
阪神製造所 No.2 ゼンジミアミルの AGC および ADC の概要

An Outline of AGC and ADC Systems Employed for No.2 Sendzimir Mill at Hanshin Works

高德 芳忠(Yoshitada Takatoku) 紺屋 範雄(Norio Konya) 神谷 昭彦(Akihiko Kamiya) 山本 準一(Jun-ichi Yamamoto)

要旨：

1980 年 6 月、阪神製造所のステンレス圧延用 No.2 ゼンジミアミルを改造し、AGC および ADC システムを設置し、以後順調な運転を続けている。AGC システムは、基本的にはマスフロー定則に基づいたもので、その中に制御モードとして AGC モードと ARC モードを有している。成果として、板厚偏差が目標の板厚の $\pm 0.7\%$ 以内に入るのが圧延板長さの 98% を超えるという良好な成績を得ている。ADC システムは、リール回転数と γ 線板厚計で検出したロールマーク信号を用いて自動的にミルの減速、停止を行うものであり、 $\pm 60\text{mm}$ という停止精度を得ている。板厚計としては γ 線板厚計とオートマイクロメータを併用するシステムを採用し、多品種のステンレス鋼板の板厚を高精度で測定することが可能となった。

Synopsis：

AGC (Automatic Gage Control) and ADC (Automatic Driving Control) systems were installed in June 1980 in No.2 Sendzimir mill used for stainless steel rolling at Hanshin Works of Kawasaki Steel Corp., and have been successfully operating. The AGC system, designed on the principle of constant mass flow, features two automatic control modes incorporated for thickness and reduction, and has achieved a superior mark of $\pm 0.7\%$ max. in strip thickness deviation in more than 98% of the total rolled strip length. The ADC system automatically decelerates and stops the mill by employing the numbers of revolution on two reel counters and the roll bite mark detected by the γ -ray thickness gage and has achieved a stop accuracy of $\pm 60\text{mm}$. The γ -ray thickness gage, with its built-in Auto-micrometer, now can measure strip thickness at high accuracy regardless of the types of stainless steels to be measured.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

阪神製造所No. 2 ゼンジミアミルのAGCおよびADCの概要

An Outline of AGC and ADC Systems Employed for No. 2 Sendzimir Mill at Hanshin Works

高德 芳 忠*
Yoshitada Takatoku

紺 屋 範 雄**
Norio Konya

神 谷 昭 彦***
Akihiko Kamiya

山 本 準 一****
Jun-ichi Yamamoto

Synopsis:

AGC (Automatic Gage Control) and ADC (Automatic Driving Control) systems were installed in June 1980 in No. 2 Sendzimir mill used for stainless steel rolling at Hanshin Works of Kawasaki Steel Corp., and have been successfully operating.

The AGC system, designed on the principle of constant mass flow, features two automatic control modes incorporated for thickness and reduction, and has achieved a superior mark of $\pm 0.7\%$ max. in strip thickness deviation in more than 98% of the total rolled strip length.

The ADC system automatically decelerates and stops the mill by employing the numbers of revolution on two reel counters and the roll bite mark detected by the γ -ray thickness gage and has achieved a stop accuracy of ± 60 mm. The γ -ray thickness gage, with its built-in Auto-micrometer, now can measure strip thickness at high accuracy regardless of the types of stainless steels to be measured.

1. 緒 言

ゼンジミアミル(Zrミル)のAGC (Automatic Gage Control)システムの実用化は、タンデムミルに比べると歴史が浅い。これはZrミルの圧延特性、被圧延材の特殊性、操業形態などにより手動圧下でそこそこの板厚精度が得られたことにもよるものと考えられる。しかしながらステンレスにおいては近年板厚精度向上の要求が強まってきたので、このたび要求を満足するAGCシステムの導入について検討し実用化した。

一方、圧延機運転の自動化についてはオペレーターの省力と負荷軽減、歩留りの向上のため従来より自動減速、停止の試みがなされ実用化もされている。これらについても、当所において検討

をしていたが、上記AGCシステムの設置に際し総合的に検討し、圧延作業者の大きな精神的負担を軽減するとともに歩留りを向上させるために、今回自動中間減速と自動尾端減速・停止からなるADC (Automatic Driving Control)システムとして導入し、新たに段差検出方式も加えて完全実用化した。

この報告については、AGCおよびADCシステムの概要とその運転結果について述べる。

2. 設備概要

AGC、ADCシステムを導入したNo. 2Zrミルの外観をPhoto. 1に、設備仕様をTable 1に、被圧延材の仕様をTable 2に示す。

* 阪神製造所設備部設備技術室主査(課長待遇)
*** 阪神製造所西宮製造部製造技術室主査(課長待遇)
〔昭和56年2月19日原稿受付〕

** 阪神製造所設備部設備技術室
**** 阪神製造所西宮製造部製造技術室主査(掛長待遇)

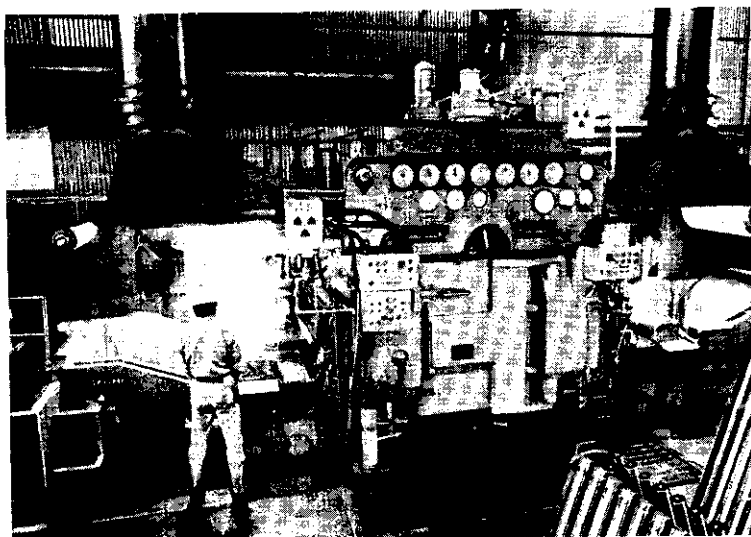


Photo. 1 General view of sendzimir mill with AGC and ADC system

Table 1 Mill specification

Model	ZR-22-50
Rolling speed	163/350m/min
Tension	40 000kg (at 240m/min)
	27 000kg (at 350m/min)
Mill motor	DC 2×900kW(300/645rpm)
Tension reel motor	DC 2×800kW(125/520rpm)

Table 2 Specification of Material rolled

Item	Specification
Maximum width of strip	1 300mm
Minimum width of strip	635mm
Maximum starting thickness	5.5mm
Minimum finish thickness	0.15mm
Maximum coil diameter	1 700φmm
Tension reel diameter	610φmm
Pay-off reel and rewinder reel diameter	510φmm
Tension reel type	Solid block
Maximum coil weight	13 000 kg

また、AGC、ADCシステムの構成をFig.1に、主な機器の仕様をTable 3に示す。AGCシステ

ムは、鋼板の走行長さと板厚によって演算した圧下制御量を圧下装置に与えることにより板厚を制御する。またADCシステムは、コイル巻数と圧延速度によって決定した減速・停止指令を速度制御装置に与えることにより、圧延機を速度を制御する。

3. AGCシステム

今回設置したAGCシステムは、マス・フロー一定則に基づく方式を実用化したものであり、以下にこのシステムの特徴である圧下量演算方法、圧下装置および板厚測定について述べる。

3-1 圧下量演算方法

今回のAGCシステムはマス・フロー一定則に基づくという特徴に加えAGCの制御モードとして、AGCモードとARC (Automatic Reduction Control) モードを設けて、パスによって両モードを使い分けて板厚制御精度を向上させていることも特徴である。以下に両モードの圧下量演算方法について述べる。

3-1-1 AGCモード

マス・フロー一定則において、圧延前後の鋼板

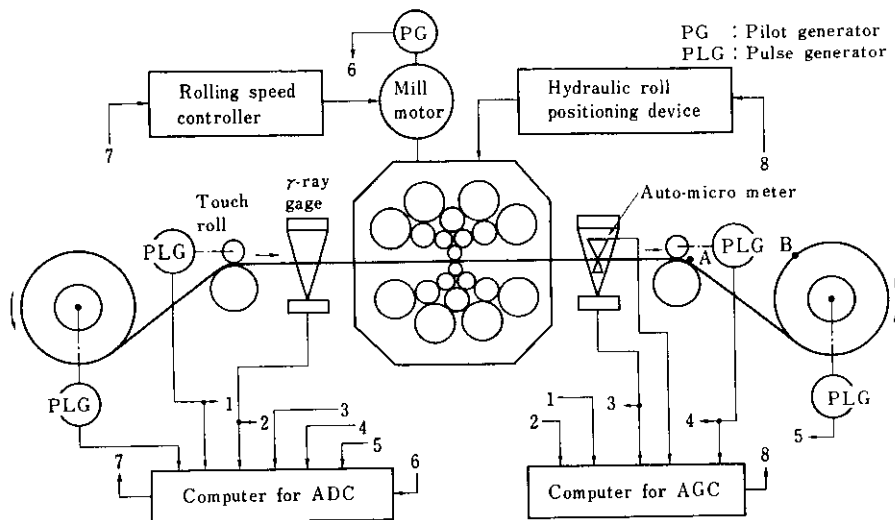


Fig. 1 AGC and ADC system construction

Table 3 Specification of main devices in AGC and ADC system

Device	Type	Specification
Computer	HIDIC 08-E (× 2)	Core memory for AGC : 32kW for ADC : 16kW
Hydraulic roll positioning device	HYPOP-F	Measuring device : Magne scale Valve : Force motor valve Response : 10 ~ 20Hz
γ-ray gage	TOSGAGE163A	Radiation source : ^{241}Am , 2Ci Time constant : 50 ms
Auto-micrometer		Measuring device : Magne scale Accuracy : $\pm 4.0\mu\text{m}$
Strip length measurement		Touch roll size : $130\phi \times 26\text{bmm}$ Touch roll material : Bakelite PLG : 5400 pulse/rev
Coil turn counter		PLG : 600pulse/rev (3,360 pulse/tension reel rev)

の幅方向の変形や密度の変化を無視すれば(1)式が成り立つ。

$$L_i G_i = L_o G_o \text{ または } L_i (G_{Si} + \Delta G_i) = L_o (G_{So} + \Delta G_o) \quad \dots\dots\dots (1)$$

L : 単位時間内の鋼板走行長さ

G : 板厚

G_s : 板厚設定値

ΔG : 板厚偏差

添字 i, o は各々、圧延機入側、出側を示す。

ここで G_i は、測定地点から制御地点まで入測板長さ計からのパルスによってトラッキングしている。

また $G_o = G_s$ となるような入側板厚を G'_i とすると、 G'_i は(2)式で与えられる。

$$L_i G'_i = L_o G_s \therefore G'_i = L_o G_s / L_i \quad \dots\dots (2)$$

したがって $G_o = G_s$ とするために、(3)式で与

えられる圧下量 ΔS を圧下装置へ出力している¹⁾。

$$\Delta S = k(G_i - G'_i) = k\{G_i - (L_o G_{so} / L_i)\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

k : 圧下ストローク比や被圧延材で決まる比例定数

しかし以上の制御は、一種の予測制御であるため、板長さ計の誤差などにより定常偏差が生じる。そこで ΔG_o をモニタし、(4)式で与えられるフィードバック量 ΔG_f によって ΔS を修正して、定常偏差を無くしている。

$$\Delta G_f = \sum_{j=1}^n \Delta G_{oj} / n \quad \dots\dots\dots (4)$$

ΔG_{oj} : サンプルング毎の ΔG_o

n : サンプルング回数

3-1-2 ARCモード

実際の圧延では多くの圧延パス回数を要するが数パス連続して前述の AGC モードで圧延すると、後半のパスでは、かえって板厚偏差が大きくなることがある。この対策として制御モードをパススケジュールによって変更することが効果あることに着目し、途中パスでは以下に述べる ARC モードを適宜採用し、最終パスでは AGC モードで圧延することにより、板厚制御精度を向上させることに成功した。

ARC モードでは、前述の G'_i が(5)式で、 ΔS が(6)式で、 ΔG_f が(7)式で与えられる点以外は、AGC モードと同様である。

$$G'_i = L_o (1 - R) G_i / L_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta S = k\{G_i - \{L_o (1 - R) G_i / L_i\}\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\Delta G_f = \left(\sum_{j=1}^n G_{oj} / n \right) - (1 - R) \left(\sum_{j=1}^n G_{ij} / n \right)$$

$$\text{または、} \Delta G_f = \left(\sum_{j=1}^n \Delta G_{oj} / n \right) - (1 - R)$$

$$\left(\sum_{j=1}^n \Delta G_{ij} / n \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

R : 目標圧下率 $R = (G_{si} - G_{so}) / G_{si}$

$G_{oj}, G_{ij}, \Delta G_{oj}, \Delta G_{ij}$: サンプルングごとの $G_o, G_i, \Delta G_o, \Delta G_i$

3-2 圧下装置

従来のフォローバルブを用いた圧下装置は、機械的なフィードバック機構で構成されているため、位置決め精度や応答性が悪いという欠点があった。そこで今回の AGC 装置の導入に際しては、電油サーボバルブを用いた圧下装置に取替えこの欠点を補った。

圧下装置のブロック図を Fig.2 に、周波数応答特性を Fig.3 に示す。圧下シリンダ位置の検出にはマグネスケールを、サーボバルブには電油サーボバルブの一種であるフォースモータバルブ（直動型3方弁）を使用し、位置決め精度および応答性を向上させた。精度の良い板厚制御を行うには、圧下装置に 10Hz 以上の応答性（90° 位相遅れ）が必要であるが、Fig.3 に示すように 12Hz という良好な結果を得た。

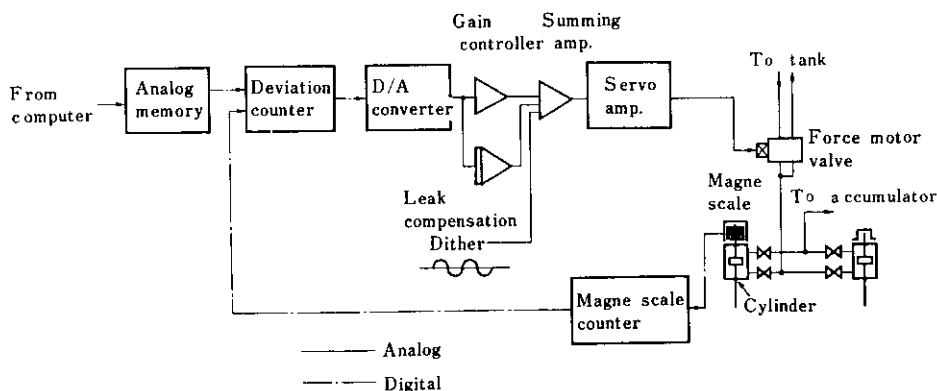


Fig. 2 Block diagram of roll positioning device

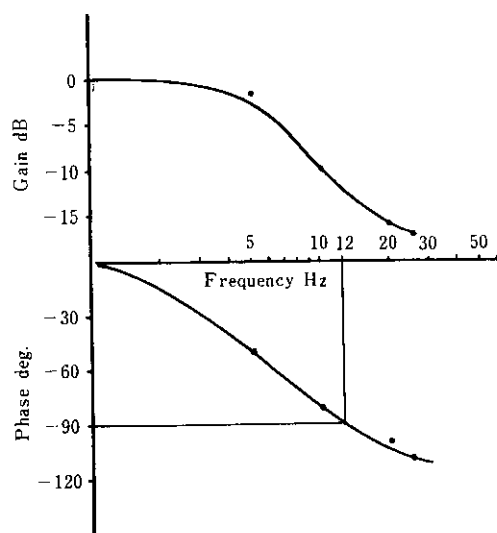


Fig. 3 Frequency response of roll positioning device

3-3 板厚測定

圧延中の鋼板厚さを、一般的な板厚計を用いて精度良く測定するには、板厚計の形式によりそれぞれ次の問題がある。

接触式板厚計では、連続的測定に用いると鋼板にきずが入る恐れや接触部の摩耗・損傷といったことに加え、測定フレーム長さを十分にとれない問題がある。これはフレームを長くするとそのひずみによる誤差が大きくなるため一般の接触式板厚計では測定点は鋼板耳部よりせいぜい 100mm 入った所となっている。この部分の板厚は Fig. 4 に示すように被圧延材の幅方向の板厚変動があるため鋼板板厚の代表値とすることはできない。

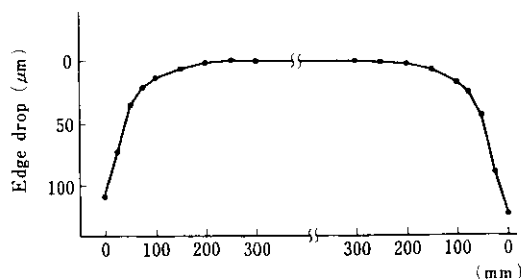


Fig. 4 An example of sectional profile of strip to be rolled

一方、X線または γ 線板厚計では、これらの問題はないが、ステンレス鋼板は、成分と結晶構造により放射線の吸収係数が異なるため、その補正を細かく行わなければ測定上、大きな誤差を生じる。例えば、同一鋼種の板厚 1mm の鋼板を測定した場合、吸収係数を同じとして取り扱くと $\pm 10\mu\text{m}$ 程度の誤差が生じる場合もある。

上記の2方式の欠点を相互に補うため、オンライン用には γ 線板厚計を使用し、各鋼板の吸収係数のちがいは接触式板厚計で補正する方法を考案した。

接触式板厚計としては、ひずみによる誤差を考慮して静止板測定装置とし、鋼板を耳部より 250 mm 入った点まで、 $\pm 1\mu\text{m}$ の精度と測定できるオートマイクロメータをメーカーと共同で開発した。これは超硬チップとマグネスケールを装備したものであり、Photo. 2 のように γ 線板厚計のフレームに内蔵されている。

使用方法は、圧延開始前にまずオートマイクロメータで板幅方向に 3 点を測定して平均値を算出し、次にその中央点を γ 線板厚計で測定し吸収係数を調整する。圧延開始後は γ 線板厚計を使用する。

4. ADC システム

鋼板のキズ、耳割れ部分、溶接箇所などの減速を必要とする点（減速点）では、板切れ時の事故を防ぐため圧延速度を落して圧延するのが通例である（中間減速）。またステンレス鋼板は高価であるため通常コイル両端末にリーダーstrippを溶接し、非圧延部分を少なくしているが、コイル尾端の減速・停止（尾端減速・停止）に対しては圧延歩留りの向上をはかるため尾端ぎりぎりまで圧延している。

したがって ADC システムとしては自動中間減速と自動尾端減速・停止から成立っている²⁾。

自動尾端停止については、停止精度の向上のため、圧延スタート時に鋼板に発生するロールバイトマークを利用する方法（段差方式）を開発した。

4-1 自動中間減速

自動中間減速の概要を Fig. 5 に示す。

まず(8)、(9)式によって L_{cd} 、 L_{sd} を求め L_{cd}

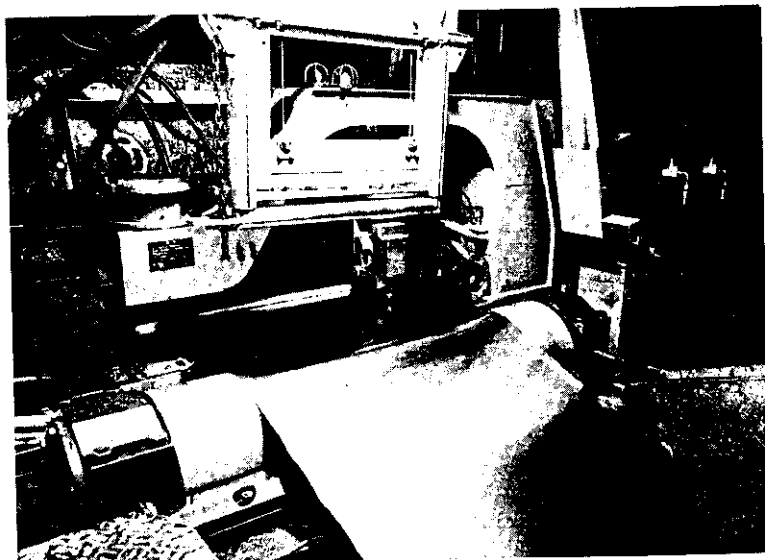
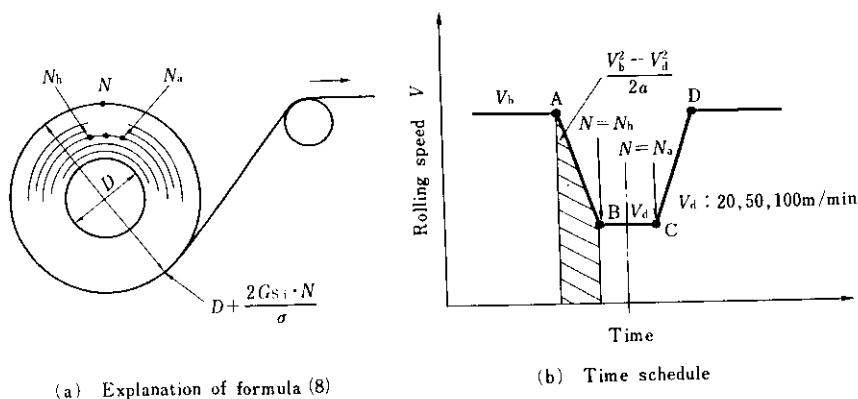
Photo. 2 General view of γ -ray gage and auto-micrometer

Fig. 5 Explanation diagram for automatic intermediate slow-down

$=L_{sd}$ となった時点に減速指令を速度制御装置へ

出力する。次に $V=V_d$ となった時点に保持指令を $N=N_a$ となった時点に加速指令を、 $V=V_b$ となった時点に保持指令を出力する。

$$L_{cd} = \pi(N - N_h) \left\{ D + \frac{2Gs_i(N + N_h)}{\sigma} \right\} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$L_{sd} = \beta(V_b^2 - V_d^2) / 2a \quad \dots\dots\dots(9)$$

L_{cd} : ワークロールから N_h の点までの鋼板長さ

N : 入側コイル巻数

N_h : 保持指令を出力する時の入側コイル巻数

D : テンションリール径

σ : 占積率

L_{sd} : V_b から V_d まで減速する間に走行する入側鋼板長さ

β : ドラフト値 $\beta = Gs_o(1 + a) / Gs_i$

a : 先進率

V_b : 減速前の圧延速度

V_d : 減速点部分 ($N_h \sim N_a$) を圧延する時の設定速度

N_a : 加速指令を出力する時の入側コイル巻数

a : 減速度

V : 圧延速度

ここで N_b , N_a は, 前パスまでに押ボタンで指定された減速点について, V_d で圧延すべき地点のコイル巻数としてすでに演算されている。

4.2 自動尾端減速・停止

自動尾端減速・停止の概要を Fig.6 で説明する。

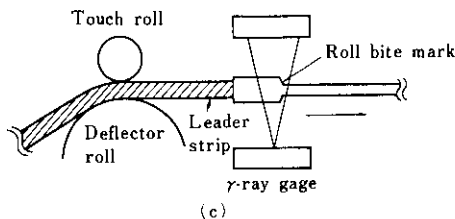
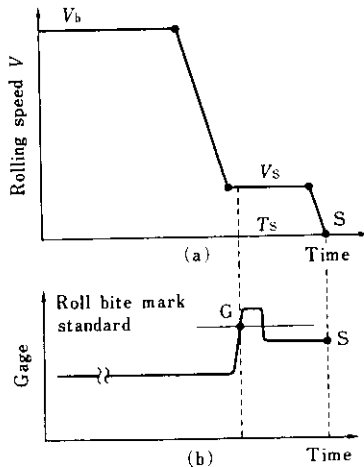


Fig. 6 Explanation diagram for automatic tail end slow-down and stop

まず自動尾端減速は, (10), (11) 式によって L_{cs} , L_{ss} を求め $L_{cs} = L_{ss}$ となった時点で減速指令を, $V = V_s$ となった時点で保持指令を速度制御装置へ出力する。

$$L_{cs} = \pi N \{ D + (G_s N / \sigma) \} \quad \text{.....(10)}$$

$$L_{ss} = \beta \{ (V_b^2 / 2a) + V_s T_s \} + L_{se} \quad \text{.....(11)}$$

L_{cs} : ワークロールから停止点までの鋼板長さ
 L_{ss} : V_b から Fig.6 (a) の速度パターンで停止するまでに走行する鋼板長さ

V_s : 減速速度

T_s : 保持時間

L_{se} : 停止点に対する余裕長さ

次に自動尾端停止について述べる。

一般に行われている方式(巻数方式)では, (10), (12)式によって L_{cs} , L_{ss} を求め $L_{cs} = L_{ss}$ となった時点で停止指令を出力する。

$$L_{ss} = \beta (V_s^2 / 2a) + L_{se} \quad \text{.....(12)}$$

しかしながら, この巻数方式においては停止精度が悪くなることが多い。この原因は, 圧延スタート時などに, コイルの巻きしまりが発生し, (10)式によって求めた L_{cs} に誤差が生じることによるものと考えられる。

そこで停止精度の向上のため段差方式の開発を行った。

段差方式では, (13), (12)式によって L_{cs} , L_{ss} を求め $L_{cs} = L_{ss}$ となった時点で停止指令を出力する。

$$L_{cs} = L_g - \sum_{j=1}^n L_{ij} \quad \text{.....(13)}$$

L_g : 前パスのスタート時に, G_0 が基準値(段差基準値)以下になるまでに走行した出側鋼板長さ

L_{ij} : G_i が段差基準値以上になった時点からのサンプリングごとの L_i

5. 運転結果

5.1 AGC運転結果

AGC モードの運転結果例を Fig.7 に示す。AGC 運転により 1 パスでも良好な板厚精度が得られている。

ARC モードの運転結果例を Fig.8 に示す。入側の板厚偏差が目標圧下率分だけ圧延され減少していることがわかる。

AGC 運転を数パス連続すると圧延精度が悪くなることは前述したがその具体例を Fig.9 に示す。Fig.9 は全パス AGC 運転を行った場合の最終パスの板厚偏差である。Fig.10 は 1 ~ 5 パス AGC 運転, 6, 8, 10 パス ARC 運転, 7, 9, 11 パスに AGC 運転を行った場合の最終パスの板厚偏差である。AGC 運転のみの場合に比較して, AGC 運転と ARC 運転を組み合わせると, 圧延精度は約 1/2 に向上している。

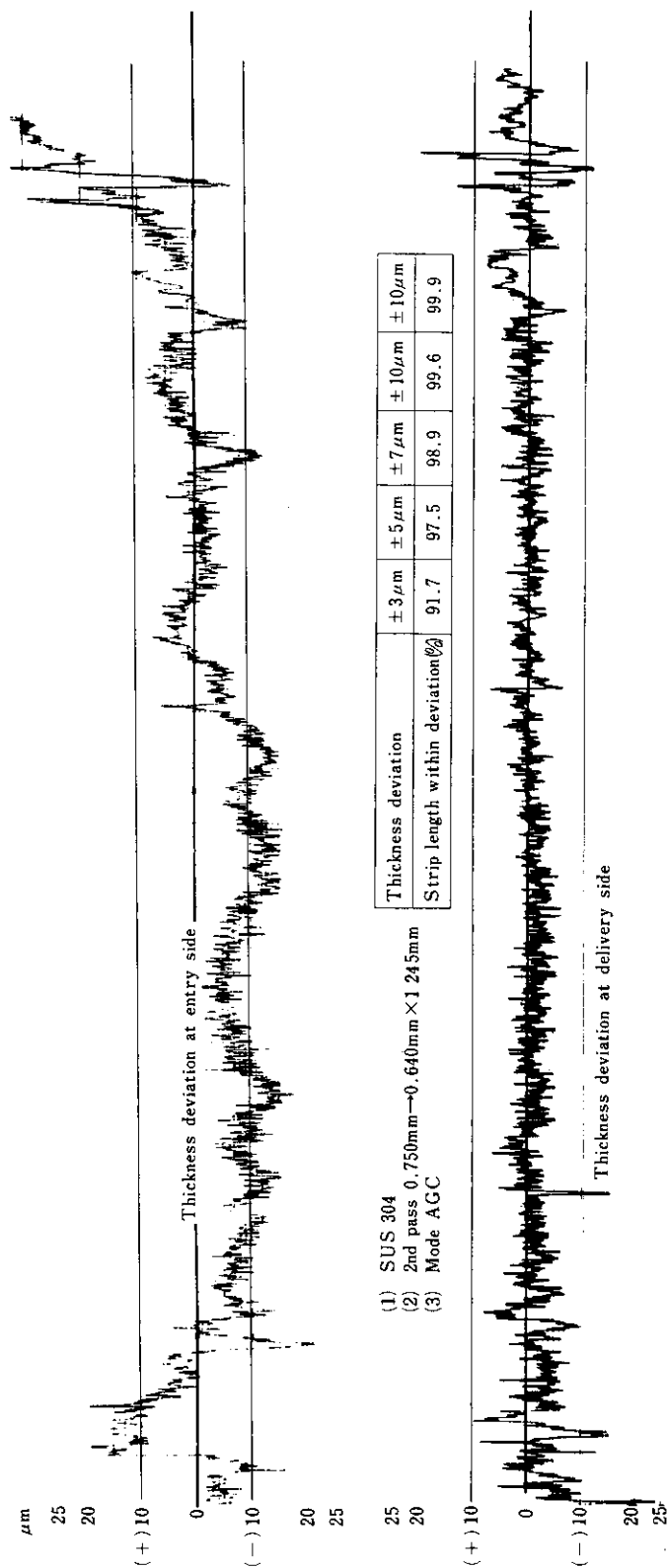


Fig. 7 Oscillogram for AGC effect

- (1) SUS 430
- (2) Pass schedule 4.0mm→0.4mm×1 020mm by 11 passes
- (3) Mode AGC in all passes

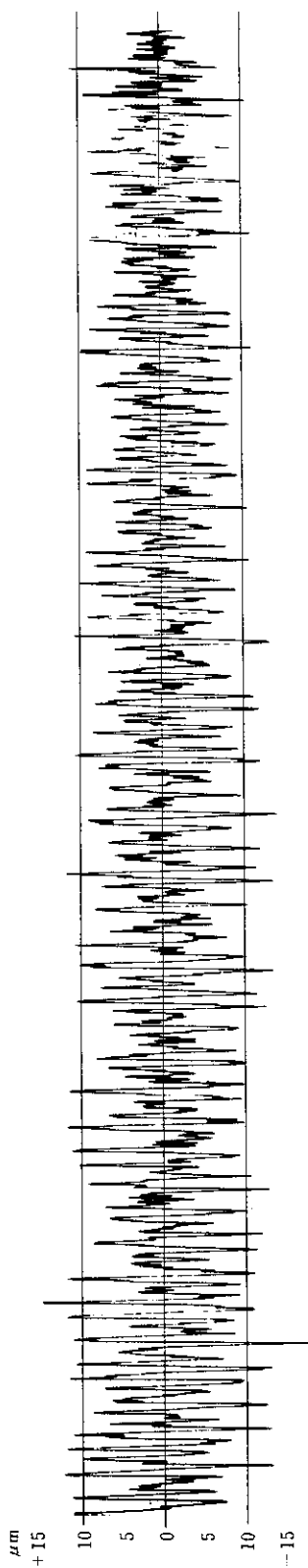


Fig. 9 Thickness deviation oscillogram at finish pass when AGC mode was used in all passes

- (1) SUS 430
- (2) Pass schedule 4.0→0.4mm×1 020mm by 11 passes
- (3) Mode
1~5 passes AGC
6~10 passes ARC
11 passes AGC

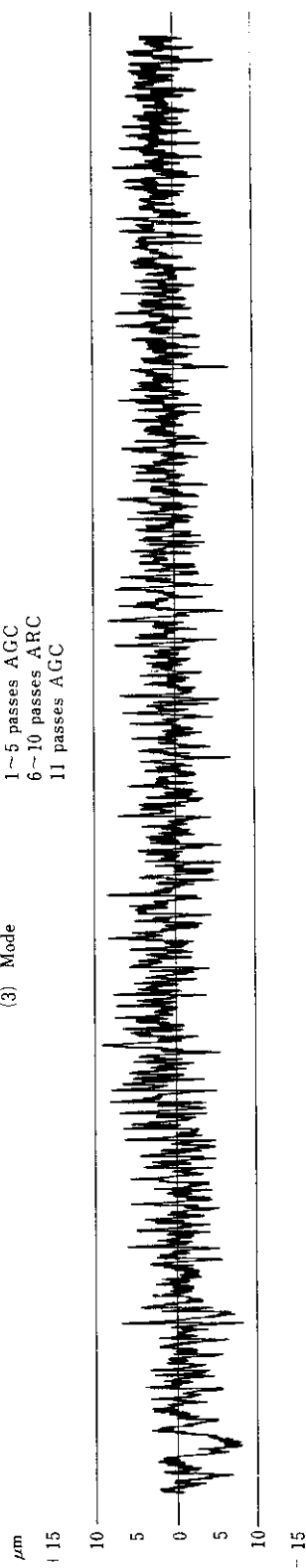


Fig. 10 Thickness deviation oscillogram at finish pass when AGC and ARC mode were used

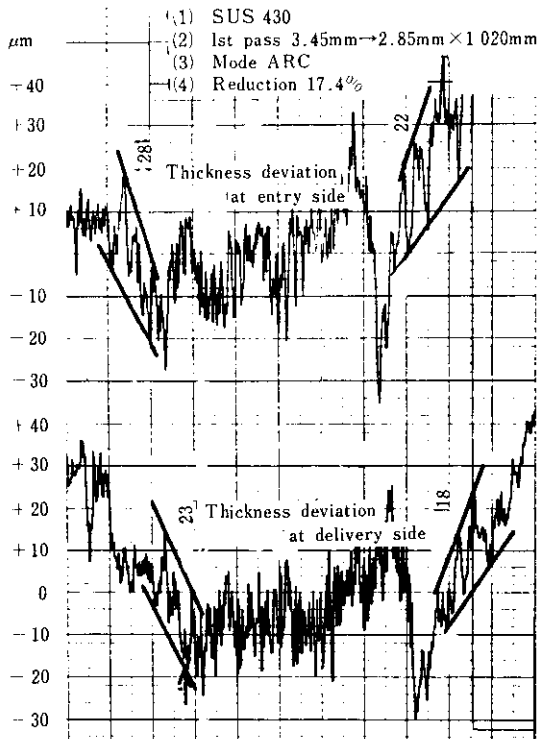


Fig. 8 Oscillogram for ARC effect

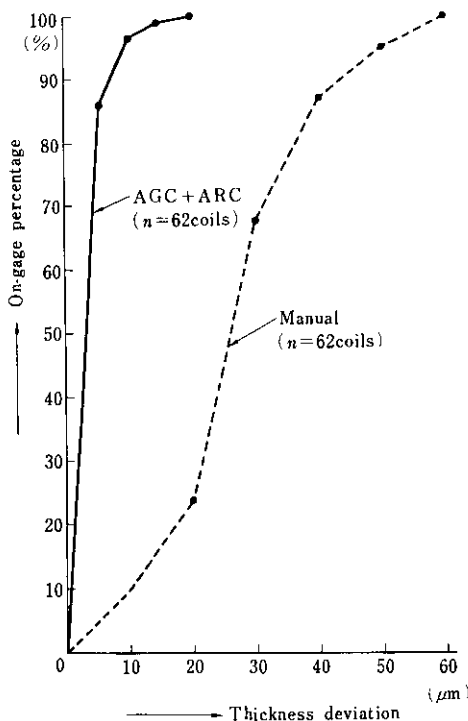


Fig. 11 Comparison of on-gage percentage in strip length between AGC and manual operation

Fig. 11 に従来の手動操作と今回の AGC 操作の場合のオンゲージ率を示す。AGC 運転により板厚偏差がコイル全長の70%に対して $31\mu\text{m}$ から $4.5\mu\text{m}$ に、同じく 95%に対して $50\mu\text{m}$ から $9.5\mu\text{m}$ に改善されるという良好な圧延結果を得た。

5:2 ADC運転結果

ADC の尾端停止精度を Fig.12 と Fig.13 に示

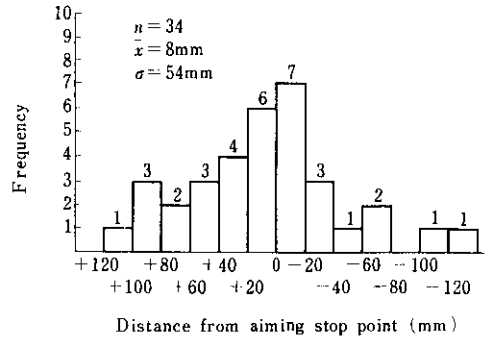


Fig. 12 Distance distribution from aiming stop point by automatic tail end stop control based on turns of coil

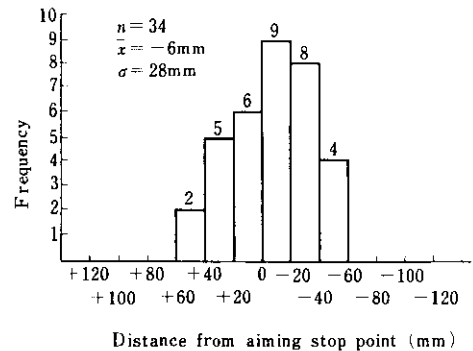


Fig. 13 Distance distribution from aiming stop point by automatic tail end stop control based on roll bite mark detection

す。図からも明らかなように巻取方式に比べ段差方式の方が精度が良い。自動尾端減速・停止および自動中間減速により作業者の精神的負担が大幅に軽減され、作業者には大変喜ばれている。

以上 AGC システムの安定な運転下において高精度の板厚が得られたことに加え、板厚精度向上のための作業者の負荷軽減と ADC システムによる歩留り向上、作業者の負荷軽減とか相まって、生産性が約 8 % 向上するという成果に結びついた。

6. 結 言

阪神製造所のステンレス用ゼンジミアミルとしては、初めて計算機制御による AGC, ADC システムを導入実用化し、当初の目標どおりの成果を得ることができた。これにより、圧延での板厚精

度と歩留りに関する課題は、一応解決したものと考える。今後は、ゼンジミアミルにおける形状制御に取組み、さらに製品の高品質化のニーズに応じていきたい。

おわりに、今回の各システムの導入に当たり、多大な御協力をいただいた(株)日立製作所に謝意を表明したい。

参 考 文 献

- 1) James B. Murtland: 米国特許 3015974
- 2) 永瀬ほか: 日立評論, 55 (1973) 8, 790~791