
4 ロールミルによる線材・棒鋼のサイズフリー圧延技術の開発

Development of Size-Free Rolling Technology for Wire Rod and Bar Using 4-Roll Mill

金堂 秀範(Hidenori Kondo) 武田 了(Ryo Takeda) 大森 和郎(Kazuro Ohmori) 国田 憲男(Norio Kunita)

要旨：

川崎製鉄は、自動車用鋼材に代表される特殊鋼市場から切望されていた加工に最適な任意サイズ材および高寸法精度材の製造が可能な画期的な新棒鋼圧延法として、4 ロールミルによるサイズフリー圧延技術を開発し、1994 年 4 月に水島製鉄所の線材・棒鋼工場において世界で初めて実用化した。本技術は、すでに実用化されていた精度の製品が製造できる 4 ロール法の特徴を最大限に活用した技術であり、2 ロール駆動方式など多くの技術を開発し、優れた操作性やメンテナンス性も合わせ持つ圧延設備として、実用化に成功した。

Synopsis：

Kawasaki Steel has developed a new size-free rolling technology using a 4-roll mill in order to supply products of optimum sizes for various working processes and of high-dimensional accuracy. In April 1994, this technology was introduced to the bar mill line of the wire rod and bar mill at Mizushima Works for the first time in the world. This technology makes maximum use of the advantages of the 4-roll method, which is useful in securing higher dimensional accuracy and a wider size-free range than are possible with the 2-roll and 3-roll method now in practical use. At the same time, a number of new technologies, including a 2-roll drive system, were applied to realize the rolling mill with the excellent operability and maintainability which are indispensable in commercial equipment, resulting in a successful development of a practical mill.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

4 ロールミルによる線材・棒鋼の サイズフリー圧延技術の開発*

川崎製鉄技報
28 (1996) 2, 69-75

Development of Size-Free Rolling Technology for Wire Rod and Bar Using 4-Roll Mill



金堂 秀範
Hidenori Kondo
水島製鉄所 条鋼圧延
部条鋼技術室 主査(部
長補)



武田 了
Ryo Takeda
水島製鉄所 条鋼圧延
部条鋼技術室 主査(課
長補)



大森 和郎
Kazuo Ohmori
水島製鉄所 プロセス
開発部開発設計室 主
査(課長)



国田 憲男
Norio Kunita
住友重機械工業(株)
産業機械設計部 主席
技師(故)

要旨

川崎製鉄は、自動車用鋼材に代表される特殊鋼市場から切望されていた加工に最適な任意サイズ材および高寸法精度材の製造が可能な画期的な新棒鋼圧延法として、4 ロールミルによるサイズフリー圧延技術を開発し、1994 年 4 月に水島製鉄所の線材・棒鋼工場において世界で初めて実用化した。本技術は、すでに実用化されていた 2 ロール法や 3 ロール法に比べて広いサイズフリー範囲と高い寸法精度の製品が製造できる 4 ロール法の特徴を最大限に活用した技術であり、2 ロール駆動方式など多くの新技術を開発し、優れた操作性やメンテナンス性も合わせ持つ圧延設備として、実用化に成功した。

Synopsis:

Kawasaki Steel has developed a new size-free rolling technology using a 4-roll mill in order to supply products of optimum sizes for various working processes and of high-dimensional accuracy. In April 1994, this technology was introduced to the bar mill line of the wire rod and bar mill at Mizushima Works for the first time in the world. This technology makes maximum use of the advantages of the 4-roll method, which is useful in securing higher dimensional accuracy and a wider size-free range than are possible with the 2-roll and 3-roll methods now in practical use. At the same time, a number of new technologies, including a 2-roll drive system, were applied to realize the rolling mill with the excellent operability and maintainability which are indispensable in commercial equipment, resulting in a successful development of a practical mill.

1 緒 言

線材・棒鋼製品は広い産業分野において使用されていて、品質への要求も用途により多種多彩であり、鉄鋼産業に対しては単なる素材供給のみに留まらず、最終製品までの一貫製造工程における最適な素材の供給が求められている。特に自動車用鋼材に代表される特殊鋼市場においては全断面、全長にわたる高度な品質保証に加え、さらに加工工程の省略または簡略が可能な中間サイズ素材および高寸法精度素材の供給が望まれている。

一方、供給側の線材・棒鋼圧延工場においては、従来から製品サイズごとに専用の孔型ロールを保有し、圧延するサイズが変わるたびにロールを交換するのが一般的であった。頻繁なサイズ変更は、ロールやガイドの交換に必要な圧延停止時間の増加とその要員の確保および多くのロールやガイドの保有などにより製造コストの増大

をもたらすため、製造可能なサイズ数には限界があった。したがって、同じロールの隙を変えるだけで、異なるサイズの製品を製造できる圧延法（以下サイズフリー圧延法と呼ぶ）は、上述の問題点を解決する画期的な圧延技術として、その実用化が注目されている。

サイズフリー圧延技術としては、すでに 2 ロール法と 3 ロール法が実用化されている。一方、4 ロール法はその幅広がり特性、カーバー形状特性より、他法に比べて非常に高い寸法精度と広いサイズフリー範囲を有する優れた圧延法である。当社は、このような優れた特性を持つ 4 ロール法によるサイズフリー圧延技術の開発に成功し、1994 年 4 月に水島製鉄所の線材・棒鋼工場に導入した。

本報においては、この新圧延技術の特徴と実用化した設備の概要を紹介する。

* 平成 8 年 4 月 10 日原稿受付

2 サイズフリー圧延法

2.1 圧延法の特徴

サイズフリー圧延は、Fig. 1(a)に示すように保有するロールの孔型サイズに制約を受けることなく、任意のサイズの製品を圧延することができる。また、さらに上流圧延機のパススケジュール簡素化により、ロール組替頻度が大幅に削減もできる。その削減効果は、同じロールにより圧延可能な製品サイズ範囲（以下サイズフリー範囲と呼ぶ）が広いほど大きい。

また、サイズフリー圧延はフィニッシングミルのみに限定されるものではなく、Fig. 1(b)に示すようにプレフィニッシングミルとしても有効に活用できる。

2.2 圧延法の種類と比較

サイズフリー圧延には、Fig. 2に示す3種類がある。Fig. 2(a)の2ロール法とFig. 2(b)の3ロール法はすでに実用化されている技術で、Fig. 2(c)の4ロール法が本報で述べる新開発技術である。同図に示すように、4ロール法の成形は2パスで、他方より成形パス数が1パス少ないことが特徴の1つである。

また、Fig. 3には各圧延法において同じ半径を有するロールのロール隙変化量すなわちサイズフリー範囲と製品寸法精度（図中のDmax-Dmin）との関係を示す。例えば、寸法精度が0.4 mm以内の製品を得ようとする場合のサイズフリー範囲は、2ロール法で1.4 mm、3ロール法で3.0 mm、4ロール法で5.3 mmで4ロール法が最も広い。これらは幾何学的計算による比較であるが、4ロール法がサイズフリー圧延法として極めて優れた特徴を持っていることが明らかである。

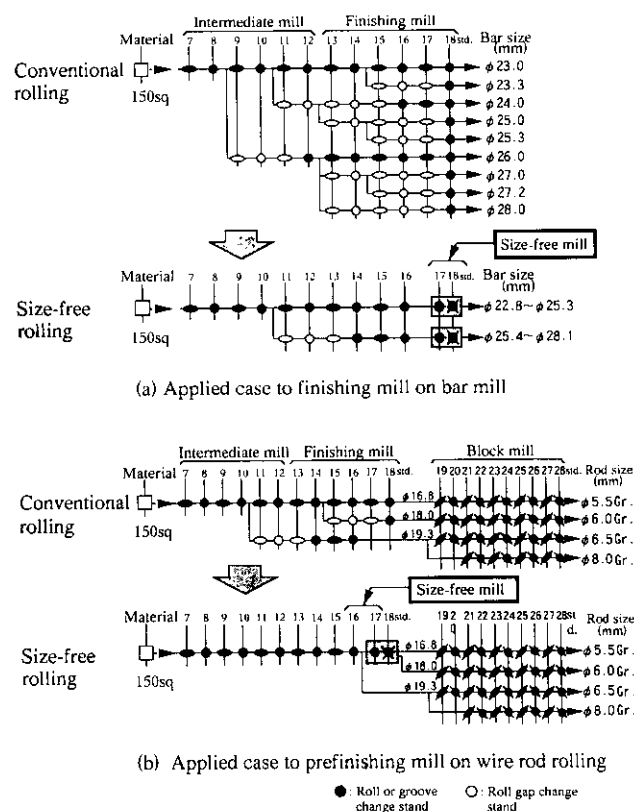


Fig. 1 Comparison of pass schedule between the conventional rolling method and the size-free rolling method

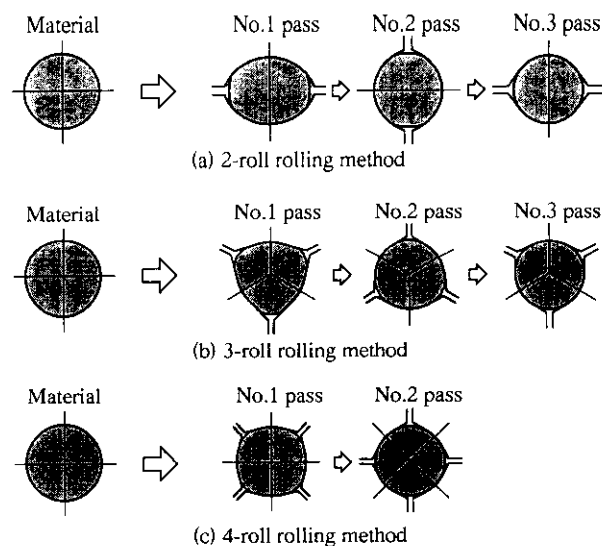


Fig. 2 Size-free rolling methods for finishing passes

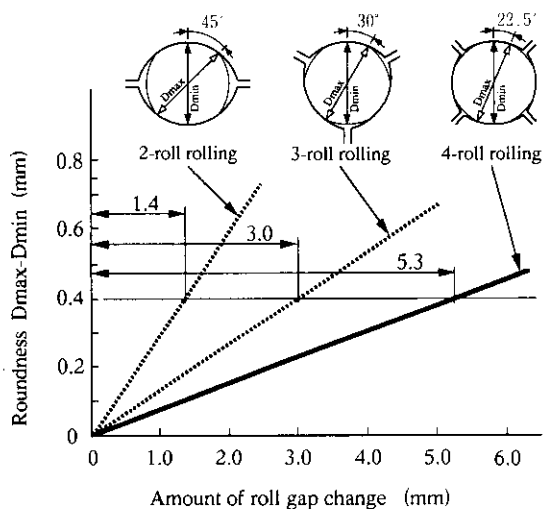


Fig. 3 Comparison of the relationships between roundness of product and amount of roll gap change with rolling methods

2.3 実機への適用効果

粗圧延、中間圧延および仕上げ圧延で構成される一般的な棒鋼ミルへ適用した場合に期待される効果をFig. 4に示す。仕上げ圧延へのサイズフリー圧延法の適用は、製品サイズ制約の排除効果だけでなくロール組替時間および回数減少により圧延チャンス制約を緩和する。

3 4ロール圧延技術の開発

3.1 4ロール設備の開発

4ロール法がサイズフリー圧延法として優れた特性を持ちながら実用化に至らなかった最も大きな理由は、一般的に多ロールになるほどミル構造が複雑になり、コンパクトな実用圧延機として圧下機構など必要な機能を備えるには限界があり、4ロール法は研究室での実験機りの域をでなかった。したがって、4ロール圧延法実用化のポイントは、様々な新技術を組合せたシンプルな構造の圧延設備を

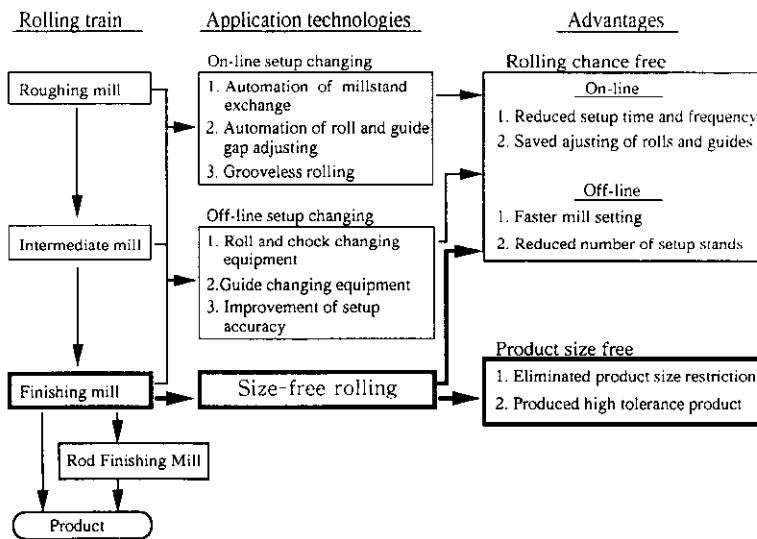


Fig. 4 Advantages of application of size-free rolling

開発することであった。

3.1.1 4 ロール圧延機

開発した4ロール圧延機は、Fig. 5に示すように、2台の4ロールミルがスタンド間650mmの近距離で1台のスレッド台車上に、No. 17スタンドが「十字」のロール配列に、No. 18スタンドが「×字」のロール配列になるように装着されたコンパクトな圧延機である。

以下に圧延機的主要特徴について述べる。

(1) 2 ロール駆動

4ロールミルの場合、4本のロールすべてをモーター駆動にすると構造がきわめて複雑になり、実用化はメンテナンス性などの点で難しい。

そこで、Fig. 6に示すように、2ロールミルと同様に2本のロールのみモーターで駆動する方式を採用し、実用化可能なシンプルなハウジング構造にした。ただし、他の2本のロールは圧延材進入時の圧延材とロールとのスリップによる表面疵の発生を防止するため圧力水を使って回転させる機能を付加した。

(2) ロール軸オフセット

ロール軸オフセットとは、3.2.2に示すように駆動ロール軸に対して非駆動ロール軸を圧延方向にずらすことで、ロール同志の干渉が避けられ、その分だけロール隙調整代が拡大してサイズフリー範囲が広がる。また圧延材が先に駆動ロールに引き込まれるので、安定した噛み込み性が得られる。

No. 17スタンドは、前述の目的のほかに3.2.3で述べる圧延材の歪み制御を目的に、ロール軸オフセットできるミル構造にした。Fig. 5に示すロールブロックを固定している油圧ナットを緩め、オフセット調整スクリーを回転させることにより、任意に無段階調整できる。

No. 18スタンドは、仕上バスであるからサイズフリー範囲は目標とする製品の寸法公差により決まり、また噛み込み性は前スタンドとの距離をできるだけ短かくすることにより向上をはかることで、ロール軸をオフセットせず、より簡単なミル構造とした。

(3) ハウジング構造

Fig. 6のごとく、4個のロールブロックがセンターブロックにタイロッドを介して油圧ナットで固定されたブロック構造体であり、メンテナンス性を考慮すると同時に高剛性化を実現した。

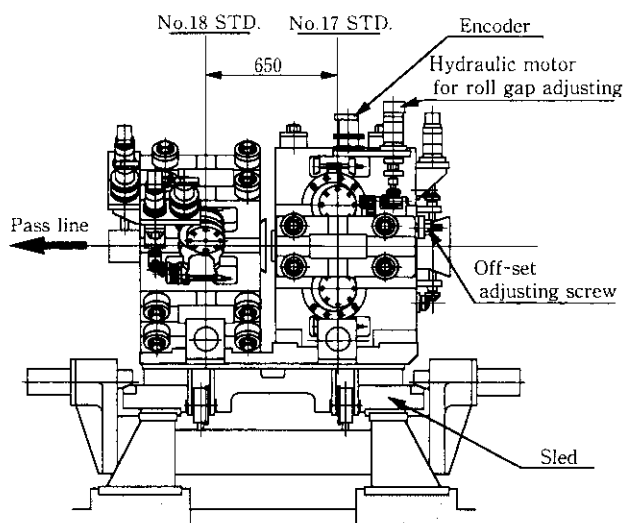


Fig. 5 Outside view of 4-roll mill

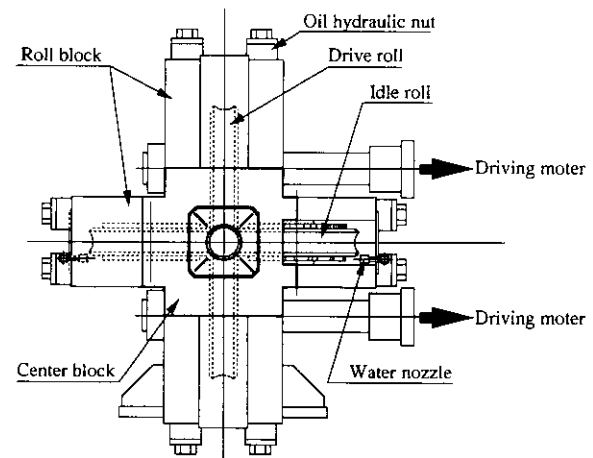


Fig. 6 Construction of 4-roll mill housing

(4) ロール隙調整

Fig. 5 に示すように、相対する 2 個 1 対のロールに対し 1 組の油圧モーターと制御用のエンコーダーを装備し、上下ロール隙と左右ロール隙が別々に遠隔操作により調整できる。

3.1.2 オフライン設備

オフラインでは、圧延機のロール、ガイド交換および磨耗したロールの改削など次圧延のための事前準備を行う。

その方法としては、①カリバー種類毎に圧延機を保有して次サイズ用圧延機に交換する方法、②カリバー種類毎にロールを保有して使用後の圧延機のロールを次サイズ用に交換する方法、および③圧延機に組み込んだままのロールを次サイズ用に改削する方法がある。これらの中から、少ない圧延機保有により設備費が削減でき、複雑なロール交換作業がなく準備時間が短い前述③の方法を採用し、効率的な圧延準備体制を構築した。

(1) 4 ロール改削装置

Fig. 7 に示す装置は、4 ロールミル専用に開発した NC 装置付の三次元ロール切削装置で、圧延機に組込んだままの各ロールにそれぞれ回転動力源を結合し、かつロール位置精度を向上させるためにブロード状態でロールを回転し、4 本のロールを同時に改削することにより高能率かつ高精度なロール改削を実現した。

また、ロール改削方法として孔型部分のみを小サイズ用孔型から大サイズ用孔型へ順次改削する方法を採用し、これにもとづく圧延準備システムを構築したので、ほとんどロール交換することなく、広いサイズ範囲の製品を効率よく圧延できる。

(2) その他のオフライン設備

一方、ロール改削以外のオフライン作業である磨耗したロールの交換および部品の点検、取り替えなどのメンテナンス作業についても効率化をはかるため、徹底した機械化をはかった。開発した主設備として、ミルハウジング解体組立装置およびロール軸アセンブリー解体組立装置がある。

3.2 4 ロールミルの圧延特性

線材・棒鋼圧延の基本である幅変形特性に関しては、2 ロールや 3 ロール圧延法においては圧下によって幅広がりし、4 ロール圧延法の場合は逆に幅狭まりする特性¹²⁾があることが知られている。一方、本技術に適用したロール軸オフセットの影響および製品の内部品質に影響する歪み特性については、ほとんど研究されていない。

そこで、本技術の開発にあたり前述の特性を実機に反映させるため、実験研究をおこなったので以下に述べる。

3.2.1 幅変形特性

線材・棒鋼圧延においては、圧延材が圧下により三次元変形する

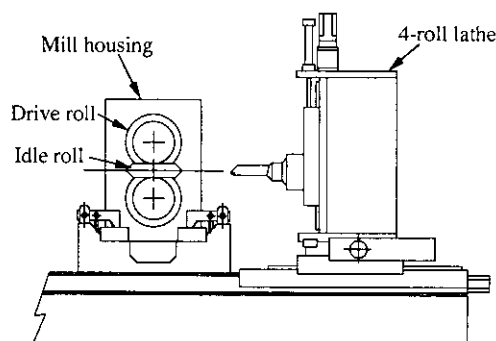


Fig. 7 Outside view of 4-roll conditioning device

ことは一般的に知られている。したがって、ロール孔型面によって拘束されない自由面の径すなわち幅寸法をいかに制御するかが製品の寸法精度を決する重要な要因の 1 つであり、従来から作業者の技能向上や制御技術の開発により精度向上がはかれてきた。しかし、幅寸法は、圧延温度、圧延材の鋼種、ロール径など多種多様な条件変化によって変動するため、そのコントロール精度には限界があった。

Fig. 8 は、前述の幅寸法変動に影響する幅変形特性を各圧延法別に比較したものである。2 ロール法の幅変形量がもっとも大きく、3 ロール法はその半分である。ただし 3 ロール法の場合、幅変形が片側の自由面に集約されるので断面中心からの幅変形量は 2 ロール法と同程度である。これに対して 4 ロール法は、圧下率 10% 以下では幅変形量がほとんどなく、従来の三次元変形の概念を破り、二次元変形に近い取扱いが可能になるので、寸法制御が極めて容易になり、従来法では不可欠であった寸法調整作業者は不要になるとともに圧延条件の影響を受けず高寸法精度の製品を製造できる。

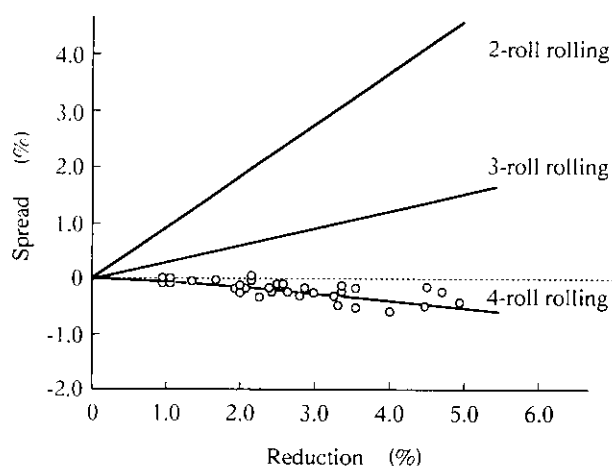


Fig. 8 Comparison of spread by each rolling method

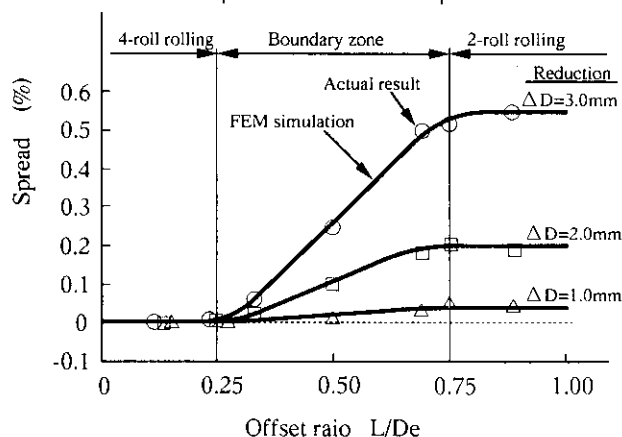
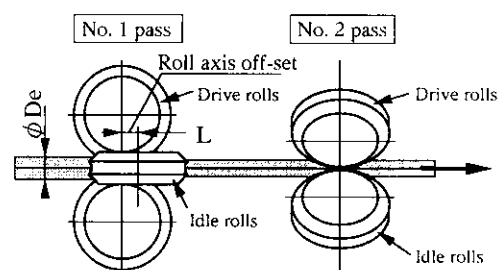


Fig. 9 Effect of roll axis offset on spread of stock rolled by 4-roll mill (where $De=48$ mm)

3.2.2 ロール軸オフセット特性

ロール軸オフセットとは、Fig. 9 に示すように、No. 1 パスの上下ロール軸に対して左右ロール軸を圧延方向にずらすことで、同図に幅広がり及ぼすロール軸オフセットの影響を三次元剛塑性 FEM²⁾ を用いて解析した結果を示す。

オフセット率（オフセット量／入側材直径）が 0.25 以下では幅広がり微小で 4 ロールとしての特性が得られ、それ以上になると幅広がりが増大し、オフセット率が 0.75 以上では 2 ロールとしての特性が得られる。

したがって、前項で述べた幅変形特性の 4 ロール法で圧延する場合は、オフセット率を 0.25 以下に設定する。また 4 ロール法と 2 ロール法の間的特性で圧延しようとする場合のオフセット率は 0.25 から 0.75 となり、狙いとする特性によって任意に設定する。

3.2.3 製品断面内歪み分布特性

Fig. 10 に、4 ロール圧延における圧延材断面の相当歪分布を三次元剛塑性 FEM を用いて解析した結果を示す。

圧下率 ($\Delta D/De$) の影響をみると、圧下率の小さい Fig. 10(b) の場合が圧下率の大きい Fig. 10(a) の場合よりも歪みが小さく、特に中心部と自由面部とが小さい分布となっている。ところが、ロール軸オフセットを実施した Fig. 10(c) の場合、全断面において歪みが増大している。

このことは、一般に低圧下、高温圧延の場合に発生すると言われている組織の粗大化を防止するのに、ロール軸オフセットが有効な手段であることを示している。

4 実操業への適用

4.1 適用状況

Fig. 11 および Table 1 に示すように、線材・棒鋼工場では 4 ロールミルを棒鋼圧延用の仕上ミルとして、および線材圧延用のプレフィニッシングミルとして使用している。

Fig. 10 FEM simulation results of sectional strain distribution of the stock rolled by 4-roll mill

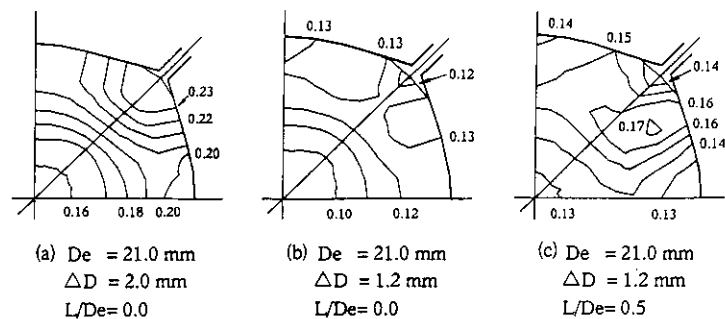


Fig. 11 Layout of Bar and Rod Mill at Mizushima Works

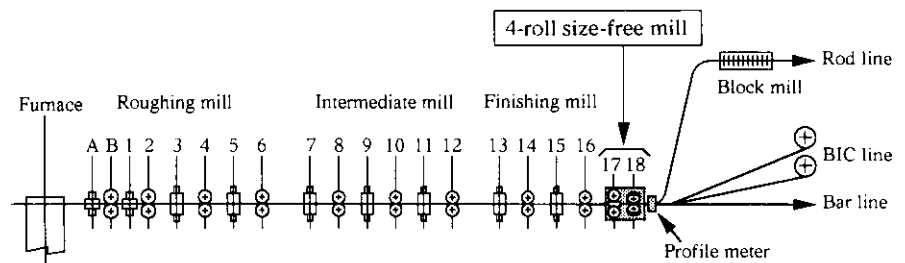


Table 1 Specifications of 4-roll size-free mill for bar and rod at Mizushima Works

Items			Specifications
Mill capacity	Product size range	(mm)	$\phi 16 \sim \phi 85$
	Rolling speed range	(m/s)	0.8~16.0
	Maximum rolling load	(t)	50
	Mill constant	(t/min)	100
Roll screw down	Screw down range	(mm)	Pitch roll dia. : 400 ± 4.5
	Screw down method		Control : Remote operation
	Accuracy	(mm)	± 0.02
Roll drive	Time	(s)	3.0
	Drive method		2 rolls driven by electric motor 2 rolls rotated by pressurized water
	Motor specification	(kW)	No.17 std. : DC 1 200 — 480/1 200 rpm No.18 std. : DC 450 — 600/1 000 rpm
Stand setup	Exchange method		Automatic operation using sled
	Time	(min)	3.5

素材は150 mm角ピレットで、16 mm ϕ ～85 mm ϕ の製品を20種類のロール孔型でサイズフリー圧延している。

4.2 操業結果

Fig. 12 に実施例として従来の2ロール圧延と新しい4ロール圧延の製品寸法実績の比較を示す。42 mm ϕ の例は普通公差材の場合で、従来の2ロール圧延と比較し、寸法精度は高い。また30 mm ϕ の例は寸法精度厳格材の場合で、適正な孔型アールを選択することによって ± 0.05 mmの超高寸法精度の製品の圧延が可能である。

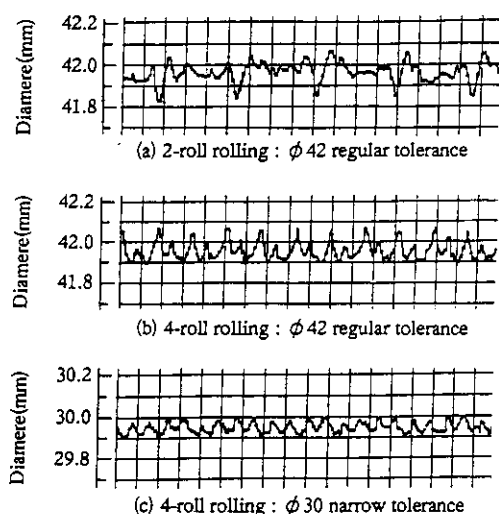


Fig. 12 Results of product diameter measured by profile meter

製品寸法精度に関する結果のまとめを Fig. 13 に示す。図中のプロットは同じ孔型ロールの隙のみを変えた場合の製品寸法精度実績で、入側材直径の約10%の広いサイズフリー範囲で、 ± 0.2 mm以内の高精度精度製品の製造が可能となった。

Fig. 14 に、寸法精度が ± 0.1 mmの精密圧延材と ± 0.2 mmの普通公差材の場合の製造可能なサイズフリー範囲に関して、圧延法別に比較した結果を示す。

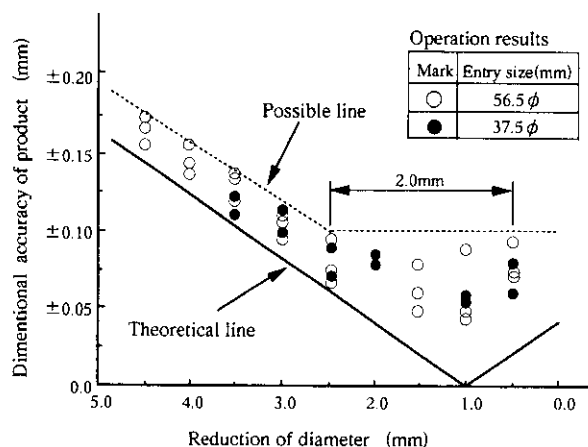


Fig. 13 Actual result of dimensional accuracy of products rolled by 4-roll size-free rolling

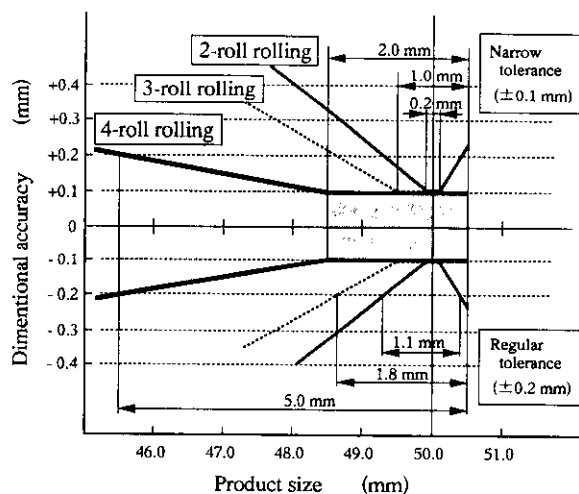


Fig. 14 Comparison of dimensional accuracy of each size-free rolling

4.3 実施効果

線材・棒鋼工場に4ロールミルを導入した結果、以下に示す効果が得られた。

(1) 高付加価値製品の製造

次加工工程に最適な任意径の製品の製造や次工程の引抜き加工、ピーリング加工などを簡略または省略できる高精度精度製品の製造が可能になった。

(2) 生産能力の向上

Fig. 15 に示すように、組替回数減少にともなうミル稼働率の向上等によって、生産能力は20%増加し、労働生産性は1.5倍を達成した。

(3) 製造コストの削減

生産能力の向上およびオンラインの製品寸法調整要員やオフラインの圧延機準備要員の合理化による向上効果以外にも、エ

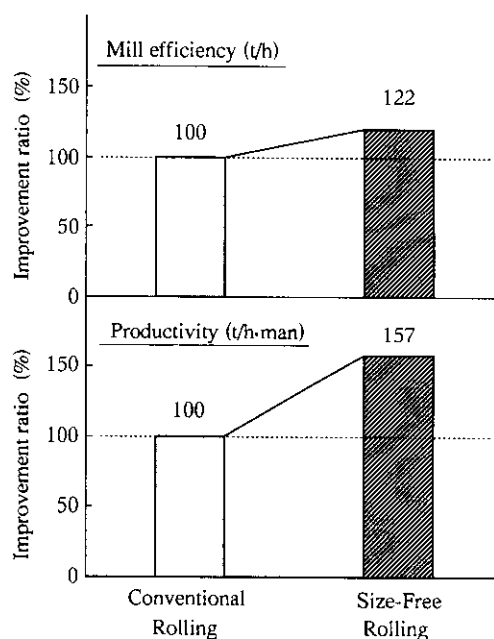


Fig. 15 Improvement of operation by installing 4-roll size-free mill

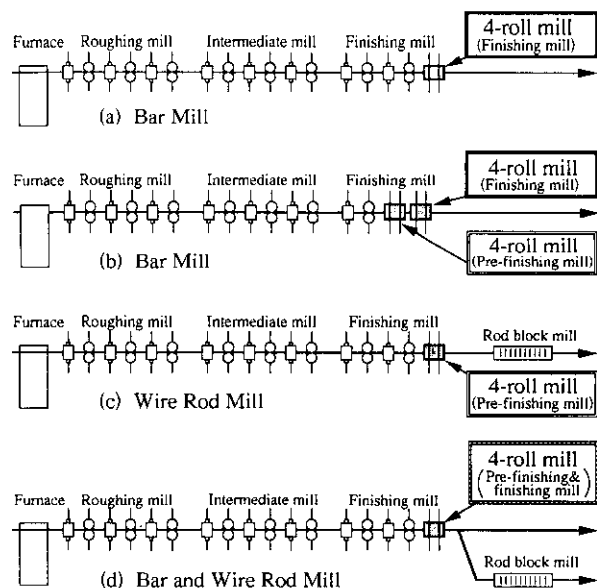


Fig. 16 Application examples of 4-roll mill to Bar Mill and Wire Rod Mill

エネルギー原単位やロール原単位の低減などにより、大幅な製造コスト削減を達成した。

5 4 ロールミルの活用方法

4 ロール圧延法の特徴は、サイズフリー範囲が広いことである。即ち広い範囲の減面率で圧延ができるので、本報で述べてきた寸法精度が要求される仕上ミルとして使用する以外に、減面を必要とす

る仕上ミルとして適用が可能であり、上流圧延機のパススケジュール統合による生産性向上をはじめとする大きな経済的効果が期待できる。

Fig. 16 に、4 ロールミルを種々の棒鋼および線材工場に適用した場合のミルレイアウトを示す。

6 結 言

川崎製鉄では、棒鋼圧延における新圧延技術として、4 ロール法によるサイズフリー圧延技術を世界に先駆けて開発した。

本技術は、製品の寸法精度およびサイズフリー範囲に関して有利な4 ロール圧延法の長所を最大限に活用するとともに、実用機として必要な優れた操作性およびメンテナンス性を持った圧延機とするため、2 ロール駆動方式をはじめとする多くの新しい技術を適用することによって開発に成功した。

本技術にもとづく4 ロールミルは、1994 年4 月に水島製鉄所の線材・棒鋼工場に導入されサイズフリー圧延を開始して順調な操業を続け、高付加価値製品の製造と製造コストの削減に大きな成果をあげている。

参 考 文 献

- 1) 平木弘一, 稲見 靖, 鈴木成信, 越智重治, 賀本晋次: 塑性と加工, 34(1993)3, 253
- 2) 加藤健三: 塑性と加工, 31(1990)8, 984
- 3) 大森和郎, 狩野 彰, 金堂秀範, 武田 了: 第46回塑性加工連合講演会(1995)9, 383