

水島No.1冷延タンデムミルにおける板厚精度向上対策

黒田 茂*・後藤 俊二*・門野 恵介*・花田真一郎*

Improvement of Gauge Accuracy in No.1 Cold Tandem Mill at KSC's Mizushima Works

Shigeru KURODA, Shunji GOTO, Keisuke KADONO and Shinichiro HANADA

Synopsis : Recently, for thickness gauge of cold strip, higher accuracy is required by customers than ever. To supply high quality strip, we have developed a New AGC system, and have applied it to No.1 Cold Tandem Mill at Kawasaki steel's Mizushima Works in 1990.

To decide revamping items, each item is evaluated using dynamic simulator. This revamping is composed of three functions as below. : ①All stands back up roll roller type bearings as a substitute for oil film type bearings (mogoil bearings) ②The new AGC controller (high-response AGC and non-interference fuzzy control) ③The new sensors (strip speed meter of Laser Doppler Type)

By this improvement, the thickness accuracy of strip is remarkably improved. The thickness accuracy is within 0.3% in the steady rolling and within 1.6% of finished thickness for a 0.8mm strip thickness in the unsteady rolling.

Key words : rolling ; tandem cold mill ; cold rolling ; sensor ; simulation ; gauge control.

1. 緒言

冷延鋼板の板厚精度に対する要求は近年益々厳しくなっている。従って、板厚精度の向上は冷延タンデムミルにおける最重要課題の1つであり、鉄鋼各社においても主力ミルについてその精度向上に力を注いでいる¹⁾²⁾。

水島製鉄所No.1タンデムミル（以下 水島1TA）においては、板厚精度向上対策として、昭和44年の稼動以来、主機のデジタル-ASR化、No.1スタンド高速油圧圧下化、完全連続化^{3)~5)}等の改造を行ってきた。そして、更なる寸法精度向上のために、全スタンドバックアップロールのローラ軸受化、および、スタンド間センサを用いた高応答AGCの導入を平成2年6月に完工した。またそれに伴い、総合板厚制御ダイナミックシミュレータの開発⁶⁾を行った。

本報告では、ローラ軸受化、および、高応答AGC導入について、事前検討におけるシミュレーション結果と実機導入結果について述べる。

2. 設備概要

2・1 1TA設備概要

Fig.1に水島1TAの設備概要を示す。ミル形式は5スタンドタンデムミルであり、酸洗ラインと直結した連続ミルである。

2・2 リフレッシュ工事概要

Fig.2に今回のリフレッシュ工事の概要を示す。本リフレッシュにおいては、以下の項目を実施した。

- ①全スタンドバックアップロールローラ軸受化
- ②スタンド間センサの増設
(No.3スタンド板厚計, No.2~5スタンド板速計)
- ③板厚制御装置リフレッシュ (新PLC導入)

3. 事前検討結果

事前検討においては、水島1TAをモデルとした板厚制御ダイナミックシミュレータを作成し、各板厚精度改善対策の効果をそれぞれシミュレーション、定量評価した。以下にその検討の結果概要を述べる。

3・1 シミュレータ概要

シミュレータはFig.3に示すとおり以下の4要素から構成される。

- (a)初期状態 (圧延条件の設定)
- (b)動的圧延モデル
- (c)外乱
- (d)制御機能

動的圧延モデルは自社開発したモデル⁷⁾を基本としている。初期設定として用いた圧延スケジュールと速度パターンはFig.4に示すとおりである。

平成4年7月10日受付 平成4年12月8日受理 (Received on July 10, 1992; Accepted on Dec. 8, 1992)
* 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasakidori Mizushima Kurashiki 712)

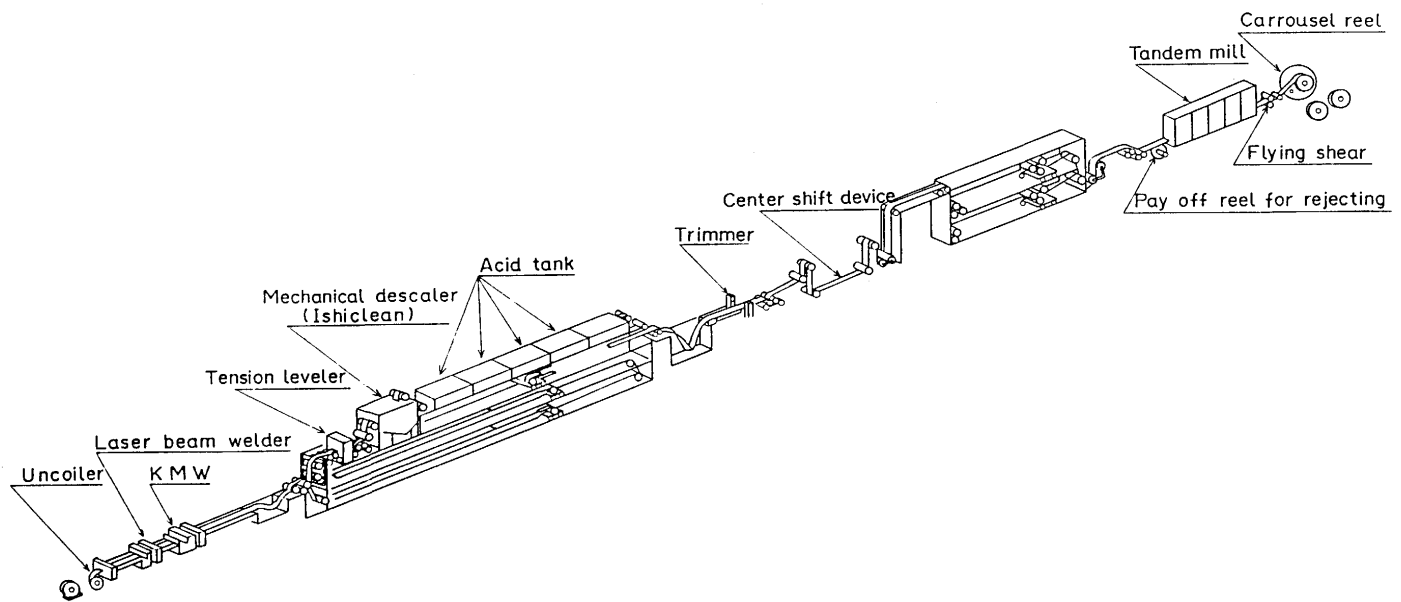


Fig. 1. Outline of fully continuous descaling and cold rolling mill.

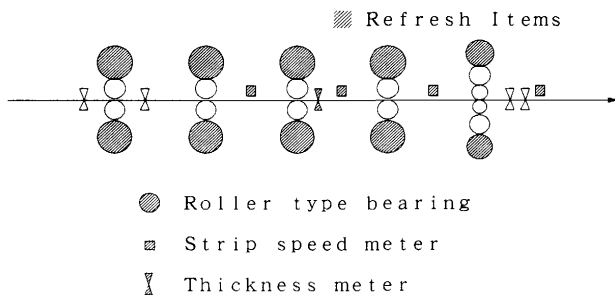


Fig. 2. Outline of the revamping.

Rolling Schedule

Stand No	Entry	1	2	3	4	5
Exit Gauge (mm)	3.2	2.245	1.595	1.139	0.851	0.800
Reduction (%)	—	29.8	29.0	28.6	25.3	6.0

Rolling Speed

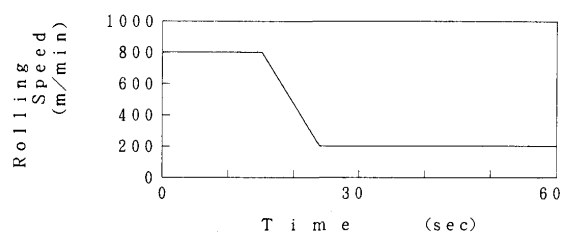


Fig. 4. Rolling schedule and speed of the simulator.

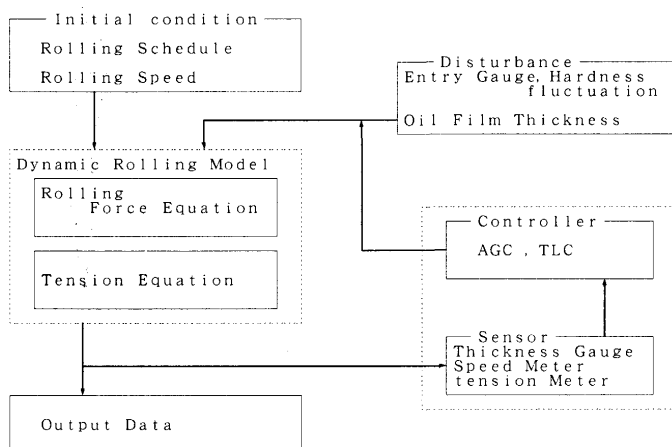


Fig. 3. Configuration of dynamic gauge control simulator.

外乱としてはロール偏心，母板板厚変動，母板硬度変動を考慮した。各外乱は，周期変動(sinカーブ)として与え，実機データに基づき周期，振幅を決定した。

ロール偏心による外乱は，速度変化に起因する油膜厚変動，ロール1周期毎の偏心，キーによるステップ状の変動に分類される。Fig. 5 にそれぞれの変動の実機データを示す。

ロール偏心のモデル化にあたっては，荷重変動実測値をミル定数で除して压下位置変動量とし，(1)式を作成した。

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 \dots\dots\dots (1)$$

ここで，各偏心量 ΔS_1 ， ΔS_2 ， ΔS_3 はそれぞれ，速度による油膜厚変動，ロールの偏心量，キーによる压下位置変動を表し，モーゴイル軸受，ローラ軸受についてTable 1で示される式でモデル化させる。

次に母板板厚変動外乱のモデル化は，実測板厚チャートからその変動を低周波，高周波成分に分類し(2)式に示すようにモデル化した。

$$\Delta h_0 = C_1 \cdot \sin(2\pi f_1 x) + C_2 \cdot \sin(2\pi f_2 x) \dots\dots\dots (2)$$

C_1 ， f_1 ：低周波成分振幅，周波数

C_2 ， f_2 ：高周波成分振幅，周波数

x ：母板移送長さ

母板硬度変動のモデル化は，(3)式に示す変形抵抗式の

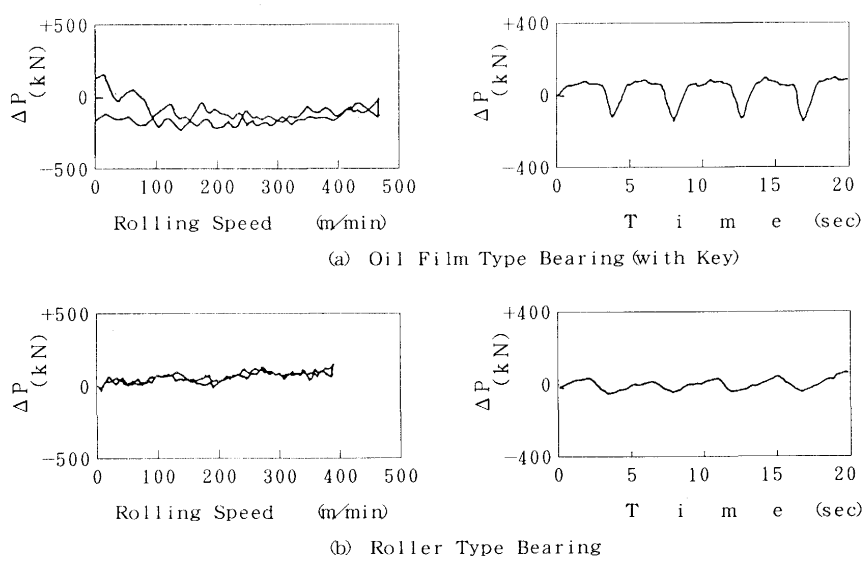


Fig. 5. Fluctuation of rolling force in kiss roll condition.

Table 1. Model functions of 2 types of bearing.

	Oil Film Type	Roller Type
ΔS_1	$\Delta S_1 = A_1 \sin(\alpha V_R)$	$\Delta S_1 = B_1 \cdot V_R$
ΔS_2	$\Delta S_2 = A_2 \sin(L/R)$	$\Delta S_2 = B_2 \sin(L/R)$
ΔS_3	$\Delta S_3 = \begin{pmatrix} A_3 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\Delta S_3 = 0$

A, B, α : Constant
 V_R : Rolling Speed
L: Length of Rolled Strip
R: Radius of Back up Roll

ℓ を(4)式に示すように周期的に変動させることでモデル化した。

$$K = \ell \cdot (m + \Sigma)^n \quad (3)$$

ℓ, m, n : 変形抵抗係数

$$\Delta \ell = D_1 \sin(2\pi f_3 x) \quad (4)$$

D_1, f_3 : 硬度変動振幅, 周波数

軸受のモデルとして, 全スタンドモーゴイル軸受, また, 制御システムとして, No. 1 スタンドBISRA-AGC・モニタ(MN)-AGC, No. 5 スタンドMN-AGCのみ使用した場合のシミュレーション結果を実機における板厚変動の周波数解析結果と比較したものをFig. 6に示す。板厚精度の絶対値, および, 各成分の占める割合ともによく対応がとれている。したがって, 本シミュレータはダイナミックシミュレータとして, ほぼ実機を再現できているといえる。

3・2 ローラ軸受化の検討

定常圧延時の板厚変動要因として最も大きいものは, Fig. 6で示されるように, バックアップロールの偏心成分である。バックアップロールの偏心成分は, 軸受の構造をローラ軸受化することで小さくできることが知られている。そこで, 油膜軸受からローラ軸受に変更することによる板厚

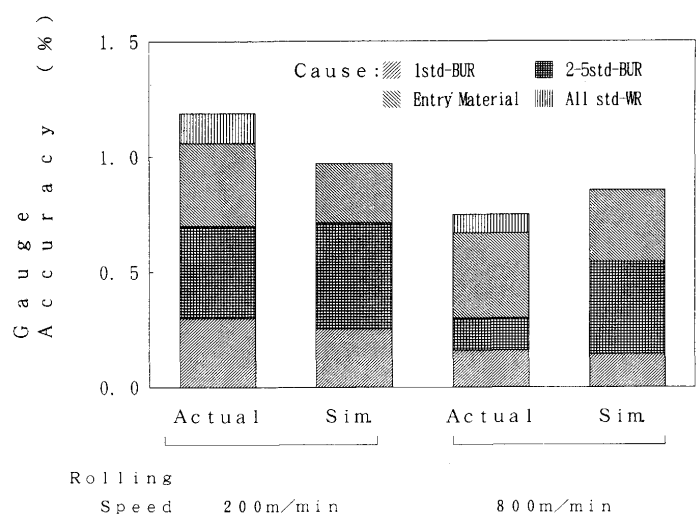


Fig. 6. Comparison between simulation result and actual data.

精度改善効果のシミュレーションを実施した。

Fig. 7に全スタンドローラ軸受化を行った場合のNo. 5 スタンド出側板厚変動のシミュレーション結果と, 前段スタンドから順次ローラ軸受化した場合の効果予測結果を示す。ローラ軸受化することで低速圧延時(200m/min)で約40%の板厚精度改善効果があり, 特にNo. 1 スタンドのローラ軸受化の効果が大きいことが予測できた。これは, No. 1 スタンドの圧下の板厚に対する影響係数が, 他スタンドより大きいことによる。また, 加減速部の板厚精度は, 前段スタンドよりローラ軸受化する事で順次向上する。これは, 圧延速度に起因する油膜厚変動(ΔS_1)がローラ軸受の場合, 速度に対して単調増加となっていることによる。

3・3 高応答制御

スタンド間センサ, 制御装置のリフレッシュにあたり高応答制御方式による板厚精度改善効果のシミュレーションを行った。従来のMN-AGCではロールバイト直下から板厚

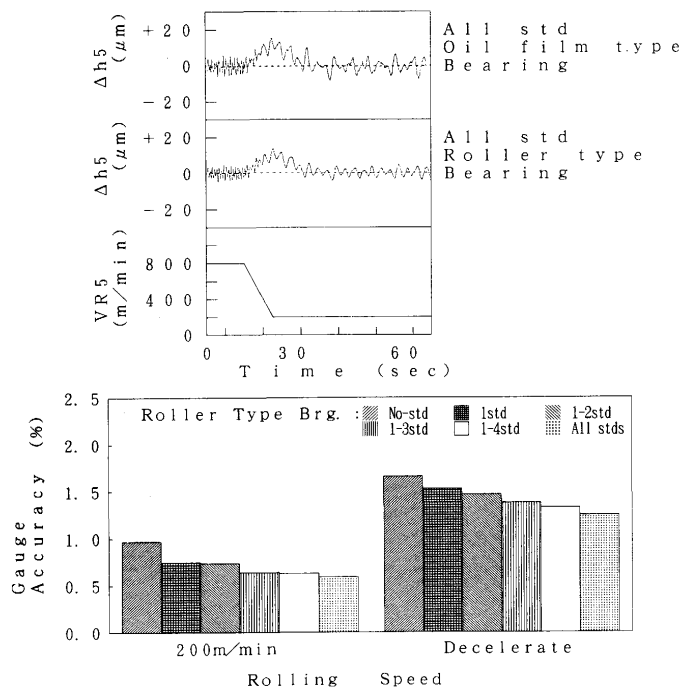


Fig. 7. Simulation result of roller type bearing.

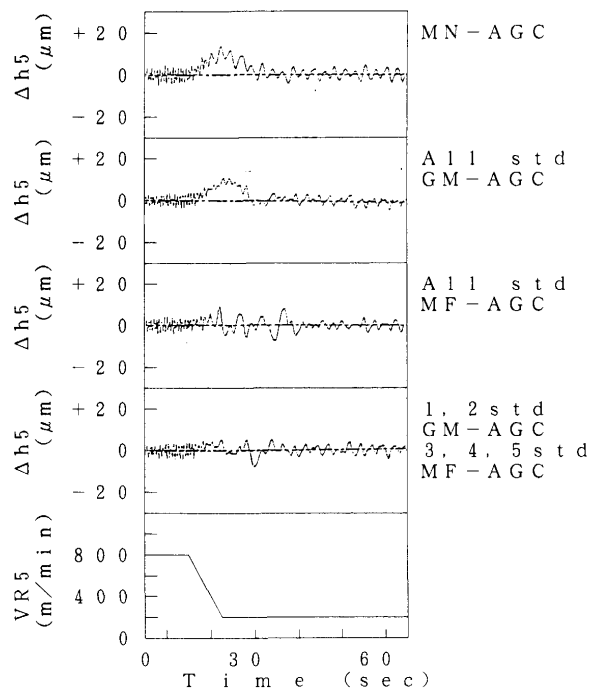


Fig. 8. Simulation result of high-response AGC.

計までの距離が制御のむだ時間となるため、板厚変動除去可能周波数が、高々0.2～0.3Hz程度だった。これに対し、マスフロー (MF) AGC、ゲージメータ (GM) AGCは、ロールバイト直下の板厚を演算し制御するため、むだ時間が無くなり、1 Hz程度の板厚変動まで除去可能である。

上記3種のAGCについてシミュレーションした結果をFig. 8に示す。なお、軸受のタイプは全スタンドローラ軸受とした。

本シミュレーション結果より以下の知見を得た。

①高応答制御適用により、加減速時、約30%、低速時、約5～10%の板厚精度向上が得られる。

②加減速時に生ずる板厚偏差のうねりは、MF-AGCの適用により除去可能である。

③MF-AGC, GM-AGCの組合せによる最適な制御構成がある。

4. 実機への適用結果

水島1 TAにおいては、上記板厚制御ダイナミックシミュレータにより得られた知見に従い、平成2年6月に全スタンドバックアップロールローラ軸受化、および高応答板厚制御、センサの導入を完工した。以下、各項目における実機適用結果を示す。また、同時に板厚・張力非干渉制御の導入も行ったのでその説明もあわせて示す。

4・1 ローラ軸受化

ローラ軸受の導入にあたっては、既設モーゴイル軸受のロール・チョックを加工することでローラ軸受への転用を行った。Fig. 9にチョックの改造内容を示す。

ローラ軸受化前後の板厚精度の比較をFig.10に示す。ローラ軸受化を行うことでシミュレーションで得られた知見どおり、約40%の板厚精度改善効果が得られた。

4・2 高応答制御の導入

高応答制御の実機導入にあたっては、No.1 スタンドにGM-AGC、No.2～4 スタンドにMF-AGCの適用を行った。リフレッシュ後の制御構成図をFig.11に示す。

加減速時の板厚精度について、シミュレーション結果と

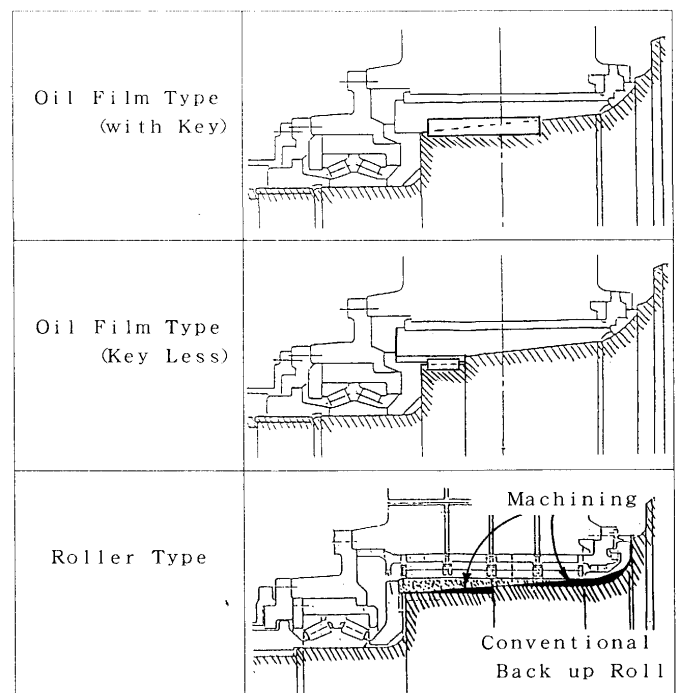


Fig. 9. Structure of bearing chock.

実機適用結果を比較したものをFig.12に示す。高応答AGCについても期待どおりの効果を得ることができた。

4・3 板厚張力非干渉制御の導入

最終スタンド (No.5 スタンド) ダルロール圧延時、板面粗度均一化の目的でNo.5 スタンド圧延荷重一定で操業する。その結果、No.5 スタンド出側板厚とNo.4-5 スタンド間張力の制御操作端が共にNo.4 スタンドロール周速となる。従って、板厚と張力の偏差状況によっては、Table 2 に示すとおり2 制御間で干渉をおこし、板厚精度の低下および張力変動による操業安定性の障害につながる。例えば、No.5 スタンド出側板厚が厚く、かつ、No.4-5 スタンド間張力

が大きい場合、板厚制御出力はNo.4 スタンドロール周速減速方向であるのに対し、張力制御出力は加速方向のため、互いに打ち消し合い板厚、張力共に目標値へ収束しない。このような干渉系に対しては近年ファジィ推論を用いた制御が、冷間圧延に対する形状制御⁸⁾、熱間圧延に対するセットアップ制御⁹⁾等に用いられている。そこで、当ミルにおいて

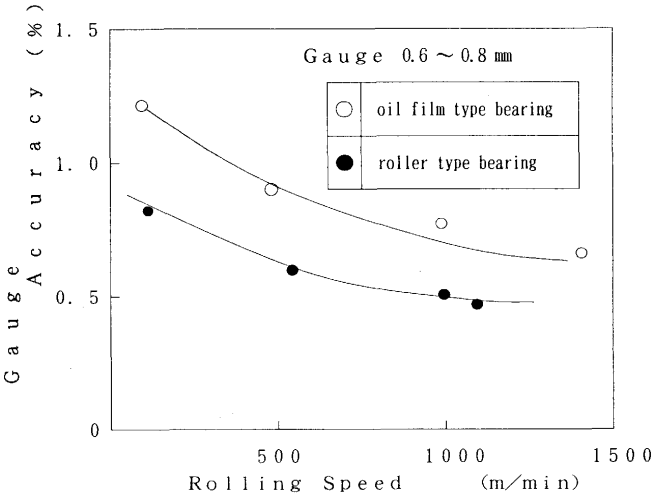


Fig. 10. Improvement by roller type bearing.

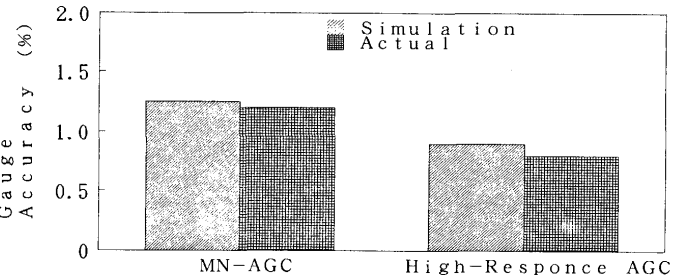


Fig. 12. Effect of high-response AGC.

Table 2. Interference between gauge and tension.

		Interstand Tension	
		low	high
Exit Gauge	thin	AGC VR up	AGC VR up
		TLC VR down	TLC VR up
	thick	AGC VR down	AGC VR down
		TLC VR down	TLC VR up

AGC : Automatic Gauge Control
VR : Rolling Speed Reference
TLC : Tension Limit Control
□ : interfering condition

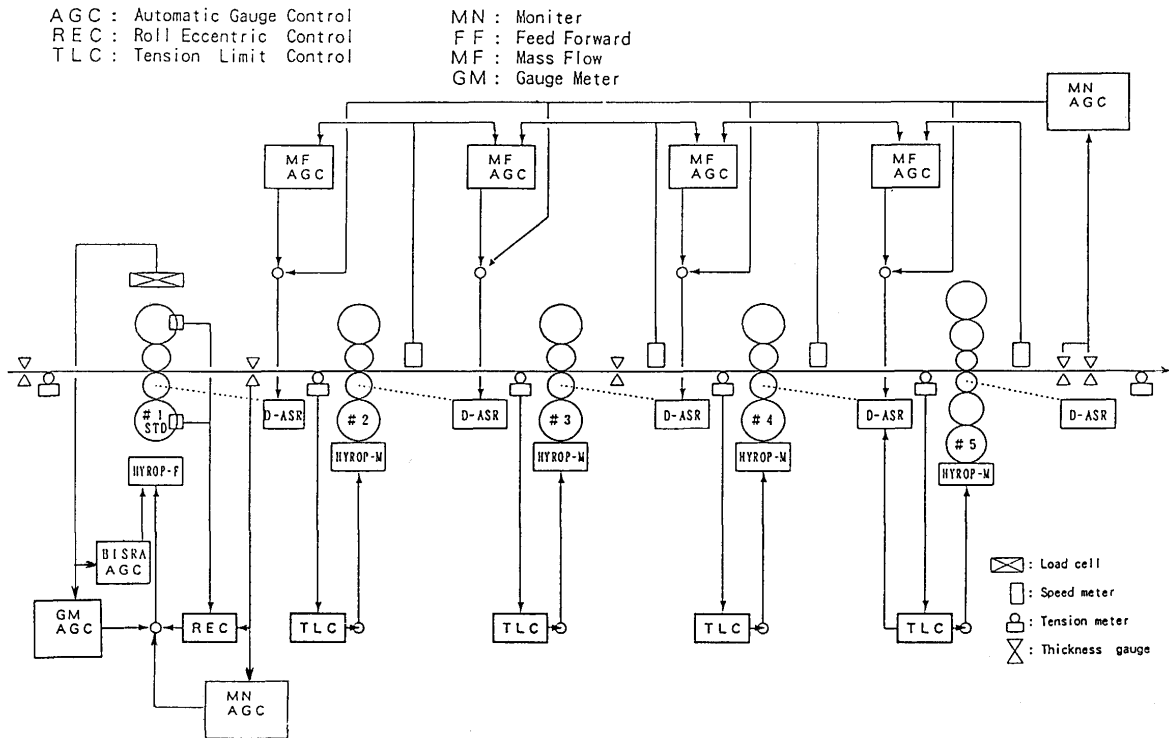


Fig. 11. AGC system configuration.

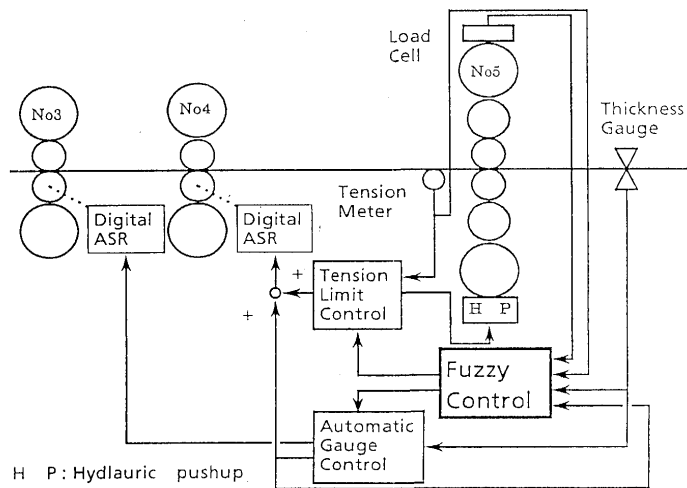


Fig. 13. Configuration of non-interference gauge and tension control system.

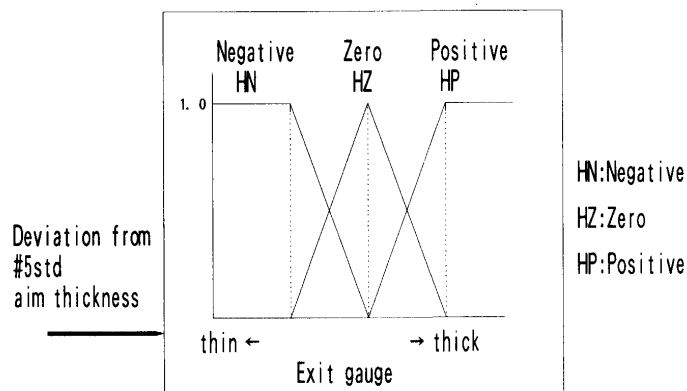


Fig. 14. Member ship function in this fuzzy control.

は前記現象に対して板厚、張力が干渉する度合いをファジィ推論を用いて評価し、制御系のゲイン配分等を変更する板厚・張力非干渉制御を導入した。

板厚・張力非干渉制御のシステム構成をFig.13に示す。フ

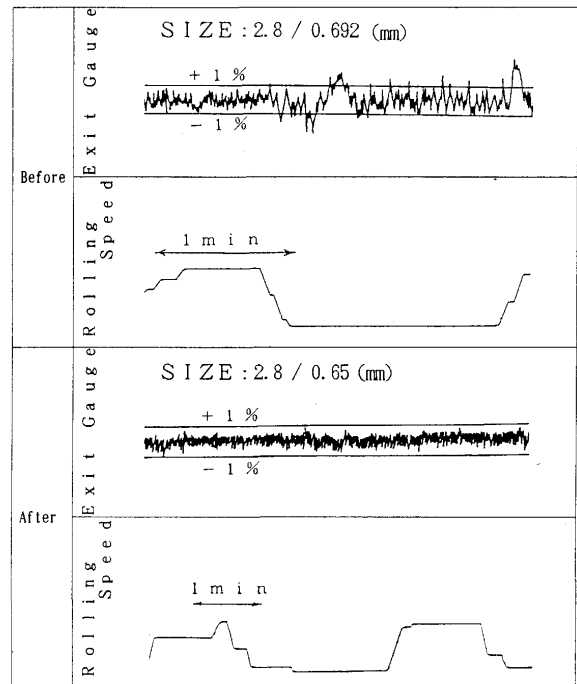


Fig. 16. Gauge chart before and after revamping.

アジィ推論に対する入力として、板厚実績、張力実績、および速度制御指令値を用い、Fig.14に示すメンバーシップ関数を用いて定性的な知識に対する確信度に変換する。そして、得られた確信度から干渉度合いを推論して、干渉度に応じて以下の操作を実施する。

①張力制御バンド幅の変更

②板厚制御負荷配分ゲインの変更

結果をFig.15に示す。本制御を適用することで、板厚制御と張力制御が干渉する時間が半減していることがわかる。

4・4 板厚精度改善効果

リフレッシュ工事前後の板厚チャートをFig.16に示す。本リフレッシュ工事の実施により低速部、加減速部の板厚精

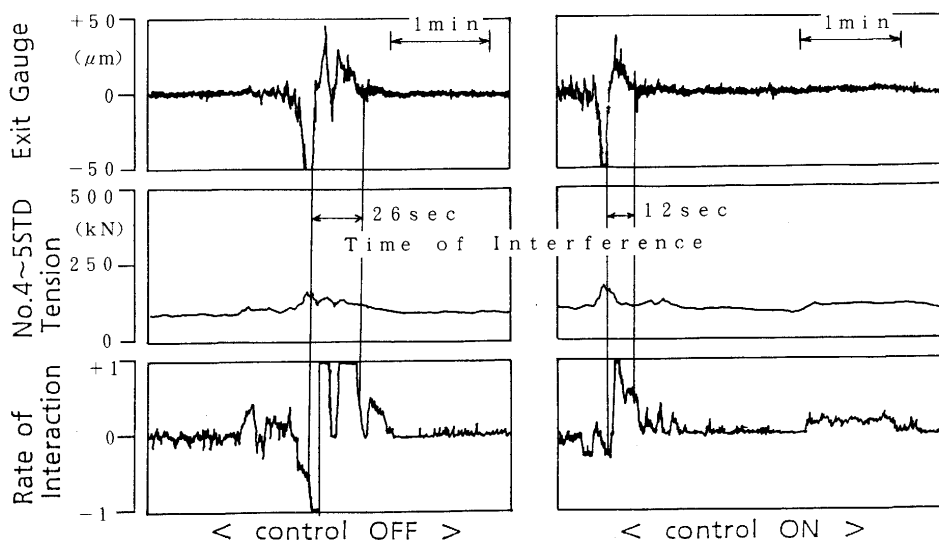


Fig. 15. Effect of non-interference control system.

度を大幅に改善する事ができた。

本リフレッシュ工事による板厚精度向上の結果, Fig.17に示すとおりオンゲージ率が大幅に向上した。従って, 歩留向上に大きく貢献する事ができた。

5. 結言

水島冷延No.1 タンデムミルの板厚精度向上対策として, バックアップロールのローラ軸受化, 高応答制御の導入を実施した。事前検討においては, 板厚制御総合シミュレータにより各対策毎の効果を予測し, 実機導入後は期待どおりの効果を得ることができた。

なお, 当ミルでは現在, 全スタンド高速油圧圧下化を推進中であり, 特に走間板厚変更域における板厚精度向上を期待している。

文 献

1) 大西忠治, 寺崎忠男, 谷口弘志, 吉見 洋, 井ノ口齊亮, 石原明, 平山嘆一, 谷口政隆, 服部正志: 材料とプロセス, 4(1991), p.1388
2) 岩藤秀一, 出石智也, 安東 均, 石岡弘之, 福田 真, 岡上正明: 材料とプロセス, 1 (1988), p.551
3) 湯浅博康, 中西敏修, 竹野忠吉, 田淵 衛, 山本和明, 小松富雄: 鉄と鋼, 74 (1988), S478

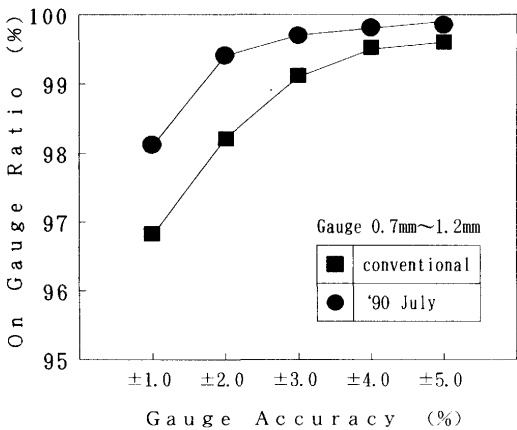


Fig. 17. On gauge ratio before and after revamping.

4) 菅沼七三雄, 小松富雄, 内藤 肅, 渋谷 聡, 広畑和宏, 山本和明: 昭和60年度塑性加工春季講演会論文集, (1985), p.41
5) 小松富雄, 進 修, 菅沼七三雄, 中西敏修, 渋谷 聡, 黒田茂: 昭和60年度塑性加工春季講演会論文集, (1985), p.45
6) 後藤俊二, 菅沼七三雄, 黒田 茂, 西田哲郎: 平成4年度塑性加工春季講演会論文集, (1992), p.709
7) 山下道雄, 北村邦雄, 鍵田征雄, 佐々木 徹, 長南富雄, 三宅英徳, 御厨 尚: 第35回塑性加工連合講演会, (1984), p.243
8) 前田英樹, 堺 俊夫, 服部 哲, 中島正明: 日本塑性学会誌, 32 (1991), p.136
9) 鎌田憲幸, 内藤修治, 福島 孝, 佐藤直樹, 近江 洋: 平成2年度塑性加工春季講演会技術懇談会, (1990), p.9