

在庫管理における階層多目的意思決定支援システム HIMICS の開発

野村淳二・澤田一哉・仲島了治・山村隆司・西川禎一

1. まえがき

企業における生産・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、現在までにさまざまな在庫管理方式が提案されている。これらの在庫管理方式は、

(i) 定量発注方式

(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[1][2]。

また、かんぱん方式やMRP (Material Requirements Planning) のように生産システムの

のむら じゅんじ 松下電工総合技術研究所

〒571 門真市大字門真1048

さわだ かずや 松下電工総合技術研究所

なかじま りょうじ 松下電工総合技術研究所

やまむら たかし 松下電工情報システムセンター

にしかわ よしかず 京都大学工学部電気工学第2学科

フレキシビリティに対応するための資材管理を取り扱ったもの、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 (Distribution Requirements Planning) といった方式も提案されている。

これらに対し、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取り扱った研究は不十分であるのが現状である。

事業計画システムは、事業部・商品部・商品課といった組織から構成され、階層的な意思決定構造を成している。そこでは、事業部・商品部レベルにおける取支にもとづく総括的指示と、商品課レベルにおける商品別の未納・過剰在庫等に関する予測・判断とにより、商品別の在庫計画が立案される。

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)、在庫管理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・商品部レベルの責任者が判断・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回りにく

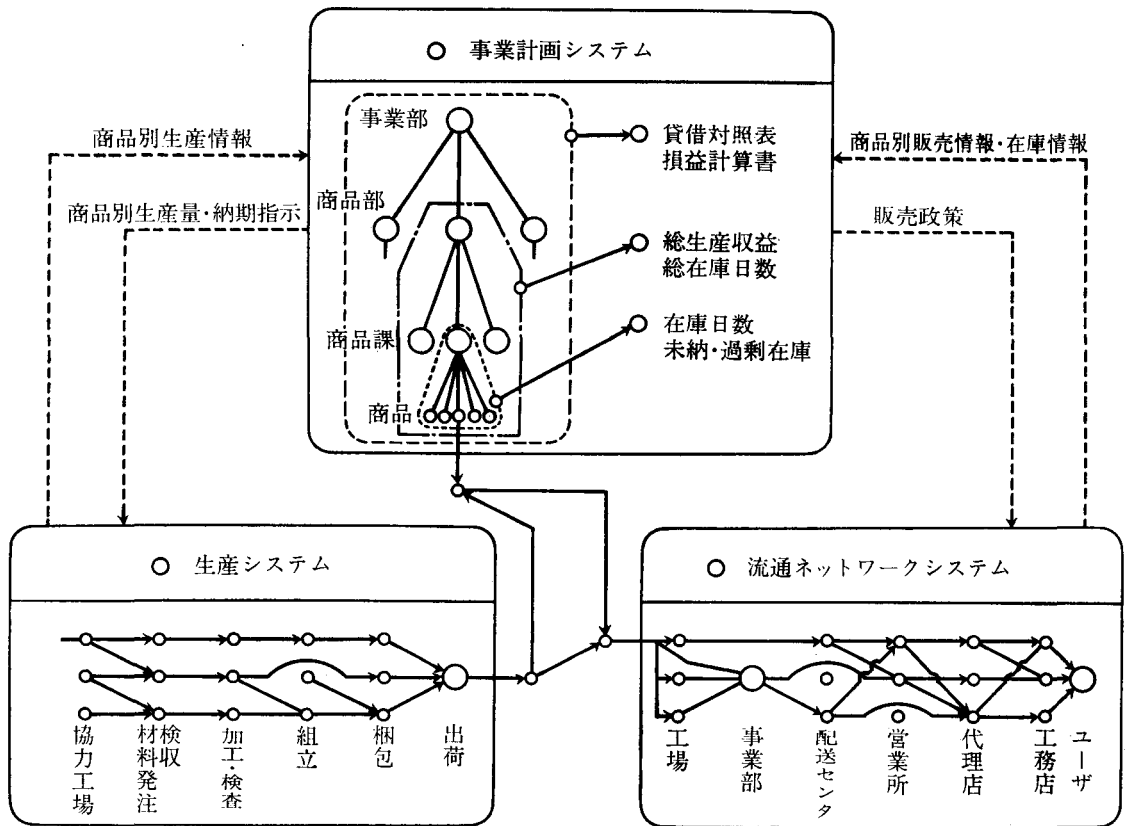


図 1 企業における生産・販売・在庫計画システム

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	定期的に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); 補充の際には、この水準まで補充させようということを示す一定水準

いといった問題が生じている。

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、実際の場合への適用検討を進めてきた[3][4]。

事業計画システムは、事業部・商品部・商品課といった各階層での責任者・担当者がそれぞれ複数の評価規範にもとづいて意思決定を行ない、調整・調和を図りながら全体としての最適性を追求する多目的階層システムとしてとらえることができる。

この観点より、以下では事業計画システムにおける在庫管理問題を多目的階層大規模計画問題として定式化し、その数値解法を検討する。さらにその結果にもとづき、対話型意思決定支援システム HIMICS (Hierarchical Multiobjective Inventory Control System) を開発して実用化を行なった結果について述べる。

2. 在庫管理モデルの作成

ここでは、商品課での各商品に対する意思決定段階を下位レベル、その集合体である商品部レベルでの総括的な意思決定段階を上位レベルとして2階層在庫管理問題の定式化を行なう。

なお、ここで扱う在庫管理問題とは、商品別の月次生産量決定問題であり、管理時点は月初めで、計画は次月度について行なうものとする。

2.1 下位レベルでの在庫管理モデルの作成

下位レベルの担当者との討議の結果、下位レベルでの評価規範は、1)未納率 2)過剰在庫率 3)在庫日数の3つの値で与えられることがわかった。それらの定義を次に示す。

1) 未納率

各商品について、配送センター・営業所からの注文に対して事業所が発送できなかった量の販売量に対する百分率

2) 過剰在庫率

各商品について、事業部在庫量と流通在庫量の和を総在庫量とすると、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、その超過量の販売量に対する百分率

3) 在庫日数

各商品について、総在庫量を1カ月の販売量で除し、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 σ_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。

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

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。

次に、次月の実績販売量を S_i^a とすると、販売量予測誤差の確率密度関数 p_i は次のようになる。

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

したがって、次月末事業部在庫量がゼロとなるときの S_i^a を S_i^0 とすると、未納率の期待値 $f_{i1}(n_i)$ は、

$$f_{i1}(n_i) = \int_{S_i^0}^{\infty} (S_i^a - S_i^0) p_i dS_i^a / S_i^{t+1} \times 100 \quad (3)$$

となる。

また、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、過剰在庫率の期待値 $f_{i2}(n_i)$ は $f_{i1}(n_i)$ の定式化と同様の手順により、

$$f_{i2}(n_i) = \int_{-\infty}^{S_i^e} (S_i^e - S_i^a) p_i dS_i^a / S_i^{t+1} \times 100 \quad (4)$$

となる。

さらに、前月末総在庫量を I_i^{t-1} とすると、在庫日数 $f_{i3}(n_i)$ は、

$$f_{i3}(n_i) = (\sqrt{2} n_i \sigma_i + T_i + I_i^{t-1} - D_i^{t-1}) / S_i^{t+1} \times 30 \quad (5)$$

となる。

以上により、下位レベルでの問題は次月生産量
が非負であるという制約を考慮すると次のような
1 次元の 3 目的最適化問題となる。

$$\text{Min}_{n_i} \{f_{i1}(n_i), f_{i2}(n_i), f_{i3}(n_i)\} \quad (6)$$

$$\text{s. t. } n_i \geq (P_i^t + D_i^{t-1} - S_i^t - S_i^{t+1} - T_i) / (\sqrt{2} \sigma_i) \quad (7)$$

本問題は、多属性価値関数法 [5] 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。

[下位問題]

$$\text{Max}_{n_i} V_i \{f_{i1}(n_i), f_{i2}(n_i), f_{i3}(n_i)\} \quad (8)$$

$$\text{s. t. } n_A \geq (P_i^t + D_i^{t-1} - S_i^t - S_i^{t+1} - T_i) / (\sqrt{2} \sigma_i) \quad (7\text{再})$$

$$(i=1, \dots, L)$$

ここに V_i は f_{i1}, f_{i2}, f_{i3} の 3 者を総合評価する関数である。

2.2 上位レベルでの在庫管理モデルの作成

上位レベルの管理者との討議の結果、上位レベルにおいては、総在庫日数に対する上限制約を満たしたうえで、総生産収益を評価規範として、下位レベルとの調整を図りながら総括的な管理を行っていることがわかった。総在庫日数・総生産収益の定義をそれぞれ次に示す。

1) 総在庫日数

全商品の総在庫金額を総販売金額で除し、30倍した値

2) 総生産収益

各商品の生産収益を全商品について加え合わせた金額

商品 i の販売単価、製造原価をそれぞれ C_i 、 \bar{C}_i とし、対象とする商品の数を L とすると、総在庫日数 TPS 、総生産収益 TPP はそれぞれ次のように定式化される。

$$TPS = \sum_{i=1}^L f_{i3}(n_i) S_i^{t+1} C_i / \sum_{i=1}^L S_i^{t+1} C_i \quad (9)$$

$$TPP = \sum_{i=1}^L (C_i - \bar{C}_i) P_i^{t+1} \quad (10)$$

また、下位レベルとの調整に対する定式化として、ここでは [下位問題] の最適解における多属性価値関数値を V_i^{opt} とし、 V_i^{opt} からの許容される価値の減少率を λ とし、 V_i^{opt} からの上位レベルの問題は次のようになる。

[上位問題]

$$\text{Max}_{\{n_i\}} TPP(\text{総生産収益}(9)) \quad (11)$$

$$\text{s. t. } TPS \leq TPS^* \quad (12)$$

$$\{V_i^{opt} - V_i(n_i)\} / V_i^{opt} \leq \lambda \quad (i=1, \dots, L) \quad (13)$$

$$n_A \geq (P_i^t + D_i^{t-1} - S_i^t - S_i^{t+1} - T_i) / (\sqrt{2} \sigma_i) \quad (i=1, \dots, L) \quad (7\text{再})$$

3. 上位問題の数値解法

[上位問題] は $V_i(n_i)$ が非線形関数であり、かつ商品数が 1000 個にもものぼる大規模非線形計画問題となっている。このため、数値解法上での工夫が必要であり、ここでは 2 つのアプローチについて比較・検討を行なう。

3.1 分権的資源配分問題としての定式化

[上位問題] は (12) 式が各商品間の相互干渉を表わす結合制約式となっており、右辺の TPS^* を上位レベルが保有する資源と考え、典型的な資源配分問題と考えることができる。すなわち商品 i に配分する在庫金額を N_i とすると、次に示すような 2 レベルの分権的資源配分問題となる。

[分権的資源配分問題]

$$\text{Max}_{\{N_i\}} \sum_{i=1}^L \Phi_i(N_i) = \text{Max}_{\{N_i\}} \sum_{i=1}^L (\text{Max}_{n_i} (C_i - \bar{C}_i) P_i^{t+1}) \quad (14)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^L N_i / \sum_{i=1}^L S_i^{t+1} C_i \times 30 \leq TPS^* \quad (15)$$

また、ここに $\Phi_i(N_i)$ は与えられた在庫金額 N_i のもとで、製品 i がもたらす最大利益であり、次のようにして計算される。

$$\Phi_i(N_i) = \text{Max}_{n_i} (C_i - \bar{C}_i) P_i^{t+1} \quad (16)$$

$$\text{s. t. } f_{i3}(n_i) S_i^{t+1} C_i / 30 \leq N_i \quad (17)$$

$$\{V_i^{opt} - V_i(n_i)\} / V_i^{opt} \leq \lambda \quad (18)$$

$$n_A \geq (P_i^t + D_i^{t-1} - S_i^t - S_i^{t+1} - T_i) / (\sqrt{2} \sigma_i) \quad (7\text{再})$$

本問題は許容方向法等のアルゴリズム [6] により効率的に解くことができる。

3.2 線形計画問題としての定式化

[上位問題]において、(13)式は価値の減少率 λ を与えると適当な直線探索手法を用いることにより、 n_i に関する上下限制約に変換できる。その上下限値をそれぞれ $n_i^{\max}(\lambda)$ 、 $n_i^0(\lambda)$ とし(7)式を満たす n_i の最小値と $n_i^0(\lambda)$ の大きいほうを $n_i^{\min}(\lambda)$ とすると、(7)式、(13)式は次の制約式に変換される。

$$n_i^{\min}(\lambda) \leq n_i \leq n_i^{\max}(\lambda) \quad (19)$$

以上より、[上位問題]は次のような線形計画問題となる。

[線形計画問題]

$$\text{Max}_{(n_i)} \text{TPP}(\text{総生産収益}(9)) \quad (20)$$

$$\text{s. t. } \text{TPS} \leq \text{TPS}^* \quad (21)$$

$$n_i^{\min}(\lambda) \leq n_i \leq n_i^{\max}(\lambda) \quad (19\text{再})$$

本問題は有界変数法 [6] 等のアルゴリズムにより効率的に解くことができる。

3.3 実際問題への適用

建築物内装材商品の在庫管理問題について、[分権的資源配分問題]を許容方向法で、[線形計画問題]を有界変数法でそれぞれ解いて、その結果を比較した。一例として、20個の商品からなる問題を解いた結果を述べる。

この問題では、[分権的資源配分問題]は UNIVAC1100/62E(2.52MIPS)で300100msecの計算時間(CPU TIME)を要した。これに対し、[線形計画問題]は(7)式、(13)式を(19)式に変換する際に生じる計算誤差のために、(13)式の制約を3%程度侵害するが、目的関数の値は[分権的資源配分問題]と比べて有意な差はなく、また計算時間は1495msecとなった。したがって、[上位問題]を[線形計画問題]として定式化することは、実用さきわめて有効であると考えられる。

なお、ここまでは価値の減少率 λ を固定して[上

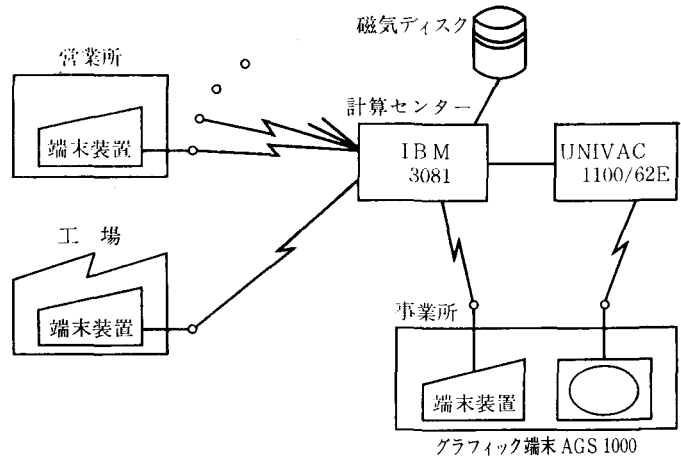


図2 システム構成図

位問題]の数値解法を検討してきたが、実際の場合では、 λ を一意的に決定するのは困難である。上位レベルの責任者との討議の結果、責任者は総在庫日数の上限 TPS^* および総生産収益の目標値 TPP^* を設定していることが明らかになった。そこで、 TPS^* および TPP^* を満たしたうえで λ を最小化するというアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムにおいては、 λ の最小化の過程で、種々の λ に対して[上位問題]をくりかえし解く必要があるが、先に述べたように[線形計画問題]として定式化しておけば計算時間上の問題は解決することができる。

4. 対話型在庫計画支援システム HIMICS

ここでは2章・3章に示した在庫管理モデルおよび数値解法をもとに開発し、現在約4600種の建築物内装材料を対象にして稼働中の対話型在庫計画支援システム HIMICS について述べる。

本システムに関連する計算機ネットワークを図2に示す。本システムで使用する計算機は UNIVAC1100/62E (MIPS値2.52)であり、端末装置はカラーグラフィックディスプレイ AGS 1000を用いる。

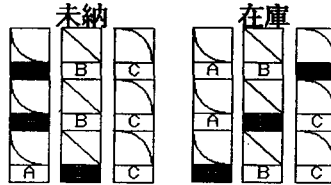
4.1 下位レベルシステム

売区 G区
 販売実績による層別

品番別在庫計画方針

最適化

20 以上
 20 未満～ 5 以上
 5 未満



ウエイト (未納:在庫)

9:18:2 6:45:54:63:72:81:9

9:18:27:3 5:54:63:72:81:9

9:18:27:36:45:9 3:72:81:9

グループ別在庫計画

販売実績による層別	月	生産	販売	事業部 在庫	全国 在庫	在庫 日数	未納	過剰 在庫	製造 費
20 以上 (5 品番)	5	200 1024	245 1121	200 963	445 2174	55	5 19	0 0	544
	6	306 1532	270 1227	236 1192	481 2403	55	6 24	0 0	812
	7	341 1550	294 1311	283 1350	528 2561	55	13 59	0 0	813
20 未満～ 5 以上 (10 品番)	5	110 979	125 993	106 943	190 1627	46	8 61	0 0	522
	6	180 1451	136 1067	150 1260	234 1944	51	1 5	0 0	770
	7	158 1286	134 1047	174 1434	258 2118	57	4 33	0 0	680
5 未満 (21 品番)	5	22 258	44 350	101 818	164 1338	108	13 4	16 120	119
	6	14 138	50 393	65 538	128 1059	76	4 44	8 68	68
	7	31 319	52 432	44 398	107 919	60	8 79	4 36	158
G区トータル (36 品番)	5	332 2261	414 2463	407 2724	799 5139	59	14 93	16 120	1184
	6	500 3121	456 2688	451 2991	843 5406	57	11 73	8 68	1650
	7	530 3155	480 2790	501 3182	893 5598	57	26 171	4 36	1652
在庫日数		56.7 日	未納	6.1 %	過剰在庫	1.3 %	製造費	1652.0 万円	

図 3 下位レベルシステムにおける画面例

下位レベルシステムにおいて実際に商品別の最適化を行なう画面を図3に示す。

本画面において商品課レベルの担当者は各商品を過去の販売実績により3層に層別し、各層ごとに多属性価値関数を設定する。なお、ここでは理論面の厳密性よりも、担当者が使いやすかつ理解しやすいことを重視して、加法形の価値関数を仮定している。担当者は各評価規範に対する価値関数ならびに重みを、それぞれ画面に表示されている代表的な3種類の価値関数形状パターンと9種類の重みの組合せの中から選択する。(画面上では、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”としてあつかっている)

こうして決定された多属性価値関数にもとづき、各商品ごとに[下位問題]の最適化計算がなされ、その結果は商品課トータルの数字として画

面上に表示される。担当者が表示された結果に満足できない場合には、多属性価値関数を変更して最適化を行なうといった過程が対話的にくりかえされる。

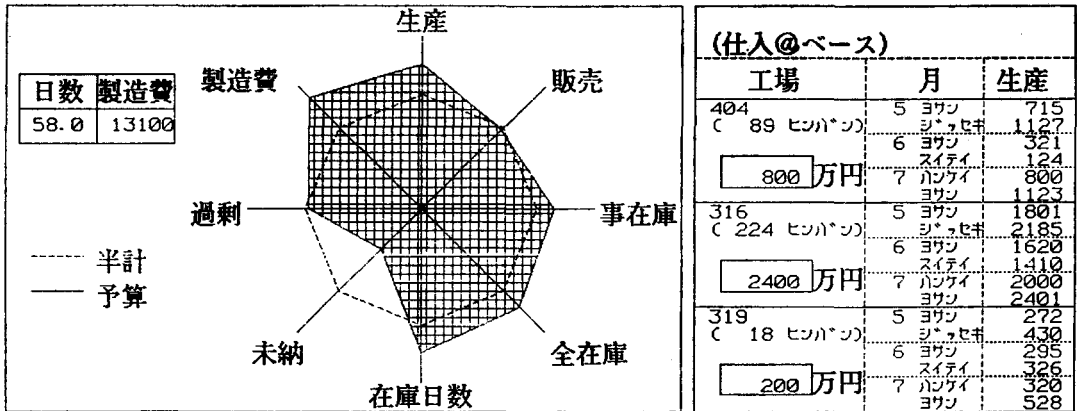
4.2 上位レベルシステム

下位レベルシステムにより、すべての商品課での商品別の在庫計画が完了すると、商品部レベルの責任者は、収支を考慮した経営的な立場から、上位レベルシステムを用いて商品部全体の在庫計画を行なう。上位レベルシステムにおいて実際に商品部全体の最適化を行なう画面を図4に示す。

本画面において、商品部レベルの責任者は商品部全体の在庫日数の上限と生産収益(画面では実務上の観点から収益率で表示)の目標値を入力する(画面では協力工場ごとの生産金額の下限値も設定できる)。こうして入力されたデータにもとづき、[上位問題]が3章に述べたアルゴリズム

売区 **0** 在庫計画

URIK GRUP KOJO MENU END



商品グループ	月	生産	販売	事在庫	全在庫	日数	未納	過剰	製造費
00 01	5 ヨウソク	4722	5013	9023	13569	76.5	136	756	2516
	シ・ツセキ	4649	4788	8724	12640	74.6	149	1250	2126
	6 ヨウソク	5899	5860	8709	11305	54.5	113	138	3160
	スイテイ	6085	5801	9008	12924	62.9	96	260	3119
(56品番)	7 パンクイ	8210	7880	9500	13300	47.7	120	50	4350
	ヨウソク	8863	6925	10946	14864	60.6	185	302	4608
在庫日数		60.6 日	未納 2.6 %	過剰 4.4 %	製造費 4608 万円				

売区トータル	月	生産	販売	事在庫	全在庫	日数	未納	過剰	製造費
(17G区)	5 ヨウソク	15211	17230	29290	42008	68.9	615	4210	7910
	シ・ツセキ	13467	15511	28565	41272	75.2	534	5718	7227
(486品番)	6 ヨウソク	13925	16228	18862	28656	49.9	2902	886	7102
	スイテイ	12658	18367	21718	34425	52.9	2571	1188	6817
	7 パンクイ	19200	19240	22520	32300	47.4	450	1300	9600
	ヨウソク	24136	18728	25967	38673	58.3	216	1261	13117
在庫日数		58.3 日	未納 1.2 %	過剰 6.7 %	製造費 13117 万円				

図 4 上位レベルシステムにおける画面例

を用いて解かれ、その結果は商品部トータルの数字および長期計画に対するレーダーチャートとして画面上に表示される。責任者が表示された結果に満足できない場合には入力値を変更して最適化を行なうといった過程が対話的にくりかえされる。

ここでは、下位レベルシステムにより商品別の在庫計画をもとにして上位レベルシステムを稼働し、商品部全体の最適化を行なうというボトムアップ方式の計画支援法を述べた。これに対し、本システムをトップダウン方式で活用することも可能である。すなわち、商品部レベルの責任者は、データベースに貯えられた前年度の値関数データにもとづき便宜的に計算された商品別の在庫計画データを用いて、上位レベルシステムを稼働し、その結果をもとに商品課レベルの担当者に指示を行なう。担当者はその指示を受けて下位レベルシ

ステムを稼働し、商品別の在庫計画を決定する。

5. あとがき

本稿では、事業計画システムにおける在庫管理問題を2階層の多目的大規模計画問題として定式化し、その解法アルゴリズムを検討した。その結果にもとづき開発した対話型在庫計画支援システム HIMICS は次のような特徴を有している。

1)商品課レベルの担当者はみずからの方針を入力でき、その方針にもとづく商品別の最適な在庫計画が立案できる。

2)商品部レベルの責任者は、商品別の最適な在庫計画をもとにして、収支を考慮した経営的な立場から商品部全体での在庫計画を立案できる。

3)上述のことより、担当者の計画結果を見て責任者が総括的な判断・指示を行なうといった計画のサイクルを回すことができる。

Computer Today

●11月号特集／好評発売中

定価880円

プログラミング言語の動向

なぜ新しいプログラミング言語
を考えるのか

斎藤信男

望ましい言語とは

島内剛一

Ada-大規模ソフトウェアとは

荒木啓二郎

システム・プログラマ

浜田穂積

にとって望ましい言語

人工知能における知識表現言語
としてどんな言語が望ましいか

安西祐一郎

関数型プログラミングとは

井田哲雄他

お得な年間購読のおすすめ 年間5000円(6冊)

●既刊9月号

定価880円

特集 脳とコンピュータ

別冊

特集 PAD

好評発売中
定価1200円

—構造化プログラム開発技法—

ソフトウェアの新パラダイム“PAD”を各方面から
詳しく検討、併せて各ツールも紹介。

数 理 科 学

12月号予告

定価 880 円

特集 = ゲーデル

ゲーデルの業績とその影響

廣瀬 健

ゲーデルと論理プログラミング

横田 一正

プログラマの見たゲーデル1

山田 真市

新ハムレット日記

林 一

超数学と言語

坂井 公

計算可能性と計算量

笠井 琢美

“マンモスの巨大な牙”のような
定向進化は理論的に可能か??

菅田 一博

森田 憲一

三井 利夫

大芝 猛

guide 情報を利用する証明の
プログラミング

<連載> 生物のかたちづくり⑬
パズル⑰

土居 洋文
有澤 誠

数理科学・別冊

好評発売中

ソリトン

定価2000円

知識と認知のソフトウェア

定価1800円

サイエンス社

東京都千代田区神田須田町2-4 安部徳ビル

☎03(256)1091 振替 東京7-2387

HIMICSは1984年から稼働がはじまり、従来商品部全体の在庫計画に4日ほどかかっていたのが半日に短縮できたことや、従来担当者独自のノウハウで決定されていた在庫計画が、担当者の計画結果を見て責任者が判断・指示を行なうといったサイクルを回して決定できるようになったこと等の効果を上げている。なお、今後は事業部・商品部・商品課といった3階層の意思決定構造に関する在庫管理モデルの検討に着手する予定である。

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、酒井哲主幹、情報システムセンター石沢達也所長ならびに関係者の方々に感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] Peterson, R. and Silver, E. A.: Decision Systems for Inventory Management and Production Planning. John Wiley & Sons, 1979
- [2] 吉谷龍一: 無在庫流通システム—MRPからDRPへ, 日刊工業, 1982
- [3] 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会論文集(1984), 317-322
- [4] 西川, 野村, 吉田, 栗尾, 竹中: 対話型多目的在庫最適化システムの開発, オペレーションズ・リサーチ Vol. 30, No. 2(1985)122-129
- [5] Dyer, J. S. and Sarin, R. K. "Measurable Multiattribute Value Function" Operations Research Vol. 27(1979) No. 4, pp. 810-822
- [6] L. S. Lasdon, 志水清孝訳: 大規模システムの最適化理論, 日刊工業(1973)