

# 対話型多目的在庫最適化システムの開発

野村 淳二・吉田 幸男・栗尾 孝・竹中 清介・西川 禎一

## 1. まえがき

本報は、企業の生産一販売活動における在庫管理問題を、多目的最適化問題、あるいは多目的意思決定問題としてとらえて定式化を行なった過程と、それにもとづき対話型の在庫計画支援システムとして実用化した結果についてのべたものである。

生産一販売活動は、生産・販売・在庫に関する計画にはじまり、諸資材の購入・製品の加工・完成商品の販売を通じて再び計画にかえるというサイクリックなシステム活動であり、図1に示すように、事業計画システム・生産システム・流通ネットワークシステムといったサブシステムが互いに影響をおよぼし合って構成されている。このような生産・販売活動において、近年の市場ニーズに対応して商品の多様化が進み、多品種となった商品の在庫をいかに管理していくかが重要な問題となっている。この問題を解決するために、各サブシステムにおいて現在までに多くの在庫管理方式が提案されているがここでは、事業計画システムでの在庫管理問題に着目する。

事業計画システムは、生産一販売活動においてコントロールタワーともいえる重要な役割をはたしている。ここでは、事業部の在庫情報、生産システムからの生産情報および流通ネットワークシステムからの販売情報や流通在庫情報などを勘案したうえで、事業部・商品部における収支にもとづく総括的指示と、商品課における商品別の未納・過剰在庫などに関する予測・判断により、商品別の在庫計画が立案される。

のむら じゅんじ、よしだ ゆきお、くりお たかし、  
たけなか せいすけ 松下電工(株)総合技術研究所  
にしかわ よしかず 京都大学 工学部 電気工学第2  
学科

しかるに、現状の事業計画システムにおける在庫管理においては、商品の多品種化のために生産システム・流通ネットワークシステムからの情報が膨大となり、これらの情報を処理するノウハウが商品課レベルの担当者に蓄積され、その処理システムがブラックボックスになっている。また、担当者1人当りの取り扱い商品数が多いために(たとえば1000商品/人)、在庫計画業務に要する時間が長くなってきている。したがって、担当者の計画結果を見て事業部・商品部が判断・指示をし、それにもとづいて担当者が計画の修正を行なうといったサイクルがまわりにくいという問題が生じている。このため、業務責任者や担当者の政策的な意思を十分に反映させた在庫計画を立てることが困難になっている。

これらの問題を解決するために、われわれは事業計画システムにおける在庫管理問題をモデル化し、多目的最適化理論を用いて実際の場への適用検討を進めてきた[1],[2]。以下では、まず2章で、従来の在庫管理方式について概観したのち、われわれの方式の特徴をのべる。次に3章では、販売量予測誤差の分布が平均値ゼロで過去のデータから推定される標準偏差をもった正規分布となることを仮定し、担当者らとの討議によって選ばれた3個の評価規範を定式化する。さらにこの多目的最適化問題を解くために、多属性価値関数の概念を導入する。4章では、多属性価値関数の実務への適用にさいし、担当者にとって使いやすかつ理解しやすい方式するために工夫を加える。5章では、今回開発したカラーグラフィックディスプレイを用いた対話型の在庫計画支援システムを紹介し、実際の作業手順およびシステムの特徴についてのべる。最後に6章では、本報のまとめを行ない、今後の課題について触れる。

## 2. 従来の在庫管理方式との比較[3],[4]

在庫の適正な管理を目的とする従来の在庫管理方式は

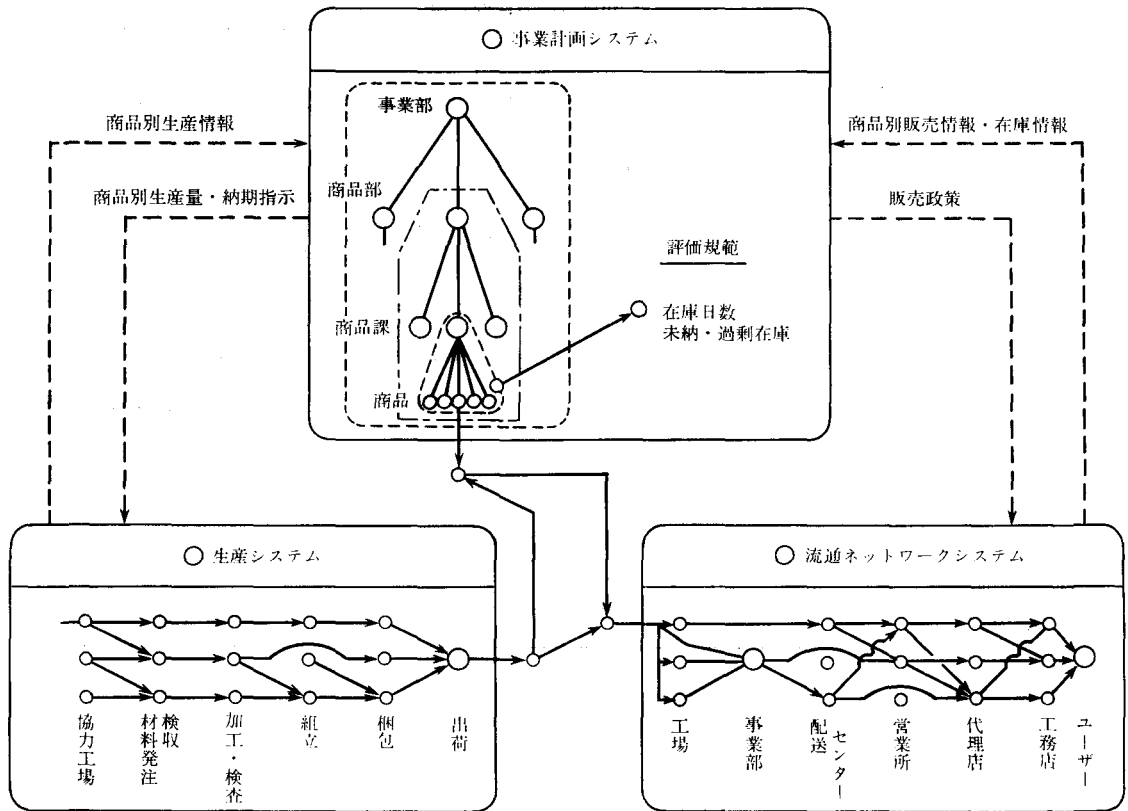


図 1 企業における生産・販売・在庫計画システム

- (i) 定量発生方式
- (ii) 定期発注方式

に大別され、発注点の決め方、発注量の決め方などにより表1のように分類できる。これらの方式においては、販売数量のパラッキに対応するために安全在庫の考え方が導入されている。さらに、表1の方式を改良したりくみあわせたりして、2 棚法やマルチビンシステムなど数多くの方式が提案されている。

それらの方式を実際の在庫管理に適用するさいには、どの商品にはどの管理方式が適当かを考慮する必要がある。この点については、たとえば、在庫管理対象商品にたいしてABC分析を行ない、A分類の重点商品には、多少管理コストが高くても在庫サービス率を維持できるような方式を適用するなどの工夫がなされる。

また、かんばん方式やMRPのように生産システムのフレキシビリティに対応するための資材管理をとりあつかったもの、MRPの考え方を流通ネットワークシステムでの流通在庫管理に応用したDRPといった方式も提案されている。これらは在庫をもつことを前提としない管理方式である。

これらにたいし、在庫管理を事業計画システムという観点からとらえ、トップの方針、目標を実際の計画に反映する在庫管理問題をとりあつかった研究は不十分であるのが現状である。この問題は、顧客サービス率の向上(品切れ防止)と在庫維持費用の削減(過剰在庫の防止)といった相反する複数個の評価規範を有し、さらに販売量予測の不確実性、現在在庫および販売努力などの種々の要因を勘案しながら、多数の商品について短時間に処理しなければならない。そのような問題にたいし、従来は販売量の不確実性を無視したうえで在庫維持費用を最小にするといった、1個の目的関数をもつ線形あるいは非線形計画問題として定式化し、最適解を求めてきた。しかし、短時間に的確な判断を要求されている現在、本来の多目的最適化問題として定式化し、選択解を決定するほうが、管理手法としてはるかに適切であると考えられる。ここでわれわれが提案する方式は、販売の計画と実績の誤差を考慮し、在庫管理問題を未納や過剰在庫といった実際の評価尺度を用いた多目的最適化問題としてとらえたものである。

表 1 在庫管理方式の分類

方 式	概 要
発注点・発注量 ( $s, Q$ ) 方式	有効ストック量(available stock)が発注点になるかそれ以下になったとき、一定量の $Q^*$ を発注する方式 $R=0$ ; 調査は連続的 $Q^*$ : 経済発注量(economic order quantity) $Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{v \cdot r}}$ ( $A$ : 発注費 $v$ : 単価 $D$ : 単位需要量 $r$ : 保管費率)
発注点・補充水準: ( $s, S$ ) 方式	有効ストック量が発注点になるか、それ以下になったとき、 $Q'$ を発注する方式 $R=0$ $Q'$ : 有効ストック量が補充水準 $S$ に達するまでの量
定期調査・補充水準: ( $R, S$ ) 方式	各調査期ごとに有効ストック量を調べ、不足の場合、補充水準まで補充する方式
定期調査・発注点・補充水準: ( $R, s, S$ ) 方式	定期的の有効ストック量を調べ、それが $s$ に等しいかそれ以下の場合、それが $S$ になる量だけ発注する方式
定期調査・発注量: ( $R, Q$ ) 方式	定期的に調査し、そのたびに発注量を決める方式

—記号の定義—

- $R$ : 在庫量の調査間隔, 調査時点と次の調査時点との時間間隔
- $s$ : 発注点(order point); いつ補充オーダーを出すかを指示する量
- $Q$ : 発注量(order quantity)
- $S$ : 補充水準(order-up-to-level); 補充のさいには、この水準まで補充させようということを示す一定水準

### 3. 在庫管理計画モデルの作成

ここで扱う在庫計画問題とは、事業所における商品別の月次生産量決定問題であり、管理時点は月はじめて、計画は次月度について行なうものとする。

#### 3.1 評価規範の定式化

本問題における評価規範に関して、在庫管理担当者、経理担当者および事業所の責任者と討議を行なった結果、評価規範は、1)未納量、2)過剰在庫量、3)在庫日数の3個であることがわかった。それらの定義は次のようである。

##### 1)未納量

各商品について、配送センター・営業所からの注文にたいして事業所が発送できなかった量

##### 2)過剰在庫量

各商品について、事業部在庫量と流通在庫量との和を総在庫量とするとき、総在庫量が過去3カ月間の販売実績の総和を越えた場合のその超過量

##### 3)在庫日数

各商品について、総在庫量を販売量で除し、30倍した値

これらの評価規範は実績販売量と予測販売量の誤差が

平均値ゼロの正規分布にしたがうという仮定のもとで次のように定式化される。

まず、商品  $i$  について当月および次月の予測販売量をそれぞれ  $S_i^t$  および  $S_i^{t+1}$ 、予測販売量と実績販売量の差の標準偏差を  $\sigma_i$  とし、当月生産量を  $P_i^t$ 、前月末事業部在庫量を  $D_i^{t-1}$  とする。また商品輸送期間内に発生する品切れを防止するために流通段階で最低限保有しなければならない在庫量  $T_i$  を設定する。そのとき、次月生産量  $P_i^{t+1}$  を次のように決める。

$$(1) P_i^{t+1} = S_i^t + S_i^{t+1} - P_i^t - D_i^{t-1} + \sqrt{2} n_i \sigma_i + T_i$$

ここで  $n_i$  は生産量調整係数であり、これが以下に示すように最適化の決定変数となる。

さらに次月の実績販売量  $S_i^a$  が平均値  $S_i^{t+1}$ 、標準偏差  $\sigma_i$  の正規分布にしたがうと仮定すると、次月末事業部在庫量  $D_i^{t+1}$  は

$$(2) D_i^{t+1} = S_i^{t+1} - S_i^a + \sqrt{2} n_i \sigma_i + T_i$$

となる。 $D_i^{t+1}$  がゼロとなる場合の  $S_i^a$  を  $S_i^0$  とすれば

$$(3) S_i^0 = S_i^{t+1} + \sqrt{2} n_i \sigma_i + T_i$$

となる。このとき、販売量予測の誤差により生じる未納量  $SG_i$  は

$$(4) SG_i = \begin{cases} S_i^a - S_i^0, & \text{if } S_i^a > S_i^0 \\ 0, & \text{if } S_i^a \leq S_i^0 \end{cases}$$

となり、その確率密度関数  $p_i$  は

$$(5) p_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left\{-\frac{(S_i^a - S_i^{t+1})^2}{(2\sigma_i^2)}\right\}$$

である。したがって未納量の期待値  $ESG_i$  は、

$$(6) ESG_i = \int_{S_i^0}^{\infty} (S_i^a - S_i^0) p_i dS_i^a$$

となる。

次に、総在庫量が過去3カ月間の販売実績の総和に等しくなるときの  $S_i^a$  を  $S_i^e$  とすると、過剰在庫量の期待値  $EES_i$  は  $ESG_i$  の定式化と同様の手順により

$$(7) EES_i = \int_{-\infty}^{S_i^e} (S_i^e - S_i^a) p_i dS_i^a$$

となる。

### 3.2 多目的最適化問題としての定式化

商品  $i$  の未納率  $f_{i1}$  および過剰在庫率  $f_{i2}$  を、(6)式および(7)式を用いて次のように定義する。

$$(8) f_{i1}(n_i) = ESG_i / S_i^{t+1} \times 100$$

$$(9) f_{i2}(n_i) = EES_i / S_i^{t+1} \times 100$$

また前月末総在庫量を  $I_i^{t-1}$  とするとき在庫日数  $f_{i3}$  を

$$(10) f_{i3}(n_i) = (\sqrt{2}n_i\sigma_i + T_i + I_i^{t-1} - D_i^{t-1}) / S_i^{t+1} \times 30$$

と定義する。

本問題の制約条件は次月生産量が非負であることより

(1) 式を用いて

$$(11) n_i \geq (P_i^t + D_i^{t-1} - S_i^t - S_i^{t+1} - T_i) / (\sqrt{2}\sigma_i)$$

となる。

以上より、発注量決定問題は次のような1次元の3目的最適化問題となる。

$$(12) \text{Min}_{n_i} \{f_{i1}(n_i), f_{i2}(n_i), f_{i3}(n_i)\}$$

s. t. (11)

本問題は、多属性価値関数法を用いることにより、次のような1次元最大化問題となる。

$$(13) \text{Max}_{n_i} V_i \{f_{i1}(n_i), f_{i2}(n_i), f_{i3}(n_i)\}$$

s. t. (11)

## 4. 実際問題への適用

3章で定式化した問題を、建築物内装材料の在庫管理問題に適用した結果についてのべる。実務への適用にさいしては、理論面の厳密性よりも、実際の担当者にとって使いやすかつ理解しやすい方式であることを重視した。

### 4.1 価値関数のパターン選択

まず、意思決定者の選好構造を表わす多属性価値関数  $V_i$  を設定する。[5], [6]  $V_i$  は、選好独立性、弱選好差構造独立性の仮定のもとで、

$$(14) V_i(n_i) = \sum_{\alpha=1}^3 k_{i\alpha} v_{i\alpha}(f_{i\alpha})$$

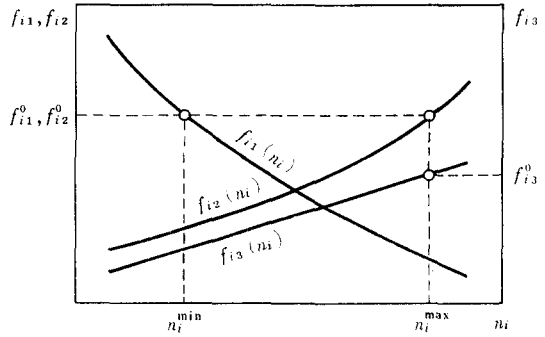


図2  $f_{i\alpha}$  の許容範囲

あるいは

$$(15) V_i(n_i) = \left\{ \prod_{\alpha=1}^3 [1 + k_{i\alpha} v_{i\alpha}(f_{i\alpha})] - 1 \right\} / k_i$$

の形に表現できる。(ここで、 $v_{i\alpha}$  は各  $f_{i\alpha}$  に関して  $[0, 1]$  の値をとる価値関数である。また、 $V_i$  および  $v_{i\alpha}$  はすべて  $[0, 1]$  の値をとるように、 $0 < k_{i\alpha} < 1$  なるパラメータ  $k_{i\alpha}$  および  $k_i > -1$  なる  $k_i$  で規格化される)

したがって本来はこれらの独立性に関する種々のチェックを行なったうえで、 $V_i$  を設定しなければならない。しかしながら、ここでは、実際の担当者が関数式の全体概念を直観的に理解でき、かつ事業部トップの理解を得やすいものが好ましいとの観点により、(14)式に示した加法形の多属性価値関数を設定した。各  $v_{i\alpha}$  および  $k_{i\alpha}$  は以下の手順にもとづき設定するものとした。

各  $f_{i\alpha}$  にたいして最良レベル値  $f_{i\alpha}^*$  をすべて0とし、最悪レベル値  $f_{i\alpha}^0$  を次のように決定する。制約式(11)を満足する  $n_i$  の下限を  $n_i^{\min}$  とするとき、 $f_{i1}^0$  を

$$(16) f_{i1}^0 = f_{i1}(n_i^{\min})$$

とする。また  $f_{i2}(n_i) = f_{i1}^0$  となるとき  $n_i$  を  $n_i^{\max}$  とするとき、 $f_{i2}^0$ 、 $f_{i3}^0$  をそれぞれ

$$(17) f_{i2}^0 = f_{i2}(n_i^{\max})$$

$$(18) f_{i3}^0 = f_{i3}(n_i^{\max})$$

とする。もし  $n_i^{\max} \leq n_i^{\min}$  である場合には  $n_i^{\min}$  を最適解とする。以上のプロセスを図2に示す。

次に  $v_{i\alpha}(f_{i\alpha})$  を

$$(19) v_{i\alpha}(f_{i\alpha}^*) = 1$$

$$(20) v_{i\alpha}(f_{i\alpha}^0) = 0$$

と規格化する。

$f_{i\alpha}^*$  と  $f_{i\alpha}^0$  とのあいだの価値関数およびパラメータ  $k_{i\alpha}$  は、グラフィックディスプレイを通して簡単に設定するものとした。このさい、商品の販売数量の多少により在庫計画方針は異なるため、ABC分析等により商品を3層に層別して、各層ごとに方針入力ができるようにした。

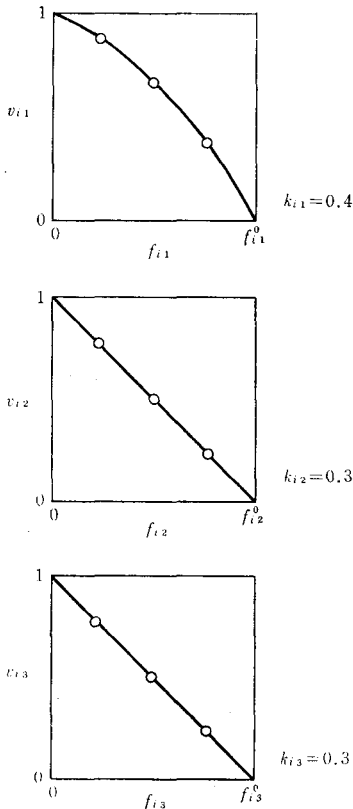


図3 価値関数  $V_{i\alpha}$  とパラメータ  $k_{i\alpha}$  の例

$f_{i\alpha}^*$  と  $f_{i\alpha}^0$  とのあいだの価値関数は、代表的な選好構造を表現する3種類の形状パターンから担当者が選択して決定し、さらに、パラメータ  $k_{i\alpha}$  は  $\sum_{\alpha=1}^3 k_{i\alpha} = 1$  を満足するように担当者が決定する。

ここまで評価規範は3個として定式化してきたが、担当者と検討した結果、実務上わかりやすいという理由から、過剰在庫と在庫日数はまとめて'在庫'としてあつかい、ウエイト  $k_{i\alpha}$  はそれぞれに等分することとした。このようにして決定される  $v_{i\alpha}$  と  $k_{i\alpha}$  の一例を図3に示す。

#### 4.2 多属性価値関数を用いた最適化計算

前述のようにして作成された多属性価値関数を用いて最適化計算を各商品について行なう。この問題は1次元最大化問題であるので、1次元探索法としてフィボナッチ探索法を使って最適解を求める。結果の一例を図4に示す。

#### 4.3 総在庫日数の調整

ここまででは、在庫計画の最適化を商品別にあつてきたが、実際には上位の商品部レベルでの管理項目も考慮しなければならない。関係者との討議の結果、その中

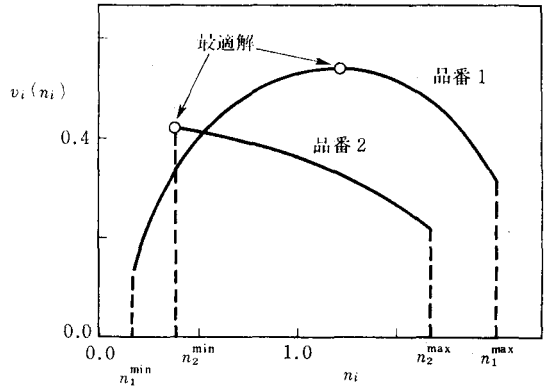


図4 多属性価値関数と最適解の例

でも特に商品グループ全体の在庫日数に関してはある上限が課せられており、制約条件としてとり扱おうほうが好ましいことがわかった。そこで、商品グループ全体の在庫日数を指定すれば、各商品の在庫日数がバランスよく調整されるよう次のように定式化した。

商品  $i$  の販売単価を  $C_i$  とするとき、商品グループ全体の在庫日数 TPS は

$$(21) \text{TPS} = \frac{\sum_i f_{i3}(n_i) S_i^{t+1} C_i}{\sum_i S_i^{t+1} C_i}$$

となる。TPS を指定した在庫日数  $\text{TPS}^*$  に一致させるため、各商品の多属性価値関数の値が同じ割合  $\Delta V$

$$(22) \Delta V = (V_i^{\text{opt}} - V_i(n_i)) / V_i^{\text{opt}}$$

だけ減少するように、各商品の生産量を修正することとした。ここで、 $V_i^{\text{opt}}$  は商品  $i$  の最適解を与える多属性価値関数の値である。

### 5. 対話型在庫計画支援システムの開発

本章では、3、4章に示した検討結果をもとに実際に開発し、現在稼働中の対話型在庫計画支援システムについてのべる。本システムは、建築物内装材商品を対象とし、約160のG区<sup>1)</sup>、約4600品番の商品をあつかう。日々の生産量および販売量の実績は、図5に示すように、各工場および営業所の端末装置からオンラインでセンターへ報告され、それらのデータは毎月末に集計、処理される。今回開発したシステムは、事業所における品番別の月次生産量を決定するもので、担当者は月はじめに次年度の計画を行なう。ここで使用する計算機システムは、UNIVAC 1100/62E(MIPS値2.52)であり、対話のための端末装置としては、画面の見やすさおよび操作性を考

1) 品番とは各商品、G区とは類似する品番をまとめた商品グループ、売区とはG区をまとめた商品群を表わす当社における呼称。

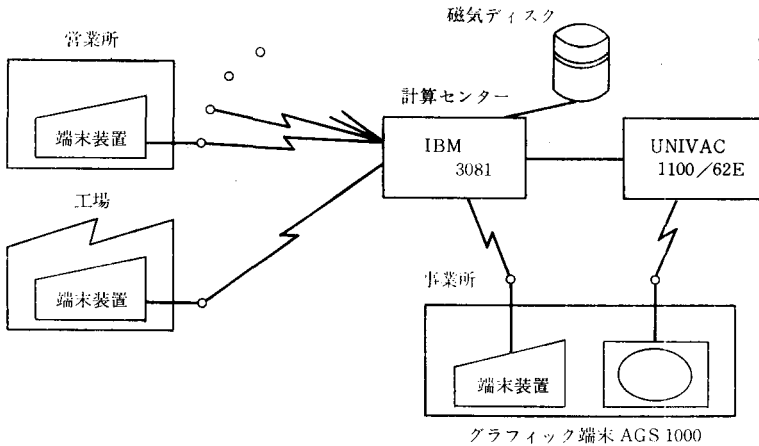


図 5 システム構成図

はカラー表示である)

本システムを稼働させると、まず図6に示すメニュー画面が表示される。ここで、計画の対象とする商品の売区とG区を指定したのち、行なうべき作業ステップを指定する。

**ステップ1** 品番別生産推定値、販売推定値の修正

当月の生産数および販売数の推定値を、必要があれば品番別に修正する。

**ステップ2** G区販売計画金額の指定、品番別販売計画値の修正

慮してカラーグラフィックディスプレイAGS 1000を使用することとした。

### 5.1 計画作成手順

毎月はじめの在庫計画作成時に担当者が行なう作業手順の概略を説明する。カラーグラフィックディスプレイに出力される画面例を図6～図8に示す。(実際の画面で

2) 当社では月はじめに、当月の計画の見直し(推定)、次月の計画(計画)および次々月の粗計画(内示)を行なう。

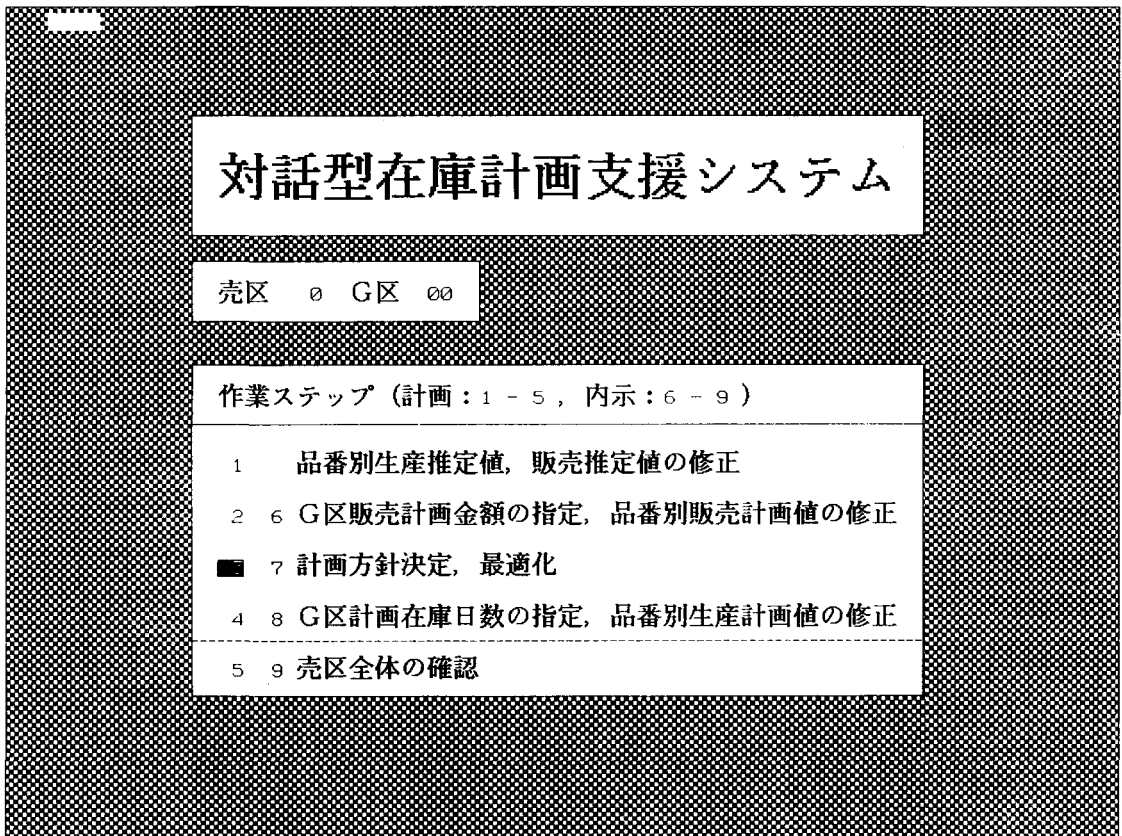


図 6 端末画面例 (その1)

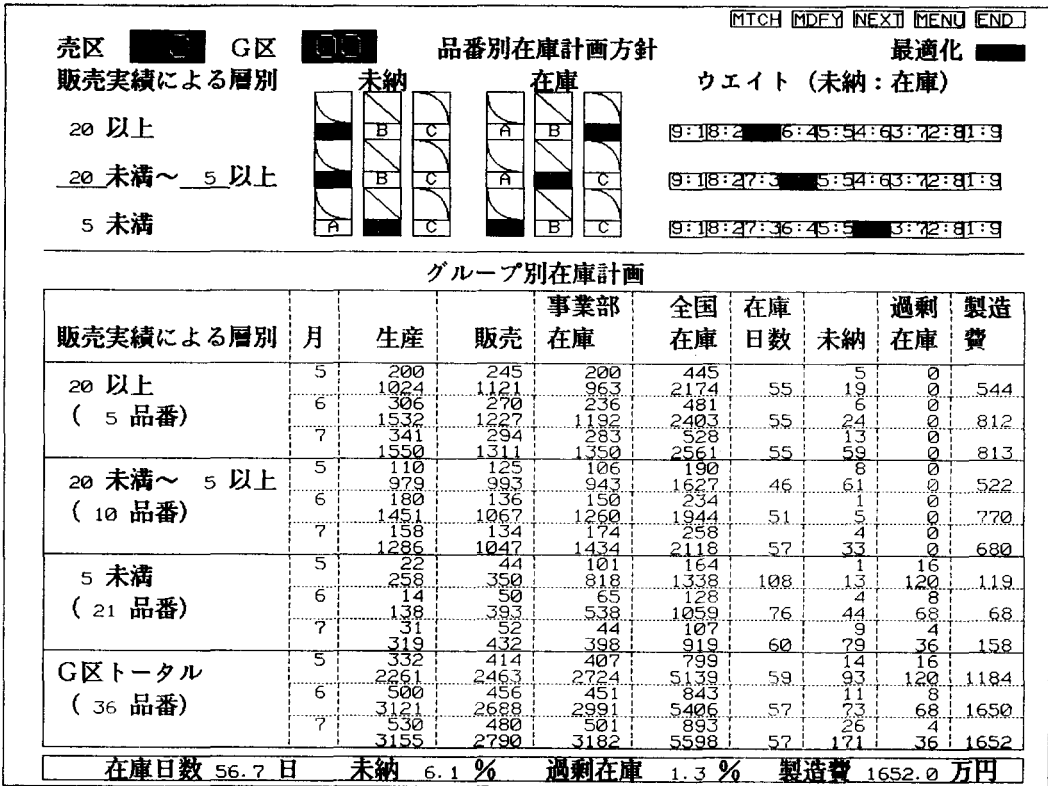


図 7  
端末画面  
面例  
(その  
2)

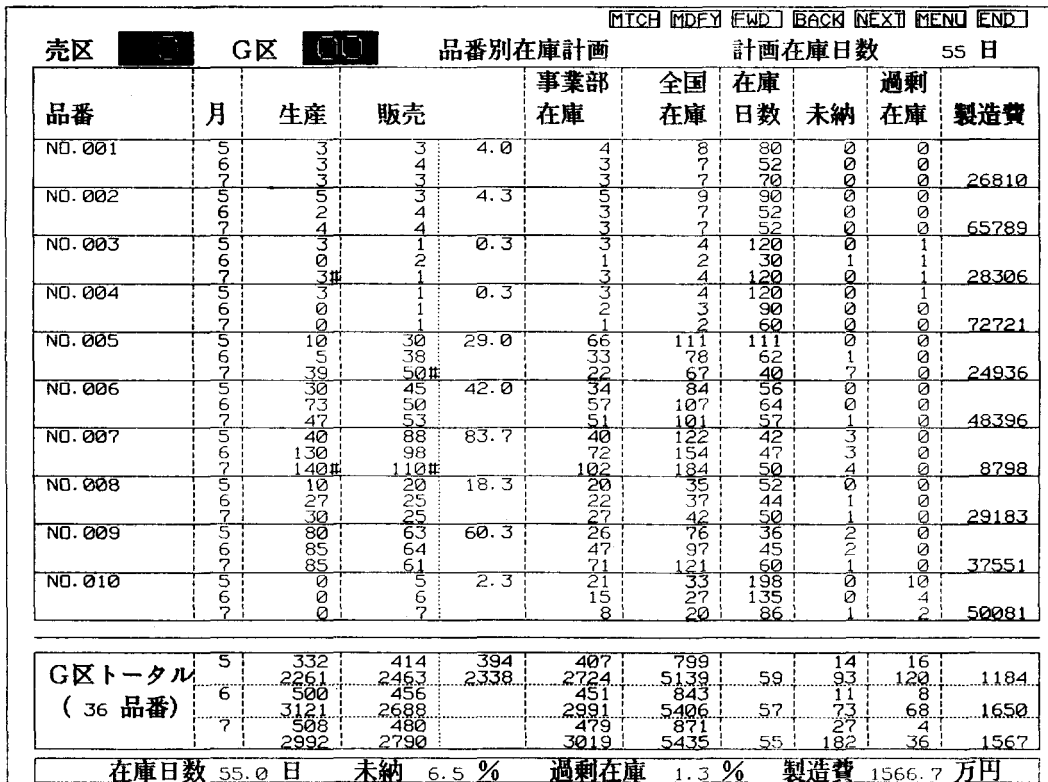


図 8  
端末画面  
面例  
(その  
3)

前月までの販売実績値の6カ月平均値として表示されている次月の販売計画値を、必要があれば品番別に修正する。その場合、図8に示すように修正箇所には'#'マークが表示される。次に、G区全体の販売計画金額を指定すると、それに一致するように、販売計画値を修正した品番を除いたすべての品番について、同じ割合だけ販売計画値が増減される。

### ステップ3 計画方針決定、最適化

まず販売実績値により品番を3層に層別するさいの区切りの値を指定し、次に各層について各評価規範の価値関数のパターンおよび評価規範間のウェイトを指定する。最後に、指定した計画方針にもとづき最適化を行ない、品番別の次月度生産計画値を求める。

### ステップ4 G区計画在庫日数の指定、品番別生産計画値の修正

次月度の販売施策や工場の生産能力などを勘案し、必要があれば次月度生産計画値を品番別に修正する。その場合、修正箇所には'#'マークが表示される。次に、G区全体の計画在庫日数を指定すると、それに一致するように、生産計画値を修正した品番を除いたすべての品番について、生産計画値が修正される。

### ステップ5 売区全体の確認

ここでは、G区ごとにたてた計画を売区としてまとめ見ることができる。

以上のステップは、次月の'計画'作成時についてのべたものであるが、次々月の'内示'資料作成時も同様の手順で行なうことができる。

## 5.2 本システムの特徴

本システムは、1984年6月より稼働中であり、計画責任者や担当者からは好評を得ている。在庫計画作成に要する時間が大幅に短縮できることや、在庫計画資料が見やすくなることも本システムのもつ大きなプラス面であるが、この他に本システムの特徴として、次に示す3点が挙げられよう。

- 1) 在庫計画方針にもとづき品番別に生産計画値の最適値が得られる。
- 2) トップや責任者の経営計画上の指示をスムーズに実現できる。
- 3) 操作が簡単で表示の見やすい対話型システムで、担当者の意思により計画データの修正も容易にできる。

## 6. あとがき

事業計画システムでの在庫管理において、販売量予測誤差が正規分布するとして、3個の評価規範を定式化し多属性価値関数による多目的最適化を行なった。その検討結果にもとづき実際の場への適用を図り、担当者が計

算機と対話しながら在庫計画を立案するシステムを開発した。この結果、多目的最適化手法による対話型在庫計画支援システムは、従来の経験的方法と比較して、次のような利点を有することがわかった。

- (1) 従来に比べて、未納量および過剰在庫量を、ほぼ半減することができる。
- (2) 未納量および過剰在庫量の予測が商品別に計量化されるので、早い時期に詳細な対策を立てることができる。
- (3) 責任者の政策的な意思決定結果を、商品別に迅速に反映させることができる。
- (4) 従来に比べて、在庫計画作成に要する時間を約5分の1に短縮できる。

本システムは、当社事業部において稼働中であるが、今後は、事業計画システムを事業部・商品部・商品課といった階層からなる多目的階層システムとしてとらえ、それぞれに異なる評価規範をもつ各階層間の調整・調和をはかりながら、全体としての最適性を追求する在庫計画システムの開発が必要であり、現在検討を進めている。

おわりに、本研究にさいし、ご協力いただいた松下電工総合技術研究所養父康男所長、酒井哲課長、ならびに研究員の方々に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 西川, 野村: 定期発注在庫管理における多目的最適化. 第5回システムシンポジウム講演論文集(1979), 99-104
- [2] 西川, 野村, 澤田, 仲島: 在庫管理における多目的階層大規模計画問題について, 第10回システムシンポジウム講演論文集(1984), 317-322
- [3] Peterson, R. and Silver, E. A.: *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*. John Wiley & Sons, 1979
- [4] 吉谷龍一: 無在庫流通システム—MRPからDRPへ—. 日刊工業新聞社, 1982
- [5] Dyer, J. S. and Sarin, R. K.: *Measurable Multiattribute Value Function*. *Operations Research*, Vol.27, No.4 (1979), 810-822
- [6] 田村, 匹田: 選好構造差独立性による多属性価値関数の分解表現と対話型アルゴリズム, 第10回システムシンポジウム講演論文集(1984), 311-316