

製造業における流通システムの 計画管理技法の開発と応用

Distribution Planning and Control Techniques for the Manufacturer

資源の豊かな経済の高度成長時代には、市場に商品をオーバフロー気味に流して需給のバランスを図ることも可能であった。しかし、最近の厳しい経済情勢下では、社会的にも企業的にも、よりきめの細かい流通管理を行なって、流通コストを低減させることが強く要請されている。

本稿は、製造業での流通システムの電子計算機による計画管理技法として、日立製作所が実際に開発、応用してきた(1)生産・販売のための予測システム、(2)需要変動に対処するための製造出荷計画の策定及び修正システム、(3)販売政策検討のための流通構造解析システムの三つを取り上げ、その概要について述べる。

佐藤 敬* *Satô Takashi*
山田昇司** *Yamada Shôji*
平田重樹*** *Hirata Shigeki*

1 緒 言

経済の高度成長から低成長移行時代を迎え、製造業では今後より少なくなる新しい企業機会の中で、従来の市場追随型から市場創出型へと経営姿勢の転換を迫られているといえる。更に、これまでの生産合理化による生産コストの削減が極限状態に至っている状況にある反面、売上の低下は更に厳しいコストリダクションを要請している。この意味で、今後の企業努力の方向として、従来、必要悪視してきた流通分野の合理化とマーケティングの重要性がクローズアップされてきている。本稿は、製造業でのこれからの重点システムである流通システムにおいて、我々が実際に開発、又は応用してきた各種の計画管理技法を取り上げ、その考え方と機能について述べる。

2 流通システムの計画管理技法

2.1 概 要

効率的な流通管理と物流コスト低減の実現には、商的流通と物的流通の同期化、流通情報の一元管理を可能にする電子計算機の利用によるシステムの確立が不可欠である。これまでのシステム化は、工場の生産管理や受注出荷管理など、企業の日常活動を支える領域の情報システム化であった。流通システムは、物の移動を効率よく制御することを中心とした、計画、戦略レベルの情報管理システムとして位置づけられる。図1に流通システムの構成を示す。流通分野の計画システムの機械化に当たっては、流通管理が取引先との力関係、商習慣といった外的要因や、企業政策によって左右されることが多く、一義の論理判断にゆだねることが難しく、これまで人間の経験と勘に頼りがちであったことも事実である。これらの問題を解決し、システム化を実現するためには、流通システムで中核となる有効な計画管理技法の開発が必要となる。¹⁾

2.2 開発された技法

本稿は、開発された各種技法のうち、予測システム、製造出荷計画管理システム及び流通構造解析システムの3システムについて紹介する。需要予測を中心とした予測システムは、マーケティング指向のシステムで今後更にその重要性を増すが、今回はリサイクル問題への適用について述べる。製造出

荷管理システムは、需要、供給の変動を物流コストを適正にしてバランスをとる機能をもっており、流通システムの基本技法となるものである。更に、流通構造解析システムは、流通段階での製品の振る舞いを把握し解析するシステムであり、特に開放流通形態をとる業種に有効といえる。

3 予測システム

3.1 概 要

流通システムでの予測では、製品需要の予測が最も例が多く、またニーズの高いものである。しかし、近年に至っては省資源化の要求とともに、流通のリサイクルチャネル(資源回収)への関心が高まり、資源回収予測と回収システム化のニーズが強くなっている。

ここでは、資源回収予測の例として日立製作所で開発したビールや清涼飲料などの空容器(空きびん)回収予測方式について述べる。この予測方式には大別して二つのモデルが考えられる。一つは過去の趨勢を未来に延長する時系列予測モデルであり、もう一つは、製品出荷→市場消費→空容器回収という回収プロセスに着目した(製品出荷量を説明変数とする)、回帰分析予測モデルである。

3.2 時系列予測モデル

時系列予測手法には多くの種類があるが、Box-Jenkins法²⁾という近年開発された手法を用いた。

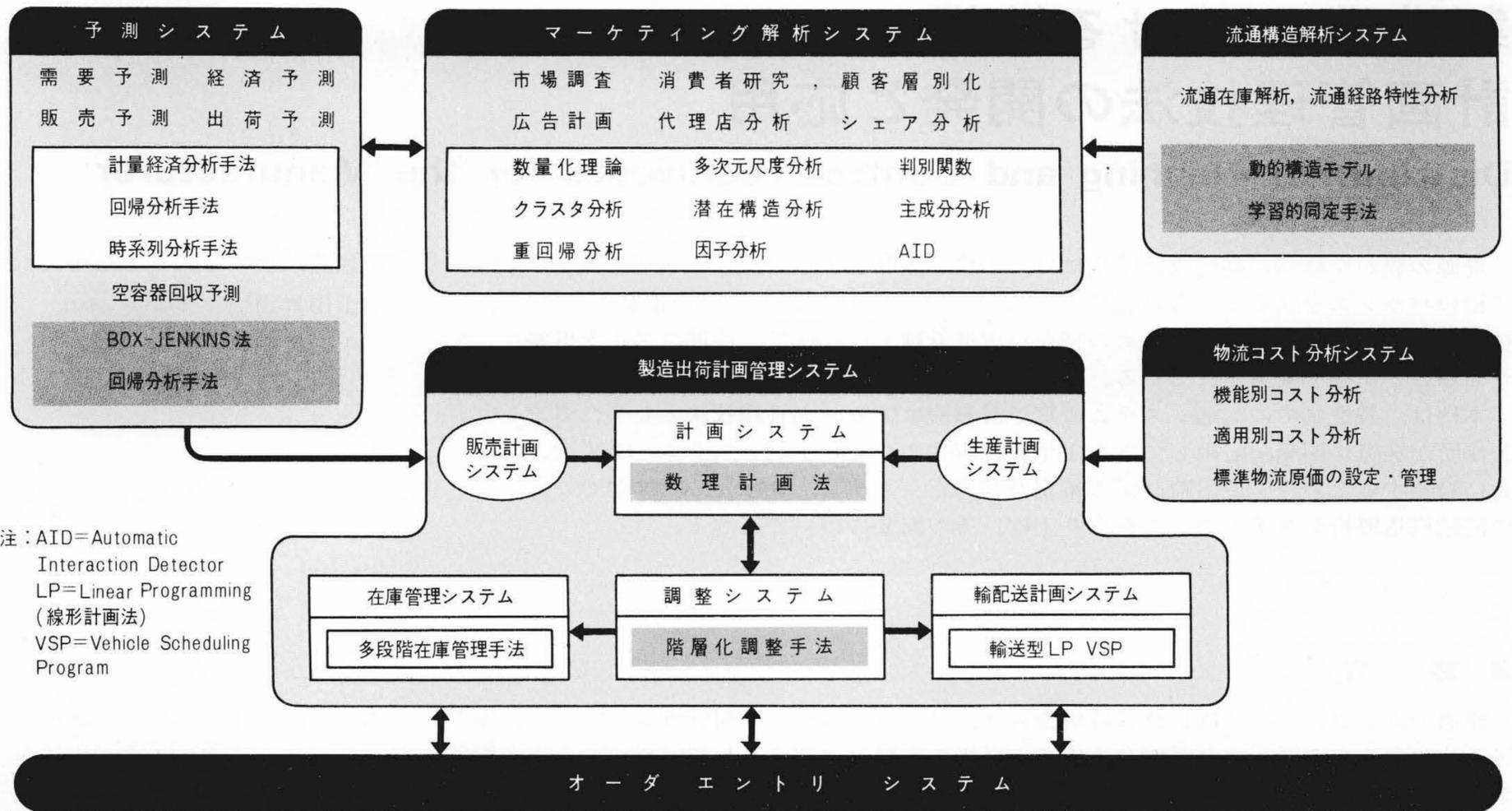
本手法の特徴は次に述べるとおりである。

- (1) 制御理論に基づく数学的に厳密な手法で、季節性や自己相関性のあるあらゆるパターンに適用可能である。
- (2) 理論上はもちろん、実用上でも他手法に比べて予測精度が良いといわれている。
- (3) 欠点は、必要データ数が多く(一般に100個以上)、また計算量が他手法の2~10倍となることである。

したがって、新しい分野の予測方式の開発には効果のある手法と考えられる。対象としてはビール空容器予測を採り上げ、Box-Jenkins法による予測を行なった。

図2はビール出荷量と空容器回収量を月別に示したものである。同図中の空容器回収量の時系列をみると、かなり強い

* 日立製作所システム開発研究所 工学博士 ** 日立製作所システム開発研究所 *** 日立製作所ソフトウェア工場



注：AID=Automatic Interaction Detector
 LP=Linear Programming (線形計画法)
 VSP=Vehicle Scheduling Program

図1 流通システムの構成と計画管理技法 流通システムの各サブシステムと技法の関連を示す。 が、今回報告する技法である。

自己相関と季節性をもっているので、次式のようなモデルを想定した。

$$Q(t) = F [Q(t-1), Q(t-12)] \dots\dots\dots(1)$$

- ここに $Q(t)$: 第 t 箇月の空容器回収予測量
- $Q(t-1)$: 前月の空容器回収量
- $Q(t-12)$: 前年同月の空容器回収量
- $F [\cdot, \cdot]$: 離散型伝達関数

このモデルをBox-Jenkins法でモデル同定、パラメータ推定と予測を行ない、実際に適用した例では、予実績の平均誤

差率が±8%という好結果が得られた。

3.3 回帰分析予測モデル

空容器回収のプロセスを考えれば、製品出荷量がある時間遅れを伴って空容器回収量になると推測され、実際でも図2の出荷量と回収量の関係よりこの考え方の正しさが分かる。

出荷量と回収量の時間的因果関係を定量的に表現するため、図3に示すような回収分布という概念を設定した。同図中の $P(t)$ は、ある月に出荷された容器が t 箇月後に回収される確率を意味し、すべての容器がこの回収分布に従うとすれば、

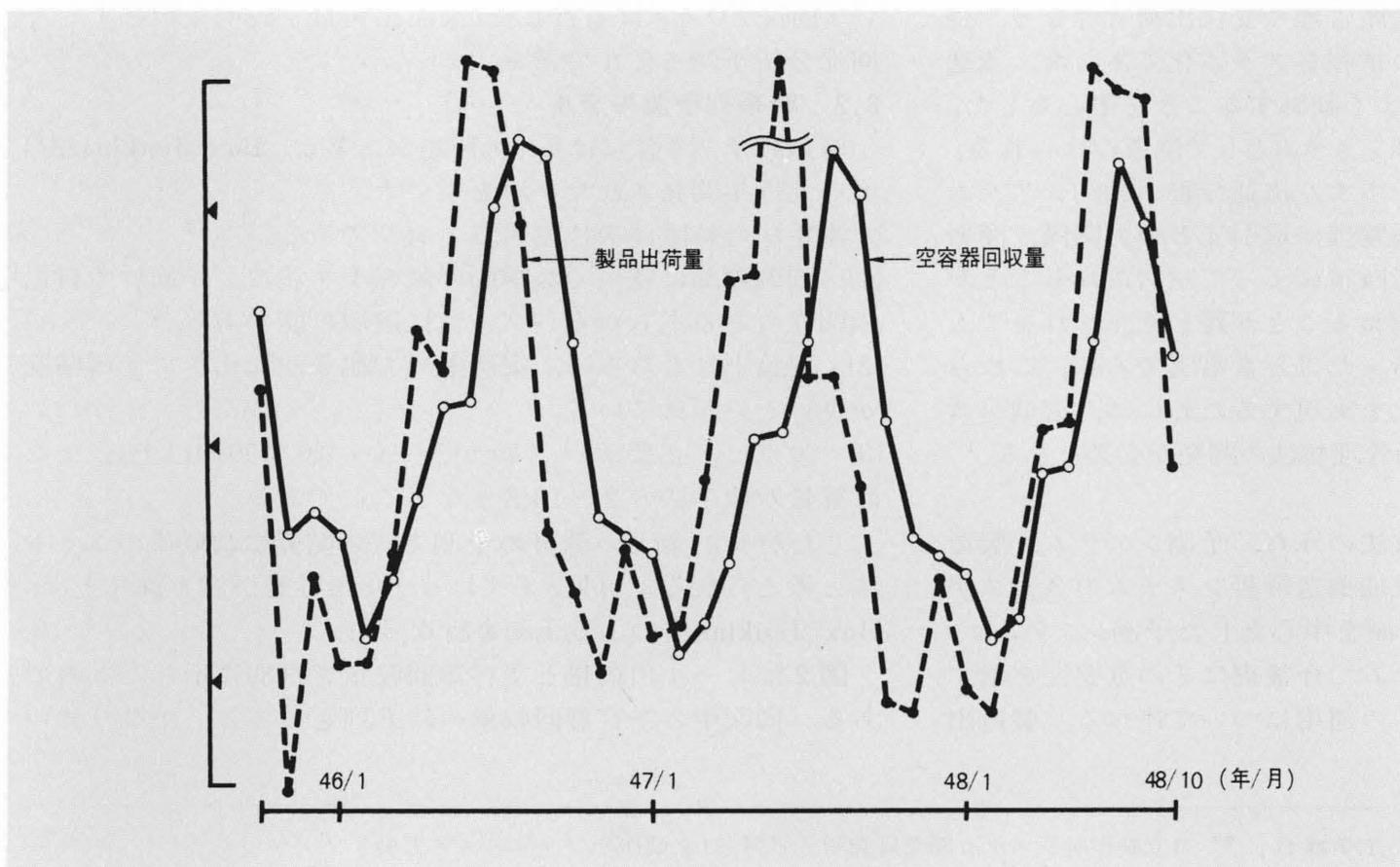


図2 ビールの製品出荷量と空容器回収量の時系列グラフ(昭和45年10月~同48年10月) 昭和47年6月の製品出荷量は極端に多いので、本図では省いてある。

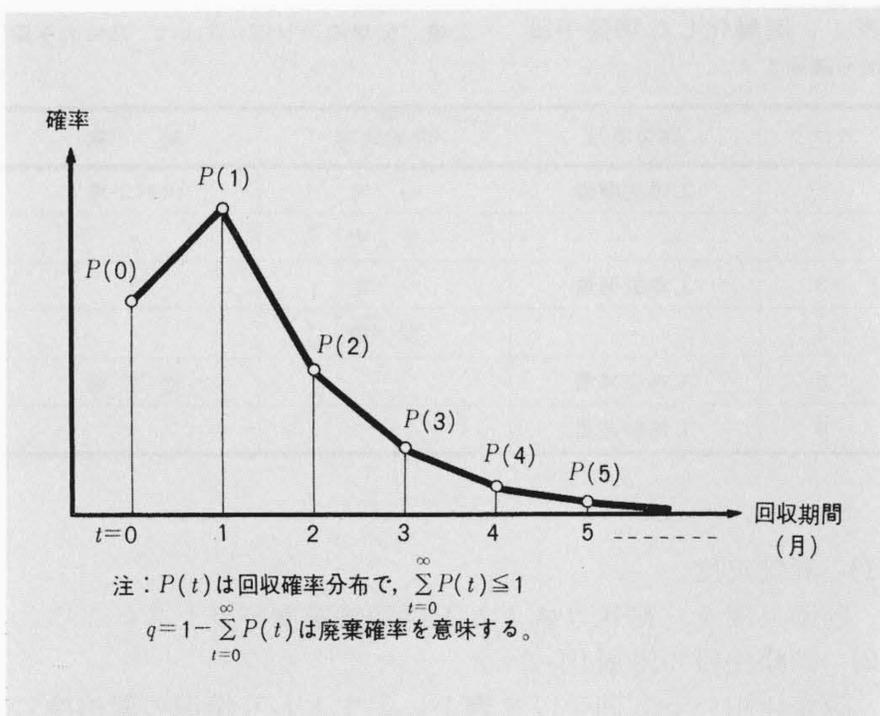


図3 容器回収分布の概念 図中の $P(0)$, $P(1)$, ……は、実データの計算による平均的なパターンを示している。

製品出荷量から空容器回収量を予測することが可能である。しかし、そのためには回収確率 $P(t)$ の値を決定しなければならないが、 $P(t)$ を直接測定するのは困難なので、次式の関係を用いて回帰分析による推定の方法を採用した。

$$Q(t) = \sum_{k=1}^n P(k) \cdot S(t-k) + \epsilon \dots\dots\dots(2)$$

$S(t)$ ：第 t 箇月の出荷量

ϵ ：ランダム誤差(平均値=0とする)

しかし検討の結果、次のような問題点が判明した。

- (1) 多重共線性が発生し、推定精度が著しく悪くなった。
- (2) 冬季よりも夏季のほうが明らかに回収速度が速いので、回収分布も夏季と冬季の2種類を設け、それぞれ別個に推定する必要がある。

このため、これらの問題を同時に解決する回帰分析手法を開発し、平均で相関係数 $R=0.98$ の説明力をもつモデルが作られた。ただし、本方法による回収量予測には別に出荷量予測が必要なので、予実績誤差率は一概に決定できないが、実際に適用した結果では平均±10%程度である。また本方法は、市場の回収構造を把握できるので、空容器回収量の定量的制御を可能とし、実用上の大きなメリットをもつ。

4 製造出荷計画管理システム

4.1 概要

ここで対象とするシステムは、需要の変動が大きく、かつ輸送/在庫コストの高い製品を複数の工場で製造し、需要地に散在する複数の営業所に出荷する形態である(図4参照)。長期的な生産計画は年初に立てられるが、その後の需要と供給の状況に応じて、1~2箇月単位の製造出荷計画が決められる。この製造出荷計画では、各工場の製造量・在庫量と各営業所の在庫量、及び各工場から各営業所へのお荷量が決定される。更に、需要変動に伴う販売計画と実績とのずれ、製造出荷計画への外乱(製造設備の故障、製造・輸送要員の罷業など)が生じたときに、製造出荷計画を旬・週、あるいは日単位で調整(修正)する必要がある。本章では、このような製造出荷の「計画システム」と「調整システム」の電子計算機化について述べる。

4.2 製造出荷計画システム

製造出荷計画システムは、次に述べる2点が特徴である。

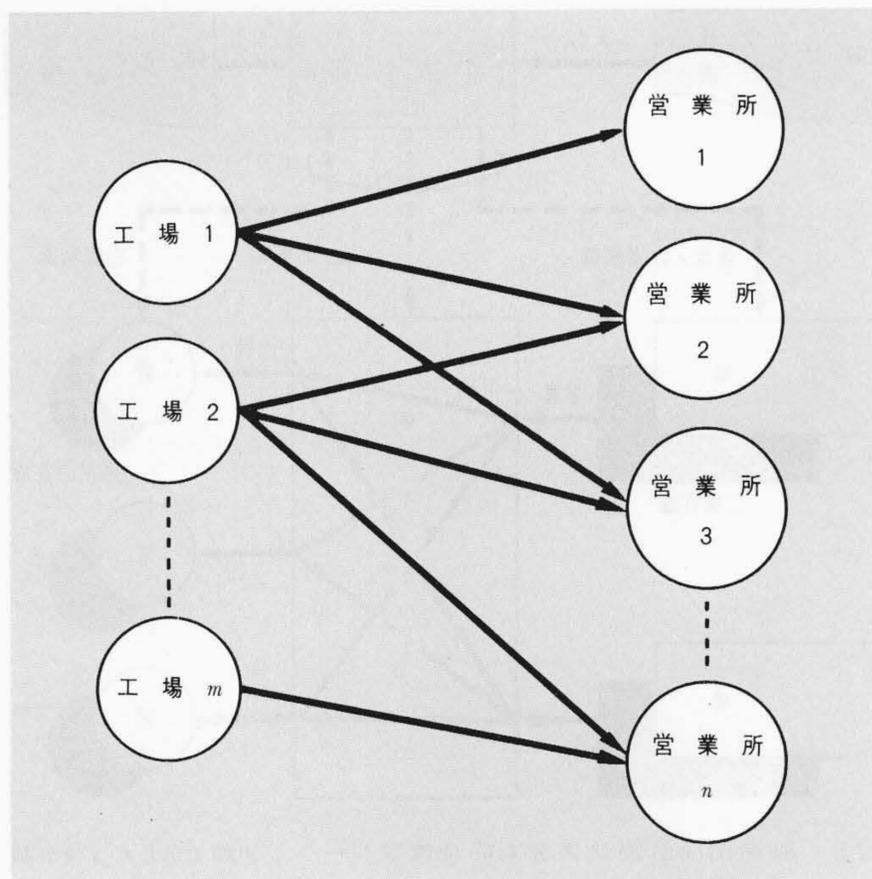


図4 工場と営業所の需給関係 一つの営業所は複数箇所の工場から同時に供給を受けている。

(1) 供給比率のデマンドコントロール方式

需要変動が大きく、また在庫コストも高いので、需要変動をすべて在庫で吸収させようとすると膨大なコストになる。

しかし、図4で示したように、工場と営業所間の輸送が交錯出荷(各営業所が複数の工場より製品の供給を受ける)形態であれば、工場の製造量が一定でも供給比率(各営業所からみた供給工場群への供給量配分比率)の変化で相当な範囲の需要変動に対処することができる。このように、需給ギャップの吸収を、在庫でなく需要に対応した供給比率の調整で行なう供給比率のデマンドコントロール方式によれば、必要在庫量を最小限にすることができる。

供給比率の計算は同時決定問題となり、また輸送/在庫コストの最少化を図るために、計算量と計算時間の点から数理計画法を使用した電子計算機演算方式を採用している。

このような方式は現実の場でも経験的に行なわれているが、本システムは組織的かつ迅速に最適計算(計画)を行ない、最大限の流通コスト削減をねらっているところに特徴がある。

(2) 計画修正の処理のシステム化

本システムの計画期間はその性質上、中期計画(1~2箇月程度)に適用されるが、計画期中に需要変動が発生する可能性が高く、この場合に計画修正をどのように行なえばよいかという問題がある。最適計画の維持と新局面への対応は互いに両立が困難なものであるから、計画修正の方針としては次の二つがある。

(a) 最適計画重視方針

元の最適計画へ近づける修正計画を作成し、実行する。これは次節で述べる製造出荷調整システムに外ならない。

(b) 新局面への対応重視方針

変動の起こった時点で今までの計画を中止し、新しく再計画を行ない、実行する。

以上、どちらの方針も一長一短があり、すべての局面で有効なものではないから状況により両者を使い分ける必要がある。そこで本システムでは、変動による計画と実績の誤差を

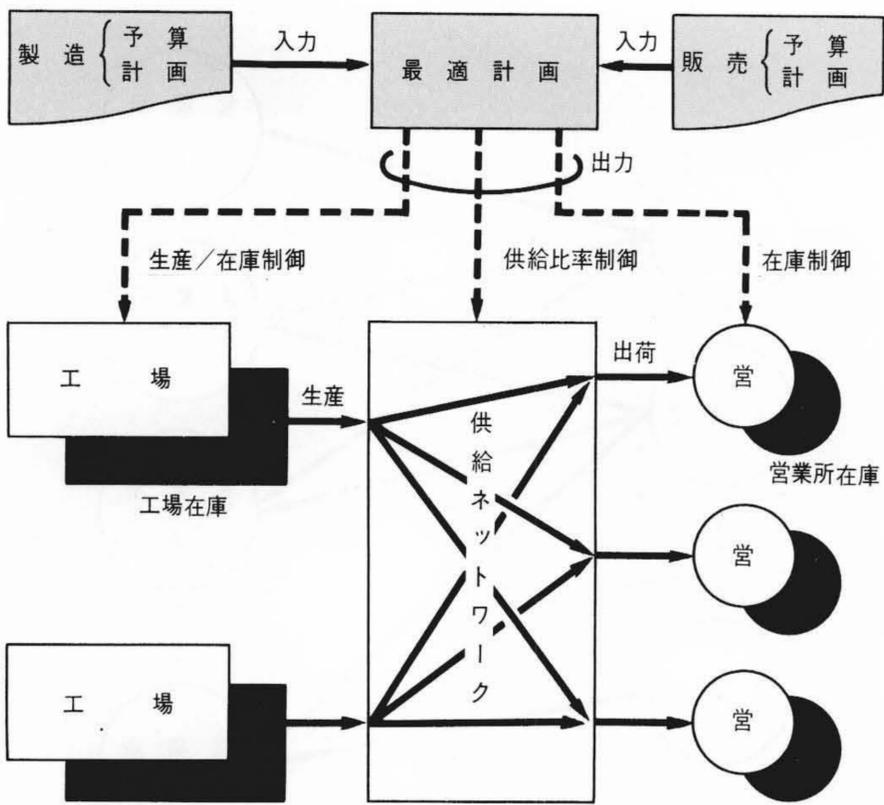


図5 製造出荷計画システムの全体フロー 点線で示した3種の制御により、製造出荷のプロセスを統合制御する。

計算し、誤差量が一定範囲(修正領域)内のときには調整システムのアクションを、範囲外(再計画領域)の大きな誤差のときには再計画のアクションを自動的に勧告する方式を採っており、担当者の最終的判断で計画修正方式の選択が行なわれるシステムになっている。

以上の特徴を踏まえた製造出荷計画システムの全体は図5に示すように表わせる。同図で見ると、計画期間の販売予算と製造予算を入力し、流通コストが最小となる最適計画を電子計算機で計算し、最適計画の指示に従い、期中の工場の生産/在庫量・供給比率・営業所の在庫量を総括制御する。期中での需要変動に対しては、前述したように製造出荷調整システム、又は再計画のアクションをタイムリーに行なう。

最適計画の計算のためのソフトウェアは相当大規模なものになるため、計算アルゴリズム〔LP(線形計画法)などの数理計画法を使用する〕の優劣よりも、入出力ルーチンの完備、モデル修正の容易さ、エラーチェックの完備など実用上の使いやすさのほうが重要な問題である。そこで本システムは、最適計算とその周辺処理ソフトウェアを管理するジョブコントローラを設け、ユーザーが簡単なパラメータを与えれば、以後はこのジョブコントローラが自動的に進行管理を行ない最適解を導く方式を採っている。

また本システムは対象が物理的なものではないので、定量化の困難な種々の問題がある。したがって、電子計算機で求められた最適解は実業務を行なううえでの一つの指針であり、具体的な作業計画や調整は人間の判断に任せられている。

4.3 製造出荷調整システム

4.3.1 調整システムの基本方針

ここに述べる製造出荷調整システムとは、4.2で述べた最適計画作成後に需要変動が生じた場合に、計画を一部手直しして対応させるものである。このような調整を行なうには、そのときの営業事情、労務事情、輸送事情などを勘案する必要があるので、従来は調整担当者の勘と経験に依存する場合が多かった。これらすべての情報を電子計算機に入れて判断させることは現実的でないので、電子計算機を援用した調整方式として、次のような方針に基づく方式を新たに開発した。³⁾

表1 階層化した調整手段 工場、営業所の状況に応じて、低位の手段から適用する。

ランク	調整手段	供給比率	対象
1	工場在庫量	一定	供給工場
2	"	変更	"
3	工場製造量	一定	"
4	"	変更	"
5	工場在庫量	—	他工場
6	工場製造量	—	"

(1) 評価尺度

評価尺度を、輸送コストと工場間操業度バランスにとる。

(2) 調整手段の階層化

調整に用いる制御手段を表1に示すとおり状況の緊迫度に応じて階層化し、低位の手段で調整不能の場合に上位のランクの手段に進む。

(3) 調整に対する感度解析

調整案を出力するだけでなく、ある調整手段をとったとき、それが他の変数や制約条件に及ぼす影響(感度)を電子計算機で出力して、調整担当者の判断に資する。

4.3.2 調整手順

調整手順の概略は次のとおりである(図6参照)。

(1) 輸送コストを低減させるため、最適計画における供給比

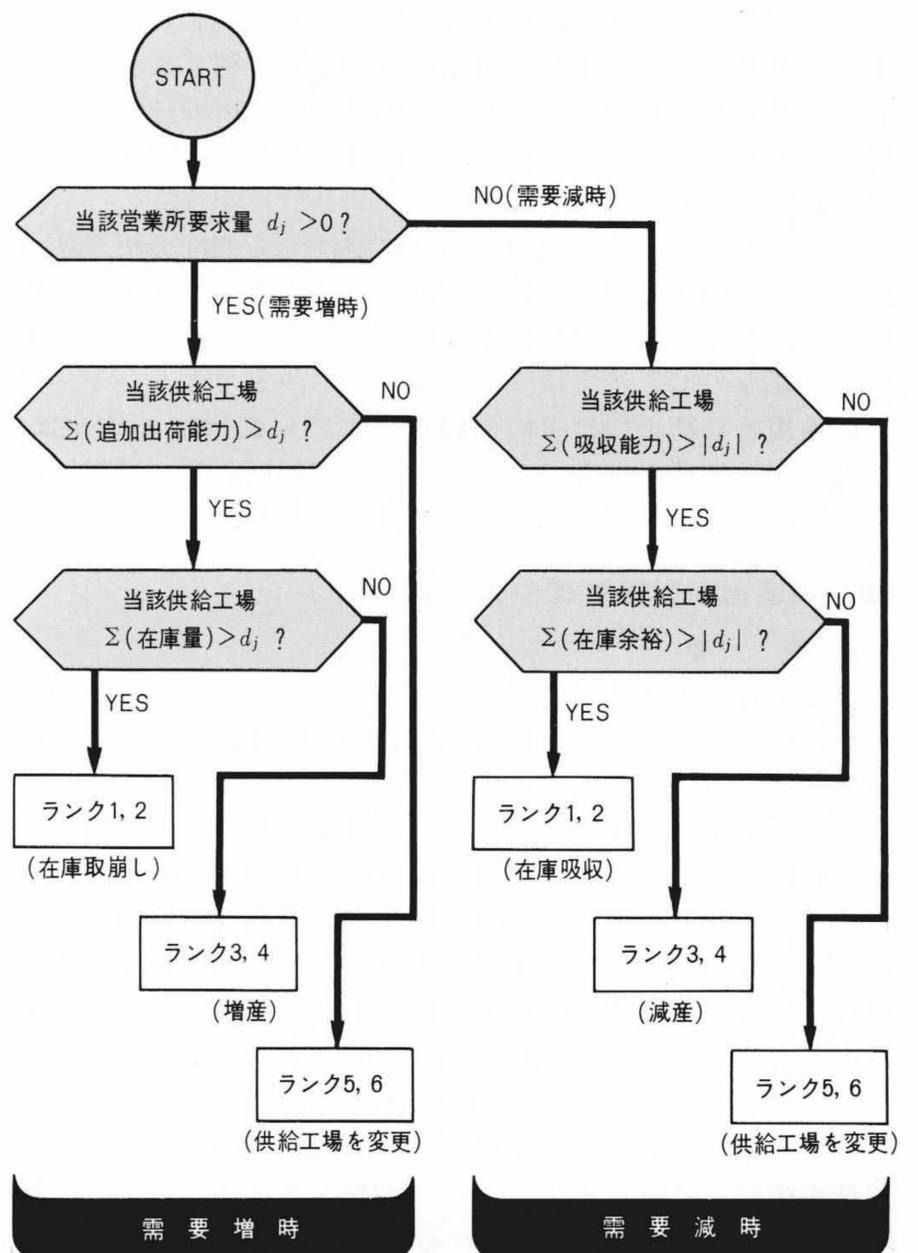


図6 製造出荷調整の手順 当該供給工場の能力と営業所の需要増(減)量の関係によって、調整手段が選択される。

- 率によって需要量を配分することがまざる。
- (2) 工場在庫量によって引当て(ランク1, 2)できない場合は、増産又は減産(ランク3, 4)によって対処する。
- (3) 供給工場によって引当てできない場合は、供給工場以外の、営業所に近い工場から順に在庫又は製造で引き当てる(ランク5, 6)。
- (4) 需要変動が複数の営業所で同時に起こる場合は、一定の基準により一つの営業所から逐次調整を行なう。
- (5) 調整後の各工場の在庫量、及び操業度を出力し、人間の判断材料とする。

以上に述べた調整システムを、3工場、5営業所から成るある地域に適用した結果、従来の人間だけの判断による修正実績値と比べ、総輸送コストを5~9%削減できることが確認できた。

5 流通構造解析システム

5.1 概要

一般に大量消費財のメーカーでは、メーカー支配型の流通チャネルをもつものを除いては、自社の製品が出荷されてから市場でいかに在庫され、販売され、消費されていくかの情報を正確に把握することが困難である。それゆえ、流通段階における製品の動きを把握して、生産計画や販売計画に素早くフィードバックするシステムの開発が必要とされる。次にこの目的のための二つの手法について述べる。

5.2 動的流通構造モデル

いま、中身が消費された後、その空容器がメーカーに回収される製品(例えば酒類、飲料など)について、各流通経路(卸、小売、消費者)に在庫される製品及び空容器の量を推定したい場合を考える。

単純化するために、卸、小売、消費者とも、消費量に比例する量の製品を在庫しようとするポリシーと、自己の保有する空容器在庫量に比例する空容器を返却しようとするポリシーとをもつものとする。すなわち、そのポリシーは次の微分方程式系で表わされる。

$$\frac{ds(t)}{dt} = x(t) - w(t) \dots\dots\dots(3)$$

$$w(t) = a_1 s(t) \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{dv(t)}{dt} = w(t) - y(t) - z(t) \dots\dots\dots(5)$$

$$y(t) = a_2 v(t) \dots\dots\dots(6)$$

$$z(t) = dx(t) \dots\dots\dots(7)$$

- ここに
- x : 出荷量
 - w : 消費量
 - y : 回収量
 - z : 損耗量
 - s : 製品在庫量
 - v : 空容器在庫量
 - a_1 : 製品消費率
 - a_2 : 空容器返却率
 - d : 容器損耗率

以上のメカニズムを模式的に表わせば、図7の水槽モデルとなる。(3)~(7)式を連立して電子計算機で解くことにより、各在庫点での製品及び空容器の在庫量のダイナミックな変動を知り、販売計画、生産計画及び空容器回収計画に役立てることができる。⁴⁾ また、実績データからパラメータ a_1 , a_2 , d を求めることにより、市場の地域特性を把握することも行なっている。

5.3 学習的同定手法の応用

流通段階では、断片的な情報は収集できても、全体のメカ

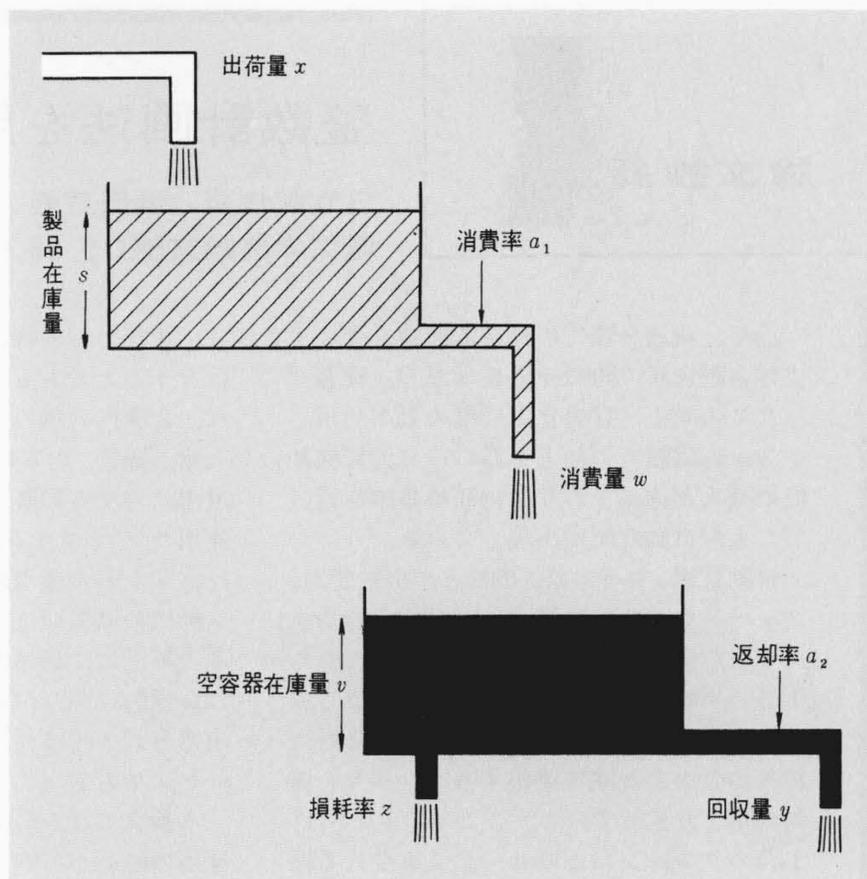


図7 動的流通構造モデルの概念図 市中で製品が在庫され、消費され、空容器として在庫され、回収される様子を水槽模型で表わしている。

ニズムはメーカーにとってブラックボックスである場合が多い。このような場合、制御理論における同定(identification)の手法を応用することが有効である。例えば、最近ソ連で開発された、多変数・非線形システムの学習的同定手法GMDH(Group Method of Data Handling)は、入力データの中から、出力変数に相関の強い変数を自動的に選択し、階層構造によって、入出力変数間の構造式を作成していく機能を持ち、対象に対する予備知識がなくても、だれにでもモデル化ができる点が特徴である。このGMDHを適用して、市場から回収される製品の空容器量を推定したところ、平均誤差8%程度の答を得ることができた。^{5) 6)}

この例のように、他分野での既存の手法を流通システムの計画管理に応用していく努力も今後進める必要がある。

6 結 言

以上、製造業での流通システムの計画管理技法の開発と応用の一端について述べた。今日の厳しい経済情勢下では、マーケティング戦略と直結した、きめの細かい流通管理がますます求められよう。今後、我々は、関連業界の協力のもとに、各流通チャネルの特性にマッチした計画管理技法の開発をよりいっそう推進していく考えである。

参考文献

- 1) 平田, 菊川:「食品製造業における物流情報管理システム」, 日立評論, 57, 475(昭50-6)
- 2) G.Box, G.Jenkins: "Time Series Analysis——Forecasting and Control" Holden Day (1970)
- 3) 佐藤, 松浦:「需要変動時における生産輸送計画修正のコンピュータ化」, 電気学会全国大会(昭51-4)
- 4) 佐藤ほか:「空びん回収の構造モデルに関する基礎検討」, 日本OR学会春季研究発表会, A-19, (昭50-4)
- 5) 佐藤ほか:「GMDHによる空びん回収量予測」, 同上, A-18, (昭50-4)
- 6) 佐藤ほか:「消費構造の推定」, 計測自動制御学会システムシンポジウム(昭50-7)

整数計画法を用いた大形自動倉庫の出庫方式

日立製作所 浜田巨曼

電気学会論文誌C, 96-3, 61 (昭51-3)

近年、流通合理化の社会的要請を受けて立体自動倉庫の建設が盛んになり、顧客サービスの向上、省力化、設備の効率利用、システム信頼度の向上をねらって計算機制御の導入が進んでおり、物品の集中を徹底した大形自動倉庫が出現している。

自動倉庫システムは、棚などの格納能力、クレーンなどの稼働能力、及び梱包能力を持った設備群と、容積と流動量、すなわち1日の平均出庫量を持つ複数の品目より成る物品群から構成される。設備群は複数のアイルとアイル間を連絡するコンベヤや電動台車より成っている。ここでアイルとは、1台のクレーンによりサービスを受ける棚の集まりを指している。各物品は、あらかじめ指定された格納アイルに到着しだ入庫され、必要に応じて梱包され、顧客の要求に応じて出庫される。

自動倉庫の運用の問題は、第一に、与えられた設備能力に合った物品の選択を行ない、更に、各物品に対する設備能力の割付

け、すなわち各物品の格納アイルの決定を行なうことである。これは格納方式と呼ばれ、倉庫内の物の流れによって分けられた入庫、梱包、出庫の三つのサブシステムの運用に対する影響力が大きい。第二に、各運用サブシステムに対する設備能力の割付け、すなわち運用時間の配分決定やクレーン動作の優先順位の決定を行なうことである。第三に、具体的な在庫物品を出庫要求に合理的に割り付けることである。これは出庫方式と呼ばれ、顧客に対する直接のサービスである。

本論文では、格納ブロック(アイル)間で運用の融通が可能な自動倉庫システムに対して、出庫方式の目標を達成しやすくする機構として、アイル間の関係度を高めるリンク格納方式を提案し、評価した。シミュレーション結果によると、リンク格納方式によりアイル間の負荷のばらつきが半分程度に抑制できることが確認できた。出庫方式で、リンク格納方式の効果を確実に得る

ために、割付け用のアルゴリズムとして、1-0IE法に政策選定機能を付加した整数計画アルゴリズムを採用し、出荷の集約性とアイル間の作業バランスを考慮した出庫方式の定式化を行なった。シミュレーション結果では、コア容量10K語、処理時間1分程度を目安とすると、20の販売店(独立変数に換算して50程度)の割付けが同時に行なえることが分かった。整数計画法のヒューリスティックルーチンに対する効果は、通常の場合では作業バランスには大差がなく、出荷集約性が2~10%向上することが分かった。したがって、整数計画法の実用面での効果は、特異な場合にも良好な解を安定に与えることと、処理手順の標準化が行なえることである。本報は、自動倉庫における運用上の融通を、格納ブロック間で高める機構について論じた。今後、自動倉庫の基本機能である格納能力と稼働能力との間の融通について、実用化の観点で検討が必要である。

デジタル情報の実数変換による誤り修正方式

日立製作所 鶴岡 久

電子通信学会論文誌(D) 59D-2, 85 (昭51-2)

環境条件が厳しくて装置の故障を招きやすく、雑音を非常に受けやすく装置の誤動作を生じやすい分野として、プロセス制御機器や各種の搭載用機器がある。こうした分野に、従来通信方面で主として使用されてきた符号理論に基づく誤り修正方法を適用することは、コスト上問題があるし、また、冗長化技法によって装置を多重化しても、多重故障や同時誤動作が少なくないため、効果は十分とは言えない。

限られた回数で確実な情報転送を行なう必要のある一般の通信と異なり、プロセス制御機器や搭載用機器では計測器から生ずる情報は処理装置へ必要回数転送することが可能であり、したがって、処理のほうも複数回行なってその平均的出力によって制御することが許容される。

計測器から処理装置へ転送するデジタル情報が受ける雑音の大きさは、各瞬間でランダムであり、その結果として誤りビット数の大きさも、誤りビットの位置もラン

ダムであるとするれば、通信の分野では誤りビットに対してその修正が確実にこなわれなければ意味がないのに対して、時間平均で許容範囲の雑音の抑制が行なえれば実用上差し支えない場合がある。

そこで、ある誤りビット数でのすべての誤りパターンが完全に修正できなくても、比較的高い修正比率が広範囲の誤りビット数に対して維持できるほうが好ましく、これが実数変換による誤り修正方式である。すなわち、誤りビット数に対して修正比率の総和を最大にすることをねらいとしている。

本方式では、基の情報ベクトル X に実数変換 U を行なって情報を S として転送する。この過程で加法性雑音 E を受け、情報は S' になるが、受信に際して逆変換 U^{-1} を行なって基の情報 X' を得る。これらを表現すると、

$$S = U \cdot X$$

$$S' = S + E$$

$$X' = U^{-1} \cdot S'$$

となる。 X' と X との差を Σ とすれば、

$$\Sigma = U^{-1} \cdot E$$

となる。雑音の評価規準として Σ の2乗平均 Σ^2 をとれば $\| \cdot \|$ を行列のノルムとして

$$\Sigma^2 = E^2 \cdot \|U^{-1}\|^2$$

となり、したがって、誤り修正能力の最も高い最適な変換 U は $\|U^{-1}\|^2$ の値を最小にするものである。

本稿では実用的観点から変換 U の元を ± 1 に限定するとアダマール行列がこの条件を満たすことを導いている。続いて誤りパターンが、完全にランダムであると仮定した場合の変換行列の次数と修正能力との関係を求め、四次の変換が実用的であることを示している。

この方式は、従来の誤り修正コードと異なり、あらゆる誤り方に対して確定的に修正を行なうのではなく、むしろアナログ的なフィルタに類似しており、プロセス制御機器や搭載用機器の分野を含めて各種の応用が期待できる。