

多段階流通在庫管理のシステムアプローチ

A Systems Approach for Multi-Stage Inventory Control in the Distribution Systems

最近の流通システムでは、複数の中間倉庫・営業所から成る多段階在庫システムとなる場合が多く、企業の物流一貫体制の進展に伴い、ますますこの傾向を強くしている。

山田昇司* Shôji Yamada

森 忠夫** Tadao Mori

しかし、多段階在庫システムの特性把握、定量的コントロールは、既存の在庫管理技法の適用のみでは必ずしも十分でなく、新しい在庫管理システム・技法の開発が要求されている。

本論文では、多段階在庫システムの管理技法として、

- (1) ABC分析による層別在庫管理方式
 - (2) 二水準在庫管理方式
 - (3) 先回り制御による動的在庫コントロール方式
 - (4) 半製品在庫管理方式
- の四つを採り上げ、その内容と定量的効果の概要を述べる。

1 緒 言

生産→卸→小売という流通プロセスは、各の経済主体が在庫を持つ多段階在庫システムであるが、近年、生産・小売の双方が卸売の物流機能を含む方向を目指してきている。

これは、次のような理由による。

- (1) 製造メーカーの物流一貫体制の進展

大手製造メーカーでは、流通コストの低減を図るため、流通の末端レベルまでの物流を一手に引き受ける傾向に向かっており、欧米では既に多くのシステム化が行なわれている。

- (2) 大規模小売店の納発注システムの進展

大規模小売店(主にスーパーマーケット、専門店チェーン)では、多店舗性の特長を生かして、配送センタの設置による一括購入、一括配送の納発注システム化が、仕入・物流コスト低減の必須手段となっている。

上記の理由により、一企業内においても、多段階在庫システムの出現とそのシステム化が必要とされている。

流通情報システム〔オーダ エントリ、Point of Sales(POS)〕、配送管理システムなど、企業内流通システム化の課題は数多くあるが、以下では特に多段階在庫システムに焦点を絞り、その問題点と解決手段について述べる。

2 多段階在庫システムの概念と問題点

企業内多段階在庫システムの発展は、一面では、流通における商物分離の歴史とも言える。この章では、多段階在庫システムの発展パターンとその固有の問題点について述べる。

2.1 多段階在庫システムの発展パターン

多段階在庫システムのパターンは、図1のように歴史的な三つのタイプがある。

- (1) タイプ1

流通末端(顧客へ直接サービスを行なう営業所や小売店など、以下、ターミナルと略す)が必要な顧客サービス率を満たす在庫を個々に保有し管理するタイプで、供給源(工場、仕入先など、以下、ソースと略す)との間には中間在庫点(配送センタ

など、以下、デポと略す)がないのが一般的である。このように、各のターミナルで商流と物流を同時に管理する方式は、在庫管理の面では容易であるが、トータルな顧客サービス率の維持、在庫の配分と管理、需要変動への対処などが難しく、流通システム全体の効率が悪い。

従って、大規模企業では次のタイプ2への移行が進められている。

- (2) タイプ2

ソースとターミナルの間に幾つかのデポを設け、それらが担当する地域の各ターミナルの必要在庫を一括在庫する方式で、企業内多段階在庫システムの基本的パターンになっている。しかし、完全な商・物分離ではなく、回転の速い商品や高いサービス率を要求される商品は、各ターミナルでも在庫を持つのが普通である。このタイプになると、全体の流通在庫を正確・迅速に管理する必要があり、Electronic Data Processing(EDP)によるトータル在庫システムのコントロールが不可欠になる。

- (3) タイプ3

タイプ2の発展形式で、流通在庫はすべてデポに一括在庫されるため、各ターミナルにおいては完全な商・物分離となる。

流通システムの一つの理想形であるが、我が国のように消費が小口分散で、高い顧客サービス率が要求される環境では、すべての商品にこの方式を採用することは難しい。

上記、三つのタイプはそれぞれ長所・短所をもち、画一的な優劣の評価はできないが、次では今後の企業内流通システムの中心になると思われるタイプ2を中心に述べる。

2.2 多段階在庫システムの問題点

多段階在庫システムでは、従来の単一在庫点における在庫管理では発生、若しくは問題にならなかったことが起き、その解決が要請される。特に重要なのが次の4点である。

- (1) 多品種性の問題

一般に企業内流通システムでの取扱い品種数は、製造業で

* 日立製作所システム開発研究所 ** 日立製作所システム技術本部

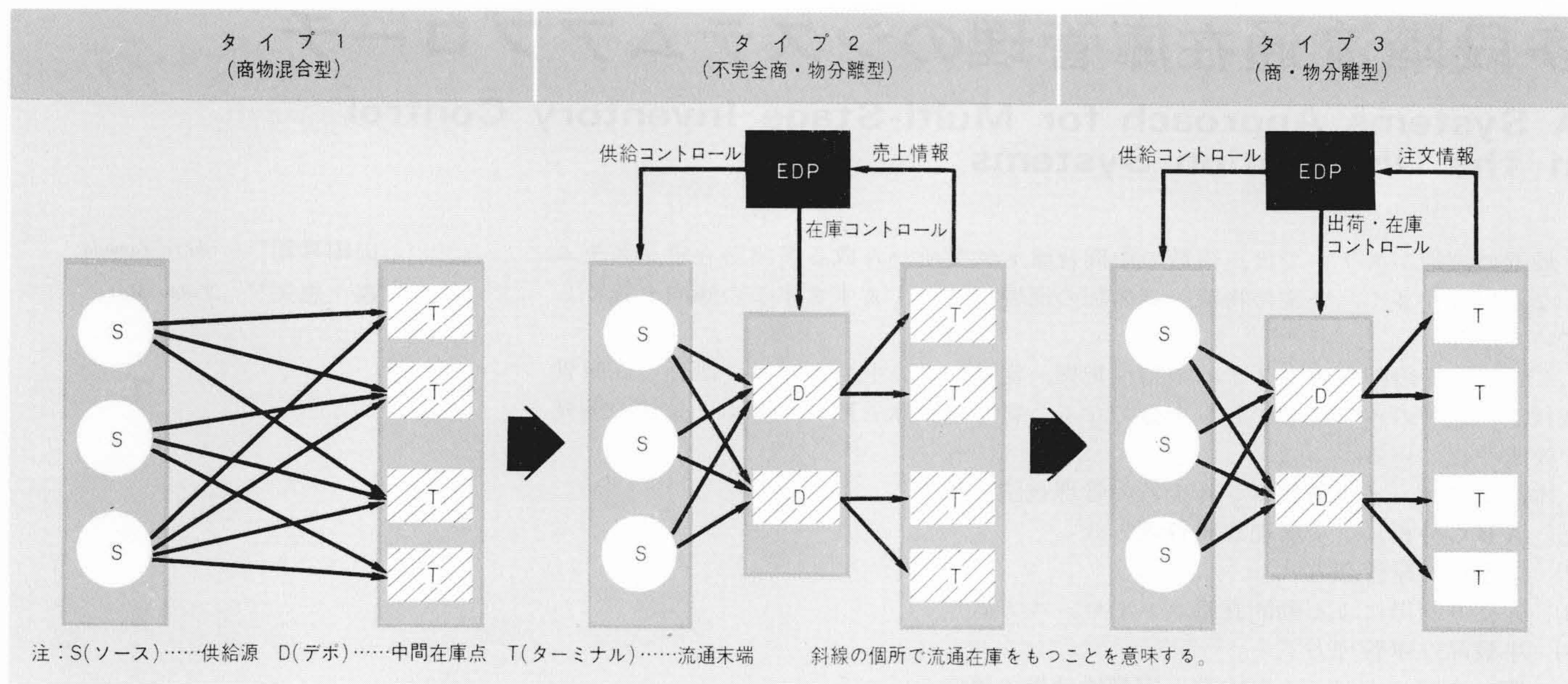


図1 多段階在庫システムの発展パターン 流通における多段階在庫システムの三つのパターンを左より歴史的に示す。

数千点、小売業(スーパーマーケット)で数万点のレベルに達し、今後も増大する傾向にある。多品種性は仕訳、入・出荷などの荷役作業の増大・煩雑化をもたらし、在庫管理の面では、全品種の管理を完全に行なうことが困難となり、

(a) 品種間のサービス率のアンバランス発生

(b) 低回転品種の在庫比率(在庫高/売上高)増大
という問題が発生する。図2はA社500品種の総売上量と総流通在庫量の関係を表わしたもので、売上順位が下がるほど在庫比率が増大しているのが分かる。在庫比率が高いと顧客へのサービス率は良いと思いがちであるが、実際には、ある品種が過剰在庫の反面、他の品種が品切れになるなど、適切

な品種間在庫配分が行なわれていないことが多い。

この問題は、単一在庫点でも生ずるが、多段階在庫システムでは各ターミナルの効果が集積されるので、低回転品種の在庫高増大とサービス率のアンバランスが重要な問題となる。

(2) 在庫水準の決定と管理

各地域で発生する需要はそれぞれ異なり、要求されるサービス率も個々の地域特性・販売特性で決められるので、これらより各デポ及びターミナルの在庫水準を決定しなければならない。図3に示すように、デポとターミナルは互いに密接に関連した在庫システムを形成するので、各ターミナルでの要求サービス率を達成する条件のもとで、

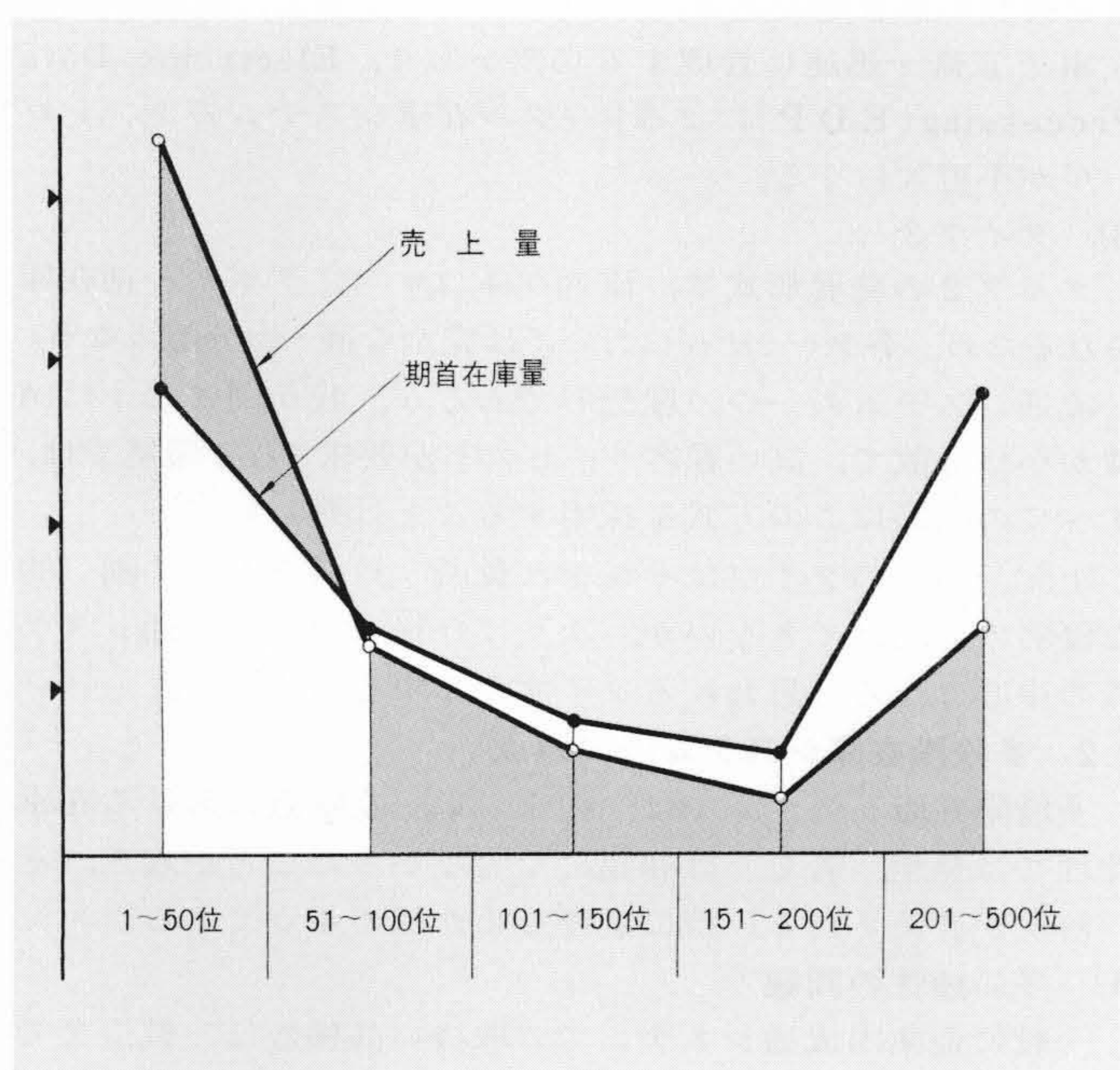


図2 多品種在庫管理における在庫比率の増大 売上量の少ない品種ほど在庫比率が増大している。図中の数字は売上順位を表わす。

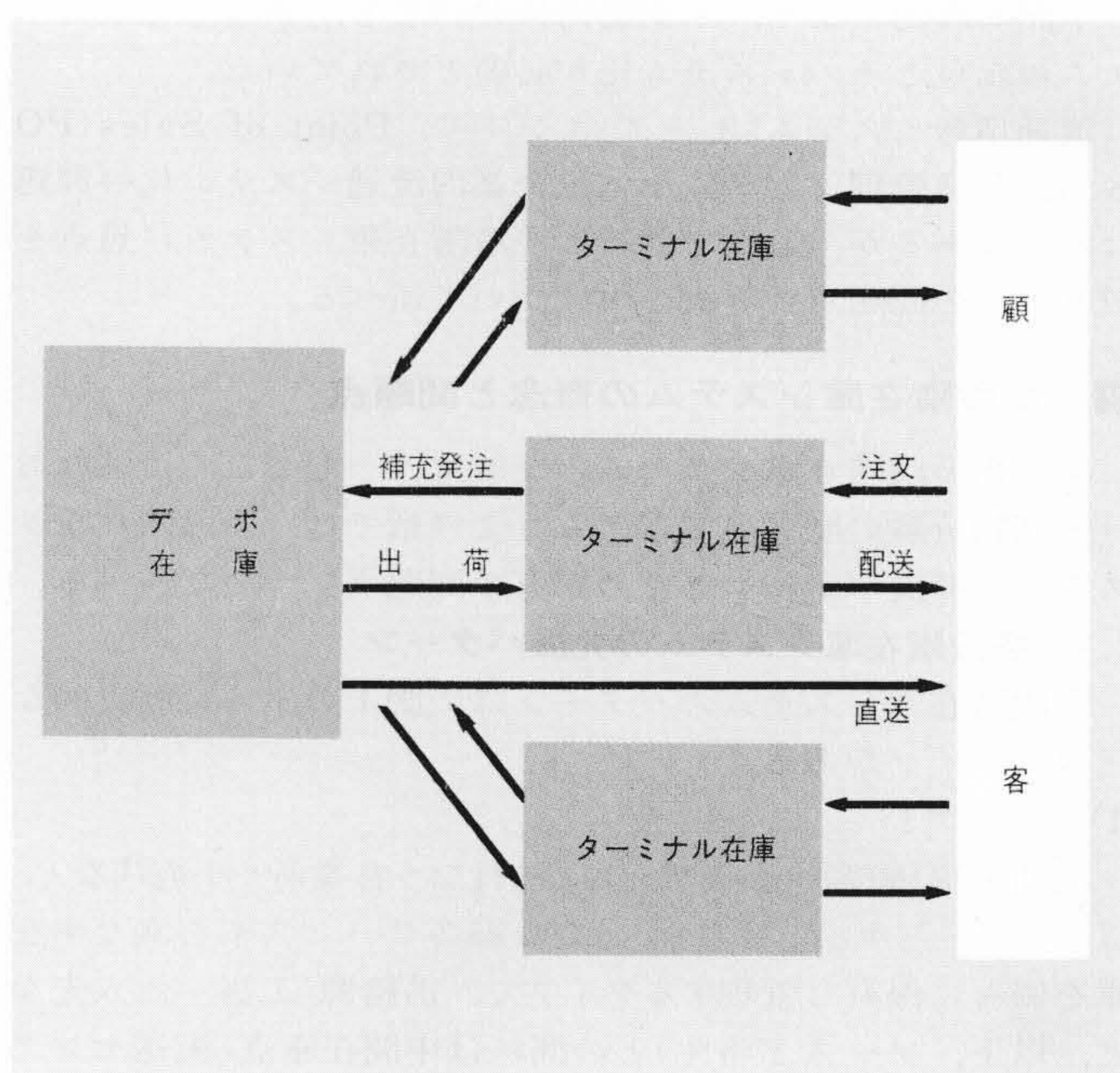


図3 在庫システムとしてのデポとターミナルの関係 図では典型的な業務パターンの例を示してあるが、実際には多くのパターンが考えられる。

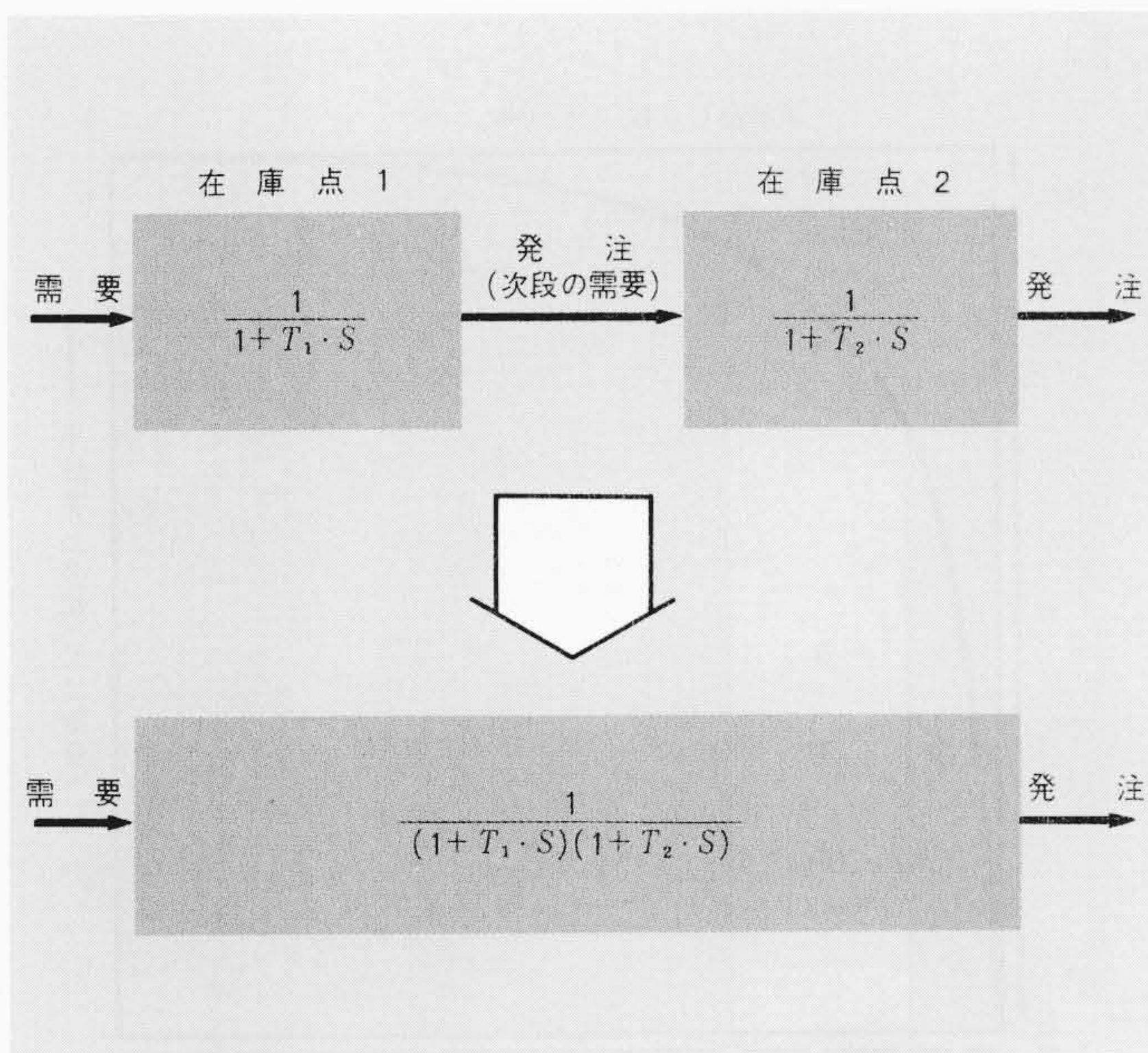


図4 多段階在庫システムの近似モデル 上段の遅れ要素の直列結合システムは、下段のような高次遅れシステムとして考えられる。

- (a) 品種別のデポ及びターミナルにおける在庫水準の決定
- (b) デポでの一括在庫による在庫削減効果の分析

の2点を解決する必要がある。そのためには、従来の単一在庫点を対象とした在庫管理理論では不十分で、「多段階在庫管理理論」(Multi-Echelon Inventory Control Theory)を適用しなければならない。

(3) 動的在庫コントロールの問題

在庫が多段階に結合されると、末端需要の一時的な増加が時間遅れと振幅の増大を伴って次々と次段に波及して行く現象が起こる。これは各在庫点を、入力=需要量、又は前段からの発注量、出力=次段への発注量というシステムとしてみ

た場合に、ある時定数 T をもつ遅れ要素で近似できる。

従って、これらが直列に結合された図4のようなシステムは、高次遅れ要素になり、インパルス若しくはステップ状入力に対して振動的過渡応答を生ずる。このことはIndustrial Dynamics (ID)によるシミュレーションで(図5参照)Forresterなどが指摘している。

もちろん、人間が介在している場合には、経験的にこのような現象が起きないように制御できるが、各段に従来の在庫管理手法をそのまま適用するとこの問題が発生し、需要変動に不安定な在庫システムとなる。

(4) 生産と流通の相互干渉の問題

製造メーカーの企業内流通システムでは、生産システムと流通システムを同時に扱う必要がある。しかし、生産は本質的に慣性の大きな(需要などの外部環境の変化に対する対応が遅いこと)システムであり、短期的な需要変動に迅速に追従するシステムを作るとは困難である。従って、両者を直接結合すると、流通側の需要変動→生産計画の乱れ→納期の長期化・不確定化→顧客サービス率低下防止のための流通在庫増大という相互干渉の悪循環が発生する。この問題を解決する最も実用的な方法は、製品在庫というバッファ(緩衝)を設け、生産と流通のプロセスを分離することである。しかし、この方法の欠点として生産品種数が多いと、総バッファ(製品在庫)量が極めて大きくなるという問題が発生する。

3 多段階在庫システムの解析

前章で述べた四つの問題点を解決するために、アプローチの方法と研究を進めてきた主なシステム技法について述べる。

3.1 アプローチの方法

在庫管理理論の基本的な考え方は、コスト(発注費、在庫維持費、品切れ損失などの総和)最小化の意味での最適発注ポリシーを決定することである。しかし実際には、

- (1) 在庫政策は企業の対顧客戦略、市場情勢などに大きく影響され、品切れコストの定量化が難しく、また在庫システム

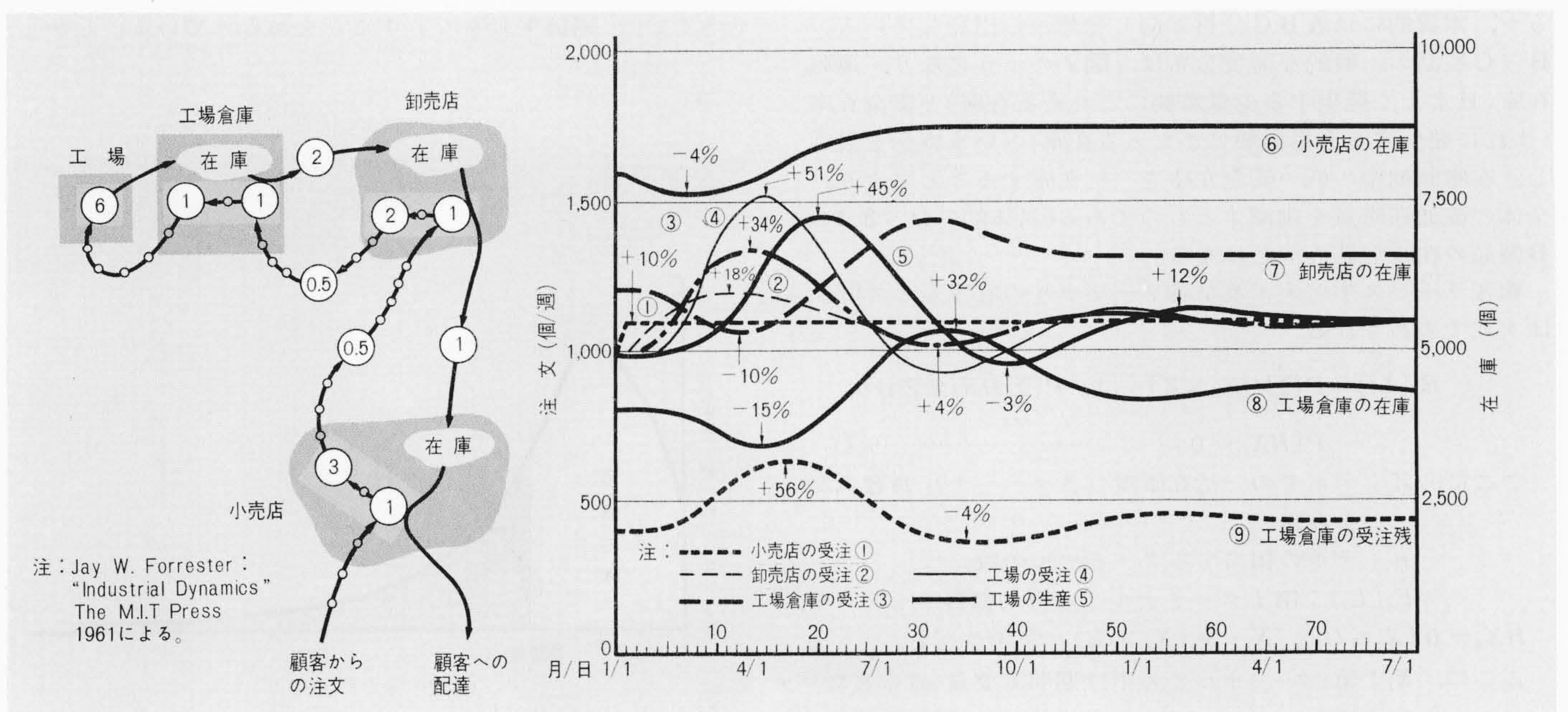


図5 IDによる多段階在庫システムのシミュレーション 小売店での受注の変動が、卸売店の在庫、工場の生産に及ぼす影響など、システム全体の振動的過渡応答が分かる。

だけを考えたコスト最小化という規範も、現実とは大きな隔りがある。

(2) 実際の発注業務では、大口注文などの営業情報、配送事情などの考慮が必要で、発注量をすべて理論的に決定することは難しい。

という問題があり、その現実的有効性には疑問がある。

そこで、流通コスト最小化という最終目標を一気にねらわず、第1ステップとして次の前提を中心に在庫システムの研究をすることが実用的であろう。

- (1) システムの評価尺度として在庫削減量を考える。
- (2) 顧客サービス率は企業の経営ポリシーなどであらかじめ与えられるものとする。
- (3) 各デポ及びターミナルの在庫水準の決定と制御方式を考え、発注量決定など日常業務レベルまでの直接コントロールは考えない(業務処理システムとして別に考える)。

3.2 ABC分析と層別在庫管理方式

多品種性の問題を解決する手段として、ABC分析による層別在庫管理方式が非常に有効である。取扱い品種の売上高順累計グラフは、一般的に図6のようになる。

A製品：企業の収益を支える主力製品で、少種・多量の安定した需要をもつ。

B製品：準主力製品で、中種・中量の需要となる。

C製品：売上げにはあまり寄与しないが、品ぞろえの点から扱う必要があり、多種・少量の不確定な需要になる。

2.2で述べたように、流通在庫量増大の原因としてB・C製品(特にC製品)の多種・少量流通が挙げられる。

そこで図3の在庫システムにおいて、

A製品……各ターミナルでの個別在庫

B製品……各ターミナルでの個別在庫+デポでの一括在庫

C製品……デポでの一括在庫

という層別在庫管理方式にすれば、一括在庫により顧客サービス率を下げずに流通在庫量を削減できる(この方法は実用性もあり、多くの企業で採用が進められている)。

3.3 二水準在庫管理方式

本手法は2.2の(2)の問題を解決するために開発したものであるが、本質的にはABC分析と同じ発想から出発している。B・C製品の一般的な需要分布は、図7のようになり、運転在庫(日常よく発生する少量需要にこたえる在庫)と安全在庫(まれに発生する大量需要にこたえる在庫)という概念を設定し、在庫回転率の低い安全在庫を一括在庫することにより、全体の流通在庫量を削減するものである(具体的には、3.1のB製品の在庫形態と同じになる)。

顧客サービス率とデポ及び各ターミナルの在庫量との関係は次式で表わされる。

$$E_z[L_i] = P\left[\sum_{j=1}^n HX_j \leq Z\right] + \{1 - P\left[\sum_{j=1}^n HX_j \leq Z\right]\} \cdot P(HX_i = 0) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、Z：デポでの一括在庫量(各ターミナル共有の安全在庫)

n：デポの担当するターミナルの数

$E_z[L_i]$ ：第iターミナルでの平均顧客サービス率

$HX_i = 0$ ($X_i \leq G_i$), $X_i - g_i$ ($X_i > G_i$)と定義される。

ここに、 X_i ：第iターミナルでの単位期間需要量(確率変数)

G_i ：第iターミナルでの在庫量(個別の運転在庫)

上式により、必要な顧客サービス率を満たす在庫水準が決定できる。特に $Z = 0$ と置けば、A製品のような普通の個別在庫方式となり、また各 $G_i = 0$ と置けば、C製品のようなデ

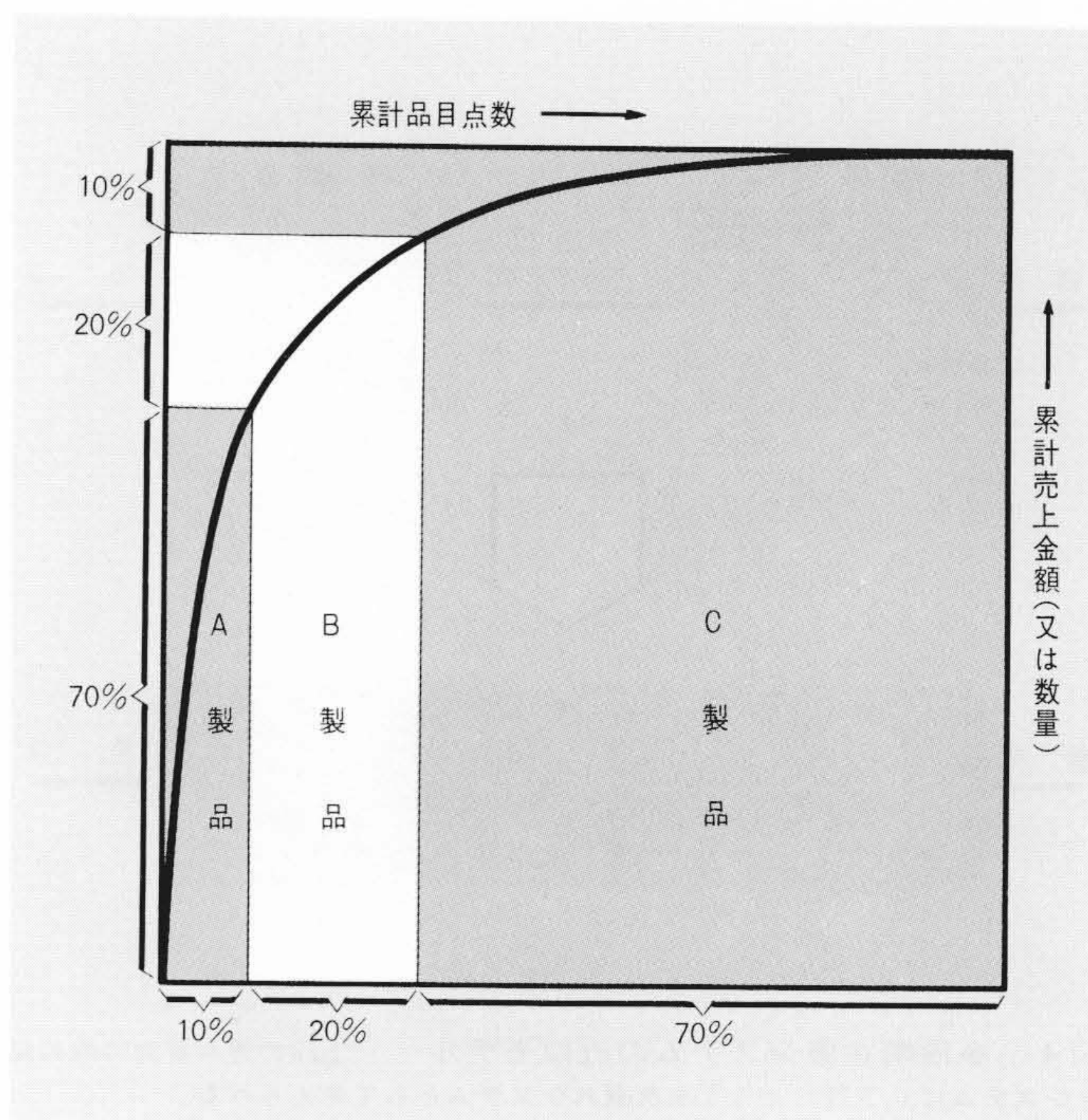


図6 ABC分析のグラフ 図中の数字は一般的な平均値を示してある。

ポでの一括在庫方式となり、層別在庫管理方式を統一して扱える。在庫削減効果も(1)式により計算でき、各 X_i が図7のような分布の場合についての結果が図8に示してある。

同図では、同一の顧客サービス率(99%)のもとで、二水準在庫管理方式が個別在庫方式に比べて何パーセントの在庫削減になるかを示してある。

3.4 動的在庫コントロール手法

需要変動に対する過渡振動を防止する手段として、二つの方法がある。

(1) 在庫調整速度によるコントロール

Forresterによって提唱された方法で、在庫調整速度 α 〔(実在庫量-基準在庫量) $\times \alpha$ 倍を基準維持のために発注する。 $0 < \alpha \leq 1$ 〕を小さくすることにより、図4の時定数 T_1 、 T_2 が大きくなり、過渡振動をなくすことをねらっている。しかし、

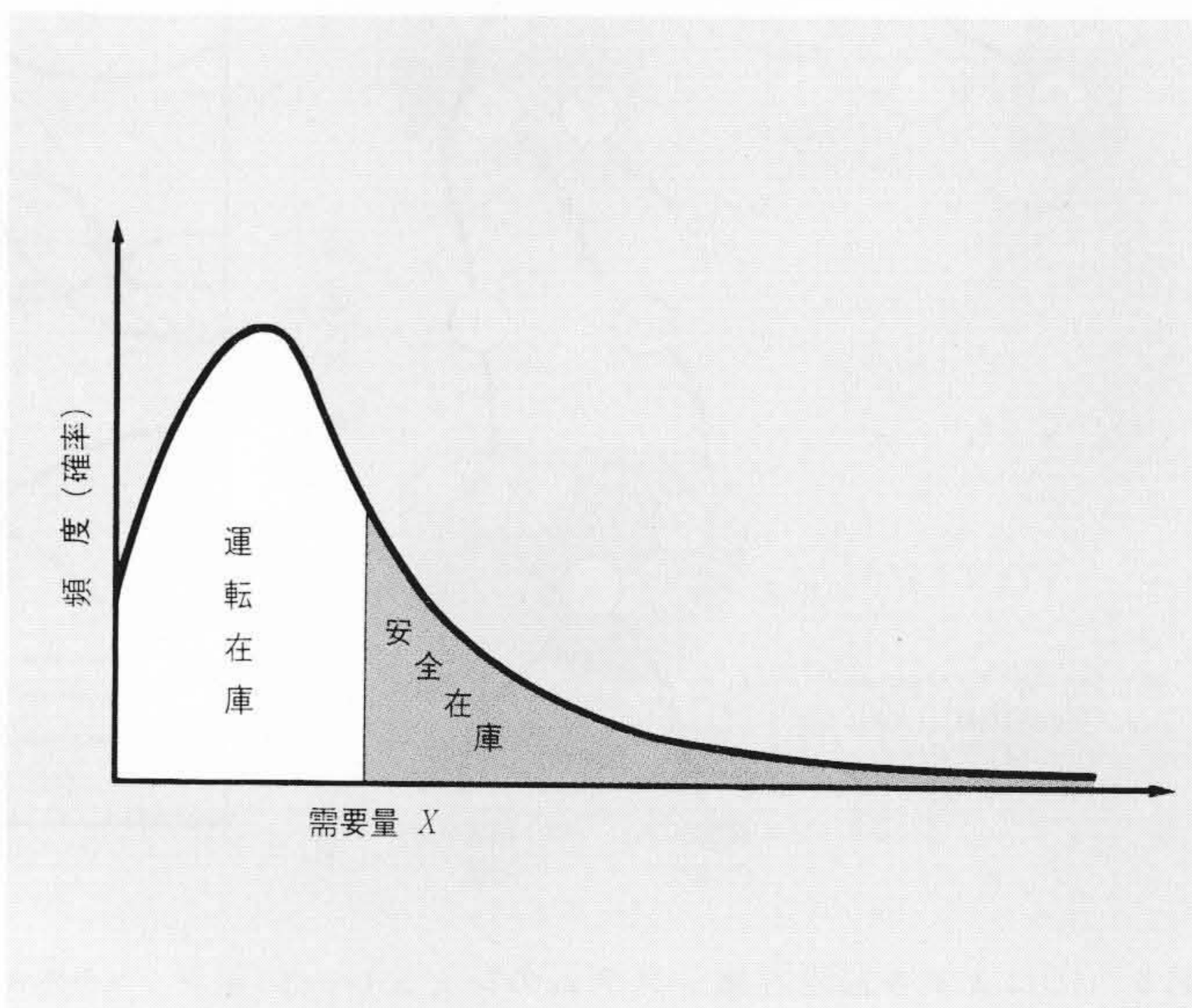


図7 二水準在庫管理方式の考え方 図のように、需要分布を二に分け、それぞれの需要に対応して在庫の機能も二に分ける。

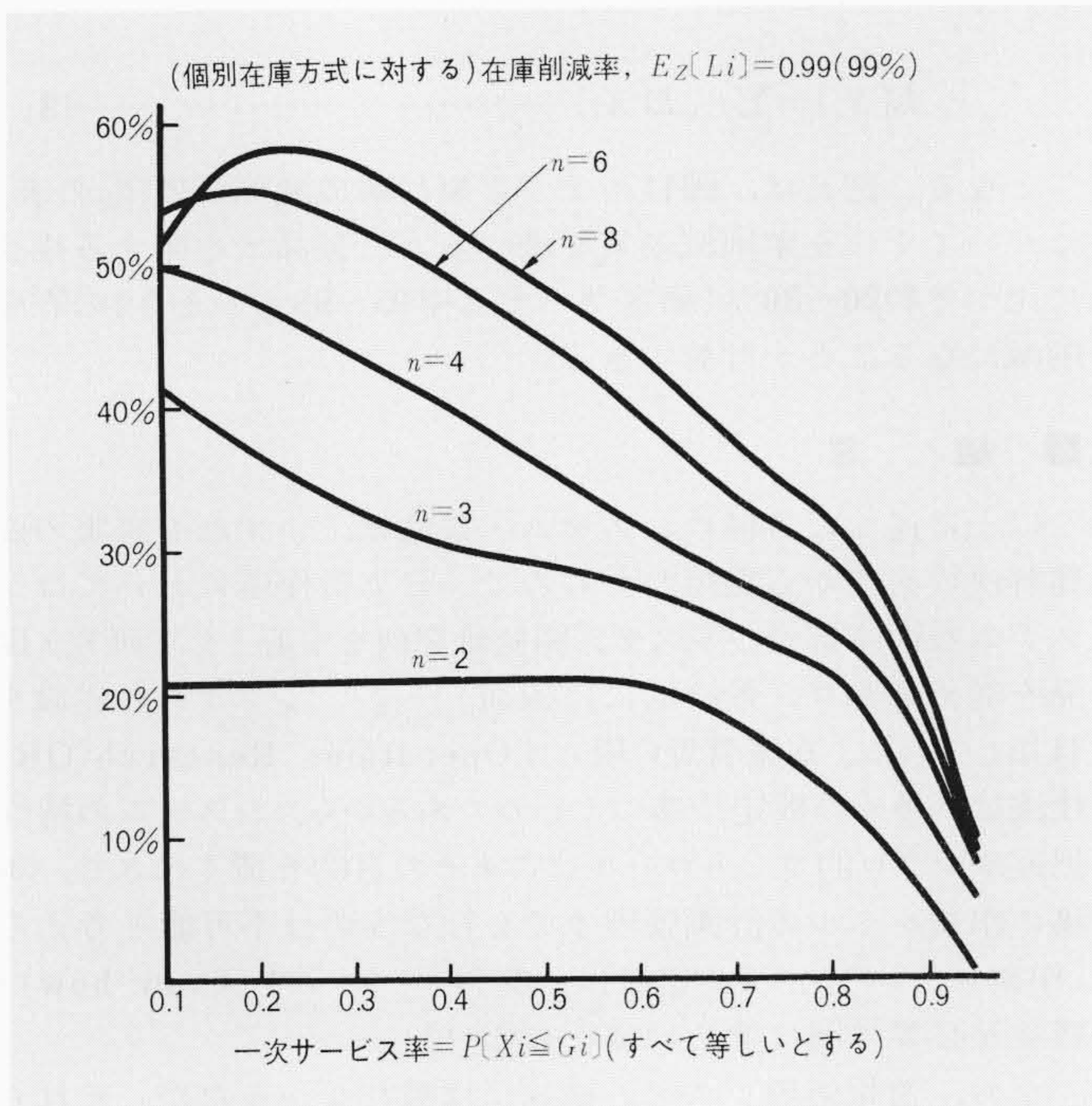


図8 在庫削減効果のグラフ 図より、各ターミナルの個別在庫量が少ないほど、またターミナルの数が多いほど在庫削減効果が大きいことが分かる。

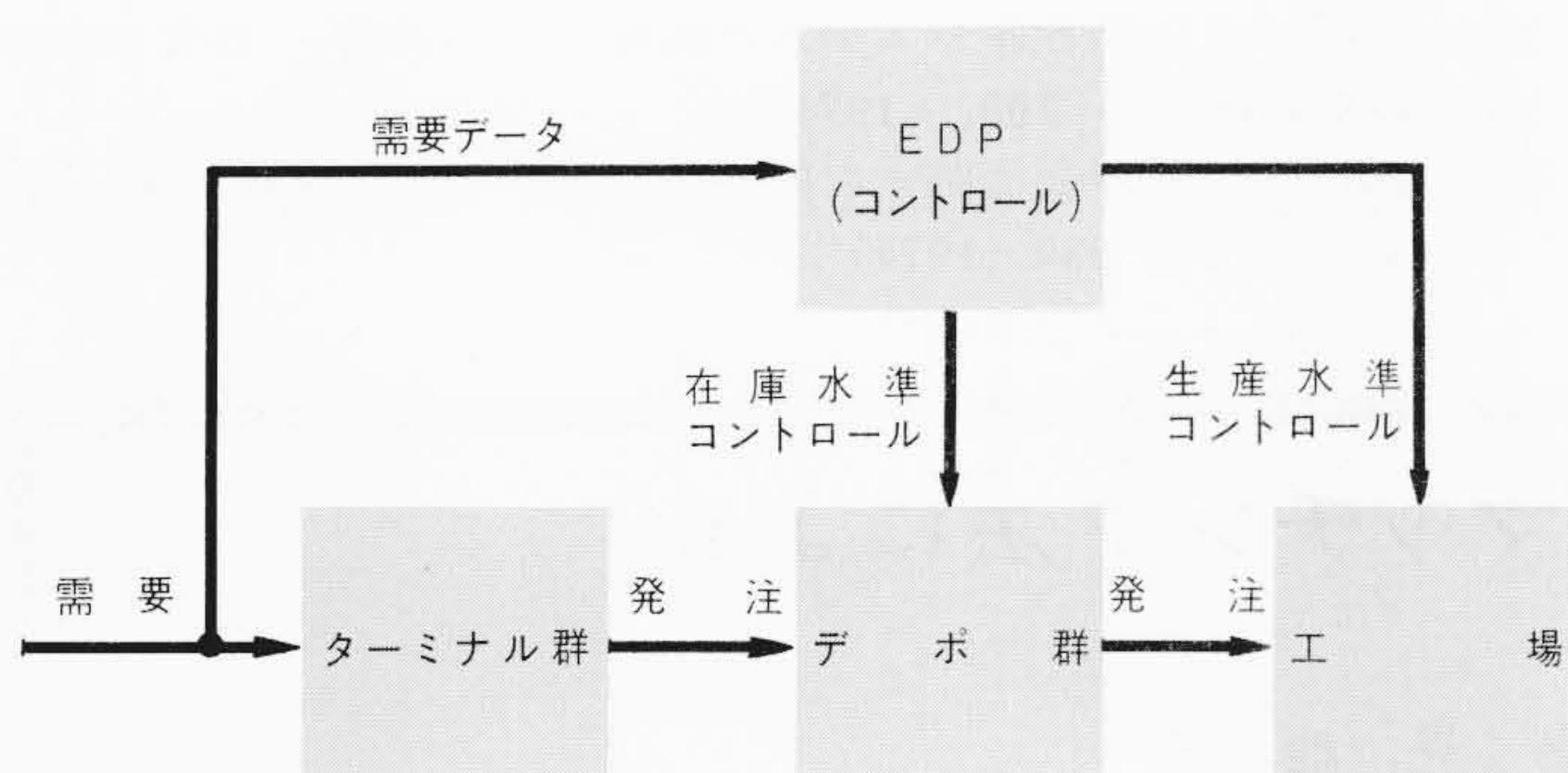


図9 先回り制御による動的在庫コントロール方式 末端の需要を収集し、生産水準・在庫水準を中央で一元的にコントロールする。

この方法の欠点として基準在庫量水準に完全に復帰するまでの在庫不足を補うため、新たに調整用在庫が必要となり、在庫点の数が多いと大きな在庫増大となる。

(2) 先回り(Feed Forward)制御による方法

いわゆる、基点在庫(Base Stock)システムのことであり、図9のように末端の需要データを集計・計算して、需要変動に見合うようにあらかじめデポ及び工場の在庫と生産の水準を変えておく方式である。従って、発注量変動の波はデポのところで吸収されて、次段以降へ影響を及ぼさない。この方式は前者に比べて、調整用在庫がいらない(但し、生産システムは慣性が大きいのので、生産調整用在庫がいる)、需要変動に対する応答速度・回復速度が速いなど、優れた点が多い。本方式の前提条件として、データ収集・コントロールのEDPシステムの存在が必要なのは言うまでもない。

3.5 半製品在庫管理方式

既に述べたように、生産と流通のプロセスは分離する必要があるが、このために製品在庫が必要になるが、品種数が多いと総在庫量が大きくなるという欠点があった。しかし、多くの製品(自動車・家庭電気品など)は、比較的少数の共通する半製品の組合せで多種類の品種が作られることが多い。そこで、この性質を利用して図10のような半製品在庫管理方式が考えられる。この方式は同図に示すように、製品在庫の機能を共通半製品在庫で肩代わりするもので、半製品は見込生産、製品は半製品在庫による受注生産(組立)となり、製品組立を流通プロセスの一部として考えるとところに特徴がある。

本方式のメリットとしては、単に製品で在庫する方式よりも在庫量が少なくなるということのほかに、

- (1) 半製品の生産は安定した水準の見込生産が可能となり、生産効率・コストとも改善される。
 - (2) 製品組立も単に組立計画のみを考えればよく、需要変動に対するフレキシビリティが高くなる。
- などの効果があり、今後の生産管理の一つの方向として注目されている。

但し、以上の効果は各半製品在庫が適正な水準にあるという前提条件のもとでの話で、この適正在庫水準の決定は次式により各半製品の需要分布を計算することにより求まる。

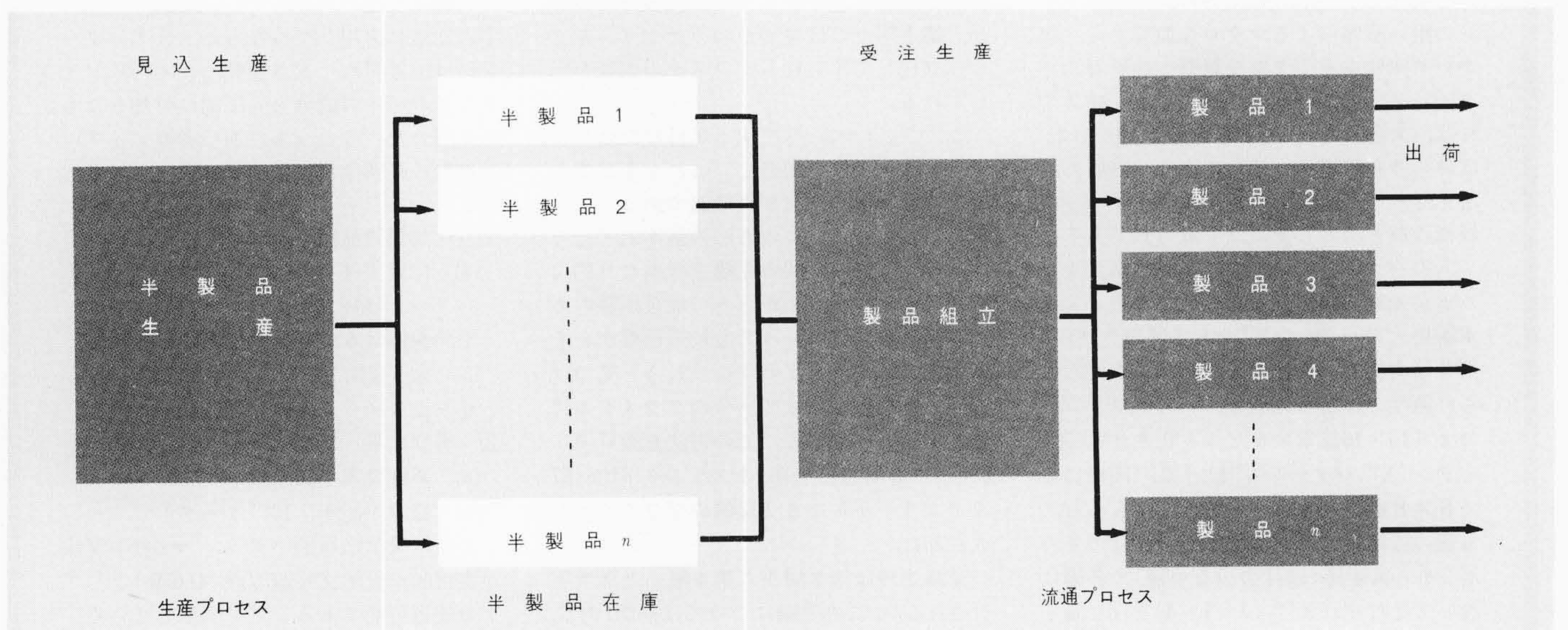


図10 半製品在庫管理方式 半製品在庫を境として、生産が見込生産と受注生産というプロセスに分離されるところに特徴がある。

	製 品 (j)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
半 製 品 (i)	1	2	2	2	2	2	2				3	3
	2						2	2				
	3				3	3			2	2		
	4						3	3			2	2
	5	1	1	1	1	1			3	3		
	6						1	1				
	7								1	1	1	1
	8	1	1	1	1	1						
	9						1	1				
	10								1	1	1	1

図11 t_{ij} の表の一例 図中の t_{ij} は第 j 製品の生産に必要な第 i 半製品の数量を意味する。空白部分は $t_{ij}=0$ (使用しない)を表わす。

$$G_i(Z) = F_1(Z^{t_{i1}}) \cdot F_2(Z^{t_{i2}}) \cdot \dots \cdot F_n(Z^{t_{in}}) \dots (2)$$

ここに、 $G_i(Z)$ ：半製品 i の確率分布母関数

$F_j(Z)$ ：製品 j の確率分布母関数

t_{ij} ：第 i 半製品の第 j 製品組立の必要数量

また、半製品 Y_i の期待値 $E[Y_i]$ は、製品の期待値を $E[X_i]$

として、

$$E[Y_i] = \sum_{k=1}^n t_{ik} E[X_k] \dots (3)$$

となる。例えば、図11のような製品構成展開行列(t_{ij} の表)についてその在庫削減効果を調べると、製品で在庫する場合に比べて約20~30%(顧客サービス率95~99%のとき)の在庫削減になることが計算できる。

4 結 言

以上に述べた各種のシステム・技法は、いずれも現実の問題解決の必要から発生したもので、日立製作所においてはシステム技術本部及びシステム開発研究所を中心として研究・開発を進めており、最終的には流通トータルシステムの建設を目指している。在庫管理に限らずOperations Research(OR)技法は、多くの仮定に基づくものであるから、システム特性の把握やマクロ的コントロールにこそその目的を置くべきで、現場の作業レベルの計画管理まで行なうのは不可能と考える〔作業レベルのシステム建設は、多くのノウ・ハウ(know how)・経験が必要で別に考えねばならない〕。

なお、情報処理システム構成には触れなかったが、それらについては他の論文を参照されたい。

参考文献

- (1) 宮川：「意志決定の経済学Ⅱ」 515, (1969, 丸善)
- (2) 山田：「2段階在庫システムの解析とその評価」 OR学会秋季研究発表会 109, (1974)
- (3) 油井, 森：「流通に関するトータルシステムのアプローチ」 機械学会 77, 939 (1974)

論文抄録

階層的パターン マッチング法による漢字認識の実験

日立製作所 山本眞司・中島 晃, 他1名
電子通信学会誌 56-D, 714 (昭48-12)

印刷漢字を自動認識するため階層パターン マッチングと名付けた新たなアルゴリズムを開発した。この考え方は、文字パターンの粗い解像によるマクロな観察から、細かい解像によるミクロな観察への階層的パターン マッチング構造をとること、換言すれば、文字パターンを何段階かにぼかして、ぼけの多い階層からぼけの少ない階層へ、層を経るごとに文字の属するカテゴリーの候補の数を減らして認識する方式である。

入力パターン X はまず 32×32 絵素 $\times 4$ ビットに光電変換し量子化され、そのまま第4層用入力パターン $X^{(4)}$ として使用される。第3層用入力パターン $X^{(3)}$ は、 $X^{(4)}$ から作られ適度のぼかし処理と、リサンプリングにより 16×16 絵素 $\times 4$ ビット化される。 $X^{(2)}$ パターン($X^{(1)}$ パターンも同じ)は、同様にして 8×8 絵素 $\times 4$ ビット化して作られる。 n 個の標準パターンは第1層(ぼけの多い層)から第4層(ぼけの少ない層)の各層においてそれぞれ $X^{(k)}$ ($k=1 \sim 4$)と同じ量子

化量で用意されている。

第2層から第4層までの標準パターンは各層における各カテゴリーを代表しているが、第1層だけは幾つかのカテゴリーをグループ化して作られるクラスターの代表を示している。

ここでミニマム ペア法と名付けた新しいクラスタ化手法を開発し、これが上記第1層用のクラスティングに最適であることが明らかになった。この方法の基本的考え方は、各カテゴリー間の距離を総当たりに求め、カテゴリー i からみて最短距離のカテゴリーが j 、 j からみて最短距離が i であるような二つのカテゴリー i, j を見つけ、 i, j の平均値をもって一つのクラスターの代表とする方法である。この方法を教育漢字881字に応用した場合、1クラスター平均6.67カテゴリーからなる132個のクラスターが形成された。

認識処理は第1層から第4層へと順次実行されるが、この手順については前報(山本,

中田 電子通信学会誌56-D, 365 (昭48-6))で詳述した。

実験は上述のアルゴリズムを教育漢字881字の認識に応用して行なった。入力パターンには位置ずれ、太さ変動、ランダム ノイズなどのノイズ成分を人工的に付加したものをを用いた。このうち、前二者のノイズの付加量の範囲及び実験結果は次のとおりである。

(1) 付加量の範囲

- (a) 位置ずれ：0~3メッシュ移動分(1パターンは 48×48 メッシュで表現され、平均線幅は6メッシュである。)
- (b) 太さ変動：平均線幅からの変動量が、0~ ± 3 メッシュの範囲

(2) 実験結果

- (a) 誤認識率： 10^{-6} 以下
- (b) 認識不能率： 10^{-3} オーダー

この結果は階層的パターン マッチング法が実用的な光学文字読取機(OCR)として十分使用可能であることを明示している。