長期最適生産計画作成システム

浪平　博人

要　旨

環境変動の激しい今日，企業がその変動に応じて的確に長期計画をつくり常に対応してゆくことの大切さは論をまたない．

しかし，現実にはその作業は相当工数のかかるものであり，したがって一案作成がやっとであり，他のありうるケースの合理的な検討は時間的に不可能な場合が多い．

本稿では，迅速に状況の変化に対応しうる長期最適生産計画作成システムにつき述べる．本システムは，ダイナミック・プログラミングを基本として，需要を与えられて種々の制約を考えて，期間内コスト（生産コスト＋在庫コスト）を最小にする計画をつくり出す．本システムの活用により，従来1～2時間の工数の計画作業単位が，種々のシミュレートを含めて3分程度で行なえるようになり，内容の精度向上とともに大幅な工数削減となった．

1. はじめに

企業は普通月に1度，変わりゆく状勢に応ずるため，設備計画，人員計画を見直し，向う1～2年の月単位の生産計画を製品群レベルで立てる．

通常は，担当者が伝統の手順にしたがい，主な値は経験的に決めて計画を作成している．しかし手作業では工数が膨大なので，おこりうる一番中心的な状況に対する1案しか検討する時間がなく，想定した場合以外の種々のありうるケースに対する検討は，行なう余裕のないのが多くの場合である．基本計画が不充分な検討のもとで決められている場合は不要な変更が多く，それにともない不要なコストが発生する．

加えて，昨今の企業環境の変化の激しい時にあっては，状況の変化にともなう基本計画の見直し，修正の必要性の頻度は非常に高くなってきており，その的確な対応力は受注活動にも大きな影響を与える．たとえば，海外からの大型受注の検討のとき，その受注の能力的可否の回答に要する時間は短かいほど受注獲得に有利である．

ここに，種々の条件の場合のシミュレート可能な，柔軟かつ合理的な長期最適生産計画作成システムが要請されていた．

某企業に在籍中，筆者はこのような長期最適生産計画作成システムを作成しこれを実施にうつし，それなりの実績をおさめた．

特に，条件をゆるめたり，きつくしたりしながら計画を現実的なものに仕上げてゆく過程がはっきりとわかる点で，使用者からも好評であった．また各状況にあわせて部分的な適合をほどこせば他の企業における使用にも耐えられるものと思い，ここに紹介させていただく次第である．

2. 開発の経緯

前述の要請に対し，以下のプロセスで解析をす

なみひら　ひろと　産業能率短期大学
〒158　世田谷区等々力6—39—15

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

すめ検討を行なった.

2.1 現状調査

担当者に面接をし，質問形式で仕事のやり方，苦慮する点，制約等を聞き，次の事柄を明らかにしていった.

(1) 計画の良否のメジャーは，計画期間の全コストで測るのがよい.

(2) 現在の計画作成の考慮要素は，次のようなものである.

a．需要予測量

b．期首在庫

c．期末目標在庫

d．最大在庫（利用可能な倉庫スペース）

e．最小在庫（荷ぐり能力より決まる）

f．生産能力（設備能力と人員による能力の小さい方）

なお，現状では担当者は経験的に仕事をして過去の経験を遵守するようにしており，作る計画とコストとのつながりは明らかではなかった．したがって，計画は作成者によっても，また作成時点の環境によっても，相当異なった性質の計画ができたが，一貫性を欠くのでその調整が大変であった.

(3) 実行上の制約として，生産水準の急激な変動は工場側の非常な混乱をまねき好ましくない.

このことは，工場ごとに環境への対応度合いの柔軟度があり，その範囲内での計画でなければならぬことである．これは，次の2つの制約として表わせる.

a．稼動水準の対前月変動幅は，ある与えられた範囲内であること.

b．年間を通した変動幅も，ある範囲内にあること.

(4) コスト要素は次表のようなものである.

費用名	要　　素
加工費	労務費，電力，燃料，その他
直材費	天然ゴム，合成ゴム，繊維コード，カーボンその他
在庫費	自家倉庫費，賃借倉庫費，在庫金利

2.2 問題の定義および考察

以上の調査により，解決すべき問題は次のものであり，それを種々の条件下でシミュレートを迅速に行なう対話形式のシステムをつくることである，と理解した.

［問題の定義］

期首在庫と期間内の需要予測量が与えられて，月々の需要に応じつつ期末において与えられた期末在庫になるような生産計画の中で，期間合計コスト（生産コスト＋在庫コスト）が最小であるものを求める.

ただし，その計画の生産の変動はある範囲内であり，在庫は月ごとに決まる最小在庫と最大在庫の間にあること.

［問題の考察］

ある月の生産量を決めるには，それ以前に決められた生産量に影響を受け，またその月の決定は翌月以降の生産決定に影響を与える.

いま在庫の変動に着目すると，各月の需要は与えられているとの条件のもとでは，ある月の生産量を決めることはその月の在庫量を決めることと1対1に対応する．すなわち，問題を次のように言いかえることができる.

期首在庫から出発して各月ごとに在庫量を決めながら期末に目標在庫に達する種々のルートのうち，制約を満たしつつかつ最小のコストのものを求める．すなわち，これは多段階決定問題であり，基本的に，ダイナミック・プログラミング（以下ＤＰ）の考えにより解決できることがわかった.

2.3 定式化

本問題は典型的なＤＰに帰着したが，そのルート選択時にいくつかの制限があることが特徴である．説明のため，以下のように記号を定める.

h　：在庫レベルのメッシュ

Z_0　：期首在庫

Z_N　：目標期末在庫

$Z_{\min}(i)$　：i 期の最小在庫

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

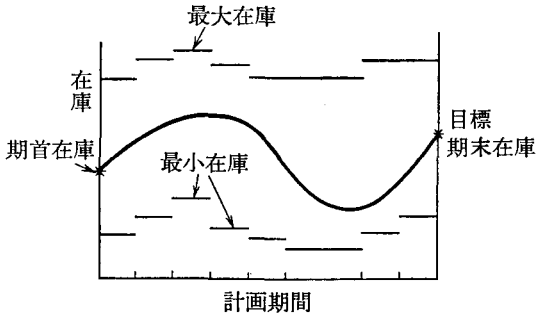


図 1

$Z_{max}(i)$ ：i 期の最大在庫

$f(i,j)$ ：i 期の始めに在庫レベル j に達する最小コスト

$g_i(j,k)$ ：i 期に在庫がレベル j から k に移るときのコスト

$D(i)$ ：i 期の需要（既知）

$A(i)$ ：i 期の生産能力（既知）

$L(j)$ ：任意の期の j レベルに達する最適ルートの直前の期における生産レベル（生産レベル＝生産/能力）

すると，一般に

$$f(i+1,k)=\underset{j}{\mathrm{Min}}[f(i,j)+g_i(j,k)]$$

ここで，j および k は次のものを満たす範囲であること．

(1) j，k は各々の期の Z_{min} と Z_{max} の間にあること．

(2) 生産はその能力以内であること．

$$生産=(k-j)h+D(i)\leqq A(i)$$

(3) 生産レベルの変動は指定された許容範囲内であること．

許容範囲をプラス側に ε_p，マイナス側に ε_m とすると，

$$L(j)-\varepsilon_m\leqq[(k-j)h+D(i)]/A(i)\leqq L(j)+\varepsilon_p$$

コスト $g_i(j,k)$ は，生産コストと在庫コストを考えた．生産コストは，生産量 $P=(k-j)h+D(i)$ により発生するコストである．必要なら，次のようなことも折り込むことができる．

・時期により発生するコスト

たとえば，夏には電力を多く消費する等

・量により変化するコスト

たとえば，能力のぎりぎりになると残業等によるコストアップ

・あらかじめ予想しうる単価の変動分

在庫コストは，平均在庫量に対する金利と，その容量が自家倉庫容量を超えたときに必要となる営業倉庫費用を考えた．この費用は，契約により発生形態が異なるから実情に合った表現が必要である．

最初のルートの始めは Z_0 から始まり，最後の期間のルートは目標期末在庫 Z_N に終ることにより，全体として最適なルートが唯1つ求まる．

3. システム設計

3.1 設計対象の環境説明

ある耐久消費材メーカーを対象として選んだが環境としては次のようであった．

(1) 製品の種類は6000程度であり，それが約30の製品群に分けられていた．

(2) 需要形態としては大きく3つに分かれ，一般消費者向，国内メーカー向，海外向である．

(3) 工場は8工場あり全国に分散しており，各々の需要の担当が原則として決められていた．

(4) 一般消費者向けの需要は地域性の顕著なものであり，たとえば北海道と九州では需要発生パターンはまったく異なっていた．

(5) 海外向け需要比率が次第に高まる傾向にあるが，製品構成の変動が激しく，量の変化も激しい．

(6) 国内メーカー向けの需要も，長期の需要傾向があり，かつ突然の構成変化もしばしばあった．

3.2 設計方針，内容

システム全体を大きく3つに分け，予測値作成，マスター作成，計画計算とし，**図 2** のような構成とした．

予測値作成は，販売データから製品群レベルに

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

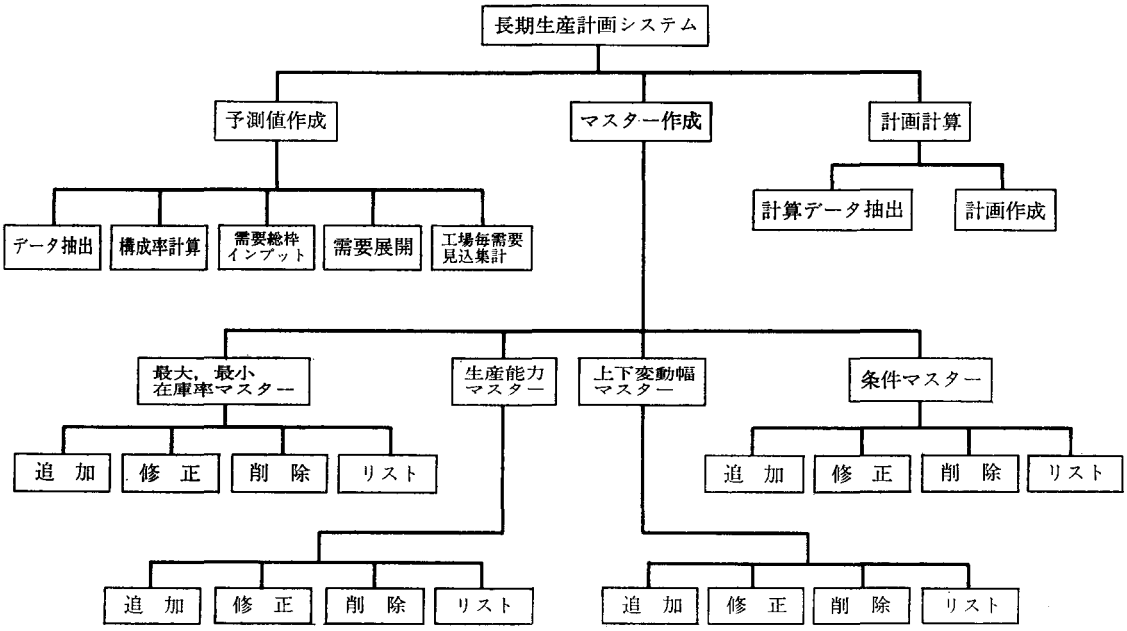


図 2　システム構成図

まとめた量の構成率を出し，将来の総枠を与えることにより将来の見込値を出し，それを担当工場ごとに集計することにより，工場ごと製品群レベルの需要予測量とすることにした．

構成率の算出は，一般消費者向け需要についてはセンサス局法で不規則値を除いた後の値を用いて月ごとの構成率を出しそれを用いた．

その他の需要形態については，最近の3カ月の平均構成率をすべての月に適用した．これらの処理は，扱うデータ量が多いので，大型機を用いることにし，フロッピーでパソコンに結果の見込値を接続することにした．

当システムは，パソコンの機動性，グラフィック処理，対話処理の能力を最大限に活用することを基本方針とした．マスター処理のために汎用のデータベースシステムをつくり，データの追加，修正，削除，リストは容易に行なえるようにした．

したがって，種々の異なったケースにおける計画のシミュレートが容易に行なえる．マスター関連のシステムは BASIC で組んだ．

メインの計画作成部は計算量が多いので FORTRAN で作成した．数値計算の多い内容の処理速度の比較において，FORTRAN は BASIC の50倍以上であり，BASIC では実用的な処理スピードではなかった．

メイン計算部での計算量は，期間数N，在庫レベル数をLとすると NL^2 に比例する．あまりLを大きくすると時間がかかりかつ不必要な精度となり，小さすぎると計画値の精度が粗くなるので必要最小のLにするのが効率的である．実験の結果$L=30$，すなわち在庫レベルを30分割するのが良いことがわかり，それを採用している．

試行錯誤の結果とり入れたことであるが，与えられた条件で計画を計算中，その条件では理論的に不可能な場合，次の順で条件を緩和して再計算を行なうことにした．

(1)　上下変動幅を倍にゆるめる．

(2)　最小在庫率を80%にゆるめる．

(3)　最小在庫率を50%にゆるめる．

(4)　最小在庫を0とする．

(5)　以上のようにしてもだめなときは，制限は何

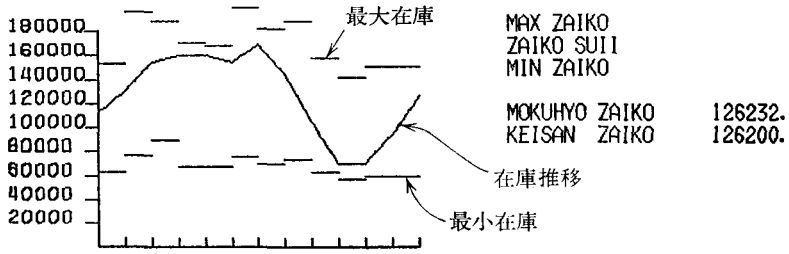
© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

KEY = AAA

MANUAL ADJUSTMENT　　UNIT = 1000.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DEMAND	131.	139.	179.	171.	155.	153.	181.	166.	171.	144.	129.	138.
ABILITY	600.	600.	600.	600.	600.	600.	600.	600.	600.	600.	600.	600.
SEISAN	574.	587.	593.	588.	600.	594.	584.	589.	584.	595.	596.	588.
NISSAN	570.	587.	593.	571.	584.	560.	506.	508.	454.	463.	513.	585.

NISSAN UNIT = 10.



OK ? (Y/N) -->

図3　画面アウトプット例

も考慮せず能力一杯生産する．

計算の結果は画面にグラフで視覚的に表示し，計画担当者が自分の経験を加味してさらに対話的に修正しうるようになっている．修正の結果は，ただちにグラフに表示され，担当者はそれを見ながら次の微調整を行なうことが可能である．最終アウトプットは**図4**に示す．

4. 評　価

このシステムを企業の現場において使用した結果にもとづき，定量的，定性的および運用面，品質面から評価を試みた結果を以下に記す．

4.1 定量効果

従来の方法では，計画作成工数は1ケースにつき0.5～3時間程度かかったが，当システムにより1ケース10秒で画面に結果が表示されるようになった．したがって，種々のシミュレート，微調整を行なっても1製品群の計画作成に3分程度で行なうことができる．ゆえに，スピードアップは20～30倍と言える．

4.2 定性効果

(1) 計画の精度向上

a) この計画の作成期間は非常にタイトで2日間しかなく，従来の方法では主要製品群のいくつかについて一番おこりそうな場合についてしか検討できなかったが，新システムでは全製品群(30)について精しく検討した計画がつくれるようになった．

OPTIMAL POSITION　KEY = BBB

MONTH	DEMAND	SEISAN	SNOW	NORYOKU	NISSAN	GESSHO	GETUMATU	MIN	MAX	COST	SEI-C	ZAI-C
1	39710.	43740.	0.	43740.	1800.	48400.	52434.	4700.	51760.	44748.	43740.	1008.
2	42430.	50400.	0.	50400.	1800.	52434.	60407.	5900.	72470.	51528.	50400.	1128.
3	59410.	55800.	0.	55800.	1800.	60407.	56802.	6100.	71810.	56972.	55800.	1172.
4	58860.	37000.	0.	57000.	1900.	56802.	54938.	3600.	68200.	58117.	57000.	1117.
5	55900.	49090.	500.	49090.	1900.	54938.	48126.	3600.	69130.	50120.	49090.	1030.
6	56670.	56500.	500.	56500.	1900.	48126.	47961.	3600.	61960.	57460.	56500.	960.
7	50790.	55710.	3000.	55710.	1900.	47961.	52886.	3600.	63880.	56718.	55710.	1008.
8	52360.	42790.	3000.	42790.	1900.	52886.	43315.	3600.	65400.	43752.	42790.	962.
9	53600.	50000.	4000.	50000.	1800.	43315.	39711.	3600.	59150.	50830.	50000.	830.
10	48480.	51800.	4000.	51800.	1800.	39711.	43027.	3600.	61750.	52627.	51800.	827.
11	50610.	53000.	1000.	53000.	1800.	43027.	45414.	3600.	63860.	53884.	53000.	884.
12	52350.	51840.	0.	51840.	1800.	45414.	44907.	3600.	63860.	52743.	51840.	903.
										629499.	617670.	11829.
	621170.	617670.	16000.	617670.						期間内コスト計	生産コスト計	在庫コスト計

図4　最終アウトプット例

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

b）種々のおこりうるケースを検討した幅の広い考慮を含んだ計画をつくることができるようになった．

たとえば，需要が10%上下に振れた場合，工場間で生産能力を移動した場合等，従来時間的に不可であったことが検討可となり，計画の不備による混乱が防げるようになった．

c）随時おこる突発的状況変化にも対処可となった．

これにより，たとえば海外からの大口注文に対する生産可否の検討，対処が迅速になりセールスに有利となった．

(2) 合理的な計画作成手順の定着

従来の，人に依存する計画では，対処の仕方に合理性，一貫性が不充分であった．

(3) 計画の良否をコストで測ることにより，納得性のある比較が可になった．また，条件を変えることが計画にどのようにコスト的に利いてくるのかがわかるようになった．

たとえば，生産水準変動幅が５%のときと10%のときでは，当然10の方がそれだけ柔軟な計画が可能なので安いコストの計画が組める．すなわち，５%時の計画の全コストと10%時のそれとを比較することにより，制約をゆるめること（すなわち，工場が対応力を増すという努力）の効果がコストとして把握できる．

次号予告

特集　線形計画法の最近の発展

有向マトロイドと線形計画　福田　公明（東工大）

線形計画問題の強多項式解法について　藤重　悟（筑波大）

随筆・ＬＰメリーゴーラウンド　刀根　薫（埼玉大）

対称な双対問題のペア上でのカーマーカー法　小島　政和（東工大）

線形計画問題に対する乗法的罰金関数法について　今井　治（九州大）

連載　会計計算の図解（１）　中村善太郎（慶応大）

4.3 運用面，品質面からの評価

パソコンの手軽さを最大限に活用し，かつマニュアル不要のメニュー方式にしてあるので，操作は一度で覚えられる．

任意のデータを簡単に変更して計算部につなぐことができ，当初の希望であった種々のケースのシミュレートが容易に行なえる．

メインの計算部は，１ケース約10秒で処理し結果を画面に表示する．この処理時間は充分実用的な速さであるとの評価を担当者から得ている．

計算された最適解はそのまま採用されており，品質的に申し分ないとの評価を得ている．与えられた条件では最適解が存在しないときは，条件を自動的にゆるめて再計算しているが，その結果の解は人の感覚的なものとよくマッチするので，画面上での微調整も容易との結論であった．

以上により，当システムは当初の問題のすべてに応える非常に有効な長期生産計画作成システムであると言える．

なお，生産コスト関数の決定はなかなかむずかしく，経理部と共同で詰めるべきものである．

5. むすび

本システムは，ダイナミック・プログラミングを基本とした計画システムであり，制約部分と評価関数部分を各々の企業の特殊性に合うようにアレンジすれば，一般的に適用できる長期計画作成システムと言える．また，本システムを通じて，システム的思考に対する信頼感，パソコンの能力への認識等が一般のユーザーに定着したのは，今後の発展に大いにプラスである．

参考文献

[1] Bellman, R. : *Introduction to Matrix Analysis*, McGraw-Hill

[2] 横山保，福場庸：在庫管理，共立出版

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．