

# 鉄鋼業における材料取合せ問題

徳山博子・上野信行・豊田武彦

## 1. 緒言

鉄鋼業は受注生産方式を基本としており、需要家から種々の注文を受け、まず本社で要求される注文仕様の製造可否をチェックした後に製造所へ製造指示がなされる。製造所では、これら注文の製造仕様が同一なものをロット編成し製鋼—圧延—精整の各工程の生産設備に効率よく適合させて

能率と歩留とを確保して製造コスト低減を図ることが重要である。このロット編成の方法は工程によって異なり、たとえば製鋼工程では材質成分や溶製法など、また圧延工程では断面寸法などの区分で行なわれる。

このように注文の個別性を守り、しかも生産設備のマシプロ性を発揮させるためにコンピュータによる生産管理システム(図1)が開発されている。

本稿ではコンピュータによる上記ロット編成(以下“材料取合せ”という)のロジックについて報告するものである。従来から「材料切断問題」

とくやま ひろゆき, うえの のぶゆき 住友金属工業  
中央技術研究所 制御技術部 OR技術室  
とよだ たけひこ 同 鹿島鉄鉄所 システム部

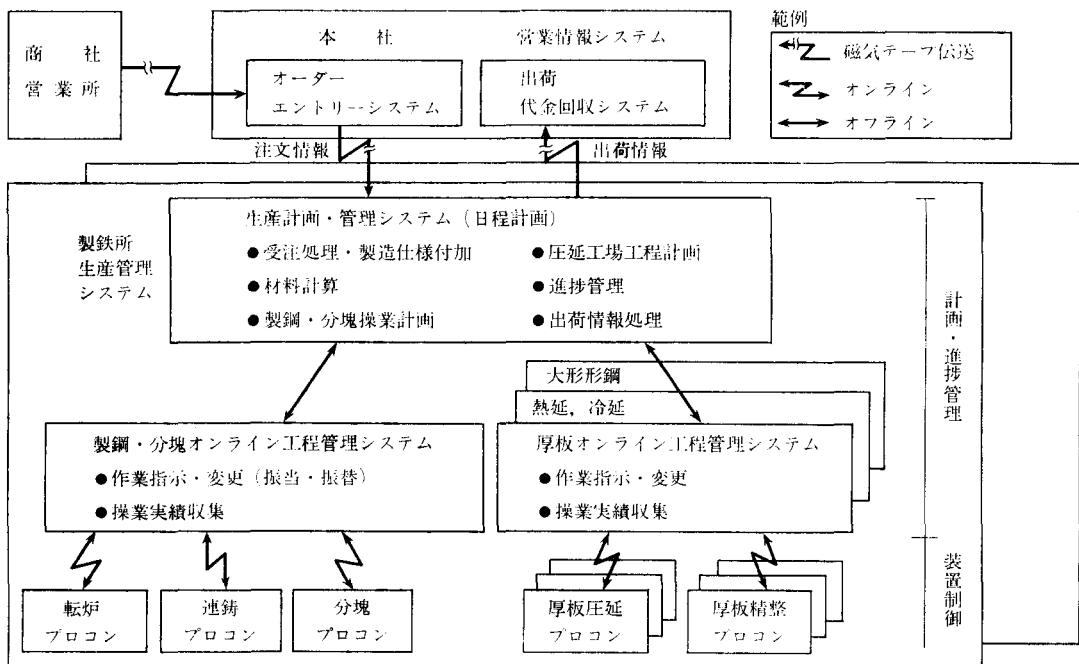


図1 本社営業情報システム・製鉄所生産管理システムの概念

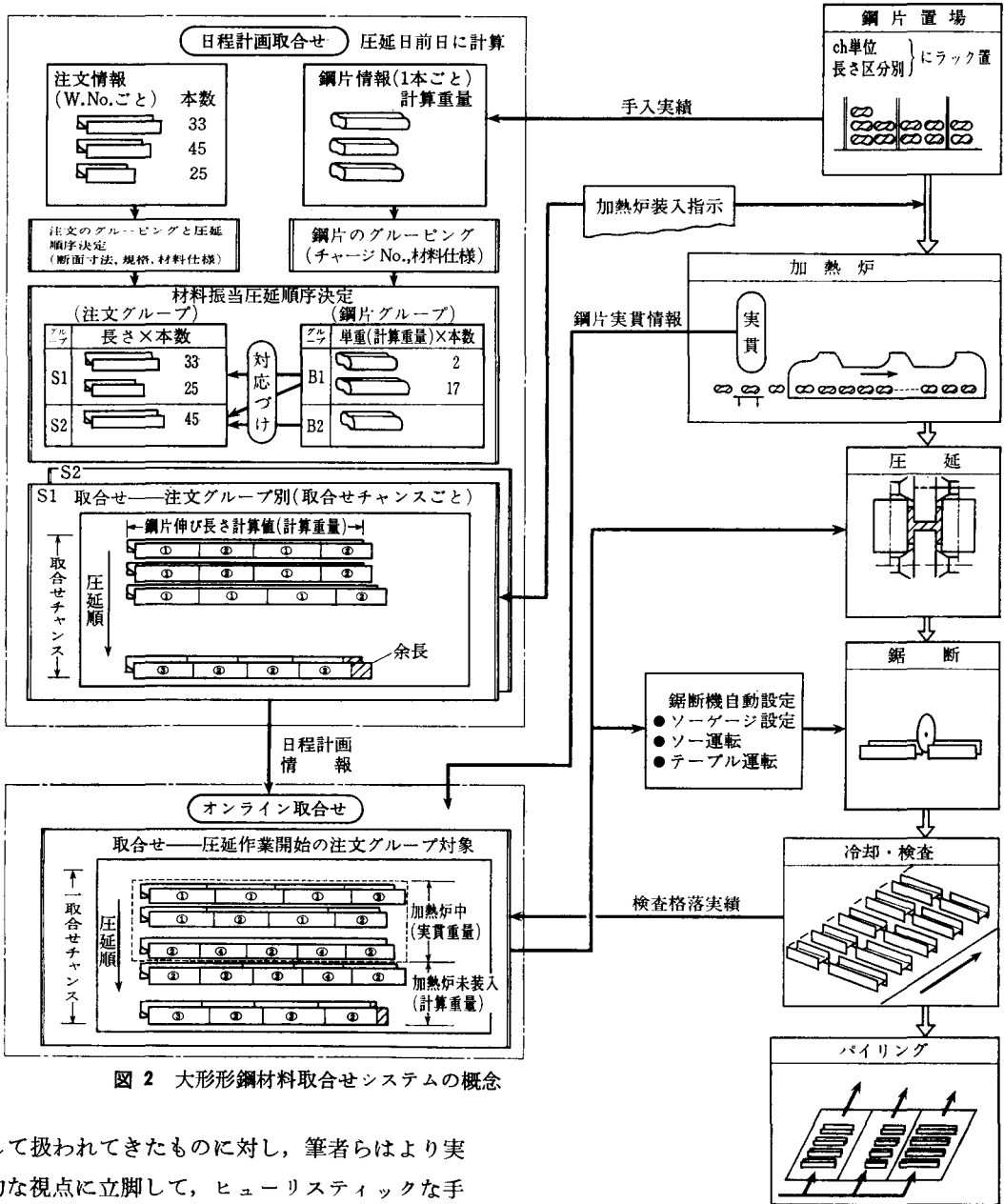


図 2 大形形鋼材料取合せシステムの概念

として扱われてきたものに対し、筆者らはより実際の視点に立脚して、ヒューリスティックな手法ではあるが非常に実用性の高いアルゴリズムを開発した。今回は1次元問題である大形形鋼の材料取合せについて報告する([1][2][3][4]参照)。

## 2. 大形形鋼材料取合せ

### (1次元取合せ問題)

#### 2.1 大形形鋼取合せシステムの概要

1983年2月号

大形形鋼取合せシステム(図2)は、成品の規格、材質の種類が比較的少ないことを利用して、材料請求時点より素材と注文との対応づけを行わず、

(i) 操業に入る前(通常、圧延日前日)に、手入済鋼片の計算重量を用いて注重量を確保するに必要なかつ十分な鋼片本数を決定し加熱炉装入指示を

行なう「日程計画取合せ」をし、

(ii) さらに加熱炉に装入された鋼片を対象に、これらの実貫重量値により (i) の内容を修正する「オンライン取合せ」を行なう新しい方式を採用している。

以下処理概要につき順を追って説明する。

## 2.2 日程計画取合せ

### (1) 材料振当・圧延順決定処理

#### a. 注文のグルーピング

製造断面寸法、材料仕様(規格、材質)の同一な注文をロット集約する。これが取合せ計算の単位(取合せチャンスと呼ぶ)となる。

#### b. 鋼片のグルーピング

鋼片置場では、鋼片をチャージ単位かつ長さ区分ごとにラック置きに管理しており、この単位で作業指示をすることが作業性によい。そこで鋼片データをこの単位に整理しておく。

#### c. 材料振当・圧延順決定処理

注文グループと鋼片グループとの材料仕様のマッチングをチェックし、重量ベースの対応づけと注文のグループの圧延順と鋼片グループの加熱炉装入順序とを決定するものであり、次の条件を考慮して実施する。

①材料仕様のマッチングとオーバーグレード防止

②鋼片置場の作業条件—鋼片はチャージ単位に使うこと、また同一チャージ内では短い鋼片を優先して加熱炉に装入すること。

材料振当・圧延順決定ロジックの概略を図3で例題に沿って述べる。

〔処理A〕材料振当可否マトリックス作成

材料仕様のマッチングをチェックして振当可否を判定する。

〔処理B〕材料振当計算

たとえば注文グループ  $S_i$  に鋼片グループ  $B_j$  が振当可であれば、その振当量を  $x_j^i$  とし、下式を満たす解を求める。

$$\sum x_j^i + y^i = a^i \quad i=1, \dots, 5$$

$$\sum x_j^i + z_j = b_j \quad j=1, \dots, 5$$

$$x_j^i, y^i, z_j \geq 0$$

$$\sum_{i,j} \alpha_j^i \cdot x_j^i + \sum_i \beta^i \cdot y^i + \sum_j \gamma_j \cdot z_j \rightarrow \min$$

ただし、 $a^i$  ;  $S_i$  の鋼片必要量  $b_j$  ;  $B_j$  の鋼片重量  
 $y^i$  ;  $S_i$  の鋼片不足量  $z_j$  ;  $B_j$  の鋼片余剰量

$\alpha_j^i$  ;  $S_i$  に対する  $B_j$  のオーバーグレード度

$\beta^i$  ;  $S_i$  の鋼片不足発生ペナルティ

$\gamma_j$  ;  $B_j$  の鋼片余剰発生ペナルティ

線形計画法によって解を求めるが、解は1つではなく、それらの解のある規準に沿って逐次求めそれらの各々につき処理を行なう。

〔処理C〕圧延順序決定処理

鋼片をグループ単位にまとめて使用できるようにまず上で与えられた解の修正を行なう。これは図3の処理C①→②に示すように、注文グループの  $S_2$  と  $S_4$  の双方に対して鋼片グループ  $B_2, B_3$  の双方ともが分割されて振当てられているような場合、この分割数が最小となるように振当ての構成を変更するものである。

次にこの結果をもとに、鋼片グループが極力まとまって使われるように注文グループおよび鋼片グループの圧延順序を調整する。結果を図3処理C③に示す。

〔処理D〕最良解の選択

複数個の処理Cの結果のうち鋼片グループの分割使用  $\min$  のものを採択する。

### (2) 取合せ

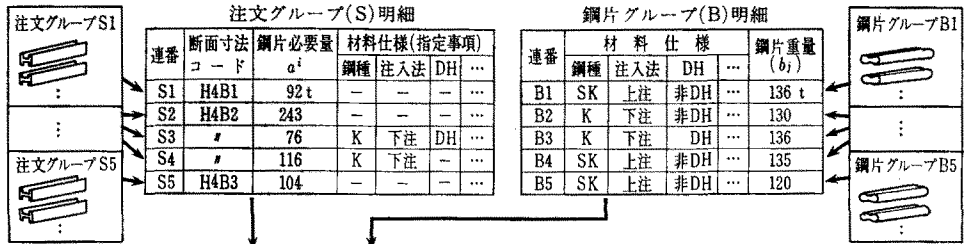
上で決定された鋼片の圧延順序とそれら鋼片の計算重量による圧延伸び長さ計算値とにもとづいて、注文グループ別(取合せチャンス別)に注文を組合せて鋼片1本ごとへの対応づけ(狭義の「取合せ」)を行なう。

#### a. 取合せ条件

注文明細と鋼片明細とが表1のように与えられる。取合せ条件としては次のものがある(図4)。

#### ①計画歩留最大化条件

次式で定義される歩留を最大にする。



処理A 材料振当可否マトリクス作成  
 範例 { ○:適用可, ×:適用不可 }

注文グループ連番	鋼片グループ連番	鋼片必要量	B1	B2	B3	B4	B5
	鋼片重量	t	136	130	136	135	120
S1	92 t		○	○	○	○	○
S2	243		○	○	○	○	○
S3	76		×	×	○	×	×
S4	116		×	○	○	×	×
S5	104		○	○	○	○	○

処理B 材料振当計算  
 $x_j$  を求める解は1つではない

注文グループ連番	鋼片グループ連番	鋼片必要量	B1	B2	B3	B4	B5
	鋼片重量	t	136	130	136	135	120
S1	92 t		$x_1^1$	$x_2^1$	$x_3^1$	$x_4^1$	$x_5^1$
S2	243		$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$x_4^2$	$x_5^2$
S3	76		-	-	$x_3^3$	-	-
S4	116		-	$x_2^4$	$x_3^4$	-	-
S5	104		$x_1^5$	$x_2^5$	$x_3^5$	$x_4^5$	$x_5^5$

処理C ① 処理Bの1つの解  
 ② 解の修正 - 振当分割数 min.

注文グループ連番	鋼片グループ連番	鋼片必要量	B1	B2	B3	B4	B5
	鋼片重量	t	136	130	136	135	120
S1	92 t		(92)	0	0	0	0
S2	243		(44)	(44)	(30)	(125)	0
S3	76		-	-	(76)	-	-
S4	116		-	-	(86)	(76)	-
S5	104		0	0	0	(10)	(94)

処理C' ① 処理Bの別の解  
 ② 解の修正  
 ③ 圧延順序調整

注文グループ連番	鋼片グループ連番	鋼片必要量	B1	B4	B2	B3	B5
	鋼片重量	t	136	135	130	136	120
S1	92 t		(92)	0	0	0	0
S2	243		(44)	(135)	(64)	(135)	0
S4	116		-	-	(66)	(50)	-
S3	76		-	-	-	(76)	-
S5	104		-	-	0	(10)	(94)

③ 圧延順序調整 - 鋼片グループをできるだけまとめて使用する

注文グループ連番	鋼片グループ連番	鋼片必要量	B1	B4	B2	B3	B5
	鋼片重量	t	136	135	130	136	120
S1	92 t		(92)	0	0	0	0
S2	243		(44)	(125)	(14)	(60)	0
S3	76		-	-	-	(76)	-
S4	116		-	-	-	(116)	0
S5	104		0	(10)	0	0	(94)

鋼片余剰量

鋼片グループ連番	鋼片重量	余剰量
B1	136	0
B4	135	0
B2	130	0
B3	136	0
B5	120	(26)

処理D 最良解の採択

注文グループ連番	鋼片グループ連番	鋼片必要量	B1	B4	B2	B3	B5
	鋼片重量	t	136	135	130	136	120
S1	92 t		(92)	0	0	0	0
S2	243		(44)	(125)	(14)	(60)	0
S3	76		-	-	-	(76)	-
S4	116		-	-	-	(116)	0
S5	104		0	(10)	0	0	(94)

処理Cの解  
 B4, B2のチャージは連続でなく2回に分けて加熱炉装入せざるを得ず不可。  
 処理C'の解  
 どの鋼片グループもまとめて使用でき可→採択

図3 材料振当・圧延順決定ロジック

歩留  $\equiv \Sigma$  (注文長さ) /  $\Sigma$  (所要鋼片伸び長さ)

② パイリングベッド (PB) の作業性条件

一度に取合せる成品長さ種類はPB台数以下でなければパイリング作業が混乱する。

③ ホットソー (HS) の作業能率条件

HSネックによる圧延ピッチダウン防止のため、(i) 切断レンジの異なる2台のHSの切断回数を均一化する。(ii) 鋼片1本当りの切断回数を均一化する。

④ 冷却床 (CB) 積載効率条件

幅30mの冷却床全面の有効活用を図るべく長短の成品を組合せ2列冷却を行なう。

表1の例に対する取合せ結果 (PB台

表 1 材料取合せの例題

注文(W)明細		
注文仮 No.	長さ (m)	必要本数 (本)
W 1	12.03	63
W 2	11.03	68
W 3	10.02	75
W 4	9.02	85
W 5	8.02	95
W 6	7.02	80

鋼片(K)明細			
鋼片仮 No.	圧延順序	圧延伸び長さ (m)	本数 (本)
K 1		82.38	2
K 2		84.73	2
K 3		87.08	4
K 4		89.43	5
K 5		91.77	3
K 6		94.12	3
K 7		94.12	38

ただし圧延伸び長さは、鋼片の手入後重量よりの計算値

数 2 台の場合) を表 2 に示す。1 本の鋼片の圧延伸び長さに対する注文の組合せ方のことを取合せパターンと呼んでおり、表 2 の取合せパターン No.1 は図 5 で図示される。

表 2

取合せパターン No.	圧延順序	鋼片仮 No.	圧延伸び長さ (m)	注文仮 No. 別 採取本数						成品部長さ (m)	余長 (m)	圧延本数 (本)	
				W1	W2	W3	W4	W5	W6				
1		K 1	82.38				2	8		82.22	0.16	2	
2		K 2	84.73				4	6		84.23	0.50	2	
3		K 3	87.08				6	4		86.23	0.84	4	
4		K 4	89.43				1	10		89.24	0.18	5	
5		K 5	91.77				3	1	8	91.25	0.51	1	
6		K 5	91.77						13	91.26	0.51	2	
7		K 5	94.12					1	12	93.26	0.85	3	
8		K 7	94.12					8	8	93.26	0.86	8	
9		K 7	94.12					5	4	93.25	0.86	1	
10		K 7	94.12					8	7	98.25	0.86	1	
11		K 7	94.12						8	98.25	0.86	1	
12		K 7	94.12						6	98.25	0.86	11	
13		K 7	94.12				6	1	1	93.24	0.87	1	
14		K 7	94.12				5	3		98.25	0.87	9	
15		K 7	94.12				7			84.22	9.89	1	
16		K 7	94.12				5	1		71.19	22.98	1	
注文仮 No. 別 (採取本数×圧延本数) 合計				63	68	75	85	95	80				
注文歩留 $\left( \frac{\sum \text{成品長さ}}{\sum \text{鋼片圧延伸び長さ}} \right) = 98.5\%$													

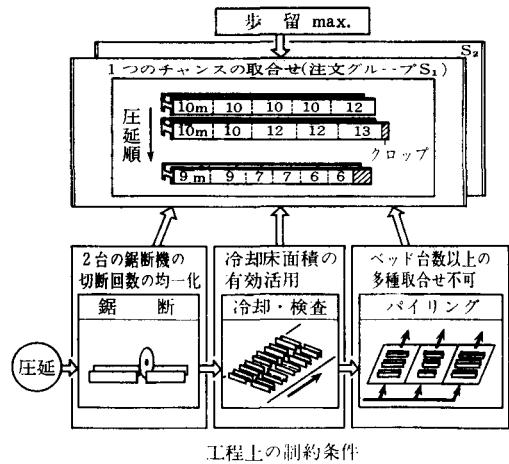


図 4 材料取合せ問題の概念

b. 取合せロジック

この取合せ問題のむずかしさは次の点にある。

- (i) 鋼片の圧延順は決まっており、それらの圧延伸び長さは大小さまざまである。
- (ii) P B の作業性より、一度に多数の注文を取合せてはならない。そこでどの注文を先に取合せてゆくかが歩留に大きく影響する。

厳密に最適解を求めようとすればすべての組合せを探索する必要がある、膨大な計算量となって

実際のでない。そこで図 6 に示すヒューリスティックな解法を採用している。

〔処理 A および A'〕  
注文の取合せ優先度の設定

注文のうち、長さまたは本数が特に大きいものを取合せチャンスの末尾まで残しておくとしてそれと組合せるべき他の注文がなくなって歩留が悪化することがわかっている。そこで初

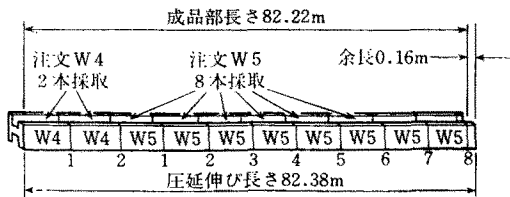


図 5 取合せパターン(例)

回それら注文を優先して取合せるとして一通り組合せチャンス全体の取合せ計算を行なう。そして得られた結果の中で大きな余長の出ている取合せパターンを調べ、それに含まれている注文の優先度をあげて再計算する。これを5~10回繰返すことによってよりよい注文の組合せを探索し取合せチャンス全体の歩留最大化を図っている。

〔処理B〕取合せ main 計算

- ① 圧延順に鋼片を1つ選び、
- ② 優先順に注文をPBの個数だけ選ぶ。ただし取合せ中(先行する鋼片ですでに一部取合せられた状態)の注文があればそれらを最優先とする。
- ③ 次に注文を組合せて余長 min の取合せパターンを下記手順により求める。
  - a) 当該鋼片の目標歩留Aの設定
  - b) 取合せパターンの生成—A以上の歩留とな

るものをすべて数えあげる。1つも得られなければAを所定分引下げて再度繰返す。

- c) 最適な取合せパターンの選択—複数個のパターンが得られていれば、HS作業能率、冷却床積載効率および注文残数状態による基準にもとづき1つを選択する。

④ 注文がまだ残っていれば①に帰る。

〔処理C〕最適解の選択

繰返し計算で得られた解のうち (i) 歩留 max, (ii) 歩留が大差ないなら作業能率のよいものを選ぶ。

(3) 計算例

各種ケースでの計算例を表3に示す。計算時間は2~5秒(IBM 370/158)である。

2.3 オンラインの取合せ

操業が開始され、当該取合せチャンスの鋼片が加熱炉に所定量装入されたところで、実貫重量をもとにオンライン取合せ計算が日程計画と同じロジックで行なわれる。オンライン取合せ計算も取合せチャンス単位に行なう。取合せチャンスによっては鋼片本数が多くて一度に加熱炉に入りきらない場合があるが、未装入鋼片については計算重

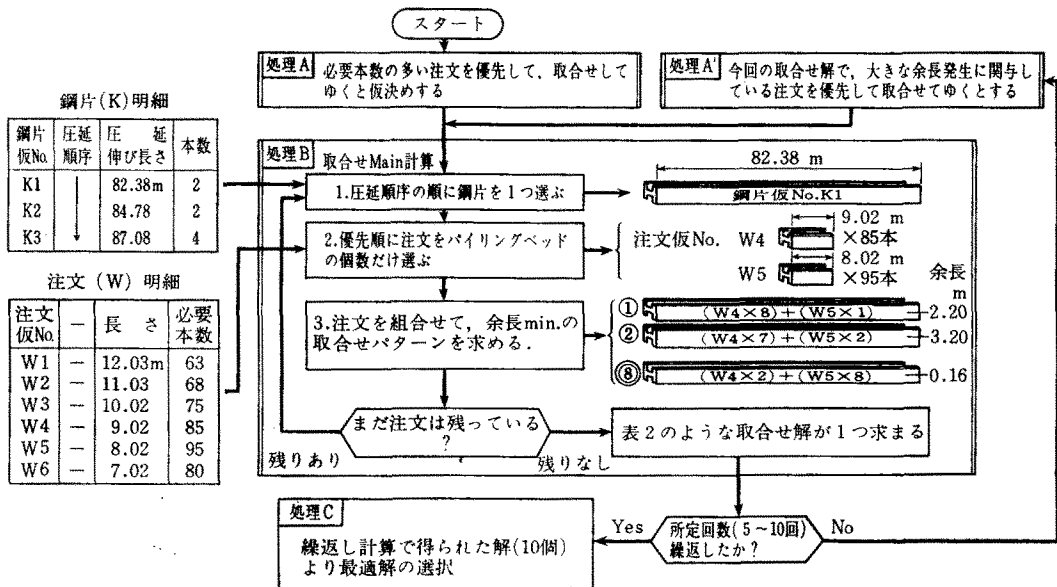


図 6 材料取合せロジック

表3 計算例

ケースNo.	注文種類	鋼片の種類	歩留 (%)
5	11	24	97.3
2	7	31	97.6
6	15	68	99.1
4	9	48	99.2
3	7	69	99.3

量を使用して計算する。これら未装入鋼片は圧延が進むにつれて逐次実貫され加熱炉装入されていくが、これらが所定本装入された時点で再度オンライン取合せ計算が実行される。未装入鋼片も含めて取合せチャンス単位に取合せ計算を行なうのは次の理由による。

- ①チャンス全体の歩留最大化
- ②精整工程 (HS, CB, PB) の作業能率のチャンス全体での安定化
- ③鋼片の過不足を予測し、鋼片の装入カットや追加装入指示の警告を事前に実施。

なお、本オンライン取合せ方式は画期的なものであり、生産管理用大型ビジョンと、これと有機的に結合したプロコン群からなる高度なオンラインシステムにより実現した。

### 3. 結 言

大形鋼材料取合せを例に鉄鋼業における取合せ問題を述べ、取合せロジックとその適用状況を報告した。

鉄鋼業の取合せ問題は鉄鋼業特有の生産形態に密接に関連しており、その特徴として、

- ①材料手配やライン作業の条件より、「取合せ」単独の形は少なく、「材料振当 (or 選択)」や「操業順序決定」と一体となる場合が多い。(問題の複雑性)
- ②単純に「歩留 max」だけではなく現場作業性確保も狙わねばならない。(多目的性)
- ③短時間に解を求め作業指示する必要がある。特にオンライン処理ができれば効果が高い。

などを挙げるができる。

これらの問題に対して筆者らは実際の立場から①複雑なモデル全体を一度に解くことをせず、たとえば材料振当と取合せとを分離したように、1つ1つの部分最適化を積み重ねる方法を採用し、②また取合せにおいては、まず素材1本1本の歩留最大化を求める逐次計算を行ない、その際の解の探索は作業性条件を満たす範囲に限定した。そして取合せチャンス全体の解が一通り求まると、次の注文の取合せ優先順序を変えて再計算を行ない、これを所定回繰返して得られた複数個の解のうちから評価値 max のものを選択することにより全体の最適化を計る、というヒューリスティックな近似解法を採用している。結果としては十分満足のいく解がリアルタイムで得られており、しかもこれらロジックは生産形態の変更等による制約条件変化にも比較的柔軟に対応できることもあって、実用性の面から適正なアルゴリズムを開発し得たと考えている。

末尾ながら、本研究に関して協力をいただいた住友金属工業株式会社、鹿島製鉄所、関係各位に深く謝意を表する。

### 参 考 文 献

- [1] 徳山博子, 上野信行: 汎用の1次元材料取合せプログラム(SCOOP), 第21回自動制御連合講演会予稿集, (1978), 391-392
- [2] 徳山博子, 上野信行: 鉄鋼業における材料取合せの研究, 第1回数理計画シンポジウム論文集, (1980), 95-104
- [3] Tokuyama, H, Ueno, N: The Cutting Stock Problems in the Iron & Steel Industries, OR 81: Proc. 9th International Conference on O. R. (ed. J. P. Brans), North-Holland Publishing, Amsterdam, 1981, 809-823
- [4] 徳山博子, 上野信行, 豊田武彦: 鉄鋼業における材料取合せの研究, 住友金属, 第32巻, 第3号, (1980), 197-216