

厚板シャーリング業における 板取りについて

榎原 一好, 榎 保夫, 徳山 博子

1. まえがき

在庫している厚板原板（以下単に原板と呼ぶ）より需要家の注文に応じて所定寸法の矩形製品を所定枚数切出すために厚板シャーリング工場では平行切断機および小形切断機（ポータブルプレーナ）を用いている。この厚板シャーリング工場において、原板選択とそれらの切断パターン決定とを行なって切断作業指示をすることを“板取り計算”と呼び、操業計画の基本としている。

この板取り計算は矩形取合せ問題（Rectangular Cutting-Stock Problem）に類別されるが①原板の寸法が多種類である。②平行切断タイプの切断パターン制約がある。③目的関数は歩留り作業能率等の複数項目からなる、などの点で特徴がある。また、厚板シャーリング工場の生産管理システムには一般に小～中規模コンピュータが採用されており、これを前提に短時間（数分）で求解可能なことが実作業上必要である。

上記要件を満たす実際的な解法として部分かぞえあげ法の考え方によるヒューリスティックな方法を開発し良好な実用結果を得ている。以下にその概要を報告する。

2. 板取り計算問題

2.1 厚板のシャーリング工程

厚板シャーリング工程の概略は図1に示してあるが、在庫置場より所定の在庫原板をクレーンにてとり出し（これを板出しと呼ぶ）、平行切断機（FP）まで搬送して固定し、FPに設置されているガストーチ群を所定切断パターンに対応する切断位置に位置決めした後トーチに着火し、FPを移動させることによって同時複数条の長さ方向切断（幅切りと呼ぶ）を行ない、その後この幅切りされた厚板をポータブルプレーナ（PP）作業場に移して作業者による罫書きとPPによる幅方向の条毎の切断（長さ切りと呼ぶ）を行なって注文寸法の製品を切出し、これらを仕分けして出荷する。なお、注文は造船、橋梁、鉄骨、建設、機械産業などの関連の需要家からの比較的小サイズで多種の寸法・枚数のものからなる。

2.2 板取り計算問題の概要

注文は「規格、板厚、幅、長さ、枚数」で指定され、これらを規格・板厚でグルーピングし、各注文グループ別に板取り計算を行なう。このため各グループを“板取りチャンス”と呼ぶことがある。また一方、在庫原板は「規格、板厚、幅、長さ、欠落部幅・長さ・枚数」で管理され、規格・板厚別にグルーピングされている。

板取り計算とは、各注文グループ別に、該当する規格・板厚の原板グループより適正な原板を選

かしわら かずよし ㈱シャーリング工場

〒592 堺市築港新町3-36

かたぎ やすお, とくやま ひろゆき 住友金属工業㈱

択し、その切断パターンを以下の条件を満たすように決定する問題であるということが出来る。

- (1) 注文の指定枚数を満たすこと
- (2) 切断パターン決定については切断作業の能率確保を極力図ることとし、FPによる長さ方向の同時平行切断の比率を最大に、罫書きパターンをシンプルにする切断パターンを優先するものとする。(図2参照)

- (3) 選択された複数の在庫原板全体(以下チャンス全体という言い方をする)について、①歩留り最大(すなわちクロップロス最小)、②2次原板の発生最小、③作業性改善、などの相競合する多項目の目的を工程の状況に応じて適正にバランスさせるものとする。具体的には3つの目的の荷重和を最小とするが、それらのウェイトの変化は生産状況が繁忙な時は作業性改善が優先され、閑暇となると歩留り最大が優先されることにな

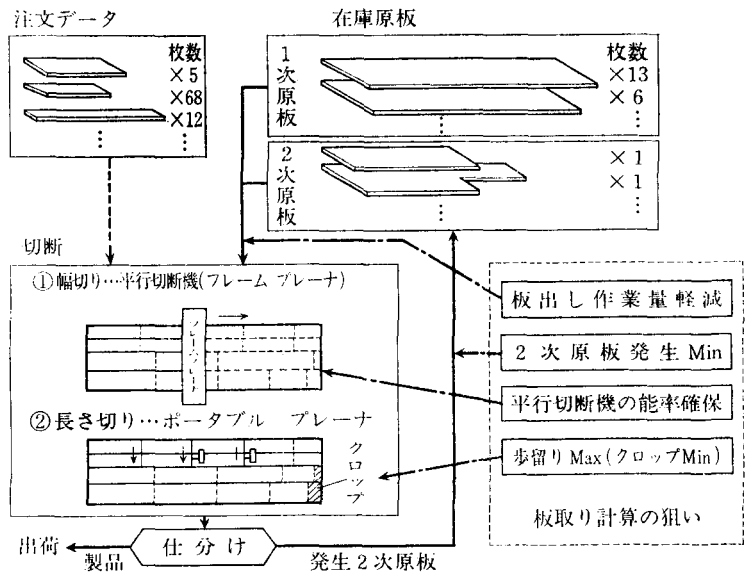


図1 厚板シャーリング工程の概略

り、また2次原板在庫の増大が問題視されてくると2次原板発生抑制が強調されるなどの事情にある。

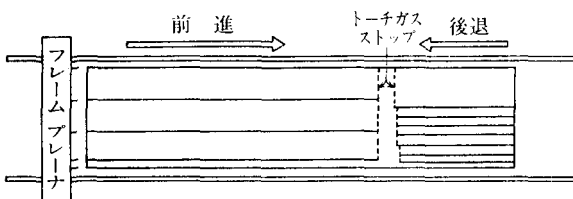
上記問題の特徴は次の3点に要約することができる。

- ① 原板選択と2次元切断パターン決定とが一体となった問題である。原板は多いときはサイズ種類100種、枚数合計150枚、又欠落部があって完全な矩形をなさないものもあり、この問題は多種類でしかも枚数制約のある原板に対する多種類の注文(サイズ種類最大50種)の取り合せを行う規模の大きい問題である。
- ② 平行切断機による効率的切断が可能な切断パターンを優先する条件が課されており、従来の研究のほとんどが前提としているギロチンタイプ切断の場合と異なる。
- ③ 目的がクロップロス最小だけでなく作業性などを含めた多項目からなる。

3. 板取り計算問題の解法

3.1 解法の骨子

分岐限定法と部分かぞえあげ法とを併用した



板取りパターンによる作業能率の良否

	良 F.P.切断	否 F.P.切断
切断作業能率		
罫書作業能率		

図2 平行切断機(フレームプレーナ)による切断作業

以下の概念からなるヒューリスティック解法を採用する。

① 原板選択と切断パターン決定とを逐次行なって原板1枚ずつの板取り決定を進めていってチャンス全体の解を求める。ただし、この過程で最適解への接近をはかるため次の工夫を折込む。

a) 原板選択は枚挙法をとり、これに歩留り良く注文が取り合せられるか否かでその原板の採否を決めるが、極少量の計算で適正な原板に到達するようにその枚挙順は注文内容により変えることとする。

b) 幅、長さが特に大きな注文を早期に優先して取り合せることにし、他の注文との抱合せの可能性を確保して歩留り向上を狙う。

c) 平行切断機による切断パターン条件に対応する方法として、注文を幅によりグループ分けして個々の幅グループ内では長さ方向の1次元取り合せを行ない、また幅グループ間では幅方向の1次元取り合せを行なう2段階法をとることとする。

② ①で得られた結果をチェックし、注文の取り合せ優先順を変更し再度①の処理をくりかえす。この手順を所定回くりかえして複数個の解を得、これらのうちから目的関数値 Y の最大を与えるものを決定解として採用する。ただし、チャンス全体での歩留り、使用原板枚数、2次原板発生枚数をそれぞれ Y_1 、 Y_2 、 Y_3 として、 Y を次式で与える。

$$Y = \alpha \cdot Y_1 + \beta \cdot Y_2 + \gamma \cdot Y_3$$

なお、 α 、 β 、 γ (ただし、 β 、 $\gamma \leq 0$) は荷重パラメータである。

手順の全体を図3に示し、以下にその詳細を述べる。

3.2 解法ロジック

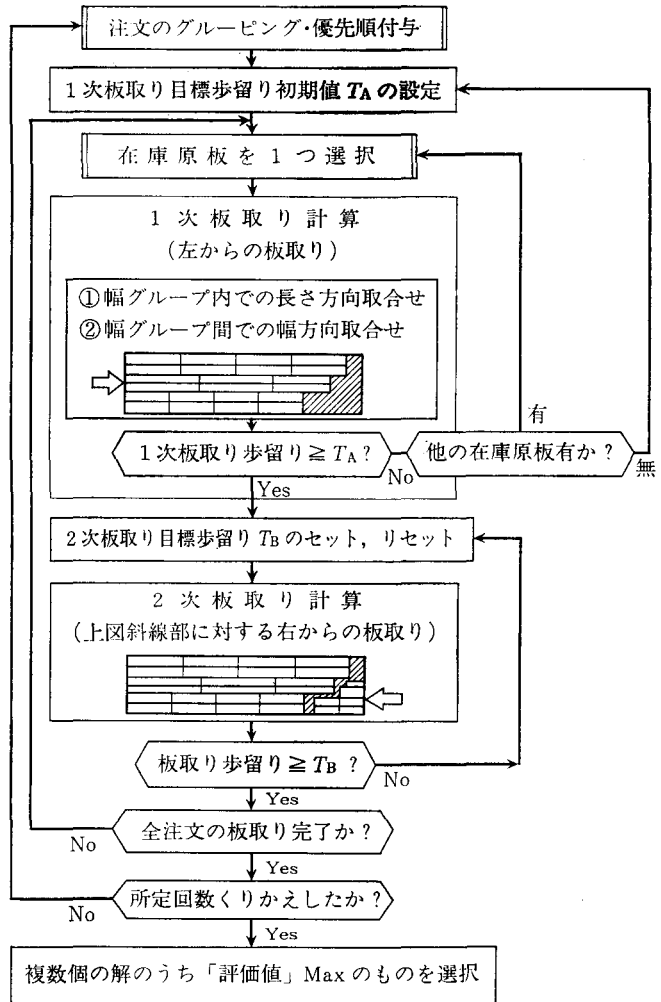


図3 解法ロジックフロー

A. 注文のグルーピングと優先順の付与

注文群を幅単位にグルーピングし、これら幅グループに対し幅の大から小の順に取合せ優先順をつけ、また幅グループ内では注文を長さの順に大きいものから小さいものへと並べておく。これは後で行なう原板選択や切断パターン決定のさいに取合せ候補を選ぶさい、幅、長さが特に大きい注文はこれを後まわしにして取り合せを進めてゆくとすると、チャンスの後半で大幅な歩留り低下をひきおこしやすいという経験則にもとづいている。なお、上記の幅グループ編成においては注文の幅と長さの入れ替え (すなわち90°回転) により幅

グループの統合が可能か否かを総当り法でチェックし、可能ならばそれを行なっておく。

B. ロジックパラメータの設定

板取りパターン選択の決定のための歩留り値に対する閾値 T_A 、 T_B 、罫書き作業優先フラグ F_D を次のように定義する。

T_A ；平行切断機の前進切断に対する切断パターン決定を行なう1次板取り計算において今注目している原板（以後当該原板と呼ぶ）に対する1次板取り計算に関する閾値であり、当初、たとえば $T_A=95\%$ と設定し後のくりかえし計算において順次低い値に再設定することとし、これにより前進切断と後進切断との比重を逐次変えて板取り計算を行なうことにする。

T_B ；2次板取り計算に対する閾値であり、極力歩留りの良い2次板取りパターンを探索するくりかえし計算に使用される。当初、たとえば $T_B=95\%$ と設定し以後順次低い値に再設定する。

F_D ；罫書き作業の重みづけパラメータであり、罫書き作業軽減が重視されるときはあらかじめ $F_D=1$ （そうでなければ $F_D=0$ ）と設定する。

C. 在庫原板選択

次のルールにより原板の取り出しを行なうものとする。

①取り合せチャンスの始めで注文が多量にある場合は大サイズの原板より順に取り出すこととし、使用原板枚数抑制と歩留り確保とを狙う。

②取り合せチャンスの後半で注文の残量が少なくなった場合もしくはもともと注文量が少ない場合は、注文量に見合った小サイズの原板より順に取り出す。もちろんこのとき残っている注文の最大寸法のものより大きいサイズの原板に限る。

D. 板取りパターン決定

1次および2次板取り計算の2段階の手順で板取りパターンを決定する。

(D-1) 1次板取り計算

平行切断機の前進切断に対する切断パターン、すなわち、左からの板取りパターンの決定を行なうものであり、次の方法で進める。

a) ストリップの生成——幅グループ別の長さ方向1次元取り合せ

各幅グループ g の各々について、そのグループに含まれる注文を長さ方向に組み合わせてストリップの集合 S_g を図4に示す考え方により生成する。すなわち、罫書き作業の重みづけパラメータ $F_D=0$ であれば歩留り優先として当該原板長に対して長さ方向の歩留りMaxのストリップを優先的に生成させる。 $F_D=1$ であれば、ある程度の長さ方向歩留りが確保できるなら多数条採れるストリップの方を優先して生成させる。

b) ストリップの幅方向取り合せ——幅グループ同士の幅方向1次元取り合せ

① 上で生成された集合 S_g に属するストリップを当該原板の幅に対して幅方向に取り合せ、1次板取り歩留りが T_A 以上となるものを探索する。

② 上記①で条件を満たすストリップの取り合せ（すなわち1次板取り結果）が得られない場合は他の原板選択をすとして原板選択Cへもどる。また、他の原板がないならば T_A をリセットして最初からの原板選択をくりかえす。

(D-2) 2次板取り計算

平行切断機の後退切断に対する切断パターン（以下右からの板取りと呼ぶ）に対する切断パターンの決定を行なうものであり、a) 1次板取り計算結果による未使用領域の確定、b) 2次板取り計算（未使用領域から抜き出し可能な矩形領域を対象に1次板取り計算と同様の方法で行なう）、の順序で行なう。

E. チャンス全体の板取り結果の判定とくりかえし計算

残注文がまだ存在していれば、それらに対して上記の一連の処理をくりかえす。ところで、手順

Aで述べた経験則による注文の取り合せ優先順はどのような注文構成に対しても適正であるとの保証はない。そこで、ここで得られた解をもとに優先順の変更を試みる。すなわち、早く取り切られた注文は実はそれと組み合わせることのできる他の注文があったわけであり、チャンスの最後まで残された注文は、逆に、これと良好な歩留りで組み合わせることのできる注文が乏しかったと考えることができる。この考え方にもとづき、注文の取り合せ優先順を一部設定しなおし、チャンス全体の板取り計算を改めてやり直す。

F. 最良解の採択

上で得られた複数個の“チャンス全体の板取り結果”のうちで目標関数値Yが最大のものを最良解とし、これをもって板取り計算の解とする。

4. 適用結果

4.1 数値計算

板取り計算の解法ロジックをFORTRAN言語にてプログラミングし(主要部約1000ステップ)表1で与えられる板取り計算の例題について計算した結果を図5に示す。図には、目的関数パラメータおよび野書き作業重みづけパラメータを変化させて得た3種の結果が示してある。(1)は歩留りmaxを重視した結果であり、野書き作業性、切断能率および板出し作業量の面では悪いといえ、(2)は作業性のウェイトを重くした結果であり、歩留りは若干低下するが野書きや切断の作業能率の良い切断パターンが得られ、板出し作業量も使用原板枚数7から6へと減っている。また、(3)は板出し作業量minを特に重視したものであり、使用原板枚数5となったが、歩留り等の他の目的指

① 歩留り優先ルール

当該原板長に対し、長さ方向歩留りMaxのパターンを優先

② 野書き能率配慮ルール

ある程度長さ方向歩留りが良ければ、多数条採れる(注文構成上)パターン優先

[例]

注文データ

No.	幅	長	枚数
1	30	630	2
2	〃	530	7
3	〃	450	2
4	〃	420	7
5	〃	320	15
6	〃	270	6
7	〃	200	5

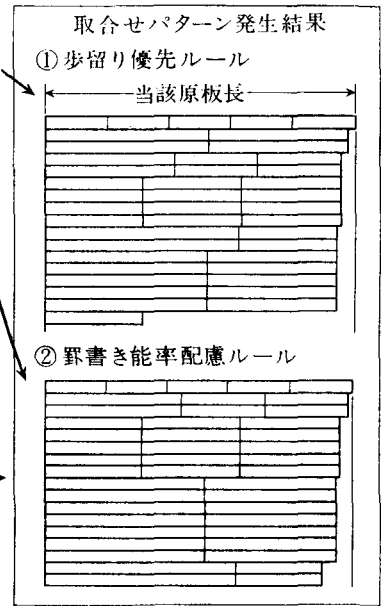


図4 ストリップ生成の事例

標が悪化している。実際上は(2)の結果が最も望ましい解であって、(2)でのパラメータ値を実用することとしている。

4.2 実用結果

厚板シャーリング工場の実問題に本解法を適用した場合の板取り計算の実施状況を表2に示す。1回当りの注文と在庫原板の種類は大きささまざまであり、当日の受注構成や在庫状況によって変化するが、平均的にはそれぞれ8,24である。計算時間はACOS77 S300(日本電気製中型コンピュータ)でほとんどの場合数分以内であり、実用上問題はない。この計算時間と注文種類・原板種類との関数関係を見いだすことは困難であり、当然のことながら注文や原板の寸法構成により大きく左右される。

なお、実操業における運用においては、本解法が近似解法であることから、計算結果をコンピュータよりいったん図形出力し、熟練者が確認(場合により一部修正)の上で作業指示する方法を採用している。

5. まとめ

厚板シャーリング工場の板取り計算問題とその解法について述べ、本解法が良好な解を短時間で算出し得ることまたパラメータ変更により多様な解を算出し得ることを数値例で示した。本解法の開発に当っては実用性重視の考えに立ち、当初より現場熟練者と実データをもとにした討議をくりかえし、かなりの試行錯誤の後に完成したものである。実用してすでに6年を越えるが、その後の経済状況の変化等にも比較的柔軟に対応して十分その機能を果たしている。なお近年のCAD/CAM関連機器のいちじるしい発達を取り込んだシステムの改善をもっか検討中である。

参考文献

[1] 徳山博子, 上野信行: 鉄鋼業における材料取合せの研究, Proceedings of the 1st Mathematical Programming Symposium, Japan (1980)

[2] 徳山博子, 樫保夫, 他: 厚板の最適板取計算センターについて, 鉄と鋼, Vol. 66 No. 4, S389 (1980)

[3] P. C. Gilmore, R. E. Gomory: A Linear Programming Approach to the Cutting-Stock Problem PART II, Operations Research 11 (1963), 863

表1 板取り計算例題

注文 在庫原板

幅	長	枚数	欠落部		枚数		
			幅	長			
540	540	18	3000	15000	0	0	1
490	490	16	3000	6949	0	0	2
440	490	8	3000	6023	0	0	10
373	373	2	3000	5598	0	0	5
200	2076	4	3000	5652	0	0	5
200	2070	4	3000	13000	0	0	1
200	2000	10	3000	12200	0	0	1
200	1406	2	2500	4849	0	0	1
200	1400	2	2500	5019	0	0	5
200	1303	2	2500	1300	0	0	1
200	1225	2	2400	4522	0	0	8
200	1220	6	2400	12200	0	0	1
200	1218	8	1160	3300	0	0	1
200	1079	3	1750	4080	0	0	1
200	1078	3	2200	5800	0	0	1
200	1075	3	3000	3170	0	0	1
200	911	3	1320	4350	0	0	1
200	905	13	3000	1340	0	0	1
200	903	13	1050	8000	0	0	1
200	900	26	914	4080	0	0	1
200	875	2	2420	5600	0	0	1
200	650	4	3000	3100	0	0	1
200	607	4	3000	2950	0	0	1
200	600	4	1590	4400	0	0	1
200	95	4	1070	4700	0	0	1
876	1026	8	3000	3000	0	0	1
828	1225	5	3000	2100	0	0	2
401	836	2	2850	3000	0	0	1
300	3000	12	940	2500	0	0	1
300	1850	2	2300	1780	0	0	1
300	1700	2	2400	3100	0	0	1
300	1689	18	1900	2380	0	0	1
300	1344	6	1130	5350	0	0	1
300	920	16	3000	4200	0	0	1
300	828	3	1300	10900	0	0	1
200	1179	24	2300	5150	1100	1200	1
200	1119	4	2500	2440	810	750	1
200	1025	140	2440	4300	900	800	1
200	877	24	930	2100	500	510	1
200	828	108	3000	12200	1170	8700	1
144	826	28					
141	826	14					

原板

欠落部

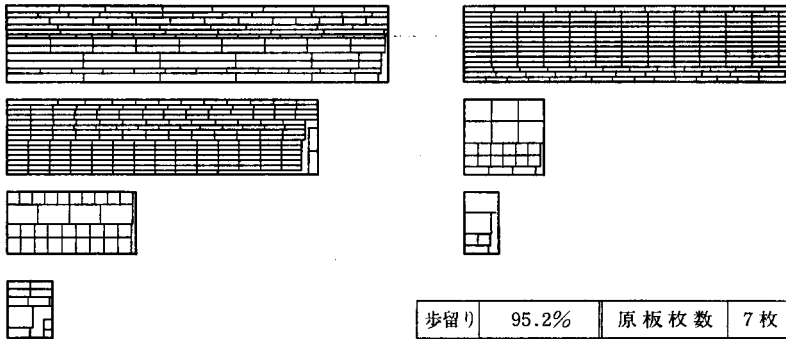
[4] A. I. Hinxman: The Trim-Loss and Assortment Problems-A Survey, European Journal of Operations Research, Vol. 5 (1980), 8

表2 板取り計算の実施状況

実施状況			計算時間(例)			
板取計算回数	平均18回/日		No	注文種類	原板種類	計算時間
1回当りの注文・原板種類数	注文	種類	1	5	23	47秒
		枚数	2	27	5	1分44秒
	原板	種類	3	19	34	1分33秒
		枚数	4	42	40	1分59秒

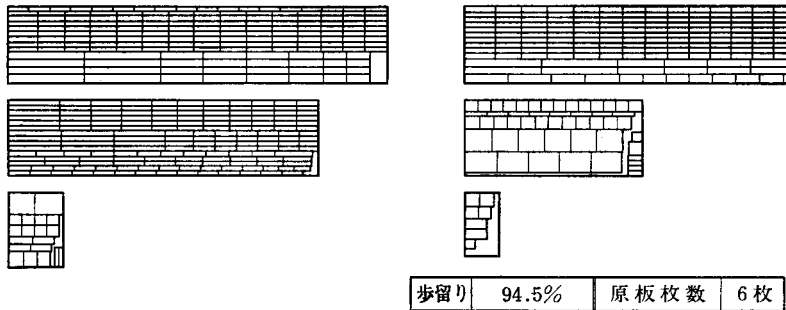
計算結果-(1)

狙い 歩留りMax



計算結果-(2)

狙い 歩留りMaxかつ郵便書作業軽減



計算結果-(3)

狙い 歩留りMaxかつ板出し量抑制

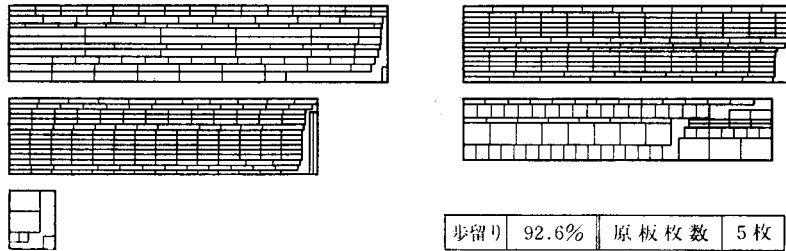


図5 板取り計算結果

[5] P. Y. Wang: Two Algorithms for Constrained Two-dimensional Cutting Stock Problem, Operations Research, Vol. 31 (1983), 573

[6] J. E. Beasley: An Algorithm for the two-dimensional Assortment Problem, Department of Management Science, Imperial College, London, SW7 2BX, England (1983)