

多段階製造過程における時間的要素による内外製の決定方法の分析

時川, 満久 / TOKIKAWA, Michihisa

(発行年 / Year)

2005-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2005-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

平成 16 年度 修士論文

多段階製造過程における時間的要素による

内外製の決定方法の分析

Analysis on Make-or-buy Problem Using Lead Time in a Supply Chain.

指導教員 福田 好朗 教授

平成 17 年 2 月

法政大学大学院 工学研究科

システム工学専攻 修士課程

生産システム研究室

時川 満久

Michihisa TOKIKAWA

【Abstract】

There is a Make-or-buy problem in manufactures. The problem is determined by fundamental factors, such as cost, quality, and time for delivery. Make-or-buy problem based on cost problem is already studied. In the present SCM, a lead time is becoming important. It is necessary to solve Make-or-buy problem using a lead time. Then, in this paper, Make-or-buy problem which used the lead time is analyzed, and a model is created. And the solution method using the model and the example of a numerical experiment are shown.

【概要】

製造においては内外製の決定問題と呼ばれる問題が存在する。これはコスト、品質、納期などの基本的要因によって決定される。コストを対象とした内外製の問題はすでに研究されている。現在の SCM においては、リードタイムが重要となってきた。リードタイムを用いて内外製の問題を解く必要がある。

そこで、本論文では、リードタイムを用いた内外製の問題を分析してモデルを作成する。そして、そのモデルを用いた解法と数値実験例を示す。

目次

1 . 序論	2
1 . 1 研究背景	2
1 . 2 研究目的	3
1 . 3 論文構成	3
2 . 内外製の決定方法	4
2 . 1 緒言	4
2 . 2 前提条件	4
2 . 3 問題の記述	6
2 . 4 問題の記述	8
2 . 5 直列の2段階モデルの問題	11
2 . 6 並列の段階を持つ2段階モデルの問題	13
2 . 7 結言	16
3 . 時間的要素による内外製の決定方法	17
3 . 1 緒言	17
3 . 2 前提条件	17
3 . 3 問題の記述	19
3 . 4 1段階の問題	23
3 . 5 直列の2段階モデルの問題	26
3 . 6 並列の段階を持つ2段階モデルの問題	28
3 . 7 待ち時間の猶予も考慮する問題	31
3 . 8 組立順序が多段階である問題	33
3 . 9 結言	34
4 . 多段階製造過程問題の解法	35
4 . 1 緒言	35
4 . 2 手順	35
4 . 3 解法例	36
4 . 4 結言	39
5 . 結論	40
参考文献	41
謝辞	42

1 . 序論

1 . 1 研究背景

近年の製造業において工業製品や大規模システム製品は、単に一国における一企業に限られる事なく、多数の構成要素から組織化されている。自動車産業を例にとってみると、自動車メーカーと部品供給メーカーからなる企業関係があり、さらに国際競争の中においては各メーカー間での部品供給メーカーの共有化や、完成品やエンジン等の部品供給といった相互協力関係が深まっている。このようにして製造業者の多くは、製品の全てを自分の会社で一貫して生産せずに、生産能力を有する協力企業にその製品または構成要素の一部の生産を依頼している。そこから、自社商標の製品もしくはその構成部品を自社で生産するか、あるいは協力企業にその生産を依頼するか、協力企業に依頼する場合にはいずれの企業に選定すべきか、その選択問題を内外製の決定問題と呼ぶ。

激化する企業間競争の中で、製品の低コスト、製品の分業化ないしは技術の専門化を目指す企業もあり、そこで協力企業に依頼する「外製」を選択する事は、協力企業の資本、設備、技術、労働力を有効に活用する事によって、自社の生産性の向上などの競争力の強化につながると考えられる。[1][2][3][4][5]

内外製の決定問題で考慮される基本的な要因には、「納期」、「コスト」、「品質」、「サービス」がある。そしてその基本要因に加えて、自社の製品戦略、内製化推進などの基本方針、自社および協力企業の技術的能力や負荷状況、自社と協力企業との資本的關係や過去の取引経験等の各種の要因を考慮していく。そして最終的には自社の目的、もしくは目標に最もあった生産活動をするための決定を下す事が重要となってくるのである。

1.2 研究目的

本研究では、多段階製造過程での内外製の決定問題で考慮される基本的な要因のうちの「納期」を重視した決定方法の分析を目的とする。多段階の製造工程においては内外製の選び方は複数通り考えられるが、生産量に応じてそのリードタイムは変わってくる。生産量が増えたり減ったりする場合において、常にその中で全体のリードタイムが短いものを選び、できるだけ短い納期に対応できる答えを求める。

この納期を「短く」、また「守る」という考え方は、企業の信頼性を高めていく事にもつながり、食品業界の「鮮度」のように、時間によって付加価値が下がってしまう製品の発注先を選択する場合にも効率的な答えを求められる。そして、自社の製品のリードタイムが競合他社の製品のリードタイムよりも短い事自体が競争力の源となっていくと考えられる。

1.3 論文構成

全5章から本研究論文は構成される。第1章では、現在の製造業界の背景と本研究の目的について述べ、第2章では、既出論文から内外製の決定方法に関する事について述べる。第3章では、提案手法としての時間的要素による内外製の決定方法について述べる。続いて、第4章では、問題を解きながら第3章で述べた方法を実践していき、その結果を示す。そして第5章で、本研究の考察を述べる。

2 . 内外製の決定方法

2 . 1 緒言

製造業では、トヨタのカンバン方式に象徴されるように、多くの企業は部品から完成品までのすべての生産ラインを保有しているわけではない。一定の工程を下請けないし関連会社に外注することにより、投資コスト、ランニングコスト、製品在庫を軽減し、生産および財務効率の向上を図ってきたことはよく知られていることである。

本章では、既出論文等から述べられている「コスト」と「生産量」から内外製を判断する決定方法を述べる。最初に前提条件を述べて、2 . 3 で具体例を示す。2 . 4 ~ 7 で、様々な問題に対するアプローチを示す。

2 . 2 前提条件

内製と外部調達の問題を解くにあたって次の前提条件を設定する .

- 1) ここで定義する製造工程段階図の 1 段階の製造工程は , 図 1 のような内製するために必要なコスト ([固定費] , [変動費]) を左欄に , さらにその工程を外部調達するために必要なコスト ([外部調達費] , [物流費]) を右欄に記述する .
すなわち , 各製造工程では内製 (社内製造) した時に費やすコストと外部調達した時に費やすコストを記述する .
- 2) ある段階の中間製品 (内製も外部調達も可能な製品) を外部調達したならば , それ以降の中間製品は外部調達せず , 最終製品 (最下流) までの段階をすべて内製する .
- 3) 各内製段階には , 各段階の間で互いに独立な内製方策が 1 つだけ示されている . 各内製段階方策に用いられる資源 (設備・労働力など) は , 他の内製段階で代替的に利用することは出来ない .
- 4) 製造工程段階図で与えられる任意の方策は , 最終製品から内製段階を 1 段階ずつさかのぼって採ることができる内製段階の集まりと , そこに入る外部調達の集まりで表されている .
- 5) 最終製品を販売あるいは供給する計画期間を T 期とし , T 期上の生産量を Q (個/ T 期) で表す . この量は最終製品の生産量 (販売量) を意味する . 中間製品の量の単位は , 最終製品 1 単位 (個) に相当するように , 各段階での原単位を用いて換算した値で表されているものとする . また , 中間製品の生産量は , 一般には在庫量を考慮して決められるが , ここでは在庫量をゼロとみなし , すべての段階で同一の値 Q を生産する場合を考える .

6) 中間製品 k と、その内製段階 k の方策について下記のコストの値が与えられている。
 中間製品 k について、外部調達単価 $P_k \geq 0$ (円/個)。内製段階 k について、 T 期上での
 内製固定費 $F_k \geq 0$ (円/ T 期)。内製変動費 $V_k \geq 0$ (円/個)。

ここで、 T 期上の内製固定費 F_k および内製変動費単価 V_k は、その内製方策を採用することによって生じる増分コストを指している。従って、固定費 F_k について言えば、例えば取得済みの設備の減価償却費、配賦共通固定費（発生額が内製方策に関係しないもの）は含まれないことになる。また、ある段階で外部調達すると、それより上流の内製方策のコストは発生しない。

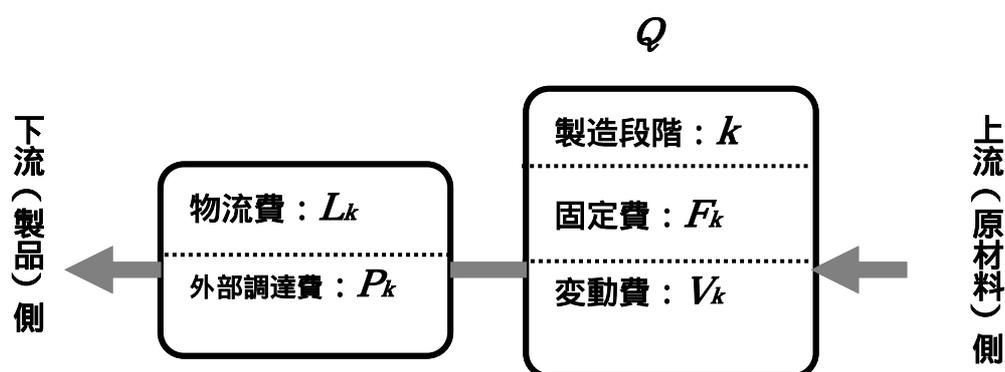
変動費単価 V_k には、その内製段階への投入品のうち必ず外部調達される投入品の購入単価が含まれている、このことにより、製造段階図において、最上流（右端）の内製段階への投入品の調達単価は、その内製段階の変動費単価に含まれており、それらは図の上に表記されないことになる。また、それ以外の内製段階への投入品についても、右側に内製段階のないものについては、同様な考えによりあらかじめ消去してある。

前提条件 3) により、採用した内製段階の方策で発生する固定費 F_k および変動費単価 V_k は、採用されなかった内製段階の方策の影響をうけない。すなわち、複数の内製段階にまたがって発生しないものとする。

製造段階図上で、内製固定費 F_k と内製変動費単価 V_k は内製段階 k を示す四角内の上段と下段にそれぞれ示し、物流費 L_k 及び外部調達単価 P_k は内製段階の左側（下流側）の上段と下段にそれぞれ示すことにする。

7) 複数の工程から成り立つ製造工程階層の間で加法性が成り立つ。

8) 段階の内製段階の生産能力は十分にある。



F : Fixed Cost V : Various Cost P : Procurement Cost L : Logistics Cost

図 1 製造工程段階図の中の 1 工程

2.3 問題の記述

以上の前提条件のもとで、計画期間 T 上でのコストを最小にする外部調達と社内製造の区切り方の方策、すなわち前提条件 4) で述べた内製段階の集合と内製するために使う外部調達の集合を見出す。

ここで、各々の方策の T 期上でのコストは次式で与えられる。式にある各要素は図 2 の製造段階図に対応する。

$$\begin{aligned}
 C(\text{方策}) &= \sum_{\text{内製の集合}} (V_k \times Q + F_k) + \sum_{\text{外部調達の集合}} (P_k + L_k) \times Q \\
 &= \left(\sum_{\text{外部調達の集合}} P_k + L_k + \sum_{\text{内製の集合}} V_k \right) \times Q + \sum_{\text{内製の集合}} F_k \quad \dots (1)
 \end{aligned}$$

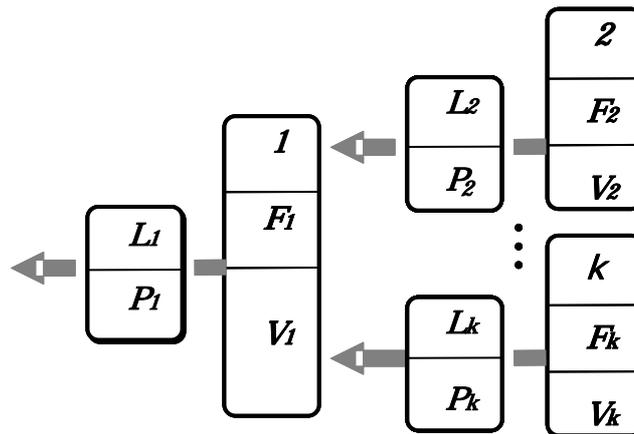


図 2 製造段階図

ここで、図 3 のような 4 段階からなる製造工程段階図があるとき、各々の方策は図 4 のように表すことが出来る。 で囲まれた製造段階は外部調達の段階を意味し、 で囲まれた製造段階は内製の段階を意味している。例えば 1 は製造段階[1]は内製をせずに、外部調達する方策を意味している。さらに、この方策 1 から内製を深めた（内製を行う段階を上流側に拡大した）方策 1 2 3 は、製造段階[1] を内製し、製造段階[1]に入る製造段階[2] 及び[3]は外部調達することを意味する。最終的に全工程を社内で生産する方策 1 2 3 4 がある。

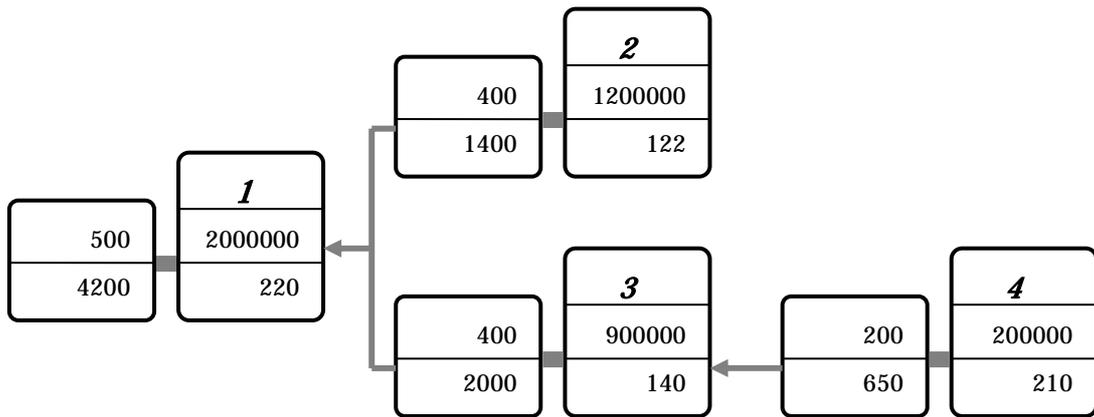


図3 製造工程段階図

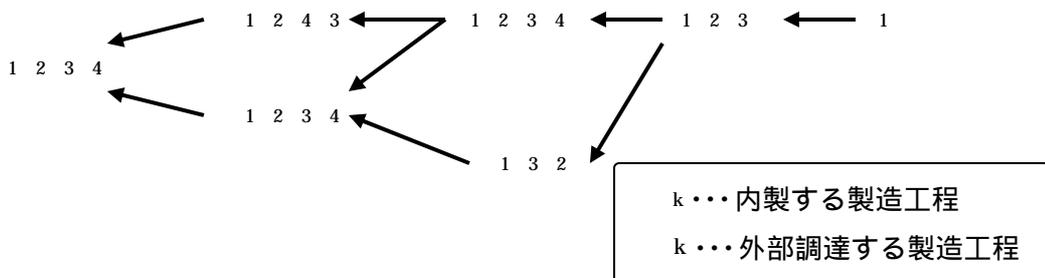


図4 考えられる代替方策

この時、各方策の生産量（1,000個～2,000個）に対するコストは次のようになる。

表1 各方策の生産量に対するコスト

	方策 1	方策 2	方策 3	方策 4	方策 5	方策 6	方策 7
1,000	4600000	5620000	6540000	5360000	6250000	6280000	5990000
1,100	5060000	5982000	6894000	5546000	6495000	6458000	6059000
1,200	5520000	6344000	7248000	5732000	6740000	6636000	6128000
1,300	5980000	6706000	7602000	5918000	6985000	6814000	6197000
1,400	6440000	7068000	7956000	6104000	7230000	6992000	6266000
1,500	6900000	7430000	8310000	6290000	7475000	7170000	6335000
1,600	7360000	7792000	8664000	6476000	7720000	7348000	6404000
1,700	7820000	8154000	9018000	6662000	7965000	7526000	6473000
1,800	8280000	8516000	9372000	6848000	8210000	7704000	6542000
1,900	8740000	8878000	9726000	7034000	8455000	7882000	6611000
2,000	9200000	9240000	10080000	7220000	8700000	8060000	6680000

ここで解くべき問題は、計画期間 T 期上で予測される生産量 Q のもとで、上記のコストを最小にする方策（内製四角形の集合と調達丸印の集合）を見出すことである。そこで本稿では、内製の区切りが有利になる Q の範囲を見出す解法を考察していく。

2.4 問題の記述

図5に示すように，製造段階図のなかのある1つの内製段階に着目してみることにする．この製造工程の中には次の2つの代替方策が存在している．

- 1) 外部調達方策 1
- 2) 内製方策 2 3 … n 1

方策1と方策2 3 … n 1それぞれのコストは次の式で表すことができる．

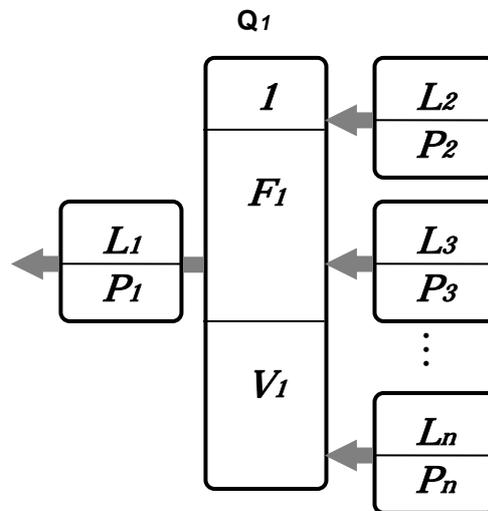


図5 1段階の問題

$$C(\text{方策1}) = (P_1 + L_1) \times Q \quad \dots (2)$$

$$C(\text{方策2 3 … n 1}) = \left(\sum_{i=2}^n (P_i + L_i) + V_1 \right) \times Q + F_1 \quad \dots (3)$$

ある生産量 Q のもとで，この2つの方策のコストの大小を比較したい．ここで，2つの方策のコストを等しくする生産量の分岐点 Q_1 を考えてみる．

この時の分岐点の生産量 Q_1 は次式で与えられる．

$$Q_1 = \frac{F_1}{(P_1 + L_1) - \sum_{i=2}^m (P_i + L_i) - V_1} \quad \dots (4)$$

この生産量の分岐点 Q_i が正の場合には、方策 1 と方策 2 3... m 1 の有利さは、 Q と Q_i の関係により次のように決まる。

【判別式 1】 図 5 において $Q_i > 0$ の場合

$$Q \leq Q_i \quad \text{方策 1 が有利}$$

$$(C(\text{方策 1}) \leq C(\text{方策 2 3... n 1}))$$

$$Q > Q_i \quad \text{方策 2 3... m 1 が有利}$$

$$(C(\text{方策 1}) > C(\text{方策 2 3... n 1}))$$

すなわち、生産量 Q が 0 から Q_i の範囲を超えると、方策 1 から段階 1 に内製化を深めた方策 2 3... n 1 が有利になる。変動費対応の外部調達方策が生産量の少ない範囲で有利になり、生産量が多い範囲になると変動費単価の安い固定費対応の内製方策が有利になる。

この性質が、以後の考察のなかで基本的な役割を果たす。

Q_i は段階 1 を内製化しない方策 1 と、内製化する方策 2 3... n 1 の分岐点になっている。このことより、式 (4) で与えられる生産量の分岐点を、以後「内製化の分岐点」と呼ぶことにする。

内製化の分岐点 Q_i が正でない場合には、次の判別式に示すように、1 の外部調達単価と、1 を内製して手に入れるための総変動費単価 (2 , 3 , ... n の調達単価と 1 の内製変動費単価の和) の大小関係により、方策 1 あるいは方策 2 3... n 1 のいずれか一方が、いかなる生産量 $Q_1 \geq 0$ のもとでも必ず不利となり無資格方策になる。

【判別式 2】 図 5 において Q_i が正でない場合には

$$P_1 + L_1 \leq \sum_{i=2}^n P_i + V_1$$

すべての $Q \geq 0$ で方策 1 より不利
(方策 2 3... n 1 は無資格方策になる)

$$P_1 + L_1 > \sum_{i=2}^n P_i + V_1$$

すべての $Q \geq 0$ で方策 2 3... n 1 より不利
(方策 1 は無資格方策になる)

この無資格方策は前提条件より $F_1 \geq 0$ であることを考慮すると、分岐点 Q_1 は式(4)の分子と分母の値の組み合わせにより、表2に示すような正でない値をとる。

この時、表2で

$$P_1 + L_1 \leq \sum_{i=2}^n (P_i + L_i) + V_1$$

が成り立つときには、内製固定費 $F_1 \geq 0$ で、1の外部調達単価よりも、1を内製して手に入れるための総変動費単価と総物流費単価が高いから、方策2 3... m 1は、方策1よりもすべての $Q \geq 0$ で不利になる。(無資格方策になる。)

また、 Q_1 が正でない前提のもとで、

$$P_1 + L_1 > \sum_{i=2}^n (P_i + L_i) + V_1$$

が成り立つのは、 $F_1 = 0$ の場合に限られる。このときには、内製固定費 $F_1 = 0$ で、1の調達単価が、1を内製して手に入れるための総変動費単価と総物流費単価よりも高いから、方策1はすべての $Q \geq 0$ で方策2 3... n 1よりも不利になる。(無資格方策になる。)これらの条件をまとめると表2のようになる。

表2 分岐点が正でない場合の無資格方策

F_1 の正負	P_1 と $\sum_{i=2}^n (P_i + L_i) + V_1$ の大小関係	Q_1 の値と 無資格になる方策	
$F_1 > 0$	$P_1 + L_1 < \sum_{i=2}^n (P_i + L_i) + V_1$	$Q_1 < 0$	方策 2 3... n 1
$F_1 > 0$	$P_1 + L_1 = \sum_{i=2}^n (P_i + L_i) + V_1$	$Q_1 = \infty$	
$F_1 > 0$	$P_1 + L_1 < \sum_{i=2}^n (P_i + L_i) + V_1$	$Q_1 = 0$	
$F_1 = 0$	$P_1 + L_1 = \sum_{i=2}^n (P_i + L_i) + V_1$	$Q_1 = 0/0$	
$F_1 = 0$	$P_1 + L_1 > \sum_{i=2}^n (P_i + L_i) + V_1$	$Q_1 = 0$	方策 1

2.5 直列の2段階モデルの問題

次に、製造段階上での内製段階が前後に隣り合う2段階の問題で、分岐点の大小関係により、方策の優劣がどのように決まるのかを考察してみる。

図6に示す2段階の直列の問題では、次の3つの代替方策が比較されることになる。

- 1) 方策0
- 2) 方策10
- 3) 方策210

これら3つの方策を、2つの段階0と1についての内製化の分岐点 Q_0 、 Q_1 を使って比較してみる。分岐点 Q_0 、 Q_1 は次式で示すことができる。

$$Q_0 = \frac{F_0}{P_0 + L_0 - (P_1 + L_1 + V_0)} \quad \dots (5)$$

$$Q_1 = \frac{F_1}{P_1 + L_1 - (P_2 + L_2 + V_1)} \quad \dots (6)$$

点 $Q_0 > 0$ $Q_1 > 0$ の場合には、それぞれの内製段階において判別式1に相当する有利さの判定ができる。従って、 $Q_0 < Q_1$ すなわち下流から上流に向け分岐点が小さい順に並んでいる時には、上記の3つの方策の優劣が、次のように決まる。

【判別式3】 図6において $Q < Q_0 < Q_1$ の場合

$Q \leq Q_0$	方策0が有利
$Q_0 < Q \leq Q_1$	方策10が有利
$Q > Q_1$	方策210が有利

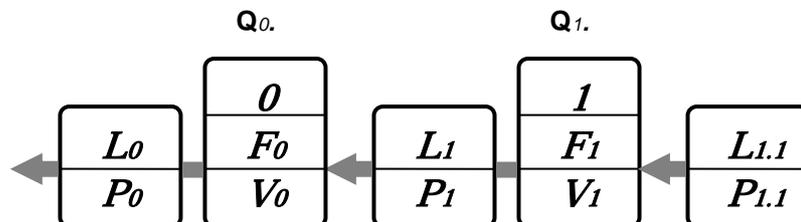


図6 直列2段階の問題

すなわち、生産量 Q が 0 から Q_0 の範囲を越えると方策 0 から段階 0 に内製化を深めた方策 1_0 が有利になり、 Q_0 から Q_1 の範囲を越えるとさらに段階 1 に内製化を深めた方策 2_{10} が有利になる。

次に $0 < Q_1 \leq Q_0$ になる場合を考えてみる。方策 1_0 は、 $Q < Q_0$ になる Q で方策 0 より有利になるが、条件 $0 < Q_1 \leq Q_0$ により、この Q のもとでは $Q > Q_1$ になっているので、方策 1_0 は方策 2_{10} より不利になる。従って、方策 1_0 はすべての $Q \geq 0$ のもとで必ずいずれかの方策よりも不利になり、次のことが言える。

【判別式 4】 図 6 において $0 < Q_1 \leq Q_0$ の場合

方策 1_0 は無資格方策になる。

従って、図 6 の直列型の問題で $0 < Q_1 \leq Q_0$ の場合は、方策 0 と一度に段階 0 と 1 に内製化を深めた方策 2_{10} の 2 つの方策を比較すればよいことになる。

ここで、【判別式 4】に示した性質を一般的に示しておく。

【性質 1】

方策 1 と方策 2 について、	
$0 < Q \leq Q_1$ なる Q の時	方策 1 が有利
$0 < Q_1 \leq Q$ なる Q の時	方策 2 が有利
方策 2 と方策 3 について、	
$0 < Q \leq Q_2$ なる Q の時	方策 2 が有利
$0 < Q_2 \leq Q$ なる Q の時	方策 3 が有利

この時、 $0 < Q_2 \leq Q_1$ の時、方策 2 は全ての $Q \geq 0$ で他のいずれかの方策よりも不利で無資格方策になる。

2.6 並列の段階を持つ2段階モデルの問題

はじめに、図7に示すような先行する2つの並列の内製段階1, 2がある2段階の問題を考える。この問題では、次の5つの代替方策が比較される。

- 1) 方策 0
- 2) 方策 1 2 0
- 3) 方策 2 3 1 0
- 4) 方策 1 4 2 0
- 5) 方策 3 4 2 1 0

3つの内製段階0, 1, 2をそれぞれ単独に見たときの分岐点 Q_0 , Q_1 , Q_2 は次式で与えられる。なおここでは、これらの分岐点について $Q_0 > 0$, $Q_1 > 0$, $Q_2 > 0$ がすべて成り立っている場合を考える。また、並列の段階1, 2は $Q_1 \leq Q_2$ になるように並んでいるものとする。

方策0と方策1 2 0の分岐点

$$Q_0 = \frac{F_0}{P_0 + L_0 - (P_1 + L_1 + P_2 + L_2 + V_0)} \quad \dots (7)$$

方策1と方策2 1の分岐点

$$Q_1 = \frac{F_1}{P_1 + L_1 - (P_3 + L_3 + V_1)} \quad \dots (8)$$

方策2と方策4 2

$$Q_2 = \frac{F_2}{P_2 + L_2 - (P_4 + L_4 + V_2)} \quad \dots (9)$$

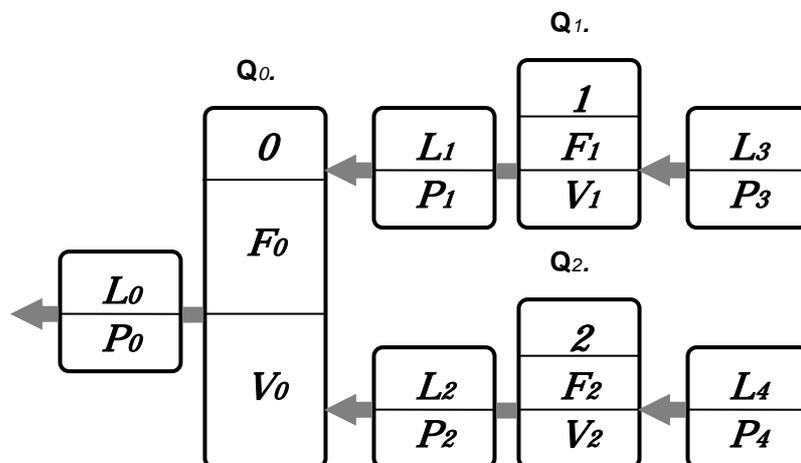


図7 並列型の問題

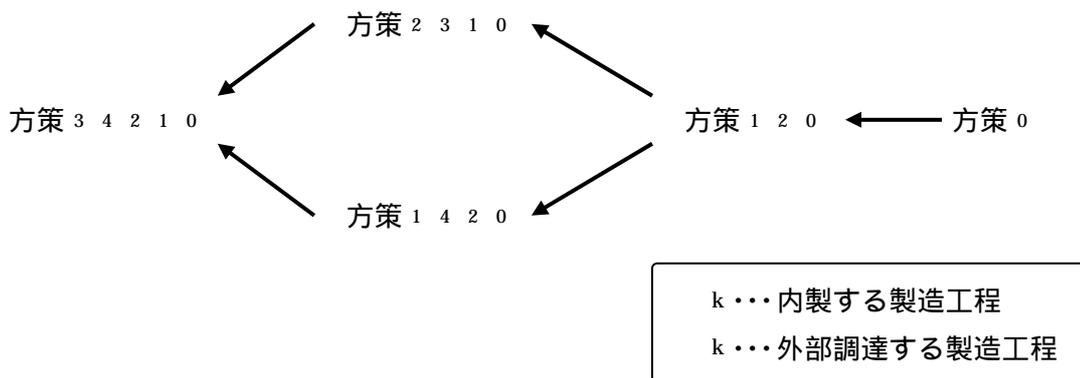


図8 5つの方策と分岐点の関係

図8は図7における上記の5つの方策と内製化の分岐点の関係を示したものである。例えば、方策2 3 1 0と方策3 4 2 1 0の分岐点は、両方策に共通にある3, 1, 0を消去して得られる方策2と方策4 2の分岐点、すなわち Q_2 になる。

図7で方策1 2 0 方策1 4 2 0 方策3 4 2 1 0のルートについて注目してみる。

$0 < Q_1 \leq Q_2$ であることから、性質1により、方策1 4 2 0はすべての $Q \geq 0$ で方策1 2 0か方策3 4 2 1 0よりも不利になる。従って、次のことが言える。

【判別式5】 図7において $0 < Q_1 \leq Q_2$ の場合

方策1 4 2 0は無資格方策になる

従って、段階2の内製化を深めた後で、1の内製化を深めるルートは排除でき、並列の段階については、生産量 Q の範囲に応じて、分岐点の小さい順に1 2の順序で内製化を深めた方策が有利になる。

このことから、 $0 < Q_0 \leq Q_1$ すなわち下流から上流に向け分岐点の小さい順に並んでいる時には、残った4つの方策の優劣は次の判別式6のように決まる。すなわち、分岐点の小さい順に段階の内製化を深めた方策が順に有利になる。

【判別式6】 図7において $0 < Q_0 < Q_1 \leq Q_2$ の場合

$Q \leq Q_0$	方策0が有利
$Q_0 < Q \leq Q_1$	方策1 2 0が有利
$Q_1 < Q \leq Q_2$	方策2 3 1 0が有利
$Q > Q_2$	方策3 4 2 1 0が有利

つぎに、 $0 < Q_1 \leq Q_0$ の場合を考える。図8で示した方策0 方策1 2 0 方策2 3 1 0のルートに注目すると、性質Aより、方策1 2 0はすべての $Q \geq 0$ で方策0か方策2 3 1 0よりも不利になる。したがって次のことが言える。

【判別式7】 図7において $0 < Q_1 \leq Q_0$ の場合

方策1 2 0は無資格方策になる

従って、 $0 < Q_1 \leq Q_0$ の場合は、図8で方策1 2 0が排除され、方策0と段階0と1の内製化を一度に深めた方策2 3 1 0、さらに段階2に内製化を深めた方策3 4 2 1 0が残ることになる。

以上の並列の段階が2個の問題の結果を利用して図9に示すような先行する並列の段階が一般にn個の問題を考えてみる。並列の段階1からnでの分岐点は、

$0 < Q_1 \leq Q_2 \leq Q_3 \leq \dots \leq Q_n$ (製造段階図の上から小さい順) になるように並んでいるとしよう。

図9で方策1 2 \dots n 0から並列の段階に内製化を深めることを考えたとき、2個の並列段階の問題の結果より、分岐点の小さい順に段階1, 2, \dots , nの順序で内製化を深めた方策が順に有利になる。

このことから、段階0, 1での分岐点 Q_0, Q_1 の大小関係が $0 < Q_0 < Q_1$ の場合には、段階1, 2, \dots , nの順に内製化を深めた方策が順に有利になる。すなわち、次の結果を得る。

【判別式8】 図7において $0 < Q_1 \leq Q_2 \leq Q_3 \leq \dots \leq Q_n$ の場合

$Q \leq Q_0$	方策0が有利
$Q_0 < Q \leq Q_1$	方策1 2 0が有利
$Q_1 < Q \leq Q_2$	方策2 3 1 0が有利
$Q > Q_2$	方策3 4 2 1 0が有利

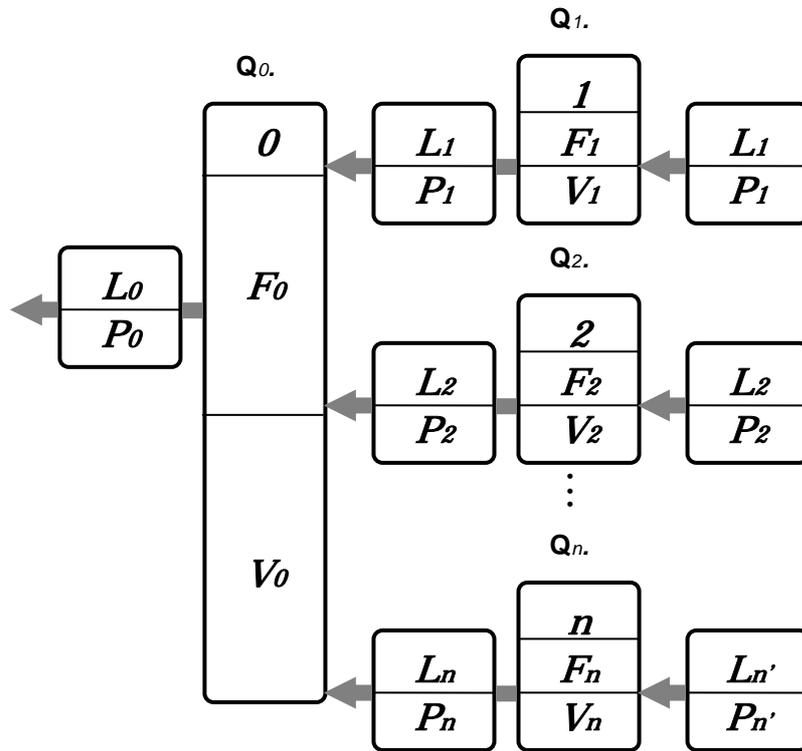


図9 n 個の並列な段階がある2段階の問題

2.7 結言

本章ではコスト面から内外製の分岐点についての方策が可能である事を既出論文から述べた。この方法の特徴は、外製と内製の有利さが等しくなる分岐量を求めることで各段階の内外製を区分する最適な方策を表現している事である。

しかし問題点としては、外製先を決定する要因には様々な要因が複雑に絡みあっているという事が現状であり、候補となる外製先は複数存在すると考えられる。そのような観点から費用のみに着目して内外製を決定することは、選択の範囲を狭める恐れもでることが考えられる。

次章から提案する本研究の手法では、着目点を変えてリードタイムから外製先を選ぶ。そしてその手法からの発展性にも着目していく。

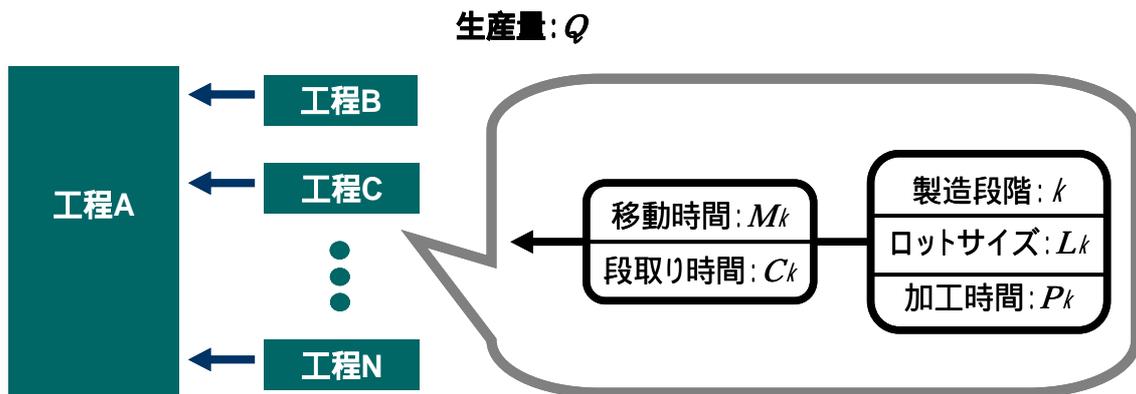
3 . 時間的要素による内外製の決定方法

3 . 1 緒言

近年ではコストの削減という目的にとどまらず、「経営資源の集中と分散」という観点から生産工程の外製を行い、自社の機能の特化を行う企業が増加し、その他にも業態や目的によって、さまざまな外製の形態が考えられ、実際に経営戦略に活かされている。

本章では、本研究での提案手法を述べる。時間的要素を活かし、納期短縮、早期納品という機能を特化させるための手法である。前提条件を述べた後に、その条件下での問題を記述する。そしてその解法を示す。

3 . 2 前提条件



P : Process M : Movement C : Change over
 L : Lot size Q : Quantity

図 1 0 製造工程段階図とその中の 1 工程

問題を解くにあたり必要な条件を以下に示す。

- 1) ここで定義する製造工程段階図の 1 段階の製造工程は、図 1 0 のように外製するために必要な [移動時間] と内製するために必要な [段取り時間] を左欄に、各 [工場のロットサイズ] と工程ごとの [加工時間] を右欄に記述する。

- 2) ある段階の中間製品（内製も外製も可能な製品）を外製したならば、それ以降の中間製品は外製せず、最終製品（最下流）までの段階をすべて内製する。
- 3) 最終工程 A は中間製品 B ~ N が全て A 工場にそろってから製造を開始する。
- 4) 各内製段階方策に用いられる資源（設備・労働力など）は他の内製段階で代替的に利用することは出来ない。
- 5) 1 つの工場で同時に二つ以上の製造活動を並行できないものとする。
- 6) 製造工程段階図で与えられる任意の方策は、最終製品から内製段階を 1 段階ずつさかのぼって採ることができる内製段階の集まりと、そこに入る外製段階の集まりで表されている。
- 7) 最終製品を販売あるいは供給する計画期間を T 期とし、 T 期上の生産量を Q (個/ T 期) で表す。この量は最終製品の生産量（販売量）を意味する。中間製品の量の単位は、最終製品 1 単位（個）に相当するように、各段階での原単位を用いて換算した値で表されているものとする。また、中間製品の生産量は、一般には在庫量を考慮して決められるが、ここでは在庫量をゼロとみなし、すべての段階で同一の値 Q を生産する場合を考える。
- 8) 段階 k 、内製段階 k 、外製段階 k の方策について下記のコストの値が与えられている。段階 k について、工場のロットサイズ $L_k \geq 0$ (個)、加工時間 $P_k \geq 0$ (時)、内製段階 k について、段取り時間 $C_k \geq 0$ (時)、外製段階 k について、移動時間 $M_k \geq 0$ 。

ここで、工場のロットサイズ L_k とは、 k 工場で一度に製造にかかれる個数である。上流にある工場では、その中間製品のための製造を行う工場もあり、その製品に関しては下流にある工場よりも大きい生産能力を持つと考える。

加工時間 P_k とは、 k 工程に必要な加工時間である。ロットごとの加工時間は変わらないために生産能力はロットサイズの大きさにより違いがでるものとする。

段取り時間 C_k は内製する場合に、A 工場で製造を始めるための準備時間である。外製する場合、外製先の工場では、専用の設備があり、段取りに要する時間はほぼ必要ないものとする。内製する場合、一つの機械で最終工程以外の工程を扱うので、機械設備や治具を取り替える時間が必要であるとする。

移動時間 M_k はある中間製品を外製した時に、製造した工場から、多段階製造過程において一つ上流へと製品を搬送するために必要な時間である。

これ以降は以上の前提条件をふまえて、実験、考察を進めていく。

3.3 問題の記述

以上の前提条件のもとで、計画期間 T 期上でのリードタイムを最小にする内外製の決定方法を分析する。リードタイムとは、生産の着手時期から完了時期に至るまでの期間であり、つまり工場内でその製品の原材料の状態から最終的に製品として出荷可能な状態になるまでのトータルな時間の事である。これは本研究において最下流から製品の製造を開始して、上流の工場で生産量 Q 個分の完成品ができるまでとする。

ここで、各々の方策の T 期上でのリードタイムは次式で与えられる。式の中にある要素は図 1 1 の製造工程段階図にあてはまる。

$$LT = \left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times P_1 + \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} L_{\text{内製}} = \left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \sum (C_k + P_k) \\ \text{内製リードタイム} \\ \dots (1) \\ L_{\text{外製}} = \text{Max} \left\{ \left(\frac{Q}{L_k}\right)^* \times P_k + M_k \right\} \\ \text{最大の外製リードタイム} \end{array} \right.$$

$$\left[* \frac{Q}{L_k} \text{ は小数点切上の整数} \right]$$

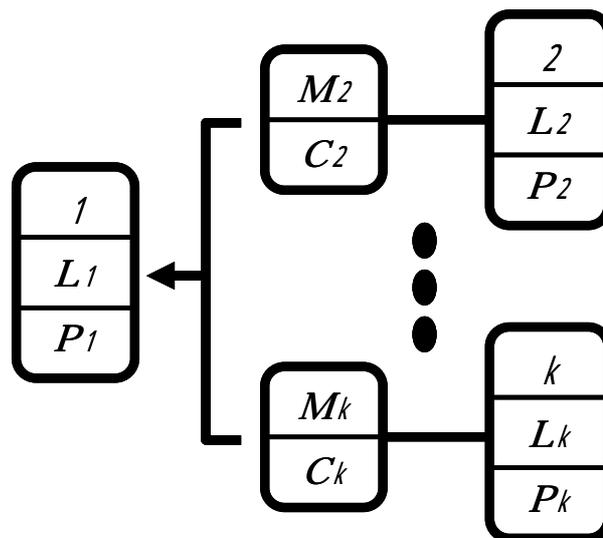


図 1 1 製造工程段階図

ここで、図12のような4段階からなる製造工程段階図があるとき、各々の方策は図13のように表すことが出来る。で囲まれた製造段階は外製の段階を意味し、で囲まれた製造段階は内製の段階を意味している。例えば1 2 3は、製造段階[1]だけを内製して、他の工程は外製するという方策を意味している。そして、この方策から内製を深めていき、最終的に全工程を自社内で製造する方策が1 2 3 4である。

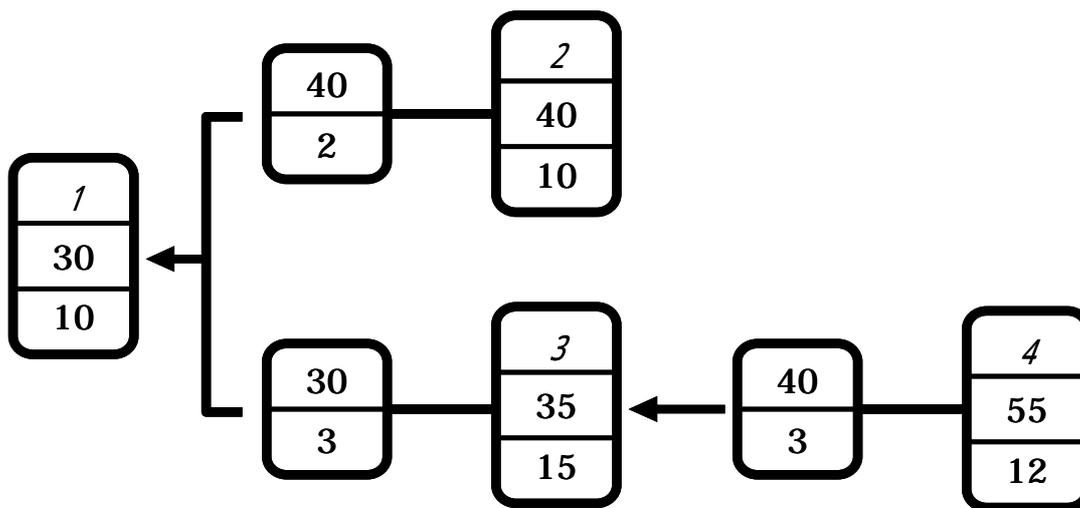


図12 製造工程段階図

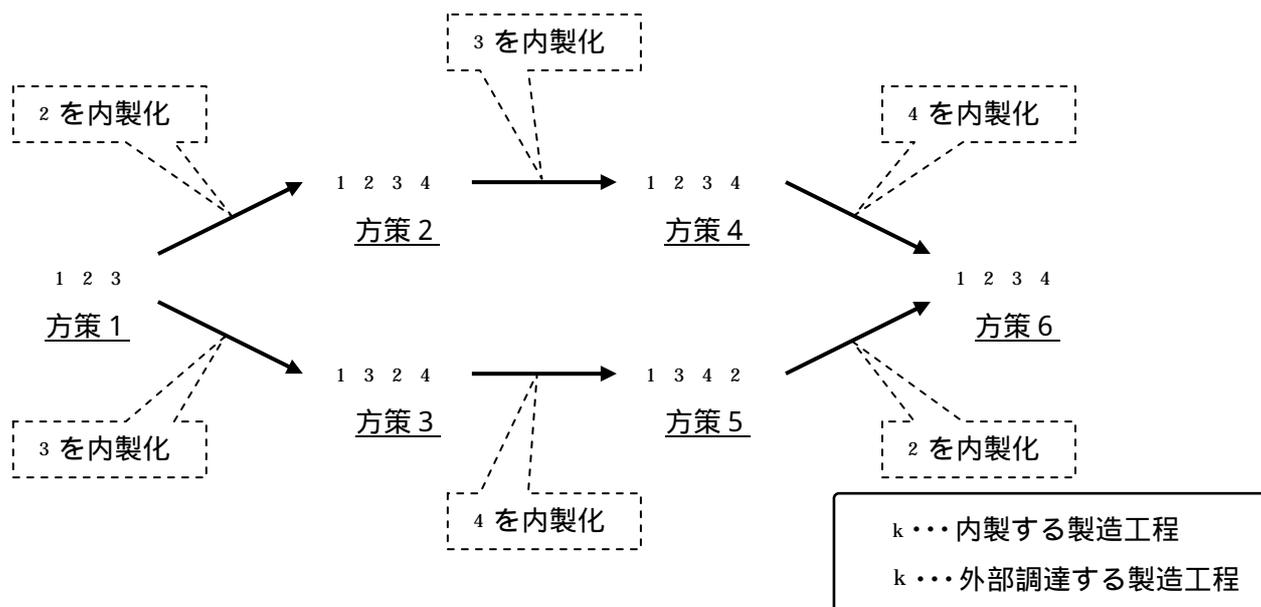


図13 図12から考えられる6つの方策

この時の各方針での生産量（120個～220個）に対するリードタイムは次のようになる。

表2 各方針の生産量に対するリードタイム

(時)

	方針1	方針2	方針3	方針4	方針5	方針6
100	179	179	176	224	172	220
110	194	194	176	224	172	220
120	206	206	188	236	172	220
130	216	216	216	276	215	275
140	216	216	216	276	215	275
150	231	231	216	276	215	275
160	241	241	244	316	258	330
170	253	253	256	328	258	330
180	268	268	256	328	258	330
190	278	278	284	368	301	385
200	278	278	284	368	301	385
210	278	278	284	368	301	385
220	303	303	312	408	344	440
230	315	315	324	420	344	440
240	315	315	324	420	344	440
250	340	340	352	460	387	495

表2の値を図14でグラフ化し、その推移を表す。

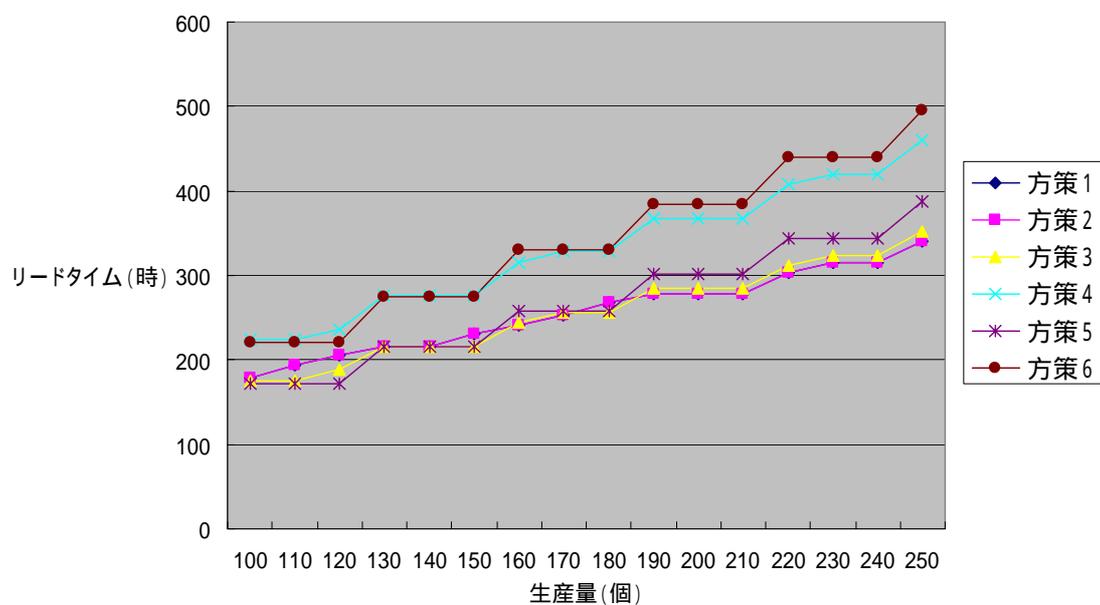


図14 求められたリードタイムをグラフ化

ここで解く問題は、計画期間 T 期上で予測される生産量 Q のもとで、表 2 にあるリードタイムを最小にする方策を見出すことである。生産量 Q の値は予想値であり、見込み違いが生じる場合も可能性がある。そこで、本章では、内製の区切りが有利になる Q を見出す解法 (式 (1)) を考察していく。

一般の製造段階図は図 1 5 に示すような 1 段階問題が基本要素となり、これらが前後に直列に連鎖する部分と、複数の先行する並列の段階が後続の段階に入り込む並列型の連鎖から成り立っていることがわかる。そこで、一般の製造段階図の中の 1 段階問題、直列形の問題、並列型の問題に着目し、この 3 つの問題を順に考察していく。

3.4 1段階の問題

図15に示すように、製造段階図の中のある1つの段階に着目してみることにする。

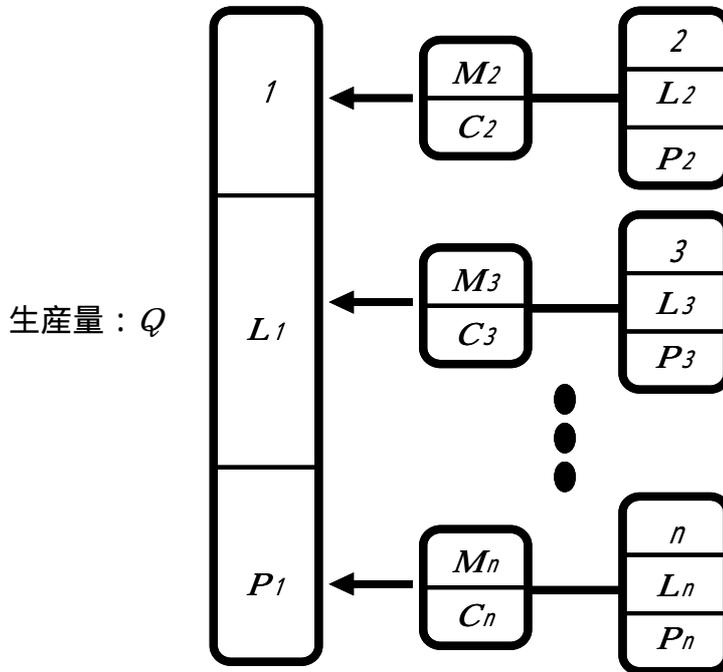


図15 1段階の問題

この製造工程では、2種類の状況の代替方策を考えることができる。

1) 外製方策 (1 2 3... n)

この方策では、工程1だけを内製して、2...nの工程は全て外製するものとする。ここで、1段階の問題であることから、外製工程は全て独立に存在し、外製どうしでのつながりはないことがわかる。これをモデル図で表すと図16のようになる。よってリードタイムは次式で表すことができる。

$$LT(1\ 2\ 3\ \dots\ n) = \underbrace{\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times P_1}_{\text{内製工程 1}} + \text{Max} \left\{ \underbrace{\left(\frac{Q}{L_k}\right)^* \times P_k}_{\text{外製工程}} + M_k \right\} \dots (2)$$

$\left[* \frac{Q}{L_k} \text{ は小数点切上の整数} \right]$

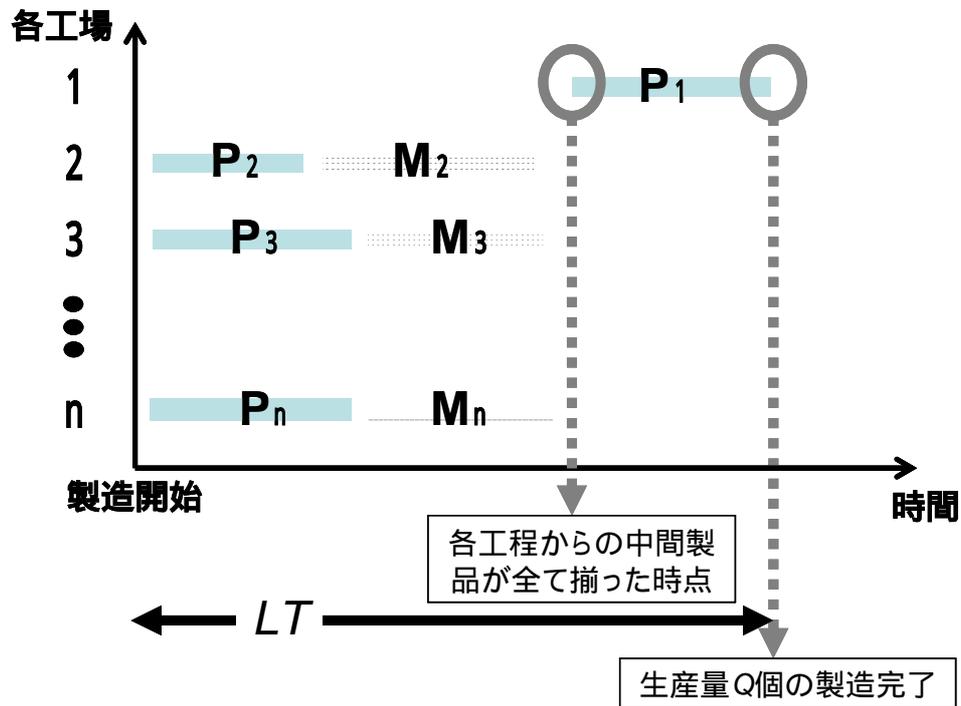


図16 3.4 1)モデル図

図16からもわかるように、式(2)では $2 \cdots n$ の工程を行う工場の中で中間製品を工場1へと搬送するのに最も長くかかるリードタイムをまず求める。そのリードタイムが工場1に全ての中間製品が届く時間であり、工程1を開始できる時間となる。よって、外製にかかる時間に、工程1での内製加工時間を足す事により、製造完了までのリードタイムを求める事ができる。

2) 内製方策 (工程1と内製工程 $i: 1 \cdots i$)

この方策は、内製工程が段階化したものと、独立した外製工程から構成される。ここでの内製工程は $2 \cdots n$ のうちの1つだけが内製化した場合から、 $2 \cdots n$ の全てが内製化した場合も選択の可能性に含んでいる。リードタイムは次式で表す。

$$LT(1 \cdots i) = \underbrace{\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times P_1}_{\text{工程 1}} + \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} L_{\text{内製}} = \underbrace{\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \sum (C_i + P_i)}_{\text{内製工程}} \cdots (3) \\ L_{\text{外製}} = \text{Max} \left\{ \underbrace{\left(\frac{Q}{L_k}\right)^* \times P_k + M_k}_{\text{外製工程}} \right\} \end{array} \right.$$

$$\left[* \frac{Q}{L_k} \text{ は小数点切上の整数} \right]$$

$L_{\text{内製}}$ での i は、内製をする工程を表している。内製をする場合は、工程 1 が行われる工場 1 で行うので、ロットサイズは工場 1 のものとなる。 \sum は段取りをロットごとに行うことから、各内製工程でかかる時間を足すために使っている。 $L_{\text{外製}}$ は外製どうしのつながりを持たない独立した外製工程での最も長いリードタイムを持つ k 工程のリードタイムとなる。

ここで、1) と 2) の式を比較してみて次の式が考えられる。

$$\text{Max} \left\{ \underbrace{\left(\frac{Q}{L_k}\right)^* \times P_k + M_k}_{\text{外製工程 } k} \right\} \leq \underbrace{\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \sum (C_i + P_i)}_{\text{内製工程}} \cdots (4)$$

この式が示している事は、工程 k が一つの独立した外製工程の中で最も長いリードタイムを持つ場合、これよりも長い内製工程を構成する内製段階をとる方策は、無資格方策となるという事である。そして二つの方策の結果の大小を考慮していくうえで、 $\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times P_1$ は両方の式にはいっていき事から比較のための計算に必要なないので、1 段階の問題を解く場合には、各工程の外製した場合の LT と内製する組み合わせの LT を求めていけばよい事がわかる。そして(4)式を考慮にいれて、最適な方策を求めていくことが有効である。

3.5 直列の2段階モデルの問題

製造段階上での工程が隣り合う2段階の問題で、方策の優劣がどのように決まるかを考察してみる。

図17に示す2段階の直列の問題では、次の3つの代替方策を考える事ができる。

- 1) 方策 1 2 3
- 2) 方策 1 2 3
- 3) 方策 1 2

これら3つの方策を、順に考察してみる。

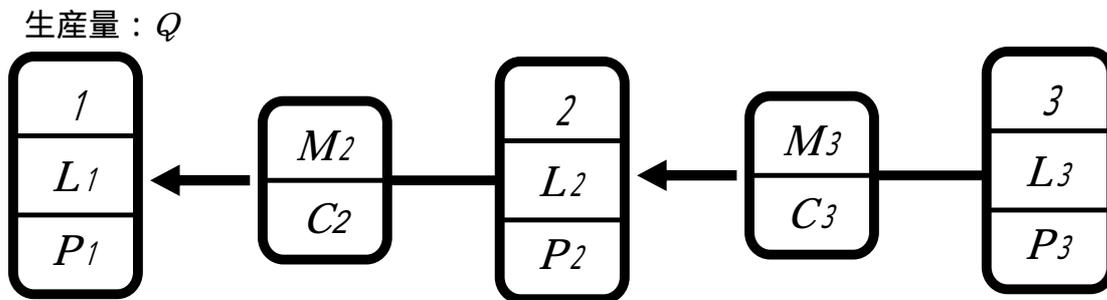


図17 直列2段階の問題

- 1) 方策 1 2 3

この方策は全ての工程を内製する方策である。よって、工場1で工程2、及び工程3を内製するという事である。工程3を内製した後に、工程2を内製して、それから工程1を内製する。式は以下のようなになる。

$$\begin{aligned}
 LT(1\ 2\ 3) = & \underbrace{\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times P_1}_{\text{工程1}} + \underbrace{\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times (P_2 + C_2)}_{\text{工程2}} + \underbrace{\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times (P_3 + C_3)}_{\text{工程3}} \\
 & \dots (5) \\
 & \left[* \frac{Q}{L_k} \text{ は小数点切上の整数} \right]
 \end{aligned}$$

2) 方策 1 2 3

この方策では、工程 1 と工程 2 を内製して、工程 3 のみを外製する。工程 3 を外製する工場 3 から工場 1 まで、製品が運ばれてから、工程 2、工程 1 と製造されていく。式は以下のようなになる。

$$\begin{aligned}
 LT(1\ 2\ 3) = & \underbrace{\left(\frac{Q}{L}\right)^* \times P_1}_{\text{工程 1}} + \underbrace{\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times (P_2 + C_2)}_{\text{工程 2}} + \underbrace{\left(\frac{Q}{L_3}\right)^* \times P_3 + M_3}_{\text{工程 3}} \\
 & \dots (6) \\
 & \left[* \frac{Q}{L_k} \text{ は小数点切上の整数} \right]
 \end{aligned}$$

3) 方策 1 2

この方策では、工程 1 のみを内製して、工程 2 と工程 3 は外製する。外製する二つの工程では、工場 3 で外製したものを工場 2 へ搬送してから製造する。式は以下のようなになる。

$$\begin{aligned}
 LT(1\ 2) = & \underbrace{\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times P_1}_{\text{工程 1}} + \underbrace{\left(\frac{Q}{L_2}\right)^* \times P_2 + M_2}_{\text{工程 2}} + \underbrace{\left(\frac{Q}{L_3}\right)^* \times P_3 + M_3}_{\text{工程 3}} \\
 & \dots (7) \\
 & \left[* \frac{Q}{L_k} \text{ は小数点切上の整数} \right]
 \end{aligned}$$

以上より、3つの代替方策の式(5)(6)(7)より、どの工程でも内製工程である $\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times P_1$ がはいつているので、これらの式の結果の優劣を比較する場合には、 $\left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times P_1$ を考える必要はない。よって、実際に比較すべきなのは、工程 2 と工程 3 である。ここで、2つの工程は直列に並んでいることから、図 1 6 のようなモデル図で考えてみると、時間軸は一列だけなので、この問題を考える場合には、工程 2 と工程 3 のそれぞれの内製 LT と外製 LT を求めたうえで、その組み合わせを検討すればよい。

3.6 並列の段階を持つ2段階モデルの問題

並列の段階を持つ2段階モデルとは、図17に示すモデルの事である。これは工程1を起点として、下流の工程が2つの枝に分かれており、それぞれが段階を持っている。まず、このモデルにおける代替方策を図18に示して表していく。

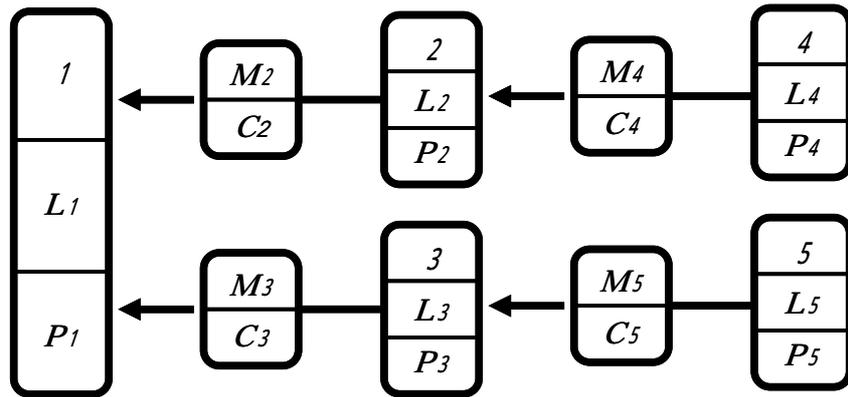


図17 並列の段階を持つ2段階モデルの問題

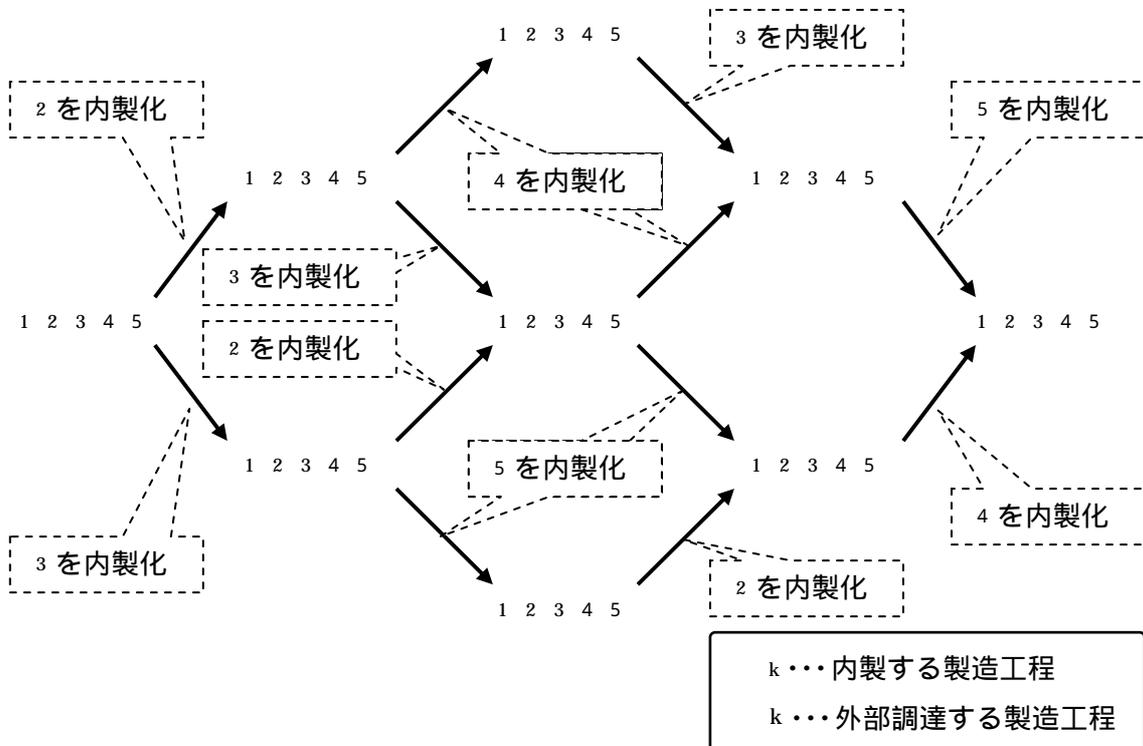


図18 図12から考えられる6つの方策

図18からわかるように、この問題では、次の9つの代替方策が比較される。

- | | |
|--------------|--------------|
| 1) 1 2 3 4 5 | 6) 1 3 5 2 4 |
| 2) 1 2 3 4 5 | 7) 1 2 3 4 5 |
| 3) 1 3 2 4 5 | 8) 1 2 3 5 4 |
| 4) 1 2 4 3 5 | 9) 1 2 3 4 5 |
| 5) 1 2 3 4 5 | |

ここで、3・4と3・5の考察をふまえて、各方策の有効性を考える。まず、この9つの方策のパターンを図19に示す。

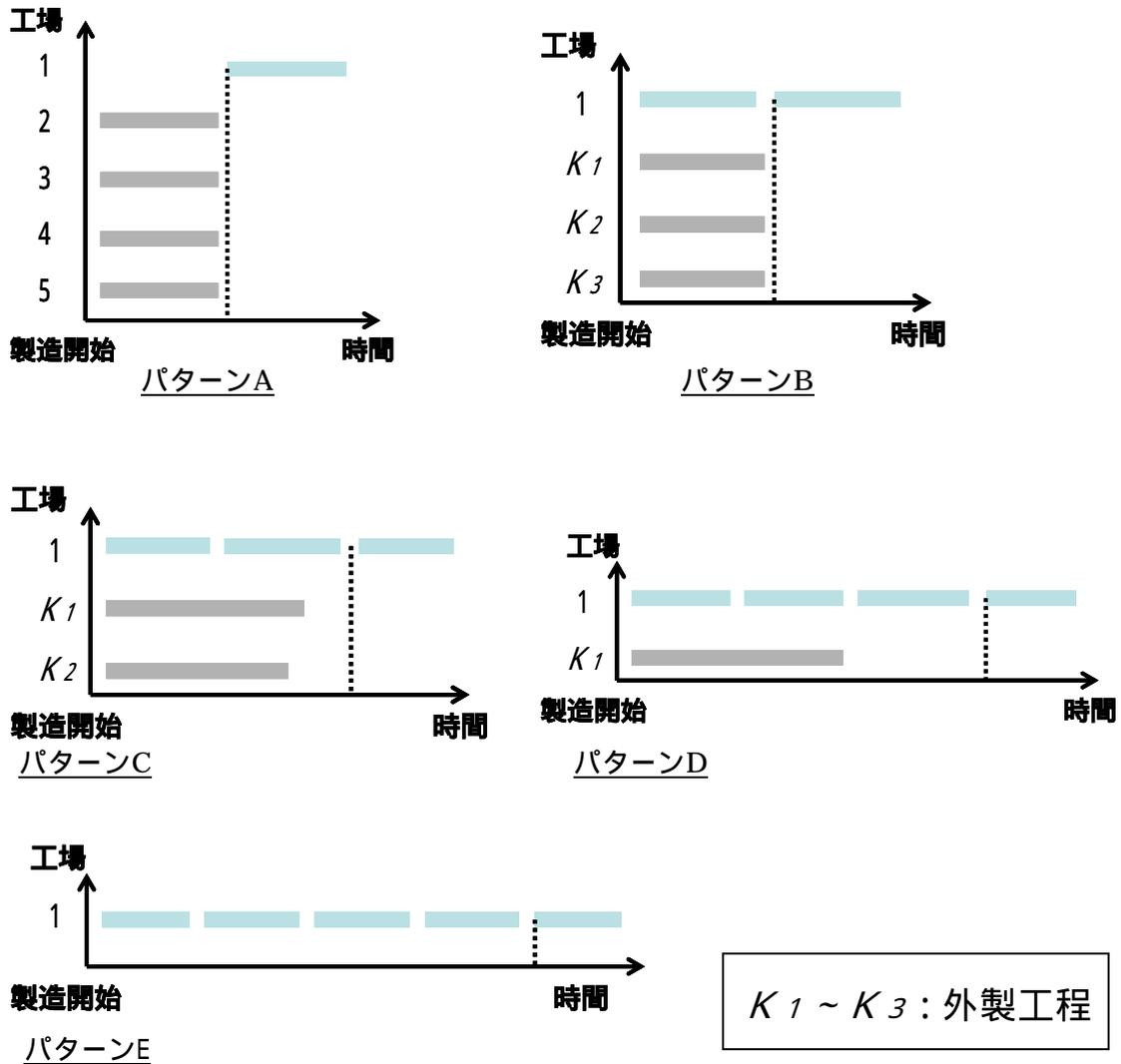


図19 並列の段階を持つ2段階モデルのパターン

図19にある5つのパターンは、各工程の内製 LT と外製 LT の組み合わせになっている事がわかる。そして、どの工程でも最終工程である工程1での内製時間は等しいものである事もわかる。1段階問題と直列2段階問題での解法もまじえて、並列の段階を持つ2段階モデルの問題の場合には以下の事が考えられる。

- 各方策の優劣を考える場合に、最終工程が一ヶ所である時に、比較をとるためのデータとして、最終工程の LT は考慮に入れる必要はない。
- 多段階製造過程における各工程の内製した場合、外製した場合についてそれぞれの LT を求める。それらの組み合わせにより、並列の段階を持つ問題においても効率的に LT を考えていくことができる。

3.7 待ち時間の猶予も考慮する問題

中間製品を製造する部品供給メーカーには、自社専属の工場ばかりではなく、他の企業と共有されているメーカーも存在する。自社のオーダーをだした時点で、共有されているメーカー（以後、共有サプライヤー）がそのオーダーに応じてすぐに製造を開始できるとは限らない。それは、共有サプライヤーが他の企業からのオーダーにも取り掛かっている場合があるからである。自社のオーダーを率先して組んでくれる専属のサプライヤーの場合、また共有サプライヤー自体の生産能力が大規模なものであり急なオーダーにも難なく対処できる場合などでは、問題はない。それ以外での状況においては、自社のオーダーをだしてから、納品にいたるまでに、加工時間、搬送時間に加えて、自社オーダーを製造開始できるまでの待ち時間が発生すると考えられる。その待ち時間の大きさによっては、自社の計画していた納期に大きな影響を与えることもある。しかし、中間製品を製造するメーカーでは、その中間製品のみならず、技術、人員、設備を集中できるために、品質の向上、コストのダウンに力を注いでいく事ができ、中間製品を主力として独立しているメーカーは多数存在する。そのようなメーカーで中間製品を外製するという事は、最終的な製品の品質向上や製品のコストにも影響してくるので、自社のメリットにも関わってくる。

そこで、そのような共有サプライヤーにオーダーをだした時に、待ち時間にどれだけの猶予を持てるかという問題を考えていく。待ち時間の猶予とは、決定した方策に影響しない程度に、外製先の共有サプライヤーでどのくらいまでの待ち時間を組めるかという事である。決まっている納期を守るということを第一の目標に掲げている場合で、仮に、猶予される待ち時間以上の時間をとらされると判明したならば、その時間を考慮した上で、方策を決めなおさなければならない。

上記で述べた猶予される待ち時間を W とする。図20において、工程4が共有サプライヤーであるとして、考えられる方策のうち工程4が外製である方策に着目する。表3に方策とそれに対応する待ち時間を示す。

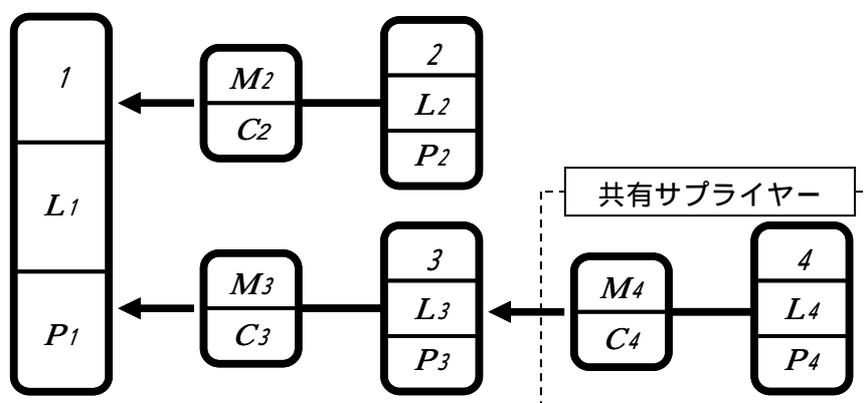


図20 待ち時間を考慮する問題

表3 待ち時間を考慮する問題

方策	モデル図	待ち時間：W
1 2 3		$W = \text{Max } LT_{\text{外製}} - \left(\frac{Q}{L_4}\right)^* \times P_4 + M_4$ <p>ただし</p> $\text{Max } LT_{\text{外製}} = \left(\frac{Q}{L_4}\right)^* \times P_4 + M_4 \text{ の時}$ <p>Wは存在しない</p>
1 2 3 4		$W = \left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times (P_2 + C_2)$ $- \left\{ \left(\frac{Q}{L_3}\right)^* \times P_3 + M_3 + \left(\frac{Q}{L_4}\right)^* \times P_4 + M_4 \right\}$ <p>ただし、$W \leq 0$ の時に Wは存在しない</p>
1 3 2 4		$W = \left\{ \left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times P_2 + M_2 \right\}$ $- \left\{ \left(\frac{Q}{L_1}\right)^* \times (P_3 + C_3) + \left(\frac{Q}{L_4}\right)^* \times P_4 + M_4 \right\}$ <p>ただし、$W \leq 0$ の時に Wは存在しない</p>
1 2 3 4		<p>Wにあてる時間がない (並列する時間軸がない) よって Wは存在しない</p>

上記の表により、図20における工程4の待ち時間が示された。方策1 2 3 4においては、工程4の外製時間がそのまま全体のLTの一部となっているのが明らかのため、猶予される待ち時間は発生しない。

数値例でいえば、表2の方策2での工程2において猶予できる待ち時間が発生している。この場合、工程2が共有サプライヤーであるならば、外製する事で自社にメリットがでてくると考えられ、最適な方策は、方策2となってくる。

3.8 組立順序が多段階である問題

上記までで、製造段階図内の枝が多数分かれていて、その各工程が段階を持たない場合と、製造段階図内での分岐が一つであるが、その二つの枝が段階を持つ場合について解法を述べた。ここでは、さらに組立順序が多段階になっている問題を考える。

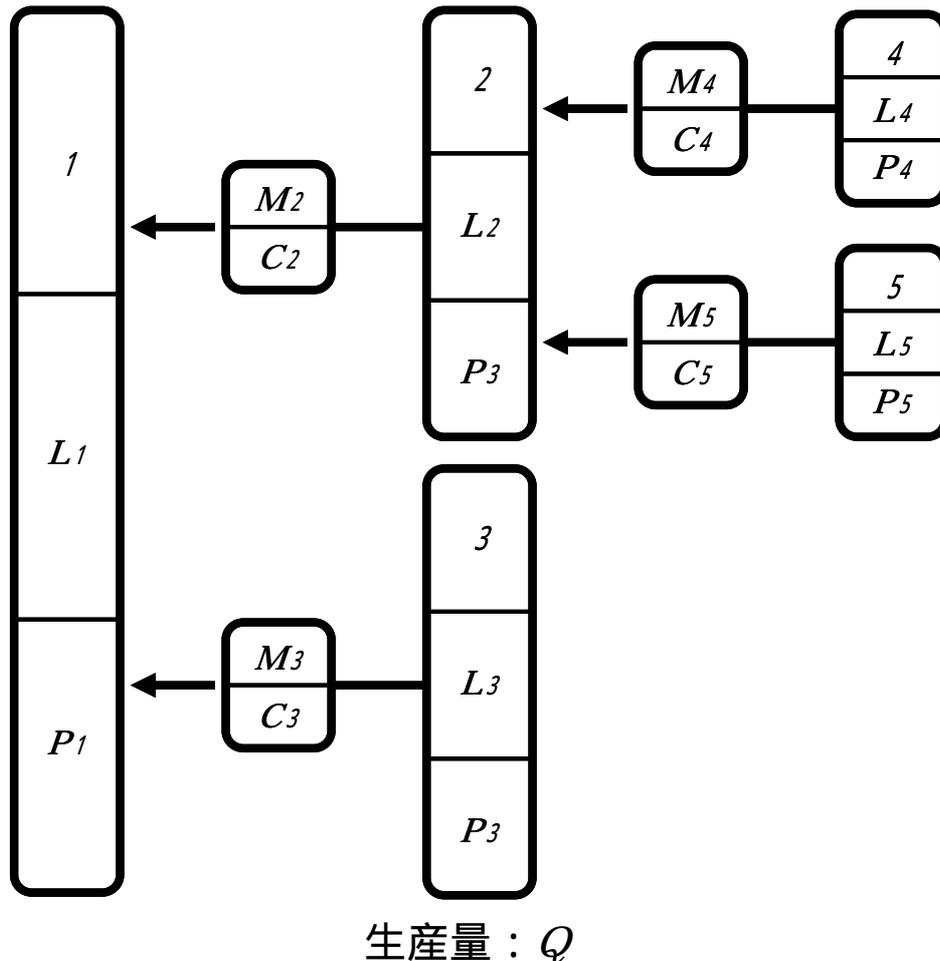


図 2 1 組立順序が多段階である問題

図 2 1 のように、分岐どうしが工程内で重なりあっている問題を考える。まず、工程 1 を終点に段階図を見てみると工程 2, 4, 5 の集まる分岐が工程 1 に結びついていることがわかる。つまり、工程 1 に、工程 2 と工程 3 から Q 個の中間製品が搬送されるので、二つの工程の集まりの時間軸は並行して進んでいる。

考えられる方策には以下の10の代替方策がある。

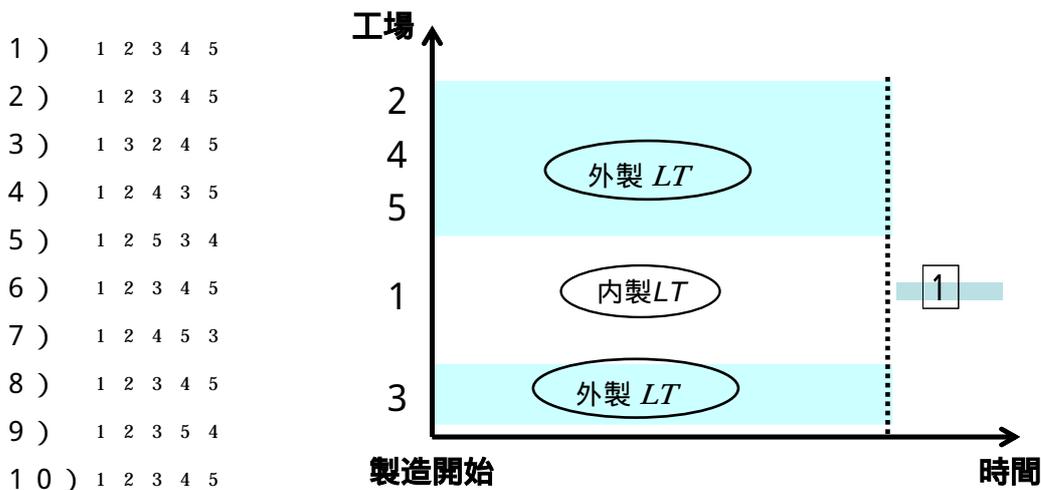


図 2 2 簡易モデル図

これらの各方策でもそれぞれの工程の外製 LT と内製 LT を求めて、方策内で組み合わせ製造 LT を求めていける。この時、考慮しなければいけないことは、工程 4 と工程 5 の中間製品が工程 2 に集まってから、工程 2 を始め、工程 2 と工程 3 の中間製品が工程 1 へと搬送され揃った時点で工程 1 が始まるということである。

3 . 9 結言

本章では、時間的要素によって多段階製造工程の問題を解く手法について考察してきた。この問題を解くことにより、生産量による最短の納期を見つけられる。次の 4 章では、実際の数値例をもとに、手法を実践していく。

4 . 多段階製造過程問題の解法

4 . 1 緒言

本章では、まず 3 章で提案した手法から、問題へのアプローチの仕方を示し、次に一般的な製造段階図が与えられた問題の時間的要素による内外製決定に関する解法例を示す。

4 . 2 手順

多段階製造過程において、生産量に応じた LT を明らかにすることにより、内外製の分析をするための手順を以下に示す。

- (1) 製造段階図の最終製品から 1 段階ずつ内製段階を選択していき、考えられる代替方策を全て求める。多段階になり、方策の見極めが困難な問題であったとしても、最終製品から 1 段階ずつ内製段階を選択する方法で、考えられる方策を得る事ができる。
- (2) 製造段階図のすべての段階 [k] の内製 LT と外製 LT を求める式をだす。各方策での生産量に応じた LT を求める時に値を出せるようにする。方策によって段階 [k] の組み合わせが違い、いずれの方策においても、ある段階での内製 LT と外製 LT が必要となる。
- (3) 各方策での生産量に応じた LT を求める。各方策によって製造順序が異なる場合がある。内製方策では、最終製品を製造する工場に工程が集まるので、その工場内での製造順序も組立順序を考慮した上で検討する。
- (4) 生産量をもとに方策どうしを比較することで、生産量の範囲に応じた最適方策を得られる。
- (5) 共有サプライヤーがある場合、その工程の外製方策に応じて猶予できる待ち時間を求めることで、共有サプライヤーに待ち時間が発生した場合に対応できるようにする。

4.3 解法例

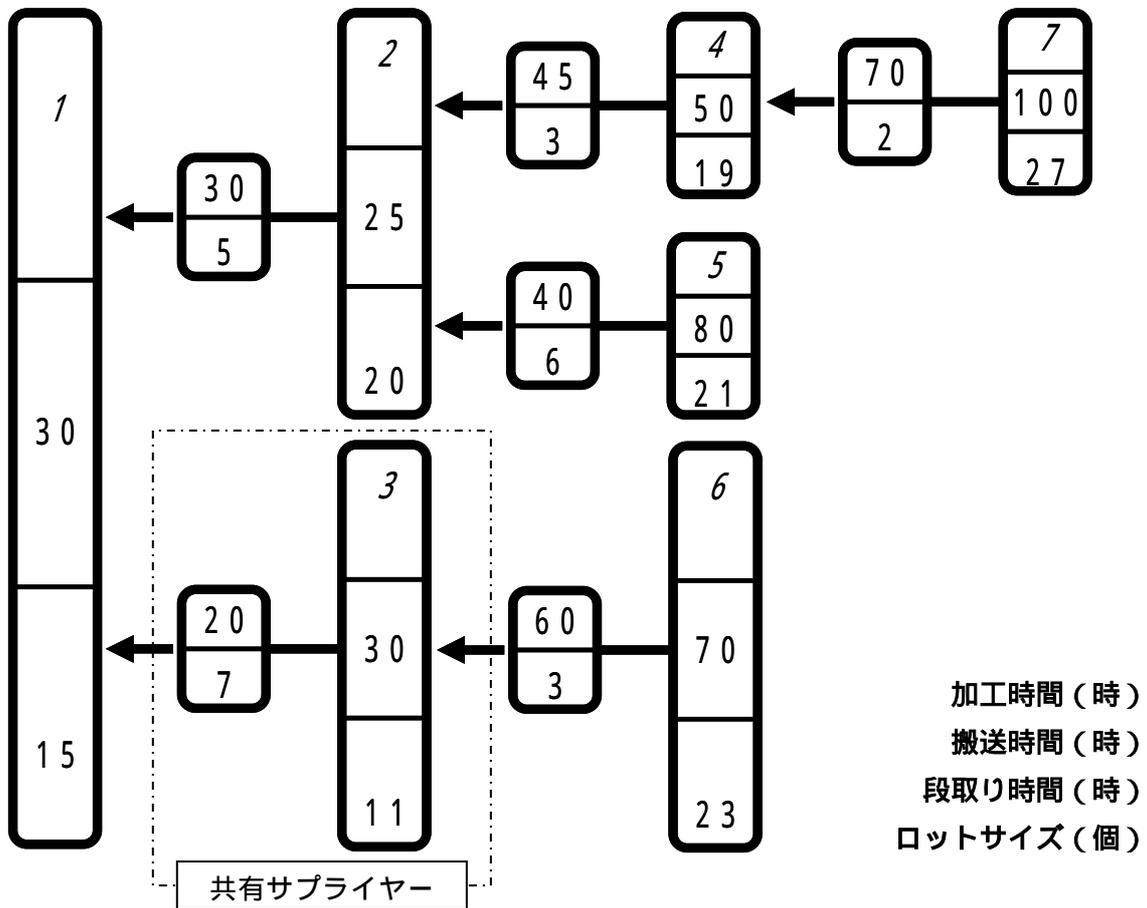


図 2 3 数値例

与えられた一般の製造段階図は図 2 3 であるものとする。このような製造工程で最終製品は 10 個単位で納品するとして、生産計画予定として 110 個から 200 個まで製造する場合の最適な内外製の方策を得るものとする。工程 3 は外製する場合は共有サプライヤーに以来するものとして、オーダーを出した時点で待ち時間が発生する可能性があるので、猶予できる待ち時間を求める。

この製造段階図からわかることを以下に示す。

- 工程 7 の製造が終わったら工程 4 の製造を開始できる
- 工程 4 と工程 5 の中間製品がそろってから工程 2 の製造を開始できる
- 工程 6 の製造が終わったら工程 3 の製造を開始できる
- 工程 2 と工程 3 の中間製品がそろってから最終工程 1 の製造を開始できる

以上のことをふまえて、考えられる代替方策をまとめる。

表 4 各方策における内外製の区分

方策	各段階の内外製
方策 1	1 2 3 4 5 6 7
方策 2	1 2 3 4 5 6 7
方策 3	1 3 2 4 5 6 7
方策 4	1 2 4 3 5 6 7
方策 5	1 2 5 3 4 6 7
方策 6	1 3 6 2 4 5 7
方策 7	1 2 4 7 3 5 6
方策 8	1 2 4 5 3 6 7
方策 9	1 2 3 6 4 5 7
方策 1 0	1 2 4 5 7 3 6
方策 1 1	1 2 3 4 6 5 7
方策 1 2	1 2 3 5 6 4 7
方策 1 3	1 2 3 4 5 7 6
方策 1 4	1 2 3 4 6 7 5
方策 1 5	1 2 3 4 5 6 7
方策 1 6	1 2 3 4 5 6 7

ここで、1 は全ての方策にはいって、最適な LT ではなく、方策を求める問題では、を考慮せずにすすめいける。

代替方策が求められたので、次に数値例から与えられた各要素を内外製の式にあてはめて、各方策内での製造順序にしたがい、得られた LT を表 5 に示す。

表5 製造 LT

(時)

生産量	方策1	方策2	方策3	方策4	方策5	方策6	方策7	方策8
110	386	351	386	332	351	386	315	324
120	386	351	386	332	351	386	315	324
130	411	381	411	384	381	411	367	405
140	411	381	411	384	381	411	367	405
150	411	381	411	384	381	411	367	405
160	455	430	455	436	430	455	438	486
170	455	430	455	436	430	455	438	486
180	480	430	480	436	430	480	438	486
190	480	460	480	488	460	480	490	567
200	480	460	480	488	460	480	490	567

生産量	方策9	方策10	方策11	方策12	方策13	方策14	方策15	方策16
110	296	432	384	404	468	452	492	608
120	296	432	384	404	468	452	492	608
130	370	540	480	505	576	565	615	760
140	370	540	480	505	576	565	615	760
150	370	540	480	505	594	565	615	760
160	444	648	576	606	702	678	738	912
170	444	648	576	606	702	678	738	912
180	444	648	576	606	702	678	738	912
190	518	756	672	707	810	791	861	1064
200	518	756	672	707	810	791	861	1064

最適方策と工程 1 を考慮した全体の LT を表 6 にまとめる。

表6 最適方策

(時)

生産量	最適方策	LT
110	方策9	356
120	方策9	356
130	方策7	442
140	方策7	442
150	方策7	442
160	方策2 方策5	520
170	方策2 方策5	520
180	方策2 方策5	520
190	方策2 方策5	565
200	方策2 方策5	565

よって、各生産量に応じた最適方策と製造 LT を求めることができた。

次に、工程 3 での猶予できる待ち時間を求める。表 6 に示された最適方策により、各製造量における LT が求められたので、その各方策に応じて待ち時間を得られる。また、この猶予待ち時間を求める問題において、工程 1 の時間に並列な時間軸はないため計算に考慮する必要はない。求める待ち時間は W_3 とする。

(1) 方策 9 における猶予待ち時間

方策 9 では、工程 3 が内製となっているので、共有サプライヤーに依頼はできないため、もとより待ち時間は発生しない。

(2) 方策 7 における猶予待ち時間

方策 7 における製造 LT では、 $2\ 4\ 7$ の LT と $3\ 6$ の LT が並列に存在していることに加えて、

$$LT_{2\ 4\ 7} \geq LT_{3\ 6}$$

であることから、

$$W_3 = LT_{2\ 4\ 7} - LT_{3\ 6} = \underline{186(\text{時})}$$

となる。

(3) 方策 2、方策 5 における猶予待ち時間

方策 2、方策 5 の製造 LT はともに $2\ 4\ 7$ の LT であり、 $3\ 6$ の LT が並列に存在していることに加えて、

$$LT_{2\ 4\ 7} \geq LT_{3\ 6}$$

であることから、

$$W_3 = LT_{2\ 4\ 7} - LT_{3\ 6} = \underline{215(\text{時})}$$

となる。

よって、 W_3 は方策 7 と方策 2、方策 5 をとる場合に存在し、猶予できる時間は上記の通りとなる。

4 . 4 結言

以上により、本章では、一般的な製造段階図上の数値例において、求められる生産量に対して最小リードタイムをとる内外製の分析を行った。その結果、各生産量に応じてのリードタイムをそれぞれ求めることができ、その中から最小のリードタイムを選出した。そして共有サプライヤーである工程 3 で待ち時間が発生した場合に、それを猶予できる時間を求めた。これらにより提案手法の実践と有効性を示した。次章では、本研究での考察をまとめる。

5 . 結論

本研究では、異なる生産能力を持つ段階が連なった製造過程において、外製可能な中間製品が多段階に存在するときに、これらの部品の時間的要素を考慮していくことで、生産量に応じて製造リードタイムを最小にする方策を導き出すことができた。

以下に示すのは本研究の特徴である。

- ある生産量を与えられたもとでの最適方策が得られることに加えて、それぞれの方策においての最適となる生産量の範囲を知ることができた。このために、計画期間内で生産量に見込み違いが生じたときに、その場に応じた最適方策を考えることにも有効である。
- 共有サプライヤーでの待ち時間を考慮に入れることができたために、最短のリードタイムを求め、それに影響しない程度にどれだけの待ち時間を猶予として共有サプライヤーに与えられるかを明らかにすることができた。

以上により、リードタイムの縮小化をすすめていくことで、早期納品という企業の競争力を強化していくことができる。そして、このような分析をすることにより、様々な状況に対応できる拡張性をもった方策を得られ、それらの方策の展開にもつなげていくことができると思う。しかし、実際の現場において、注文から最終製品納品までのリードタイムには、工場内での機械の故障、トラックで搬送中での渋滞などと予期しえない時間的要素も含まれてくる。このような事態が起きてもリードタイムに多大な影響を与えないように方策を決めることなど、本研究にまだ改善の余地はあると言える。

参考文献

- [1] 稲田周平、中村善太郎：“多段階の製造過程における経済的な内外製の決定方法”、日本経営工学会論文誌、Vol.49、No.4、1998
- [2] 稲田周平：“多段階製造過程における外注部品の最適調達量の決定方法”、日本経営工学会論文誌、Vol.54、No.3、2003
- [3] 吉岡利典：“多段階製造過程における境界設定分析”、1999年度法政大学大学院紀要、1999
- [4] 牧紀子、田部勉、鈴木新：“内外作決定のための意思決定支援システムの構築”、経営システム、(社)日本経営工学会、Vol.6、No.1、1996
- [5] 日置達也：“外注先選択方式における意思決定モデルに関する研究”、2003年度法政大学大学院紀要、2003
- [6] 圓川隆夫、伊藤謙治：「生産マネジメントの手法」、朝倉書店、1996
- [7] 圓川隆夫、田部勉：「生産管理」、朝倉書店、1989
- [8] 栗山正之：「トヨタ生産方式に学ぶ時間を活かしたモノづくり改革」、日刊工業、2002
- [9] 福田好朗、黒田充、圓川隆夫：「生産管理の辞典」、朝倉書店、1999

謝辞

本研究を進めていく全般と学生生活に渡り、暖かいご指導を賜りました福田好朗教授に深く感謝いたします。ならびに本研究の副査を担当して頂きました加藤豊教授にも感謝の意を表します。そして、日頃から研究室で数々の適切な助言をしてくださった生産システム研究室の先輩、同輩、後輩の諸氏に感謝いたします。

最後に、長い間私の学生生活に多大な応援を送ってくれ支え励まし続けてくれた父と母に心からの感謝をいたします。