

【論文】

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

董彦文

概要：本論文では、ある紙管製造工場の半製品選択利用と寸法決定問題を研究対象とし、実用的な半製品最適利用のための意思決定支援システムの設計案を考究する。このシステムでは、切断ロスの最小化を目的関数として顧客の注文製品を加工するのに必要な半製品を最適に選択するだけでなく、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化させる半製品最適寸法を決定することができる。問題のモデル構築と提案システムの枠組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、意思決定支援システム

1. はじめに

切断ロス最小化問題は、原材料の規格が与えられた場合、最小の切断ロスで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。オペレーションズリサーチ (OR) の分野においては、早期からこの問題を広く研究し、いろいろな定量モデルや手法が提案され、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紹介されている[6]~[8]。それにもかかわらず、世界中の研究者たちは、いまでも切断ロス最小化問題に注目し研究を続けている。これには2つの理由がある。まず、現実世界の切断ロス最小化問題は、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り、または上位の生産管理・生産計画システムと統合するために、より通用性の高い一般化される標準モデルと関連アルゴリズムを必要としている。また、大部分の切断ロス最小化問題は、NP-完全であることが知られている。つまり、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、従来の手法よりもっと速くもっと効率的に問題の最適解を求める最適化解法、または、従来の手法より最適解にもっと近い近似解を与える近似解法を提案することには、挑戦する価値がまだ十分にあり、研究者にとっては魅力のある研究分野の1つである[1][2][9][10]。

本論文では、ある紙管製造工場の半製品選択利用と寸法決定問題を取り上げ、実用的な半製品最適利用のための意思決定支援システムの設計案を提案することに重点を置いて議論する。まず、対象とする紙管工場の製造工程と半製品利用問題を説明する。次に、この半製品利用問題を解決するための実用的意思決定支援システムの枠組を提案する。さらに、このシステムの核となる2つの数理モデルを構築する。1つは、切断ロスの最小化を目的関数として顧客の注文製品の加工に必要な半

製品を最適に選択するモデルであり、もう 1 つは、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寸法を決定するモデルである。

2. 紙管製造工程とその半製品利用問題

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）に切断してから自然乾燥または乾燥機で乾かしたあと、半製品紙管となる。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。

紙管製造工程の特徴としては、下記のことが要約される。

(1) 多品種少量生産と切断ロス

原紙の規格と紙管の内径、肉厚、強度などにより、紙管の規格は数百種類にのぼる。さらに、同じ規格の紙管でも、顧客の注文寸法が多様であり、倉庫容積の制限や半製品紙管製造工程の生産性などのために、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が不可能である。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、一般的に言えば切断ロスは避けられない。

現実には、顧客の注文を受けてから、切断ロスを最小にするように注文製品の寸法に合わせて半製品紙管を選択しているが、同じ寸法の注文製品を加工しても、半製品紙管の選択が作業者により異なり、経験豊富なベテラン作業者と新人作業者の判断の差により切断ロスの差も大きい。また、記憶データの量や計算能力の制限で、人間作業者の選択能力は限られており、必ずしも最適な半製品紙管を選択することは保証できない。

このため、注文製品の寸法が入力されると、自動的に切断ロス最小の半製品紙管を選択し、切断パターンを決定するための意思決定支援システムは必要であると考えられる。

(2) 短納期の受注生産と在庫費用

対象とする紙管製造工場では、完全な受注生産であり、すべての生産は顧客の注文に基づいて行われる。半製品紙管は、自然乾燥の場合通常 3 日間～7 日間ほど乾かさなければならないのに、一部の顧客からの注文は、受注日の当日に出荷しなければいけないほど、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。

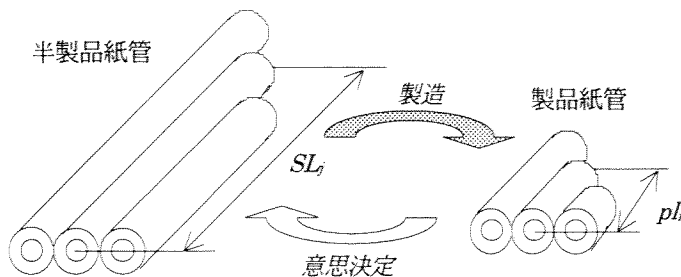


図 1 紙管の製造工程

しかし、紙の変色と自然劣化のため、半製品紙管の在庫ロスが発生し、また、キャッシュフロー経営がますます重要になってくる時代には、半製品紙管在庫を極力に抑えることは必要である。

さらに、半製品紙管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、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たら、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。つまり、切断ロスの最小化と在庫コストの最小化が互いに矛盾しており、それ故、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新たなアプローチを提案することは必要である。

3. 半製品最適利用の意思決定支援システムの枠組

3.1 基本的考え方

上述した半製品紙管の最適利用問題を解決する際、切断ロスの最小化と在庫費用の最小化と相互矛盾した2つの目標を考慮しなければいけない。顧客の注文を受けてから、この2つの目標を統合した総費用の最小化を目指して、半製品寸法を決定し、半製品を製造してから製品を加工するのは望ましいけれど、現実には不可能である。

まず、顧客からの注文製品の寸法は膨大な数にのぼるうえ、リピートの多い一部の製品を除いて、実際に受注してはじめて寸法が確定されるものが多い。受注する前に、予め顧客の注文製品の寸法を把握して、切断ロスと在庫費用との総費用を最小化させるように半製品紙管の最適な寸法を決定することには無理がある。また、納期の短い注文を受注する場合、最適な半製品寸法を決定することができても実際に半製品の製造に時間がかかるので、納期には間に合わない。

これに対して、受注したあとに、利用可能な半製品紙管の寸法と数量に基づき、切断ロス最小の半製品紙管を選択し、切断パターンを決定することは、必要な入力データがすべて揃えられるから、現実的に実行可能である。

しかし、すでに製造された半製品を最適に選択しても、半製品紙管の寸法が最適に決定されない場合、切断ロスの最小化にはならない。在庫費用も考慮に入れていないため、総費用の最小化にはならない。半製品紙管の最適寸法と適正在庫を設計することは必要である。これは、リピートの多い製品や納期の長い製品にとって意味があり、かつ実行可能である。さらに、予め寸法の確定されない製品にとっても、過去の注文データに基づいて半製品紙管の最適寸法と適正在庫を設計することは数学意味上の最適にはならないが、担当者の経験や主観判断のみで決定することより、意思決定の質が向上し、最適にはもっと近づいて、総費用の低減に役立つと考えられる。

3.2 システムの枠組

以上の考え方から、数理的手法を用いて上述した半製品利用問題を一括して解決するのではなく、ここでは、製造現場で簡単に利用できる意思決定支援システムを作成し、これを通じて問題の解決を支援するという現実的アプローチを提案する。

(1) システムの構成

半製品最適利用のための意思決定支援システムを提案し、その構成を図 2 に示す。

図 2 に示すように、提案したシステムは「半製品最適決定」と「半製品最適選択」との 2 つのモジュールからなり、点線で囲まれる。この 2 つのモジュールと、受注管理システム、生産計画システムおよび在庫管理、実績管理システムとの関連も併せて図 2 に示す。

(2) 「半製品最適決定」モジュールの機能

このモジュールは製品の需要数量と寸法を入力データ、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、半製品紙管の最適寸法と適正在庫を設計する。

- ・リピートの多い製品：リピート注文が多いが、毎月の注文数量が一定ではない製品について、過去の注文データから寸法毎の受注数量の平均値と標準偏差を計算する。これらを入力データとして、切断ロスと在庫費用との総費用を最小にする半製品紙管の最適寸法、寸法毎の最適製造ロット、在庫補充点を計算する。
- ・納期の長い製品や新規取引商品：寸法・納期毎の需要数量または見込み数量を入力データとして、切断ロスと在庫費用との総費用を最小にする半製品紙管の最適寸法、寸法毎の最適製造ロット、在庫補充点を計算する。

このモジュールは必要なときに実行され、その出力は「半製品製造管理」の入力データとなる。

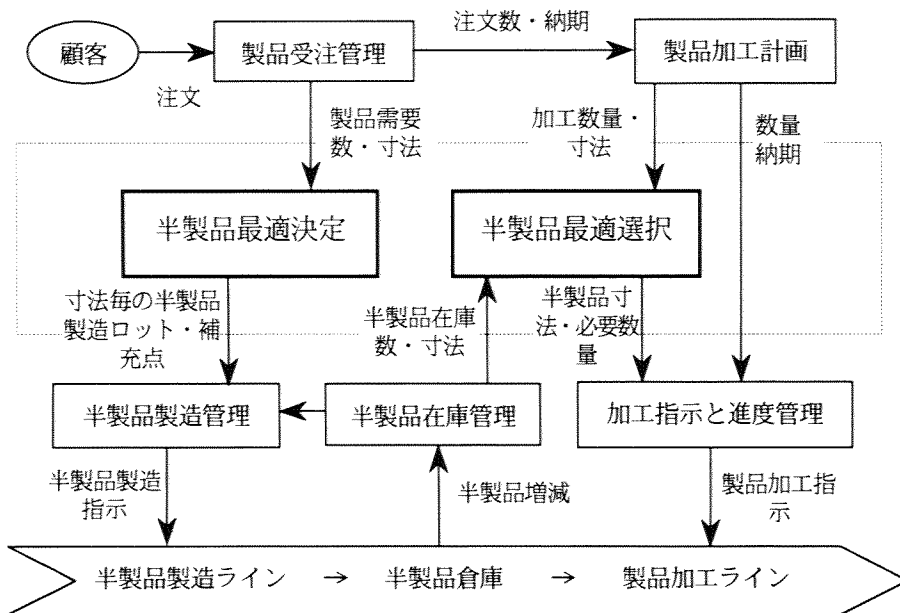


図 2 システムの枠組

(3) 「半製品最適選択」モジュールの機能

「製品加工計画」モジュールで決められた日々の加工計画データと、「半製品在庫管理」モジュールでリアルタイムに収集した半製品在庫データを入力として、加工製品の寸法、数量と利用可能な在庫半製品紙管の寸法と数量に基づき、切断ロス最小の半製品紙管を選択し、切断パターンを決定する。

このモジュールは、日々の加工計画が作成されたあとに実行され、その出力は加工計画に決めた加工数量・納期と併せて、生産現場の加工指示となる。

4. 「半製品最適決定」モジュールの設計

4.1 問題定義と記号

「半製品最適決定」モジュールでは、切断ロスと在庫費用との総費用最小化モデルを構築し、これをもって半製品紙管の最適寸法を求め、適正在庫を設計する。この数理モデルの構築にあたり、以下の点を考慮した。

- (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 p_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 μ_{p_i} 、標準偏差 $\sigma_{p_i}^2$ の正規分布に従い、 $r_i \sim N(\mu_{p_i}, \sigma_{p_i}^2)$, $i=1, 2, \dots, n$ 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^* とそれらの寸法 SL_j^* ($j=1, 2, \dots, s^*$) を求めることを目的とする。

また、モデルに使う他のパラメーターや記号などは次に示す。

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)。

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、半製品 S_j を 1 本使って加工できる製品 P_i の本数。

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)。

CL_j : 半製品 S_j の在庫維持費用 (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_ϵ : 安全係数または正規分布 $N(0, 1)$ の上側 ϵ 点である。

μ_{s_j} : 半製品 S_j の一月あたりの需要量の平均値 (本)。

$\sigma_{s_j}^2$: 半製品 S_j の一月あたりの需要量の標準偏差 (本)。

4.2 切断ロスの定式化

まず、 u 以下の最大整数を $\lfloor u \rfloor$ と記すると、丁取数 m_{ij} が

$$m_{ij} = \lfloor SL_j / pl_i \rfloor; SL_j \leq SL_0 \quad (1)$$

となる。

製品 P_i の加工に半製品 S_j を使う場合の加工ロスを TL_{ij} とすれば、

$$TL_{ij} = \begin{cases} SL_j - m_{ij}pl_i, & SL_j \geq pl_i + l_0 \\ \infty, & SL_j < pl_i + l_0 \end{cases} \quad (2)$$

と表すことができる。

現場作業者の作業ミス無くすために、加工作業をできるだけ単純化する考慮から、半製品寸法設計の段階には、1 種類の製品紙管加工に 1 種類だけの半製品紙管を利用することに限定する。次のように、0-1 変数 Z_{ij} を導入する。

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & P_i \text{ の加工に } S_j \text{ が使われるとき} \\ 0, & \text{そうでないとき;} \end{cases} \quad (3)$$

1 種類の製品紙管加工に 1 種類だけの半製品紙管を利用する上述の限定を考慮し、各製品の加工には、切断ロスの一番少ない半製品紙管を使わなければいけないから、 Z_{ij} は次のように書き換えることができる。

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & j = \operatorname{argmin}_k \{ TL_{ik}, k=1, 2, \dots, n \} \text{ のとき} \\ 0, & \text{そうでないとき} \end{cases}; i, j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

このため、半製品紙管の種類数 s は

$$s = \sum_{j=1}^n x_j \quad (5)$$

となる。ここで、0-1 変数 $x_j, j=1, 2, \dots, n$ は次のように定義される。

$$x_j = \begin{cases} 0, & \text{すべての } i \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ について } Z_{ij} = 0 \text{ のとき} \\ 1, & \text{そうでないとき} \end{cases} \quad (6)$$

$x_j = 1$ は少なくとも 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。

製品 P_i の一月あたりの注文量 r_i が正規分布に従い、 $r_i \sim N(\mu_{pi}, \sigma_{pi}^2) (i=1, 2, \dots, n)$ であるから、半製品 S_j の一月あたりの需要量 R_j も正規分布に従い、 $R_j \sim N(\mu_{sj}, \sigma_{sj}^2) (j=1, 2, \dots, n)$ とすれば、

$$\mu_{sj} = \sum_{i=1}^n (\mu_{pi} / m_{ij}) Z_{ij}; j=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

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

となる。

最後に、切断ロスを次式(9)で表すことができる。

$$TL = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n TL_{ij}(\mu_{pi}/m_{ij})Z_{ij}p_j \quad (9)$$

4.3 在庫費用の定式化

月あたりの製品注文数量が確率的に変動するため、月あたりの半製品需要量も一定ではなく確率変数となる。このため、確率の変動を吸収するには、安全在庫が必要である。半製品在庫を補充するとき、製造計画作成から製造・乾燥までの全工程を完成するのに必要な製造時間を T_p (月)、安全在庫を ss_j と記すれば

$$ss_j = t_\epsilon \sqrt{T_p} \sigma_{sj}$$

となる。

計算上の便利さから、平均在庫水準に対する製造時間の影響を無視し、さらに半製品間の代替性から半製品の品切れ損失を考慮しないことにする。こうすれば、通常の EMQ モデルに基づき、半製品 S_j の最小在庫費用は

$$TC_j = \sqrt{2\mu_{sj}CI_jCP_j} + CI_j t_\epsilon \sqrt{T_p} \sigma_{sj} \quad (10)$$

となる。同様に、経済的製造ロットと補充点を計算し、次のとおりである。

$$\text{経済的製造ロット： } Q_j = \sqrt{2\mu_{sj}CP_j/CI_j} \quad (11)$$

$$\text{補充点： } SP_j = T_p \mu_{sj} + t_\epsilon \sqrt{T_p} \sigma_{sj} \quad (12)$$

4.4 総費用最小化問題の定式化

以上の定式化において、切断ロスの最小化と在庫費用の最小化が互いに独立していないため、これらをまとめて、切断ロスと在庫費用との総費用最小化問題の定式化を行い、次の最小化モデルを得ることができる。

$$\text{Minimize } TCL = TL + TC \quad (13)$$

Subject to

$$TL = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n TL_{ij}(\mu_{pi}/m_{ij})Z_{ij}p_j \quad (14)$$

$$TC = \sum_{j=1}^n [\sqrt{2\mu_{sj}CI_jCP_j} + CI_j t_\epsilon \sqrt{T_p} \sigma_{sj}] \quad (15)$$

$$TL_{ij} = \begin{cases} SL_j - m_{ij}pl_i, & SL_j \geq pl_i + l_0 \\ \infty, & SL_j < pl_i + l_0 \end{cases} \quad (16)$$

$$m_{ij} = \lfloor SL_j / pl_i \rfloor; \quad SL_j \leq SL_0 \quad (17)$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & j = \underset{k}{\operatorname{argmin}} \{ TL_{ik}, k=1, 2, \dots, n \} \text{ のとき} \\ 0, & \text{そうでないとき} \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu_{sj} = \sum_{i=1}^n (\mu_{pi}/m_{ij}) Z_{ij} \tag{19}$$

$$\sigma_{sj}^2 = \sum_{i=1}^n (\sigma_{pi}^2/m_{ij}) Z_{ij} \tag{20}$$

$$s = \sum_{j=1}^n x_j \tag{21}$$

$$x_j = \begin{cases} 0, & \text{すべての } i \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ について } Z_{ij} = 0 \text{ のとき} \\ 1, & \text{そうでないとき} \end{cases} \tag{22}$$

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

(意思決定変数: s, SL_j, Z_{ij})

4.5 問題の解法と実例

式 (13)～(22) 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組合せ最適化問題である。この問題の最適解または最良解を求めるためには、発見的アルゴリズムを提案し、さらに遺伝的アルゴリズムを用いたアプローチを提案した [3]～[5]。

構築したモデルの応用を説明するために、ここでは、1 つの実例と、提案した発見的アルゴリズムを適用して得られたこの例の最良解を与える。

表 1 に示すように、この実例は 11 種類の製品があり、製品の寸法、注文数量の平均値と標準偏差が表 1 に示した通りである。

計算に必要な他のパラメーターは次のとおりである。

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 μ_{pi}	注文数標準偏差 σ_{pi}
1	1,245	450	22.5
2	1,470	210	10.5
3	2,095	2,400	120.0
4	2,565	15,200	760.0
5	2,570	50	2.5
6	2,640	90	4.5
7	2,960	230	11.5
8	3,045	510	25.5
9	4,325	3,160	158.0
10	9,220	50	2.5
11	1,200	400	20.0

董：半製品最適利用システム

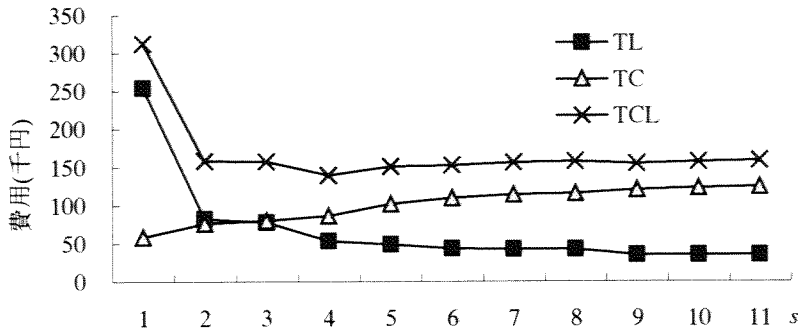


図3 費用と半製品種類数 s (IR=20%)

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： $p_j=1,000$ (円/m)
- 在庫保管費： $CL_j=p_j \times SL_j \times IR/12$, IR が年利率である。
- 段取替え費用： $CP_j=5,000$ (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)

年利率 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 との関係調べて, 結果は図 3 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。

5. 「半製品最適選択」モジュールの設計

5.1 問題定義と記号

「半製品最適選択」モジュールでは, 切断ロス最小化モデルを構築し, これをもって切断ロス最小の半製品紙管を選択し, 切断パターンを決定する。この数理モデルの構築にあたり, 以下の点を考

慮した。

- (1) 顧客の注文は、寸法の異なる n 種類の製品 P_i ($i=1, 2, \dots, n$), 各製品の寸法は pl_i , 注文数量は R_{p_i} である。
- (2) 以上の製品加工に利用できる半製品として、寸法の異なる s 種類の半製品紙管 S_j ($j=1, 2, \dots, s$) があり、各半製品の寸法は SL_j , 在庫量は Q_{s_j} である。
- (3) s 種類の半製品を切断して n 種類の製品を加工するための利用可能な切断パターンは、 m 通りがあるとす。指標 k を用いて切断パターンを区別する。つまり、 $k=1, 2, \dots, m$ である。
- (4) k 番目の切断パターンが利用される回数を f_k と記する。

5.2 切断パターンの定式化

まず、1本の半製品紙管を切断して、1種類または寸法の異なる数種類の製品を獲得する切断方法を1つの切断パターンと呼ぶ。各々の切断パターンに番号を付けて、 $k=1, 2, \dots, m$ とする。

通常の1次元切断ロス最小化問題では、ここの半製品に相当する原材料が1種類のみである。これに対して、対象とする切断ロス最小化問題では、寸法の異なる s 種類の半製品紙管があるから、獲得する製品と、使用する半製品との両面から各々の切断パターンをとらえる必要がある。

(1) 獲得する製品の本数:

k 番目の切断パターンにおいて、半製品を切断して獲得する製品 P_i の本数を z_{ki} ($i=1, 2, \dots, n$; $k=1, 2, \dots, m$) と表す。

(2) 使用する半製品:

k 番目の切断パターンにおいて、製品の加工に切断された半製品を識別するために、次の 0-1 変数 y_{kj} を導入する。

$$y_{kj} = \begin{cases} 1, & k \text{ 番目の切断パターンで } S_j \text{ が使われるとき} \\ 0, & \text{そうでないとき;} \end{cases} \quad (23)$$

1つの切断パターンで1本の半製品紙管しか利用しないため、次式 (24) が成立する。

$$\sum_{j=1}^s y_{kj} = 1 \quad (24)$$

5.3 制約条件の定式化

k 番目の切断パターンが利用され、切断操作を行う回数が f_k であるため、獲得する製品の P_i の総本数は毎回の切断操作で獲得した本数の総和であり、これが注文数量以上でなければ顧客の注文数量を満たすことができない。ここから、注文量に関する制約条件を次のように定式化できる。

$$\sum_{k=1}^m z_{ki} f_k \geq R_{p_i}; \quad i=1, 2, \dots, n \quad (25)$$

また、1回の切断操作で1本の半製品を使い、利用できる半製品の本数は在庫数量を超えてはいけなないので、在庫量に関する制約条件を次のように定式化できる。

$$\sum_{k=1}^m f_k y_{kj} \leq Q_{s_j}; \quad j=1, 2, \dots, s \quad (26)$$

さらに、1本の半製品を使い、獲得できる製品の総寸法は、半製品の寸法より長くはならないから、寸法に関する制約条件を次のように定式化できる。

$$\sum_{i=1}^n z_{ki} p l_i + l_0 \leq \sum_{j=1}^s y_{kj} S L_j; \quad k=1, 2, \dots, m \quad (27)$$

5.4 切断ロス最小化問題の定式化

使われる半製品の総寸法と獲得できる製品の総寸法との差は切断ロスである。製品の寸法と数量が既知の入力データであるので、製品の総寸法は既知の数値である。このため、切断ロス最小化は半製品の総寸法の最小化に等価する。これで、切断ロス最小化問題の定式化を行い、次の通りである。

$$\text{Minimize } \sum_{k=1}^m f_k \sum_{j=1}^s y_{kj} S L_j \quad (28)$$

Subject to

$$\sum_{k=1}^m z_{ki} f_k \geq R_{pi}; \quad i=1, 2, \dots, n \quad (29)$$

$$\sum_{k=1}^m f_k y_{kj} \leq Q_{sj}; \quad j=1, 2, \dots, s \quad (30)$$

$$\sum_{i=1}^n z_{ki} p l_i + l_0 \leq \sum_{j=1}^s y_{kj} S L_j; \quad k=1, 2, \dots, m \quad (31)$$

$$\sum_{j=1}^s y_{kj} = 1; \quad k=1, 2, \dots, m \quad (32)$$

(意思決定変数: y_{kj}, z_{ki}, f_k)

5.5 問題の解法

式(28)～(32)の切断ロス最小化問題では、 y_{kj} が0-1変数、 z_{ki}, f_k が整数であるので、この問題は、整数計画問題であり、同様に本質的に組合せ爆発が避けられない組合せ最適化問題である。この問題の最適解または最良解を求めるためには、まず製品と半製品との組合せからすべての切断パターンを作成する必要がある。製品と半製品の種類が多くなるにつれ、非常に計算時間がかかる。

また、現場作業者の作業の容易さや半製品・製品運搬作業の要求など、いくつかの定式化できない要因を考慮する必要があるため、1つの最適解または最良解ではなく、複数の候補解を与えるのが望ましい。発見的アルゴリズムを提案し、ベテラン経験者のノウハウも取り入れて、素早く問題の実用解を与えるシステムを構築することは必要であると考え。詳細については、別報の論文にて紹介させてもらう。

6. 終わりに

本論文では、ある紙管製造工場の半製品選択利用と寸法決定問題を取り上げ、得られた成果を要約すると、次の通りである。

- (1) 実的な半製品最適利用のための意思決定支援システムの設計案を提案した。
- (2) 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に基づき、半製品最適寸法を決定するための数理モデルを構築した。通常の 1 次元切断ロス最小化問題では、原材料の寸法が与えられた前提条件であるに対して、提案したモデルは、原材料に相当する半製品の最適寸法を求めるものであり、通常の 1 次元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。
- (3) 切断ロスの最小化を目的関数として顧客の注文製品の加工に必要な半製品を最適に選択するモデルを構築した。通常の 1 次元切断ロス最小化問題のモデルに比べて、提案したモデルでは、原材料に相当する半製品の寸法が 1 通りではなく、寸法の異なる複数の半製品を考慮したため、組合せの数がさらに増えて、効率的な発見的アルゴリズムや経験者の知識を取り入れたアプローチの提案が要求される。

参 考 文 献

1. 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. 691-706 (1992).
2. Bischoff, E.E. and Wascher, G.: "Special Issue: Cutting and Packing", *European Journal of the Operational Research*, Vol. 84 (1995).
3. 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).
4. 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).
5. 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).
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. Wang, P.Y.: "Two Algorithms for Constrained Two Dimensional Cutting Stock Problems", *Operations Research*, Vol. 31, pp. 573-586 (1983).
10. 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).