

混合ラインの製造着手順位決定法

(学)産業能率短期大学

坪根 齊

I はじめに

順序付けの問題は、かなりありふれた問題で、仕事を行なう場合に必ず発生する問題である。従って、業種、生産形態を問わず、日程計画上、この問題を避けて通ることはできない。またこの順序付けの良否が設備の稼働率や仕掛量に大きく影響することも事実である。それにもかかわらず、順序付けの明確な基準がないため個人の経験から試行錯誤的に、時には成りゆきまかせや単なる納期順に順序が決められてしまう場合が多い。

そこで本論文はこの問題を解決すべく、すでに開発されている順序付けの手法を駆使し、現実の生産工場に適用できることを念頭にそのシステムを設計した。本論文による順序付けの方法を実際に適用した結果、大きい成果が得られた。このシステムは混合ライン方式をとる工場においては適用する範囲も広いと考えられるので、適用事例を中心に発表するものである。

II 混合ラインとその問題点

混合ライン生産方式は「作業方法がほぼ等しい特定の複数品目を生産するために、あらかじめ設定された1本の生産ラインで、その複数品目を混合して連続的に生産する方式」をいう。このような方式をとる工場では當時品目の流し方の順序が問題になる。この順序付けが適切でなかったならば、工程間のアンバランスによる稼働率の低下と工程間仕掛け量の増大が発生する。某工場でも次のような建築用装備品を生産していて、順序付けが不十分なため、機械に遊びが生じたり納期遅延の問題が発生していたので、これを解決するシステムを作ることにした。

(1) 工場の概要

某工場は主に建築用装備品を生産しており、製品寸法形状は 横寸法 50~350 cm
縦寸法 50~200 cm
厚み一定

で注文仕様は1 cmキザミで、同一寸法の受注量は1~10枚が全体の90%を占める典型的な多品種少量の受注生産形態をとっている。

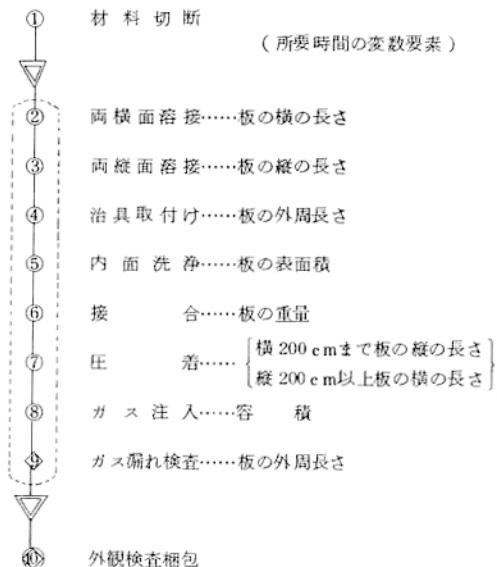
(2) 製造工程

製造工程は第1図に示す通り、製品はすべて第1工程から第10工程まで全く同一の工程を通る。第1工程と第10工程はそれぞれ、歩留向上的効果的材料取り梱包資材準備の効率の面から類似寸法をまとめて作業するために中間工程(第2工程~第9工程)との間に仕掛けを置き、中間工程での作業順序と無関係に独立した形をとっている。

第2工程から第9工程までは

- ① 品質上(破損、キズ発生防止)
- ② 安全上(製品重量が大きい)

の理由からコンベアによる移動方式をとっている。そのため各製品は先入れ先出して、追い越し、飛び込みが許されず同じ順序で工程を流れる。



第1図 製造工程と工程別の所要時間に影響する要素

(3) 現状の問題点

第1図に示す通り、第2工程から第9工程までは、製品の形状寸法(縦の長さ、横の長さ、表面積、外周の長さ、重量)によって、製品ごとに各工程での所要時間が異なってくるために

- ① 製品によって、ネック工程が変ってくる。
- ② 追越し、飛び込みができないため製品の流す順序によって工程全体の負荷量(第9工程から出てくる製品の時間間隔)が変ってくる。

そのため、次の問題が発生していた。

- ① 製品によってネック工程が変るため、工程能力が正確に把握されていない。
- ② その結果、予定より早く作業が完了して、機械設備に遊休が生じたり、逆に残業しなければ予定に追いつかない場合が時常発生し、時には納期遅れとなる。
- ③ 稼働調査の結果、工程間アンバランスによる材料待ちが多く、稼働率は70%で低い。
- ④ 製品の着手順序が現場まかせで大雑把には経験から順序は決っている（現場用語で“小物”から流す）が細部にわたっては明確でない。

以上①～④は互いに関連があり、1つだけ他の問題と切離して考えることはできない性質をもった問題であった。

(4) 問題解決のための方向付け

某工場における混合ラインの問題を解決するためには、

- ① 各製品（又は類似製品群）の基準負荷を求める。
- ② 製品の製造着手順位（順序付け）について、明確な基準を設定する。
- ③ 順序付けは機械設備の稼働率を向上させ、工程仕掛け量を減少させることを目的とする。従って最大滞留時間を最小にすること、つまり全製品がいち早く全工程を通過する時間が最小となることを順序付けの評価尺度とする。ことであった。

III 混合ラインの計画システム

前述の多品種からなる混合ラインの問題を解決するためには、次の基本構想に従った計画システムを設計する必要がある。

(1) 基本構想

- ① 工程間アンバランスを少なくするために、各製品の各工程での所要時間を尺度として各製品を分類する。
- ② 分類された各製品グループごとの基準負荷を求め、これを基に能力と負荷量の調整を行う。
- ③ 順序付けについて一定の基準を設け、この基準に従って、製品グループごとに製造着手する。

(2) 基本要素

本構想を具体化するにあたって次の4つの要素についてその方法を設定せねばならない。

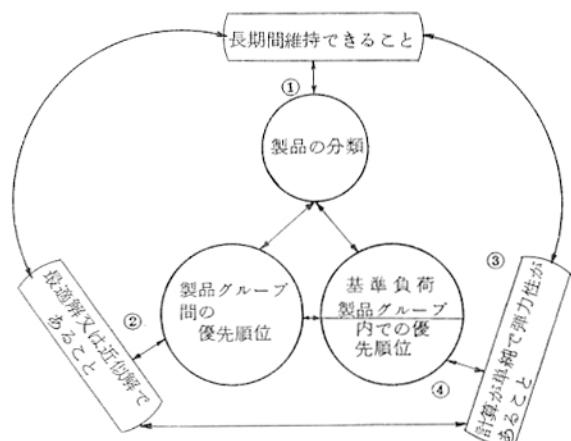
- ① 各製品の分類の方法
- ② 分類された各製品グループ間での各グループの製造着手順位（製品グループ間での優先順

位）の決定

- ③ 分類された各製品グループごとの基準負荷を算出する方法
- ④ 分類された製品グループ内での各製品の製造着手順位（製品グループ内での優先順位）の決定

また、この4つの方法を設定するにあたって、次の点を配慮することが望ましい。

- ① 製品の分類は、
 - ・ 長期間に渡って使用できること
 - ・ 最大滞留時間を最小にする目的を満足できる分類であること
- ② 製品グループ間での優先順位は
 - ・ 長期間に渡って活用できること
 - ・ 最大滞留時間最小の目的を満足するために最適解又はこれに近似しうるものであること
- ③④ 基準負荷と製品グループ内の優先順位は
 - ・ 変更に対して弾力性があること
 - ・ 再計算が容易にできるように単純なこと



第2図 基本要素と達成希望との関連

(3) 計画システムの展開

① 製品の分類

製品の分類は最大滞留時間の最小（これは単位時間当たりの産出量最大になる）を目的とするため、当然、各製品の各工程における所要時間が分類の中心になる。従って、各工程における所要時間が大きく変わる製品の特性（製品の形状寸法）が製品分類の中心になるが、某工場では、

- ・ 第1工程での材料取りと切断歩留
- ・ 第10工程での製品梱包の効率化
- ・ 運用上達成可能な管理水準

を考慮して、各製品を寸法別に50cm単位に15種類に分類した。（第4図）

② 製品グループ間の優先順位

分類した製品グループのうちどのグループから製造着手するか（製品グループ間の優先順位）を決定するにあたって、製品の分類基準そのものが長期間に渡って使用される場合、各グループ間の優先順位もそれに従うことが望ましいから最大滞留時間最小という目的に対して最適値又は近似解を保証する順序付けの手法を適用した。（追加〔1〕参照）

実施手順（A）

- 1) 分類した各製品グループの寸法的に中央に該当する製品を各グループの代表製品とした。
- 2) 第3図の計算公式により、各代表製品について各工程の所要時間を求めた。
- 3) 代表製品別、工程別所要時間の一覧表を作成し、順序付けの手法（Branch and Bound法）により製品グループ間の優先順位を決定した。

以上の結果、求まった製品グループ間の優先順位を第4図に示す。

工程No	工程名	計算公式（分）
①	横溶接	0.48(A+50)
②	縫溶接	0.48(B+50)
③	治具取付	0.20L+0.20
④	内面洗浄	0.35S+0.20
⑤	接合	S ≤ 200 0.52 201 ≤ S ≤ 300 1.00 301 ≤ S 1.72
⑥	圧着	A ≤ 200 0.60(B+50) 201 ≤ A 0.60(A+50)
⑦	ガス注入	0.36S+0.32
⑧	ガス漏れ検査	0.16L+0.32

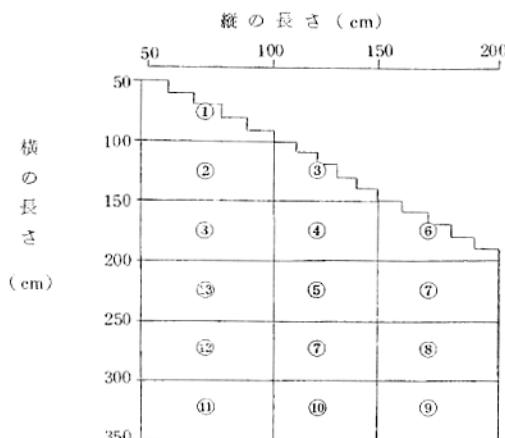
$$A \text{ cm} \quad B \text{ cm}$$

S

L = 2(A+B) S = A×B

A 製品の横の長さ
B 製品の縦の長さ
L 製品の外周長さ
S 製品の表面積

第3図 工程別所要時間算出公式



第4図 製品分類と優先順位

○の数字は分類した製品グループの優先順位を示し、数字の小さい順に着手する。

③ 基準負荷と製品グループ内の優先順位

各製品グループの基準負荷は製品グループ内の各製品の着手順位（製品グループ内の優先順位）と切離しては考えられない。製品の着手順位に1つの基準が決まると、その基準に従った着手順位でその製品グループの基準負荷が決まってしまう。

製品グループ内の優先順位は、次の要素を考慮に入れて、適用事例では迅速に再計算できることを主眼において順序付けの手法を適用した。（追加〔2〕参照）

順序付けに影響する要因

内的要因	外的要因
・機械故障	・飛び込み
・材料準備の遅れ	・注文取消し
・加工時間の変化	・納期変更

実施手順（B）

- 1) 第3図 計算公式により分類した製品グループ内に含まれる全製品（10cm 単位に製品を選んだ）について、製品別工程別の所要時間を求めた。
- 2) 順序付けの手法（Gupta方法）に従って、各製品別の優先順位を決定した。
- 3) 後先順位に従って、各製品を工程に流し（机上実験から工場実験へ移した），第9工程から出てくる製品の時間間隔を求めた。
- 4) 各製品の時間間隔の平均値を求め、その値を各製品グループの基準負荷とした。

第1表 順序付けのプロセス

製品寸法	各工程での所要時間（分）								特性値
	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
200×190	1.20	1.16	1.76	1.28	1.72	1.44	1.68	1.56	-1/2.36
200×200	1.20	1.20	1.80	1.32	1.72	1.52	1.76	1.60	-1/2.40
260×50	1.48	0.48	1.44	0.56	0.52	1.88	0.80	1.32	+1/1.08
270×50	1.52	0.48	1.48	0.56	0.52	1.92	0.80	1.36	+1/1.08

その結果を第2表に示す。

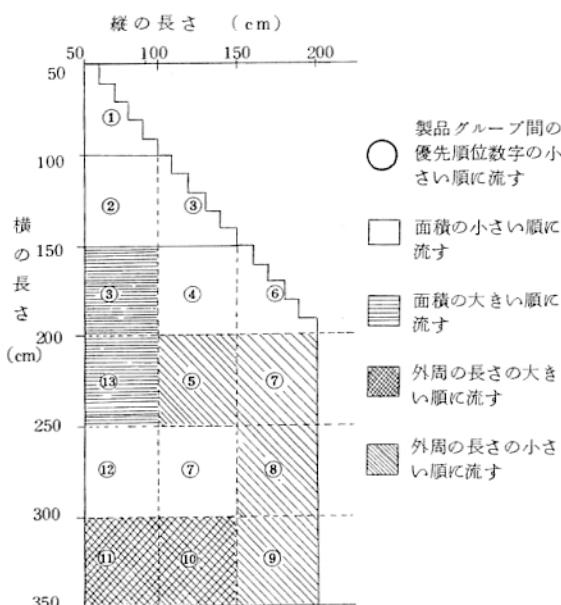
④ 製品特性と優先順位

製品グループ間での優先順位は製品の寸法で決まつたが、製品グループ内の各製品の優先順位は、順序付けを行なうたびごとに実施手順〔B〕の1), 2), 3)の計算を行なうのは計算の単純な順序付けの手法を適用したとしても繁雑である。従って、計算で求めた各製品の優先順位と製品特性（製品の長さ、面積、外周長さ等）との関連を分析し、一定の相互関係が明確にできれば、その都度計算しなくとも製品の特性によって順序付けが可能となる。適用事例では分析検討の結果、各グループごとにその製品の特性と優先順位との間に法則性が見出された。その結果を第5図に示す。

第2表 製品グループ間の優先順位と基準負荷

優先順位	製品寸法 cm		基準負荷 分/枚
	横の長さ	縦の長さ	
①	50~100	50~100	0.85
②	101~150	50~100	1.1
③	101~150	101~150	1.3
	151~200	50~100	1.3
④	151~200	101~150	1.5
⑤	201~250	101~150	1.8
⑥	151~200	151~200	1.8
	201~250	151~200	1.9
⑦	151~200	101~150	1.8
⑧	251~300	151~200	2.2
⑨	301~350	151~200	2.5
⑩	301~350	101~150	2.2
⑪	301~350	50~100	2.1
⑫	251~300	50~100	1.7
⑬	201~250	50~100	1.6

○内の数字は分類された製品グループの優先順位



第5図 各製品グループ間の優先順位とグループ内の優先順位

従って、某工場では第5図により、製品の分類を行ない分類された各グループに含まれる生産量(枚数)に第2表の基準負荷を乗じて総負荷量を求めて能力との調整を行なう。次に同じく第5図の製品グループ間の優先順位に従って同一製品グループを連続して流す。同一製品グループ内の製品の流し方は各グループ内の優先規則に従って行なうことができた。

(4) 実施効果

- 従来の“小物から流す”経験的な順序付けと本論文に従った順序付けは総体的には大きい相違はないが次の点に特長がある。

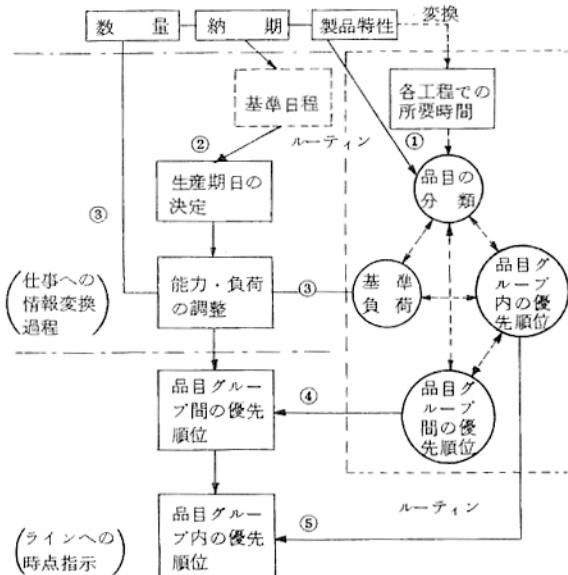
- a) 優先順位の基準が明確になった。
- b) 製品グループ間の流し方の順位で横の長さが大で縦の長さが小のグループ(⑫, ⑬に相当)が最後になり、従来の方法は横の長さも縦の長さも共に大の製品(⑨, ⑩グループに相当)が最後になっていたが、全く逆になった。
- c) 従来製品寸法差が50cm程度の場合、明確な基準もなく成り行き的に順序付けされていたのに比べて今回の結果は各グループごとに製品形状によって、面積の大きい順、小さい順、外周長さの大きい順、小さい順と優先順位がそれぞれ異なった法則に従って、明確化できた。
- ② 順序付けが標準化でき、計画が合理的に行なえるようになった。
- ③ 本論文による順序付けの評価尺度に最大滞留時間最小化を選んだが、この尺度は単位時間当たり産出量最大化に合致し、現実に工程間のアンバランスが少くなり、稼働率が10%向上したことからもこの評価尺度は混合ラインには適していることが再確認できた。

IV 混合ラインの順序付けと日程計画

本論文の順序付けの構想とその実施結果から混合ラインの日程計画において、受注から作業指示への情報変換のフローを第6図に従って進めることが可能となった。

- 注文に含まれる製品特性情報(各工程での所要時間に影響する特性………製品の形状、外観、重量等)より前もって決められ基準に従って品目の分類を行なう。
- 納期情報より、前もってルーティン化した基準日程に従い製造の着手期日を決定する。
- ルーティン化された各品目グループの基準負荷に該当する期間に生産する品目グループについて、数量情報に従った各品目グループの生産量を乗じて負荷量を求める。(この際、能力・負荷のアンバランスに対しては、繰上げ、繰下げ、残業計画等により負荷調整を行なう。)
- ルーティン化されている品目グループ間の優先順位に従って、グループ間の製造着手順位を決定する。(同一グループは連続して流す)
- 各品目グループ内の製造着手順位は各品目グループ別の基準負荷算出に使った同じ優先順位に従って製造着手順位を決定する。

(注文に含まれる情報)
注 文



第6図 受注から作業指示への手順

(1) 分類した各製品グループごとの基準負荷算出にあたって、本論文の適用事例では各グループの製品寸法を10cm単位に製品サイズを選び、その製品をラインへ流した場合、最終工程（第9工程）から流れてくる製品の時間間隔の平均値を計算で求め、その製品グループの基準負荷としたが、種々の制約条件で製品の分類が大まかになり、その上、各グループ内で、受注した製品形状が片寄る場合には製品サイズの受注頻度を考慮にした（受注件数で重み付けした）基準負荷の方が誤差は少なくなり管理水準は高まると考えられる。

(2) 順序付けの問題は生産方式、生産形態により、その順序付けの方法は異なるが、稼働率の向上、仕掛量の減少はいかなる場合にも順序付けにおいて考慮すべき重要な要素であり、本論文において用いた最大滞留時間最小化を目的とした順序付けの方法は、その適用結果からも混合ライン方式の場合には適切な評価尺度であると考えられる。

追 加

混合ライン方式におけるスケジューリングの問題は

結局、数字の組合せであるから仕事の数が多くなるとその組合せは莫大となり(10の仕事で10!の組合せ)実務上は迅速に最適解又は近似解を求めるヒューリステックな方法によらざるを得ない。

この順序付けのAlgorithm（計算手順）は各種開発されているが、仕事の数、工程の数、精度、計算時間（コンピューターを前提とするか、手計算によるか）等の要素を考慮すると一概に優劣を比較できず、ケース・バイ・ケースで適切なAlgorithmを選択せねばならない。

本論文の発表に対して、手計算並びにコンピューターを用いて約4000回の試行結果、コンピューターを前提にしている場合には精度向上のためSwitch and check法、又はBranch and Bound法が良い。しかしこれも、仕事数、工程数が大きくなると限界がある。手計算ではGupta法、Palmer's slope index法が計算の容易さの面から便利であることがわかった。

従って、本論文の適用事例では製品グループ間の優先順位決定はBranch and Bound法を、製品グループ内での優先順位決定はGupta法を使った。

[1] Branch and Bound法の概説

いくつかの仕事をから1つの仕事を選び、次に残りの仕事をから1つの仕事を次にくるスケジュールはいくつかある。この組合せたスケジュールの中で総加工時間最小値(Lower Boundという)をある計算方法によって求めて、良いスケジュールを求める方法

[2] Gupta法の概説

t_{im} : 品目*i*の工程*m* ($m=1, 2, 3, \dots, M$)における加工時間

$$f(i) = \min_{1 \leq m \leq M-1} \frac{A}{(t_{im} + t_{im+1})} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで $t_{iM} \leq t_{i1}$ のとき $A = 1$
それ以外のとき $A = -1$

(1)式より $f(i)$ を求め $f(i)$ の小さい順にスケジュールする方法

参考文献

- ① 坪根 機械負荷決定の一方法
(昭和48年 産能大「紀要」)
- ② 坪根, 栄口 $n/m/F/F_{max}$ の各種技法の評価とコンピューター活用について
(昭和49年 産能大「紀要」投稿中)