論文・事例研究

生産日程計画作成への
ヒューリスティック・アプローチの一考察

浪平　博人

要　旨

多品種少量製品を，数十台の同一機種の機械で製造し設備の遊休を嫌って3直体制による昼夜操業が行なわれている工程の日程計画を考えた．計画の評価項目は継続性，ロット単位割当，極小ロットの吸収，前計画との接続，端数ロットの3直均等割当，負荷の均等化，在庫量の7項目である．このなかのロット単位割当という評価項目が問題の本質的な部分であり，機械への作業の割当はロット単位でみて整数であることが好ましく，端数を含むと生産効率下落につながり，これが計画を難しくするものであった．

これに対し，まず作業を割り当てるべきすべての機械が同一種機種なので機械別に考えるのをやめ，問題を簡略化して，製品毎の日毎，直毎の作業量を決める問題にした．次に問題への接近方法としてはヒューリスティックな方法をとった．数理計画的方法では，変数の数が多すぎ，かつ，数値が整数であるか端数を含むかで変わる評価の取扱いが難しいので，進めにくい．そこでヒューリスティックなアプローチに切り替え，問題の核心である整数条件を他の評価内容と合わせていくつかの手順の中に効率的に埋め込む計画法を考えることにした．それらの手順では，いま調整している内容がそれまでにすでに調整した内容を壊さないように，すなわち，手順の内容が互いに干渉しないように工夫した．その中の均等負荷割付という手順では，ＤＰ的な考えにもとづいた逐次割付法を工夫した．

結果としての計画の品質は，当初の問題のほとんどを解決するものであった．

なみひら　ひろと　産能短期大学
〒158 世田谷区等々力 6—39—15
受　理　92. 3.12
再受理　92. 7.24

1. 緒　論

企業においては，製品の生産計画は予測値にもとづき生産上の種々の制約に加えて長期的な見込みも考慮にいれて決定される．その計画達成に必要な個々の作業の日程を決める日程計画は，そのやり方の巧拙によって計画達成の効率に大いに利いてくる問題である．日程計画の問題は，次のような要因を考慮して行なうことが多い．

(1)　生産計画で指示された要求
　製品の品種構成，必要量，納期
(2)　生産現場からの要求
　＊生産の連続性，製品切り替えコストの考慮
　＊製造条件
　　機械能力，製品と機械の相性など
　＊資源消費の平準化
　　設備負荷，作業負荷，原料消費など
　＊設備保全と技術テストの余裕
(3)　中間在庫に課せられる制約

本稿でとりあげる日程計画では以上の考慮点に加えて機械が大変高価なので，1台毎の生産割付において，機械の“基本作業量”以下の量では生産効率が悪くなることに対する配慮が問題の中核になる．もちろん，1日毎の製品の要求量は機械の“基本作業量”の倍数とは限らず，これがため多くの要求を満たす計画が難しいものとなっていた．

この問題に対して，整数条件の考慮を計画手順の中にヒューリスティックに組み込むことを考え，その中の1つの手順である，製品毎の要求を逐次計画に折り込むやり方に，ＤＰ的な考えを援用するなど工夫をした．具体的な問題に適用した結果は非常によいものであった．

この方法は，実施してからいささか時間の経過したものではあるが，計画の立て方の方法論としては多くの方々に参考になる点があるように思ったので，まとめたものである．

2. 問題の概要

この事例研究の対象となった企業が製造する製品は，多品種にわたるが，いずれもほぼ直列に並ぶ多数の工程を経て製造される．工程の中には高価な生産設備も少なくなく，遊休を嫌って3直体制による昼夜操業が行なわれている．ここで2週間にわたる計画期間中* に，指定された品種の製品（約200種）を指定された個数製造するべく，各日，各直，各製品についての作業量を決定する日程計画が問題になる．ここで問題とする工程に対しては品種毎に生産設備が定まっているので，これを中心に計画を立てることができる．生産設備は数十台の同一機種の機械よりなり，各機械はどの製品でも製造可能であるが，それが1直の作業でこなせる仕事量は製品毎に決まった量があり，これを“ロット”と呼ぶ．

計画期間中に製品毎，日毎に指定される製造数を“要求量”と呼び，これを製品毎のロットを単位として規格化した数で表わすことにしよう．これら製品の生産タイプは多品種少量生産であり，要求量が1日当り2.5ロット以上のものは製品数で10%以下のような構成である．図1に，要求量の与えられ方の例を挙げておく．

	計画期間							
製品＼日	1	2	3	4	5	•	•	•
A	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4			
B	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	
C	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7			
D				1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
•								

図1 要求量例

	日	1			2			3			4			•
	直	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	•••
製品A	機械1	1	1	0.4	1	0.4	1	1	1	0.4	1	0.4	1	•••
製品B	機械2	1	0.6		1	0.6		1	0.6		1	0.6		••
製品C	機械2			0.7			0.7			0.7			0.7	
•														

図2 日程計画例

この要求量に沿って日程計画をたてるとは，たとえば図2のように，製品毎に作業を日毎，直毎に機械に展開することである．

さて，当面の工程にとり効率のよい日程計画とは，次のような要件を満たすものである．

(1) 作業性

＊継続 製品毎に毎日同じ量の生産が継続することが望ましい

＊ロット単位 1つの機械の作業はロットであることが望ましい

＊極小ロットの吸収まとめ 非常に小さな端数ロットはどれかのロットに吸収させる

(2) 均等性 作業量があまりバラつかないこと

＊日毎にも直毎にも負荷がなるべく均等であることが望ましい

＊端数ロットがある場合はそれが3直に均等に負荷されていること

(3) 中間在庫が少ないこと

これに対し現行での処理の仕方は工場内の在庫スペース不足という厳しい状況に主たる考慮を払ったものでありその結果生じる問題点を挙げれば以下のようである．

(1) 継続性

ある製品の生産量が1日1.5ロット以下でしかも前日と同量の場合，前日の同直と同じ割当をする．これにより次のような問題がある．

＊1.5ロット以上のものは継続性をあまり考慮せず，したがって直間の負荷の変動が大きい

＊ある製品グループは小量連続生産が多く，安定した作業ができない

＊前期の計画との接続は考慮しておらず，前期と今期との境界の日で不必要な作業変更が生じる

(2) ロット生産と極小ロットの吸収

現行では時間的に考慮する余裕がない．したがって，次のような問題がある．

＊極小ロットおよび端数ロットの作業が多発し，作業効率が悪い

＊極小ロット作業は，都合により他の直に回されることがあり，このため計画と実際に生産されたものとの数が合わなくなることがある

(3) 端数ロットの均等負荷

* 計画期間は2週間であるが，1週間毎のローリング・プラン方式が用いられている．

ある製品の一連の生産の最後に端数が生じる場合は，現行ではその端数ロット作業は特定の直に割り当てている．これを均等に各直に割り当てることが望ましい．

(4) 作業量の均等性

1日内の直間の作業量の差が3ロット以上のときは，計画を手で修正しているのが現状で，日毎の作業量の均等性も満足すべき状態ではない．このため，人員設備面で不必要な無理が生じる．

以上のような問題点を解決する日程計画を，次工程との間の中間在庫を現在程度に保つという条件のもとに，うまく作成することが望まれていた．

3. 問題解決への基本的視点

原問題は機械別に製品別の日毎，直毎の作業割付を行なうことであるが，いま対象としている工程ではすべての機械が同一機種なので機械別に考えるのをやめ，問題を簡略化して，製品毎の日毎，直毎の作業量を決めることに焦点をあてよう．別の観点からみれば，日毎，直毎に全体として与えられた製造能力を，製品毎の要求量に従って取り崩し製品別に割り付ける問題としよう．これを最終的に機械別の作業として展開する仕事は，機械の保全計画等の条件も含めて担当者の判断に任すことにする．

いま，問題を数理計画的に扱うことから始めよう．計画の数量は，すべてロット単位で考えることとする．

X_{ijk}：i 製品の j 日の k 直の生産量

D_{ij}：i 製品の j 日の必要量

製品数：n

計画日：m

直　数：3

とするとき，問題は制約を満たしつついくつかの評価項目全体を考えて最適となるように変数 X_{ijk} に数値を割り振ることになる．評価項目のうち重要なものを4つとりあげて表現してみると，次のようになる．

＊制　約：計画は必要量を満たすこと

$$\sum_{j=1}^{s}\sum_{k=1}^{3} X_{ijk} \geqq \sum_{j=1}^{s} D_{ij} \text{ for all } i$$

$$1 \geqq s \geqq m$$

＊評価項目

(1) 継続性：製品毎直毎に前日との差の2乗でみる

$$H_1=\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{3}\sum_{j=1}^{m-1}(X_{ijk}-X_{i,j+1,k})^2$$

(2) 均等性：1日の作業量の直毎の計の直間のバラつきでみる

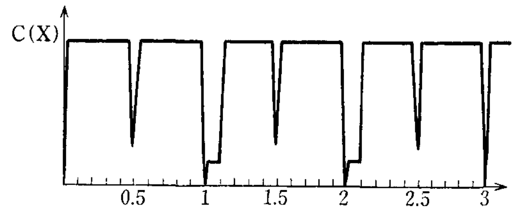

図 3 作業性関数 $C(X)$

$$P_{jk}=\sum_{i=1}^{n} X_{ijk} \quad \text{（日，直毎の作業量）}$$

$$\mu_j=\frac{1}{3}\sum_{k=1}^{3} P_{jk} \quad \text{（日作業量平均）}$$

$$H_2=\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{3}(P_{jk}-\mu_j)^2$$

(3) 作業性：作業性を計画値 X_{ijk} の端数部分でみる

$$H_3=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{3} C(X_{ijk})$$

ここで関数 $C(X)$ は，X の端数部分により対応する値が決まるもので，端数ロットの存在により作業性が悪くなる度合いを表わしている．**図3**に $C(X)$ を示しておく．

(4) 在　庫

$$Z_{is}=\sum_{j=1}^{s}\sum_{k=1}^{3} X_{ijk}-\sum_{j=1}^{s} D_{ij} \quad \left(\begin{array}{l} i\text{ 製品の }s \\ \text{日の在庫} \end{array}\right)$$

$$H_4=\sum_{i=1}^{n}\sum_{s=1}^{m} Z_{is}$$

いま，評価尺度 H をこれら評価項目の値の和とし各々の重みを W_i とすると，次のように書ける．

$$H=W_1H_1+W_2H_2+W_3H_3+W_4H_4$$

問題はこの H を，計画量は必要量を満たすことという制約のもとで最小化することである．

この問題は，評価尺度より H_3 を除けば実質的に簡単に解ける．すなわち，すべての ij について

$$X_{ij1}=X_{ij2}=X_{ij3}$$

になるように条件付ければ，均等性尺度 $H_2=0$ となり，

$$H=W_1H_1+W_4H_4 \geq \min$$

の問題となり，これも

$$X_{ijk}=D_{ij}/3 \quad (k=1,2,3)$$

とすることにより実質的に解ける．それは，$D_{ij}>0$ のときは $D_{ij}=D_{i,j+1}$ であること，すなわち要求量があればそれはほとんど同じ量が連続して現われるからである．

しかし作業性 H_3 を考慮に入れれば，上の議論はほとんどの場合成り立たない．X_{ijk} が端数を含めばそれに応じてコストが発生するからである．すなわち，ほとんどの場合，H_3 は H_1，H_2, H_4 と背反の関係になって

しまう．図3で示した $C(X)$ が $X=0$ 以外で非常に大きいときは，この問題は実質上整数条件を含む問題となる．したがって問題の本質的な部分は，完全な整数問題ではないが端数を含めばあるペナルティーが課され，この条件を他の背反の関係にある評価基準とともに考慮せねばならぬところにある．

この問題を整数計画問題として扱うことは，理論的には不可能とはいえないまでも，変数の数が 200*15*3=9000（製品数＊計画日数＊3直）程度になることに加えて，$C(X)$ の扱いが困難なことにより難しい．そこでヒューリスティックなアプローチに切り替え，問題の核心である整数条件を他の評価内容と合わせていくつかの手順の中に効率的に埋め込む計画法を考えることにした．

いくつかの手順から構成されたある計画法が有効であるには，後の手順の調整がそれまでにすでに調整した内容を壊さないことが必要である．すなわち，手順の内容が互いに干渉しないことである．さて，いま挙げている4つの評価基準を考えるとき，H_1（継続性），H_2（均等性），H_4（在庫）の3つに都合のよい計画の概念は，要求量に沿ってそれを3直に均等に端数ロットを含めて割り振ることであるが，これは端数ロットを嫌う作業性基準 H_3 の概念と合わない．このことにより，いま問題としている計画法は，H_3 の概念の内容をうまくほかの基準のものと合成して新しい手順とし，それらが互いに他の内容に干渉せず，手順全体としてはすべての基準の内容を含んでいるものでなければならない．

以上のような視点で問題にとりくみ，問題を数理計画的に扱わず，各評価基準の意味する計画の概念の適切な合成を，現実的なヒューリスティックな方法により進めることにした．具体的には7つの評価項目をいくつか結合して，それより少ない数のいくつかの互いに干渉することのない手順にまとめることをめざした．

実際の計画業務に長年にわたってたずさわった人がその経験より学んだ計画策定法も，おそらくは，上に述べたような考えに沿って行なうものと解釈できよう．

5. 具体的解決策の工夫

本問題の場合，考えるべき評価内容は

a．継続性

b．ロット単位割当

c．極小ロットの吸収

d．前計画との接続

e．端数ロットの3直均等割当

f．負荷の均等化

g．在庫量増加の防止

の7項目である．ここでcの極小ロットとは，ロット単位で0.1以下の生産数量のときとした．これら項目を次に示す3つの手順にまとめた．

4.1 割当パターンの作成

7項目の中でa―cの項目は継続性と作業性であり，これにgの在庫の項目も加えてこれらの4つの意味する内容を割当パターンという1つのものにまとめた．すなわち，以下のようなステップで4つの項目の内容を割当パターンに埋め込んだ．

(1) 要求数をロット単位に変換

製品毎に必要量が日単位で与えられ，これをロット単位の数値に変換する．数値は，小数第2桁を4捨5入した小数第1位までの数値とする．

(2) ロット単位要求数を3直に分解（初期パターン）

ロット単位数値を3つに，できるだけ整数値を保ちつつ均等に，かつ期間内を通して同一の形で分割する．具体的には，整数部を3つに均等に分け，端数部を一番小さい整数にくっつける．たとえば，計画期間が5日で要求数がすべて2.3ロットのとき，次のように分解する．

要求数		2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
初期パターン	直 1	1	1	1	1	1
	直 2	1	1	1	1	1
	直 3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

(3) 端数部のロット化

端数部を5日まとめて1あるいは0.5に集約する．具体的には，端数の0.2から0.9に対して以下に示すような集約の型を作り，5日で端数をロット化した．

端数	5日間でのロット集約				
0.2	0.5	0	0.5	0	0
0.3	1	0	0.5	0	0
0.4	1	0	0.5	0.5	0
0.5	1	0	1	0	0.5
0.6	1	0.5	0.5	1	0
0.7	1	1	0.5	1	0
0.8	1	1	0.5	1	0.5
0.9	1	1	1	1	0.5

集約に0.5も許すことにしたのは，作業効率上許容しうることと，在庫をなるべく増やさないための考慮である．たとえば，端数が0.3のときは，次のように集約される．

端数部	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
		⇩			
ロット集約	1	0	0.5	0	0

したがって，要求数2.3の場合の割当パターンは，上述の初期パターンから次のように改訂される．

割当	1	1	1	1	1
パターン	1	1	1	1	1
	1	0	0.5	0	0

ただし，小数部が0.1以下のときは，それは整数部にくっつける．たとえば，要求数2.1のときは，

1　1.1　0

と分解する．それは，0.1ロットくらいなら1台の機械で少し無理をすれば作業的に吸収する余裕があるからである．

なお，要求数の総数と計画値の総数との差は割当パターンの最終日の端数部で行なう．

このようにして計画期間を通して割当パターンをつくることにより，継続性とロット生産を考えて，かつ極小ロットをなくし在庫をあまり増やさないことをおりこんだ1つの手順を作ることができた．

4.2 ダイナミック・プログラミング（DP）的な考えにもとづいた均等負荷割付け

いま，全体の中の（k—1）個の製品の日程計画を割り付けた途中の計画があるとしよう．k番目の製品の割当パターンをその計画に付け加える場合を考えよう．

割当パターンは前項で示したように3行で1組を成すものである．いままでの計画にこの割当パターンを付け加えるやり方は，3つの行を3つの直に割り振る6通りがある．そこで，その可能な6つの組合せのうち一番好ましいものを，k番目の製品までを考えた最良の計画とする．好ましさの尺度としては負荷のバラつきをとり，それは直の負荷の日毎の間でも，また1日の3つの直の間にも，なるべく少ない方がよい．バラつきの度合を測る具体的なものとして，6つの組合せ結果の計画のそれぞれに対して，日毎の直間負荷の差の最大の計画期間中にわたる合計値でみることにした．その合計値が一番小さかった割付を選びk番目の製品の割付け計画とするのである．これを式的に表わすと，次のようになる．

K_i：i番目の製品まで割り付けた計画

$D(K)$：計画Kの評価値

$P_i(j)$：i番目の製品の割当パターンを3直へ割り振る組合せ（6通り）のうち，j番目の組合せ（$j=1,6$）

$$K_i=\min(D(K_{i-1}+P_i(j)))\quad j=1,6$$

ここで，$K_{i-1}+P_i(j)$ は，K_{i-1} にi製品の割当パターンのj番目の組合せを加えた結果できる計画を表わす．

これは，最小化の際に K_{i-1} を変えることがないという点からして，完全なDPの形式ではないが，よい計画の候補を逐次選んでいくという意味で，DPに準じた考えである．

$D(K)$ を式を用いて厳密に述べれば，次のようになる．計画Kが以下のようなとき，

X_{ijk}：i製品のj日のk直の計画量

L_i：i製品のロット

n：製品数

m：計画日数

計画期間内の任意の日jの直kの負荷B_{jk}は，次のように求まる．

$$B_{jk}=\sum_{i=1}^{n}X_{ijk}/L_i\quad(k=1,2,3)$$

これを用いて$D(K)$は，

$$D(K)=\sum_{j=1}^{m}\max\{|B_{j1}-B_{j2}|,\ |B_{j2}-B_{j3}|,\ |B_{j3}-B_{j1}|\}$$

で計算する．

このDP的な割当パターンの割付により，日程計画に負荷の均等化を織り込むことができ，かつ，端数ロットの3直均等割当も達成される．そして，この手順の内容は先の手順の割当パターンですでに織り込んだ継続性，ロット生産等の品質を壊さずに行なえるのが工夫の要点である．

4.3 生産日調整による在庫の削減

上記のようにして割り付けた計画に対し，在庫をさらに少なくするため，製品毎に元々の必要量と計画値の累積値の差を日単位に求め，その差が0.5ロット以上になれば計画値を0.5ロットずつ後ろにずらし，日々の在庫の削減を図った．その調整は，端数部を含む割当パターン部で行ない，継続性，ロット生産という制約を壊さないようにした．

例	1	0	1	0	0.5
			⇩		
調整後	1	0	0.5	0.5	0.5

この在庫を削減するための操作は，前に計画に織り込んだ負荷の均等化という要素を少しばかり損ねる作用を

するが，その実際の度合はほとんど取るに足らないものであった．

前計画との接続に関しては，上のようにして作った計画を，他の要因も考えて人が機械毎に展開するとき織り込んだ．

以上のようにして，計画の質に関する7つの評価の織り込みを，割当パターン，割当シミュレーションおよび生産日調整という3つの互いに干渉しない計画の手順と，人による計画の機械への展開時の手順にまとめた．

5. 結果の検討および評価

上記内容のプログラムをつくり実際の工場のデータを流し，そのアウトプットの品質を検討し以下のような結果を得た．なお，計画期間は15日であった．

(1) 継 続 性

現場では前日と同じ作業割当（これを直固定と呼んでいる）が安定性の面から好まれるが，この尺度で測った場合，次のようであった．

* 品種1の場合，直固定の割合が新方式では従来の約2倍に増えており，直固定に類似したものまで含めると，従来の60%が新方式では90%と30%増加している．
* 品種2では，直固定の割合が約1.5倍に増え，類似まで含めると従来の60%から新方式では75%と改善されている．

(2) ロット単位割当

新方式では，満足のいくロット割当がされていた．

(3) 極小ロットの吸収

新方式では，極小ロットの出現はほとんどなくなった．

(4) 前計画との接続

問題はなくなった．

(5) 負荷の均等性

品種1については，元々負荷に関しては問題がなく，新方式についても現状とほぼ同程度であった．品種2については問題点が改良され，必要量と計画数の差が200個以上ある件数を比較すると，従来の15件から新方式では4件に減っていた．また，直間で作業量の差が3ロット以上あるケースは新方式ではなかった．

負荷の均等性が大変うまく実現された理由は，DP的な考えにもとづいた割当パターンの割付の良否の評価尺度として，日毎に直間の負荷の差の最大のものを選びその期間内の合計値が最小になるような割り付けを行なったためである．この常に全体のバランスをとるように割り付ける作用により，端数ロットも自然に3直に均等に割り付けられている．

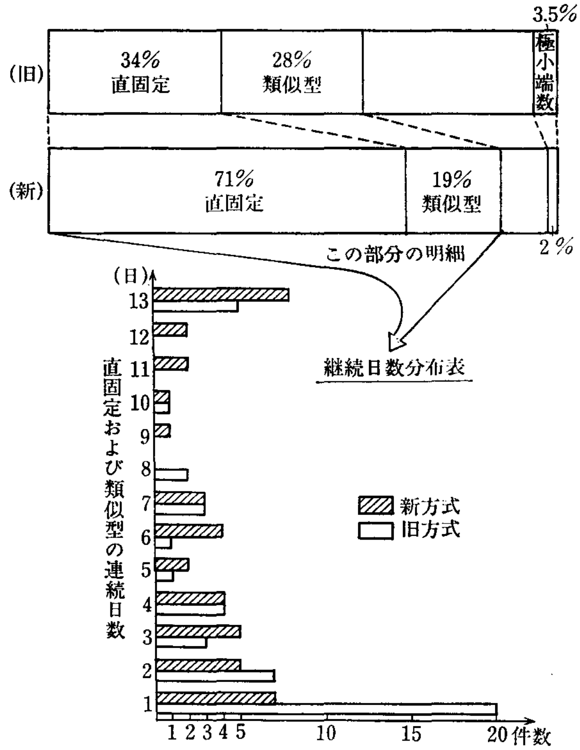

図 4 継続性に関する新旧両方式の比較(品種1)

(6) 在 庫 量

この工場ではスペースが潤沢でないという特殊事情により，従来の計画では在庫を増やさないことが主眼となっていた．新方式では，総在庫量は品種1ではほぼ同等であり，品種2では約10%の増加であった．この10%の増加という数値は，新方式の他の優れた機能を考えれば十分受け入れうるとの評価であった．

以下に，2つの品種について行なった従来方式と新方式との特性の詳しい比較を図にしておく．**図4**は品種1の継続性に対する新旧両方式の比較を，直固定であった連続日数の頻度で示したものである．もちろん，日数が長いほうが作業性がよい．これにより，継続性の改善が大幅に改善されていることがわかる．

図5は，品種1の必要量に対する計画のバラつきの度合と在庫の推移を新旧両方式に対して行なったものである．計画量は必要量からあまり離れないのがよいのであるが，新旧両方式は同程度であると見なせる．在庫推移に関しても同程度である．

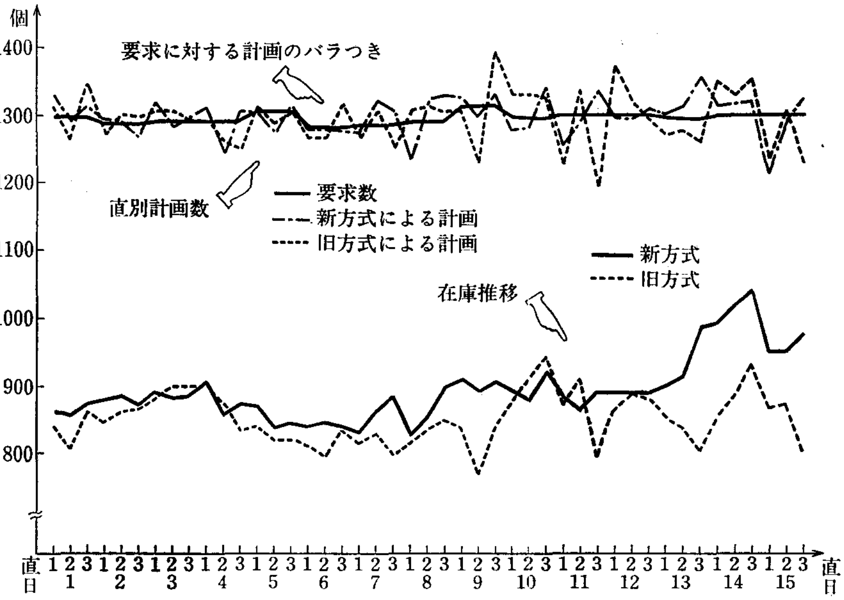

図 5 バラつき度合と在庫推移に関する新旧両方式の比較（品種 1）

図 6 は品種 2 の継続性の比較である．ここでも，顕著な改善がみられる．

図 7 は，品種 2 の必要量に対する計画のバラつきの度合と在庫の推移を新旧両方式に対して行なったものである．バラつきは新方式では改善されていることがわかる．在庫については，新方式は従来よりも少し高くなっている．これは，この品種に関しては，従来の計画は作業性よりも在庫を増やさないことに注目した計画を立てていたためである．

以上のような検討結果より，本稿で提案する基本的視点に沿って行なわれた具体例としての日程計画は，当初の問題をほとんど解決した大変品質のよいものであることが結論できる．いくつかの関連する評価項目を合成した新しい方向に沿った計画手順を作り，しかもそれらが互いに干渉しないようにまとめるやり方は数理計画的にはいかず，いまのところヒューリスティックに工夫するしかない．しかし，このような視点にたった計画の方法論はＯＲ実施上意味があるものと考えている．

6. まとめ

多品種少量製品を数十台の同一の機械で 3 直体制で製造している工程の日程計画を考えた．計画の評価項目は継続性，ロット単位割当，極小ロットの吸収，前計画との接続，端数ロットの 3 直均等割当，負荷の均等化，在庫量の 7 項目である．このなかのロット

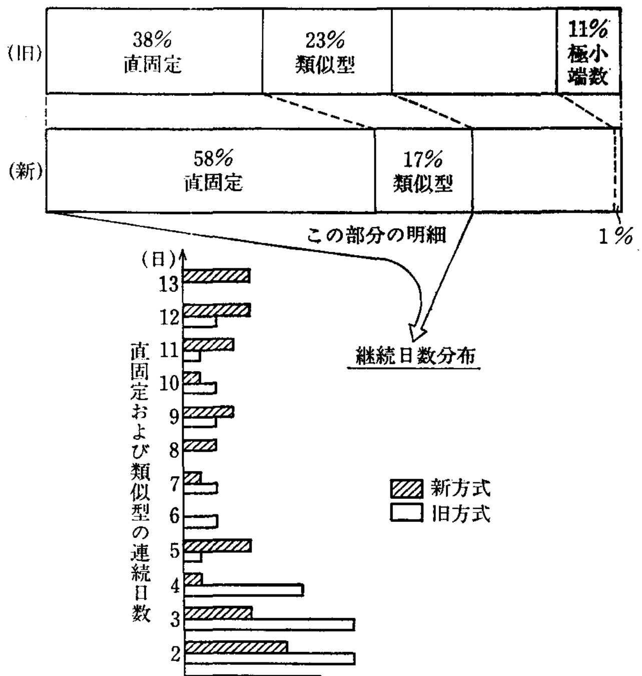

図 6 継続性に関する新旧両方式の比較（品種 2）

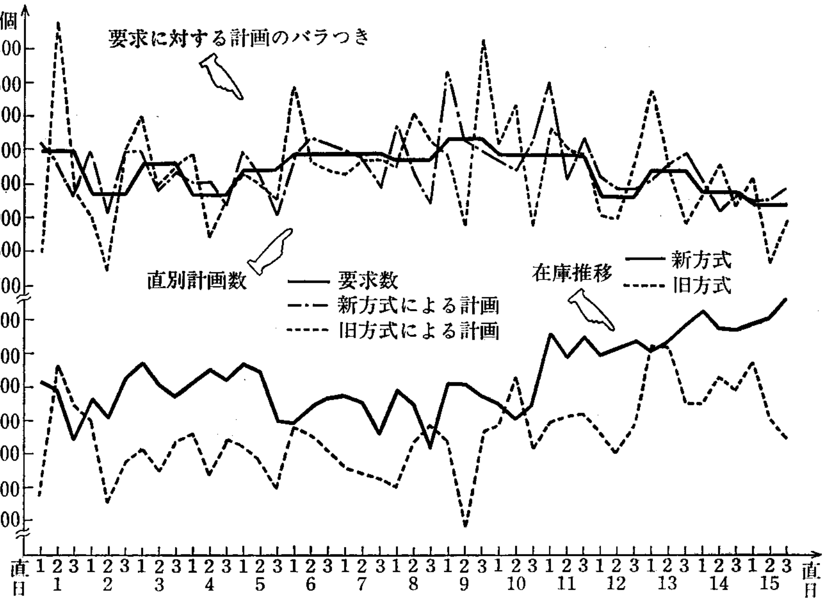

図 7 バラつきの度合と在庫推移に関する新旧両方式の比較（品種 2）

単位割当という評価項目が問題の本質的な部分であり，これが計画を難しくするものであった．

これに対し，問題を簡略化して，製品毎の日毎，直毎の作業量を決める問題にし，その接近方法として，数理計画的方法ではなく，ヒューリスティックなアプローチに切り替えた．このアプローチでは，問題の核心である整数条件を他の評価内容と合わせていくつかの手順の中に効率的に埋め込む計画法を考えることにし，手順の内容が互いに干渉しないように工夫した．具体的には，7つの評価項目を割当パターン，ＤＰ的な考えにもとづいた均等負荷割付および生産日調整による在庫の削減という3つの計画手順と，人手による計画の機械毎への展開時の手順にまとめた．

結果としての計画の品質は，当初の問題のほとんどを解決するものであった．

7. 謝　辞

この研究は慶応義塾大学の柳井浩教授のご指導をえてできあがったものである．ここに感謝の意を表します．

参　考　文　献

［1］ F．J．ミュース，G．L．トンプソン，関根智明訳：インダストリアル・スケジューリング，竹内書店，1966

［2］ T. W. Anderson : Introduction to Multivariate Statistical Analysis, John Wiley & Sons, 1958