
大形 H 形鋼用粗形鋼片の新圧延技術の開発

A New Rolling Method of Slabs into Beam Blanks for Large H-shapes

柳沢 忠昭(Tadaaki Yanagisawa) 田中 輝昭(Teruaki Tanaka) 山下 政志(Masashi Yamasita) 奥村 寛(Hiroshi Okumura) 草場 隆(Takashi Kusaba)

要旨：

大形 H 形鋼用に使用する粗形鋼片を従来の鋼塊に替えてスラブから製造する，新しい粗形鋼片製造技術を開発した。新粗形圧延技術の中心となるのは，スラブを均一なドッグボーン形状に成形することを目的としたベリー付ボックスカリバによるエッジング技術と，幅狭のスラブを用いて効率的な粗形鋼片フランジ成形を行うことを目的としたウェブ分割圧延技術の二つである。新技術を適用し，大形 H 形鋼を連铸製スラブから圧延することが可能となった。その結果つぎの成果を得た。(1) 12%の歩留り (製品/粗鋼) の向上 (2) $150 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ (製品あたり) の省エネルギー (3) 製品の内部品質，表面品質の向上 (4) 素材の統合・集約による工程の合理化

Synopsis：

A new beam blank rolling method was developed to produce H-shapes from slabs instead of ingots. The one of the key point of this method is to form a homogeneous shape of the dog-bone which is obtained after edging rolling of a slab by calibers with belly and the other imsto form two flanges of a beam blank effectively by web partial rolling, which makes few elongation along the rolling direction during rolling. This development has been applied to produce all series of large H-shapes from continuously cast slabs without using of the blooming mill, on the wide flange beam mill at Mizushima Works. The effects are follws. (a) Improvement on yield (product/crude steel): 12% (b) Energy saving: $150 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ (c) Improvement on H-shapes quality; Few surface and internal defects

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

大形H形鋼用粗形鋼片の新圧延技術の開発

A New Rolling Method of Slabs into Beam Blanks for Large H-shapes

柳 沢 忠 昭*
Tadaaki Yanazawa

田 中 輝 昭**
Teruaki Tanaka

山 下 政 志***
Masashi Yamashita

奥 村 寛****
Hiroshi Okumura

草 場 隆*****
Takashi Kusaba

Synopsis:

A new beam blank rolling method was developed to produce H-shapes from slabs instead of ingots.

The one of the key point of this method is to form a homogeneous shape of the dog-bone which is obtained after edging rolling of a slab by calibers with belly and the other imsto form two flanges of a beam blank effectively by web partial rolling, which makes few elongation along the rolling direction during rolling. This development has been applied to produce all series of large H-shapes from continuously cast slabs without using of the blooming mill, on the wide flange beam mill at Mizushima Works.

The effects are follows.

- (a) Improvement on yield (product/crude steel): 12%
- (b) Energy saving: 150×10^3 kcal/t
- (c) Improvement on H-shapes quality; Few surface and internal defects

1. 緒 言

H形鋼の製品サイズは、JIS規格で33シリーズ、ASTM規格で44シリーズ、合計77シリーズの多数に及ぶ。これらH形鋼の圧延において工程を合理化するために経済的な素材製造技術を開発することは、きわめて意義が深い。H形鋼用素材としては、ブルーム(角鋼片)およびドッグボーン状のビームブランクが用いられ、ウェブ高さとフランジ幅の和が450mm以下の、いわゆるジュニアサイズにはブルームが、これを越えるシニアサイズにはビームブランクが適用されるのが一般的である。

ビームブランクの断面形状は、H形鋼製品寸法からさかのぼって設計され、H形鋼シリーズのそれぞれに対応する専用ビームブランクが必要とされている。近年、多くの品種の製造において、歩留り、内部および表面品質の向上、さらには省エネルギーによるコストダウンを目的として、従来の造塊・分塊の製造プロセスから連続製造プロセスへの転換が進められている。H形鋼の製造においても、ジュニアサイズは広く普及しているブルーム連铸機を用いて連铸化がはかられている。一方シニアサイズを連铸化するには多くのビームブランクモールドの保有を必要とし、初期投資が高額になるのみならず、頻繁なモールド替えにより著し

* 水島製鉄所条鋼圧延部部長
... 水島製鉄所条鋼圧延部条鋼技術室主査(課長待遇)
..... 技術研究所水島研究室主任研究員
(昭和56年2月16日原稿受付)

** 水島製鉄所条鋼圧延部主査(副部長待遇)
.... 水島製鉄所条鋼圧延部条鋼技術室主査(掛長待遇)

い連铸機の生産性低下をまねくおそれがあることから、容易に連铸化が進展しない分野となっていた。さて当社においては、「単一ビームブランクからの多サイズH形鋼圧延技術¹⁾」の開発によって、H600×300、H350×350（ウェブ高さ×フランジ幅、mm）までのH形鋼を連铸製単一サイズビームブランクから圧延し連铸化を強力に進めてきた。このビームブランクの適用限界を越える大型H形鋼の連铸化が残された課題であったが、今回、連铸製スラブからH形鋼を圧延する新粗形圧延技術（以下スラブ法と称す）を開発してFig.1に示すようにすべてのH形鋼を連铸化することに成功した。スラブ法の基本となる技術は、

(1) スラブの幅圧延（エッジング圧延）技術

(2) ウェブ分割圧延技術

の二つである。スラブ法の開発によって、歩留りの向上、注文品採取率の向上、素材表面疵起因の製品不良の減少、省エネルギーなど大きな成果を得ることができた。以下にスラブ法開発の経緯と内容について述べる。

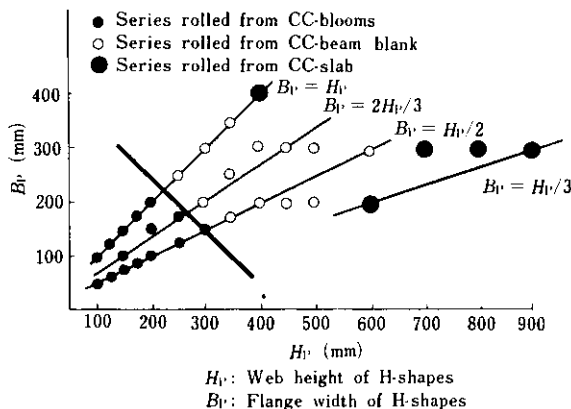


Fig. 1 Relation between dimensions of H-shapes and applied materials

2. 従来のH形鋼圧延

従来大型H形鋼はFig.2に示すように鋼塊から造形角を経て、孔形圧延によって成形されたビームブランクを素材として製造されていた。この方法では、造形角からビームブランクへの圧延に際しFig.3に示すような大きなウェプトングが生成

し著しく歩留りが低下する。また鋼塊頭部の収縮孔や濃厚偏析部もクロップとして切捨てる必要があるため、歩留りが低下するのみならず、歩留り自体の変動も大きいのが通常である。さらにセミキルド鋼の線状キズやへゲキズで代表される表面欠陥の発生が大きな問題となる。これらの表面欠陥を完全に防止することはきわめて困難であり、ビームブランクの手入れ負荷の増大や、しばしば

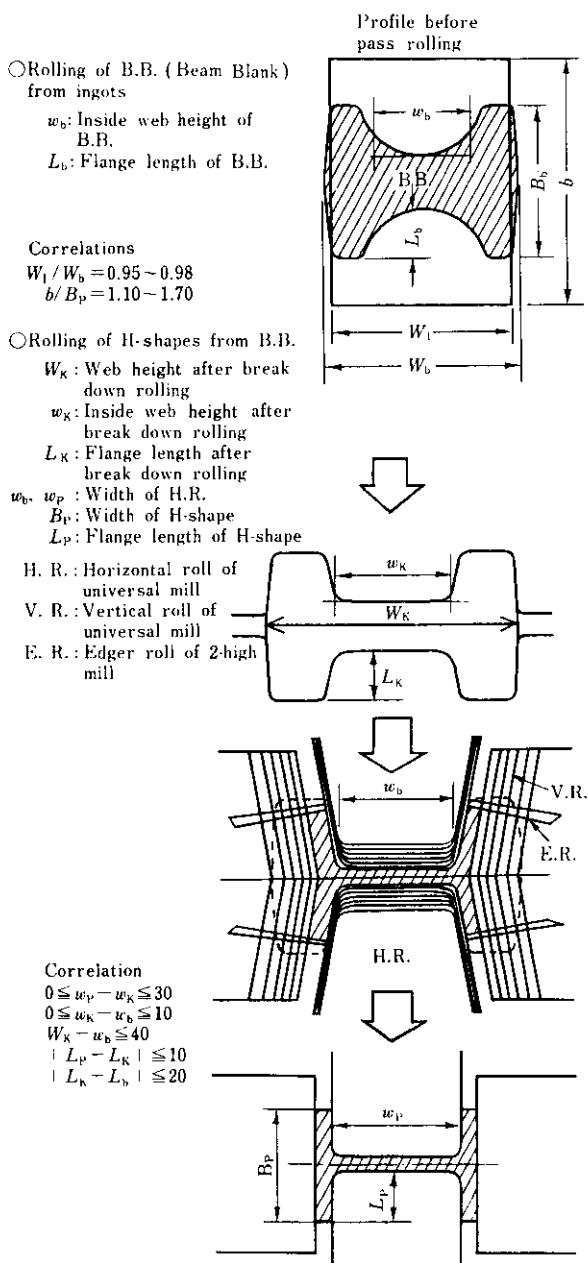


Fig. 2 Conventional rolling process for H-shapes from ingots

製品不良の大量発生をまねいていた。

以上のような歩留り変動や品質不安定の結果、素材に対する製品採り合わせ計画の適中率が低下し、余剰品の多発や工程混乱が発生するなどの大きな問題が生じていた。一方、ビームブランクの断面寸法はFig. 2に示す圧延工程をさかのぼって設計されており、ほぼ製品シリーズごとに専用のビームブランクを保有し素材形状の集約・統合による工程合理化の障害となっていた。

3. スラブからのH形鋼圧延

一般に扁平なスラブをエッジング圧延すると、圧下ひずみがスラブ中央まで浸透せず、両エッジ部に集中して幅広がりを生じダブルバルジ形状となることは周知のとおりである。このエッジング圧延をさらに継続して行えば、ドッグボーン形状が成形される、との発想がスラブ法開発の起点である。この発想をもとに、以下に述べるベリー法によるエッジング技術およびウェブ分割圧延技術の二つの開発を柱として、単に圧延手法の進歩のみによってスラブから大形H形鋼の圧

延を実用化することができた。スラブ法の概略図はFig. 4に示すとおりであり、Fig. 2の鋼塊法のウェブ厚さ方向大圧下によるフランジ成形と異なり、ウェブ高さ方向の大圧下によって両端部に幅広がりが発生させ、スラブ厚さより幅の広いフランジを成形しようところにその特徴がある。この際フランジ面積を如何に大きくするかが圧延のポイントとなる。

3.1 ベリー法の開発による連鑄化

スラブ法の基本となるのは、エッジング圧延によるH形鋼のフランジ成形である。ビームブランクに要求されるのは、後続するユニバーサル圧延において製品の寸法、形状不良に直結するような寸法の不均一がないことである。特にスラブエッジング圧延では自由な幅広がり成形の結果として四つのフランジの形状を均一に確保することが鋼塊法に比べて難しく、その成否が最大のポイントである。Fig. 5のように、エッジング圧延におけるスラブの倒れは扁平な形状を不安定な形で圧延することから容易に起こり、これはたちまちフランジの不均一を招く原因となる。一旦倒れの傾向

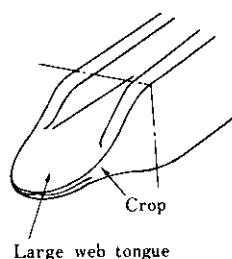


Fig. 3 Formation of crop after rolling of B.B. from an ingot

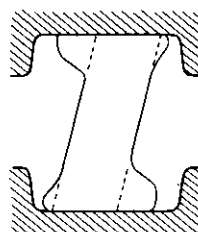


Fig. 5 Inhomogeneous deformation of a slab at edging

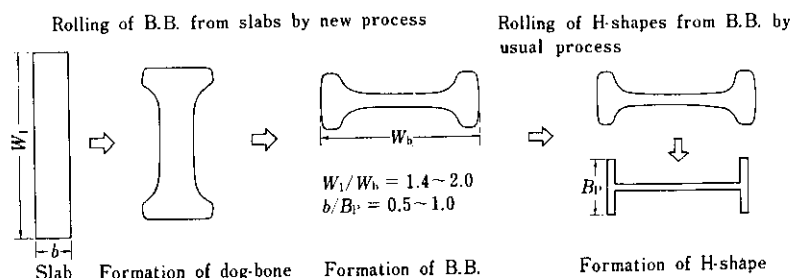


Fig. 4 New rolling method of B.B. from slabs

が現われると、圧延中にそれを修復することは不可能であるので、いかに材料の倒れを圧延中に回避して大きな幅圧下量を付加するかがスラブ法開発の大きな課題の一つであった。

3・1・1 ベリー法

エッジング圧延における倒れの発生を防止する一つの方法として、順次幅広のボックスカリバーを使用することが考えられるが、多数のカリバーを必要とするほか、圧延材の倒れを完全に防止できないので実用化は難しい。スラブの倒れを防止し、最小限のカリバー数で安定したエッジング圧延を行う目的で今回考案したのが、ベリー付きボックスカリバーによる圧延（以下ベリー法と称す）である。これは Fig. 6 に示すように、カリバーの中央部にベリーと称する突起を設けて、カリバー中心に材料を正確に案内すると同時に倒れを防止する機能を持たせたものであり、エッジング圧延の安定化に大きな効果をあげることができた。

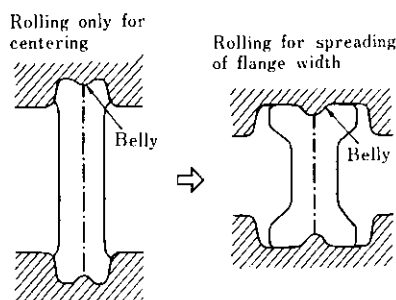


Fig. 6 New rolling method by passes with belly for homogeneous formation of flanges at edging

3・1・2 ベリー法の適用

分塊ミルおよび大形ブレードダウンミル（以下 B.D.M. と称す）にベリー法を適用してスラブ法を実用化した。この際の諸元は Table 1 に示すとおりであり B_p/b で表わされているように、元スラブ厚さ(b)の 1.6 倍のフランジ幅(B_p)を有する H 形鋼の圧延に成功している。当初、H 400×400、H 600×200 のみは大形工場で直接スラブから圧延（1 ヒート圧延）し、そのほかのものは分塊ミルを経由して圧延（2 ヒート圧延）していた。

3・2 ウェブ分割法による 1 ヒート圧延

Table 1 に示したように、H 700×300、H 800×300、H 900×300 に適用したスラブ幅は 1 500mm～1 700mm であった。この寸法は大形工場 B.D.M. の上、下ロールの最大開度（1 400mm）を超えており、また、B.D.M. 胴長（2 800mm）内に所要カリバーを収納することができないなどの理由によって、1 ヒート化は不可能であった。そこで新たにウェブ分割圧延法（以下ウェブ分割法と称す）を考案することによりこれらの制約を解消し、全てのサイズについてスラブでの 1 ヒート化を達成することができた。

3・2・1 ウェブ分割法

ウェブ分割法の考え方は Fig. 7 に示すように、ウェブ圧下に際し、④、⑤二つの圧延を繰返して行うことによって以下の各項の効果を期待するものである。

Table 1 Summary of the application of new B.B. rolling method from slabs for large H-shapes

Dimensions of H-shapes $H_f \times B_p$ (mm) (H_f : Web height B_p : Flange width)	Dimensions of slab, $W_1 \times b$ (mm) (W_1 : slab width, b : slab thickness)							
	After development of the new edging method				After development of partial web rolling method			
	via B.M.	Without B.M.	B_p/b	W_1/H_f	via B.M.	Without B.M.	B_p/b	W_1/H_f
400×400	—	1 100×250	1.6	2.8	—	1 100×250	1.6	2.8
600×200	—	1 100×250	0.8	1.8	—	1 100×250	0.8	1.8
700×300	1 500×215	—	1.4	2.1	—	1 225×250	1.2	1.8
800×300	1 650×240	—	1.3	2.1	—	1 400×250	1.2	1.8
900×300	1 650×240	—	1.3	1.9	—	1 400×250	1.2	1.6

B.M.: Blooming mill

- (1) より狭幅のスラブからフランジの成形を行う。すなわち④、⑤の圧延に際しては、非圧下部が圧延方向の変形を拘束するので伸びは小さくなり、フランジの面積の減少が抑制される。また必然的に幅広がり変形が大きくなりウェブ内幅が拡大されるので、エッジング圧下量を確保できることから、広幅スラブを使用したのと同様のフランジ成形が可能となる。
- (2) 限られたBD ロール胴長内へ必要カリバーを収納する。Fig. 7に示す①、②のカリバーをエッジング用を使用することによって可能となる。
- (3) BD 圧延荷重の軽減を図る。分割圧延である

うえにフランジ部が非拘束の圧延であることから圧延荷重が軽減できる。

3.2.2 ウェブ分割法の適用

ウェブ分割法を実用化した結果、大形H形鋼の全サイズが1ヒートで製造可能となった。その際の諸元はTable 1に示したとおりであり、従来の分塊ミル経由のスラブ幅より250~300mm狭いスラブから、H700×300、H800×300、H900×300の圧延が可能となった。

4. スラブ法パススケジューリング

ベリー法とウェブ分割法を基本とするスラブ法による粗形鋼片の圧延パススケジューリングの組み立て方について以下にやや詳しく説明する。

4.1 ベリー法パススケジューリング

ベリー法による粗形圧延方法はFig. 8(a)に示すようにつぎの四つのステップから構成される。

(1) スラブのセンタリング圧延

スラブ厚さとほぼ等しいカルバー幅をもつ第1カリバーでスラブ側面中央にベリー溝の切り込み圧延を行う。

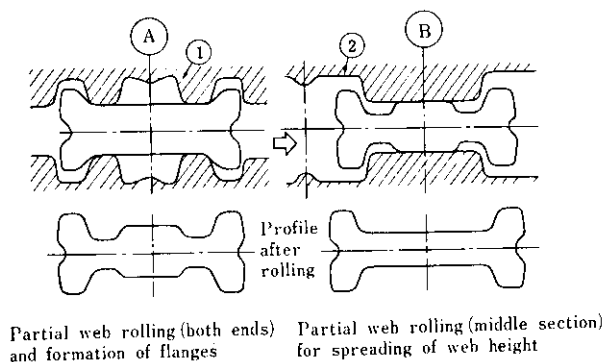
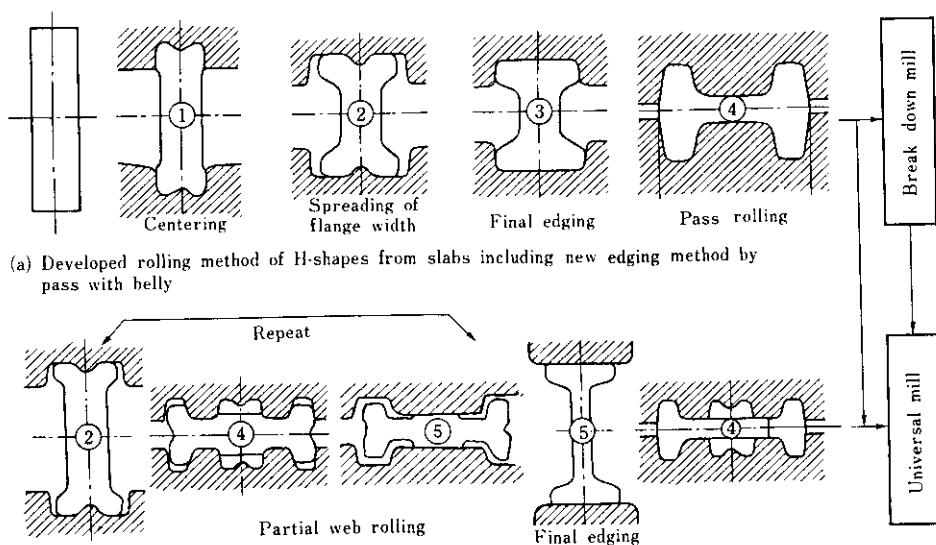


Fig. 7 Partial web rolling method to form flanges of B.B. effectively



(b) More advanced rolling method of H-shapes from slabs including partial web rolling method

Fig. 8 Developed new rolling method of B.B. from slabs

(2) フランジ幅出し圧延

第2カリバーにおいて、圧延材をベリー溝によって常にカリバー中心に案内しながら、軽圧下・多数パスによるエッジング圧延を行い、積極的にフランジの幅出しを行う。このとき圧延材をカリバー側壁によって拘束せず、ベリーのみによって案内する。

(3) ベリー溝消去圧延

通常の平底を有する第3カリバーで最後のエッジング圧延を行いベリー溝を消去する。

(4) ビームブランク成形圧延

スラブの大圧下量エッジング圧延によって得られたドッグボーンを90°転回し第4カリバーによりビームブランクに成形する。

この圧延での先後端のクロップ形状は、鋼塊に比べて、ウェブタングが小さいのが特徴となっている。したがって本圧延法は従来の鋼塊法に比べて歩留りのより高い圧延方法であるといえる。

4.2 ウェブ分割法パススケジュールリング

ウェブ分割法は Fig. 8(b)に示すように以下の六つのステップにより構成される。

- (1) 第1カリバーによるスラブセンタリング圧延
- (2) 第2カリバーによるフランジ幅出し圧延

以上はベリー法による場合と同様である。

(3) ウェブ分割圧延

本圧延方法の最も重要な過程であり、まず第4カリバーによってフランジ部の整形とウェブ両端部（フランジの付根付近）の圧下を同時に行う。このとき、ウェブの中央部は未圧下となり、凸状部が形成される。ついで第5カリバーによってウェブの凸部だけを圧下し、ウェブ内幅を拡大する。このとき非圧下部が圧延方向の伸びを拘束するので圧下による変形が幅広がり集中する。ただしこの場合フランジを自由にしておく必要がある。

(4) フランジ幅出し圧延

(3)のステップによるウェブ内幅の拡大代を再び第2カリバーによってエッジング圧延し、フランジ面積を増大させる。本法の最も特異な圧延方法は前述した(3)、(4)のステップを数回繰返すことにより必要な断面積を有するフランジの成形を完了させることにある。

(5) ベリー溝消去圧延

第5カリバーによる圧延でベリー溝を消去する。

(6) ビームブランクの成形圧延

最後に第4のカリバーによってユニバーサル圧延に供する粗形鋼片に仕上げる。

ウェブ分割法における第3のステップの第5カリバーによる圧延では凸部の幅×厚さの全断面積に占める割合を調整することによって、圧延方向の伸びをほとんど発生させずに、減面部に相当するほどのウェブ内幅の拡大が可能である。

5. スラブ法圧延時の変形特性

スラブ法の実用化に先だち、製造条件を細部にわたって設定することを目的として、プラスチシンモデルミルにより圧延時の変形挙動を調査した。その結果、実機圧延に使用するカリバーの細部寸法やスラブ寸法の決定に際し有益な裏付けとなる変形特性を把握することができた。

5.1 エッジング圧延時の変形特性

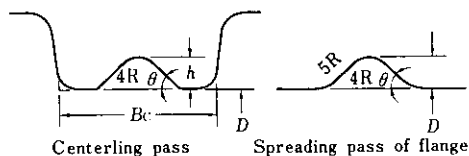
エッジング圧延時の幅広がり挙動、先後端圧延非定常域長さの変化を主な対象とする調査を行った。以下で使用する記号を次のように定義する。

D	: ロール直径
B_0	: 板幅 (圧延前)
$B_{1\max}$	: 最大板幅 (圧延後)
H_0	: 板厚 (圧延前)
H_1	: 板厚 (圧延後)
B_0/H_0	: 板幅比
D/H_0	: 板厚比
$(H_0-H_1)/H_0$	: 合計圧下率
$B_{1\max}/B_0$	: 最大幅広がり比
λ	: 伸び比

5.1.1 実験方法

ベリー付きロールと比較のための平ロールとの2種類のロールを用い、縮尺は1/10とした。ベリー付きロールの形状は Fig. 9に示す高さ(h)とつけ根角度(θ)を変えた5種とし、センタリングカリバー幅(B_c)は常に素材と同じとした。パススケジュールはまずセンタリングカリバーで1パス後、同一ベ

リー形状の幅広げカリバーで多数パスのエッジング圧延を行うものとした。各パス後素材表面の標線間隙の変化と圧延定常域におけるFig.10の諸寸法の変化を測定した。なお実験に先立って実機とプラスチックモデルとの変形状態を比較し、モデル圧延でシミュレーションが可能であることを確認した。



Pass No.	θ (°)	h (mm)
No. 1	30	5
No. 2	45	3
No. 3		5
No. 4	60	7
No. 5		5

D : Roll diameter ($D=270$ mm)

B_c : Width of centering pass

(Just the same as width of each specimen)

Fig. 9 Profile of rolls with belly for edging experiment of plasticine models (scale: $1/10$). For comparison, a flat roll without belly was also used.

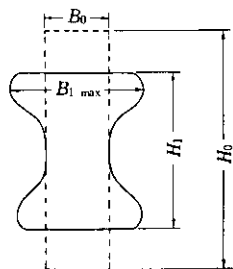


Fig. 10 Shape after edging of plasticine models (scale: $1/10$)

5・1・2 エッジング圧延時の定常部の変形特性

素材の変形状態に影響する要因として、1パスあたりの圧下量、板幅比、ベリー形状について調査した。

(1) 1パスあたり圧下量および B_0/H_0 の影響

Fig.11は平ロールを用いた時の1パスあたりの

圧下量が幅広がり及び影響をみたものであり、これから圧下量が小さいほど幅広がりが大きくなること、合計圧下量の増加とともにその差が顕著に現われてくるのがわかる。この傾向はベリロールを使った場合も同様であった。Fig.12は、 $D/H_0 = 2.45$ 、4 mm/passと一定にし、 B_0/H_0 をパラメータとして合計圧下量による幅広がりの変化をみたものである。 B_0/H_0 が小さいほど同一圧下量での幅広がり大きく、圧下の進行とともにその差が大きくなるのがわかる。

(2) ベリー付きロールと平ロールの相違

Fig.13は B_0/H_0 、 D/H_0 、圧下率の幅広がり及び影響をベリー付きロール、平ロールで比較したものである。ベリー付きロールによるエッジングの方が常に10%程度大きな幅広がり示すことがわかる。したがってベリー付きロールはフランジの成形に有利であるといえる。

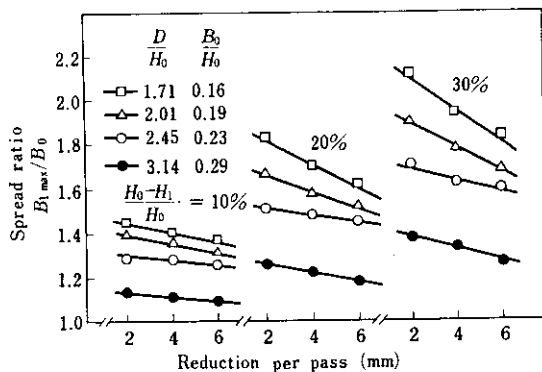


Fig. 11 Relation between spread ratio and reduction per pass during edging by a flat roll

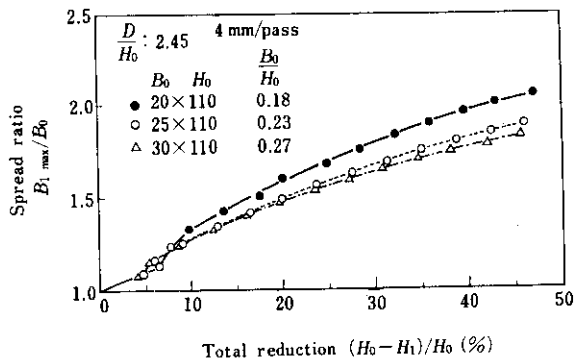


Fig. 12 Relation between spread ratio and total reduction under the same D/H_0 (2.45), reduction (4 mm/pass) and belly ($\theta=45^\circ$ $h=5$ mm)

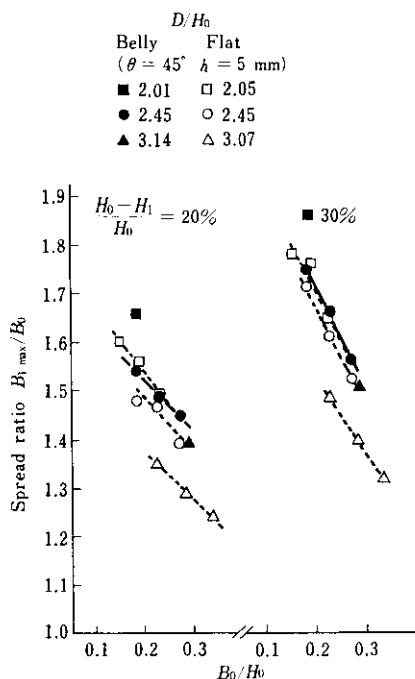


Fig. 13 Comparison of spread ratio after rolling between rolls with and without belly

(3) ベリー形状の影響

Fig. 14, Fig. 15 は幅広りに及ぼすベリー形状 (θ および h) の影響をみたものである。ベリー角度 (θ) が小さいほど、またベリー高さが高いほど幅広りが大きいことがわかる。

(4) 幅方向ひずみ分布

厚さ 5mm のプラスチックを幅方向に圧延姿勢で重ね合わせた $H_0 \times B_0 = 110 \times 30$ の材料を 4mm/pass で厚さ 62mm まで圧延した時の断面内各位置での幅方向ひずみ (幅広がり比) の分布を Fig. 16 に示す。横軸が幅方向ひずみ、縦軸が厚み方向の位置を示している。ベリー付きロールは $\theta = 45^\circ$, $h = 5$ mm のものを用いている。ベリー付きロールと平ロールの間で、幅方向端部 ($B_x/B_0 = 0.92$) でのひずみ分布は大差ないが、幅方向中央部 ($B_x/B_0 = 0.5$) の圧下面近傍で大きく異なりベリーロールが大きいことがわかる。この差の原因は、噛み止め材を調査した結果、材料圧下面へのロールの接触時の変形形態が違ってくることに起因していることがわかっている。つまり平ロールの場合は、材料圧下面の全幅にわたってロールが同時に接触し、

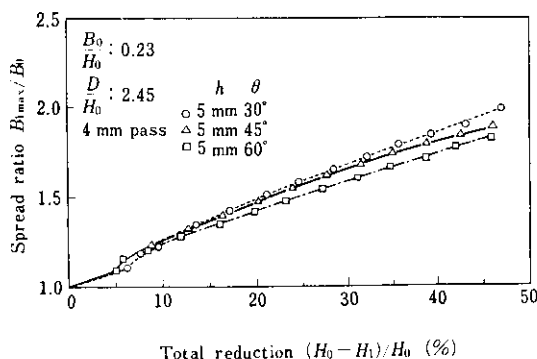


Fig. 14 Influence of θ on spread ratio after rolling under the same B_0/H_0 (0.23), D/H_0 (2.45) and reduction (4 mm/pass)

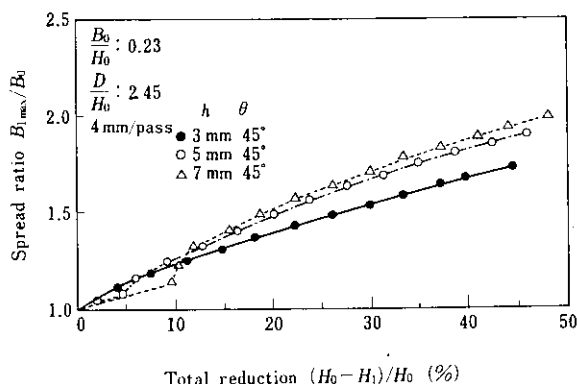


Fig. 15 Influence of h on spread ratio after rolling under the same B_0/H_0 (=0.23); D/H_0 (=2.45) and reduction (4 mm/pass)

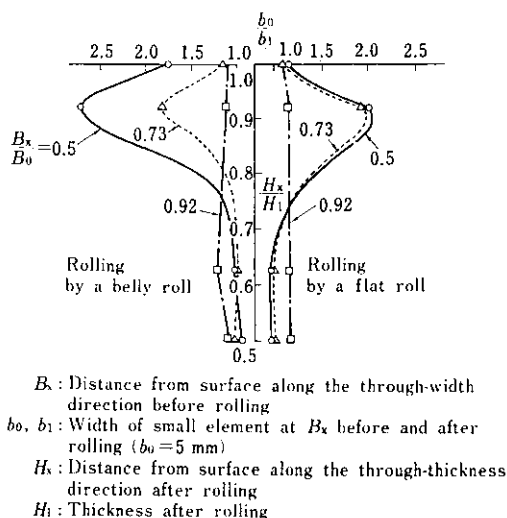


Fig. 16 Distribution of b_1/b_0 along the through-width direction after edging of a plasticine model ($B_0 \times H_0 = 30 \times 110$ mm) under the same reduction (4 mm/pass)

圧下力は垂直方向に働き接触面はロール表面に固着されながら変形するのに対し、ベリー付きロールでは、まず材料との接触がベリー部から始まり、左右の平坦部に接触する前に大きな幅広がりを生じること、凸状のベリー部によってメタルが左右に押し分けられながら圧延されることの二つの効果によってベリー付きロールの方が幅広がりが大きくなる。

5・1・3 非定常域長さ

歩留りの良否を左右する材料先後端部のクロップ長さを調べた結果、 H_0/D に大きく依存することがわかり、非定常域長さ(C)に関して以下の実験式を得た。

平ロールの場合

$$C_{Flat} = \{ 100 + 153(H_0 - H_1)/H_0 \} H_0/D \quad \cdots (1)$$

ベリー付きロールの場合

$$C_{Belly} = \{ 85 + 119(H_0 - H_1)/H_0 \} H_0/D \quad \cdots (2)$$

したがって非定常域長さは H_0/D と圧下率によって決まり H_0 が小さいほど、圧下率が小さいほど短くなること、またベリー付きロールは非常域の短縮に有利であることがわかる。

5・1・4 エッジング圧延時の素材の倒れ

今回の実験で素材の倒れについて観察した結果以下のことがわかった。

- (1) ベリーは倒れ防止に有効であるが、(ベリー部幅/素材厚)が大きくなると、ねじれが発生しやすくなる。
- (2) 倒れは素材の座屈によるものではなく、ねじれに起因して発生する。

5・1・5 実機への適用

以上の実験結果を実機により確認し、実操業を行っているがそれらの条件例を以下に示す。

(1) ベリー形状

ベリー角度を $40^\circ \sim 45^\circ$ とし、ベリー高さを $40 \sim 45\text{mm}$ としている。

(2) 1パスあたりの圧下量

パス回数、幅広がり、圧延の安定性を総合的に勘案し、 $30 \sim 40\text{mm}$ を1回あたりの圧下量としている。

(3) スラブ寸法の決定

当社の設備条件に合うように以下の(3)、(4)式を用いて、加熱炉効率、圧延能率などを総合的に考慮して決定する。

$$K(W_1 - W_2) \geq B_b + a(b - t) - b \quad \cdots (3)$$

$$h(W_1 - W_2) \geq 4(1 + a)S \quad \cdots (4)$$

K : エッジングによる幅広がり率

a : ウェブ厚さ t まで圧延する時のフランジ幅の減少率

α : 幅広がり効率、フランジ肉引けの補正係数

でありその他の各記号はFig. 17による。

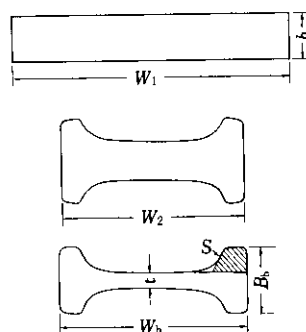


Fig. 17 Definitions of cross sections of material applied to equations (3) and (4)

5・2 ウェブ分割圧延時の変形特性

ウェブ分割法で最も重要な過程であるウェブ凸部圧下時の変形挙動を解明し、圧延後の形状予測を可能とした。

5・2・1 ウェブ凸部圧延におけるモデル式

ドッグボーン材のウェブを単独に圧延する時のメタルフロー式を適用することによって、Fig. 18のようにウェブの凸部を T_0 から T_1 まで圧延した後の形状予測式として、以下の各式を導出することができる。

$$\lambda = T_0 \cdot B_r / (\Delta M + T_1 \cdot B_r) \quad \cdots (5)$$

$$S_1 = S_0 / \lambda \quad \cdots (6)$$

$$W_1 = B_r + (W_0 - B_r) / \sqrt{\lambda + \Delta M / T_1} \quad \cdots (7)$$

$$F_1 = F_0 / \{1 + 0.73(\sqrt{\lambda} - 1)\} \quad \cdots (8)$$

ただし

B_r : 直接圧下部の幅

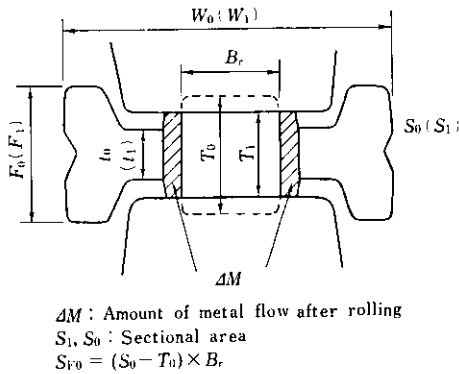


Fig. 18 Dog-bone profile at partial web rolling (Suffix 0 and 1 show before and after rolling)

S_0, S_1 : 圧延前、後の材料断面積

W_1 : 圧延後ウェブ高さ

F_0, F_1 : 圧延前、後のフランジ幅

ΔM : 直接圧下部から流出するメタルフロー量で以下の関係がある²⁾。

$$\Delta M = \Delta M_1 + \Delta M_2$$

$$\begin{cases} \Delta M_1 = f(T_0, T_1, B_r, D) \\ \Delta M_2 = f(S_{F0}/S_0, T_0, T_1, B_r, D) \\ S_{F0} = S_0 - T_0 B_r \end{cases}$$

である。 ΔM_2 は非圧下部(面積; S_{F0})が存在するために発生するメタルフローであり、全面積(S_0)との比(S_{F0}/S_0)が大きいくほど大きくなる。 ΔM_1 は B_r の部分の平板圧延と見なした時に生ずるメタルフローである。

5.2.2 ウェブ分割圧延における変形特性

形状予測式を用いて、ウェブ分割圧延時の形状変化に影響する要因について検討を行い圧延条件設定の参考に供した。

(1) 直接圧下部幅(B_r)の影響

Fig. 19はウェブ分割圧延における伸び比(λ)の変化をみたものである。Fig. 18に示す形状の材料を初期断面積を一定とし、凸部幅(B_r)を3水準にして圧下を行った時の例である。パススケジュールはTable 2に示したのを使い、簡便のため、ウェブ両端部圧延、エッジング圧延では伸び変化は発生しないとして計算している。この図によると B_r が小さいほど λ は小さく、ウェブ厚さの減少とともに λ の変化量も少なくなることがわかる。ウェブ分割圧延とエッジング圧延によるフランジ

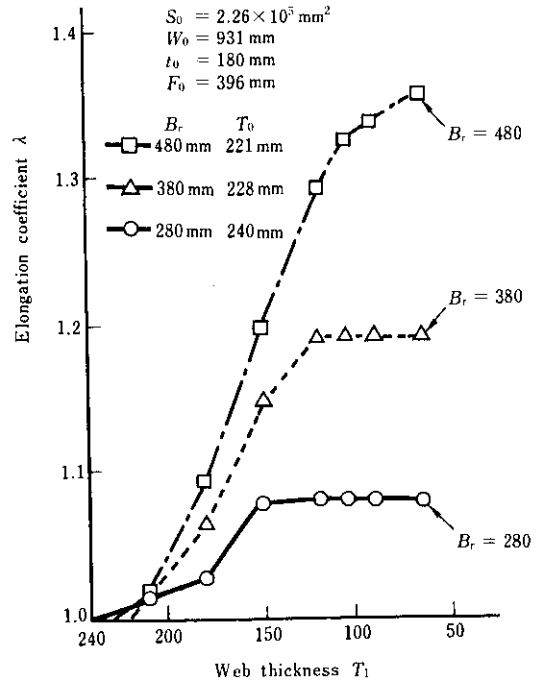


Fig. 19 Effect of B_r on elongation coefficient under partial rolling by using pass schedule shown in Table 2

Table 2 Pass schedule of partial web rolling

Pass No.	T_1	t_1	W_1	Notes
0	T_0	180	931	Edging rolling (E.R.)
1	180	—	—	Partial web rolling (P.W.R.)
2	—	—	931	E.R.
3	—	150	—	P.W.R.
4	150	—	—	E.R.
5	—	—	931	E.R.
6	—	120	—	P.W.R.
7	120	—	—	E.R.
8	—	—	931	E.R.
9	—	105	—	P.W.R.
10	105	—	—	E.R.
11	—	—	931	E.R.
12	—	90	—	P.W.R.
13	90	—	—	E.R.
14	—	—	931	E.R.
15	—	65	—	P.W.R.
16	65	—	—	E.R.

T_1, t_1, W_1 , and T_0 are shown in Fig. 18

幅の変化をみたのがFig.20であり、 B_r が小さいほどウェブ厚を薄くした時のフランジ幅が大きくなっている。ウェブ分割圧延のねらいは圧延伸びを小さくして、フランジの減面を防止することであり、 B_r を実用の範囲で小さくすることが有益であることがわかる。

(2) 非圧下部面積 (S_{F0}/S_0) の影響

Fig.19と同じ圧延条件における S_{F0}/S_0 と各パスごとの圧延伸び比(λ)の変化をFig.21に示す。 S_{F0}/S_0 はウェブ厚の減少に伴って漸増して行き $S_{F0}/S_0 > 0.7$ の領域においては $\lambda = 1$ となり、ほとんど伸びが生じていない。Fig.19で λ が収束するのは S_{F0}/S_0 が大きくなることによるものである。このことから、ウェブ分割圧延で重要なことは、できるだけ早い時期に $S_{F0}/S_0 > 0.7$ となる条件を作り出すことであるといえる。

B_r によって、ウェブ分割圧延時の挙動が変わるのは、 B_r が S_{F0}/S_0 を変化させることに由来しており B_r の設定が極めて重要であることがわかる。

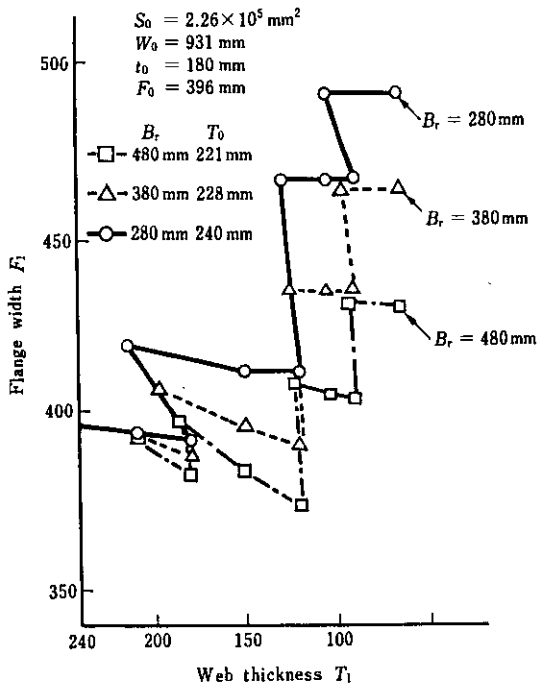


Fig.20 Effect of B_r on flange width on the assumption of $\lambda=1$ at edging and partial web rolling (both ends)

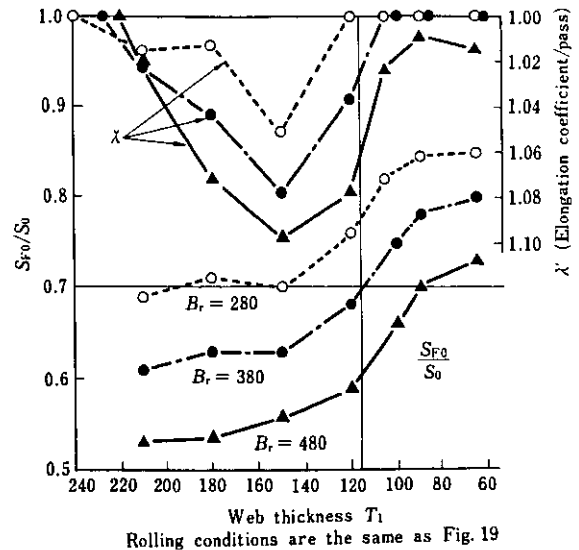


Fig.21 Change of S_{F0}/S_0 and elongation coefficient per each pass caused by the decrease of web thickness

5.2.3 各カリバーの成形における圧延伸び

スラブをユニバーサルミル圧延に供するドッグボーン形状まで成形した時、各カリバーにより生じる伸びの全伸びに対する比率はTable 3のとおりであった。これは実機実験のH900×300の例であるがエッジング圧延の全伸びに占める割合は少なく、また凸部圧延の比率は27%となっている。ウェブ両端部を圧下するパスにおける伸びの割合は大きい、フランジの形状を成形する役割を果たす圧延でもあり、ある程度の伸びはやむを得ないと考えられる。したがって凸部圧下時の伸びを極力少なくすることが重要となる。

Table 3 An example of elongation coefficient (λ) at each rolling

	Slab	Partial web rolling		Edging	Finish of B.D.M.
		Both ends	(Middle section)		
Area of section	$215 \times 1400 = 301\,000 \text{ mm}^2$	—	—	—	142\,244 mm^2
λ_T	1.0	1.718	1.304	1.094	2.116
λ_T	—	64%	27%	9%	100%

$\lambda_T = 2.116$: Elongation coefficient from Slab to final shape at B.D.M.

6. スラブ法によってもたらされる効果

スラブ法の開発によって、JIS, ASTMに規定

されるすべての寸法の大形H形鋼を連铸化し、しかも1ヒート圧延で製造できるようになった。その結果以下に示す多大の成果を得ることができた。

(1) 大幅な歩留りの向上

- (a) 本圧延法そのものが既述のようにクロップロスが少なく高歩留りである。
- (b) 連铸素材の高品質による素材手入れの省略
- (c) 素材起因による製品不良の減少
- (d) 素材重量精度の向上による良質切捨て部の減少

などにより、粗鋼対製品の通算歩留りはFig.22に示すように、製品サイズにより7~16%、平均12%の向上となった。

(2) 1級品採取率の向上

素材重量精度の向上および素材起因製品不良の減少は素材に対する製品採り合わせ計画の適中率を高め、余剰製品発生率が7%から一挙に1.5%に減少した。

(3) 省エネルギー

分塊工程を省略した1ヒート圧延により、製品トンあたり約 150×10^3 kcalの省エネルギーとなった。

(4) 製品品質の向上

セミキルド鋼塊からの圧延がなくなったことにより、セミキルド鋼特有の線状キズや内部欠陥のない高品質の大形H形鋼製造が可能となった。

(5) 素材集約・統合による工程の合理化

H形鋼サイズ間の素材の互換性が向上し、また厚板用素材との共用も可能となったことから、特殊規格や小ロットオーダーの生産を経済的に行うことができるようになった。

(6) 設備投資抑止効果

スラブ法は圧延用ロールの改造だけによって実現した技術であり、新たな設備投資は行っていない。従来技術の通念では大形H形鋼を連铸化するためには、大規模なビームブランク連铸機の設置

が必要となるが、スラブ法の開発によってこれを不要とした。

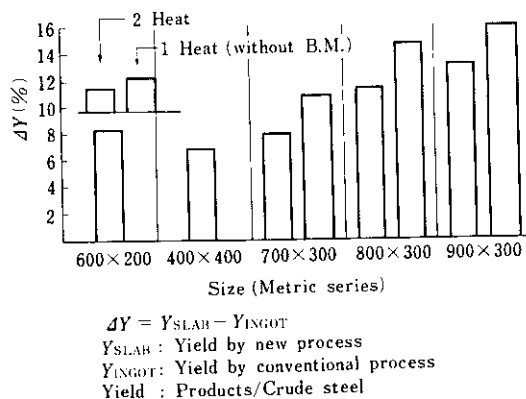


Fig.22 Yield improvement by new B.B. rolling method

7. 結 言

ベリイ法とウェブ分割法を基本とするスラブ法の開発によって、大形H形鋼をスラブから1ヒートで圧延する製造工程を確立することができた。その結果、JIS規格、ASTM規格のH形鋼全サイズを連铸製素材から製造することが可能となり、素材工程の合理化、品質の向上、コストダウンなど大きな成果を挙げた。連铸化指向はすべての品種に共通のすう勢であろうが、連铸工場と圧延工場の機能をどのように考慮するかは今後の課題であろう。スラブ法によるH形鋼の圧延のように、圧延工場における素材加工技術を高めていくことは、連铸工場を大量・高生産性工程として位置づける場合に有効である。スラブ法によるH形鋼の製造は、比較的少量多サイズの形鋼生産を行い、スラブ連铸機を保有する工場に適した技術として今後普及することが予想される。

参 考 文 献

- 1) 田中：川崎製鉄技報，10 (1979) 4, 69
- 2) 草場：川崎製鉄技報，13 (1981) 3, 13