

スラブサイジングプレスの開発

Development of Slab Sizing Press

熱間圧延設備の分野では、製鋼工程と熱間圧延工程の同期化・連続化による省エネルギーを目的として、連続鋳造スラブ幅を集約し熱間圧延ラインで自由に幅変更を行う技術が切望されていた。日立製作所は、このような業界ニーズに対処するため、川崎製鉄株式会社と共同で従来の立てロールによる幅圧下方式と比較して格段に優れた特性を持つプレス式幅圧下技術の開発に取り組み、世界初の連続プレス式幅圧下設備(サイジングプレス)の実機化に成功した。

その結果、1パスで最大300 mmの幅変更が可能となり、連続鋳造生産能力の向上、高温スラブの製造、高温スラブの加熱炉装入による省エネルギー及び熱間圧延ラインでの幅スケジュールフリーを可能とした。

直井孝之* *Takayuki Naoi*
 藤原煌三** *Kôzô Fujiwara*
 中西恒夫*** *Tsuneo Nakanishi*
 二瓶充雄*** *Mitsuo Nihei*
 西村貞夫**** *Sadao Nishimura*

1 緒言

熱間圧延作業の省資源・省エネルギー化を実現するためには、熱間圧延用素材の連続鋳造スラブ幅を集約し、製鋼工程と熱間圧延工程の同期化、連続化を図ることが必要である。このため、熱間圧延ラインでのスラブ幅の大圧下技術の開発が最近特に切望されている。

日立製作所はこのようなニーズに対処するため、昭和57年にプレス式幅圧下技術の開発に着手し、昭和59年から川崎製鉄株式会社と共同で本技術の実機化に取り組み、昭和60年にプレス式幅圧下設備(以下、サイジングプレスと称する。)として世界初の実機1号機を川崎製鉄株式会社水島製鉄所に導入した。その後、設備は順調に稼動しており、現在では操業上不可欠のものとなっている。

本サイジングプレスは、図1に示すように、スラブ幅をテーパ状のプレス工具で幅圧下するもので、従来の立てロールによる幅圧下設備に比べ、格段に優れた特性を持っている。

以下、圧延ラインでの幅大圧下の必要性、サイジングプレスの特性、実機稼動状況などについて述べる。

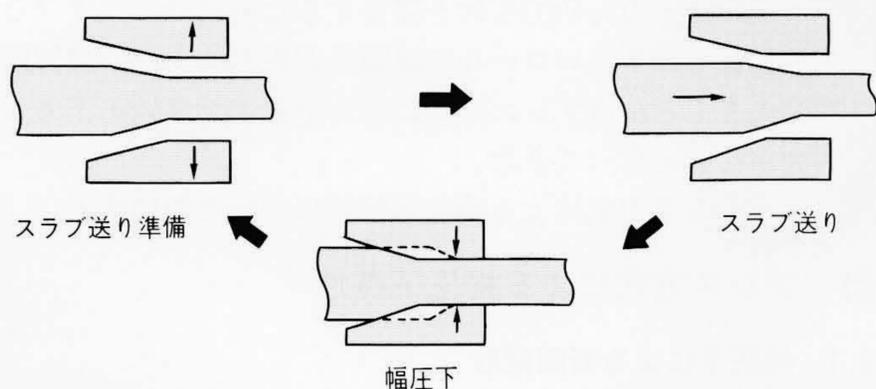


図1 サイジングプレスの動作原理 サイジングプレスは、テーパ状の工具を振動させることによって、スラブの幅圧下を行うものである。

2 圧延ラインにおける幅大圧下技術

2.1 幅大圧下の必要性

従来、熱間圧延素材として使用されていた分塊スラブでは、スラブ幅は分塊圧延機で自由に作り込むことが可能であり、熱間圧延ラインでの幅圧下設備は水平圧延によって発生する幅戻り分の調整機能が主な役割であった。

しかし、最近の連続鋳造比率の急上昇に伴い幅圧下に対する要求も変化してきた。すなわち、連続鋳造スラブでは連続幅変更装置の開発も行われてはいるが、一般にはスラブごとに幅を変えることは困難とされていること³⁾、連続鋳造でのスラブ幅替え頻度の増加に伴う連続鋳造能力の低下など多くの問題があるため、図2(b)のように熱間圧延ラインで自由自在に幅変更可能な設備の必要性が出てきたわけである。

このような設備の導入は、連続鋳造設備のメリットを十分に発揮させ、

- (1) 広幅高速安定鋳造による連続鋳造能力の向上
- (2) 定幅高速鋳造による高温スラブの製造
- (3) 高温スラブの加熱炉への装入(ホットチャージ)を可能とするものである。

2.2 幅大圧下に要求される特性

熱間圧延ラインで、幅大圧下を実現するのに際して要求される特性は、高生産性、高品質、高歩留まり、高効率幅圧下特性などである。

次に、これらを確保する上で重要な因子である幅圧下後のスラブ断面形状、及び先後端の平面形状について述べる。

(1) スラブ断面形状

従来の立てロールによる幅圧下では図3(a)に示すように、幅端部に大きな増厚部(ドッグボーン)が発生するため、続く水平圧延でその部分が幅方向に広がる、いわゆる大きな幅戻

* 川崎製鉄株式会社水島製鉄所 ** 川崎製鉄株式会社新事業本部第二事業開発部 *** 日立製作所日立工場
 **** 日立製作所機電事業本部鉄鋼プラント部

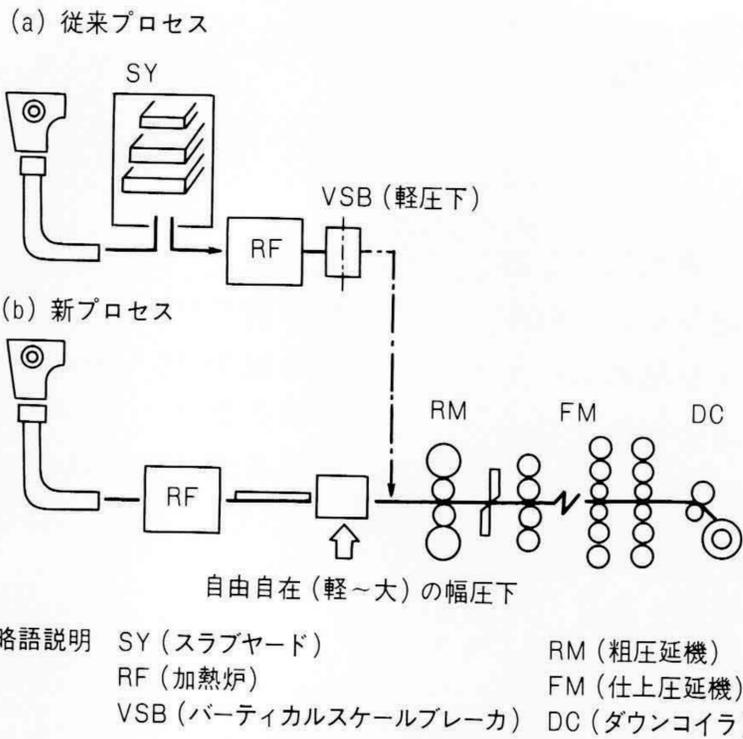


図2 熱間圧延ラインにおける幅大圧下の必要性 熱間圧延ラインでの幅大圧下設備導入は、連続鋳造スラブの一定幅高速下での鋳造を可能とし、その結果連続鋳造能力の向上、高温スラブの製造を実現するとともに、熱間圧延ラインでの自在な幅寸法の製品作り込みを可能とする。

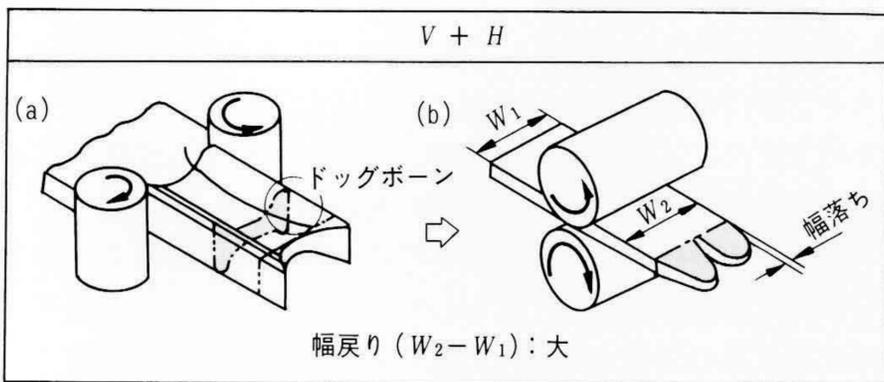


図3 従来方法によるスラブ幅圧下 従来の立てロールによる幅圧下では、幅端部に生ずるドッグボーンによって水平圧延後、大きな幅戻り及び先後端部に大きなフィッシュテールや幅落ち現象が発生する。

表1 各種幅圧下方式と特長 Vロール方式の幅圧下では、1パスの圧下量の制限があり、また幅戻り量が多いうえ先後端クランプロスが大である。

方式	構成	圧下量 (1パス)	幅戻り ($W_2 - W_1$)	先後端歩留まり
(a) VSB (従来方式)		< 100 mm	大	×
(b) カリバー付きVロール		< 150 mm	中	△
(c) 予成形プレス + カリバー付きVロール		< 150 mm	中	○
(d) サイジングプレス (全長幅プレス)		350 mm	小	◎

注：略語説明 VSB(立て形圧延機)

り現象を生じ効率の良い幅圧下ができない。また、ドッグボーン部を水平圧延するとき、スラブ幅中央部はドッグボーン部が長手方向に伸びようとする力に引っ張られるため、引張応力が発生し表面性状の点からも問題がある²⁾。

以上の点を考慮すると、断面形状についてはドッグボーンが幅端部より中央側に入っているのが望ましい。

(2) スラブ平面形状

通常、立てロールによる圧延後の先後端部は図3(a)に示すようにフィッシュテールと呼ばれる形状となり、幅圧下量が多いほどこの量も大きくなり、水平圧延後には更に拡大され歩留まりの低下へと導く。また、長手方向中央部のドッグボーン高さは先後端部に比較し著しく大でかつ端部寄りであるため、水平圧延後の幅戻りによって、先後端部に幅落ちという現象が発生し、幅精度の低下及び歩留まりの低下をもたらす。

したがって、平面形状の点からは幅圧下後のフィッシュテールが小さいこと、及び長手方向断面形状と密接に関係する水平圧延後の先後端部の幅落ち現象のないことが必要である。

2.3 最近の幅圧下技術

従来のVSB(立て形圧延機)による幅圧下能力限界を踏まえて、上記目的を達成するために表1に示す種々の方法が実施されている。同表(b)は、VSB方式(a)での幅圧下効率を改善する目的でカリバー付きロールを使用し、幾何学的にドッグボーンをスラブ幅中央側に寄せる方法である。しかし、この方法でもかみ込み角が大きくとれず、1回の幅圧下量は150 mm以下であり、またドッグボーンも十分中央寄りにできないこと、及びカリバー内周速差によるきず発生などの問題がある。そこで同図(b)タイプで、かみ込み角増大による幅圧下量の拡大、ドッグボーン位置の改善のため、φ2,000 mm程度の大径カリバー付きロールを採用した例があるが、いずれにしてもロールによる幅圧下であるために発生する先後端部の大きなフィッシュテールを改善するに至っていない²⁾。

そこで歩留まり向上のため表1(c)のように、幅圧下する前にスラブ先後端を予成形するプレスと立てロールとを組み合わせる方法があるが、設備費及びスペース上から必ずしも有利な設備とは言えない。

このようにドッグボーン変形を小さく抑え、先後端フィッシュテールなどの局所的変形を防止するためには、スラブとの接触弧長さの小さいロールでは限界があり、ここに接触弧長さの大きくとれるプレス工具による全長スラブ幅圧下方式の開発が必要となってきた。

以下、プレス方式による幅圧下特性について説明する。

3 プレス方式による幅圧下特性

3.1 幅圧下による断面変形

図4に厚み220 mm×幅1,300 mmのスラブを300 mm幅圧下した場合の断面形状、及び内部ひずみの幅方向分布を示す²⁾。本図によれば、プレス幅圧下方式はスラブ幅中央部でも増厚しており、長方形に近い断面形状となっているので水平圧延時の幅戻りが小さいこと、スラブ表面の不均一応力の発生がないことなど優れた特性を示していることが分かる。

3.2 幅圧下効率

次にプレス方式幅圧下の効率 η について述べる。これは初期のスラブ幅 W_0 、幅圧下後のスラブ幅 W_1 、幅圧下後厚みの増加したスラブをもとの厚みに水平圧延したときのスラブ幅 W_2 の関係は、

$$\eta = (W_0 - W_2) / (W_0 - W_1)$$

の式で示される。

図5は計算、 $\frac{1}{10}$ モデルテスト及び実機テストで得られた種々のスラブ幅に対するプレス方式とカリバー付きVロール方式の幅圧下効率の比較を示したものである²⁾。これよりプレス方式の η が大であり、幅圧下量 ΔW にそれほど依存せず、そのうえ広幅スラブでも高い幅圧下効率を確保できることが分かる。

3.3 幅変更時の必要パス数

表2にスラブ厚み220 mm、幅1,300 mmを300 mm幅変更する場合の必要パス数を、プレス方式とカリバー付きVロール方式の両者について比較した例を示す。図6からプレス方式の場合 η は90%以上確保できるので、 $\Delta W = 350$ mmの幅圧下能力を持っていれば1パスで300 mmの幅変更を達成できるのに対し、Vロール方式では η が70%程度であるため3～5パス必要であることが分かる²⁾。

3.4 幅圧下後の平面形状とクロープロス

既に述べたように、Vロール方式による幅の大圧下ではスラ

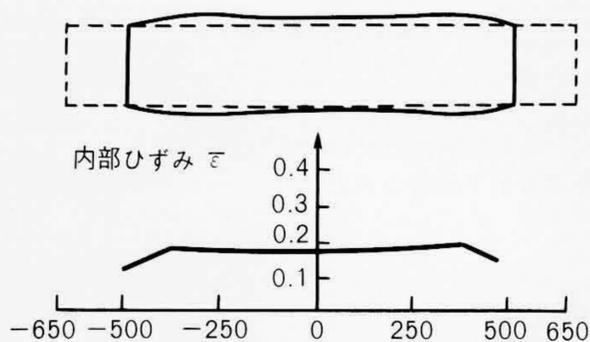


図4 プレス幅圧下方式によるスラブ断面形状と内部ひずみ
プレス幅圧下方式によって、長方形に近い断面形状と一様な内部ひずみを達成できる。

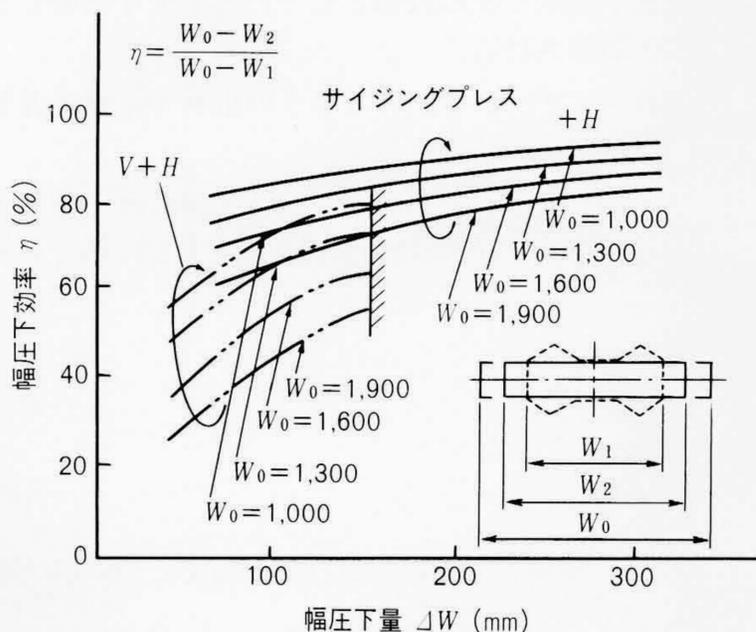


図5 サイジングプレスによる幅圧下効率 プレス方式による幅圧下効率は幅圧下量にそれほど依存せず、また広幅でも高い幅圧下効率を示す。

表2 300 mm幅変更するための必要パス数 幅圧下効率の高いプレス方式によれば、1パスで300 mmの幅変更を達成できるが、Vロール方式では3～5パスが必要である。

	Vカリバーロール方式	サイジングプレス
幅圧下能力(1パス)	125～150 mm	350 mm
幅圧下効率 { 厚み 220 mm 幅 1,300 mm	71～74%	90%
パス回数	3～5パス	1パス

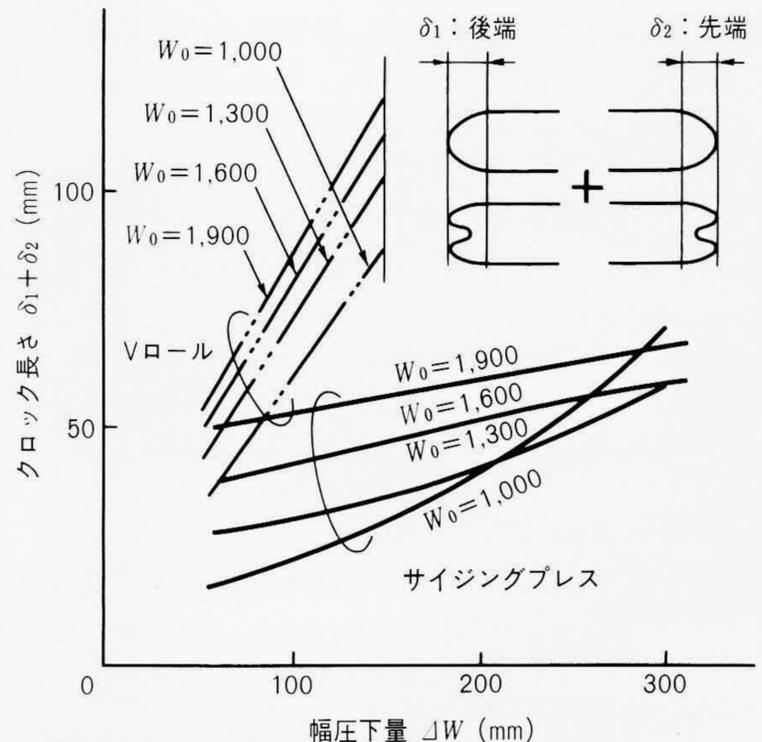


図6 サイジングプレスによるクロープロス サイジングプレスによるクロープロスは、Vロールに比較し特に幅圧下量の大きいところで大きな改善が得られる。

ブ先後端部に大きなフィッシュテール及び幅落ち現象を生じ、この領域は熱間圧延仕上圧延機前のクロープシャーで切断され、クロープロスとして歩留まりを低下させている。

図6に各スラブ幅に対する幅圧下後の先端及び後端でのクロープ長さ合計と幅圧下量との関係を示す²⁾。この結果から、幅圧下量の比較的小さい領域ではカリバー付きVロール方式とプレス方式の差は小さいが、幅圧下量が大きくなるとともに、プレス方式が格段に有利になっていくことが分かる。同図は計算結果を示すものであるが、 $\frac{1}{10}$ モデルテスト及び実機テストの結果はこれをよく裏づけている。更に、プレス幅圧下方式では先後端の予成形を行いクロープ制御も可能であるので、これを実施することによって更にクロープロス低減が可能である。

4 実機プレス式幅圧下設備(サイジングプレス)

4.1 実機サイジングプレス仕様

上述のような優れた特性を持つプレス式幅圧下の実機化に当たっては、

- (1) プレス荷重、スラブ断面及び平面形状を考慮した最適な金型形状(角度、大きさほか)と材質の選定
- (2) 簡単かつ確実なスラブ搬送方法
- (3) 広幅スラブにも有効な座屈防止方法

(4) これらを実現する最適な全体機械構成と制御など多くの課題があったが、数多くの計算及びモデルテストを実施してこれらを克服した。図7に実機サイジングプレスの全体写真とその主な仕様を示す。

4.2 サイジングプレス導入によるメリット例

(1) 仕上圧延後の幅精度向上

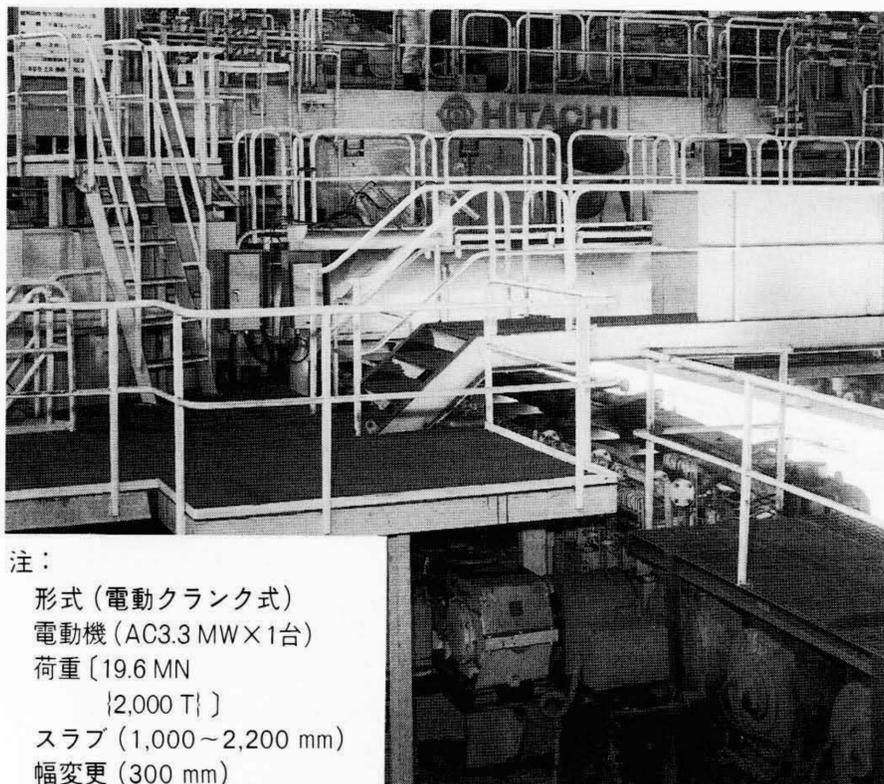
図8に幅変更300 mmの場合の仕上圧延後のホットコイル幅精度を示す。大圧下にもかかわらず、先後端の幅落ち現象が見られず幅精度向上が実現でき、更にコイル内の幅変動もVロール方式に比較し向上しており、歩留まり向上に寄与している²⁾。

(2) クロップロス低減

図9に川崎製鉄株式会社水島製鉄所でのサイジングプレス導入前のVSBによる幅圧下(軽幅圧下)時から導入後のテスト期間中、オンライン後、そして先後端部のクロップ形状制御立上げに至る経過とクロップロス量の推移を示す。これよりクロップロス形状制御立上げ後は、幅大圧下にもかかわらずVSBによる軽圧下でのクロップより更に改善されていることが分かる²⁾。

(3) スラブ幅集約の実現

このように熱間圧延ラインでの高効率幅大圧下設備の実現は、連続鋳造スラブの幅集約化を促進し、例えば、川崎製鉄株式会社水島製鉄所では、従来30種類のスラブ幅が5種類に集約されるなど、当初の目的とする連続鋳造の生産効率向上、高温スラブの鋳造、加熱炉への高温スラブホットチャージ及び熱間圧延ラインでの自在な幅寸法製品作り込みを可能とし、生産性向上、省エネルギー、多種類幅要求の対応能力の向上などを達成した。



注：
形式(電動クランク式)
電動機(AC3.3 MW×1台)
荷重[19.6 MN
{2,000 T}]
スラブ(1,000~2,200 mm)
幅変更(300 mm)

図7 実機サイジングプレス 加熱炉とVSB間に設置され、スラブ幅1,000~2,200 mmに対応可能である。

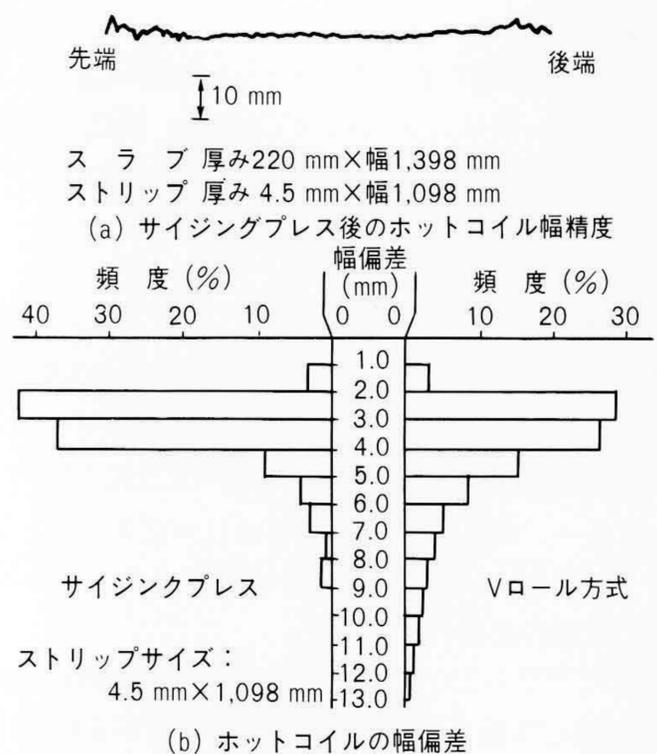


図8 ホットコイルの幅精度と幅偏差 サイジングプレス導入によって幅精度、幅偏差の向上がなされ、歩留まり向上に寄与している。

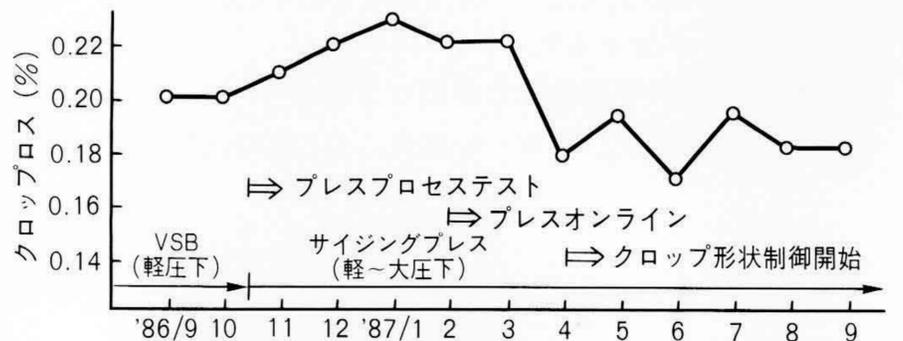


図9 実機サイジングプレスのクロップロス推移 クロップ形状制御確立後は、幅大圧下にもかかわらずVSBによる軽幅圧下でのクロップロス以下のレベルまで改善された。

5 結 言

以上、熱間圧延ラインでの幅大圧下技術の必要性と、それにはサイジングプレスが最適であることを述べた。

本サイジングプレスは省資源、省エネルギー及び生産性向上などに大きく貢献できる設備として、ますます必要になってくるものと期待される。

今後とも各ユーザーから、いっそうの批判や指導を希望するものである。

終わりに、開発、実機化の過程で真剣に御討議、御指導をいただいた社外の関係各位に対し深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 塑性と加工：特集号、熱間圧延における幅変更・幅制御技術、Vol.25, No.277(1984-2)
- 2) 第38回塑性加工連合講演会講演論文集、p.33~48(昭62-9)
- 3) わが国における最近のホットストリップ製造技術(第2版)、日本鉄鋼協会発行(昭62-8)