

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vo2. (1970) No.1

鋼管・鋼帯製造における採寸システムについて

On Cutting System in the Plant of Steel Tubes or Sheets

阿部 俊男(Toshio Abe)

要旨：

鋼管・鋼帯などの製品寸法はますます多様化し、そのための採寸管理が非常に重要な問題になって来ている。そこで、一次元の採寸問題について、採寸アルゴリズムの設定、最適素材寸法の探索手順の開発を行ない、これらを基に機械計算プログラムを作成した。鋼管・鋼帯の製造に当たって生じたいくつかの問題にこれを適用し、合せて個々の事例に応じた採寸管理システムの設計を行なった。これにより素材寸法の統一、最適化による生産、品質、在庫などの諸管理方法の簡素化と、採寸歩止りの向上を実現することが出来た。ここにはプログラムの概要とその適用事例のいくつかについて述べる。

Synopsis：

The cutting problem has become more and more important in manufacturing steel products such as steel tubes or sheets. For the solution to one-dimensional cutting problems, the algorithm of cutting sequence and the procedure to search the optimum sizes of materials were developed. A computer program has been constructed on this basis. This program has been applied to some cutting systems of steel tubes and sheets to simplify the control systems of production, quality and inventory and also to decrease the cutting losses. This paper reports the outline of the program and some examples using this procedure.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

鋼管・鋼帯製造における採寸システムについて

On Cutting System in the Plant of Steel Tubes or Sheets

阿 部 俊 男*

Toshio Abe

Synopsis :

The cutting problem has become more and more important in manufacturing steel products such as steel tubes or sheets.

For the solution to one-dimensional cutting problems, the algorithm of cutting sequence and the procedure to search the optimum sizes of materials were developed. A computer program has been constructed on this basis.

This program has been applied to some cutting systems of steel tubes and sheets to simplify the control systems of production, quality and inventory and also to decrease the cutting losses. This paper reports the outline of the program and some examples using this procedure.

1. はじめに

製鉄業の製造工程を設計する際には、冶金学的な検討、設備上の検討などが行なわれるが、それらとともに、最終製品と素材・原料との間に横たわる採寸システムの検討もぜひ取上げねばならない。

採寸管理のいかんは歩どまり、作業能率を左右し、また品質管理、納期管理にも大きく影響する。ここでは製造工程中の採寸管理システムの位置について考察するとともに、最近当工場の鋼管、鋼帯の最適素材決定のために開発した最適探索プログラムの概要ならびにその効果について述べる。

2. 採寸管理システムについて

2.1 採寸問題について

鉄鋼業やその他の産業で生じる採寸問題を例示すれば **Table 1** のようになる。

これらの問題には **Table 1** に上げた採寸の次元数のほか、**Table 2** に示すような要因が関係しており、それぞれの場合に応じた種々の手法が考案されている。

2.2 採寸管理システム

採寸システムの例として条鋼圧延の場合を考えて見よう。その素材となる鋼塊、ビレットの製

* 西宮工場管理課

Table 1 Examples of cutting problem

Dimension in cutting	Cutting problems
Linear	Cutting of steel tubes, sheets, bars rails and etc.
2-dimensional	Cutting of steel hot plates. Corrugated paper schedule. Layout of plant. Sheet reservation in planes. Cutting of cloths
3-dimensional	Cargo shipping. Layout in building. Wood cutting
4-dimensional	Reservation of rental hall

Table 2 Factors related to cutting problems

Factor	Conditions
Finished products	Number of sizes is small or large Orders are temporary or continuous Pattern in orders Lot size
Raw materials	Fixed length or randomised Standard size or optional Connectable or not Number of sizes
Combination	Ratio between products and materials Combinatable between products Waste is salable or not
Other	Time lag to the cutting instruction Max/min size producible Sampling for inspection

造段階も含めた工程は **Fig.1** のようになっている。条鋼製品の長さは種々のものが要求され、これらを歩どまり良く鋸断するために採寸工程が設けられている。すなわち、条鋼圧延機を出た長尺品の長さをランアウトテーブルの適当な位置で計測し、製品リストから選んだいくつかの製品組合せを決定した後、採寸指示、ストッパー調整、鋸断を行なって次の精整工程へ製品を送り込む。この採寸指示をいかに速くかつ有効に出すかによって、製品歩どまり、ミル能率、精整能率、納期充足などが影響を受ける。このため鉄鋼各社において、オンライン・コンピューターの導入がさかんに行なわれている。

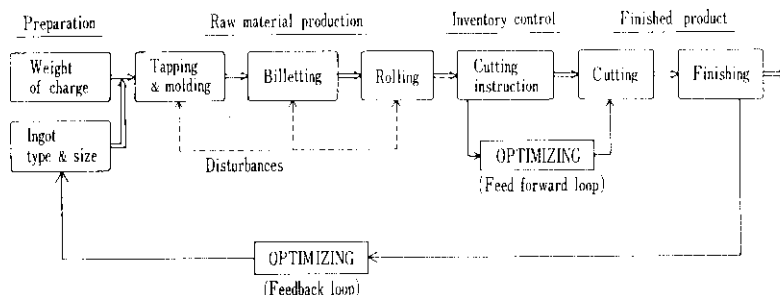
しかし、転炉での出鋼、造塊に始まる一連の流れの中で見た場合、採寸指示の工程は、それまでに発生した種々の外乱に対して最終の調整を行なう段階とみることもできる。したがって歩どまりなどの改善、向上を図るためには、たとえば余材発生量の少ないビレット単重の設定、ビレット品種構成の最適化といった採寸以前の問題解決も重要な点である。

条鋼圧延での鋸断作業は、通常熱間で行なわれ

るため、コンピューターのオンライン・リアルタイム化がとくに要求されている。しかし、採寸問題の複雑さは、それが熱間、冷間のいずれで行なわれるかとは無関係である。

いずれにしても、採寸管理システムとしては、次の二つのサブシステムを持たねばならない。その一つは、前工程からの外乱、たとえば湯量誤差、手入量のバラツキ、圧延寸法の誤差、さらに、素材在庫構成の最適点からのズレなどをフィードホワード・ループ(feed forward loop)によって修正する“採寸の最適化”のためのシステムである。いま一つは、採寸効率をより良くするために、元の製造工程へとフィードバックする“素材の最適化”のためのシステムである。

ここに取り上げる事例は、鋼管、鋼帯の採寸問題においてこのフィードバック・ループ(feed-back loop)を実現するための一つの解決策を示すものである。

**Fig.1** Example of cutting control system

3. 素材最適化の手 法

最適探索を行なうために種々の手法が工夫開発されているが、大別すると、解析的方法（一意的に最適解が定

まる。たとえば放物線の頂点)と、試行錯誤法とに分けられる。試行錯誤法はさらに逐次探索法(リアプログラミングなど)と、非逐次探索法(ランダムサンプリング、ダイナミックプログラミングなど)に分けられる。

ここで採用したのは逐次探索法であり、採り合せ中に得られる採り合せ有効寸法を利用して、近似解を修正していくものである。

3.1 採寸モデル

(1) 素材について

素材の有効寸法は、その公称寸法からいくらかの取代を除いたものであり、鋼管、鋼帯の事例では次のようになる。

$$\begin{aligned} (\text{素材有効寸法}) &= (\text{素材公称寸法}) \\ &\quad - (\text{種々の取代の合計}) \end{aligned}$$

ここで、鋼管の取代は試験片採取代、原管製作時の公差代などであり、鋼帯の場合は剪断時の耳代、熱間圧延での幅公差などである。

(2) 製品について

製品有効寸法については、公称寸法のほかに次のような追加代を見込む必要がある。

$$\begin{aligned} (\text{製品有効寸法}) &= (\text{製品公称寸法}) \\ &\quad + (\text{種々の追加代の合計}) \end{aligned}$$

ここで鋼管の追加代は切断機刃幅、製品の長さ公差に対する余裕などであり、鋼帯の場合は製品の幅公差に対する余裕などである。

(3) 余材の発生

製品と素材を採り合わせる時には、製品所要寸法のはかに Fig. 2 に示すように、採寸不適合による余材が発生する。

余材に対しては、その寸法に応じて、準素材と

して保留する、発生品として外販する、屑化するなどの処置がとられる。しかし、いずれの場合も回収される利益は低く、置場面積、運搬量などの増加、管理の複雑化などの問題が生じる。したがって、余材の発生量はできるだけ減らすよう図らなければならない。

(4) 素材の必要量

Fig. 2 は1個の素材からの採り合せを示したものである。このような素材を何個造るかを決めるためには、製品受注量のほかに抜取試験の頻度、検査歩どまりなどを考慮する必要がある。

(5) 素材寸法のバラッキ

素材寸法の実現値は一般に目標値を中心としてバラついている。このバラツキが小さい場合は、仮想の取代として、その平均値を加算すればよいが、大きい場合には、目標公称寸法を探索、設定する段階でなんらかの形でこのバラツキについて考慮する必要がある。

3.2 採り合せモデル

1個の素材から2個の製品を採る場合を Fig. 2 に示したが、一般に、その個数、種類は種々の比率をなしており、製品と素材との寸法比によって採り合せの難易度が異なってくる。すなわち、種々の寸法の製品を含んだオーダーが与えられたとき次のことが問題となる。

- 1) 準備されたいくつかの素材のどれを優先的に使うか
- 2) ある素材に対して、歩どまり、作業性、管理のし易さを考えて、どの製品から組合せていくか

(1) 採り合せの手順

Fig. 3 に採り合せの手順を示す。これは次のような考え方に基づくものである。すなわち、手順の第1として、ある素材から特定の製品のみを1個、2個3個……と採る。これにより作業性は非常に良くなり、この採り方“1種採り”は優先的に行なうべきである。

次いで、異なった寸法の製品

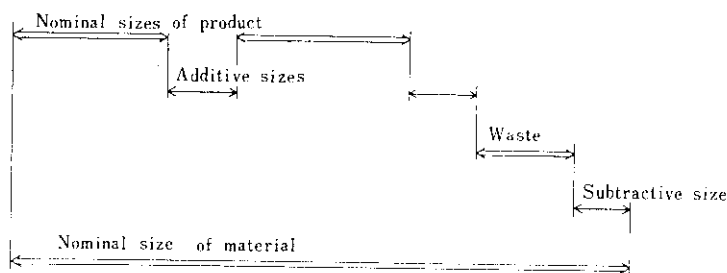


Fig. 2 Relation between product sizes and material size

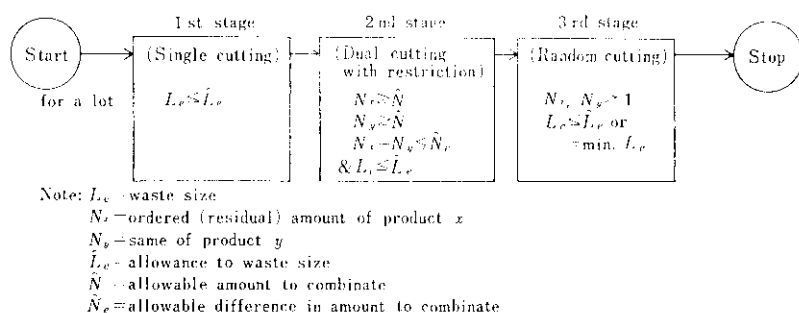


Fig. 3 Procedure of combining stages

を同一の素材から幾つかずつ採る場合も、この採り方が多数回繰り返されることは、やはり作業性の面で好ましい。この採り方“制限のある2種採り”が第2段階となる。

同様なことは3種採り、4種採りにも適用される。何種採りまでを考えるかは、オーダーの内容、素材と製品との寸法比、作業場のレイアウト、その他の種々の制約によって決定される。

以上の採り方は、一定の歩どまりが達成できる範囲内でのみ許される。これらの手順で取り残されて未採寸となっている製品については、1種採り、2種採りを無差別に検討して（“乱取り”）最も歩どまりの良い組合せで採ることとする。

(2) オーダー内の優先順位

2種採り、3種採りの場合、ある製品の相手方としてどの製品を選ぶかは、すでに採寸を行なった結果によって影響される。したがって一般には、オーダーを次のように整理し、優先的に採寸すべきまたは後へ残すべき製品の指定を行なう。

- 製品寸法の大きい順にまたは小さい順に並べておく
- 必要数量の大きい順に並べておく
- 特に採寸を優先する順位があれば、この順に並べる
- 採寸し易いものをなるべく後に残しておく

(3) そのほかの条件

採寸素材の最適化をはかるとき、制約として素材の製造可能な最大、最小寸法がある。また素材寸法によって製造の容易さ、運搬のし易さ、他の

規格への振替の可能性などが異なるので、これらを考慮した各素材の使用優先順位といったことも考えなければならない。

3.3 最適素材寸法の探索

(1) 採り合せ有効寸法

素材有効寸法 L_m 、製品有効寸法 $L_x, L_y, \dots$ の採り合せは Fig. 4 のようになる。最適な素材寸法 L_d は、余材寸法 L_e が発生していることから、 $L_d = L_m - L_e$ で求められる。しかしまた、製品 L_y をさらに1個追加した寸法 $L_f (= L_d + L_y = L_m + L_e')$ も最適寸法といえる。（ただし、 L_e' は製品有効寸法 L_y から余材寸法を引いたもの）

すなわち、 L_d は与えられた素材寸法から現実採り合せ可能なもの（positive）であり、 L_f は不可能なもの（negative）である。素材寸法の最適探索にあたっては、この両者を合せることによって非常に有効な情報が得られよう。

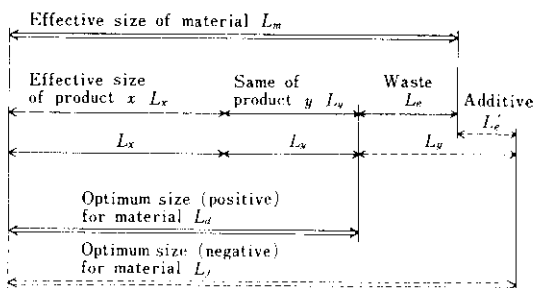
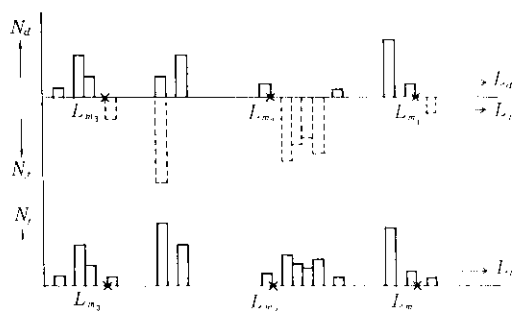


Fig. 4 Schematic relation in combinative sizes

一般には、製品、素材は多種類であるので、素材寸法の初期値を基に採り合せを行ない、このとき得られる L_d, L_f の値を、Fig. 5 に示したように度数分布 N_d, N_f の形で蓄積していく。

L_d, N_d は素材寸法を小さくしようという要求を示し、 L_f, N_f は逆に大きくしようという要求を示している。これらを適当な比率で合成した度数分布 N_i 、すなわち

$$N_i = (1 - \alpha)N_d + \alpha N_f \quad (\alpha = 0 \sim 1)$$



Note: N_d = Distribution of positive combinative sizes
 N_f = Same of negative combinative sizes
 N_i = Sum of N_d and N_f in an arbitrary ratio

Fig. 5 Schematic distribution of combinative sizes

で、素材寸法の修正を検討する。

(2) 度数分布による探索

Fig. 5 には、例として m_1, m_2, m_3 の3種の素材による採り合せの度数分布と、各素材の有効寸法 $L_{m1}L_{m2}L_{m3}$ の位置とを示している。ここで、素材 m_2 を最適化するには、 m_1, m_3 の有効寸法を固定して、 m_2 をその間で種々の位置 L_{m2}' に置いて、その効果を考えていく。すなわち、Fig. 5で L_{m1} と L_{m2}' との間の採り合せの分布は素材 m_1 に属し、また、 L_{m2}' と L_{m3} との間の分布は L_{m2}' を素材として使用することになる。このとき余材合計 TLe は次の式で算出される。

$$TLe = \left\{ \sum_{i=I_1'+1}^{I_1'} (I_1 - i) \cdot Nt_i \right. \\ \left. + \sum_{j=I_3+1}^{I_2'} (I_2' - j) \cdot Nt_j \right\} \Delta L$$

ただし

I_1, I_2', I_3 : 素材寸法 L_{m1}, L_{m2}', L_{m3} の属する区間番号

Nt_i, Nt_j : 区間 i, j に属する採り合せ頻度

ΔL : 区間の幅

この余材合計 TLe は L_{m2}' の関数となり、 TLe が最小となる点が素材 m_2 の最適有効寸法である。両端の素材 m_1, m_2 の最適有効寸法については、これらの外側に適当な限界を設けて、前述と同様

の手順で探索を行なうことができる。また4種以上の素材 $m_1, m_2, m_3, m_4, \dots$ があるときは m_2, m_3 を m_1, m_4 の間で同時に動かして、両者をもっと最適化することも可能である。

(3) 素材寸法修正の限界

前述の方法は次のような制約を受けている。たとえば素材1種、製品1種の場合は、Fig. 6に示すように、素材の有効寸法が、製品のその倍尺となると、最高歩どまりが得られる。これは、採寸問題の特徴ともいえることで、有効な採り合せ寸法の度数分布、歩どまりの値などの反応関数が、多峰性、不連続性を持つことにつながっている。したがって1回の修正を広範囲に行なうことが難しいといえる。

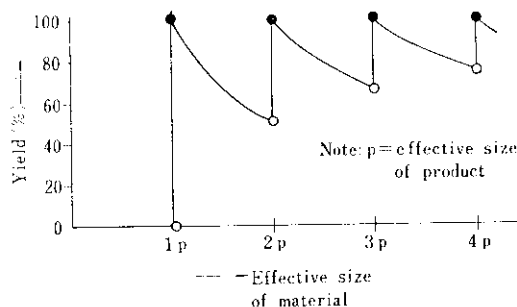


Fig. 6 Cutting yield diagram

またFig. 5の例のように、多種類の素材を持つ場合、各素材 $m_1, m_2, m_3, \dots$ の修正を同時に行なうことは、やはり採り合せの状況の不連続性からみて危険である。したがって修正効果の大きいものをいくつか選択して採用し、新しい素材寸法構成で再度採り合せを行ない、その効果を確認する必要がある。

4. 適用の結果

4.1 採寸素材計画プログラムの作成

以上に述べた採寸アルゴリズム、最適探索手順は、とくに複雑な計算を含んではいない。しかし各オーダーと素材との組合せ、最適探索の回数を見ると、とうてい人力でできるものではない。そのため採寸素材計画のための機械計算プログラ

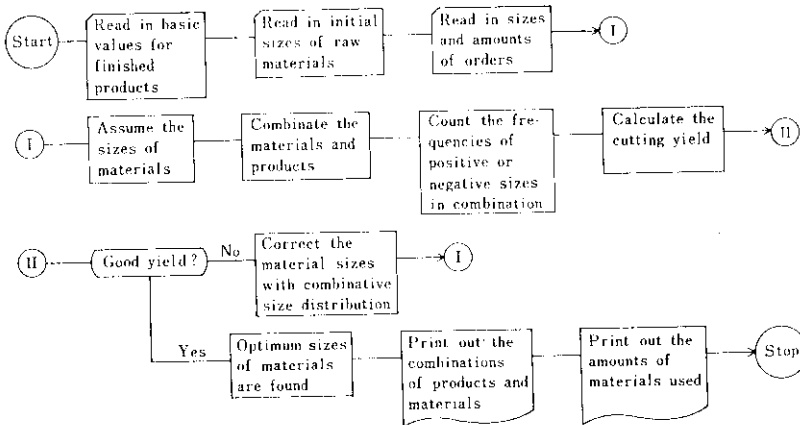


Fig. 7 Block chart of the cutting material plan (CMP)

ムを開発し、種々の製造品目への適用を図った。このプログラム Cutting Material Plan—CMP の仕様ならびに特長は次のようになっている。なお、各オーダーは、基本パターンとそのセット数という形に分けてインプットするように設計されている。また、プログラムのブロックチャートを Fig. 7 に示す。

(1) プログラムの仕様

- 素材寸法の種類 : 最大10種
- オーダーの数 : 最大40種
- 基本パターンの数: 最大25種
- 注文寸法の種類 : 最大1000種 (各パターンごとには最高50種)
- 度数分布の区間数: 最大 101 区間
- 素材修正単位 : 度数分布の 1 区間 (5 ~ 50mm)

(2) プログラムの特長

- a) 与えられた素材初期値をもとにして、最適素材構成を見出すことができる
- b) 素材寸法により利用価値が異なるのであらかじめパターンを与えて、採り合せ時の素材使用優先度を規定することができる
- c) 素材寸法の目標値からのバラツキを、度数分布の形で指定し、“目標公称寸法の最適化”を行なうことができる
- d) 素材の在庫品があるとき、これを消化し、残ったオーダーに対する新しい素材の製作を検討させることができる
- e) 品目別基準値、素材初期値、オーダー構

成を変えた事例研究を行ない易いようにしている

4.2 鋼管, 鋼帯製造における適用例

鋼管, 鋼帯では, 素材製品の形状がそれぞれ異なっているが, これらの特性の間には Table 3 に示すような対応関係があり, 同一のプログラムを適用することができる。

(1) ボイラー用鋼管の採寸原管長さの設定

この品種についての受注寸法は, Table 4, Fig. 8 に示したように, 種々の長さのものを含んでいる。

各ロットの採寸歩どまりは平均93%であり, とくに悪くはないが, このとき素材寸法を各ロット単位でそれぞれ指定していたため, 全体として40種ほどの原管を準備するといった状況が生じていた。このため造管機でのサイズ替が増加し, 所要原管が品切れしたときは, ほかのロット用の素材を充当するため実績歩どまりが低下し, また, 余剰原管の在庫中の発錆損失が多いなど, 多々支障が生じていた。

これらの品質, 納期, 原価などからむ種々の

Table 3 Characteristic factors of steel tubes and sheets

Factor	For tubes	For sheets
Raw material	Cutting tubes	Hot rolled strips in coil
Final Product	Steel tubes with various length	Cold rolled coils and sheets with various widths
Specification	Steel grade, diameter, wall thickness	Steel grade
Lot	To orders	To thickness in cold rolling
arranging	Lengths of stock tubes	Widths of hot coils
Size to be optimized	Piece	Length or unit weight(kg per mm width)
Work count	Width of cutting saw blade	
Additive size to products	Test piece	Ear width in cutting
Subtractive size from materials	Length of material tubes for boiler tubes	Width of hot coils for RIVER PLY
Example		

Table 4 Example on the boiler tube

Finished product	Amount of order	To each kind Av. 20 lots (5000pieces)	To each lot 1-10tons (100-1000 pieces)
	Amount of size	Abt. 500 sizes	10-50sizes (av. 30)
Materials (before research)	Amount of size	Abt. 40 sizes	3-8 sizes
	Yield	Abt. 93%	92-95%

問題を解決するために、採寸素材計画プログラムを適用して、各ロット共通に使える原管寸法の設定とその最適原管と製品との採り合せの指示を行なうこととした。

その結果、従来原管約40種、歩どまり93%であった状態から、原管を4種に統合し、さらに歩どまりを95%に向上するといった成果を収めることができた。

なおFig. 9にこの問題を検討する時に得られたデータのいくつかを示す。Fig. 9 (a)は、positiveな採り合せのほかにnegativeな採り合せを考えることによって、素材寸法の修正がうまく進んで歩どまりを向上させていることを示している。

しかし、修正の都度、歩どまりが上がって行くことが望ましいがFig. 9 (b)に示すように、反応関数の不連続性のために、

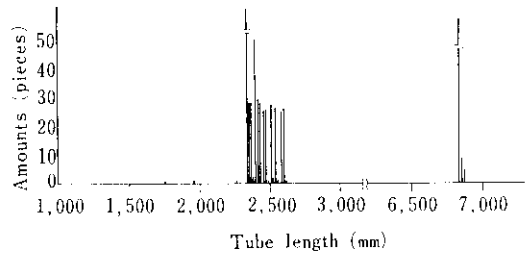
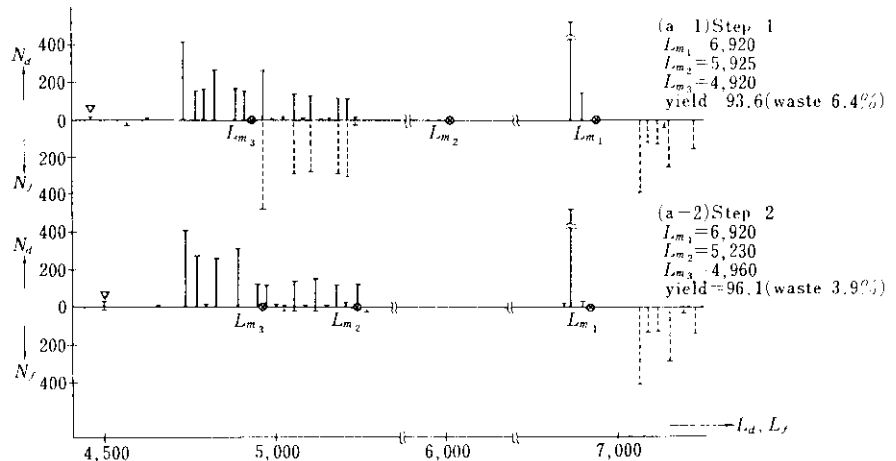


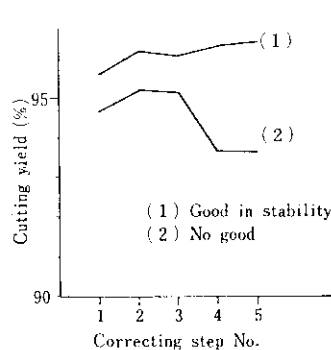
Fig. 8 Example of ordered sizes for boiler tubes

修正段階の途中で反落することもある。

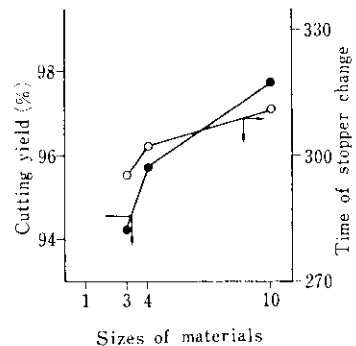
原管の種類を増やせば、Fig. 9(c)に示すように、採寸歩どまりは上がるが、同時に採寸時のストッパー段取りなどのサイズ替が多くなってくる。この両者を考慮して、原管を何種類まで許容するかを決めなければならない。



(a) Example of distribution of combined lengths for boiler tubes



(b) Stability of yield response with CMP



(c) Relation of cutting yield and workability

Fig. 9 Some data from CMP

SIZE	YAKUO	KIKAKU	CATTERN	SET	L	L	W	
6660	0	71	71	1	914	124	44,246	
L	N	L	N	L	N	L	N	
914	11	429	9	400	2	360	2	
308	6	299	16	285	7	251	5	
245	16	215	13	1160	1	1320	4	
1160	5	1320	4	1160	1	1320	4	
1160	1	1160	1	1160	1	1320	3	
1	345	3	299	4	285	4	914	1
2	0	0	0	0	0	245	1	
4	0	5	4	36	1	41	27	
0	1320	2	1320	1	1320	1	1160	1
1	368	3	245	4	245	3	429	1
2	245	1	215	2	251	1	328	2
4	31	5	5	35	360	29	215	25
GEIKAN SUBTOTAL								
1160	12	1320	28					
50,8795	44,2459	6,6340	1,999					

Fig. 10 Example of print-out from the program CMP

Table 5 Example of order for RIVER PLY

No	Width	Weight	Unit wt*
1	914mm	10,000kg	11kg/mm
2	429	4,000	9
3	400	800	2
4	360	700	2
5	345	5,500	16
6	335	650	2
7	328	1,000	3
8	315	5,000	16
9	308	1,800	6
10	299	4,800	16
11	285	2,000	7
12	251	1,200	5
13	245	4,000	16
14	215	2,800	13
Total	(14)	44,250	124

* Rounded to the unit kg/mm

Product: RIVER PLY PKD Clad ratio 15%

Lot: June, 0.8mm thickness

(2) リバープライ用帯鋼幅の設定

リバープライ(RIVER PLY, 当社の薄板両面ステンレスクラッド鋼板の商品名)は、その多くが、鍋、フライパンなどの厨房器具に使われている。いずれも小物であり、ムクの 18Cr, 18-8 ステンレス製品が流し台などの大物に使われているのとは違っているところから、採寸上の問題が発生してくる。その寸法構成の一例を Table 5 に示すが、素材(熱間圧延鋼帯またはその前段階の組立てスラブ)の種類を絞って、効率の良い採寸を

行なうことが期待されている。

スラブ製作工程およびホットストリップ圧延工程での制約を入れて、採寸素材計画プログラムによる最適素材幅の探索を行なった。その結果、素材数は 2 種、圧延可能最大幅は従来どおりという制約の下で、1.8% の歩どまり向上が可能な素材構成を得た。また圧延可能最大幅を、現状より 50 mm 増加することができれば、3.5% の歩どまり向上が期待できることがわかった。このため、現在試圧を行ない、その実現化を進めている。

このときの採寸プログラムによる採り合せ状況を Fig. 10 に示す。

5. む す び

採寸の合理化、採寸用素材の最適化については種々研究がなされている。これらによる改善の効果は、単に歩どまり向上に止まらず、品質管理、在庫管理などのレベルアップにも関連するものであり、鉄鋼業における工程設計の重要な項目となっている。

ここに記したのは、この問題に対する一つのアプローチである。鋼管、鋼帯の製造において、先に述べた 2 つの事例そのほかにも適用し、いずれも所期の成果を収めることができた。今後さらに歩を進めて、生産管理システムとの十分なつながりを図っていきたいと考える。