

【 論 文 】

# 半製品最適規格決定の近似解法とその実現

董 彦 文

**概要：**本論文では、ある紙管製造工場における半製品最適利用のための意思決定支援システムの開発を研究対象とし、半製品の適正寸法と適正在庫を決定するための近似解法を提案する。提案解法では、加工工程の切断ロスと在庫費用との総費用の最小化を目的関数として、顧客の注文製品寸法と注文数量に基づき、半製品の適正寸法と適正在庫を決定することができる。問題のモデル構築と提案解法は紙管製造業界のみならず、他の多品種少量製造環境にも適用できる。

**キーワード：**在庫管理、切断ロス、適正在庫設計、半製品最適決定

## 1. 研究目的

本論文は、ある紙管製造工場における半製品最適利用のための意思決定支援システムの開発に関する研究の続報である。加工工程の切断ロスと在庫費用との総費用の最小化を目的関数として、顧客の注文製品寸法と注文数量に基づき、半製品の適正寸法と適正在庫を決定するための近似解法を提案することに重点を置いて議論する。また、提案近似解法の実現について考究するうえ、適用例を通じて提案解法の有効性を明らかにする。

対象とする紙管製造工場においては、数枚～数十枚のリボン紙を専用機械で巻きながら糊をつけて貼り合わせて、決まった寸法（長さ、以下同）に切断し、自然乾燥または乾燥機で乾かしたあと、半製品紙管とする。その後、図1に示すように、これらの半製品紙管は、顧客の要求された寸法に切断して、製品として出荷される。

原紙の規格（色、厚さ、強度など）と紙管の内径、肉厚、強度などにより、紙管の規格は数百種類にのぼる。また、同じ規格の紙管でも、顧客の注文寸法が多種多様であり、倉庫容積の制限や半

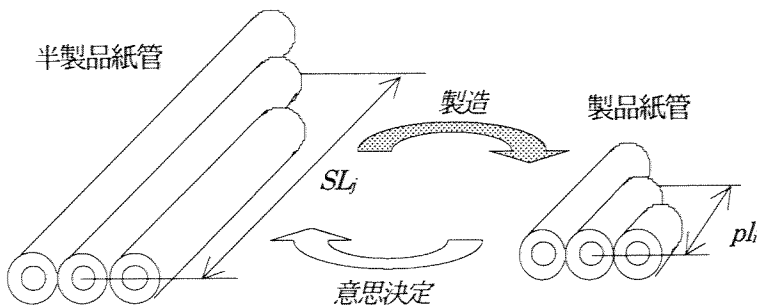


図1. 紙管の製造工程

製品紙管製造工程の生産性などのため、すべての注文寸法に合わせて、一々半製品紙管を用意することは不可能である。このため、寸法の決まった半製品紙管を切断し、製品紙管を加工するとき、切断ロス避けられない。

さらに、完全な受注生産であるうえ、受注日の当日に出荷しなければいけない短納期の注文が非常に多い。これらの短納期注文に対応するためには、半製品紙管在庫を持たざるを得ない。紙の変色と自然劣化による在庫ロス、それに金利の負担や倉庫の出し入れ作業などにより在庫費用が発生する。

切断ロスの低減と在庫費用の圧縮が互いに矛盾している。半製品紙管の在庫が多くなるにつれ、製品加工に選択できる寸法の異なる半製品紙管も多くなり、切断ロスの減量に有利でありながら、全体の在庫量が大きくなるため、在庫コストが増えてしまう。反対に、半製品紙管の在庫を過度に抑えると、製品加工に選択できる寸法の異なる半製品紙管が少なくなり、切断ロスは増えてしまう。このため、切断ロスまたは在庫コストのいずれを最小にするのではなく、切断ロスと在庫コストとの総費用を最小にする総合最適化を目指して、半製品の適正規格と適正在庫を設計することが必要である。

この総合最適化問題を解決するために、半製品最適利用のための意思決定支援システムの枠組を提案した [1]。提案したシステムにおいては、顧客の注文製品寸法に基づき、切断ロスと在庫費用との総費用を最小にする半製品最適決定モジュールがシステムの核となっている。しかしながら、この半製品最適決定問題は混合整数計画問題であり、本質的に組合せ爆発避けられない組合せ最適化問題となっているので、問題の最適解または最良解を効率よく求める解法について検討しなければならない。そこで、本論文では、まず、半製品最適規格と適正在庫を決定するための近似解法を提案する。次に、Microsoft Access を用いた提案解法の実現について説明する。さらに、提案解法の適用例を与える。

## 2. 従 来 の 研 究

切断ロスの最小化に関しては、切断ロス最小化問題 (Cutting Stock Problems) と名づけられ、早期から盛んに研究が行われ、ほとんどの OR 教科書と企業経営数理モデルに関する書籍においてこの問題のモデルまたは解決手法が紹介されている [2][3]。一般的に切断ロス最小化問題とは、原材料の規格が与えられる場合、最小の切断ロスに必要な品物を獲得するために、最適な切断パターンを決定することである。原材料の規格 (寸法や面積) が既知の制約条件となり、これにより切断ロス最小化問題をいろいろな角度から分類できる。ただし、現実世界の切断ロス最小化問題となると、各々の製造環境により問題の目標と制約条件が異なり、問題特定のニーズに適応したモデルと問題の解決手法が必要となる。また、大部分の切断ロス最小化問題は、NP-完全であり、問題規模の増大に伴い、計算時間が指数的に増加するという組合せ爆発問題が避けられないため、もっと効率的に問題の最適解または最良解を求める最適解法または近似解法を提案することには、挑戦する価値が十分にある。以上の理由で、切断ロス最小化問題に関する研究はいまでも盛んに行われている [4][5]。

切断ロス最小化問題では、原材料の規格が与えられ、これを制約条件として最適な切断パターンを決める。これに対して、本論文で取り上げる半製品最適規格の設計問題は切断ロス最小化問題における原材料規格に相当する半製品の規格を最適に決定するものであり、従来の切断ロス最小化問題の逆問題であると考えることができる。

また、適正在庫設計問題に関しても、古くから広く注目されてきた研究分野の一つであり、EOQ・EMQモデルが代表されるように数多くの在庫管理モデルと手法が提案された [6][7]。しかし、これらのモデルと提案手法には、原材料や部品の需要量が互いに独立していることを前提とするものがほとんどであり、原材料や部品間の相互代替性または需要の関連が無視できない現実問題の解決には直接に適用できない [8]。そこで、本論文では半製品需要量の関連性（ある製品の加工に規格の異なる2つ以上の半製品の何れかを利用すればよい）を考慮に入れて、各規格の半製品の適正在庫を設計する。

さらに、上述した通りに、半製品紙管の切断ロスの最小化と在庫費用の最小化が互いに矛盾しており、切断ロスの最小化と在庫費用の最小化を分割し別々に解決することは不適切である。そこで、本論文では切断ロスの最小化と在庫費用の最小化との2つの目標を同時に考慮し、切断ロスと在庫費用との総費用を最小にする半製品の適正規格と適正在庫を設計する近似解法を提案する。

### 3. 問題の定式化

#### 3.1 問題定義

上述した切断ロスと在庫費用との総費用最小化問題を次のように定義する。

- (1) 顧客の注文は、寸法の異なる  $n$  種類の製品  $P_i$ 、各製品の寸法は  $pl_i (i=1, 2, \dots, n)$  である。
- (2) 半製品在庫は、寸法の異なる  $s$  種類の半製品紙管  $S_j$ 、各半製品の寸法は  $SL_j (j=1, 2, \dots, s; s \leq n)$  である。また、 $s$  が既定値ではなく、未知の意思決定変数である。
- (3) 製品  $P_i$  の一月あたりの注文量は  $r_i$  であり、そして  $r_i$  は平均値  $\mu_{pi}$ 、標準偏差  $\sigma_{pi}^2$  の正規分布に従い、 $r_i \sim N(\mu_{pi}, \sigma_{pi}^2)$ 、 $i=1, 2, \dots, n$  である。
- (4) 切断ロスと在庫費用との総費用を最小にする半製品の種類数  $s^*$ 、半製品の寸法  $SL_j^* (j=1, 2, \dots, s^*)$  および半製品の経済的製造ロットと補充点を求めることを目的とする。

#### 3.2 記号

本論文で使うパラメーターや記号などを次に示す。

- (1) 制約条件または既知パラメーター：

$SL_0$ : 加工機械や倉庫面積の制限による半製品の最大寸法（メートル）。

$l_0$ : 紙管を固定するために機械の加工に必要な最小ロス（メートル）。

$p_j$ : 半製品  $S_j$  の価格（円/メートル）。

$T_p$ : 半製品在庫を補充するのに必要な製造時間（単位：月）。

$CI_j$ : 半製品  $S_j$  の在庫管理費用 (円/本・月)。

$CP_j$ : 半製品  $S_j$  の製造で一回あたりの段取り替え費用 (円/回)。

$t_\epsilon$ : 安全在庫を決定する安全係数または正規分布  $N(0, 1)$  の上側  $\epsilon$  点。

$pl_i$ : 製品  $P_i$  の注文寸法 (メートル)。

$\mu_{pi}$ : 製品  $P_i$  の一月あたりの注文量の平均値 (本)。

$\sigma_{pi}^2$ : 製品  $P_i$  の一月あたりの注文量の標準偏差 (本)。

(2) モデルに使う変数:

$SL_j$ : 半製品  $S_j$  の寸法 (メートル)。

$\mu_{sj}$ : 半製品  $S_j$  の一月あたりの使用量の平均値 (本)。

$\sigma_{sj}^2$ : 半製品  $S_j$  の一月あたりの使用量の標準偏差 (本)。

$TL_{ij}$ : 加工ロス, 製品  $P_i$  の加工に半製品  $S_j$  を使う場合の加工ロス (メートル)。

$m_{ij}$ : 丁取数, 1 本の半製品  $S_j$  を使って加工できる製品  $P_i$  の本数。

$Z_{ij}$ : 製品  $P_i$  の加工に半製品  $S_j$  を使うことを表す 0-1 変数。

$x_j$ : 少なくとも 1 種類の製品が半製品  $S_j$  を利用して加工されることを表す 0-1 変数。

(3) 演算記号:

$\lfloor u \rfloor$ :  $u$  以下の最大整数を求める演算子。

$\operatorname{argmin}$ :  $u_k = \min\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  を満たす添え字  $k$  を求める演算子。

### 3.3 総費用最小化問題の定式化

問題定式化の詳細については, 前回の論文 [1] に参照されたい。ここでは, 定式化の結果を与えて次に示す。

$$\text{Minimize } TCL = TL + TC \quad (1)$$

Subject to

$$TL = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n TL_{ij} (\mu_{pi} / m_{ij}) Z_{ij} p_j \quad (2)$$

$$TC = \sum_{j=1}^n [\sqrt{2\mu_{sj} CI_j CP_j} + CI_j t_\epsilon \sqrt{T_p \sigma_{sj}}] \quad (3)$$

$$TL_{ij} = \begin{cases} SL_j - m_{ij} pl_i, & SL_j \geq pl_i + l_0 \\ \infty, & SL_j < pl_i + l_0 \end{cases} \quad (4)$$

$$m_{ij} = \lfloor SL_j / pl_i \rfloor; \quad SL_j \leq SL_0 \quad (5)$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & j = \operatorname{argmin}_k \{TL_{ik}, k=1, 2, \dots, n\} \text{ のとき} \\ 0, & \text{そうでないとき} \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{sj} = \sum_{i=1}^n (\mu_{pi} / m_{ij}) Z_{ij} \quad (7)$$

$$\sigma_{sj}^2 = \sum_{i=1}^n (\sigma_{pi}^2 / m_{ij}) Z_{ij} \quad (8)$$

$$s = \sum_{j=1}^n x_j \quad (9)$$

$$x_j = \begin{cases} 0, & \text{すべての } i \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ について } Z_{ij} = 0 \text{ のとき} \\ 1, & \text{そうでないとき} \end{cases} \quad (10)$$

$$j = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

(意思決定変数:  $s, SL_j, Z_{ij}$ )

ただし、式(2)が切断ロスの金額を表す。式(3)が製造段取替え費用と在庫管理费用を考慮に入れた総在庫コストであり、この中で半製品の品切れ損失が考慮されていない。式(6)の  $Z_{ij}$  は、1種類の製品紙管を加工するには切断ロスの一番小さい半製品紙管を1種類だけ利用することを表し、 $Z_{ij}$  の一般的定義式は次に与える。

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & P_i \text{ の加工に } S_j \text{ が使われるとき} \\ 0, & \text{そうでないとき} \end{cases} \quad (11)$$

さらに、式(1)～(10)の最小化問題を解いて、最適な  $Z_{ij}$  が求められれば、式(7)～(8)により半製品の使用量が確定される。これに基づき、半製品の経済的製造ロットと補充点は次式(12)(13)を用いて計算することができる。

$$\text{経済的製造ロット: } Q_j = \sqrt{2\mu_{sj}CP_j/CI_j} \quad (12)$$

$$\text{補充点: } SP_j = T_p\mu_{sj} + t_\epsilon\sqrt{T_p}\sigma_{sj} \quad (13)$$

## 4. 問題の近似解法

### 4.1 提案解法の流れ図

式(1)～(10)の総費用最小化問題では、 $Z_{ij}$  が 0-1 変数、 $s$  が整数であるので、この問題は、混合整数計画問題であり、本質的に組合せ爆発が避けられない。このため、最適解より、最適解に近い最良解を効率よく求めることが望ましい。そこで、ここでは、最適解ではなく問題の近似解を求める近似解法を提案する。

提案近似解法の流れ図は図2に示す。

### 4.2 初期解の決定

半製品種類数  $s = n$  とする場合、各々の製品に合わせてそれぞれ1種類の半製品を用意することとなる。このとき、製品の寸法に合わせて半製品の寸法を決定すればよいが、加工作業にあたり1本の半製品紙管を固定するために、長さが  $l_0$  の部分が傷められて製品にはならないため、必要な最小ロスが生じる。このため、最大寸法の制約を満足しかつ必要ロスを最小にする初期解  $Z_{ij}$  と  $SL_j$  は、次式(14)(15)を用いて決めることができる。

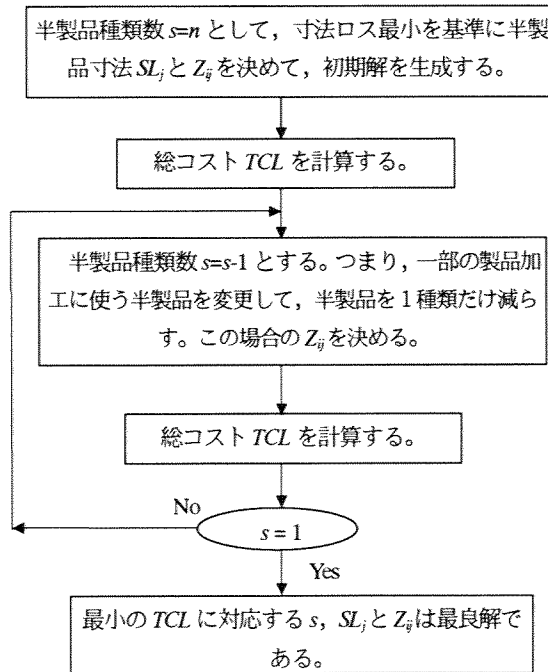


図 2. 提案近似解法の流れ図

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & i=j \text{ のとき} \\ 0, & \text{そうでないとき} \end{cases} \quad (14)$$

$$SL_j = [(SL_0 - l_0) / pl_j] * pl_j + l_0 \quad (15)$$

$i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, n$

### 4.3 半製品種類の削減

半製品を 1 種類だけ減らすために、ある半製品で加工する製品を、他の半製品を使って加工しなければいけない。しかし、具体的にどの半製品を減らすかを決定するには、上述と同様に切断ロスの最小化を基準とする。具体的な半製品種類数の削減方法を説明する前に、まず次のように製品の集合を定義する。

[定義 1] 同じ寸法の半製品で加工する製品の集まりを一つの集合と定義する。つまり、寸法が  $SL_j$  である半製品紙管  $S_j$  で加工する製品紙管の集合を  $G_j$  と記すと、 $G_j$  は次の通りに定義される。

$$G_j = \{P_i; Z_{ij}=1, i=1, 2, \dots, n\}, j=1, 2, \dots, s \quad (16)$$

任意の製品紙管  $P_i$  に対して、必ず一つの製品紙管集合  $G_k$  が存在し、かつ  $P_i \in G_k$  が成立する。

また、製品の加工に使われる半製品を変更する際、切断ロスと比較する必要があるため、次のように半製品変更に伴う切断ロスを定義する。

[定義 2] 任意の製品集合を  $G_u$ 、 $G_u$  の製品加工に使われる半製品を  $S_u$  とする。 $G_u$  に属するすべての製品加工に使われる半製品を  $S_u$  から  $S_v$  へ変更する場合の切断ロスを  $d(u \rightarrow v)$  と記すると、 $d(u$

$\rightarrow v)$  は次式(17)を用いて定義する。

$$d(u \rightarrow v) = \begin{cases} \sum_{k \in G_u} (SL_v - m_{kv} pl_k) (\mu_{pk} / m_{kv}) pl_v, & \forall P_k \in G_u, SL_v \geq pl_k + l_0, u \neq v \\ 0 & , u = v \text{ のとき} \\ \infty & , \text{その他の場合} \end{cases} \quad (17)$$

$u, v = 1, 2, \dots, s$

ただし、式(17)の切断ロス計算式においては、寸法だけでなく製品の需要量も重み係数として考慮に入れた。

すべての  $d(u \rightarrow v) (u \neq v)$  の中で、最小値を見つけて、それを  $d(x \rightarrow y)$  とすれば、 $G_x$  の製品加工に使われる半製品を  $S_x$  から  $S_y$  へ変更する際切断ロスの増加が最小となり、これで最小の切断ロスで半製品を1種類だけ減らすことができる。

#### 4.4 提案近似解法

以上の説明に基づき、次のように問題の近似解法を提案する。

##### [提案近似解法]

[Step 1] 半製品種類数  $s = n$  とする。式(14) (15)を用いて  $Z_{ij}$  と  $SL_j$  の初期値を求めて、問題の初期解を生成する。

それから、式(1)～(8)を用いて、 $TL, TC, TCL$  を計算する。

[Step 2] 最良解の初期値  $s^* = n, Z_{ij}^* = Z_{ij}, SL_j^* = SL_j, TCL^* = TCL$  とする。

[Step 3] 同じ寸法の半製品で加工する製品を集めて製品の集合を作成する。つまり、式(16)を用いて、製品紙管の集合  $G_j$  を生成し、 $G_j$  の製品加工に使われる半製品紙管  $S_j$  の寸法が  $SL_j$  である。

[Step 4] 任意の製品集合  $G_u$  に対して、 $G_u$  に属する製品の加工に使われる半製品を変更する場合の切断ロスを計算する。つまり、上述した式(17)を用いて、 $d(u \rightarrow v), u, v = 1, 2, \dots, s$  を計算する。

[Step 5] 使用半製品を変更する際、切断ロスの増加が一番小さい製品集合と使用半製品を見つける。つまり、次式(18)を満たす製品集合  $G_x$  と使用半製品  $S_y$  を求める。

$$d(x \rightarrow y) = \text{Min}\{d(u \rightarrow v); u, v = 1, 2, \dots, s, u \neq v\}. \quad (18)$$

それから、集合  $G_x$  に属するすべての製品  $P_i (P_i \in G_x)$  の加工に使用する半製品紙管を  $S_x$  から  $S_y$  へ変更する。つまり、次のように  $Z_{ij}$  の値を訂正する。

$$Z_{ij} = \begin{cases} 0, & P_i \in G_x, j = x \\ 1, & P_i \in G_x, j = y \\ Z_{ij}, & \text{その他} \end{cases} \quad (19)$$

以上の変更により使用する半製品が1種類だけ減っているから、 $s = s - 1$  として、半製品  $S_j$  と製品集合  $G_j$  の番号を  $1 \sim s$  へ付け直す。

[Step 6] Step 5 で決定した  $\{Z_{ij}\}$  に基づき、式(1)～(8)を用いて、 $TL, TC, TCL$  を計算する。

[Step 7]  $TCL < TCL^*$  なら、 $TCL^* = TCL, s^* = s, Z_{ij}^* = Z_{ij}, SL_j^* = SL_j$  とする。

[Step 8]  $s > 1$  なら Step 3 へ戻す。 $s = 1$  なら終了し、最良解は  $s^*, Z_{ij}^*, SL_j^*$  である。

### 5. 提案解法の実現

上述した近似解法は、すでに提案した「半製品最適利用のための意思決定支援システム」の核モジュールの一つとして、マイクロソフト社の Access2000 を用いて実現された。このモジュールの詳細構成は図 3 に示す。

その中で、各サブモジュールの機能は次のとおりである。

- ◆製品データの準備：注文製品の寸法，需要量の平均値・標準偏差などのデータを過去の注文データから自動的に統計・抽出したり，担当者により入力したりする。
- ◆パラメーター指定：制約条件と最良解の計算に必要なパラメーターを指定する。パラメーター指定画面の一例を図 4 に示す。
- ◆最良半製品探索：提案解法を用いて最適または最良な半製品を探索する。
- ◆計算結果表示：最良解探索の計算結果をグラフと数値表で表示する。必要があれば，パラメーター指定に戻ってパラメーターなどを訂正し，もう一回最良解を探索することができる。
- ◆最良解詳細表示：最良な半製品寸法，経済的製造ロットと補充点，加工する製品の番号など，得られた最良解の詳細データを表示する。同様に，必要がある場合，パラメーター指定に戻ってパラメーターなどを訂正し，もう一回最良解を探索することができる。

開発ツールに Access2000 を選択した理由としては、主に次のことが挙げられる。まず、Access2000 はデスクトップ型データベースであり、業務管理システムとのデータやり取りやデータ共有などの面では簡単で便利である。次に、Access2000 には強力な開発言語 Visual Basic for Applications が内蔵しており、プログラミング作業は簡潔で効率が高い。最後に、システムの操作画面などがいま広く利用されている Word・Excel などの文書作成・表計算ソフトとほとんど変わらず、簡単なパソコン操作ができれば、誰でも本システムを利用することができる。

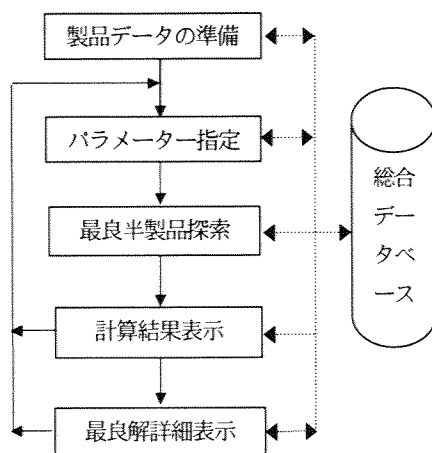


図 3. 提案近似解法の実現



パラメーター名	値
最小切断ロス(m)	0.02
最大寸法(m)	4
製造時間(月)	0.33
安全係数	1.65
紙管価格(円/m)	¥1,000
在庫保管費率(%)	20
段取替作業費(円/回)	¥5,000

図4. パラメーターの指定画面

## 6. 提案解法の適用例

### 6.1 問題例とパラメーター

提案解法の有効性を説明するために、ここでは、11 製品の実例に提案解法を適用して、得られた最良解について考察を与える。11 製品の寸法、注文数量の平均値と標準偏差を表1に示す。

計算に必要な他のパラメーターは次のとおりである。

- 最小切断ロス： $l_0=0.02$  m
- 半製品の最大寸法： $SL_0=4.0$  m
- 製造時間： $T_p=1/3$  月 (10 日)
- 安全係数： $t_e=1.65$  (品切れ発生率  $\leq 5\%$ )
- 半製品紙管の価格： $p_j=1000$  (円/m)
- 在庫保管費： $CI_j=p_j \times SL_j \times IR/12$ , ただし、 $IR$  が在庫保管費率である。
- 段取替え費用： $CP_j=5000$  (円, 段取替え作業費)  $+ p_j \times SL_j$  (毎回の段取替え作業により、半製品 1 本相当の切断ロスが発生)

### 6.2 問題例の最良解 1 (IR=20%)

在庫保管費率  $IR=20\%$  とするとき、切断ロス  $TL$ , 在庫費用  $TC$  および総費用  $TCL$  と半製品種類数  $s$  との関係を調べて、結果は図5に示す。半製品種類数  $s=4$  の時、最小の総費用が得られ、139.2 千円である。このとき、最良な半製品寸法、補充点、製造ロットと各製品の加工に使う半製品を表2に示す。

表 1. 11 製品の実例

製品 $P_i$	製品寸法 $pl_i$ (mm)	注文数平均値 $\mu_i$	注文数標準偏差 $\sigma_i$
1	124.5	450	22.5
2	147.0	210	10.5
3	209.5	2,400	120.0
4	256.5	15,200	760.0
5	257.0	50	2.5
6	264.0	90	4.5
7	296.5	230	11.5
8	304.5	510	25.5
9	432.5	3,160	158.0
10	922.0	50	2.5
11	1,200.0	400	20.0

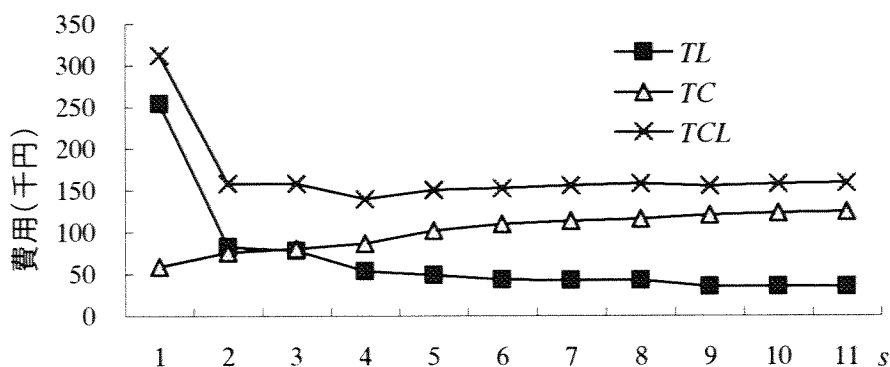


図 5. 費用と半製品種類数  $s$  (IR=20%)

表 2. 実例の最良解

半製品 $S_j$	寸法 $SL_j$ (mm)	補充点 $SP_j$	経済的製造ロット $Q_j$	加工する製品 $P_i$
1	3,980.0	22	111	6, 8
2	3,912.5	171	316	1, 9
3	3,708.0	9	77	2, 10
4	3,620.0	651	629	3, 4, 5, 7, 11

最良解探索の結果表示画面の一例を図 6 に示す。

### 6.3 問題例の最良解 2 (IR=5%)

同様に、在庫保管費率 IR=5% とするとき、切断ロス  $TL$ 、在庫費用  $TC$  および総費用  $TCL$  と半製品種類数  $s$  との関係調べて、結果は図 7 に示す。半製品種類数  $s=9$  の時、最小の総費用が得られ、90.0 千円である。このとき、最良な半製品寸法、補充点、製造ロットと各製品の加工に使う半製品を表 3 に示す。

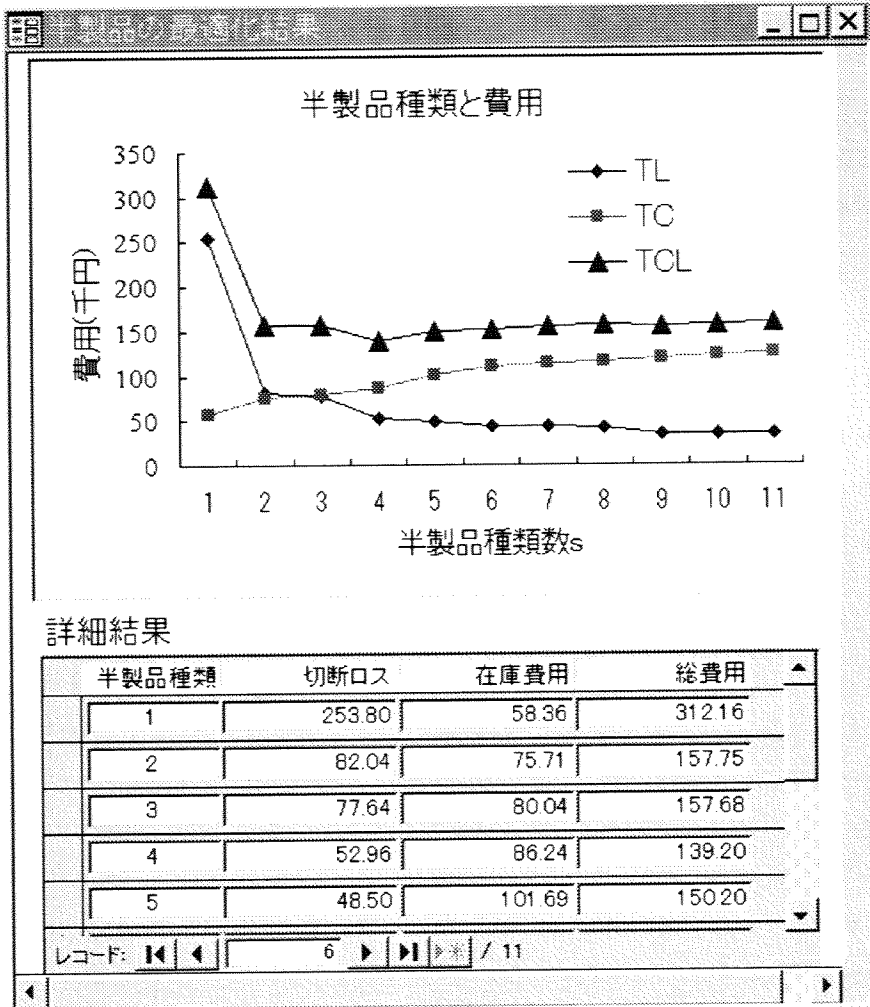


図6. 半製品の最適化計算結果

#### 6.4 結果の考察

以上の計算結果から次のことがわかった。

- (1) 在庫保管費の計算に使う在庫保管費率  $IR$  が高いとき、総費用に占める総在庫費用の割合が高いため、総在庫費用を下げるには、半製品種類を少なくする必要がある。反対に、在庫保管費率  $IR$  が低いとき、総費用に占める切断ロスの割合が高いため、在庫費用を下げるより、切断ロスを減らさなければいけないから、半製品種類を増やす必要がある。
- (2) 図5と図7に示すように、在庫費用と切断ロスの金額が非常に近い範囲にある。このため、在庫費用と切断ロスを別々に考慮するのではなく、在庫費用と切断ロスとの総費用を同時に考慮に入れ、総合最適化問題として扱う必要性が明らかである。また、上記の計算例では、半製品種類数が4以上になると、総費用  $TCL$  があまり変動しないのは、第4番目製品の需要量が他

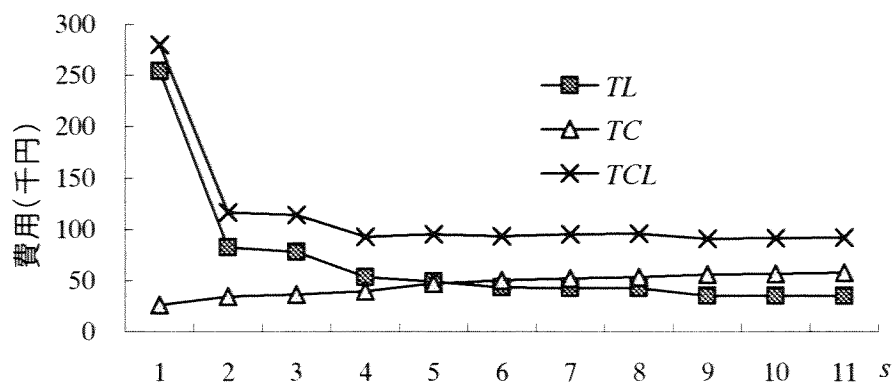


図 7. 費用と半製品種類数  $s$  (IR=5%)

表 3. 実例の最良解

半製品 $S_j$	寸法 $SL_j$ (mm)	補充点 $SP_j$	経済的製造ロット $Q_j$	加工する製品 $P_i$
1	3,879.5	9	126	1
2	3,989.0	4	92	2
3	3,791.0	71	385	3
4	3,867.5	520	1,056	4
5	3,875.0	10	152	5, 7
6	3,980.0	22	221	6, 8
7	3,912.5	166	620	9
8	3,708.0	5	119	10
9	3,620.0	55	390	11

製品より著しく大きいため、切断ロスや在庫費用に対する影響が大きいからである。

- (3) 提案解法を適用して得られた問題の解は必ずしも最適解ではなく近似解でありながら、計算時間が数秒間しかかからないから、実用上は意味があると考えられる。

## 7. 終わりに

本論文では、ある紙管製造工場の半製品適正規格と適正在庫設計問題を取り上げ、得られた成果を要約すると、次の通りである。

- (1) 切断ロスと在庫費用との総費用最小化を目的関数として、顧客の注文製品寸法と需要量に基づき、半製品の適正寸法と適正在庫を設計するための近似解法を提案した。
- (2) Access を用いた提案解法の実現について考究した。
- (3) 11 製品の計算例に提案解法を適用し、得られた最良解について考察し、提案解法の有効性を明らかにした。

なお、提案解法は発見的近似解法であるため、計算効率が高いけれど、得られた最良解の良さは最適解に対する差を評価する必要がある。さらに、もっと効率よく問題の最適解を求める解法

の提案が必要であると考えます。これからの研究テーマとしたい。

## 参 考 文 献

1. 董 彦文：“半製品最適利用のための意思決定支援システムの設計に関する研究”，商学論集，Vol. 68, No. 3, pp. 57-68 (2000).
2. Wang, P.Y.：“Two Algorithms for Constrained Two Dimensional Cutting Stock Problems”，*Operations Research*, Vol. 31, pp. 573-586 (1983).
3. Nickels, W., RWTH Aachen：“A Knowledge-Based System for Integrated Solving Cutting Stock Problems and Production Control in the Paper Industry”，In G. Mitra (ed.)：*Mathematical Models for Decision Support*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 471-485 (1988).
4. Sweeney, P.E and Paternoster, E.R.：“Cutting and packing problems: A categorized application-oriented research bibliography”，*Journal of the Operational Research Society*, Vol. 43, pp. 961-706 (1992).
5. Bischoff, E.E. and Wascher, G.：“Special Issue: Cutting and Packing”，*European Journal of the Operational Research*, Vol. 84, pp. 503-505 (1995).
6. Graves, S.C., Rinnooy Kan, A.H.G. & Zipkin, P.H.：*Logistics of Production and Inventory*, Elsevier Science Publishers, North-Holland, pp. 3-332 (1993).
7. Silver, E.A., Pyke, D.F. & Peterson, R.：*Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 27-404 (1998).
8. Vastag, G.：“Inventory models: from theory to practice”，In A. Chikan (ed.)：*Inventory in Theory and Practice*, Elsevier Science Publishers, Tokyo, pp. 757-768 (1986).
9. 董 彦文, 中村 壘, 北岡正敏, 太田 宏：“半製品の規格と在庫量の総合最適化問題に関する研究”，日本経営工学会平成9年度春季大会予稿集, pp. 61-62 (1997).
10. Dong, Y., She, Y.：“A Combined Optimization Problem to Minimize the Total Cost of Inventory and Trim Loss of Semi-Finished Products”，*Proceedings of The 3rd International Conference on Management*, ShangHai, China, July 25-28 (1998).
11. Dong, Y., Kitaoka, M.：“A Genetic Algorithm for Deciding Optimal Specifications of Semi-Finished Products”，*Proceedings of The Second Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management Systems (APIEMS '99)*, pp. 481-484, Kanazawa, Japan, October 30-31 (1999).