル ド	0.603P	$0.603P + 3\sqrt{0.603P}$	20T, W8T, 5T, KVH10
	上注 キ ル ド	1.019P	$1.019P + 3\sqrt{1.019P}$	"
平 炉	上注 リ セ ミ キ ル ド	0.724P	$0.724P + 3\sqrt{0.724P}$	DS75t, DS160t DSR75t, DSR160t
	上注 キ ル ド	1.103P	$1.103P + 3\sqrt{1.103P}$	
	下 注	1.665P	$1.665P + 3\sqrt{1.665P}$	

P: 定盤別鋼塊生産量 ($\times 10^4$ t/month)

として求められる。

なお、5 TについてはW 8 Tの常備枚数に、W 8 Tに対する5 Tの生産本数比を乗じ、その2倍（W 8 Tは鋼塊2本立、5 Tは1本立）を常備枚数とする。

$$Q_{5T} = Q_{W8T} \times \frac{N_{5T}}{N_{W8T}} \times 2$$

3・2 常備数決定ルール算出の根拠（シミュレーションモデル、前提条件とその結果）

シミュレーションの目的は毎月の平転炉別鋼種別鋳型別生産計画が与えられたときの常備組数を決定することである。常備枚数は常備組数より3・1・2に述べた方法で決定される。ここでは常備組数決定ルール算出のためのシミュレーションモデルの種々の判定あるいは決定項目を列挙しておく。

出鋼時刻の決定

出鋼されたチャージの鋼種、鋳型の決定

使用定盤の決定

定盤サイクルタイムの決定

なお、モデルフローの例としてLD（転炉）の場合を図3に示す。

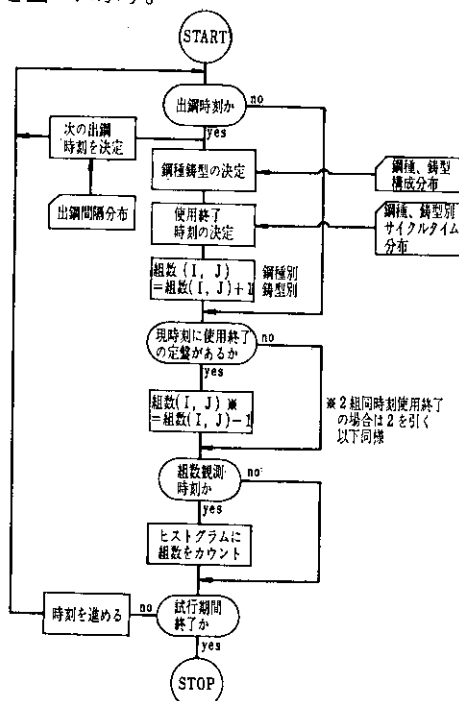
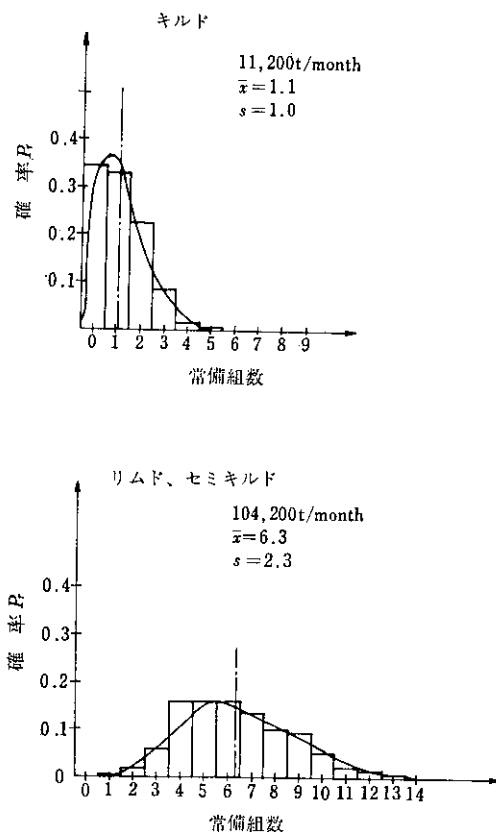


図3 常備組数決定モデルフロー（LDの場合）

シミュレーションの結果得られた各生産ベースに対する常備組数分布の一例を図4に示す。シミュレーションで得られた同時使用組数分布（ヒストグラム）はその平均値を母数とするポアソン分布（曲線）に非常によく近似される。そこで、常備組数分布はその平均組数を母数とするポアソン分布に従うものとした。そこで先ず生産ベースと母数（平均組数）との関係を求めると、表2の平均組数に示されるように原点を通る一次式関係が得られた。係数が平転炉別鋼種別に異なるのはサイクルタイムの差によるものと考えられる。



（注）曲線は $\bar{x}$ を母数とするポアソン分布である。

図4 転炉の各生産ベースに対する常備組数ヒストグラム抜粋

シミュレーションで得られた同時使用組数分布（ヒストグラム）はその平均値を母数とするポアソン分布（曲線）に非常によく近似される。そこで、常備組数分布はその平均組数を母数とするポアソン分布に従うものとした。そこで先ず生産ベースと母数（平均組数）との関係を求めると、表2の平均組数に示されるように原点を通る一次式関係が得られた。係数が平転炉別鋼種別に異なるのはサイクルタイムの差によるものと考えられる。

次に、必要常備組数をいかにして定めるかという問題になるが、ここでは $3 \times$ （標準偏差）を平均組数に加える方式を採用した。ポアソン分布では標準偏差は平均値の平方根に等しくなることを

利用すれば

$$\text{必要組数} = \text{平均組数} + 3\sqrt{\text{平均組数}}$$

となる。表2はこのような考えに基き得られたものである。

3.3 サイクルタイムと常備組数との関係

常備組数は表2に示されるように、平転炉鋼種別に生産量の函数として求められる。ここで平転炉鋼種別に層別する理由はそれぞれサイクルタイムが異なるからであり、サイクルタイムは表2の常備組数決定式において生産量 P の係数を決定する。ここでは生産量が一定のとき、サイクルタイムの変化は常備組数にどのような影響をもたらすかについて、サイクルタイムと係数との関係を検討する。

表3は平転炉鋼種別にサイクルタイム（平均）

表3 サイクルタイムと係数

炉	鋼 種	平均サイクル タイム (min/回)	X の係数
転 炉	上注 リ ム ド	430	0.603
	上注 セ ミ キ ル ド	685	1.019
平 炉	上注 リ ム ド	480	0.724
	上注 セ ミ キ ル ド	746	1.103
	下 注	1,115	1.665

と係数を対応させたものであり、両者の間には

$$(P \text{ の係数}) = 1.52 \times 10^{-3} T$$

ただし、

T : 平均サイクルタイム (min/回)

の関係が得られる。

したがってどのようなサイクルタイムの定盤でもその平均サイクルタイムと生産量が既知であれば、表2の常備組数決定ルールは次のように変形される。平均組数 R は

$$R = 1.52 \times 10^{-3} T \cdot P$$

3σ の余裕を含んだ必要組数 R は

$$R = 1.52 \times 10^{-3} T \cdot P + 3\sqrt{1.52 \times 10^{-3} T \cdot P}$$

となる。

4. 修理予備数決定方式について

3.で定めた常備数がつねに使用可能な状態で確保されていれば正常な鋼塊生産が維持されるが、要修理の定盤を黒鉛取替、穴埋めなどの修理に出しても使用可能な定盤が常備数だけ確保されるためには、修理に出した枚数だけの不足分を補充せねばならない。ここでいう修理予備数とは定盤の修理出しにより生ずる不足数を常備数だけつねに確保するために予備として持つべき定盤数をいう。

修理予備数は鋼塊生産ベースにより自ら変わってくるがその関係はシミュレーションにより定量化した。シミュレーションの第1段階では鋼塊生産ベースと修理出し枚数との関係を、第2段階では修理出し枚数と修理予備数との関係を求めた。

なお、下注用定盤のDS (75 t用), DS (160 t用), DSR (75 t用), DSR (160 t用)および、上注用定盤のうち、KVH10については使用枚数がきわめて少なく(5種合計で全体の3%弱)、修理予備数決定方式は上注用定盤の20T, W8T, 5Tについて定めた。

4.1 生産量と修理出し枚数の関係について

4.1.1 シミュレーション結果

P : 鋼塊生産量 ($\times 10^4$ t/month)

Y_P : 平均修理出し枚数 (枚/day)

とする時、 Y_P は

$$20T \quad Y_P = 0.76 P + 0.40$$

$$W8T \quad Y_P = 0.60 P - 0.25$$

$$5T \quad Y_P = 0.56 P - 0.26$$

できわめてよく近似された。

さらに修理出し枚数の分布は正規分布およびポアソン分布に近似できた。

$$20T \quad N(0.76 P + 0.40, (0.76 P + 0.40)^2)$$

$$W8T \quad N(0.60 P - 0.25, (0.60 P - 0.25)^2)$$

$$5T \quad \text{Poisson}(0.56 P - 0.26)$$

4.1.2 シミュレーションモデル

1枚の定盤を連続使用して W (t/day) 生産す

る場合を考える。

r : W (t/day) 生産する場合の修理出し回数

N_i : 第 $(i-1)$ 回と第 i 回の修理出しの間における使用回数

w : 1 回使用当りの鋼塊生産量 (t/回)

とすると

$$(N_1 + N_2 + \dots + N_k) \cdot w \leq W < (N_1 + N_2 + \dots + N_{k+1}) \cdot w$$

が成立つ。上式を満足する r が 1 枚の定盤を用いて W (t/day) 生産する場合の修理出し回数となる。

シミュレーションでは 1 枚の定盤を仮定したが r の解釈としては、1 枚使用の場合に限定せず、 W (t/day) 生産する場合の修理出し枚数とすることができる。

4.2 修理出し枚数(枚/day)と修理予備数(枚)との関係について

M : もつべき修理予備数

x_i : 第 i 日の修理出し枚数

y_i : 第 i 日の初期在庫に第 i 日の修理あがりを加えた枚数

とすれば、常備数の中、修理に出したものは修理予備から補給するから第 i 日の修理予備残は $M' + y_i - x_i$ となる。

50~100 日間位の試行で、修理予備残 $M' + y_i - x_i$ がつねに正すなわち、 $M' + y_i - x_i > 0$ が満足されるような最小の自然数 M' を M とする。記号で表現すれば

$$M = \text{Min}\{M' | M' + y_i - x_i > 0, \\ M': \text{自然数}, i=1, \dots, 100\}$$

である。3. で定めた常備数 Q をつねに確保するための所内必要枚数を S とすれば

$$S = Q + M$$

として求められる。

4.3 生産ベースと修理予備数との関係について

4.1 より、ある生産ベースに対応して修理出し枚数(枚/day)の分布が求められ、したがって x_i が定まる。さらに修理所要日数分布(実績データの分布)より y_i が定まり、したがって 4.2 のシミュ

レーションに従った修理予備数 M を求めることが出来る。したがって 4.1 に述べた生産量と修理出し枚数の関係と 4.2 に述べた修理出し枚数と修理予備数との関係を合成することにより、生産ベースと修理予備数との関係が得られる。

(図 5 参照)

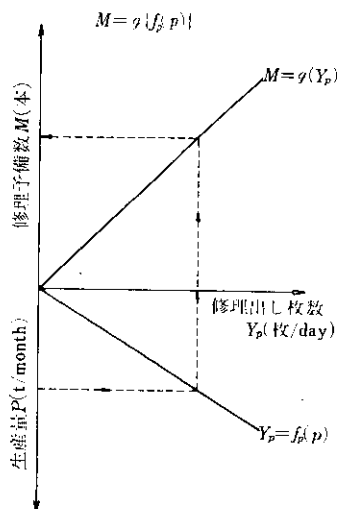


図 5 生産量から修理予備数を求める方法

5. 時系列的消耗量予測方式および投入量決定方式について

5.1 定盤年令別廃却率の決定方式

定盤が新品の状態から使用され始め、途中数回の修理を経て廃却に到るまでの過程を使用回数で表わしこれを定盤年令と呼ぶ。また廃却されるときの使用回数を寿命と呼ぶ。ここで

x : 定盤年令

$f(x)$: 定盤寿命の確率密度関数

とすると、年令 x である定盤が今後 x_0 回使用される間に廃却される確率 $P_r(x)$ は

$$P_r(x) = \frac{\sum_{x=x}^{x+x_0} f(x)}{\sum_{x=x}^{\infty} f(x)}$$

で与えられる。

定盤別に寿命分布を実績データから作成してみると、いずれも正規分布によく近似出来ることが知られた。そこで $f(x)$ は寿命分布から得た平均値、分散をもとにした正規分布として取扱っている。

また x_0 は $x_0=10$ とし $P_r(x)$ はシンプソン公式を使用して計算している。

5.2 時系列的消耗量予測方式および投入量決定方式について

基本的な考え方は常備数 Q および修理予備数 M の和 S すなわち $S=Q+M$ をいついかなるときでもつねに確保するということである。そのためには、次のような理由で、いつ何枚の定盤が廃却されるかの予測が必要となってくる。新品を含め実績在庫を Z とすると、

(1) $S=Z$ のとき

廃却が1枚でもあれば必要数 S を確保できなくなってしまう。この場合には n 枚の廃却があれば直ちに n 枚の新品を導入できるような手段（購買計画）を講じておかねばならない。このためにはあらかじめいつ何枚の定盤が廃却されるかを予測する必要がある。導入された新品数を投入量と呼ぶと

投入量=廃却量
なる関係式が成立する。

(2) $S<Z$ のとき

このときは廃却が1枚あっても、在庫量が必要数 S 以上であるのですぐに新品を導入する必要はない。しかし、新品を全然導入しなければいつかは在庫量が S を下回ってしまう。いつから投入を開始しなければ S を保つことができないかを把握するためには、あらかじめいつ何枚の定盤が廃却されるかを予測する必要がある。この場合には

投入量<廃却量
である。正確には

$$\text{投入量} = \text{Max}(0, \text{廃却量} - (Z - S))$$

である。

(3) $S>Z$ のとき

このときは、廃却が1枚もなくとも在庫量が必要数以下であるので、ただちに $(S-Z)$ 枚は投入せねばならない。その後は(1)と同様であり、

したがってあらかじめいつ何枚の定盤が廃却されるかを予測する必要がある。この場合は

投入量>廃却量

である。正確には

$$\text{投入量} = \text{投入量} + (S - Z)$$

である。

消耗量および投入量決定方式の一般論を述べる前にまず数値例（表4）を示そう。

第(1)列は、定盤の年令を示している。（0は新品を示す）

第(2)列は、計画開始時点のある定盤の年令別枚数を示している。たとえば1～10才の定盤は15枚11～20才の定盤は17枚あることを示している。全体では317枚ある。

第(3)列は、年令別に今後10回使用される間に廃却される確率を示している。たとえば41～50才の定盤は今後10回使用される間に、3.95%が廃却されることを示している。

第(4)列は、10回使用後の年令別廃却数を示している。

$$(\text{第(4)列}) = (\text{第(2)列}) \times (\text{第(3)列})$$

で計算される。

第(5)列は、10回使用後の年令別枚数を示してい

表4 時系列的廃却量、投入量計算数値例

(1)	(2)	(3)	10回使用後				20回使用後			
			(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
x	$g_0(x)$	$p_r(x)$	$h_1(x)$	$g_0(x)/h_1(x)$	$S-X_1$	$g_1(x)$	$h_2(x)$	$g_1(x)/h_2(x)$	$S-X_2$	$h_2(x)$
0	—	—	—	—	34	—	—	—	67	—
1~10	15	0	—	15	—	34	—	34	—	67
11~20	17	0	—	17	—	15	—	15	—	34
21~30	15	0.002	0	15	—	17	—	17	—	15
31~40	25	0.011	0.3	24	—	15	0.2	14	—	17
41~50	19	0.0395	0.8	18	—	24	0.9	23	—	14
51~60	43	0.1086	4.7	38	—	18	2.0	16	—	23
61~70	62	0.2225	13.8	48	—	38	4.8	29	—	16
71~80	45	0.3623	16.3	28	—	48	17.4	30	—	29
81~90	35	0.5060	17.7	17	—	28	14.2	13	—	30
91~100	28	0.6280	17.6	10	—	17	10.7	6	—	13
101~110	9	0.7237	6.5	2	—	10	7.3	2	—	6
111~120	2	0.8095	1.6	0	—	2	1.6	0	—	2
121~130	2	1.0	2.0	0	—	0	0	0	—	0
131~140	0	1.0	0	0	—	0	0	0	—	0
計	317 = X_0			232 = X_1		266 = S		199 = X_2		266 = S

る。

(第5列)=(第2列)-(第4列(切上げ))

で計算される。

第(6)列は、10回使用する間に投入すべき量を示している。この場合は、 $S=266$ に対し10回使用後の定盤枚数は232(第(5)列の計)なので

$$266-232=34$$

が投入量として書かれている。

第(7)列は、10回使用後の実際の年令別枚数を示している。各定盤とも一様に使用されると仮定され、したがって第(5)列の枚数がそのまま10才ずらされた位置にきている。

以下同様に

(第8列)=(第7列)×(第3列)

(第9列)=(第7列)-(第8列(切上げ))

(第10列)= $S(=266)$ -(第9列の計)

(第11列)=第(9)列を10才ずらしたものと

として計算される。

以上の数値例の考え方を一般的にまとめるとつぎのようになる。

$g_0(x)$: 購買計画を立案する時点における年令 x のものの定盤枚数

$g_j(x)$: 購買計画立案開始時点から、各定盤が $10 \times j$ 回使用された後の年令が x であるものの定盤枚数

S : 必要枚数 ($=Q+M$)

$h_j(x)$: 購買計画立案開始後 $10(j-1)$ 回使用後の年令が x である定盤が $10(j-1)$ 回から $10 \cdot j$ 回使用される間に廃却される枚数

$$h_j(x) = g_{j-1}(x) \times P_r(x)$$

X_j : 購買計画立案開始後 $10 \cdot j$ 回使用後、新品投入前の定盤枚数

とする。このとき投入量 D は

$$D = \sum_{S-X_j > 0} (S-X_j)$$

である。

$$\text{ここに } X_0 = \sum_{x=1}^{\infty} g_0(x)$$

$$X_j = \sum_{x=1}^{\infty} g_{j-1}(x) - \sum_{x=1}^{\infty} h_j(x)$$

ただし $1 \leq x \leq 10$ のとき

$$g_j(x) = \begin{cases} 0 & X_j \geq S \\ S-X_j & X_j < S \end{cases}$$

である。

5.3 20TよりW8Tへの変換定盤に関する

考え方

20T定盤は何回か使用された後、そのまま廃却されるものと溶銑埋込みを行ない、W8Tとして使用されるものと2通りある。廃却されるものについては5.2の考え方によるが、W8Tへ変換される20T定盤については次のような問題が生ずる。

20Tとして $10 \cdot j$ 回使用後 x 才でW8Tに変換した場合W8Tの何回使用(何才)とし、いつ投入すべきか。

これに対して次のように考える。

5.3.1 いつの決定法(廃却と投入の時間の一致)

購買計画立案期間における20T, W8Tの生産計画達成率は同一時点では等しいと考え、20Tとして立案後 $10 \cdot j$ 回使用したときの目標生産計画に対する達成率を求め、その率に対応するW8Tの使用回数 $10 \cdot j'$ の j' に投入する(図6参照)。

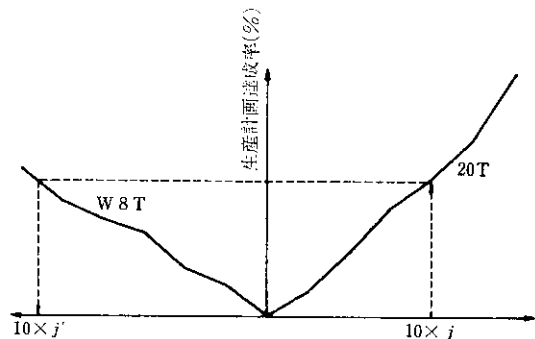


図6 廃却、投入時期の一致法

5.3.2 何才として投入するか決定法

$\bar{\ell}_{x1}$: x_1 才でW8Tに変換した場合の平均余命

$f_8(x)$: W8Tの寿命の確率密度函数

とすると

$$\sum_{x=x_0}^{\infty} x \cdot f_8(x) / \sum_{x=x_0}^{\infty} f_8(x) - x_0 = \bar{\ell}_{x1}$$

を満足する x_0 才の W8T として投入する(図7参照)

すなわち、20Tの変換後の余命がW8Tの余命に一致するように、W8Tの現在の年令を見つけ出すことである。

W8T, x_0 才の余命は

$$\frac{\sum_{x=x_0}^{\infty} x f_8(x)}{\sum_{x=x_0}^{\infty} f_8(x)} - x_0$$

となるから、余命をそろえるというのは

$$\frac{\sum_{x=x_0}^{\infty} x f_8(x)}{\sum_{x=x_0}^{\infty} f_8(x)} - x_0 = \bar{\ell}_{x_1}$$

となる x_0 を見つけ出すということになる。

さらに、購買計画立案時、すでにW8Tに変換している定盤については次のように取扱う。

20Tの x_1 才で変換したW8Tの余命分布を $f_{x_1}(y)$ とすると変換後 y_0 回使用された変換定盤の平均余命 $\bar{\ell}_{x_1}(y_0)$ は

$$\bar{\ell}_{x_1}(y_0) = \frac{\sum_{y=y_0}^{\infty} y \cdot f_{x_1}(y)}{\sum_{y=y_0}^{\infty} f_{x_1}(y)} - y_0$$

ここでW8Tの寿命分布を $f_8(x)$ として

$$\bar{\ell}_{x_1}(y_0) = \frac{\sum_{x=x_0}^{\infty} x \cdot f_8(x)}{\sum_{x=x_0}^{\infty} f_8(x)} - x_0$$

を満足する x_0 を20Tの x 才で変換され、現在までに y_0 回使用されたW8Tとしての年令と考えることにする。

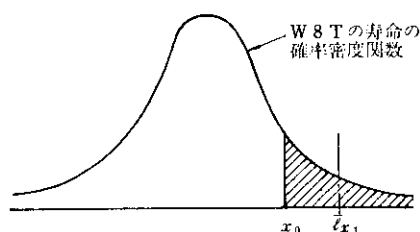


図7 20T→W8Tの変換説明図

6. 納入時期別納入量決定方式について

6.1 納入量決定に関する基本的考え方

(納入量) = (投入量) + (安全余裕)
 - (新品在庫) - (発注残)
 として計算される。

6.2 $10 \cdot j$ 回の使用と暦時間の対応について

前述のように廃却量計算および投入量計算は、各定盤とも10回使用されるたびに行なわれている。一方、実際に知りたいのは、 $10 \cdot j$ 回使用後の廃却量や投入量ではなく、半月後、1ヶ月後……の廃却量や投入量すなわち暦時間に対応した廃却量や投入量が知りたいのである。したがって $10 \cdot j$ 回の使用と暦時間との対応づけが必要となってくる。ある定盤の所内必要数を S とし、鋼塊単重を w とすると、 $10 \cdot j$ 回の使用による生産量は、

$(10 \cdot j \cdot w) \times \{(X_{j-1} + X_j)/2\}$ である。したがって $10 \cdot j$ 回使用時を暦時間に対応させるためには、計画生産量累積値がちょうど上記の値の時を

対応させればよい(ただし、これは1本立ち定盤で $X_{j-1}, X_j > S$ のとき)。基本的には上記のような考え方であるが、この定盤購買計画では暦時間を半月単位で考え、次のように扱っている。

6.3 納入時期別納入量決定方式について

たとえば、1.5ヶ月後の廃却量累計を求めようとすると、図8の点線で示すように、40回使用後の廃却数 H_4 と50回使用後の廃却数 H_5 の中間にあ

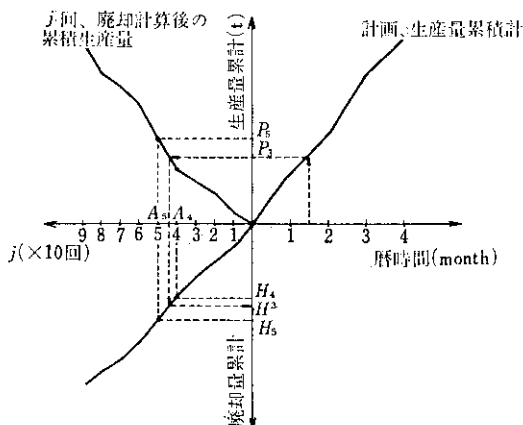


図8 暦時間と $10 \cdot j$ 回、投入量との対応

ることはすぐにわかる。中間の値を定めるためには、廃却量は生産量に比例すると考えて、生産量の比で比例配分することにした。すなわち1.5ヶ

月後の廃却累計 H^3 は

$$H^3 = H_4 + \{(P_3 - P_4) / (P_3 - P_4)\} \times (H_5 - H_4)$$

として定めることにした。

何ヶ月後の廃却量累計も全く同様の方法で求める。

コンピュータによる納入時期別納入枚数のアウトプットのごく一部を表5に示しておく。

表5 Computer による納入時期別納入枚数のアウトプット

	JIKI BETSU NONYU MAISU							
	1 MON		2 MON		3 MON		4 MON	
	15	30	15	30	15	30	15	30
20T-3	330	343	147	96	80	110	98	—
W8T-1	44	0	0	0	0	0	0	—
5T-5	0	0	0	0	0	0	0	—
DS-1	0	0	0	0	0	0	0	—
DS160T	0	0	0	0	0	0	0	—
DSR-1	2	0	0	0	0	0	0	—
DSR-4	3	0	3	2	2	2	2	—
KVH10	0	0	0	0	0	0	0	—
TOTAL	379	343	150	98	82	112	100	—

(注-1) 計算対象期間は45年7月～45年9月である。

(注-2) 1 MON 15: 第1ヶ月目(7月)の前半までに当所に納入すべき未入荷枚数を示す

1 MON 30: 第1ヶ月目(7月)の後半(16日～30日)の間に納入すべき枚数を示す

以下、同様に各月の前半および後半に納入すべき枚数を示す

6.4 安全余裕について

納入量算出式中の安全余裕については、入船のバラツキを考慮して1ヶ月分の廃却量を安全余裕として与えている。したがって本システム中の安全余裕としては

- (1) 生産量予測値の予測誤差に対する安全余裕
- (2) 常備数に対する安全余裕
- (3) 修理予備数に対する安全余裕
- (4) 輸送のバラツキに対する安全余裕

と4種あたえていることになる。

7. 効果

7.1 在庫量減少状況

本システム立案以前の1967年からの月別の在庫

量時系列を図9に示す。この間の生産量はつねに500,000 t/month 前後にも拘らず在庫減量は著しく、1970年5月末現在と、1967年時を比較すると在庫減少枚数は約1330枚である。参考までに鋳型在庫量の変動を図10に示す。

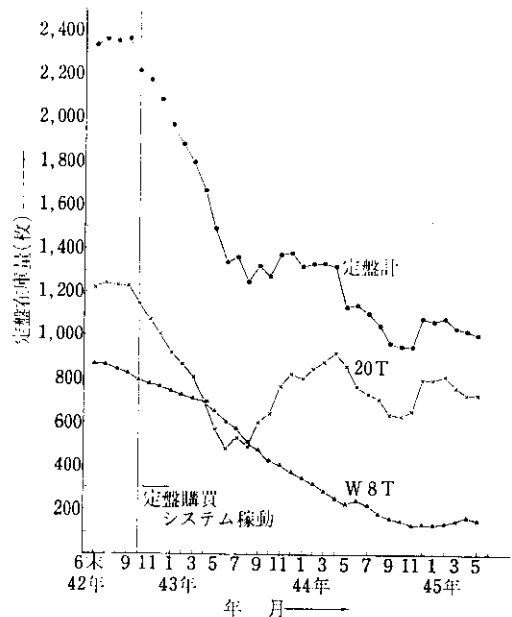


図9 定盤在庫量推移

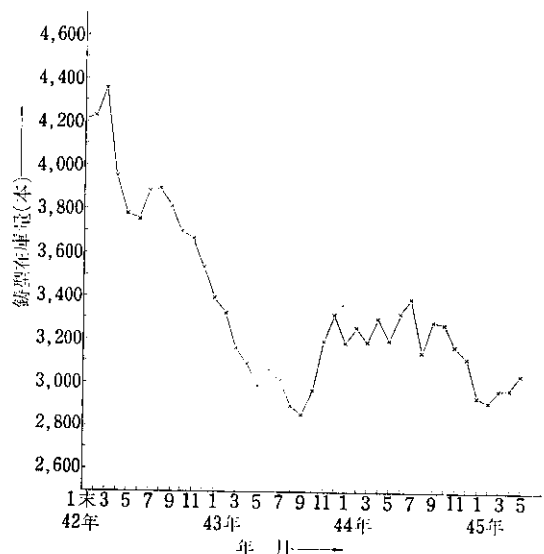


図10 鋳型在庫量推移(41年7月より購買計画システム稼動)

7.2 現品管理指標の明確化

現品管理指標の明確さに伴う管理の容易性をもたらす項目としては

- (1) 定盤別常備すべき数に対する実績のチェック
- (2) 定盤別納入すべき時期に対する実績納入状況のチェック
- (3) 定盤別計画寿命分布に対する実績寿命のチェック

などがあり、これらに対する管理基準が明確なためアクションがとりやすい利点がある。

8. 結 言

以上述べたように、生産予測から納期指定までの一貫モデルによる在庫管理法の確立によって、定盤在庫量の減少や現品管理指標の明確化などに著しい効果をあげることができた。

今後の問題としては大別してつぎの2点が考えられる。

- (1) 1970年6月からのSLD（小型転炉）稼働に伴う条件変更
- (2) 必要データ採取要員合理化に伴うシステム精度の低下

(1)については、SLDの本格稼働に伴ない実績データよりシステム変更の必要性をチェックする予定である。(2)に対しては、定盤1ヶ1ヶの腹歴を追い定盤管理に当る要員が削減されると、定盤寿命、年令構成などのデータは得られなくなるが、ある程度の精度で原単位を推定し、それより寿命分布を推定し、さらに購買計画立案時の年令構成は定常状態の年令構成を仮定することにより本システムを動かす事が出来るので、まず要員削減を優先して考え、システム精度の低下状況を測定し、最小のデータから最大の効果をもたらすシステムへ発展させたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) D. Gross and J. Ray : Management Science, 11 (1965) 6
- 2) R. G. ブラウン・関根智明訳：在庫管理のための需要予測, (1964) [紀伊国屋書店]
- 3) W. M. Chow : J. Ind. Eng., 116 (1965) 5