

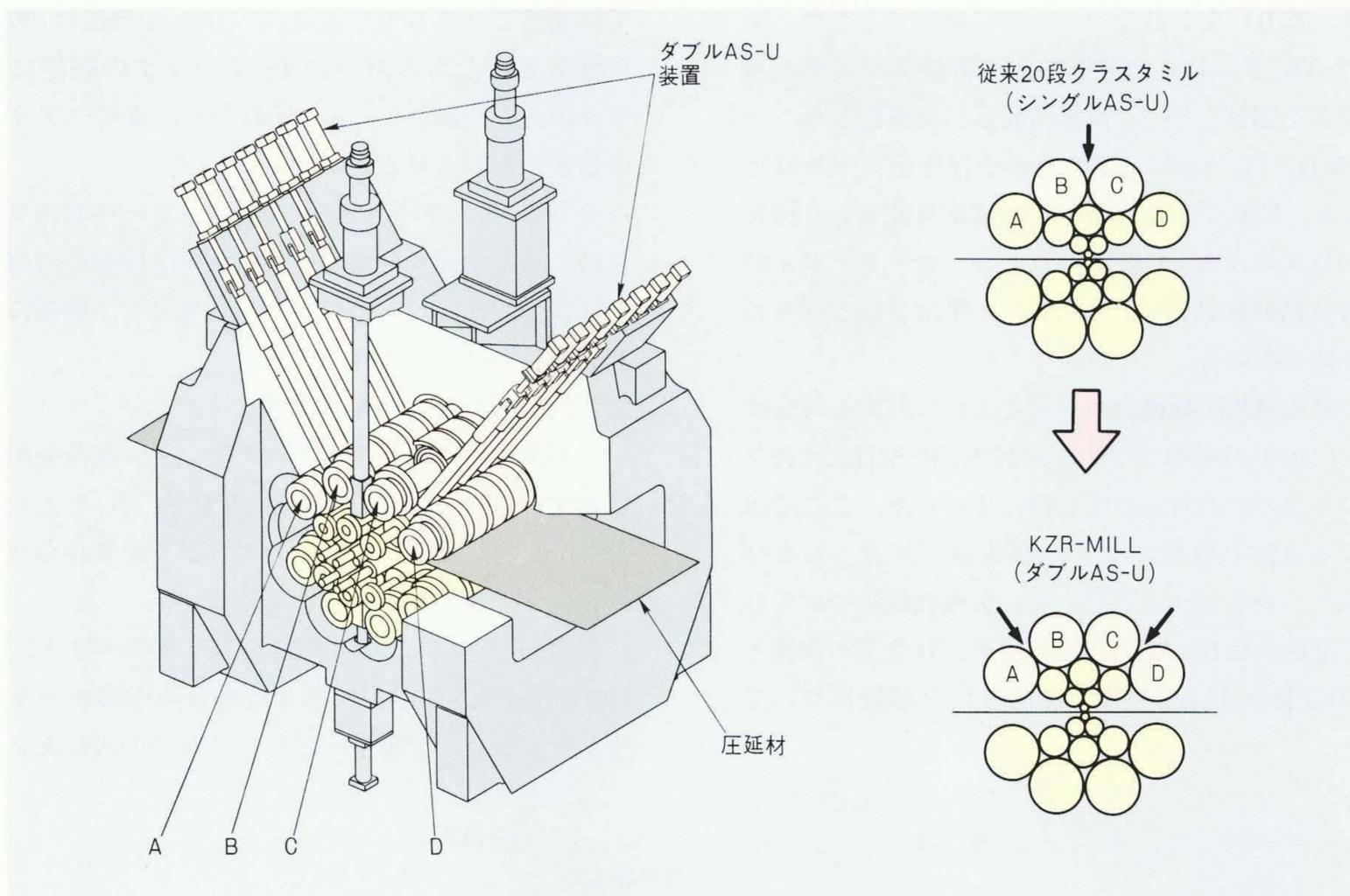
高品質材圧延用新型クラスタミル

—KZR-MILL—

New 20-High Cluster Mill for Higher Quality Rolling Strips

—KZR-MILL—

永瀬英典* *Hidenori Nagase* 服部 哲*** *Satoshi Hattori*
小山憲一** *Ken'ichi Koyama* 木村光男**** *Mitsuo Kimura*
乗鞍 隆** *Takashi Norikura*



高い板形状制御能力を持つ新型クラスタミル(KZR-MILL) ダブルAS-U機能は、従来のAS-U機能がミル上部支持ベアリングB、C軸だけに装備されていたものをA、B、C、D軸すべてに装備させるものであり、板形状制御能力の倍増を可能とした。

ステンレス鋼をはじめとする硬質の薄板材用の圧延機として、従来20段クラスタミルが広く用いられてきた。しかし、近年のいっそうの板形状の高品質化、設備の高生産性、省力化など社会のニーズに対応するため、従来の20段クラスタミルに、(1)ダブルAS-U機能、(2)ニューロ・ファジィ制御による自動形状制御など、種々の高機能を加えた新型クラスタミル(KZR-MILL)を開発し、実機化した。

ダブルAS-U機能は、従来のAS-U機能がミル上部の支持ベアリング4軸のうち、中央2軸に装備さ

れていたものを4軸すべてに装備させ、板形状制御能力を倍増させるものである。また、自動形状制御はニューラルネットワークによるパターン認識とファジィ制御により、安定した板形状制御を可能とし、高速圧延および容易な操業を実現するものである。

KZR-MILLのこれらの実機性能は、1991年10月に稼動を開始した日本金属工業株式会社 衣浦製造所の実機1号ミルで実証された。この1号ミルは、20段クラスタミルとしては、国内最高圧延速度である800 m/minで現在好調に稼動中である。

* 日本金属工業株式会社 衣浦製造所 ** 日立製作所 日立工場 *** 日立製作所 大みか工場 **** 日立製作所 機電事業部

1 はじめに

ステンレス鋼などの硬質で、表面光沢の優れた薄板材の用途は、家庭用や業務用機器、さらに自動車用部品の高級化指向によって年々増加してきている。従来この種の板材の圧延には、20段クラスタミル(主としてセンジマミル、以下、ZRミルと呼ぶ。)が広く用いられてきた。

しかし、近年のいっそうの板形状の高品質化、設備の高生産性、省力化など社会のニーズに対応するため、従来のZRミルにさらに高機能を加えた新型クラスタミル(以下、KZR-MILLと呼ぶ。)を開発し、実機化した。

KZR-MILLは、従来のZRミルの小径作業ロール安定支持による、硬質で広幅の薄板材圧延が可能という特長に加え、(1)ダブルAS-U機能、(2)ニューロ・ファジィ制御による自動形状制御(以下、ASCと呼ぶ。)など種々の高機能を持っている。

硬質の薄板材用圧延機のニーズとこれに対する対応技術を図1に示す。同図に示すように、KZR-MILLは各ニーズにつきおのこの対応技術を持っているが、ここでは主にダブルAS-U機能による板形状制御能力、およびASC効果について述べる。さらに、実機性能について日本金属工業株式会社 衣浦製造所(以下、日金工・衣浦と言う。)のKZR-MILL 1号機で確認された結果について述べる。

2 ダブルAS-U機能

2.1 ダブルAS-U装置構造

KZR-MILLは20段ロール配置をしている。その構造を図2に示す。

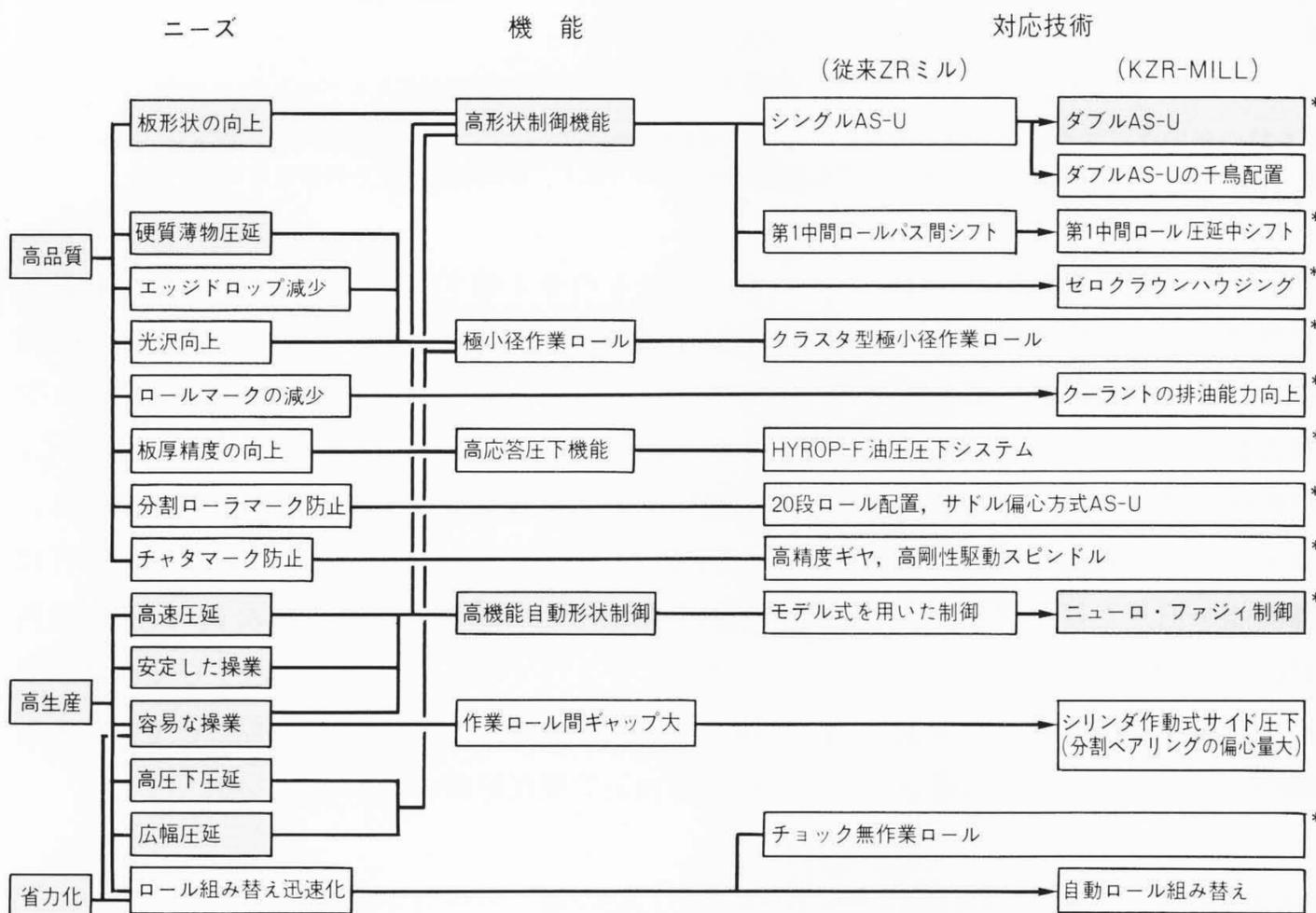
ダブルAS-U機能は、従来のAS-U機能(以下、シングルAS-U機能と呼ぶ。)がミル上部の支持ベアリング軸BとCだけ装備されていたものを、AとB、CとDの4軸すべてに装備させるものである。このAS-U機能は、板幅方向に配置されたおのこのAS-Uラックの動作によって個々のAS-U偏心リングを回転させ、支持ベアリング軸を自在にたわませるものである。

そして、このダブルAS-U機能と、テーパ状のロール肩を持つ第1中間ロールの圧延中シフト機能との組み合わせにより、作業ロールのたわみを変えて、自在に板形状制御を行うことが可能となる。

2.2 ダブルAS-U機能の効果

圧延荷重Pによる各支持ベアリングの負荷分担を図3に示す²⁾。この際、各部の弾性変形を「小」とした。この負荷分担を利用し、各支持ベアリングを変位させた場合の作業ロールの変位を求めてみる。

従来ZRミルのシングルAS-Uで、支持ベアリング軸B、Cだけ圧下方向に δ 変位させた場合の作業ロールの変位を δ_1 とすると、仕事量一定として次の(1)式が成立する。



注: KZR-MILLの*印機能は、日本金属工業株式会社 衣浦製造所(以下、日金工・衣浦と言う。)の実機1号機に採用された。

図1 硬質の薄板材用圧延機のニーズと対応技術
近年のステンレス鋼をはじめとする硬質、薄板材圧延での、板形状の高品質化、設備の高生産性、省力化などの社会のニーズに対応するため、KZR-MILLは、ダブルAS-U機能をはじめ種々の高機能を持っている。

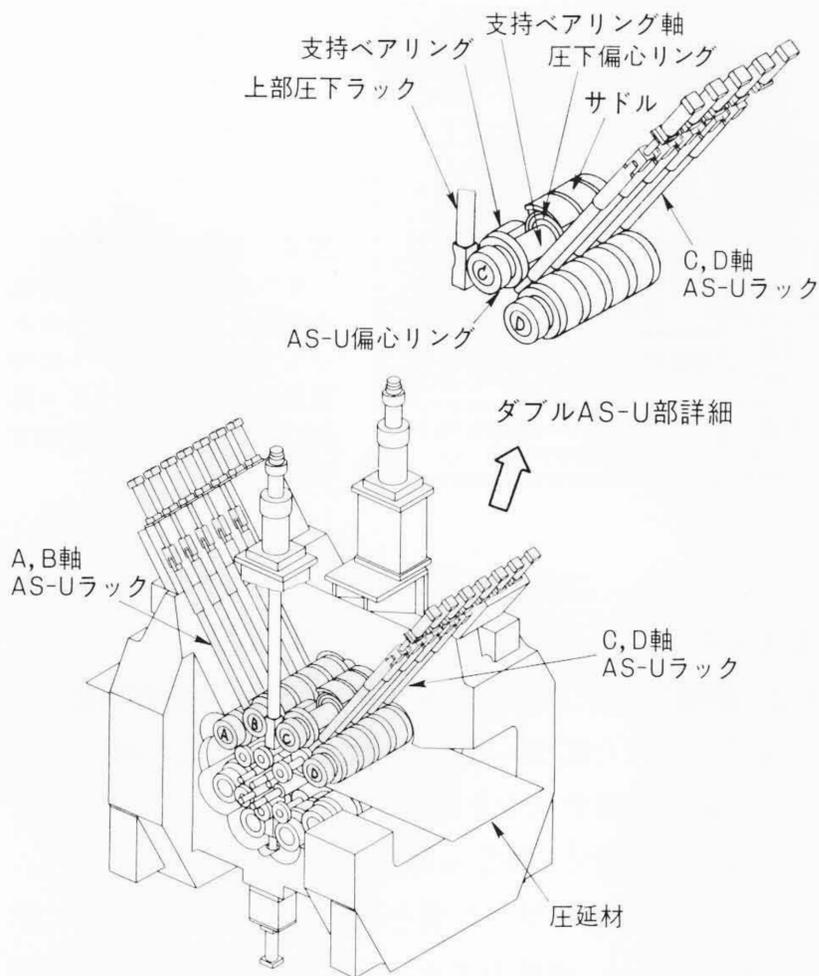


図2 KZR-MILLとダブルAS-U装置の構造 ダブルAS-U機能は、従来のAS-U機能が上側支持ベアリングBとC軸だけに装備されていたものを、AとB、CとD軸すべてに装備させるものであり、板形状制御能力の倍増を可能とした。

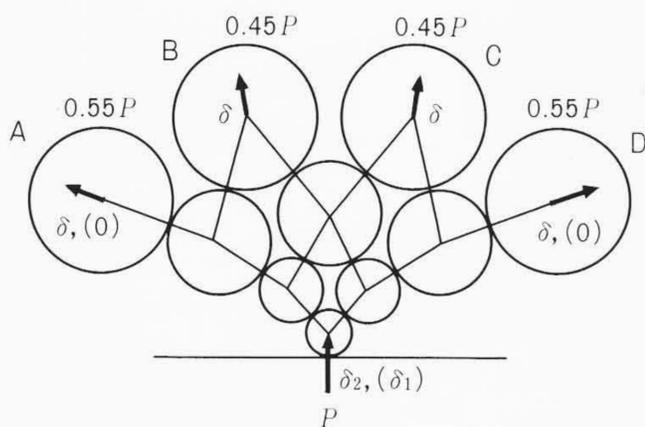


図3 圧延荷重による各支持ベアリングの荷重分担 圧延荷重を P とすれば、支持ベアリングB、Cの荷重分担は $0.45P$ となり、支持ベアリングA、Dの荷重分担は $0.55P$ となる。ただし、この比率はロール径の組み合わせで多少変化する。

$$P \cdot \delta_1 = 2 \times 0.45P \cdot \delta \dots\dots(1)$$

ダブルAS-Uでは、支持ベアリング軸A、B、C、Dを δ 変位させた場合の作業ロールの変位を δ_2 とすると、同様にして(2)式が成立する。

$$P \cdot \delta_2 = 2 \times (0.45P \cdot \delta + 0.55P \cdot \delta) \dots\dots(2)$$

(1)、(2)式から δ_2/δ_1 の比を求める。

$$\delta_2/\delta_1 = 2.2倍 \dots\dots(3)$$

すなわち、ダブルAS-Uは従来ZRミルのシングルAS-Uに比べて約2.2倍の板クラウン、すなわち板形状制御量

の増加が期待できる。この約2.2倍の性能を持つことは、後述する銅板圧痕(こん)テストによって確認している。

実圧延では、この板形状制御量の増加量は、前述の約2.2倍よりもさらに増加する。この理由は、AS-U機能をロールのレベリングにも使用する必要があるため、この分だけ板形状制御に使用できるAS-U動作量が減少することになるからである。

このレベリング量は、素材の板クラウンによっては、従来ZRミルのシングルAS-U動作量の30%にも達する場合がある。このとき、前述の従来ZRミルのシングルAS-UとダブルAS-Uの板形状制御量の比は、 $(2.2 - 0.3)/(1 - 0.3)$ となり、2.7倍に増加する。

さらに、ダブルAS-Uの採用によって次のような利点も生ずる。ダブルAS-Uで2倍の板形状制御を行っても、支持ベアリングへの負荷の集中は従来並みであり、したがってベアリングの寿命の低下もなく、また分割ローラマークの発生も従来並みに抑えられる。

3 ASC(自動形状制御)機能

一般に、ある制御対象に対して自動制御を行う場合、その対象の制御モデルを作成する必要がある。ZRミルでは、多数の板形状制御手段を持っているため、より正確な制御モデルの作成が困難であった。

ところで、制御モデルの作成が困難な対象に対する制御方法として、ファジィ制御の利用が考えられる。これは、アルミニウム圧延でのクーラントを用いた板形状制御などに利用されている³⁾。

ZRミルの板形状制御にファジィ制御を用いる場合、ファジィルールの前件部と呼ばれる判断形式の条件部は板形状パターンであり、後件部と呼ばれる結果部は操作端と操作方法となる。

今回、前件部の板形状パターンの認識を、パターン認識能力に優れたニューラルネットによって行うニューロ・ファジィ制御方法を開発し、KZRミルの板形状制御に適用した⁴⁾。

制御方法の概要を図4に示す。形状検出器からの検出信号を用いてニューラルネットによって板形状パターン認識を行う。次に、パターン認識結果からファジィ推論を用いて制御出力を決定する。板形状制御の操作端は、AS-UについてはA-B軸、C-D軸別個に、第1中間ロールについては上下別個に、それぞれ制御ルールを構成している。

制御システムの構成を図5に示す。板形状制御DDC

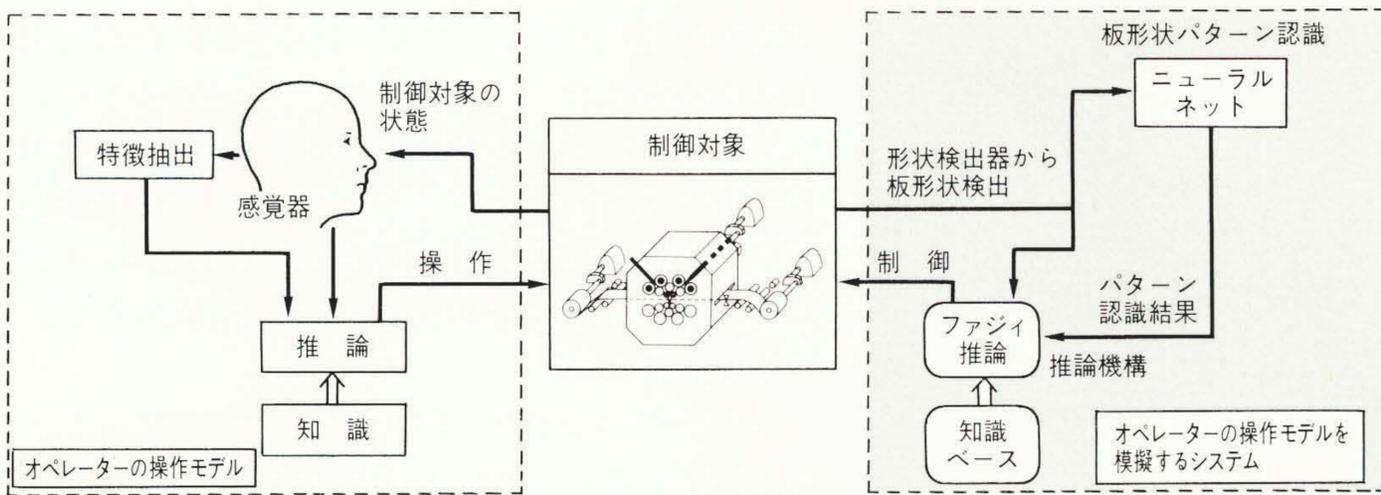


図4 板形状制御方法
オペレーターの操作方法を模擬して、ニューラルネットで板形状パターンの特徴抽出を行い、ファジィ推論によって制御出力を決定する。

(Direct Digital Controller)で制御演算を行い、操作端に対する指令値を決定する。ハンドリングDDCでAS-U位置、第1中間ロール位置を指令値に合わせるAPC(Auto Position Control)処理を行っている。

運転室のCRTにより、オペレーターは容易に目標板形状の設定や板形状制御の状態監視を行うことができ、オペレーターへの負荷の大幅軽減が可能となる。

4 実機性能

4.1 実機仕様

日金工・衣浦のKZR-MILL 1号機と主仕様を図6に示す。先の図1に示した種々の新機能を採用した高性能圧延設備となっている。この圧延設備は、1991年10月に

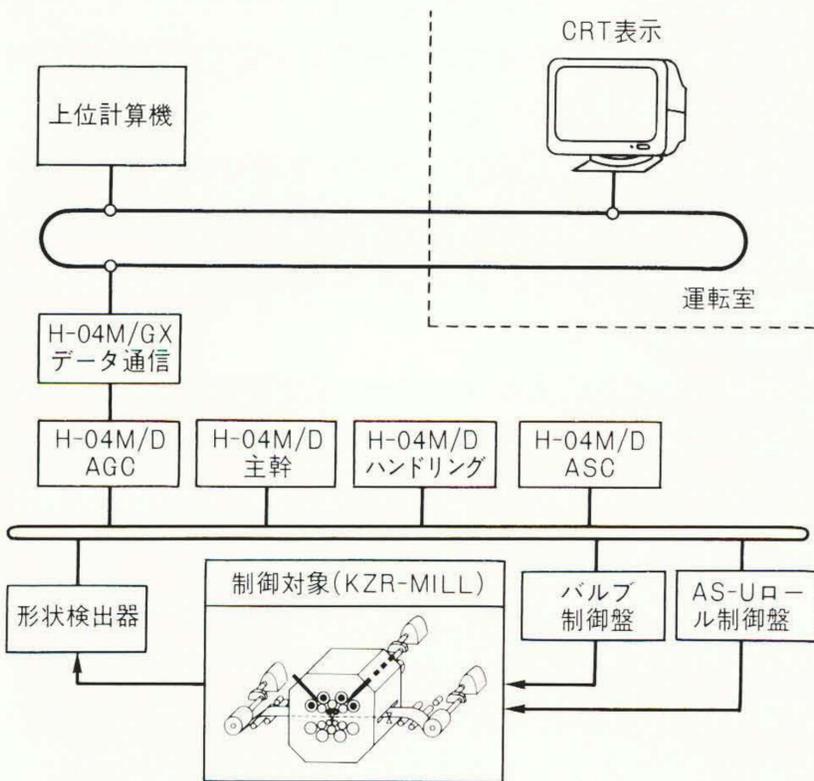
稼動を開始し、20段クラスタミルとしては国内最高圧延速度である800 m/minで、現在好調に稼動中である。

4.2 銅板圧痕テストによるダブルAS-U効果の確認

前章で述べたKZR-MILLの板形状制御量を確認するため、銅板圧痕テストを実施した。

ミル停止状態で、異なったAS-U位置で銅板を圧下し、その圧痕から板クラウン量を測定した結果を図7に示す。圧下荷重は、通常のスチール鋼(SUS304)の圧延荷重相当とした。

従来ZRミルとのサドルピッチの違いを補正し、同じ



注：略語説明 AGC (Automatic Gage Control)
ASC (Automatic Shape Control)

図5 板形状制御システムの構成 ASCのDDCで板形状制御演算が行われ、ハンドリングDDCで制御出力に応じたAS-U位置、中間ロール位置にAPC処理される。

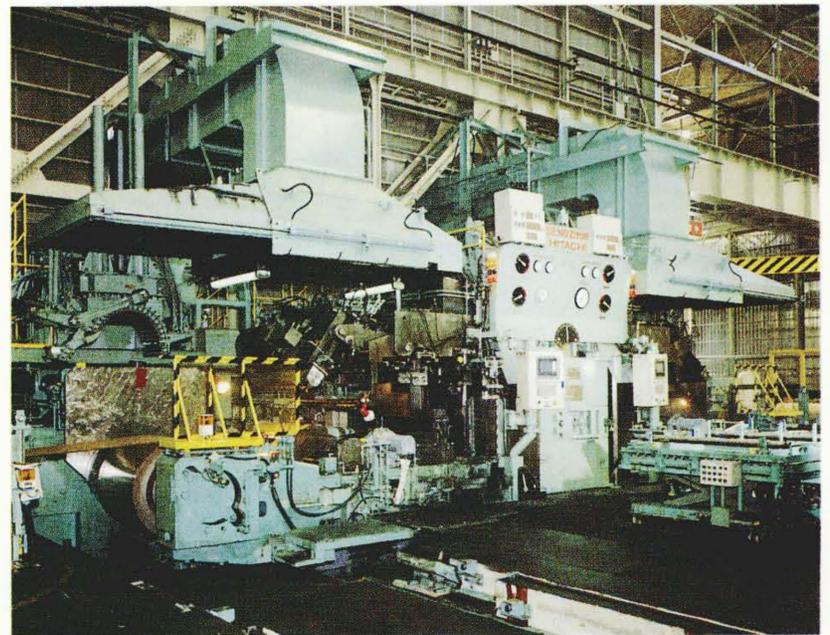
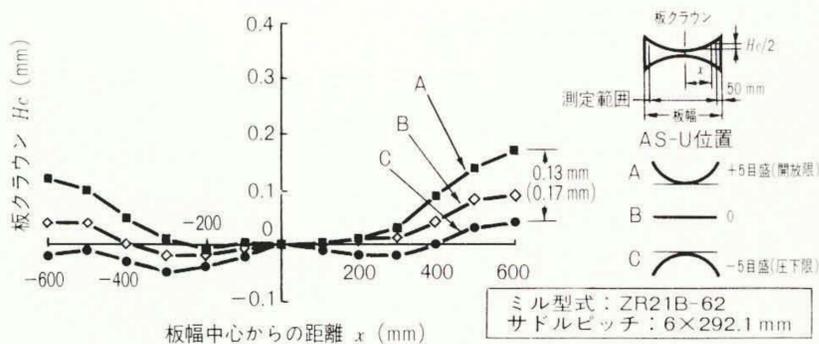
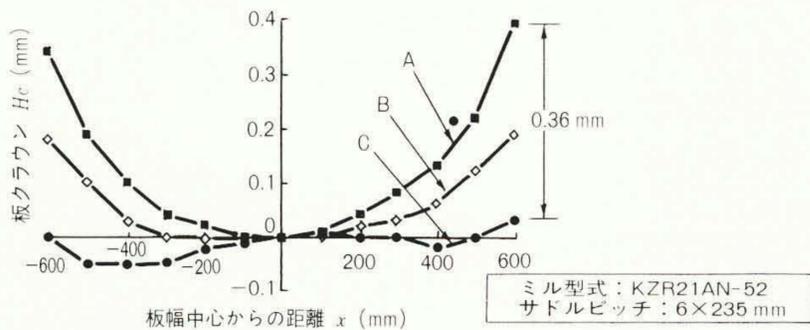


図6 日金工・衣浦のKZR-MILL実機1号機(正面)と主な仕様
この設備は、ダブルAS-U機能をはじめとした種々の新機能を採用した高性能圧延設備となっている。20段クラスタミルとしては、国内最高圧延速度である800 m/minで、現在順調に稼動中である。

- 注：
- 形式……………KZR21AN-52 20段クラスタミル
 - 速度……………0/300/800 m/min
 - 主電動機
ミル用……………AC 4,500 kW(サイクロコンバータ制御)
リール用……………AC 3,300 kW×2(サイクロコンバータ制御)
ペイオフリール用…DC 490 kW
 - 取り扱い材料……………ステンレス鋼, 高ニッケル合金鋼
 - 素材コイル……………厚さ 0.8～4.0 mm
外径 最大 2,400 mm
内径 610 mm
板幅 650～1,320 mm
 - 製品コイル……………厚さ 0.2～2.0 mm



(a) 従来ZRミル (シングルAS-U)



(b) KZR-MILL (ダブルAS-U)

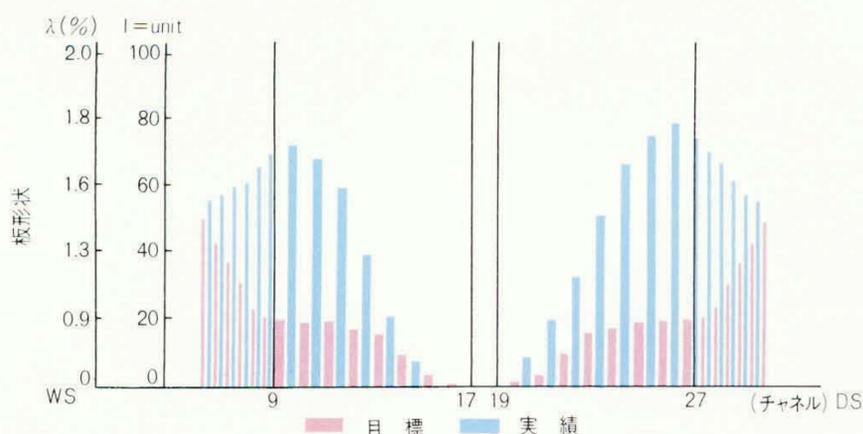
注: 作業ロール径($\phi 80$), 板幅(1,300 mm), 板厚(素材3.2 mm(黄銅)), 圧下荷重(4,550 kN), [板クラウン差の()内数値はサドルピッチの違いを補正し,] 同じAS-U動作量に換算したものである。
 H_c : x の点の板厚と板幅中心の板厚との差

図7 AS-U動作による板クラウン変化量[銅板圧痕(こん)テスト結果] KZR-MILLはダブルAS-U機能により, 従来ZRミルに比べ同じAS-U動作量で約2倍の板クラウン, すなわち板形状制御量があることがわかる。

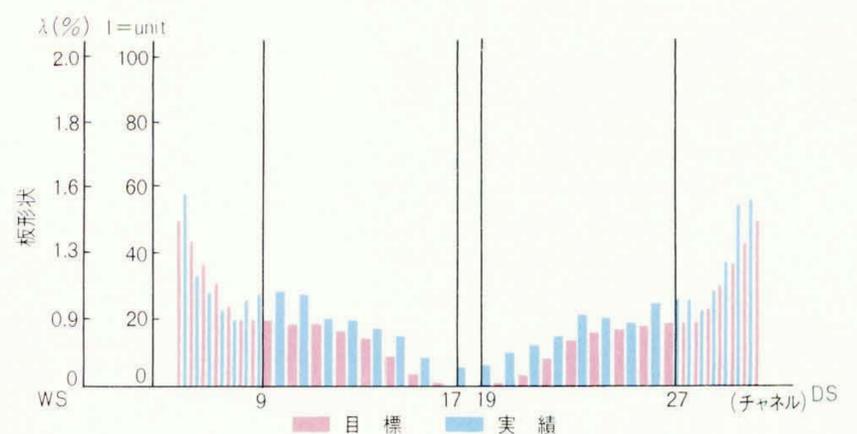
AS-U動作量に換算した結果, KZR-MILLは従来ZRミルに比べ, ダブルAS-U機能によって約2倍以上の板クラウン, すなわち板形状制御量があることがわかる。

4.3 実機板形状

実操業でのKZR-MILLと従来ZRミルの板形状の実測値を図8に示す。このデータを収集した従来型のZRミルは, 形状検出器(以下, 形状計と呼ぶ。)を設置していない。したがって, この板形状は, KZR-MILLの形状計でリワインド状態で測定したものである。この板形状は, 同図



(a) 形状計不付きの従来ZRミル (リワインドで測定)



(b) KZR-MILL (圧延時測定)

注: 略語説明ほか WS (操作側), DS (駆動側), 圧延材 (SUS304), 板幅 (1,250 mm), 素材板厚 (3.5 mm), 入側・出側板厚 (従来ZRミル: 1.03 mm → 0.86 mm: 7パス目, KZR-MILL: 0.94 mm → 0.77 mm: 7パス目), λ (急しゅん度)

図8 KZR-MILLと形状計不付きの従来ZRミルの板形状出力例 形状を大幅に改善することが可能である。

KZR-MILLは, 形状計不付きの従来ZRミルに比べ, 板の全幅にわたって板

中の圧延条件に示すように, それぞれ強圧下スケジュールでの圧延データである。同図中に示す目標板形状は, 安定した圧延の操業条件および下工程のニーズを考慮し決めている。

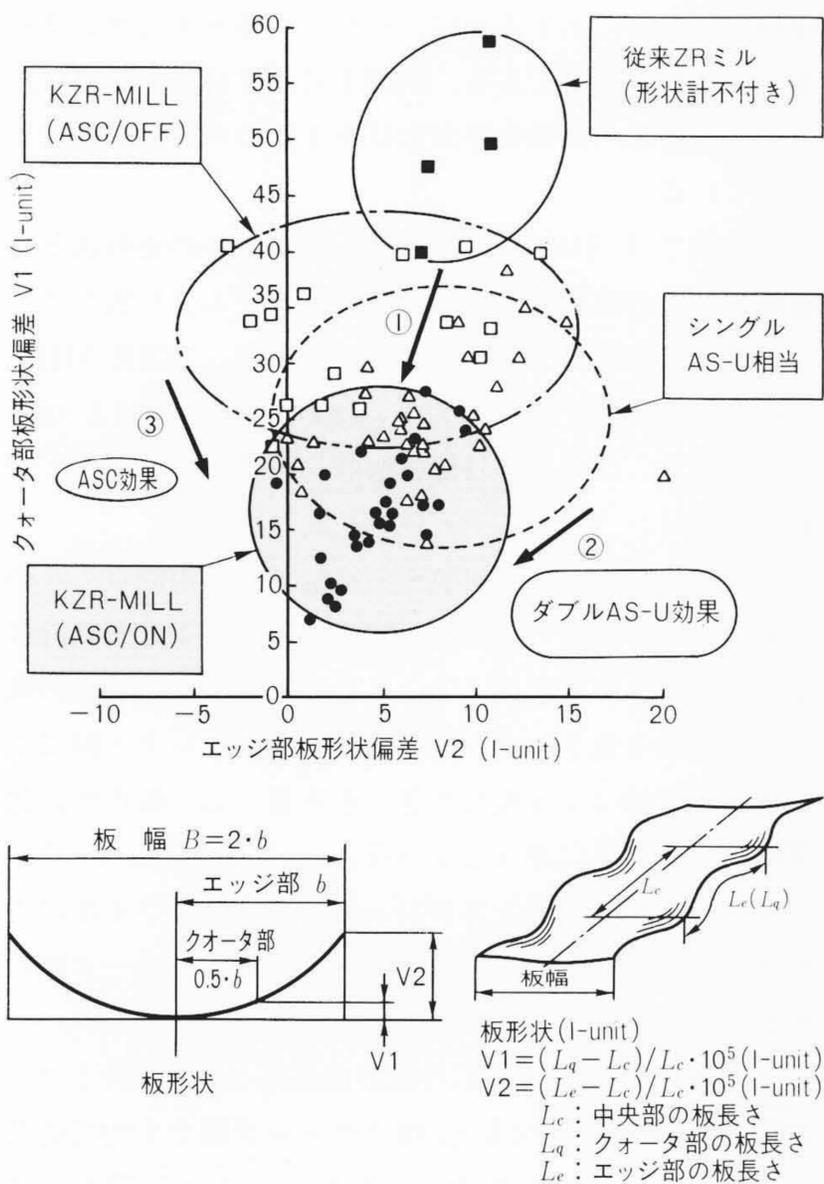
この例では, 形状計不付きの従来ZRミルの実形状と目標板形状との偏差(以下, 板形状偏差と呼ぶ。)が板のクォータ部付近で約55 I-unitであるのに対し, KZR-MILLの板形状は, 板幅全体にわたって板形状偏差約10 I-unit以内であり, はるかに目標板形状に一致していることがわかる。

この効果は, (1) ダブルAS-U機能と第1中間ロールの圧延中シフト機能の効果, および(2) ASC効果と形状計による常時モニタの効果, によるものである。形状計の導入は, 従来実施されていた板形状をオペレータの勘にて把握する「棒による板たたき」を不要とし, 操作性, 生産性の向上などに寄与している。

前述と同様の強圧下スケジュールでの複数コイルの圧延データにつき, 横軸にエッジ部, 縦軸にクォータ部の板形状偏差をプロットしたものを図9に示す。

この場合, KZR-MILLの板形状偏差は, 形状計不付きの従来ZRミルに比べると, 板のクォータ部で平均で約35 I-unit減少, すなわち約 $\frac{1}{3}$ に改善されている(図9中の①参照)。

ダブルAS-Uの効果を検討するため, その制御量を $\frac{1}{2}$ に制限したものをシングルAS-U相当と見立てて比較する。ダブルAS-Uは, シングルAS-U相当に比べて板のクォータ部の板形状偏差をその偏差が0に近づいた領域で, 平均約10 I-unit改善している(図9中の②参照)。したがって, ダブルAS-Uは板形状制御量の倍増に加え, 板形状制御の質とも言うべきクォータ部の板形状制御能力



記号	形状計	第1中間ロール圧延中シフト	AS-U型式	ASC	測定圧延機	効果
■	なし	なし	シングル	なし	従来ZRミル	①②③
□	あり	あり	ダブル	OFF	KZR-MILL	
△	あり	あり	シングル相当	ON	KZR-MILL	
●	あり	あり	ダブル	ON	KZR-MILL	

注：圧延材 (SUS304), 板幅 B , 素材板厚 H , 仕上板厚 h
 パススケジュール (① $B=1.025$ mm, $H=3.0 \rightarrow h=0.38$ mm, 10パス圧延, 平均圧下率19%, ② $B=1.025$ mm, $H=3.0 \rightarrow h=0.61$ mm, 7パス圧延, 平均圧下率20%, ③ $B=1.250$ mm, $H=3.5 \rightarrow h=0.58$ mm, 9パス圧延, 平均圧下率18%)
 ダブルAU-Uの隣接最大動作量を20 mmとする。シングルAS-U相当は, ダブルAU-Uの隣接最大動作量を10 mmとした場合の値とした。

図9 板形状偏差 KZR-MILLは形状計不付きの従来ZRミルに比べ, (1) ダブルAS-Uと第1中間ロール圧延中シフト効果, (2) ASC, 形状計モニタ効果によって板形状を大幅に改善できた。

を持っていることがわかる。

今回導入したニューロ・ファジィ方式のASC (Automatic Shape Control) の効果も大きい。ASCがオンの場合はASCがオフの場合に比べて, 板形状偏差が板のクォータ部で平均約20 I-unit減少している (図9中の③参照)。これは, このASCの安定したきめ細かい制御により, KZR-MILLの板形状制御能力が十分に発揮されていることを示している。このため, 板切れなどのトラブルが大幅に減少し, 安定して高速圧延が可能となり, 操作性も大幅に向上した。

5 おわりに

ステンレス鋼をはじめとする硬質の薄板材圧延用として, 最近の板形状の高品質化, 設備の高生産性, 省力化など社会のニーズに対応するため, 新型クラスタミル (KZR-MILL) を開発し, 実機化した。そして日金工・衣浦のKZR-MILL実機1号機でその性能を確認した。主な結果を以下に述べる。

- (1) ダブルAS-Uは, 従来のシングルAS-Uに比べ, その板形状制御量が約2倍以上あることがわかった。
- (2) KZR-MILLは, 形状計不付きの従来ZRミルに比べ, 板のクォータ部の板形状偏差を平均約35 I-unit改善した。
- (3) ダブルAS-Uは, その制御量を $\frac{1}{2}$ に制限したものを, 従来のシングルAS-U相当と見立てて比較すると, 板のクォータ部の板形状偏差をその偏差が0に近づいた領域で, 平均約10 I-unit改善した。
- (4) ニューロ・ファジィ制御を用いたASCは, 安定したきめ細かい制御により, KZR-MILLの板形状制御能力を十分に発揮させ, 板形状を改善した。さらに, 板切れなどのトラブルの減少, および容易な操業を可能とした。

以上のKZR-MILLの優れた性能により, この1号機は最高圧延速度800 m/minの安定した操業を実現している。

参考文献

- 1) 福井, 外: センジマールの最近の動向, 日立評論, 55, 8, 781~786 (昭48-8)
- 2) 川口, 外: 軟鋼圧延用高速センジマールの特異性, 日立評論, 45, 12, 1936~1942 (昭38-12)
- 3) 堺, 外: ファジィ理論による形状制御, 日立評論, 71, 8, 803~808 (平1-8)
- 4) 中島, 外: ニューロ・ファジィ応用パターン計測・制御技法の圧延機形状制御への適用, 日立評論, 75, 2, 133~136 (平5-2)