

シミュレーションを用いた多段階製造過程における経済的な内外製の決定方法の分析

伊藤, 悠登 / ITO, Yuto

(発行年 / Year)

2007-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2007-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

2006年度 修士論文

シミュレーションを用いた

多段階製造過程における経済的な内外製の決定方法の分析

Analysis on Make-or-Buy economic break-even point
in a multi-stage production process using a simulation

指導教員 福田 好朗 教授

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

05R6204

イトウ ユウト
伊藤 悠登

Yuto ITO

【Abstract】

Recently, products which the manufacturing industry offers to the consumers consist of many components. In many cases these components can be supplied by in-house production or by outside procurement. However, companies are faced with the problem of finding the make-or-buy economic break-even point.

This paper compares in-house production with procurement from outside vendors from the perspective of profitability in a multi-stage production process. For this paper, a software program to simulate the most economic combination of in-house production and outside procurement was developed. We determine the validity of the proposed model and simulator.

【要旨】

近年、製造業が消費者に提供している製品は多くの構成要素から成り立っている。そして、その構成品は外部調達と社内製造がともに可能である場合が多い。そのとき、企業は構成品を外部調達か社内製造するかを決定しなければならない。そこで本研究では、採算性の観点から外部調達と社内製造の経済的な区切りを見出す問題を扱う。さらに、多段階の製造過程のなかで外部調達と社内製造の最適な区切りを視覚的に確認できるシミュレータを開発し、モデル及びシミュレータの有効性を確認する。

—目次—

1. 緒論	1
1.1. 研究背景	1
1.2. 研究目的	1
1.3. 論文構成	2
2. 内外製の決定方法	3
2.1. 前提条件	3
2.2. 問題の記述	5
2.3. 1段階の問題での分岐点による方策の比較	8
2.4. 直列の2段階モデルの問題	12
2.5. 並列の段階を持つ2段階モデルの問題	15
2.6. 無資格方策の排除による製造段階図の変形	19
2.7. 最小部分問題の変形	19
2.8. 部分問題拡大による製造段階図の変形	22
3. シミュレータ	26
3.1. シミュレータ概要	26
3.2. シミュレータの実行表示	27
3.3. シミュレーションを用いた多段階の問題の解法	29
4. 数値実験	36
4.1. 実験環境	36
4.2. 実験対象モデル	36
4.3. 実験条件	39
4.4. 実験結果	39
4.5. 考察	43
5. 結論	52
6. 参考文献	53
7. 謝辞	54

1. 緒論

1.1. 研究背景

近年、製造業が市場のニーズに応じて消費者に提供する製品のほとんどは多数の構成要素から成り立っている。そして、その複雑な製品を生産するために必要な全ての構成品を自社内で調達できる企業は少ないのが現実である。そこで製造企業は生産のために必要である構成品を自社（内製）で作るか、外部調達（外製）するかという内外作区分問題に直面することとなる。

この内外作区分において企業が取りうる選択は、全て内製にする、外製にする、一部を内製し一部を外注する、のいずれかとなる。内製にする主な理由は、コストや品質面で外製にするよりも自社で生産する方が優れているからであり、逆に外製する主な理由は、自社で生産するより外製する方がコストや品質面で優れているからである。一般にこの問題は、過去の実績などから外注の対象となる品目の一覧表を作り、機械的に内外作区分を行っていることが多いが、内外作の決定は、自社の生産技術や生産設備を規定するものであるから、経営計画の一部として十分に検討される必要があるものと考えられる。

1.2. 研究目的

企業が内外作区分問題を決定するため評価尺度としては、コスト、外注先が関係企業であるなどの協力関係、特許技術などの生産技術といった多くのものが挙げられる。そこで本研究では生産活動でのコスト（固定費、変動費、外部調達単価）に焦点を当てた上で、採算性の観点から内外製方策を比較し、さらに考慮する計画期間 T のもので内製か外部調達かのレベルだけに留まらず、上流工程に内外製の区切りをさかのぼる方策を追求することで採算性が取れるかどうか検討するためのモデルを考察する。

さらに、多段階の製造過程のなかで、計画期間 T での固定費と変動費からなる製造コストを最小にする外部調達と内製の区切りを見出すシミュレータを開発し、モデル及びシミュレータの有効性を確認する。

1.3. 論文構成

本研究論文は全5章から構成されている。第1章では現在の企業が直面している内外作区分問題と研究目的について述べ、第2章では研究対象となる内外製の決定問題のモデルと、それぞれのモデルにおける方策の比較について述べる。続いて第3章では、本研究で開発したシミュレータにおけるモデル化と実行フローについて説明する。そして、第4章では開発したシミュレータを用いて実験を行い、その様子と実験結果を述べる。最後に、第5章で本研究における結論を述べる。

2. 内外製の決定方法

2.1. 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) 最終製品が完成するまでの製造段階を原材料側（上流）へさかのぼってみるとき、図1のように、社内製造と外部調達が共に可能な中間製品と、その内製段階が示されている製造段階図が与えられる。製造段階図では、外部調達が可能である中間製品を丸印で、内製する段階が四角で表されている。そしてそれぞれに、外部調達には外部調達単価 P_i (円)、内製段階には内製固定費 F_i (円)、内製変動費単価 v_i (円) が与えられている。
- 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。各内製段階の方策に用いられる設備や労働力といった資源は他の内製段階で代替が利かないものとする。
- 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の四角形の集まりとその左端の四角形に入る丸印の集まりで表される。
- 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 Q (個/ T 期) で表す。この量は最終製品の生産量を意味する。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⑩と、その内製段階図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⑩について、外部調達単価 $P_k \geq 0$ (円/個)。内製段階図について、 T 期上での内製固定費 $F_k \geq 0$ (円/ T 期)、内製変動費単価 $v_k \geq 0$ (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（左端）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、それらの丸印は、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受けない。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、外部調達単価 P_k は中間製品④を示す丸印の下側に、内製固定費 F_k と内製変動費単価 v_k は内製段階図を示す四角内の上段と下段にそれぞれ示すこととなる。

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。

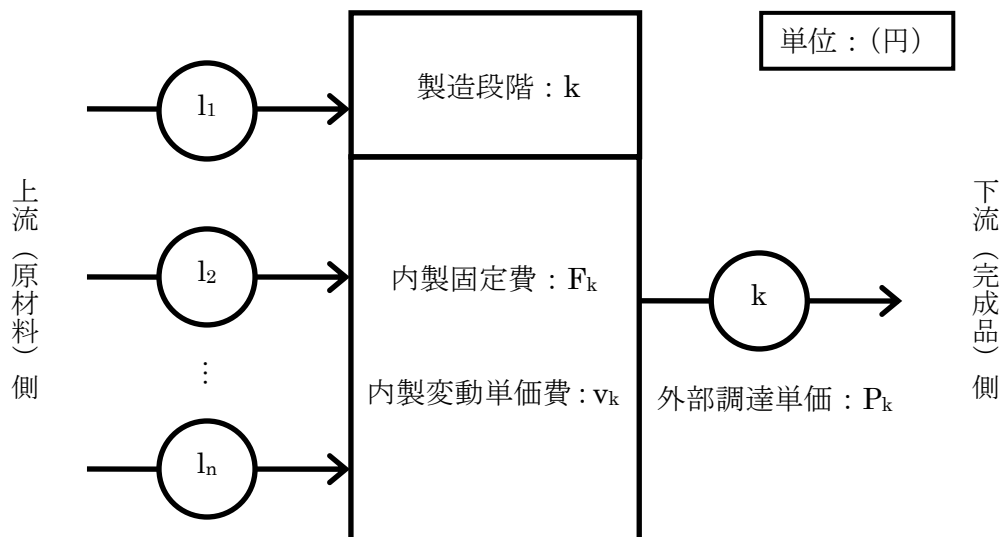


図1 製造段階図

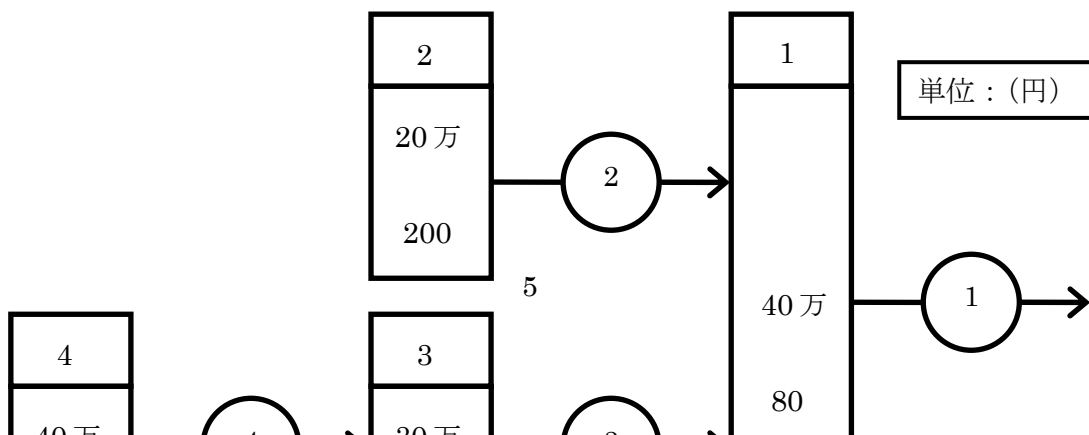
2.2. 問題の記述

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) で述べた内製四角形の集合とそこでの外部調達する丸印の集合とを見出す。

方策の T 期上でのコストは次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 C(\text{方策}) &= \sum_{\text{内製四角形の集合}} (v_k \times Q + F_k) + \sum_{\text{外部調達丸印の集合}} P_k \times Q \\
 &= \left(\sum_{\text{外部調達丸印の集合}} P_k + \sum_{\text{内製四角形の集合}} v_k \right) \times Q + \sum_{\text{内製四角形の集合}} F_k \quad \dots (1)
 \end{aligned}$$

ここで、図 2 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 3 のように表わすことができる。○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示している。例えば方策①は製造段階 1 を内製とせずに、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に拡大した）方策②③□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している。また、全工程を社内で生産する方策は方策④③②□として表わされる。



500

1000

550

480

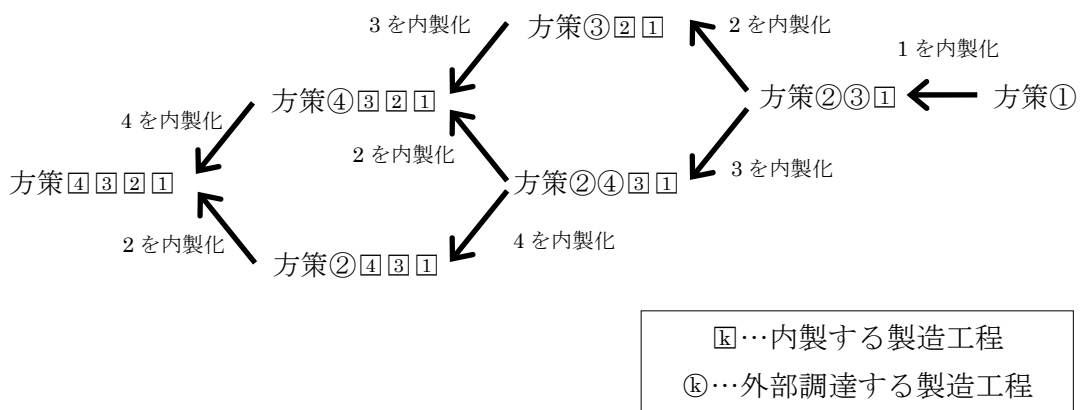


図3 図2で与えられる方策

このとき、各方策の生産量の変化（2,000 個～3,000 個）に対するコストの変化は次のようになる。

表1 各方策の生産量の変化に対するコストの変化

生産数	方策①	方策②③①	方策③②①	方策②④③①	方策④③②①	方策②④③①	方策④③②①
2000	2000000	2520000	2120000	3160000	2760000	2520000	2120000
2100	2100000	2626000	2196000	3283000	2853000	2591000	2161000
2200	2200000	2732000	2272000	3406000	2946000	2662000	2202000
2300	2300000	2838000	2348000	3529000	3039000	2733000	2243000
2400	2400000	2944000	2424000	3652000	3132000	2804000	2284000
2500	2500000	3050000	2500000	3775000	3225000	2875000	2325000
2600	2600000	3156000	2576000	3898000	3318000	2946000	2366000
2700	2700000	3262000	2652000	4021000	3411000	3017000	2407000
2800	2800000	3368000	2728000	4144000	3504000	3088000	2448000
2900	2900000	3474000	2804000	4267000	3597000	3159000	2489000
3000	3000000	3580000	2880000	4390000	3690000	3230000	2530000

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。生産量 Q の値は予測値であり、見込み違いが生じる可能性がある。そこで本研究では、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。

一般に製造段階図は、図4に示すような1段階の問題が基本要素になり、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っている部分があることがわかる。そこで本論文では、一般の製造段階図のなかの1段階の問題、直列型の問題、並列型の問題に注目し、この3つの問題を順に考察していくことにする。

2.3. 1段階の問題での分岐点による方策の比較

図4に示すように、製造段階図のなかにある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②③⋯②①

方策①と方策②③⋯②①のそれぞれのコストは次式で与えられる。

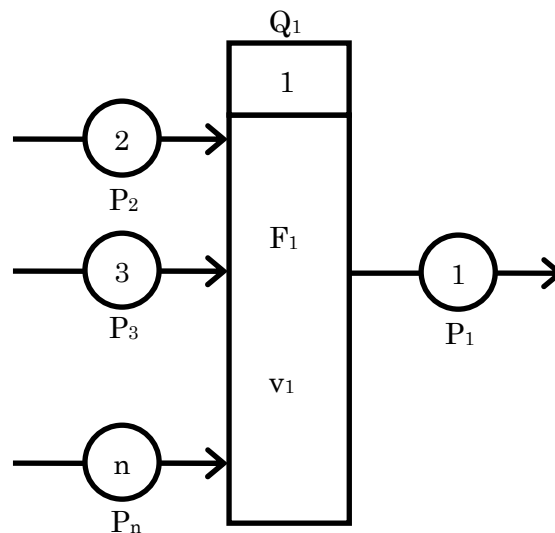


図4 1段階の問題

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

$$C(\text{方策②③}\cdots\text{㉑㉒}) = \left(\sum_{i=2}^n P_i + v_1 \right) \times Q + F_1 \quad \cdots (3)$$

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。このとき、分岐点 Q_1 は次式で与えられる。

$$Q_1 = \frac{F_1}{P_1 - \sum_{i=2}^n P_i - v_1} \quad \cdots (4)$$

この生産量の分岐点 Q_1 が正の場合には、方策①と方策②③ \cdots ㉑㉒の有利さは、 Q と Q_1 の関係により次のように決まる。

【判別式1】

図4において $Q_1 > 0$ の場合

$Q \leq Q_1 \rightarrow$ 方策①が有利

$$(C(\text{方策①}) \leq C(\text{方策②③}\cdots\text{㉑㉒}))$$

$Q > Q_1 \rightarrow$ 方策②③ \cdots ㉑㉒が有利

$$(C(\text{方策①}) > C(\text{方策②③}\cdots\text{㉑㉒}))$$

すなわち、生産量 Q が0から Q_1 の範囲を越えると、方策①から段階㉑に内製化を深めた方策②③ \cdots ㉑㉒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_1 は段階㉑を内製化しない方策①と、内製化する方策②③ \cdots ㉑㉒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_1 が正でない場合には、次の判別式2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,⋯,⑩の調達単価とⅠ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②③⋯⑩Ⅰのいずれか一方が，いかなる生産量 $Q \geq 0$ 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 4 において Q_1 が正でない場合

$$P_1 \leq \sum_{i=2}^n P_i + v_1$$

⇒すべての $Q \geq 0$ で方策①より不利
(方策②③⋯⑩Ⅰは無資格方策になる)

$$P_1 > \sum_{i=2}^n P_i + v_1$$

⇒すべての $Q \geq 0$ で方策②③⋯⑩Ⅰ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により $F_1 \geq 0$ 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．

このとき，表 2 において

$$P_1 \leq \sum_{i=2}^n P_i + v_1$$

が成り立つときに、内製固定費 $F_1 \geq 0$ で①の外部調達よりも、①を内製して手に入れるための総変動費単価が高いから、方策②③⋯⑩は、方策①よりもすべての $Q_1 \geq 0$ 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、

$$P_1 > \sum_{i=2}^n P_i + v_1$$

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よりも高いから、方策①は全ての $Q_1 \geq 0$ で方策②③⋯⑩よりも不利になる。(無資格方策になる)

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 $\sum_{i=2}^n (P_i + v_1)$ の大小関係	Q_1 の値と無資格になる方策
$F_1 > 0$	$P_1 < \sum_{i=2}^n (P_i + v_1)$	$Q_1 < 0$
$F_1 > 0$	$P_1 = \sum_{i=2}^n (P_i + v_1)$	$Q_1 = \infty$
$F_1 = 0$	$P_1 < \sum_{i=2}^n (P_i + v_1)$	$Q_1 = 0$
$F_1 = 0$	$P_1 = \sum_{i=2}^n (P_i + v_1)$	$Q_1 = 0/0$
$F_1 = 0$	$P_1 > \sum_{i=2}^n (P_i + v_1)$	$Q_1 = 0$

方策
②③⋯⑩①

方策①

2.4. 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かを考察していく。

図5に示す2段階の直列問題では、次の3つの代替方策が比較されることになる。

- 1) 方策①
- 2) 方策②①
- 3) 方策③②①

これらの3つの方策を、2つの段階①と②についての内製化の分岐点 Q_1, Q_2 を使って比較してみる。分岐点 Q_1, Q_2 は次式で表すことができる。

$$Q_1 = \frac{F_1}{P_1 - P_2 - v_1} \quad \dots (5)$$

$$Q_2 = \frac{F_2}{P_2 - P_3 - v_2} \quad \dots (6)$$

ここで、分岐点が $Q_1 > 0$ かつ $Q_2 > 0$ 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。したがって、 $Q_1 < Q_2$ 、すなわち下流（右側）から上流左側に向け分岐点が小さい順に並んでいるときには、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 5 において $0 < Q_1 < Q_2$ の場合

$Q < Q_1 \rightarrow$ 方策①が有利

$Q_1 < Q \leq Q_2 \rightarrow$ 方策②㊦が有利

$Q > Q_2 \rightarrow$ 方策③㊦㊧

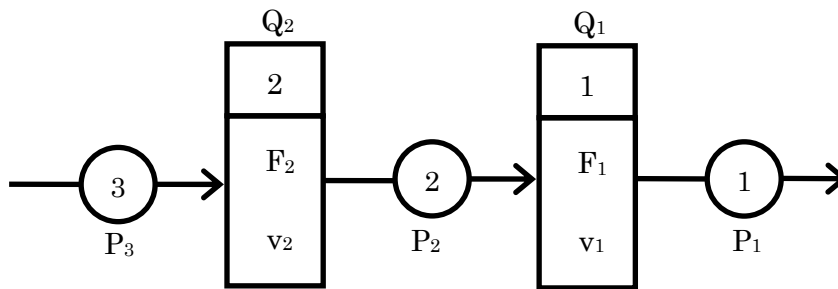


図 5 直列の 2 段階の問題

すなわち、生産量 Q が 0 から Q_1 の範囲を越えると方策①から段階㊦に内製化を深めた方策②㊦が有利になり、 Q_1 から Q_2 の範囲を越えるとさらに段階㊦に内製化を深めた方策③㊦㊧が有利になる。

次に $0 < Q_2 \leq Q_1$ になる場合をみる。方策②㊦は、 $Q < Q_1$ なる Q で方策①より不利になる。また、 $Q > Q_1$ なる Q で方策①よりも有利になるが、条件 $0 < Q_2 \leq Q_1$ により、この Q のもとでは $Q > Q_1$ になっているので、方策②㊦は方策③㊦㊧より不利になる。したがって、方策②㊦はすべての $Q \geq 0$ のもとで必ず他の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5において $0 < Q_2 \leq Q_1$ の場合

方策②Ⅲは無資格方策になる.

従って, 図5の直列型の問題で $0 < Q_2 \leq Q_1$ の場合は, 方策①と一度に段階ⅡとⅢに内製化を深めた方策③ⅡⅢ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【性質1】として一般化する.

【性質1】

方策1と方策2について

$0 < Q \leq Q_1$ なる Q のとき → 方策1が有利

$0 < Q_1 \leq Q$ なる Q のとき → 方策2が有利

方策2と方策3について

$0 < Q < Q_2$ なる Q のとき → 方策2が有利

$0 < Q_2 < Q$ なる Q のとき → 方策3が有利

このとき, $0 < Q_2 < Q_1$ ならば, 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になり無資格方策になる.

2.5. 並列の段階を持つ2段階の問題

はじめに、図6に示すような先行する2つの並列の内製段階②、③がある2段階について考えてみる。この問題では、次の5つの代替方策が比較される。

- 1) 方策①
- 2) 方策②③①
- 3) 方策③④②①
- 4) 方策②⑤③①
- 5) 方策④⑤③②①

3つの内製段階①、②、③をそれぞれ単独に見たときの分岐点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 は次式で与えられる。また、ここではこれらの分岐点について $Q_1 > 0$ 、 $Q_2 > 0$ 、 $Q_3 > 0$ がすべて成り立っている場合を考える。また、並列の段階②、③は $Q_2 \leq Q_3$ になるように並んでいるものとする。

方策①と方策②③①の分岐点

$$Q_1 = \frac{F_1}{P_1 - (P_2 + P_3) - v_1} \quad \dots (7)$$

方策②と方策④②の分岐点

$$Q_2 = \frac{F_2}{P_2 - P_4 - v_2} \quad \dots (8)$$

方策③と方策⑤③の分岐点

$$Q_3 = \frac{F_3}{P_3 - P_5 - v_3} \dots (9)$$

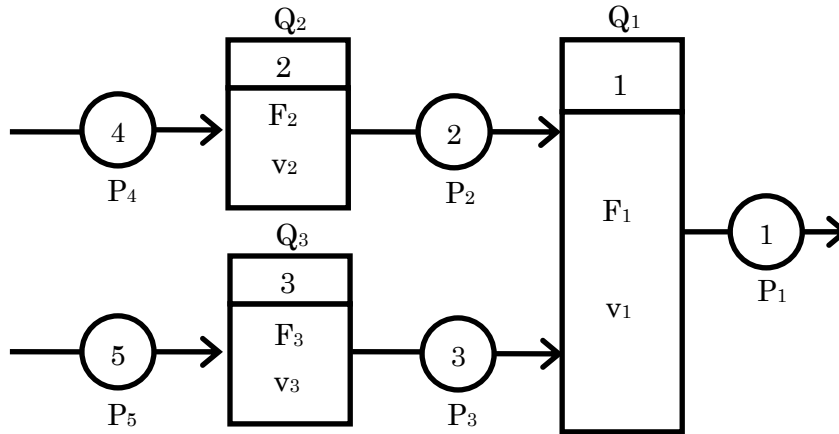


図6 2つの並列な段階がある2段階の問題

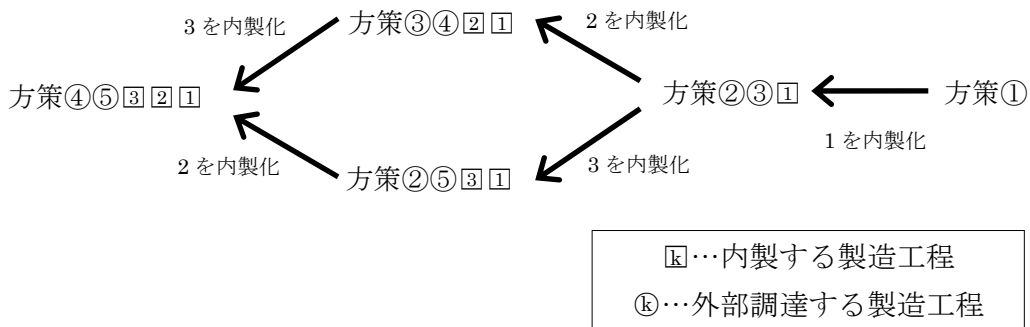


図7 図6における5つの方策と分岐点の関係

図7は図6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③④②①と方策④⑤③②①の分岐点は両方策に共通にある④、②、①を消去して得られる方策③と方策⑤③の分岐点、すなわち Q_3 になる。

ここで図7において方策②③①→方策②⑤③①→方策④⑤③②①のルートに注目する。 $0 < Q_2 \leq Q_3$ であることから、先ほど記述した【性質1】より方策②⑤③①はすべての $Q \geq 0$ で方策②③①か方策④⑤③②①よりも不利になる。つまり次のことがいえる。

【判別式5】
 図5において $0 < Q_2 \leq Q_3$ の場合
 方策②⑤③①は無資格方策となる。

従って、段階Ⅲの内製化を深めた後で、Ⅱの内製化を深めるルートは排除することができ、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Ⅱ、Ⅲ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、 $0 < Q_1 < Q_2$ 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ときには、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6において $0 < Q_1 < Q_2 \leq Q_3$ の場合

- $Q \leq Q_1$ → 方策①が有利
- $Q_1 < Q \leq Q_2$ → 方策②③Ⅰが有利
- $Q_2 < Q \leq Q_3$ → 方策③④ⅡⅠが有利
- $Q > Q_3$ → 方策④⑤ⅢⅡⅠが有利

次に、 $0 < Q_2 \leq Q_1$ の場合を考える。図7で示した方策①→方策②③Ⅰ→方策③④ⅡⅠのルートに注目すると、【性質1】より方策②③Ⅰはすべての $Q \geq 0$ で方策①か方策③④ⅡⅠよりも不利になる。したがって、次のことがいえる。

【判別式7】

図6において $0 < Q_2 \leq Q_1$ の場合

方策②③Ⅰは無資格方策になる

したがって、 $0 < Q_2 \leq Q_1$ の場合は、図7で方策②③Ⅰが排除され、方策①と段階ⅠとⅡの内製化を一度に深めた方策③④ⅡⅠ、さらに段階Ⅲに内製化を深めた方策④⑤ⅢⅡⅠ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8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。また、このときの並列の段階ⅡからⅢでの分岐点は、 $0 < Q_2 \leq Q_3 \leq \dots \leq Q_n$ に並んでいるとする。

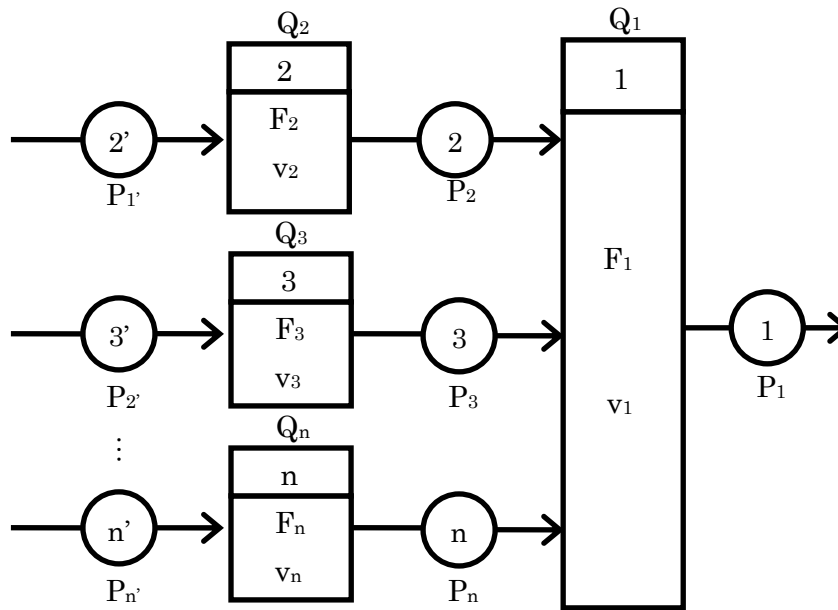


図8で方策②③⋯⑩から並列の段階に内製化を深める2段階の問題を考えたとき、2個の並列段階の問題の結果より、分岐点が小さい順に段階②, ③, ⋯, ⑩の順序で内製化を深めた方策が順に有利になる。

このことから、段階②, ③での分岐点 Q_1, Q_2 の大小関係が、 $0 < Q_1 < Q_2$ の場合は、段階②, ③, ⋯, ⑩の順に内製化を深めた方策が順に有利になる。以上のことから次の結果を得ることができる。

【判別式 8】

図8において $0 < Q_1 < Q_2 \leq Q_3 \leq \dots \leq Q_n$ の場合

- $Q \leq Q_1 \rightarrow$ 方策①が有利
- $Q_1 < Q \leq Q_2 \rightarrow$ 方策②③⋯⑩が有利
- $Q_2 < Q \leq Q_3 \rightarrow$ 方策②③⋯②⑩が有利
- ⋮
- $Q > Q_n \rightarrow$ 方策②③⋯⑩⋯②⑩が有利

$0 < Q_2 \leq Q_1$ の場合は、前述の2個の並列問題の結果より、方策②③⋯⑩が無資格方策となり、段階②と③は一度に2段階内製化が深まることになる。

2.6. 無資格方策の排除による製造段階図の変形

これまでの結果から、一般の多段階の製造段階図が与えられた問題において、正の分岐点の下流（右側）から上流（左側）に向けて小さい順に並んでいけば、生産量 Q の範囲に応じて、分岐点の小さい段階から順に内製化を深めた方策が順に有利になることがわかる。

問題になるのは、各段階での分岐点が正でない場合と、正の分岐点の下流から上流に向けて小さい順に並んでいない場合である。これらの場合には比較する方策のなかに無資格方策が存在する。

無資格方策が存在する場合には、これらの無資格方策を比較する方策の集まりから排除して、製造段階図を変形することができる。無資格方策を排除して最終的に得られた製造段階図では、正の分岐点の下流から上流に向けて小さい順に並ぶことになる。

多段階の製造段階図で与えられる問題のなかには、任意の中間製品の丸印から最上流にまで内製段階をさかのぼって得られるより小さな部分問題が含まれており、その部分問題図を取り出すことができる。最小の部分問題図は、製造段階図の最上流の左端の四角形とその四角形の右側に付く丸印からなる1段階の部分問題図で示される。

このことにより、全体の製造段階図を無資格方策が排除された図に変形するためには、最小の部分問題図から出発して、部分問題図を下流（右側）の内製段階に拡大しながら、それぞれの部分問題図を無資格方策が排除された図に変形していく必要がある。

2.7. 最小の部分問題図の変形

最小の部分問題図で、無資格方策を排除して図がどのように変形されるかを見ていくことにする。

図9は最小の部分問題図を含む一般的な製造段階図の一部を取り出したものである。ここで、最上流の内製段階での分岐点が正でない場合が問題となってくる。

図9の中間製品②と内製段階図からなる最小の部分問題図に着目してみる。段階図の分岐点 Q_2 は次式で与えられる。

$$Q_2 = \frac{F_2}{P_2 - v_2} \quad \dots (10)$$

この分岐点 Q_2 が正でないときには、【判別式2】より P_2 と v_2 の大小関係によって、次式に示すように段階図を内製する方策②または中間製品②を外部調達する方策②のいずれか一方が無資格方策になる。

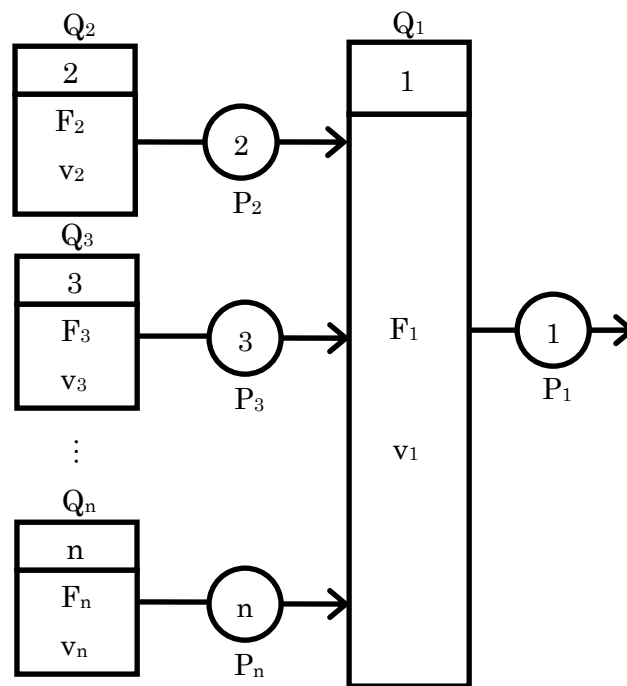


図9 最小の部分問題図を含む製造段階図

図9において Q_2 が正でない場合：

- (a) $P_2 \leq v_2 \Rightarrow$ 方策②は無資格方策 ... (11)
- (b) $P_2 > v_2 \Rightarrow$ 方策②は無資格方策

(a) $P_2 \leq v_2$ の場合

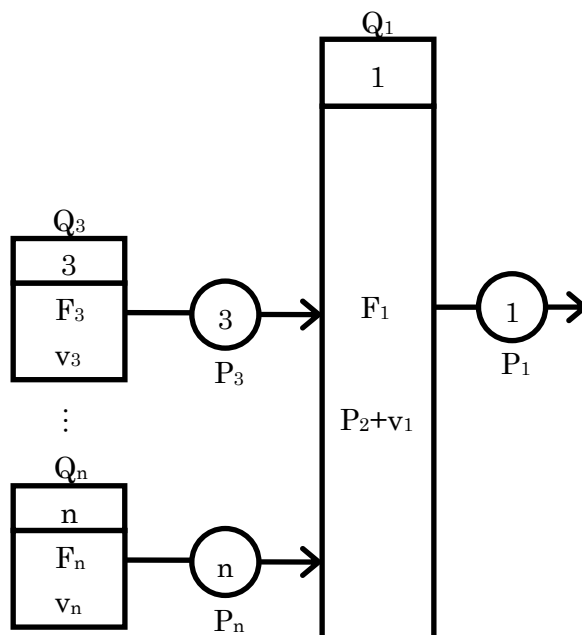
方策②が無資格であるから、製造段階図は②を消去した図に変形される。すると、中間製品②は必ず外部調達されることになるので、外部調達単価 P_2 を①の変動費単価 v_1 に足しこみ $P_2 + v_1$ とした上で、②を消去した図 10 の(a)に変形することができる。ここで変動費単価が $P_2 + v_1$ になった段階①での分岐点は Q_1 のままである。

(b) $P_2 > v_2$ の場合

方策②が無資格であり、段階①と②は一度に2段階内製化が深められる。したがって、製造段階図から②を消去し段階①と②を段階 $\boxed{1,2}$ に合体した図 10 の(b)に変形することができる。ここで、合体した段階 $\boxed{1,2}$ の分岐点 $Q_{1,2}$ は次式のようにになる。

$$Q_{1,2} = \frac{F_1 + F_2}{P_1 - \sum_{i=3}^n P_i - (v_1 + v_2)} \quad \dots (12)$$

上記の式 (11) の条件(a)のもとでの分岐点 Q_1 もしくは条件(b)のもとでの分岐点 $Q_{1,2}$ は必ずしも正でない。しかし、分岐点が正でない最小の部分問題図に分岐点が正になるまでこの操作を繰り返し適用することにより、最上流の内製段階の分岐点がすべて正になっている製造段階図に変形することができる。



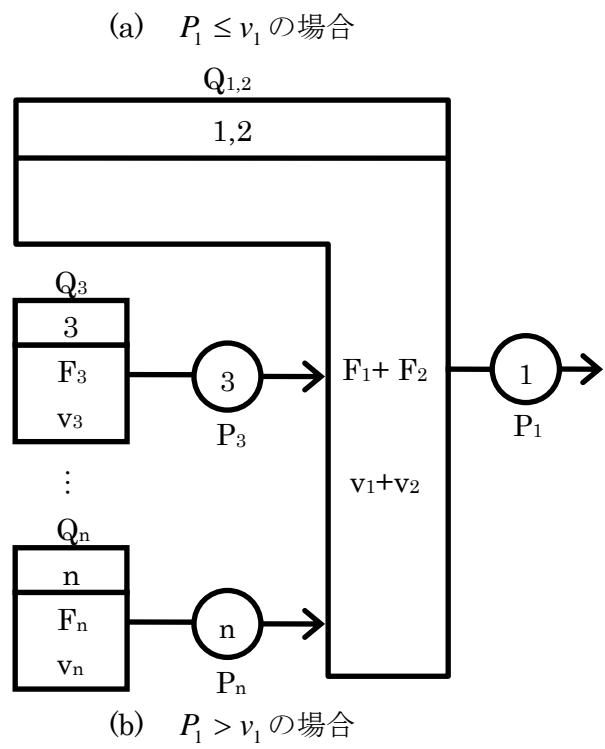


図 1 0 最小の部分問題図の変形

2.8. 部分問題の拡大による製造段階図の変形

最小の部分問題図からさらに内製段階を 1 段階ずつ下って部分問題図を拡大することを考えてみる.

最上流以外の段階を下流に 1 段階拡大したときの一般的な部分問題図として, 図 1 1 で

段階②に部分問題を拡大してつくられる部分問題図を考えてみる。

図 1 1 の製造段階図は次の前提条件を満たしている。

前提： 1] $0 < Q_{m+1} \leq Q_{m+2} \leq \dots \leq Q_n$

2] 段階 $\boxed{m+1}$, $\boxed{m+2}$, \dots , \boxed{n} の各々について、それより上流の範囲での部分問題図では、下流から上流に向け正の分岐点が小さい順に並んでいる。

ここで問題となるのは、1) Q_2 が正でない場合と、2) Q_2 は正だが $0 < Q_{m+1} \leq Q_2$ になる場合である。

1) 図 1 1 において Q_2 が正でない場合

【判別式 2】より、次式に示すように方策②か方策 $\boxed{m+1}$ $\boxed{m+2}$ \dots \boxed{n} のどちらかが無資格方策になる。

$$(a) \quad P_2 \leq \sum_{i=m+1}^n P_i + v_2 \quad \text{のとき}$$

\Rightarrow $\boxed{m+1}$ $\boxed{m+2}$ \dots \boxed{n} は無資格方策

方策 $\boxed{m+1}$ $\boxed{m+2}$ \dots \boxed{n} は無資格方策であり、2. 5 より、並列の段階 $\boxed{m+1}$, $\boxed{m+2}$, \dots , \boxed{n} は分岐点の小さい順に内製化を深めた方策が有利になるから、段階②と $\boxed{m+1}$ は一度に 2 段階内製化される。したがって、製造段階図は $\boxed{m+1}$ を消去して段階②と $\boxed{m+1}$ を結合した段階 $\boxed{2,m+1}$ にした図 1 2 の(a)に変形される。また結合した分岐点 $Q_{2,m+1}$ は次式のようなになる。

$$Q_{2,m+1} = \frac{F_2 + F_{m+1}}{P_2 - (P_{m+1} + \sum_{i=m+2}^n P_i) - (v_2 + v_{m+1})} \quad \dots (13)$$

$$(b) \quad P_2 > \sum_{i=m+1}^n P_i + v_2 \quad \text{のとき}$$

\Rightarrow 方策②は無資格方策

方策②が無資格方策であり、段階③と②は一度に 2 段階内製化が深められる。したがっ

$\boxed{1,2}$

$\boxed{1,2}$

て、製造段階図は②を消去して段階①と②を段階 に結合した図 1 2 の(b)に変形される。このとき、段階 での分岐点 $Q_{1,2}$ は次式のようになる。

$$Q_{1,2} = \frac{F_1 + F_2}{P_1 - \sum_{i=3}^n P_i - (v_1 + v_2)} \quad \dots (14)$$

2) 図 1 1 において Q_2 は正だが $0 < Q_{m+1} \leq Q_2$ になる場合。

2. 5 と同じ考えを適用することができ、方策 $\boxed{m+1}$ $\boxed{m+2}$ \dots \textcircled{m} は無資格方策になる。したがって、段階②と $\boxed{m+1}$ が結合された図 1 2 の(a)に変形される。このとき、段階 $\boxed{2,m+1}$ の分岐点 $Q_{2,m+1}$ は次の条件を満たすものとする。

$$Q_{m+1} \leq Q_{2,m+1} \leq Q_2 \quad \dots (15)$$

以上の操作を部分問題図を下流に拡大しながら繰り返し適用することにより、すべての分岐点が正で下流に向け小さい順に並んだ製造段階図に最終的に変形することができる。

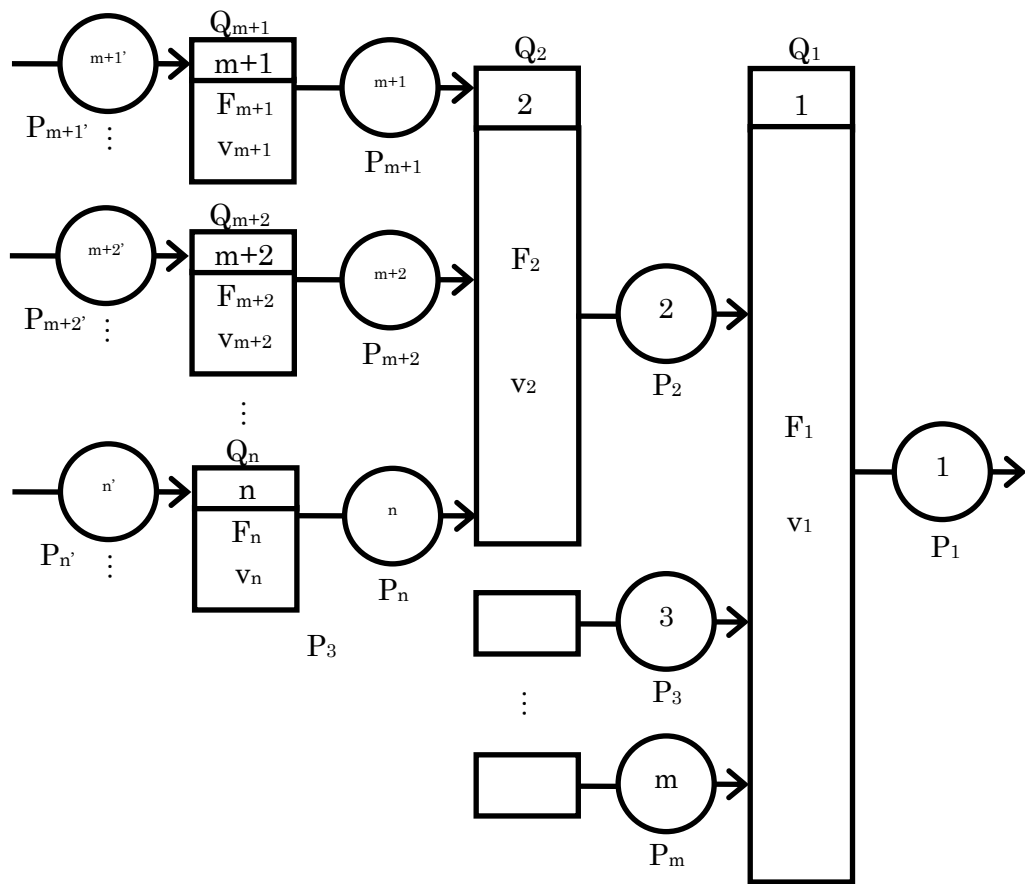


図 1 1 内製段階を下流に拡大した部分問題図

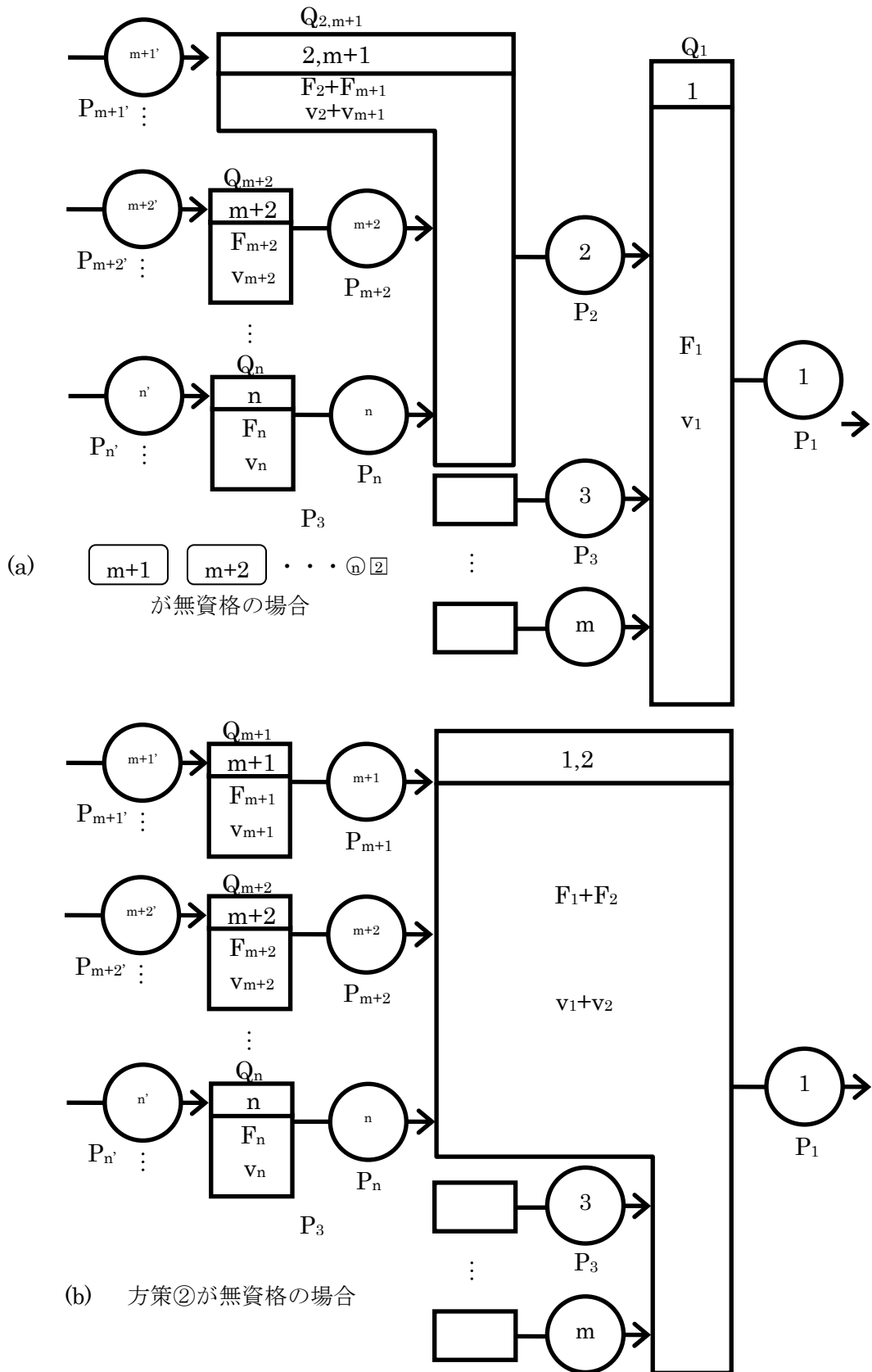


図 1 2 部分問題図を拡大していくなかでの製造段階図の変形

3. シミュレータ

本研究では前述した判別式を用いて、多段階の製造過程のなかで、計画期間 T での固定費と変動費からなる製造コストを最小にする外部調達と内製の区切りを見出すシミュレータを開発した。本章はまず、シミュレータの概要と実行フローを示し、次に完成したシミュレータの実行画面、実行結果の出力を示し、最後に数値例を用いてシミュレーションが多段階の問題の解法していく様子を、段階を追いながら説明していく。

3.1. シミュレータ概要

本研究で開発したシミュレータは「Microsoft Windows XP SP2」に提供されている「Microsoft Visual Basic for Application」を用いて開発した。開発したシミュレータは図13のようなフローで実行される。

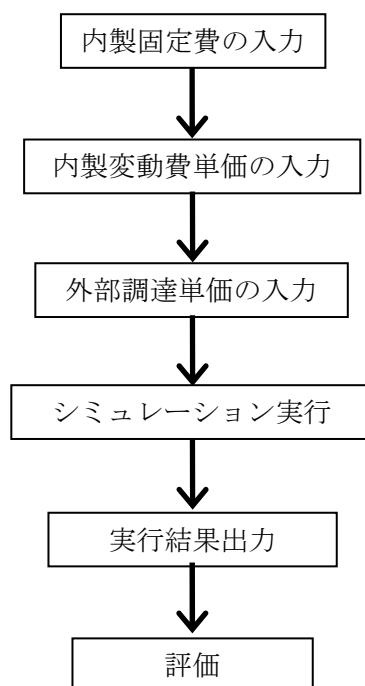


図13 シミュレーション実行フロー

3.2. シミュレータの実行表示

図14-1にシミュレータの実行画面（実行前）を示す。

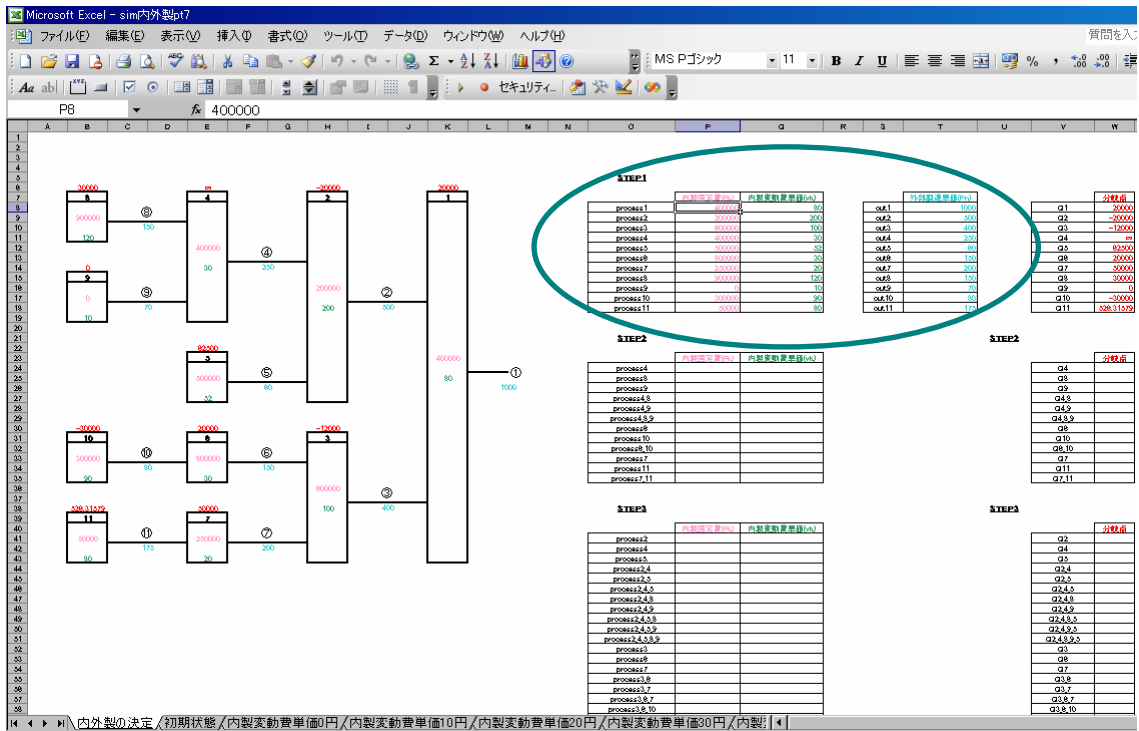


図14-1 シミュレータの実行画面（実行前）

図14-1において円で表示されている部分には、内製段階における固定費、内製変動費単価と外部調達における外部調達単価をそれぞれ入力できるようになっている。入力完了したらシミュレーションを実行する。実行後の画面を図14-2に示す。

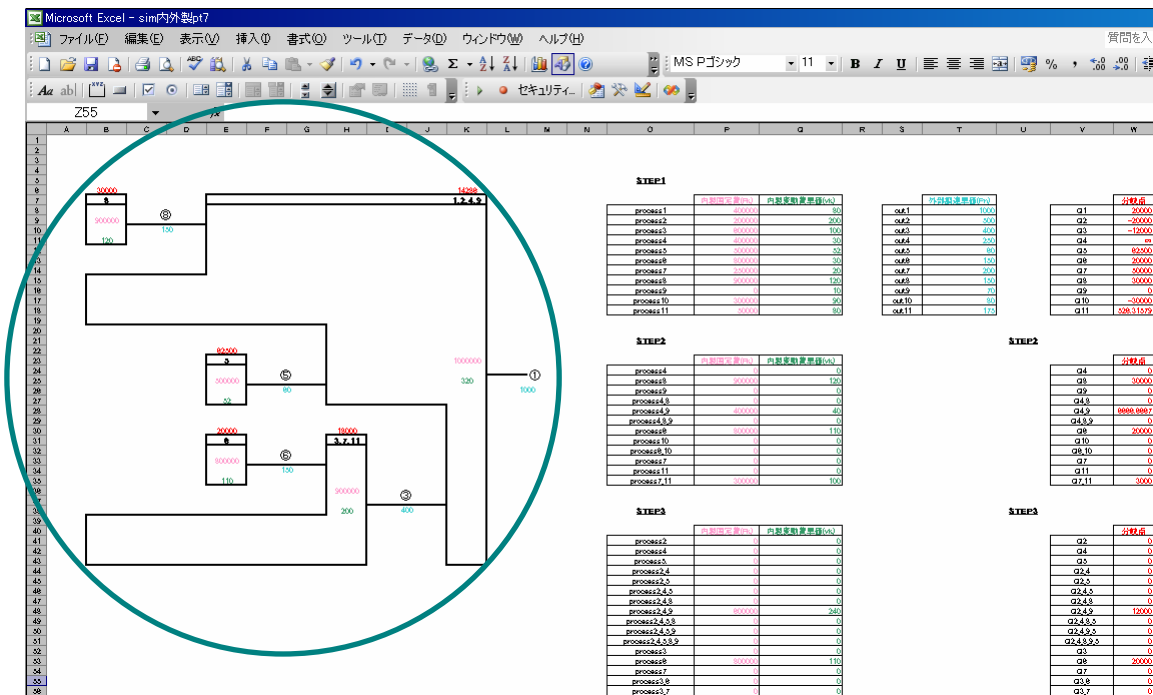


図 1 4 - 2 シミュレータの実行画面（実行後）

ここで、実行後の画面において円で表示されている部分に注目してみると、無資格方策が排除された形に製造段階図が変形されていることがわかる。さらに、それぞれの段階の上には分岐点の生産量が表示されており、この製造工程における生産量の変動に応じて最適方策がどのように変化していくのかが視覚的にわかるようになっている。

3.3. シミュレーションを用いた多段階の問題の解法

ここでは、図14-1に示した数値例を用いてシミュレーションがどのように実行されているのか段階を追って説明をすることにする。図14-1において与えられている内製固定費、内製変動費単価、外部調達単価は表3に、シミュレーション実行前の製造段階図の初期状態を図15-1にそれぞれ示す。

表3 図14-1において与えられた内製固定費、内製変動費単価、外部調達単価

	内製固定費(Fk)	内製変動費単価(vk)		外部調達単価(Pk)
process1	400000	80	out1	1000
process2	200000	200	out2	500
process3	600000	100	out3	400
process4	400000	30	out4	250
process5	500000	52	out5	60
process6	800000	30	out6	150
process7	250000	20	out7	200
process8	900000	120	out8	150
process9	0	10	out9	70
process10	300000	90	out10	80
process11	50000	80	out11	175

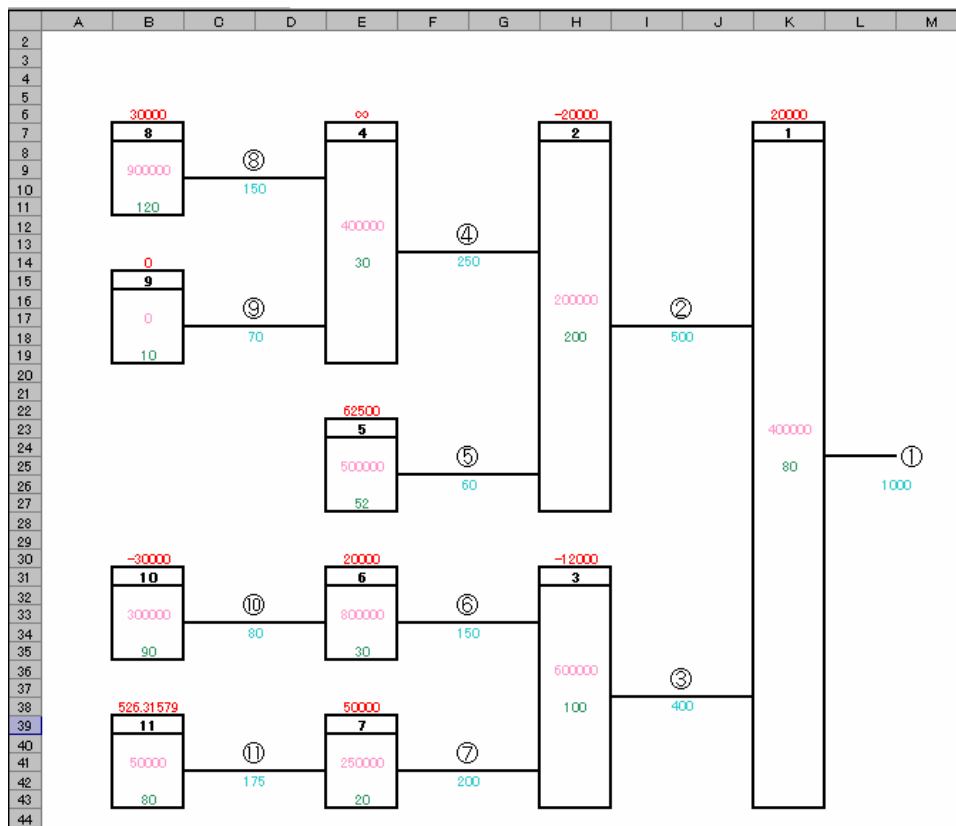


図15-1 製造段階図の初期状態

- 1) 図15-1をしてみると、各段階（各四角）の上に各段階での内製化の分岐点が表示されている。例えば、段階④での分岐点 Q_1 は次のように計算されている。

$$Q_1 = \frac{400000}{1000 - (500 + 400 + 80)} = 20000$$

同様に、各段階の内製化の分岐点も計算され各段階の上に表示されている。

- 2) 次に図15-1で最小の部分問題図に着目する。 $Q_9 = 0$ かつ $P_9 > v_9$ より段階④と⑨を合体し段階 $\boxed{4,9}$ とする。段階 $\boxed{4,9}$ の分岐点を再計算すると $Q_{4,9} = 6667$ となる。また、 $Q_{10} < 0$ かつ $P_{10} < v_{10}$ より、⑩の変動費単価を $v_6 + P_{10}$ とした上で、段階⑩と外部調達⑩を消去した図に変形され、図15-2のようになる。

- 3) 図15-2で最小の部分問題図を1段階にだけ下流に拡大した部分問題図に着目する。 $0 < Q_{11} < Q_7$ より段階⑦と⑪を結合した図15-3に変形する。結合された段階 $\boxed{7,11}$ の分岐点は $Q_{7,11} = 3000$ となる。

- 4) 図15-3で部分問題図をさらに下流に1段階拡大する。 $Q_{4,9} \leq Q_5$ のもとで、 $Q_2 < 0$ かつ $P_2 < P_4 + P_5 + v_2$ より段階②と $\boxed{4,9}$ を結合した図に変形する。結合した段階の分岐点は $Q_{2,4,9} = 12000$ となる。この様子を図15-4示す。

- 5) さらにここで、 $Q_{7,11} < Q_6$ のもとで $Q_3 < 0$ かつ、 $P_3 < P_6 + P_7 + v_3$ であるから段階③と段階 $\boxed{7,11}$ を結合した図に変形される。結合した段階の分岐点は $Q_{3,7,11} = 18000$ となる。この様子を図15-5に示す。

- 6) 図15-5で部分問題図をさらに1段階下流に拡大し、もっとも完成品に近い右側の段階に着目する。 $Q_{2,4,9} < Q_{3,7,11}$ のもとで、 $0 < Q_{2,4,9} < Q_1$ より、段階①と $\boxed{2,4,9}$ を結合した図15-6に変形する。ここで、結合した段階の分岐点は $Q_{1,2,4,9} = 14286$ となる。以上の操作より、完成品より上流に向けて分岐点 Q_i が小さい順に並んでいることが確認できる。これによって、生産量 Q の範囲に応じた最適方策のリストである表4と製造段階図（図16）を取得することができる。

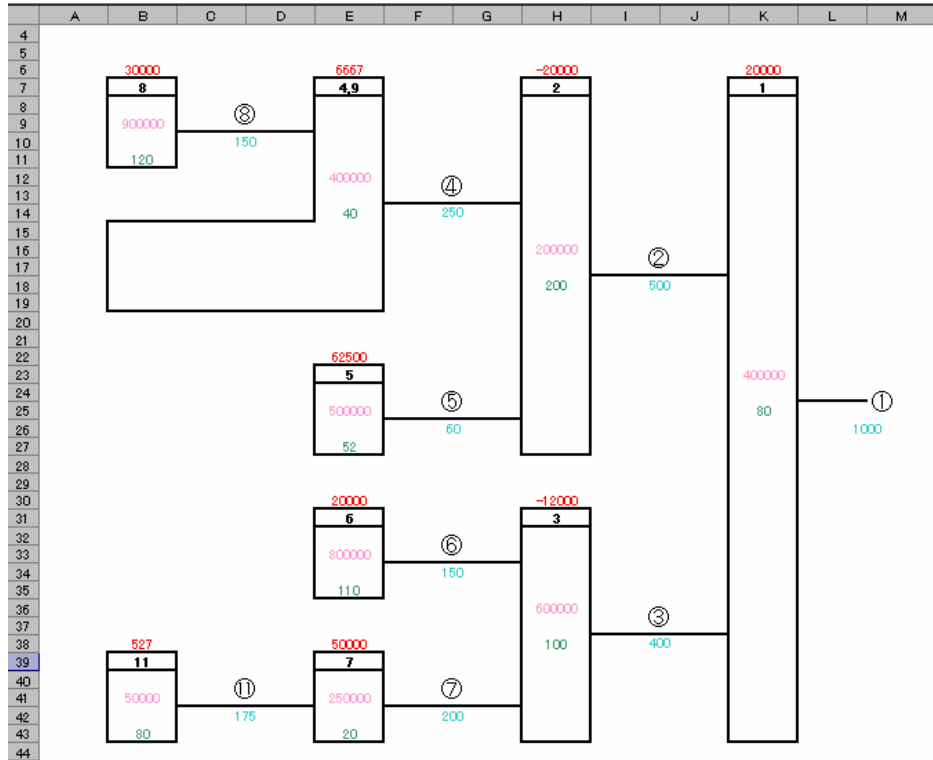


図 1 5 - 2 最小段階図の変形 1

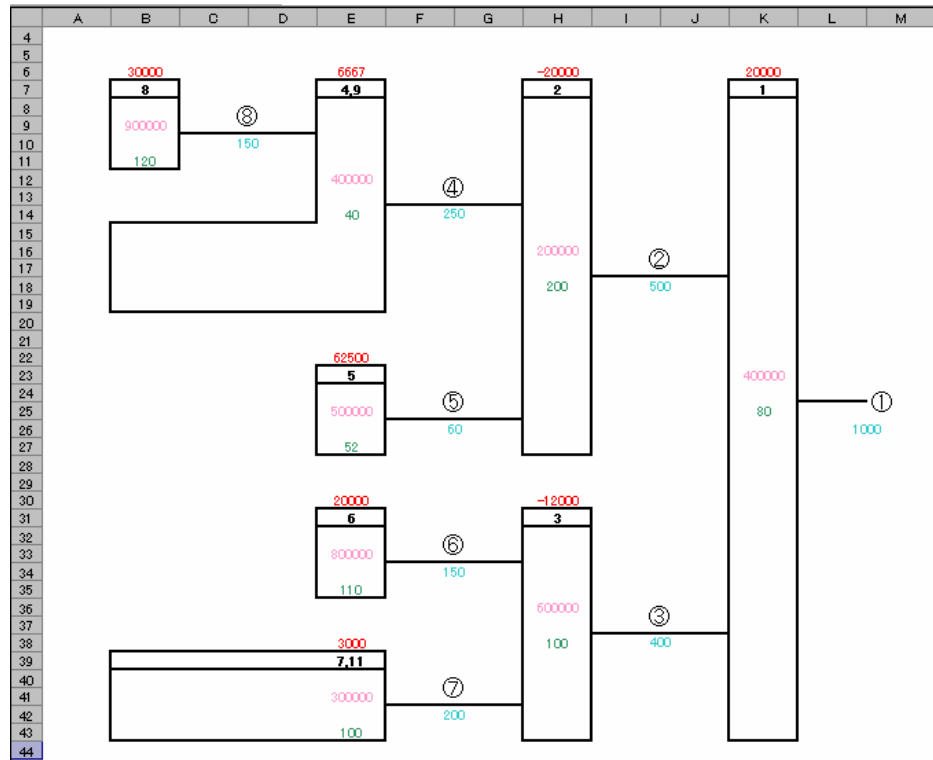


図 1 5 - 3 最小段階図の変形 2

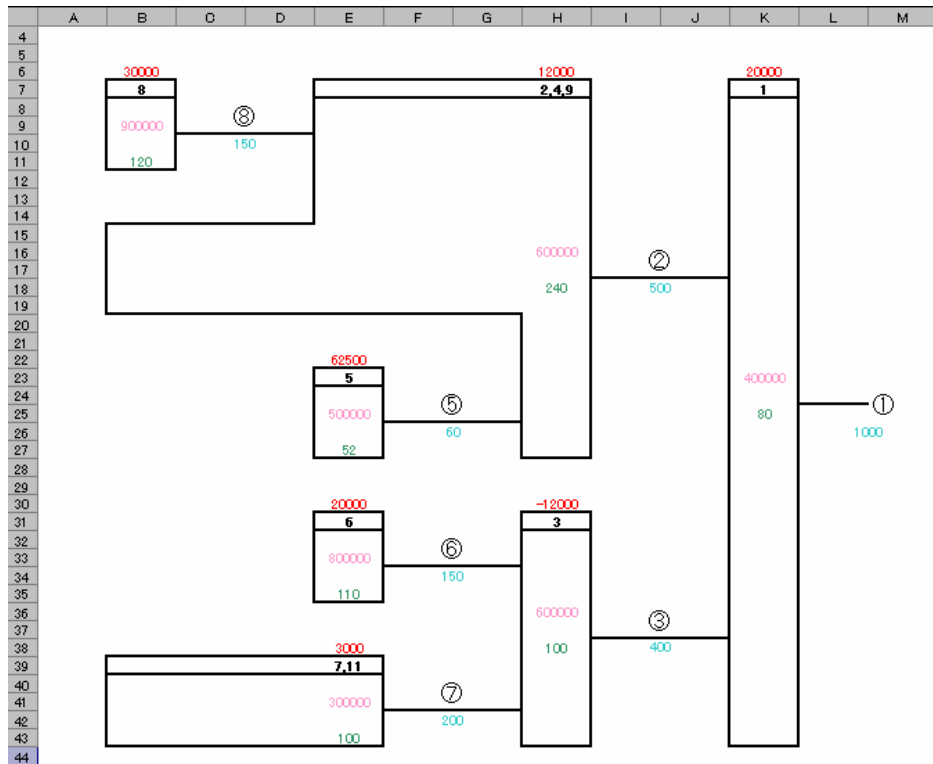


図 1 5 - 4 最小段階図の変形 3

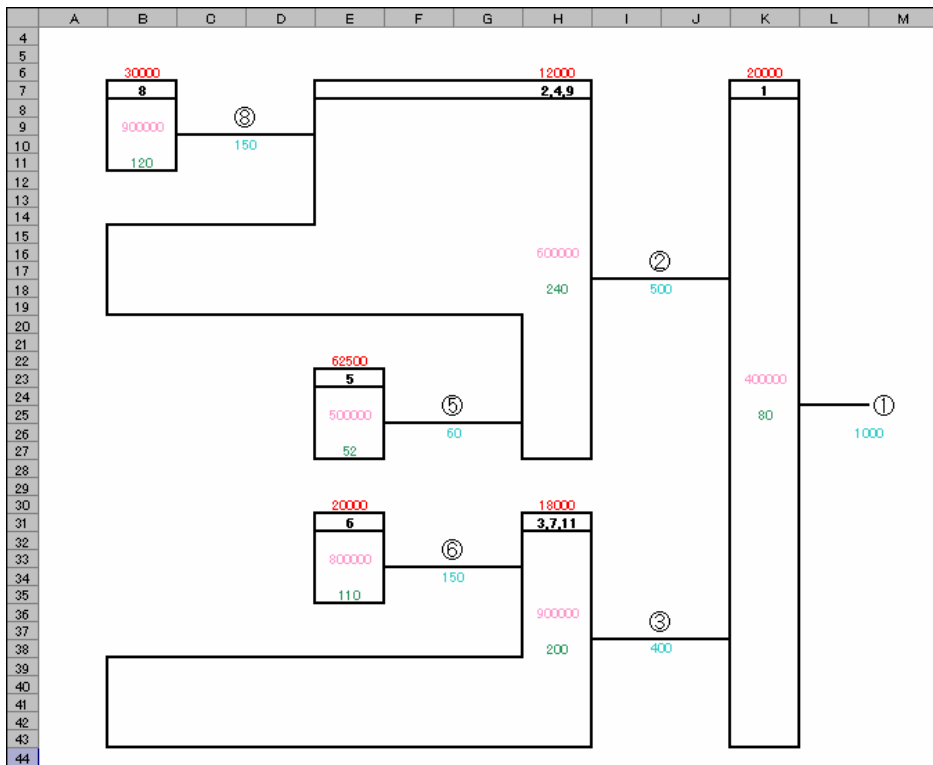


図 1 5 - 5 最小段階図の変形 4

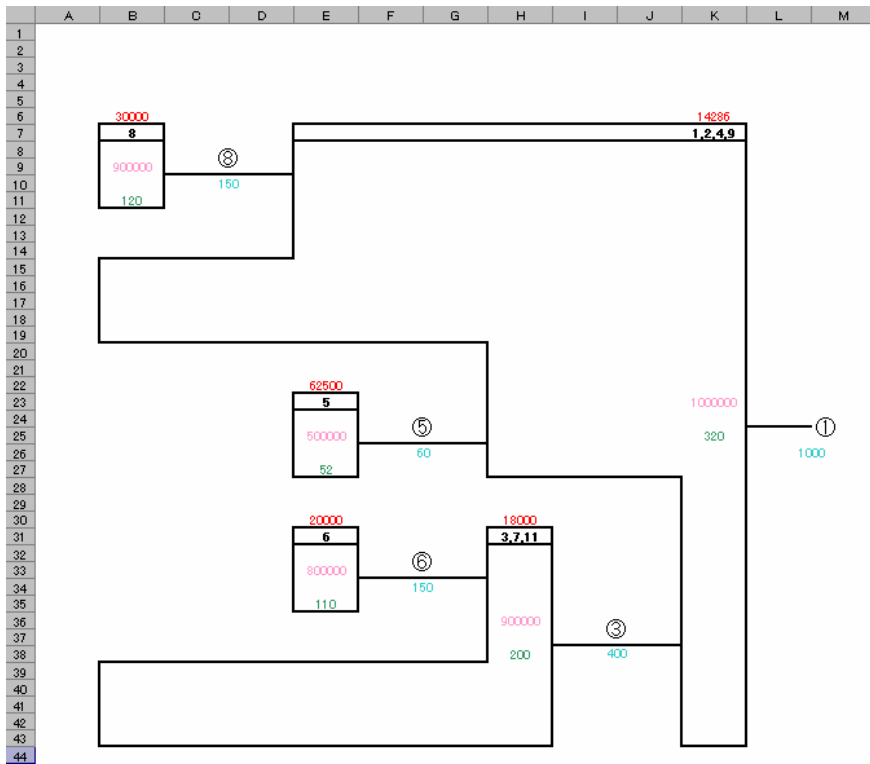


図 1 5 - 6 最小段階図の変形 5

表 4 生産量の範囲に応じた最適方策

生産量 Q	内製化を深める段階	最適方策
0 → 14285	なし	①
14286 → 18000	①, ②, ④, ⑨	③⑤⑧⑨④②①
18000 → 20000	③, ⑦, ⑪	⑤⑥⑧⑪⑨⑦④③②①
20000 → 30000	⑥	⑤⑧⑪⑨⑦⑥④③②①
30000 → 62500	⑧	⑤⑪⑨⑧⑦⑥④③②①
62500 → ∞	⑤	⑪⑨⑧⑦⑥⑤④③②①

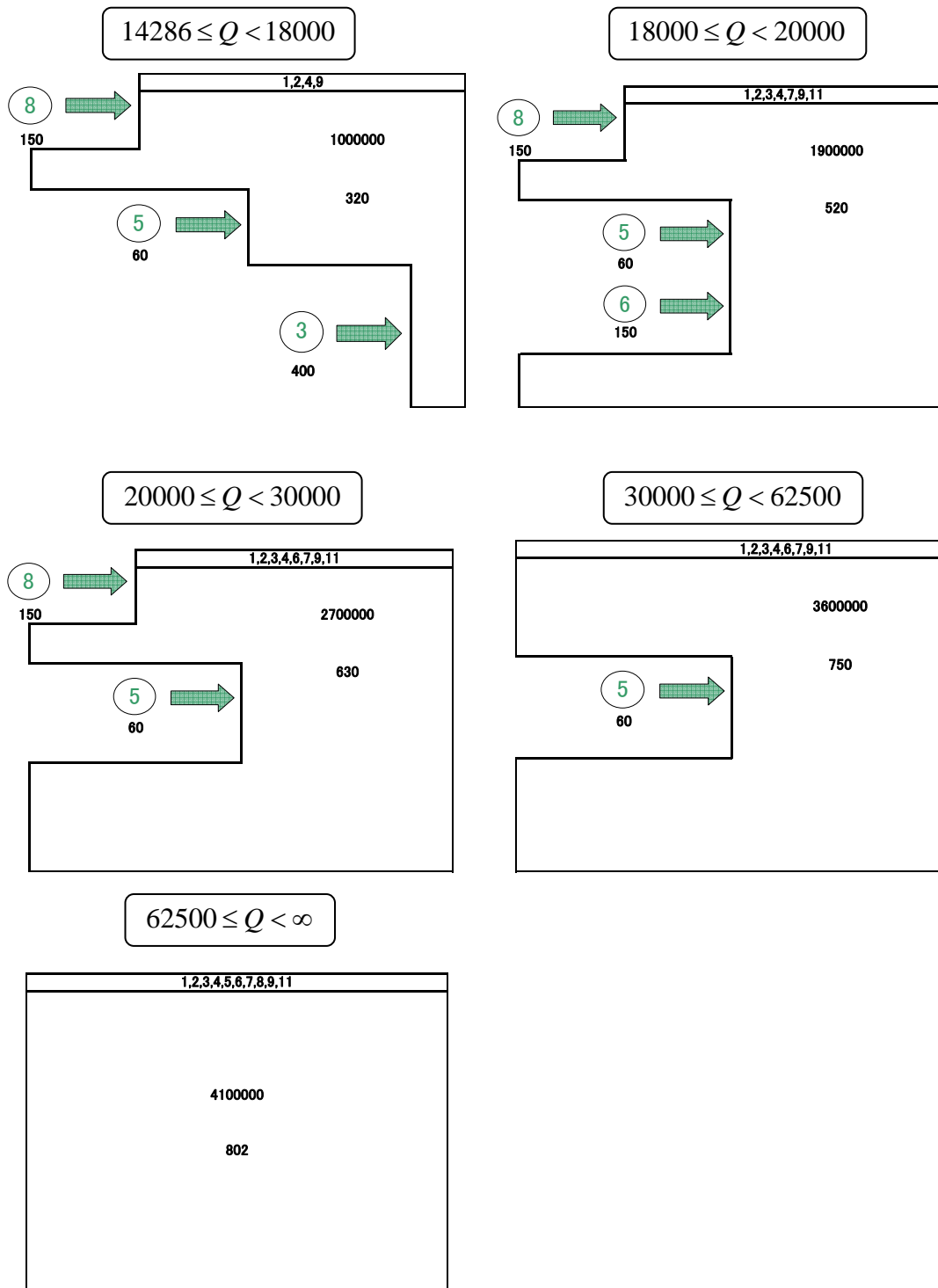


図 1 6 生産量 Q に応じた製造段階図の変化

以上のように、本研究で開発したシミュレータは多段階の製造過程のなかで、計画期間 T での固定費と変動費からなる製造コストを最小にする外部調達と内製の区切りを見出すことができる。また、ある生産量 Q が与えられたもとの最適方策を知ることができるばかりでなく、それぞれ導き出された方策が最適となる生産量の範囲を知ることができるようになっている。これは、生産量に見込み違いが生じた場合や、中間製品の値段に変更が生じた場合などの情報が不確実な状況下での意思決定を助ける分析を行うことが可能である。

4. 数値実験

本章では、開発したシミュレータを用いて内製段階で発生する費用の変動が最適解にどのような影響を与えるのかを分析するために数値実験を行う。

4.1. 実験環境

本シミュレータは以下のような環境で実験を行った。

- Microsoft Windows XP Professional SP2
- Microsoft Office Excel 2003

4.2. 実験対象モデル

本実験では図 1 7 に示すように、対象モデルを製造段階数が 1 1 個であるものとする。前提条件を下記に示す。

- 9) 最終製品が完成するまでの製造段階を原材料側（上流）へさかのぼってみるとき、社内製造と外部調達と共に可能な中間製品と、その内製段階が示されている製造段階図が与えられる。製造段階図では、外部調達が可能である中間製品を丸印で、内製する段階が四角で表されている。そしてそれぞれに、外部調達には外部調達単価 P_i (円)、内製段階には内製固定費 F_i (円)、内製変動費単価 v_i (円) が与えられている。
- 1 0) 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。
- 1 1) 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。各内製段階の方策に用いられる設備や労働力といった資源は他の内製段階で代替が利かないものとする。
- 1 2) 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 段ずつさかのぼって採ることができる内製の四角形の集まりとその左端の四角形に入る丸印の集まりで表される。
- 1 3) 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 Q (個 / T 期) で表す。この量は最終製品の生産量を意味する。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.

- 1 4) 中間製品④と, その内製段階④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④について, 外部調達単価 $P_k \leq 0$ (円/個). 内製段階④について, T 期上での内製固定費 $F_k \geq 0$ (円/ T 期), 内製変動費単価 $v_k = 0$ (円/個).

ここで, T 期上での内製固定費 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④において, 最上流 (左端) 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, それらの丸印は, 同様な考えによりあらかじめ消去してある.

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受けない. 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④上で, 外部調達単価 P_k は中間製品④を示す丸印の下側に, 内製固定費 F_k と内製変動費単価 v_k は内製段階④を示す四角内の上段と下段にそれぞれ示すこととなる.

- 1 5) 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.
1 6) 段階の内製段階の生産能力は十分にある.

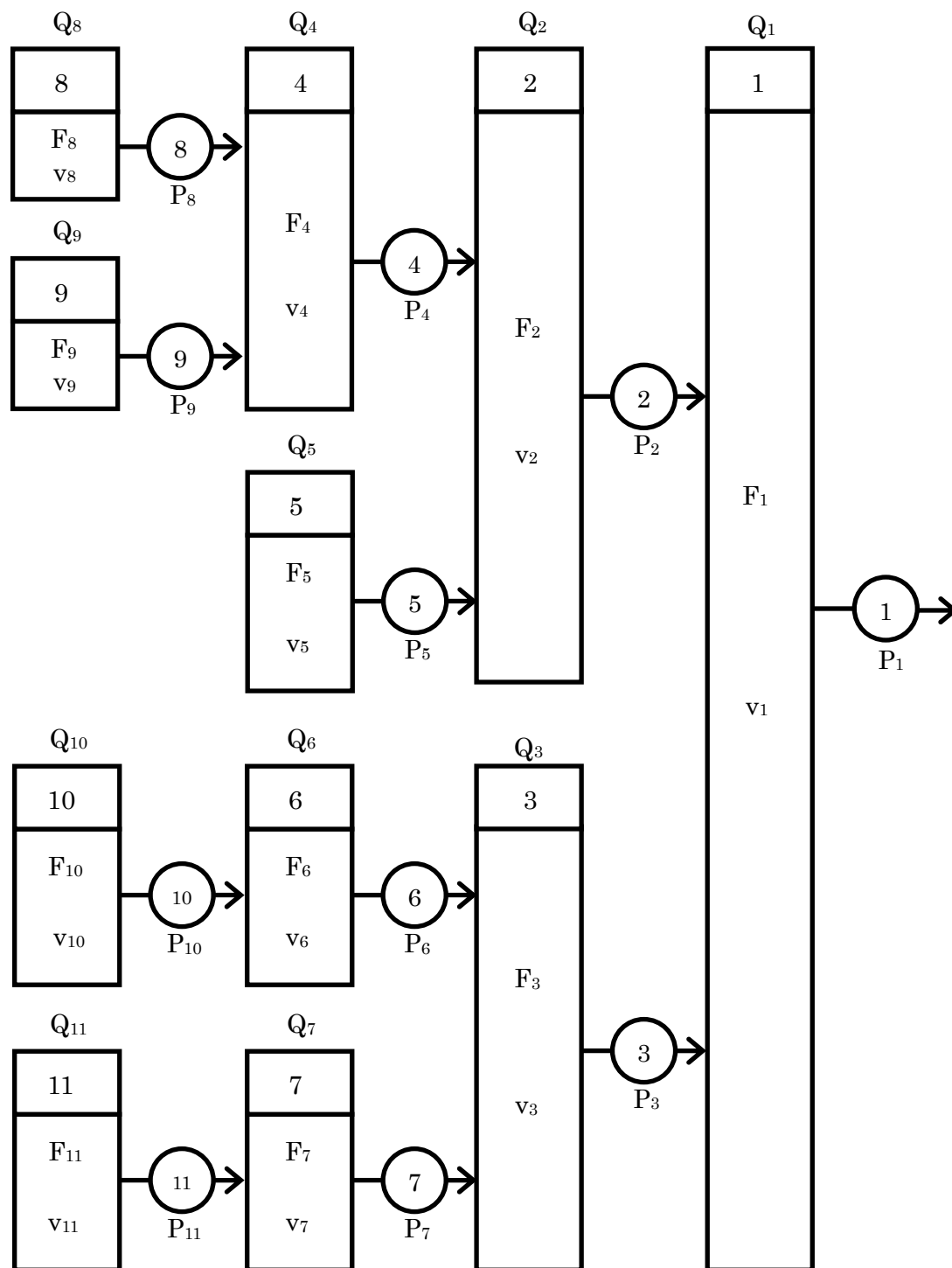


図 1 7 実験対象モデル

4.3. 実験条件

本実験においては，A社という架空のメーカーを想定する．A社は図17で示してある実験対象モデルと同じ製造段階図からなる製品Bを製造しようと考えている．現在，完成品を作り上げるまでには，表5に示してある内製固定費，内製変動費単価，外部調達費用が掛かることがわかっている．しかしながら，段階回においては使用される原材料の都合から，内製変動費単価は10円から70円まで変動が非常に激しいものとなっている．このとき，A社はどのような設備を持つことが最も経済的に有利になるのか，本シミュレータを用いて外部調達と社内製造の最適な区切りを導き出し，内製段階で発生する費用の変動が最適解にどのような影響を与えるのかを分析していく．

表5 実験対象モデルの内製固定費，内製変動費単価，外部調達単価（単位：円）

	内製固定費(Fk)	内製変動費単価(vk)		外部調達単価(Pn)
process1	400000	80	out1	1000
process2	200000	200	out2	500
process3	600000	100	out3	400
process4	400000	30	out4	250
process5	500000	52	out5	60
process6	800000	30	out6	150
process7	250000	20	out7	200
process8	900000	120	out8	150
process9	0	10から70まで変動	out9	70
process10	300000	90	out10	80
process11	50000	80	out11	175

4.5. 実験結果

段階回の内製変動費単価が10円から70円まで変動したときのシミュレーション結果を図18-1から図18-7までにそれぞれ示す．

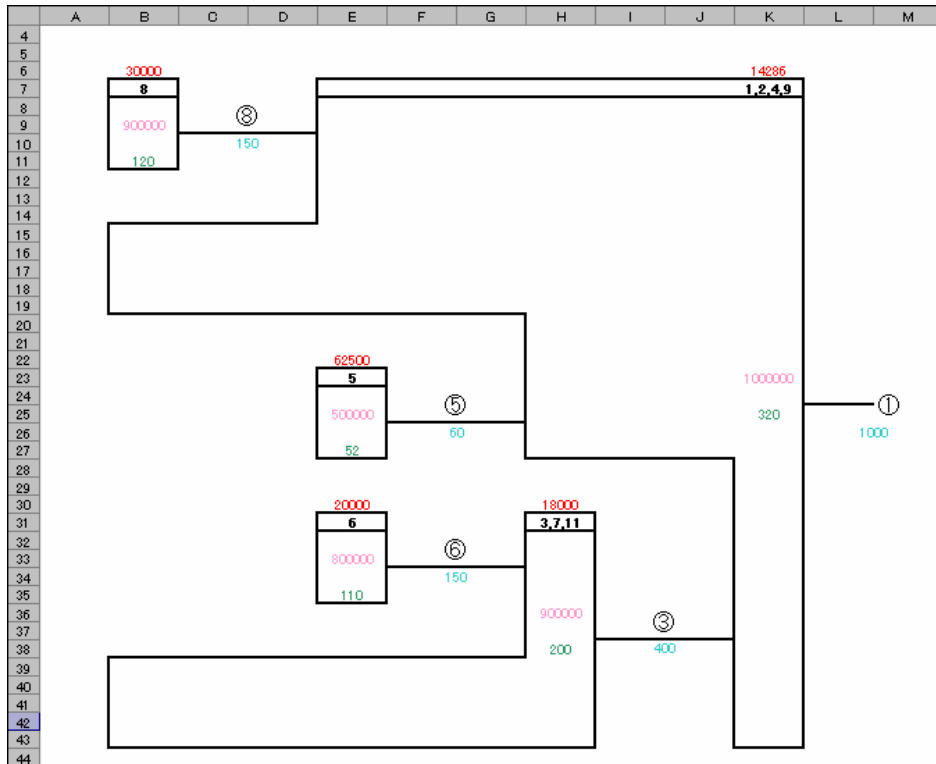


図 18-1 段階⑧の内製変動費単価が 10 円するとき

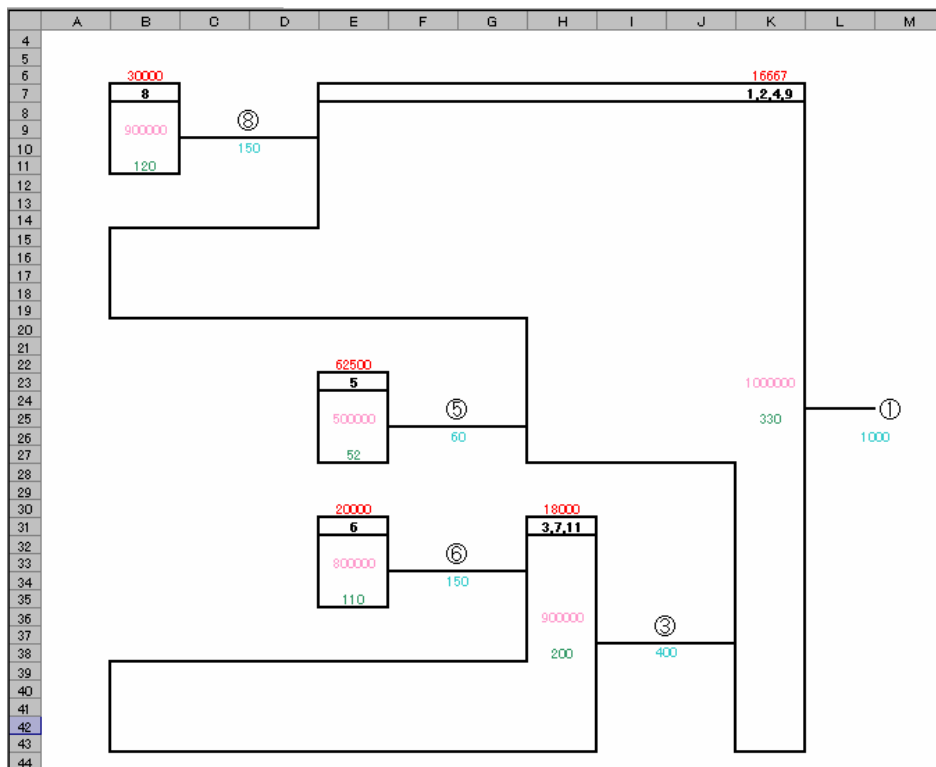


図 18-2 段階⑧の内製変動費単価が 20 円するとき

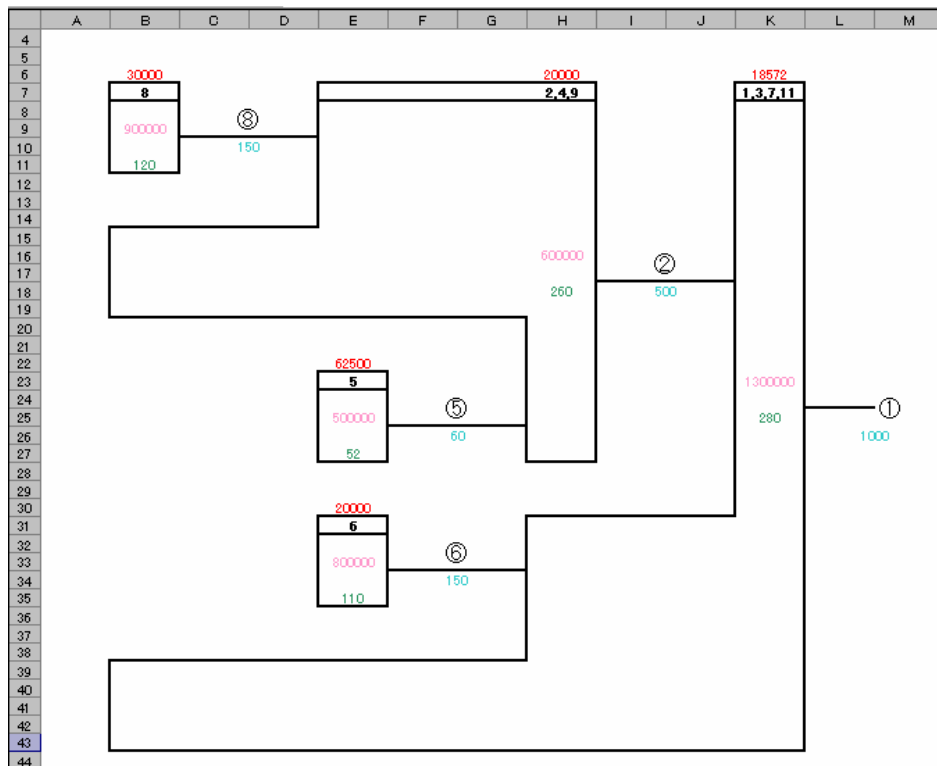


図 18-3 段階④の内製変動費単価が 30 円の時

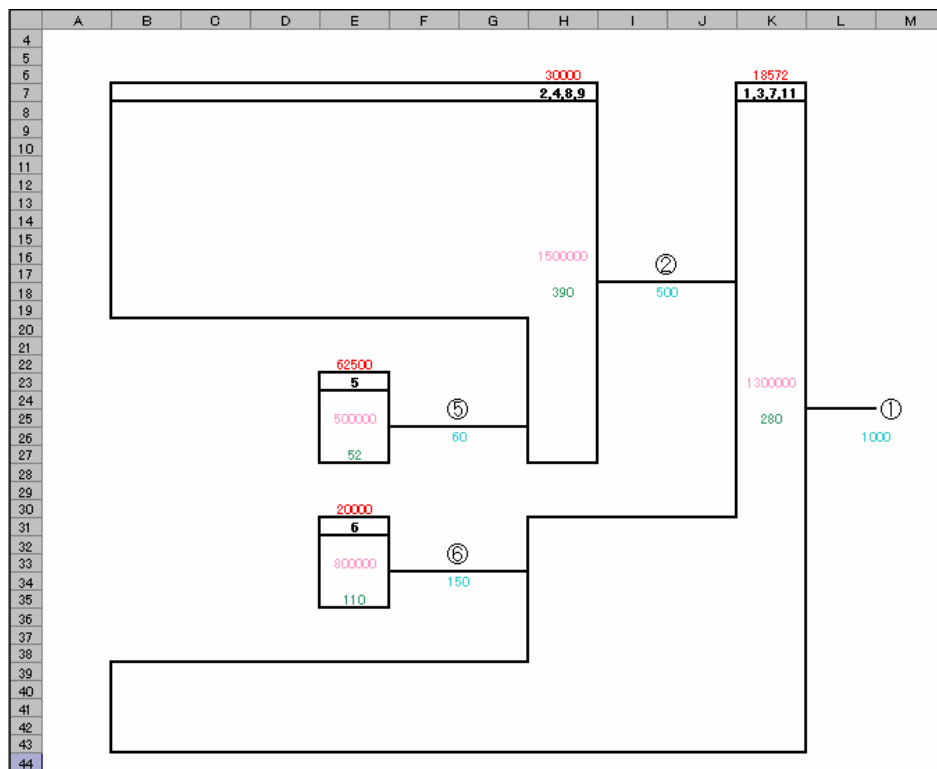


図 18-4 段階④の内製変動費単価が 40 円の時

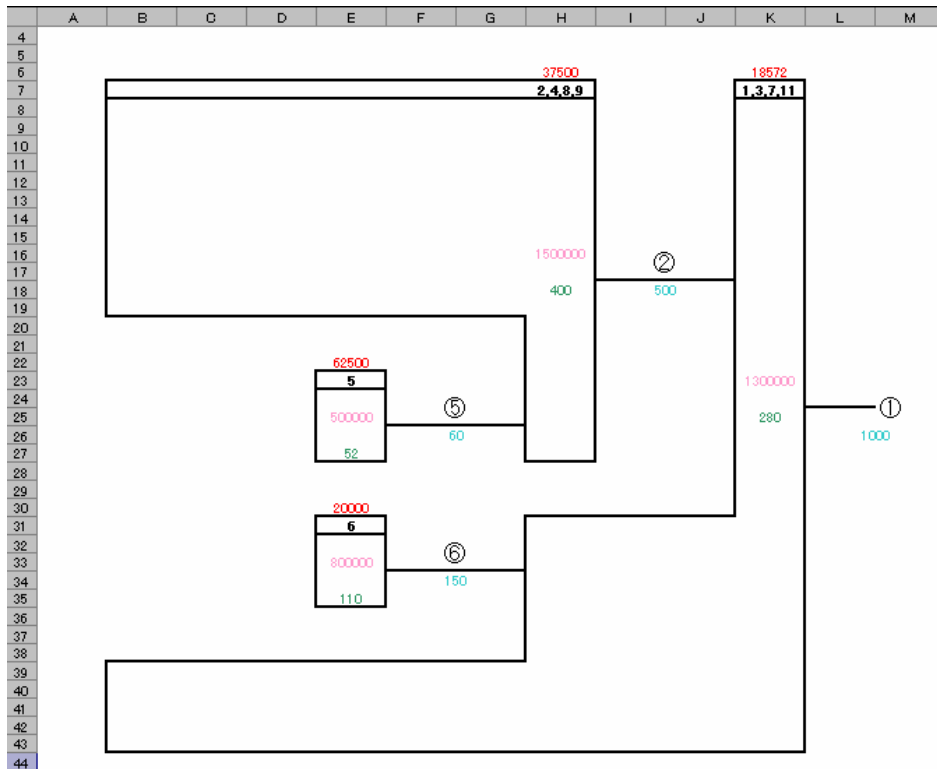


図 18-5 段階④の内製変動費単価が 50 円の時

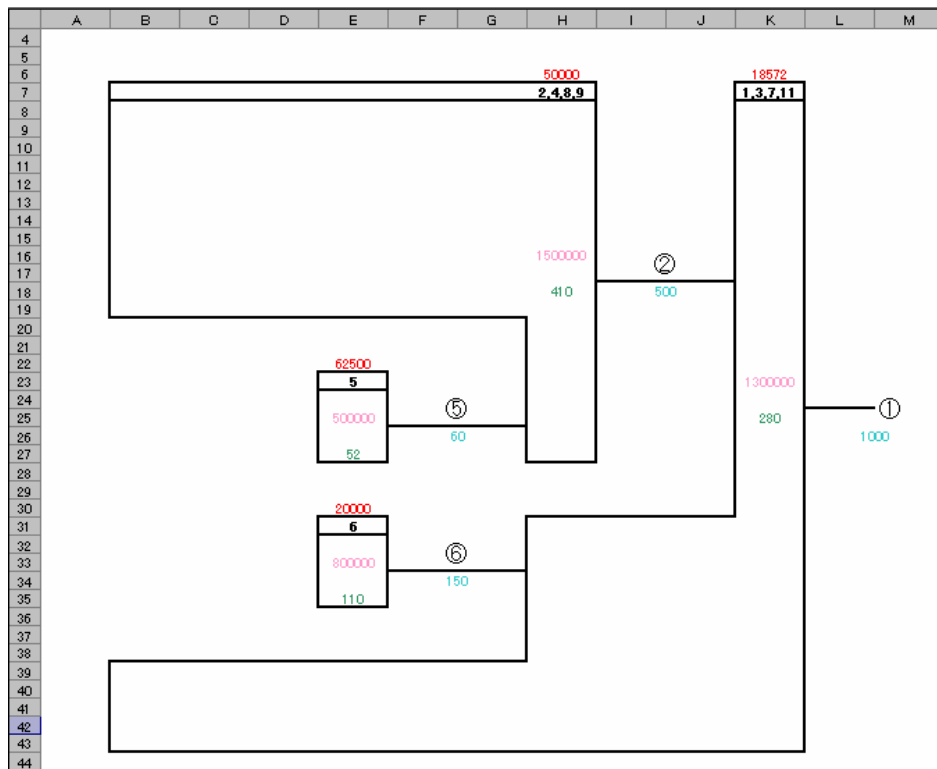


図 18-6 段階④の内製変動費単価が 60 円の時

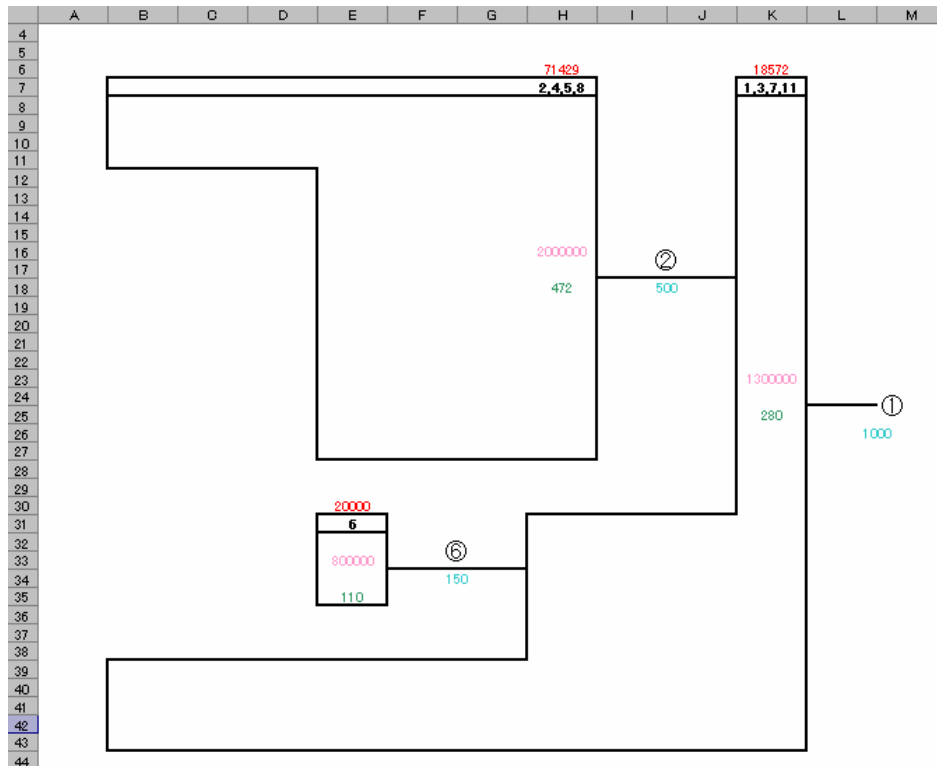
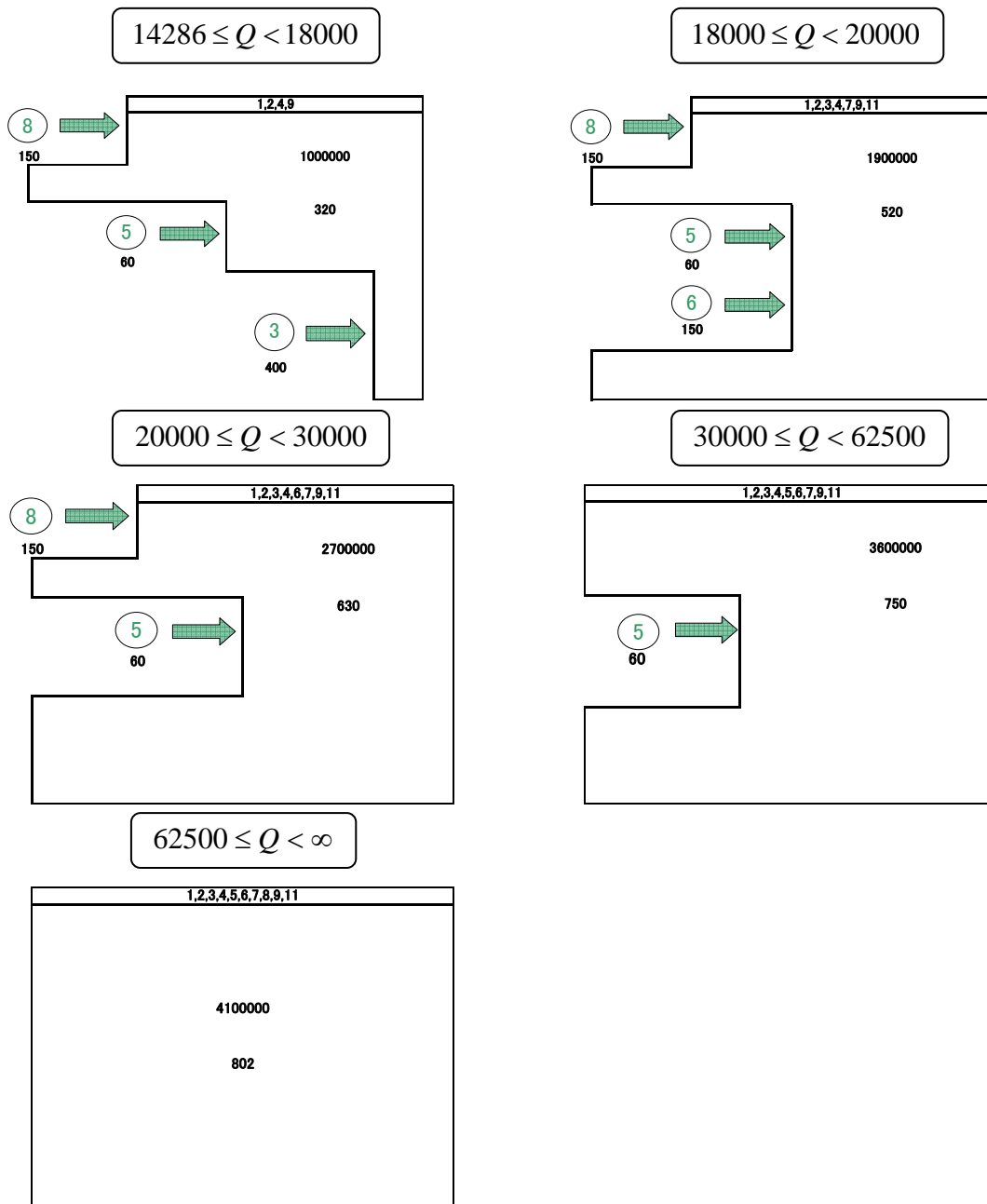


図 1 8 - 7 段階図の内製変動費単価が 70 円のとき

4.5. 考察

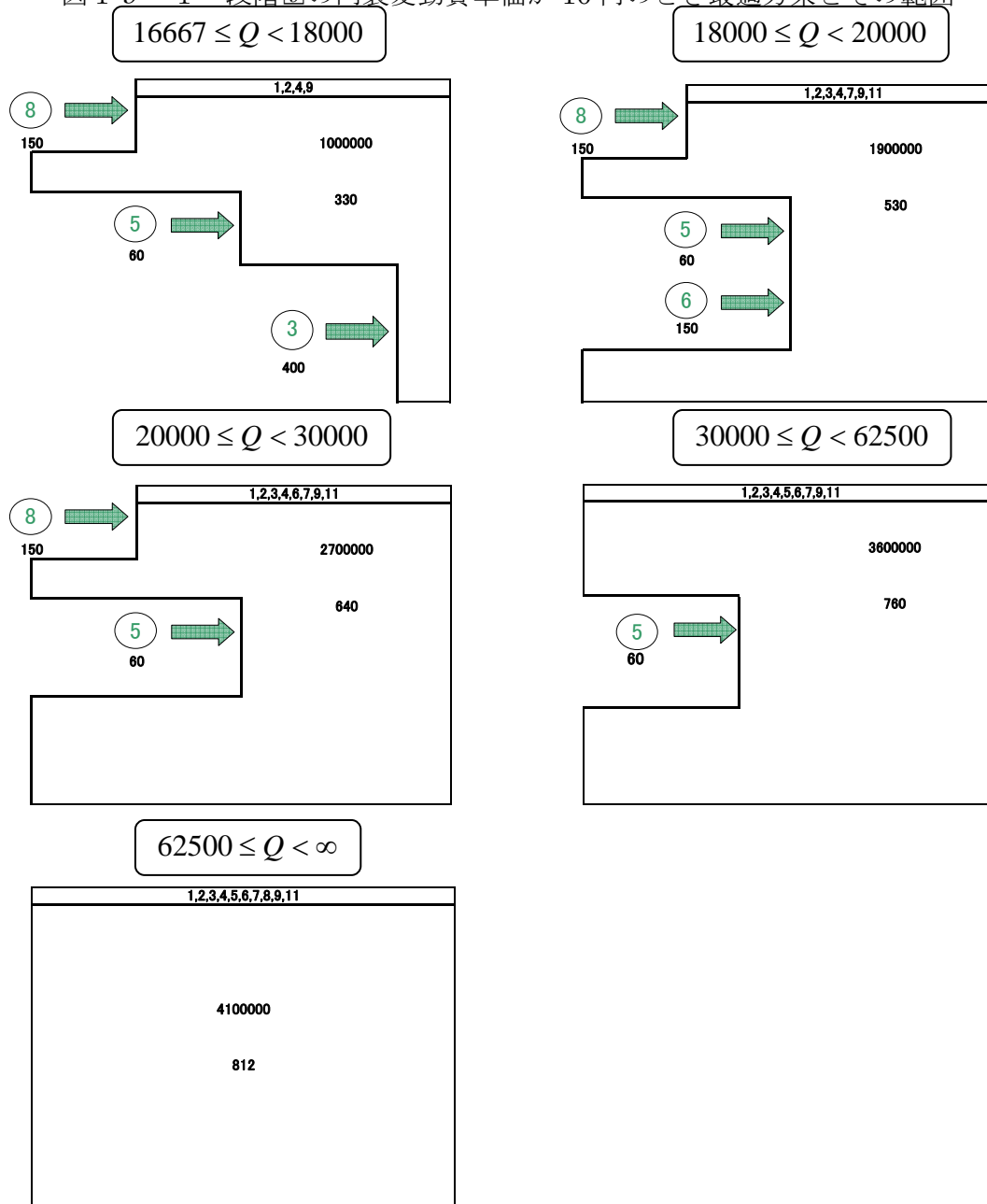
シミュレーションの実行結果から、段階図の内製変動費単価が 10 円から 20 円へと上昇したときには与えられた製造段階図に大きな差は見られないが、内製変動費単価が 20 円から 30 円へと上昇すると製造段階図の下流部分（最終製品に近い部分）に大きな変化が見られた。また、内製変動費単価 30 円から 40 円へと変化した場合は、製造段階図の上流（原材料に近い部分）に変化が見られる。それからしばらくは、値段が上昇しても製造段階図に変化は見られないが、段階図の内製変動費が 70 円に上昇したときに再び製造段階図が変化したことがシミュレーションの実行結果からわかる。

続いて、シミュレーションの結果から導き出されたそれぞれの最適方策と、方策が最適となる生産量の範囲を図 1 9 - 1 から 1 9 - 7 に示し、さらに詳しく最適方策の分岐点を分析していくことにする。



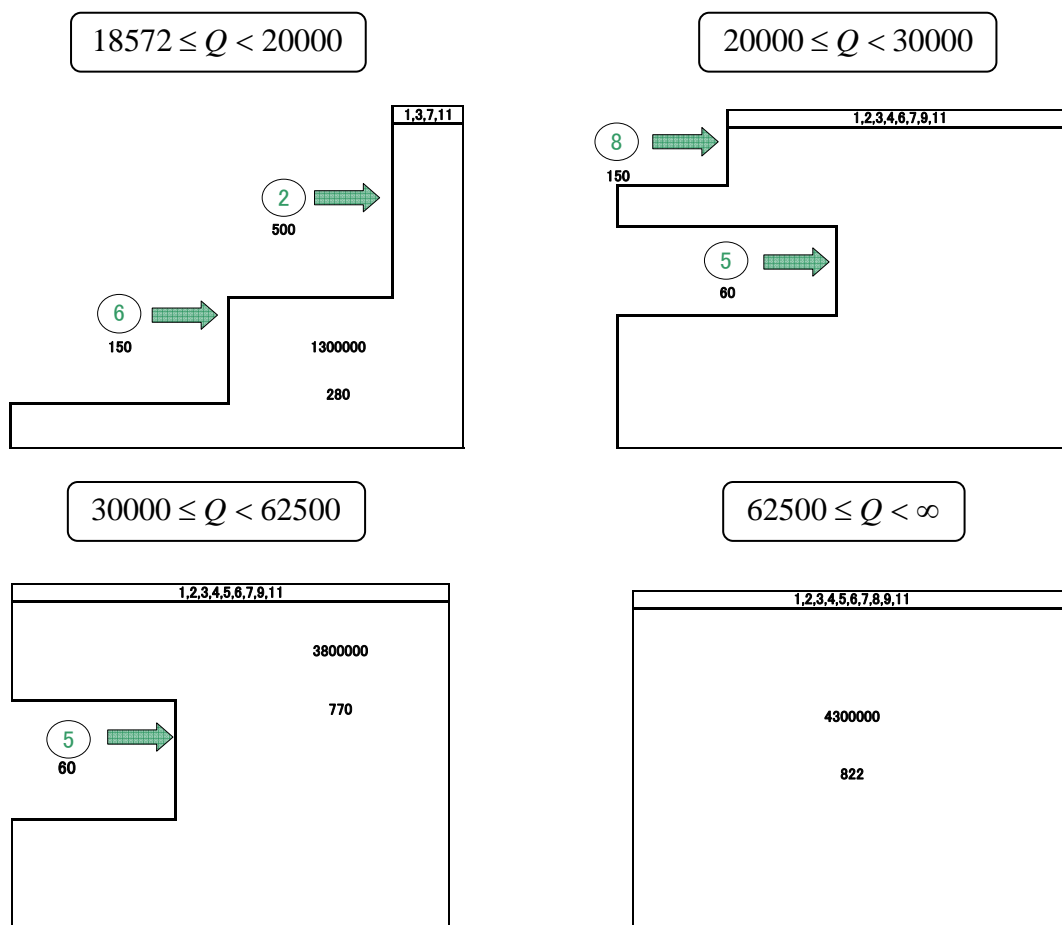
生産量 Q	内製化を深める段階	最適方策
0 → 14285	なし	①
14286 → 18000	①, ②, ④, ⑨	③⑤⑧⑨④②①
18000 → 20000	③, ⑦, ⑪	⑤⑥⑧⑪⑨⑦④③②①
20000 → 30000	⑥	⑤⑧⑪⑨⑦⑥④③②①
30000 → 62500	⑧	⑤⑪⑨⑧⑦⑥④③②①
62500 → ∞	⑤	⑪⑨⑧⑦⑥⑤④③②①

図 1 9 - 1 段階⑧の内製変動費単価が 10 円の時最適方策とその範囲



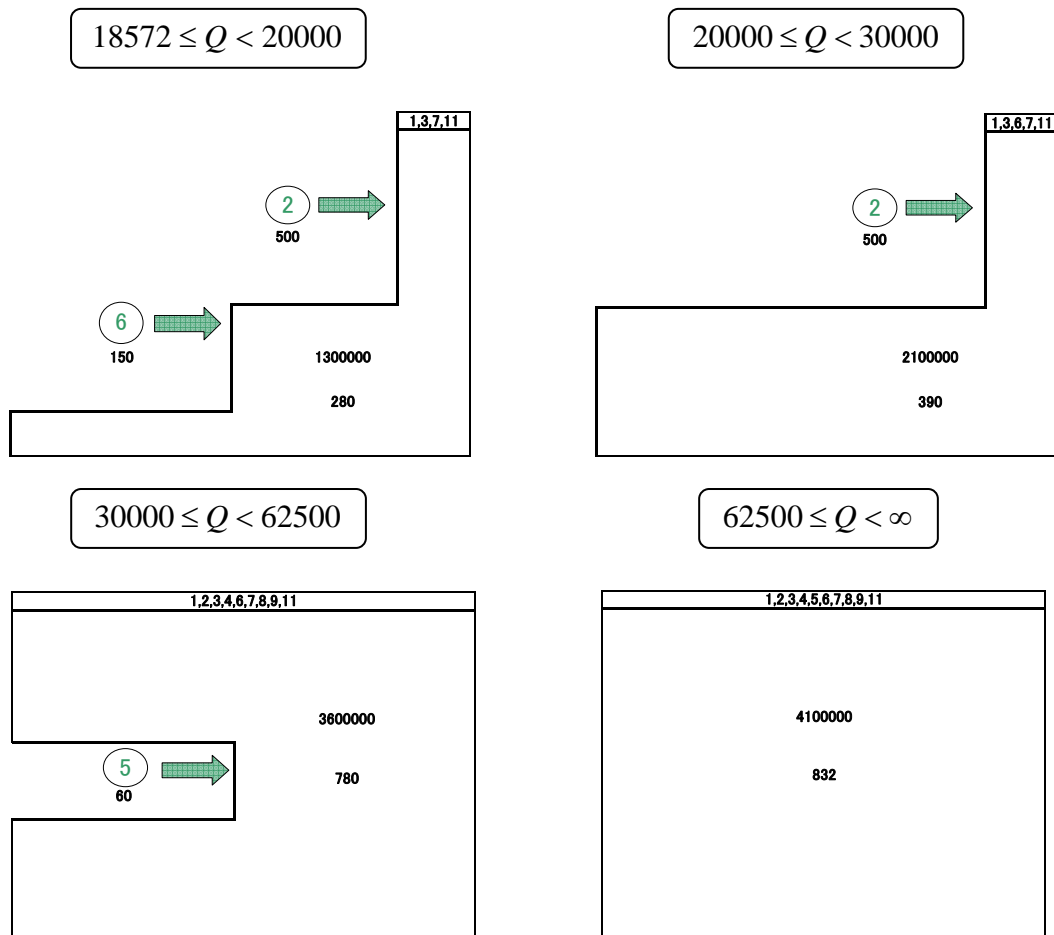
生産量 Q	内製化を深める段階	最適方策
$0 \rightarrow 16667$	なし	①
$16667 \rightarrow 18000$	①, ②, ④, ⑨	③⑤⑧⑨④②①
$18000 \rightarrow 20000$	③, ⑦, ⑪	⑤⑥⑧⑪⑨⑦④③②①
$20000 \rightarrow 30000$	⑥	⑤⑧⑪⑨⑦⑥④③②①
$30000 \rightarrow 62500$	⑧	⑤⑪⑨⑧⑦⑥④③②①
$62500 \rightarrow \infty$	⑤	⑪⑨⑧⑦⑥⑤④③②①

図 19-2 段階⑨の内製変動費単価が 20 円の時最適方策とその範囲



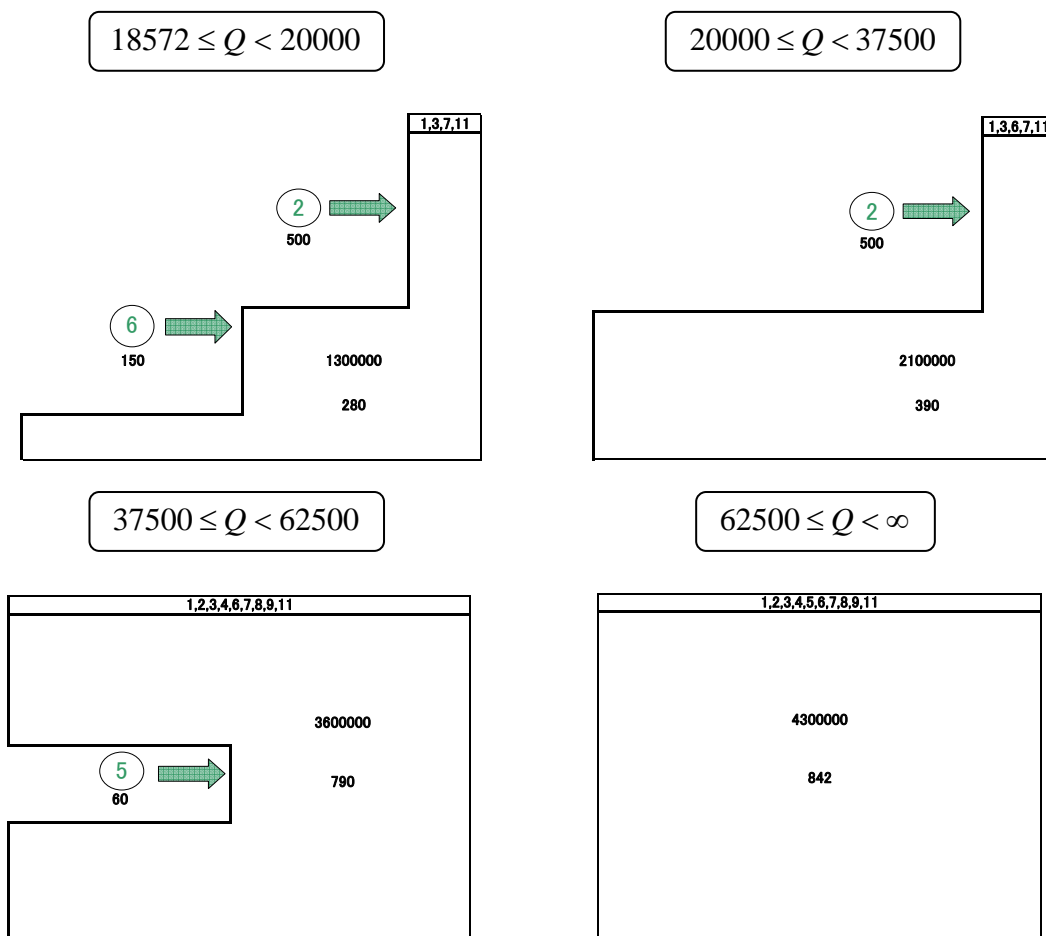
生産量 Q	内製化を深める段階	最適方策
0 → 18572	なし	①
18572 → 20000	①, ③, ⑦, ⑪	②⑥⑪⑦③①
20000 → 30000	②, ④, ⑥, ⑨	⑤⑧⑪⑨⑦⑥④③②①
30000 → 62500	⑧	⑤⑪⑨⑧⑦⑥④③②①
62500 → ∞	⑤	⑪⑨⑧⑦⑥⑤④③②①

図 19-3 段階⑨の内製変動費単価が 30 円の時最適方策とその範囲



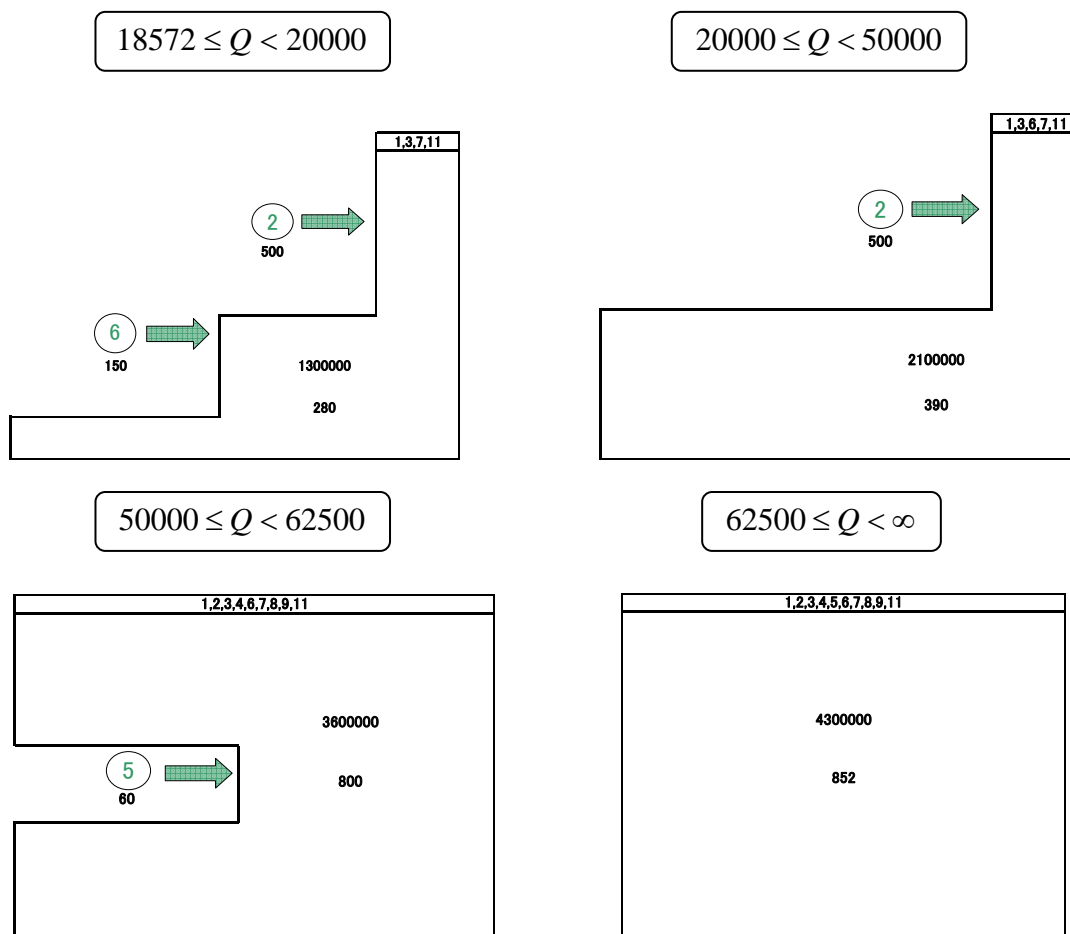
生産量 Q	内製化を深める段階	最適方策
0 → 18572	なし	①
18572 → 20000	①, ③, ⑦, ⑪	②⑥⑪⑦③①
20000 → 30000	⑥	②⑪⑦⑥③①
30000 → 62500	②, ④, ⑧, ⑨	⑤⑪⑨⑧⑦⑥④③②①
62500 → ∞	⑤	⑪⑨⑧⑦⑥⑤④③②①

図19-4 段階⑨の内製変動費単価が40円の時最適方策とその範囲



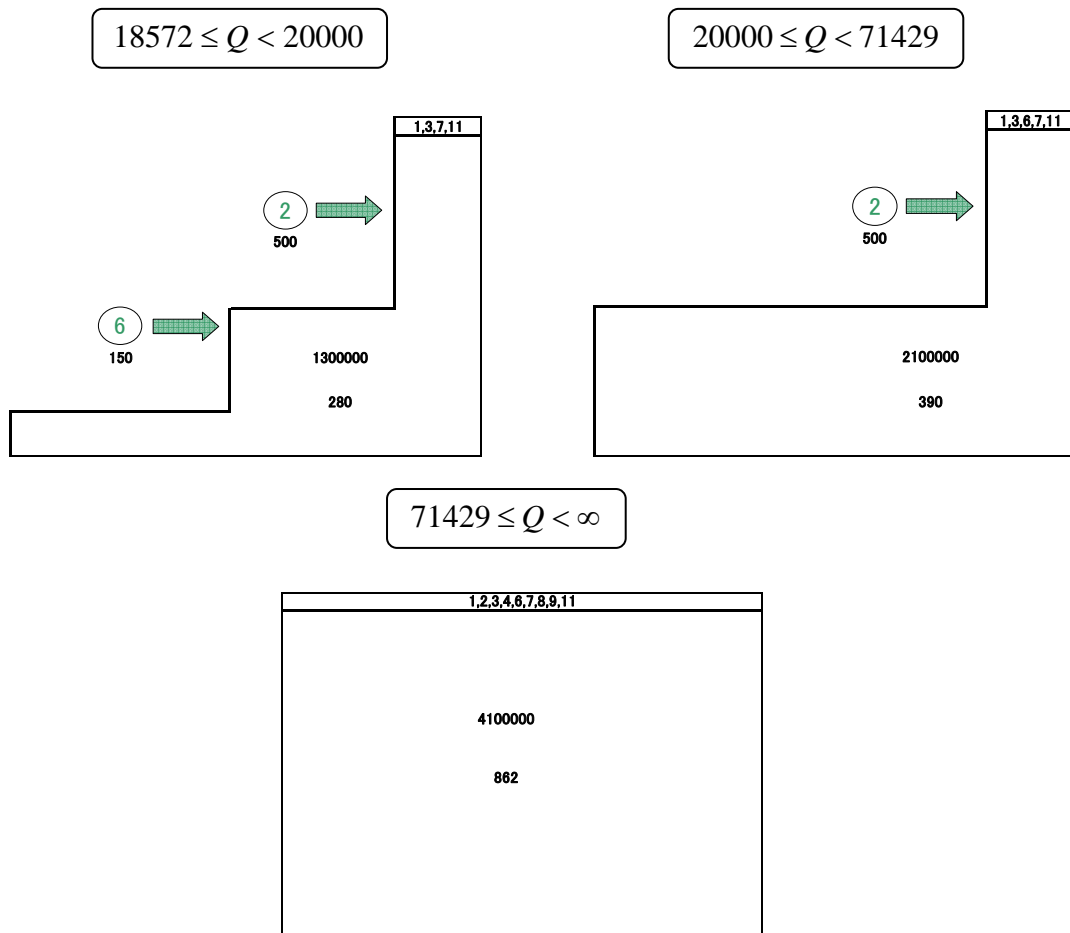
生産量 Q	内製化を深める段階	最適方策
0 → 18572	なし	①
18572 → 20000	①, ③, ⑦, ⑪	②⑥⑪⑦③①
20000 → 37500	⑥	②⑪⑦⑥③①
37500 → 62500	②, ④, ⑧, ⑨	⑤⑪⑨⑧⑦⑥④③②①
62500 → ∞	⑤	⑪⑨⑧⑦⑥⑤④③②①

図 19-5 段階⑨の内製変動費単価が 50 円の時最適方策とその範囲



生産量 Q	内製化を深める段階	最適方策
$0 \rightarrow 18572$	なし	①
$18572 \rightarrow 20000$	①, ③, ⑦, ⑪	②⑥⑪⑦③①
$20000 \rightarrow 50000$	⑥	②⑪⑦⑥③①
$50000 \rightarrow 62500$	②, ④, ⑧, ⑨	⑤⑪⑨⑧⑦⑥④③②①
$62500 \rightarrow \infty$	⑤	⑪⑨⑧⑦⑥⑤④③②①

図 19-6 段階⑤の内製変動費単価が 60 円の時最適方策とその範囲



生産量 Q	内製化を深める段階	最適方策
0 → 18572	なし	①
18572 → 20000	①, ③, ⑦, ⑪	②⑥⑪⑦③①
20000 → 71249	⑥	②⑪⑦⑥③①
71249 → ∞	②, ④, ⑤, ⑧	⑪⑧⑦⑥④③②①

図 19-7 段階⑨の内製変動費単価が 70 円の時最適方策とその範囲

図19-1から図19-7より、段階④の内製変動費単価が10円から20円へ上昇した場合、製造段階図そのものに変化は表われないが分岐点の最小値には変化があった。これは段階④の内製変動費単価が上昇したので、その分だけ生産量が多くならなければ内製することが経済的に有利にならないためである。次に段階④の内製変動費単価が20円から30円へと上昇した場合は、製造段階図に大きな変化が表われる。これまでは、分岐点の最小値から製造段階図の上段部分(④,④,④,④)から内製化を深めていくことが有利だったのに対し、内製変動費単価が30円の場合は、下段部分(④,④,④,④)から内製化を深めていく方が有利となる。そのためにシミュレーションの実行結果の製造段階図に大きな変化が表われた。また、段階④の内製変動費単価が30円から40円へと上昇した場合は、最初に内製化を深める段階は変化しないものの、生産量が20000個を上回ると内製化を深める段階に変化が表れてくることが確認できる。段階④の内製変動費単価が30円の場合は、生産量が20000個を上回ると段階④④④と段階④を内製化するのに対し、40円の場合は段階④だけ内製化を深めることとなる。それ以降は、生産量が増えても最適方策は変わらなかった。次に段階④の内製変動費単価が40円から50円へと上昇した場合においては、段階④④④④④を内製することが有利となる生産量の上限が30000個から37500個へと大きくなっている。つまり、40円の時よりも生産量が多くなると内製化しても経済的に有利にはならない。また、段階④の内製変動費単価が50円から60円へと上昇した場合も同様に、段階④④④④④④④を内製することが有利となる生産量の上限が37500個から50000個へと大きくなっていることが確認できる。最後に、段階④の内製変動費単価が60円から70円へと上昇した場合であるが、これは段階④の内製変動費単価が外部調達単価と同じ値段になったために製造段階図から段階④が削除されていくのが確認できる。また、これまでは他の段階から切り離されていた段階④が段階④④④と結合した段階④④④④④となっている。

以上の結果から、特に、段階④の内製変動費単価が20円から30円へと上昇したときに下流に与える影響が大きく、段階④と段階④の結合度が低いことがわかる。段階④の内製変動費単価が10円から20円の間での変動であるならば、A社は段階④の設備を持つことに意味はあるが、内製変動費単価が20円を超える値段になると製造段階図の下段の段階である段階④の設備を持つことに意味が出てくる。つまり、A社が製品Bを作るにあたっては、段階④の内製変動費単価の変動が0円から20円までの変動に抑えられることができるのであれば、段階④の設備を持つべきだが、10円から70円まで変動が起こってしまう現状では、段階④の設備を持つ下請け会社に生産を全て任せることがリスクの少ない方策だということがシミュレーションの結果からいえる。

5. 結論

本研究では、生産活動でのコスト（固定費，変動費，外部調達単価）に焦点を当てた上で，製品の製造段階を原材料や部品にさかのぼる広い視野のなかで，各段階の区切りの中間製品について社内製造と外部調達が共に可能なときに，総コストを最小にする社内製造と外部調達の適切な区切り方を見出す解法を示し，さらにその解法を用いてシミュレータを開発した．また，開発したシミュレータを用いて，中間製品の内製段階で発生する費用の変動が最適解に与える影響について分析した．開発したシミュレータは以下のような特徴を持っている．

- 1) 各段階において，社内製造と外部調達の有利さが等しくなる内製化の分岐点を計算することで，すべての組み合わせ方策のなかから生産量に応じた最適方策を見出し，シミュレータ上に最適方策を可視化することが可能である．
- 2) ある生産量が与えられたもとの最適方策が得られるだけでなく，それぞれの方策が有利となる生産量の範囲を知ることができる．これにより，計画期間での生産量に見込み違いが生じたときに，最適な社内製造と外部調達の区切り方の変化を明らかにすることができる．
- 3) シミュレータを使用することで，中間製品の調達単価や内製段階で発生する費用が変動したときに，最適解がどのように変化するのか Excel シート上で確認することができる．

以上のことから，生産量に見込み違いが生じた場合や，中間製品の値段に変更が生じた場合などに最適方策がどのように変化していくのかを視覚的に確認することができ，情報が不確実な状況下での意思決定を助ける分析を行うことができる．

6. 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, No4, 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, No3, 2003
- [3] 吉岡利典: “多段階製造過程における境界設定分析”
法政大学大学院修士論文, 1999
- [4] 時川満久: “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”
法政大学大学院修士論文, 2004
- [5] 圓川隆夫, 伊藤謙治: 「生産マネジメントの手法」, 朝倉書店, 1996
- [6] 千住鎮雄, 伏見多美雄: 「経済性工学の応用: 採算経営の計画技術」
日本能率協会マネジメントセンター, 1983
- [7] 福田好朗, 黒田充, 圓川隆夫: 「生産管理の辞典」, 朝倉書店, 1999
- [8] 坂田慎一: 「よくわかるこれからの外注管理」, 同文館出版, 2004
- [9] 岡田和美: 「ExcelVBA 逆引き大全 555 の極意」, 秀和システム, 2004

7. 謝辞

・福田好朗 教授

本研究を進めるにあたり全般に渡ってご指導くださり、3年間ご教授頂いた福田好朗教授に心より深く感謝いたします。また、私に足りなかった思考過程を強化してくださったことにも深く感謝いたします。ありがとうございました。

・木村光宏 教授

研究の副査を担当して頂きました木村光宏教授に深く感謝いたします。ありがとうございました。

・生産システム研究室の先輩，同輩，後輩

適切な助言を頂きました生産システム研究室の先輩，同輩，後輩の諸君に深く感謝いたします。なかでも、3年間を共にした明石さん，太田さん，門田さんありがとうございました。

・友達のみなさま

常に私に刺激を与え，エネルギーを与えてくれたみなさまに深く感謝いたします。ありがとうございました。

・両親

高校の3年間を含め，法政という刺激の強い学校で9年間伸び伸びと学生生活を過ごさせて頂いた両親に深く感謝いたします。あなた方の精神的な支えがなければ，今の私はないと思います。本当にありがとうございました。