

住友金属工業株式会社鹿島製鉄所納
熱間連続圧延機用特殊制御装置
Kashima Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd.
Hot Strip Mill Automatic Control Systems

山下了也* 水野雄弘** 坂口邦治**
Akiya Yamashita Katsuhiko Mizuno Kuniharu Sakaguchi
桜井孝員** 新谷定則**
Takakazu Sakurai Sadanori Shingai

要 旨

住友金属工業株式会社鹿島製鉄所納入の熱間連続圧延機用特殊制御装置の中で、特徴的なプリセット制御装置と自動板厚制御装置について、その構成と運転結果を紹介する。

1. 緒 言

近年、圧延能率の向上、製品の品質と歩どまりの向上、運転員の削減に対する要求が強くなり、圧延機制御装置中においてプリセット制御装置、自動板厚制御装置の占める役割はますます重要性を増してきている。

長大なホットストリップミルにおいて、その運転員を極限にまで削減し、セットアップ計算機による指令に基づいて圧延設備を最高の効率で運用するために、プリセット制御装置が広範囲の項目の自動設定に活躍している。

熱延材に対しても冷延材同様あるいはそれ以上の板厚精度と品質が要求され、自動板厚制御装置に対する要求性能もますますきびしくなっており、このため自動板厚制御装置により操作されるスタンド数も増加しかつ高度のものとなっている。

2. プリセット装置

プリセット装置は、圧延速度、圧下開度、サイドガイド開度など、圧延に必要な機器の設定を、デジタルスイッチによる設定値あるいはセットアップ計算機によって出力された設定値に基づき、自動的に設定を行なう装置である。本装置は粗圧延機関係、仕上圧延機関係、ダウンコイル関係の3グループにより構成されている。

表1はプリセット項目一覧表である。これらのプリセット項目は制御方式により大別すると、速度の設定などのように設定器あるいはセットアップ計算機の出力である設定値に、設定替タイミングを付けて出力する方式のものと、圧下の設定などのように設定値を受け取りこの設定値により位置ぎめの制御を行なう方式の二つに分けられる。

2.1 制御方法の概要

- プリセット装置は次の各部分から構成される。
- (a) 設定替指令回路(手動設定替, 自動設定替)
 - (b) 設定部(デジタルスイッチまたはセットアップ計算機)
 - (c) 設定値記憶回路
 - (d) 位置ぎめ回路

設定部において設定された設定値は、設定替指令回路より出力される特定のタイミング信号によって記憶回路に移される。記憶回路の内容は数字表示管に表示されるとともに、位置ぎめを行なう項目を除いては、接点出力として電動機制御回路に出力する。位置ぎめを行なうものでは設定値と機械系の位置帰還信号との偏差を演算し、偏差に応じて電動機制御系へ速度指令を出力し偏差が所定範囲

表1 プリセット項目一覧表

	項 目	員数	設 定 範 囲	ビ ッ チ	
				デ ィ ジ タ ル	ア ナ グ ロ
粗圧延機	ドラフト補償計	6	0~50%		○
	幅	1	580~1,780 mm		○
	厚み計	1	10~50 mm		○
仕上圧延機	F ₁ 通板速度	1	0~211 MPM		○
	F ₂ 通板速度	1	0~323 MPM		○
	F ₃ 通板速度	1	0~456 MPM		○
	F ₄ 通板速度	1	0~674 MPM		○
	F ₅ ~F ₇ 通板速度	3	0~800 MPM		○
	最高速度	1	0~1,320 MPM		○
	No.1 No.2 加速度	2	0~62 MPM/s		○
	減速度	1	0~130 MPM/s		○
	F ₁ ドラフト補償計	1	0~55%		○
	幅	1	508~1,780 mm		○
ダウンコイル	厚み計	1	0.5~15 mm		○
	ラッパローラ	2	1, 2, 3		○

内にはいるまで電動機を制御する。

2.2 位置ぎめ制御

位置ぎめ制御は下記の部分で構成される。

- (a) 偏差演算部
- (b) 機械位置帰還部
- (c) 距離-速度変換部

図1はデジタル系位置ぎめ装置を、図2はアナログ系位置ぎめ装置をブロック図で示したものである。

2.2.1 偏差演算部

偏差演算は設定値と機械位置帰還信号により位置偏差を演算する部分であり、本装置ではデジタル演算方式と、アナログ演算方式の2方式を併用している。すなわち高精度位置ぎめを必要とする機器の位置ぎめにはデジタル方式を採用し、ほかはアナログ方式によっている。前者のデジタル方式は、仕上圧延機の圧

* 住友金属工業株式会社鹿島製鉄所
** 日立製作所大みか工場

下装置ぎめに採用された。この方式は、トランジスタ演算素子による並列演算で高速、高精度の演算を行なっている。アナログ方式はシンクロ式加減算器を使用しており、コントロールトランスおよびシンクロシミュレーティングトランスにより構成され、演算精度を向上させるため、2段または3段の粗密切換方式である。

2.2.2 機械位置帰還部

機械位置検出としてはアナログ系ではシンクロを使用しているが、デジタル系仕上圧延機圧下装置においてはトップハット方式を採用し、圧下スクリュウの回転角をリーフスプリング、増速ギヤを介して6相シンクロに取り付けている。増速ギヤで6倍、6相多相シンクロで電氣的に6倍することにより、計36倍に増速してスクリュウ位置を検出している。電氣的回路に変換したのちは、零調用差動シンクロ、サーボシンクロ受信機構で伝送している。リーフスプリング、増速ギヤ、6相シンクロ、バックラッシュ防止(増速ギヤの)用トルクモータはトップハット内に収められ、圧延機スタンド上部に取り付けられている。

上記方式は、トップハット内に多相シンクロ発信機を入れる新方式で、次の特長をもっている。

- (1) 多相シンクロを用いることにより、機械的な増速比を6倍に押えるためスクリュウ側より見た GD^2 の増大が小さくなり、リーフスプリングのたわみによるエラーを小さくしている。
- (2) 位置帰還信号はシンクロ系で伝送されるため、ノイズおよび誘導障害が皆無である。

2.2.3 距離-速度変換部

位置ぎめ制御は圧下位置指令および現在位置の帰還によるループすなわち位置の閉ループにより構成されるが、マイナーループとして電動機速度制御ループを有するのが一般的である。したがって偏差演算部にて演算された位置偏差は電動速度指令に変換する必要がある。今、位置偏差を ΔS 、電動機速度を V とすると

$$V = \pm K\sqrt{\Delta S}$$

が成り立つ。ここで K は位置ぎめ装置の定数で位置ぎめ電動機の最高回転数、変速比などにより定まるものである。

上式より速度制御ループに与える指令としては、基本的には位置偏差の平方根の曲線で構成すればよいことがわかる。

実際には

- (a) 精度を上げるために、いったん高速よりクリーブ速度に減速して止める。
- (b) 制御系安定性のためデッドバンドを設ける。

上記必要性から平方根曲線を発生させる関数発生器は、位置偏差の平方根の曲線からなる関数発生器 FG_1 とクリーブ速度およびデッドバンドを設定する関数発生器 FG_2 に分けて設定され、演算増幅器により両出力は加算される。 FG_1 と FG_2 との合成出力は図1に示すようになる。

このほかに関数発生器 FG_1 は ΔS に対応した電動機速度を得るものであるから、電動機制御系の遅れを補償するための補償回路1を付加している。また、デッドバンド付近で起動する場合、機械系は通常摩擦トルクが大きく、いったん起動してしまうと静止摩擦より動摩擦に移行するため摩擦トルクが小さくなり、行き過ぎる現象が生ずる。このため停止時に逆側の速度指令を与えて停止を容易にするための微分補償回路を設けている。

以上をまとめると、

- (a) 偏差が比較的大きい場合には FG_1 と補償回路によって即応性に主眼を置いた制御が行な

われる。

- (b) 偏差が比較的小さい場合には、デッドバンド付近における位置ぎめ制御の難点を除くため FG_2 と補償回路2により加減速補償が行なわれる。

2.3 運転結果

プリセット装置は試圧延より使用され、現在好調に運転されている。特に位置ぎめ制御系は、高速高精度を実現してセット替における円滑な運転による運転員の削減と、高精度による圧延材品質の向上につながっている。たとえば仕上圧下位置ぎめにおける位置ぎめ精度は $\pm 2.5 \mu$ の高精度を実現しており、後述する AGC のインシヤルセットに対する精度向上につながっている。

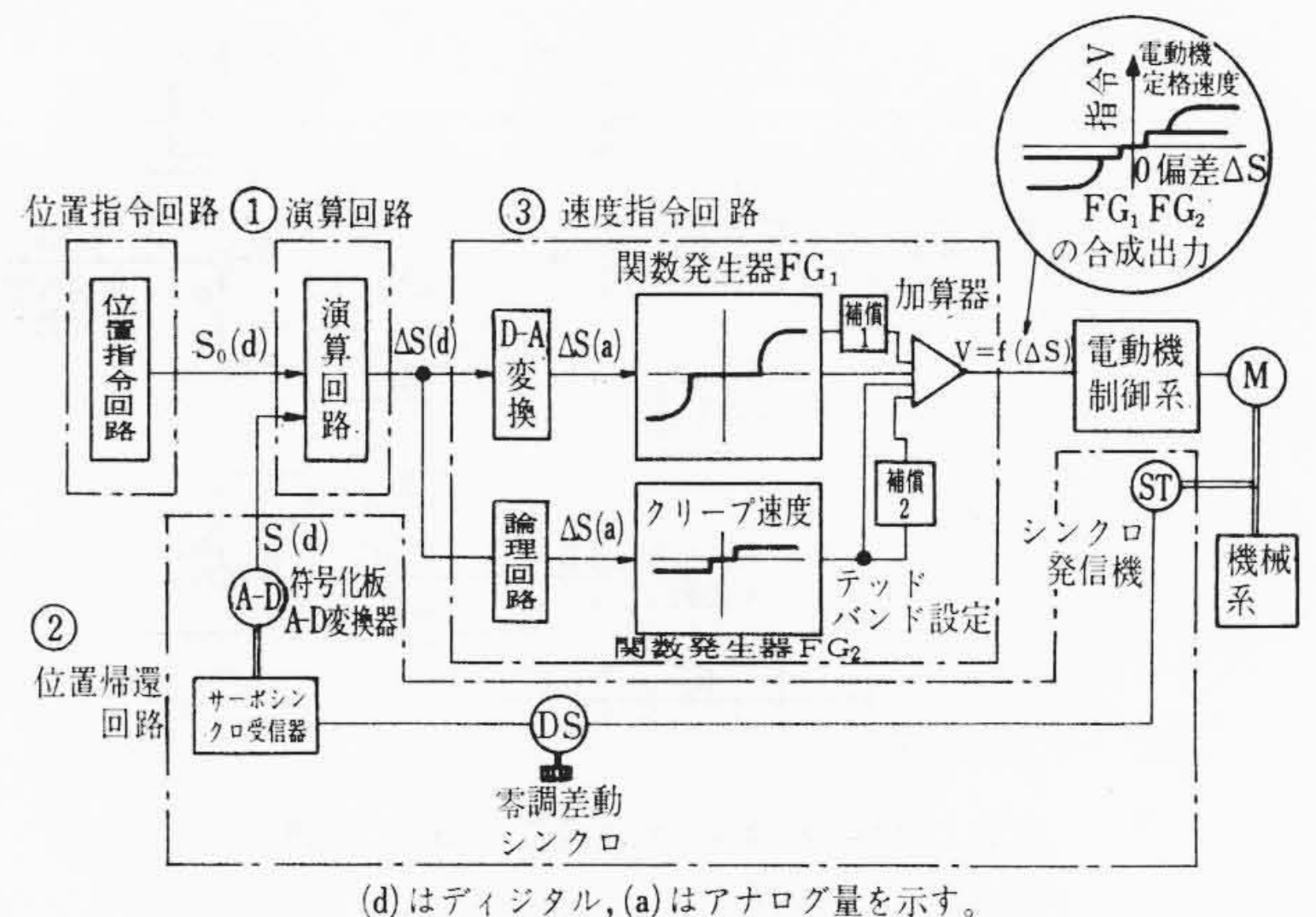


図1 デジタル系位置ぎめ装置ブロック図

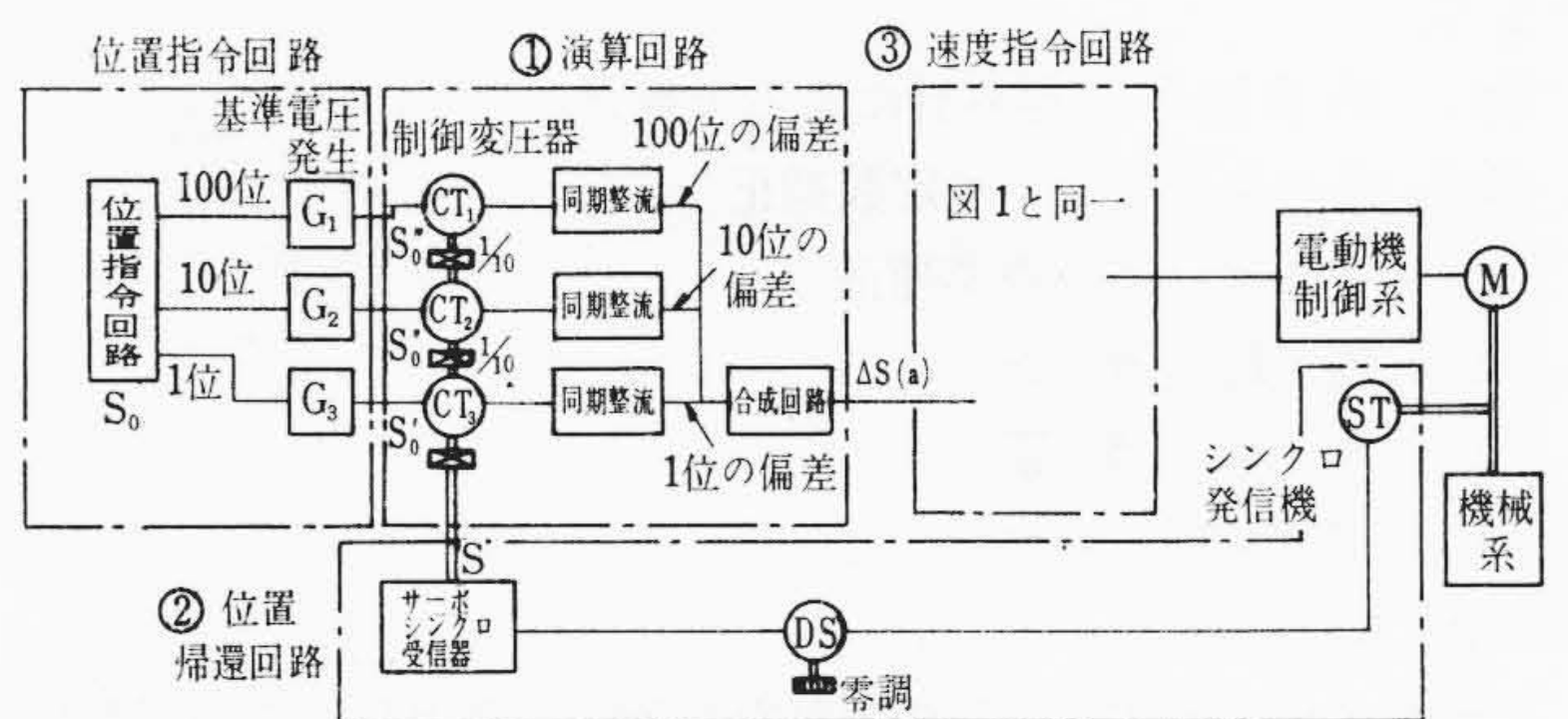


図2 アナログ系位置ぎめ装置ブロック図

3. 自動板厚制御装置 (AGC)

3.1 AGC システムの構成

図3に示すように、仕上圧延機7スタンドのうち、 $F_2 \sim F_7$ の6ス

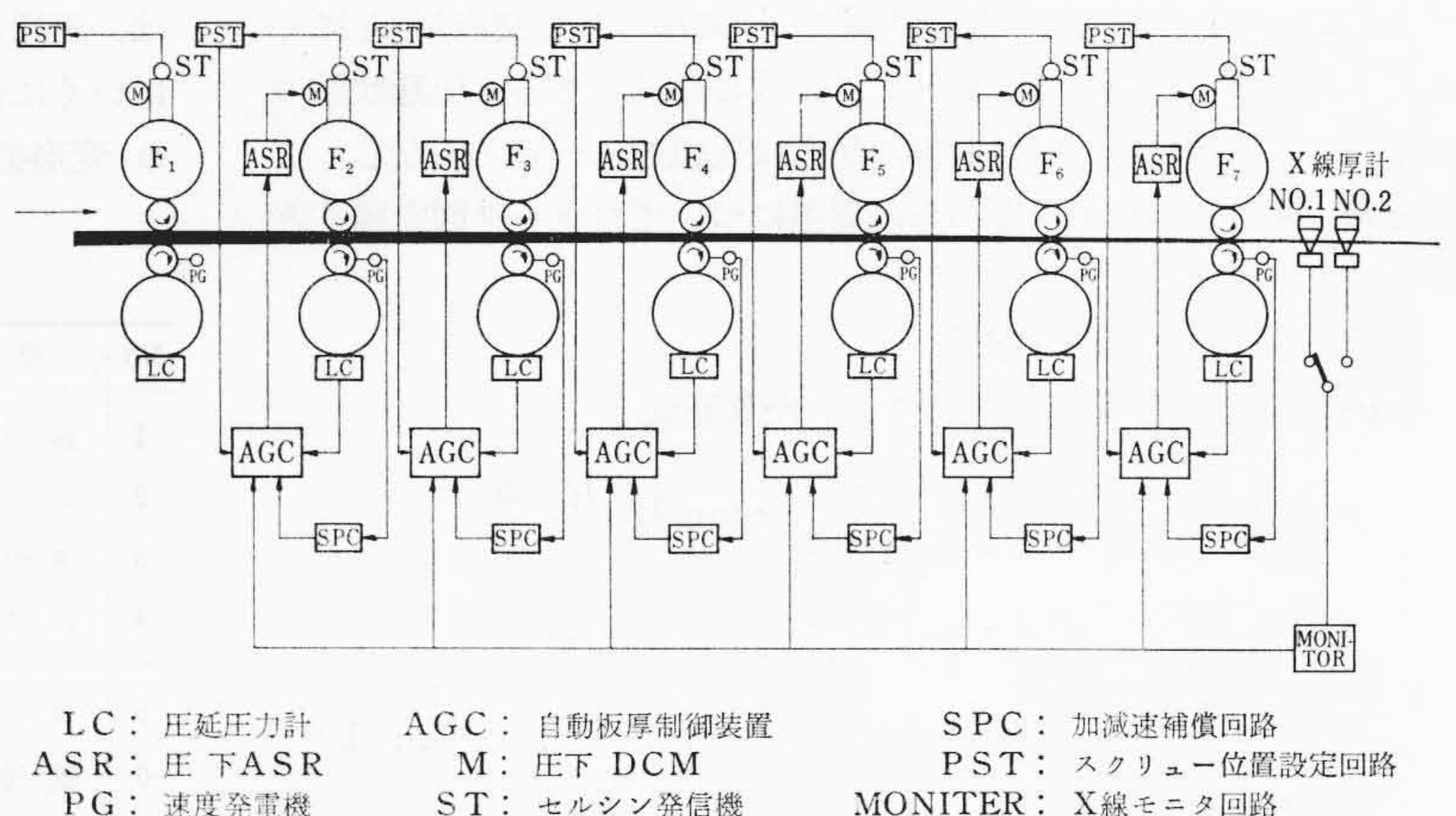


図3 ホットストリップミルのAGCシステム

表3 定常状態の計算結果

No.	項 目	単 位	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇
1	無負荷時ロール開度	mm	6.62	2.87	1.14	-0.018	-0.901	-0.485	-0.143
2	圧 下 率	%	49.7	41.1	35.0	30.4	26.9	18.2	12.5
3	圧 延 圧 力	t	2,268.9	2,013.7	1,785.4	1,778.9	1,885.3	1,376.2	1,018.4
4	中 性 点 板 厚	mm	11.38	6.59	4.22	2.90	2.10	1.68	1.45
5	圧 延 ト ル ク	t-m	116.7	67.5	40.7	30.2	23.1	11.1	5.8
6	ロ ー ル 扁 平 半 径	mm	342.7	374.5	384.9	424.6	497.3	578.5	663.9
7	入 側 速 度	m/s	0.59	1.18	2.01	3.09	4.44	6.07	7.42
8	中 性 点 速 度	m/s	1.04	1.80	2.81	4.10	5.65	7.08	8.22
9	出 側 速 度	m/s	1.18	2.01	3.09	4.44	6.07	7.42	8.49
10	先 進 率	%	0.131	0.113	0.097	0.083	0.074	0.049	0.033

表4 外乱に対する計算結果

項 目	出側板厚 変動 (%)	圧下率 変動 (%)	圧延圧力 変動 (%)	中性点板厚 変動 (%)	圧延トルク 変動 (%)	扁平ロール径 変動 (%)	入側速度 変動 (%)	中性点速度 変動 (%)	出側速度 変動 (%)
入側板厚の1%増外乱	0.351	0.650	1.027	0.43	1.82	-0.023	-0.564	0	0.08
ロール間隔設定値の 1%開方向操作	0.437	-0.442	-0.646	0.372	-0.828	-0.007	-0.372	0	-0.065

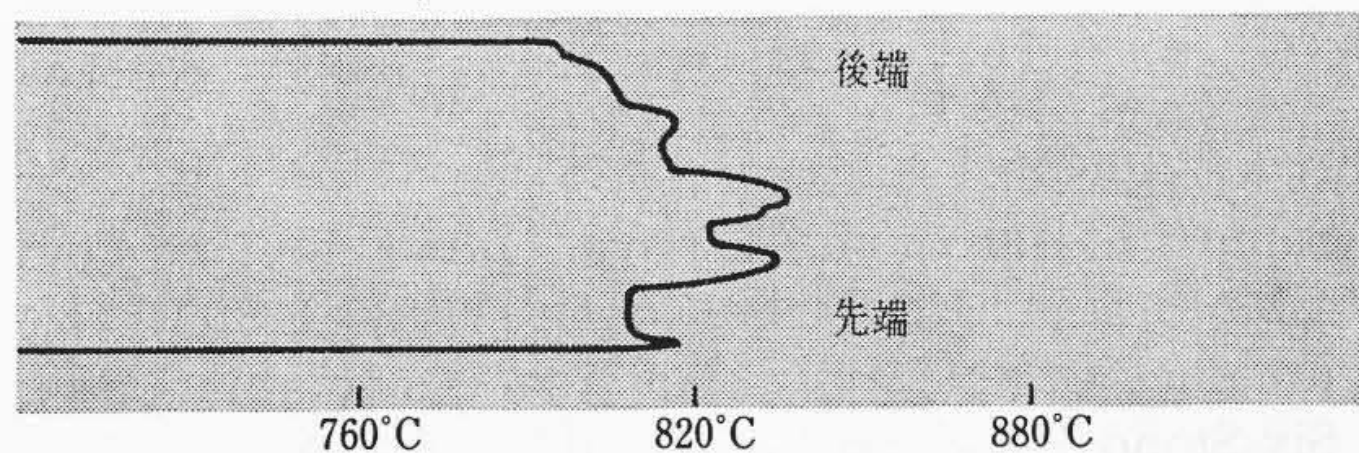
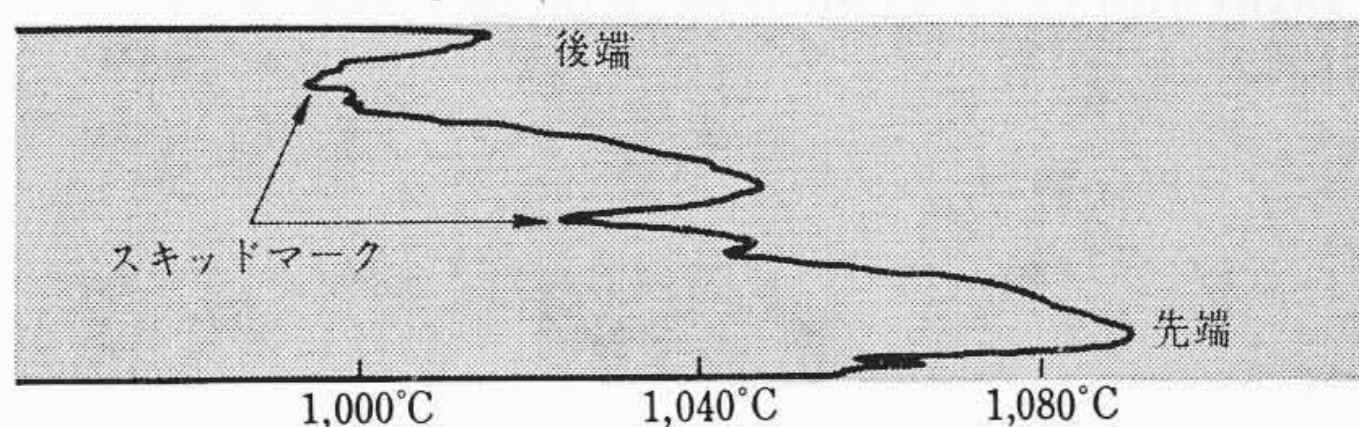
F₇出口における母材温度F₁入口における母材温度

図6 圧延材の温度変動

表5 母材温度差による板厚変動

No.	F ₁ 入側板厚 (mm)	F ₇ 出側板厚 (mm)	板 幅 (mm)	炭素含有率 (%)	温度差10°Cに よる板厚変動 (μ)
1	14.0	1.0	950	0.1	26
2	18.0	2.3	1,150	0.1	40
3	20.8	3.2	960	0.1	33
4	24.7	6.0	1,550	0.1	48

注: No. 4は F₇ ダミー

また後端部にいくに従って温度が下がり圧延圧力は増加して板厚は厚くなっている。

母材の温度差による板厚変動は、F₁入側で10°Cの温度差がF₇まで継続するとすると、表5に示す値となる。

このように、母材の温度差はAGC精度のうえからも大きな外乱となるので、母材の温度管理はきわめて重要である。

AGC性能向上のうえから、特に考慮すべき事項を列記する。

(1) ミル定数の変化

圧延圧力が1,000 t以下で圧延される場合は弾性曲線が非線形となり、AGCでは線形として設定されているために誤差の原因となる。

(2) 基準板厚設定タイミング

基準板厚設定動作タイミングは、通常板かみで行なわれる。このタイミングが遅れると、無制御の板長が大となりオフゲージ量が増大する。そのため可能なかぎりこのタイミングを早める必要がある。一方、あまり早くすると板の先端部における圧延圧力の過渡変動を取り込んで基準板厚を設定する危険性がある。板の先端の形状、圧延圧力計、圧下系の時間遅れを考慮してタイミングを決めることが重要である。

(3) ルーパーの安定動作

ゲージメータ方式AGCは、スタンド間張力一定という前提のもとに行なわれる。そのため加減速時における揃速(せんそく)速度の誤差による張力変動はルーパーにより張力一定となるように制御されており、またAGCで圧下制御を行なうと先進率が変わり、出側速度が変化する。出側速度変化によりスタンド間張力の変動が生ずるが、これはループ修正回路により補正するようになっている。AGC性能向上のためには、ルーパーの安定動作が不可欠であることがわかる。

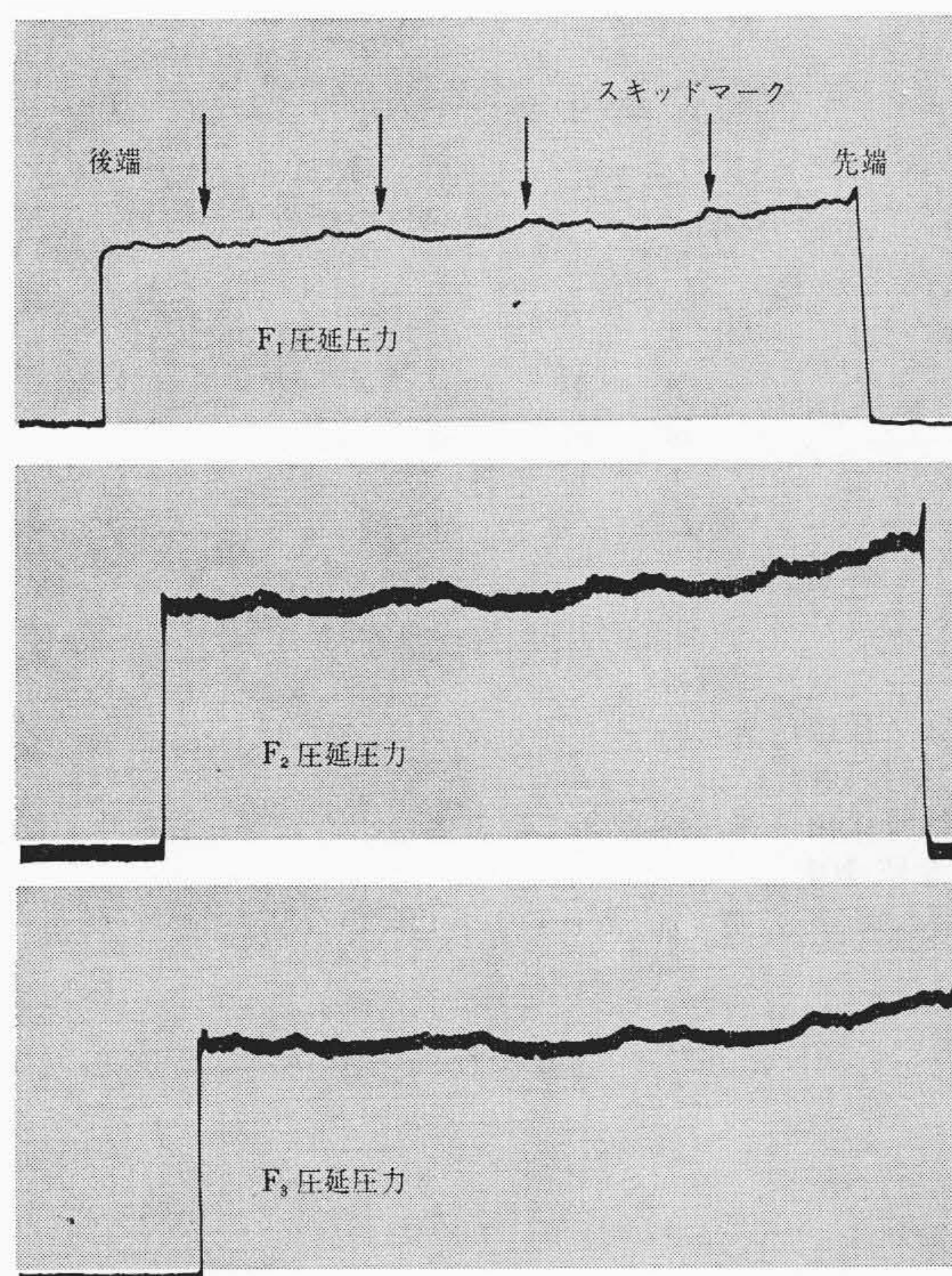


図7 圧延材の温度変動による圧延圧力の変動

(4) スクリューリミット

板のつかけとか、加熱炉を出たあと待期の事態が起こって温度が急変した板がはいってきた場合などの異常時は板が冷えており、AGCでは板厚増加とみなしてスタリューを締め込み過ぎ圧延中断につながることもある。そのため本装置には各スタンドスクリューリミットが付いており、上記のような場合には自動的にAGCをリセットし、運転中断の予防を行なっている。

(5) モニタ

ゲージメータ方式ではミルの弾性定数を一定として設定するための誤差、ロールの熱膨張によるロール間隙(げき)の変動、その他ドリフトなどによる誤差は補正できないので、これらの誤差を吸収するためX線厚み計によるモニタが必要となる。その場合、板の速度によりX線厚み計までの伝達遅れが変化するのを自動的に補正することがモニタ性能上重要である。

(6) 母材の温度変化

板厚変動の原因のところで述べているように、母材の温度変化は極力小さいことが必要である。

3.3 運転結果

昭和44年4月営業運転にはいると同時にAGCも稼働にはいり、加熱炉およびミルの操業が軌道にのるとともに、板厚精度は急速に向上した。

3.4 AGCの今後の方向

AGCの今後の方向としては、まず精度向上の面から

- (1) 圧下系の速応性向上
- (2) 圧延圧力計の精度向上

が望まれ、AGCシステムとしては

- (1) 入側X線厚み計による予測制御
- (2) 入側温度変化による予測制御

(3) 最終スタンド間張力制御

- (4) ゲージメータ方式により演算された板厚偏差信号による前方スタンドの圧下予測制御

などの研究開発が考えられる。

また計算機を用いたDDC (Direct Digital Control) 化が今後の方向である。

4. 結 言

プリセット装置は圧延設備の運転開始と同時に稼働にはいり少数の運転員により効率よく設備の運営がなされている。特にセットアップ計算機が稼働し両者が連係運転にはいるとその威力を発揮し、現在好調に運転中である。

AGCの精度は直ちに製品精度となるので、特に入念に調整が行なわれた。AGCの性能評価には板厚精度そのもののほかに、オンゲージ量が考慮され、海外⁽⁴⁾においても国内においても、この板厚精度とオンゲージ量の向上のための努力がなされている。今回もこの目的達成を目ざして設計製作され、運転結果にも示してあるように所定の目標を達成することができた。

今後はプリセットとAGCとを統合して計算機を用いたDDC化により性能はさらに向上するものと思う。

参 考 文 献

- (1) 日本鉄鋼協会：圧延理論とその応用
- (2) Samuel S. Harbaugh, A. Lavi: Modelling and Control of a Multi-Stand Hot Strip Rolling Process I. S. A. Oct. 1965
- (3) Rondney G. Rockwell: An Analysis and Simulation of a Six-Stand Hot-Strip Rolling Mill. I. S. A. Oct. 1965
- (4) W. G. Jenkins, C. C. Pullen: Sparrows Point 56-In. Hot Strip Mill Gage Control System. Iron and Steel Eng. June. 1969

第 32 卷

日

立

第 9 号

目

次

・グラフ / 鉄を生かす
・ルポ / 埼玉の洪水を締め出す
・解説 / 燃料電池の話
・ハイライト / PL 教団エレベータ塔
・伝統工芸 / 岩田藤七(ガラス工芸)
・特集 / 電力の未来

・口絵
・座談会 / 安井泰安・三井恒夫
真鍋博・落清
浦田星
・ルポ / 超高圧電力研究所をたずねて
・ホームサイエンス

発行所 日立評論社

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
郵便番号 100
東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
郵便番号 101
振替口座 東京 20018 番