

新しい制御装置の開発

Development of New Control Devices

岩城秀夫* 宅間豊* 齋藤奎二*
 Hideo Iwaki Yutaka Takuma Keiji Saitō

内容梗概

製鉄工業の合理化と制御器具の進歩の両面より新しい制御装置がぞくぞく開発されつつあるが、最近には特にエレクトロニクスへの導入が盛んである。本文ではこの関係で特色ある (i)無接点制御 (ii)自動プログラム運転 (iii)遠隔操作 (iv)自動板厚制御 (v)データ処理の五項目を中心に説明を加えてある。これらは磁気増幅器、ヒタログ、トランジログ、演算増幅器など制御性能のよい静止器具を用いたもので、製品の質、歩留り、能率の向上、操作員の減少、保守の容易化など多大な成果をあげている。

1. 緒言

新しい制御装置は製鉄工業の合理化と制御器具の進歩の両面より次々と開発されてきた。昭和25年HTDの完成によりフィードバック制御方式に著しい進展をみせたが、増幅器の発達には磁気増幅器(昭和26年)、分極形HTD(昭和28年)、420サイクル高性能磁気増幅器(昭和31年)となり、さらに演算増幅器(昭和36年)の開発により制御性能は驚くべき向上を示した。他方制御回路の論理素子による無接点化は磁気増幅器形論理素子ヒタログ(昭和34年)とトランジスタ式論理素子トランジログ(昭和35年)および無接点操作器具(昭和34~35年)などの開発により完成し、装置の信頼性の向上、保守の容易さなどの点で大きな成果をあげてきた。特に二、三年間の制御装置の進歩の特色は、エレクトロニクスへの導入で、無接点制御、自動プログラム運転、遠隔操作、自動板厚制御、データ処理、計算制御などはそのよき実例で磁気増幅器、ヒタログ、トランジログ、演算増幅器などを使用したものである。

これらの装置は製鉄プロセスの自動化を推進し、操作員の減少をはかり、信頼性の向上により保守を容易にするとともに製品の質、歩留り、生産能率の向上に寄与している。

以下本文においてこれらの装置について説明を加えよう。

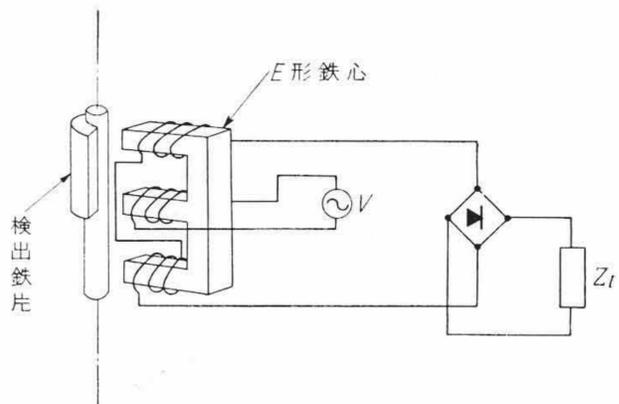
2. 無接点制御

大幅な磁気増幅器の採用、磁気増幅器形、あるいはトランジスタ形論理素子の応用により、制御回路の無接点化が進められた結果、圧延機、工作機のように、速応性と、高い動作ひん度の要求される機器では、動作ひん度の高い制御継電器、操作器具はすべて無接点化されて、性能と信頼性が大幅に向上した。日立製作所では、住友金属工業株式会社和歌山製鉄所ホットストリップミル粗圧延機用および住友金属小倉製造所分塊圧延機用に無接点制御器具を製作納入し、良好な結果を得ている。

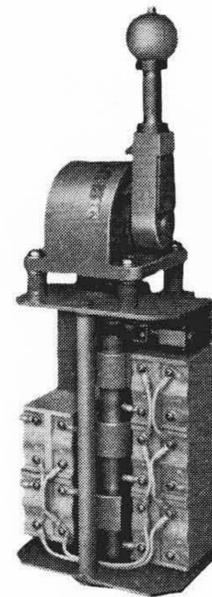
2.1 無接点制御器具

従来カム開閉器を使用していた操作開閉器は、第1図にその原理を示すように、E形の鉄心を用いて、片側半分に回転鉄片が近接するのを検出して出力とし、ノッチ進めを無接点で取り出されるものになった。E形鉄心、巻線および整流器よりなる検出ヘッドはモールド化されたユニットよりなり、安定した動作をするよう考慮されている。

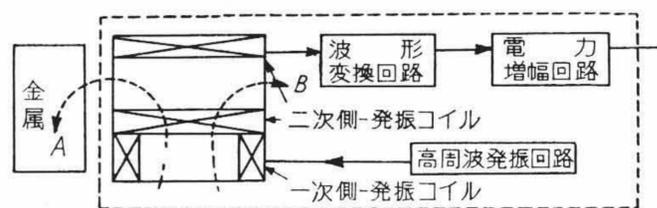
トランジスタ式の検出素子としては、近接スイッチ、メタローススイッチをあげることができる。メタローススイッチは第3図に原理を示すように、高周波で励磁される一次コイルと、二次コイルの間の磁束が、金属体の近接により乱れ、図のA、B磁束が不平衡となる



第1図 無接点操作開閉器原理図



第2図 無接点操作開閉器外観



第3図 メタローススイッチ原理図

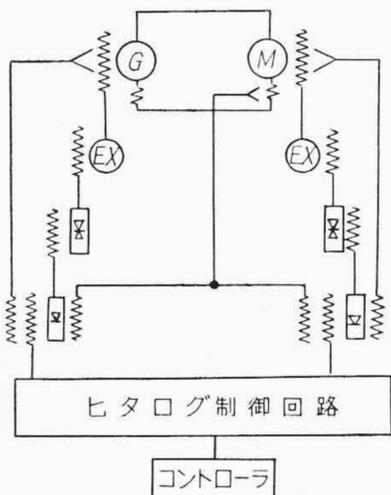
ことを応用したもので、小形のモールド化されたものとなっている。

論理制御素子としては、磁気増幅器式のものとしてヒタログ⁽¹⁾があり、トランジスタ式のものとしてトランジログ⁽²⁾⁽³⁾がある。前者は、圧延機無接点制御回路一般に使用されており、後者はカードプログラム制御などの演算速度の特に要求されるものに使用されている。いずれもその詳細についてすでに発表されているので、第1表にその動作を示すのみにとどめる。

* 日立製作所日立工場

第 1 表 論 理 素 子 動 作 図

〔トランジログ〕			〔ヒタログ〕		
素子名 形式	動作特性 O-E間出力 O-E間出力	機能	素子名 形式	動作特性 O-E間出力	機能
3-inputs And 素子 LGT-3An		I ₁ I ₂ I ₃ の 3 単位信号電圧が加えられている場合に限り O-E に出力が得られる。O-E には O-E の逆位相出力が得られる。	1-inputs And 素子 1 An		-I の単位信号電圧が加えられぬ状態で I ₁ の信号電圧が加えられると O-E に出力が得られる。
3-inputs Or 素子 LGT-3Or		I ₁ I ₂ I ₃ のいずれか一つまたはそれ以上の単位信号電圧が加えられると O-E に出力が得られる。O-E には O-E の逆位相出力が得られる。	2-inputs And 素子 2 An		-I の単位信号電圧が加えられぬ状態で I ₁ I ₂ の信号電圧が加えられている場合に限り O-E に出力が得られる。
Inhibit 素子 LGT-INH		-I の単位信号電圧が加えられぬ状態で I の信号電圧が加えられた場合に限り O-E に出力が得られる。O-E には O-E の逆位相出力が得られる。	3-inputs And 素子 3 An		I ₁ I ₂ I ₃ の 3 単位信号電圧が加えられている場合に限り O-E に出力が得られる。
2-inputs Memory 素子 LGT-2Me		I ₁ I ₂ の 2 単位信号電圧が加えられて O-E に出力が得られ信号電圧が消滅しても出力は維持される。-I の単位信号電圧が加えられると出力は消滅する。O-E には O-E の逆位相出力が得られる。	3-inputs Or 素子 Or		I ₁ I ₂ I ₃ のいずれか一つまたはそれ以上の単位信号電圧が加えられると O-E に出力が得られる。
Butter 素子 LGT-BUF		I の単位信号電圧が加えられると O-E に出力が得られる。論理素子 25 個を駆動できる特長がある。	Memory 素子 Me		I の単位信号電圧が加えられて O-E に出力が得られ信号電圧が消滅しても出力は維持される。-I の信号電圧が加えられると出力は消滅する。
Indicator 素子 LGT-IND		論理素子動作表示用ランプ点灯用で I の単位信号電圧が加えられるとランプが点灯する。	Hold Memory 素子 HMe		I ₁ I ₂ の 2 単位信号電圧が同時に加えられると O-E に出力が得られ、I ₁ I ₂ のいずれか一つが消滅しても出力は維持される。-I の信号電圧が加えられると出力は消滅する。
Output 素子 LGT-OUT		論理制御素子の微小出力を増幅して強電用接触器を駆動するためのもので I の単位信号電圧が加えられると接触器励磁電流が出力に得られる。	Not 素子 No		-I の単位信号電圧が加えられていない間に限り、O-E に出力が得られる。-I の信号電圧が加えられると出力は消滅する。
Time Delay 素子 LGT-TD		I の単位信号電圧が加えられて T 秒後に出力が得られる。遅れ時間 T は可変抵抗により調整できる。	Time Delay 素子 Td		I の単位信号電圧が加えられて T 秒後に出力が得られる。遅れ時間 T は可変抵抗により調整できる。
Diode 素子 LGT-DO		シリコン整流器 10 個を一体にまとめたものでダイオードマトリックスの構成などに利用する。	1-inputs AndSpecial 素子 1 AnS		I の単位信号電圧が加えられると O-E に出力が得られる。I の単位信号電圧が加えられぬときは出力電圧は零となる。



第 4 図 レオナード制御回路の概略

2.2 無接点制御回路

第 4 図にレオナード制御回路の一例の概略を示すように、発電機電圧、電動機界磁はそれぞれ磁気増幅器によって制御され、電動機速度指令は、無接点操作開閉器およびヒタログ制御回路により磁気増幅器に与えられる。ヒタログ制御回路の一例の詳細を第 5 図に示す。

(1) 保護回路

第 5 図において、操作開閉器が 0 ノッチにあると、or 1 を通じて MAC 1 に入力が与えられる。MAC は、比較的高い電力の開閉のために設計された磁気増幅形開閉素子であり、MAC 1 により主幹接触器 4 が励磁され、4 の接点により制御回路各ヒタログにインターロック入力を与える。4 の投入により、Td 1 による一定時間後 or 1 の I₂ に入力が保持され、操作開閉器のノッチを進めても 4 の励磁は保持される。気中遮断器投入のインターロック、過電流あるいは過電圧継電器のような保護継電器は、動作機構の単純なことが望ましく、また動作ひん度も低いため、従来の接点式の形のものを用い、動作した場合には 4 を遮断し、ヒタログ制御回路のインターロック入力を遮断し、電圧および界磁電流

指令を 0 にして、確実な保護を行なっている。

(2) 電圧および界磁電流制御

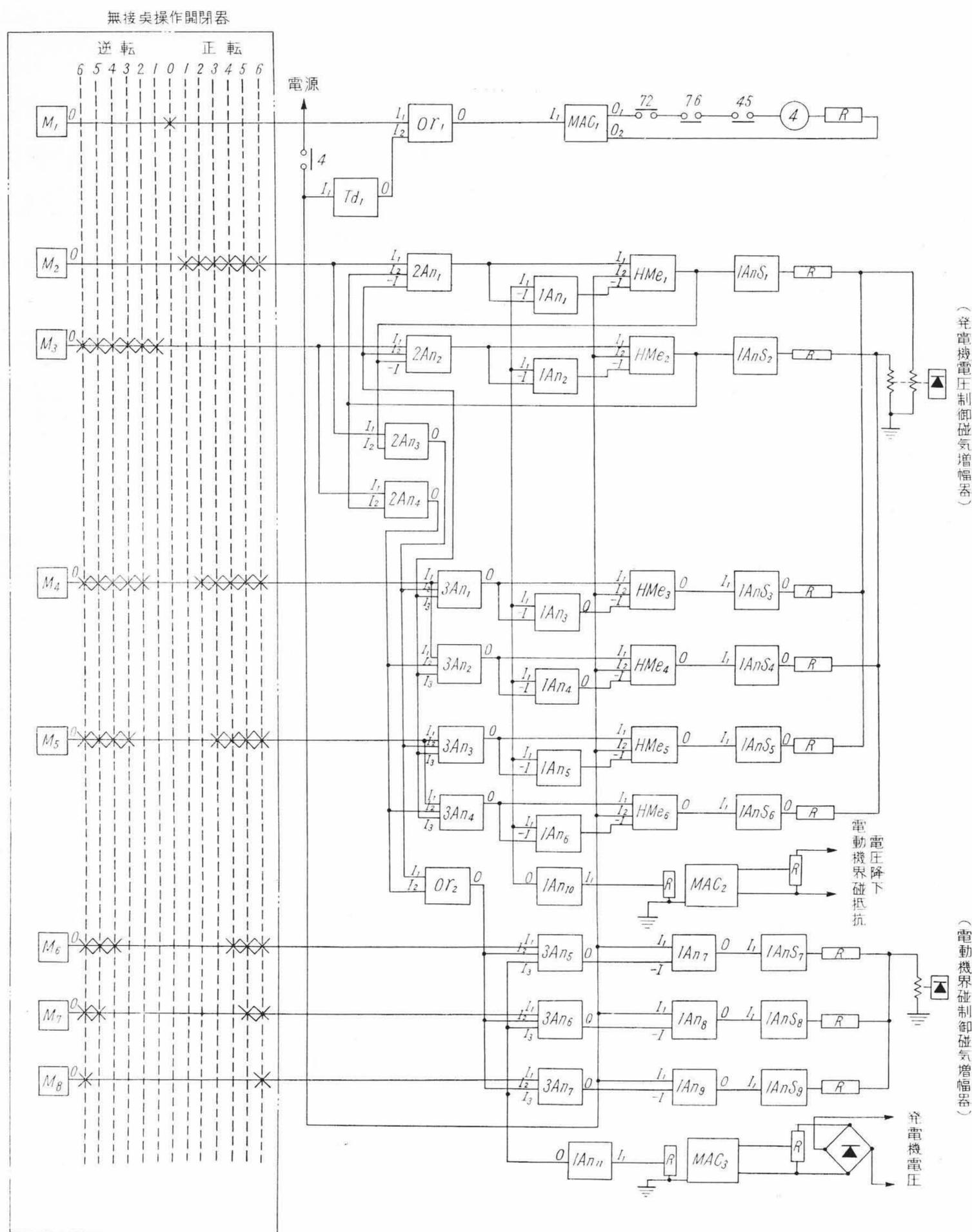
操作開閉器を正転あるいは逆転に 1 ノッチ進めると、操作開閉器の第 1 ノッチ出力により 2 An 12 (正転) あるいは 2 An 13 (逆転) が出力を与えて HMe 1 (正転)、HMe 2 (逆転) の出力が出る。ことにより、ノッチ信号がデジタル信号として 1 AnS 1 (正転)、1 AnS 2 (逆転) に与えられる。さらに操作開閉器を第 2、第 3 ノッチに進めると、同様にノッチ信号が 1 AnS 3、1 AnS 5 (正転)、1 AnS 4、1 AnS 5 (逆転) に与えられる。1 AnS は 0 出力時の残留レベルが特別に小さくなるよう設計されたデジタルアナログ変換用ヒタログ素子であり、1 AnS 1~6 は、それぞれ出力回路の R 値によって調整されるアナログ電流値を、同一の磁気増幅器コイルに電圧指令として流す。さらに、操作開閉器を第 4~6 ノッチに進めると、順次 2 An 18~21 に入力が与えられ、No. 3~6 により符号は反転して 1 AnS 8~11 に与えられるノッチ信号は OFF し、界磁電流指令は弱め界磁となる。

(3) 電圧、界磁制御インターロック

電圧制御、界磁制御により電動機速度を制御する場合、加速の場合は、電圧が定格に達してから界磁制御にはいり、減速の場合は、界磁が強め界磁に達してから電圧制御にはいるのが望ましい方法であるが、無接点制御においては、磁気増幅器形開閉素子 MAC と、ヒタログ 1 AnS とを使用し、操作開閉器を急速に操作しても、発電機電圧が規定値以上にあがってから界磁弱め指令が与えられ、また界磁電流が規定値以上になるまで、発電機電圧指令が保持されるように考慮されている⁽⁴⁾。

(4) 停止回路および電流制限

電動機停止時、励磁機および発電機の残留電圧により電動機が微速で回転するのを防止するため、停止時の電圧帰還を強める回路が必要であるが、MAC を用いて無接点式に行なうことができる。また、電動機電流制限は、電動機回転方向によって帰還方向を切り換える必要があるが、ヒタログ、および特殊なトランジスタ装置を用いて同様に無接点式に行なうことができる⁽⁵⁾。



第5図 ヒタログ制御回路

3. 熱間可逆圧延機の自動プログラム制御

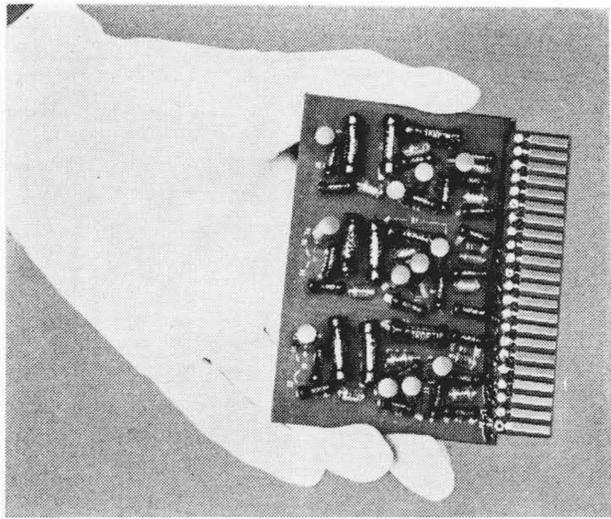
本装置は第7図に示すように、熱間可逆圧延機のスクリーダウン、エッジアジャストなどの位置決め、主ロール、エッジロール、テーブルなどの運転を、あらかじめ定められたスケジュールに従い自動的に行なうものである。日立製作所は、わが国においてはじめて本装置を実用化し、すでに東部製鋼株式会社豊橋工場分塊圧延機用、日新製鋼株式会社南陽工場粗圧延機用、住友金属工業株式会社和歌山製鉄所粗圧延機用設備を製作納入しており、大同製鋼株式会社知多工場分塊圧延機用設備も近く納入される。装置の基本的構成の詳細は、本誌上においてすでに紹介されているので⁽⁶⁾、ここでは主として最近の進歩について述べる。

3.1 プログラム

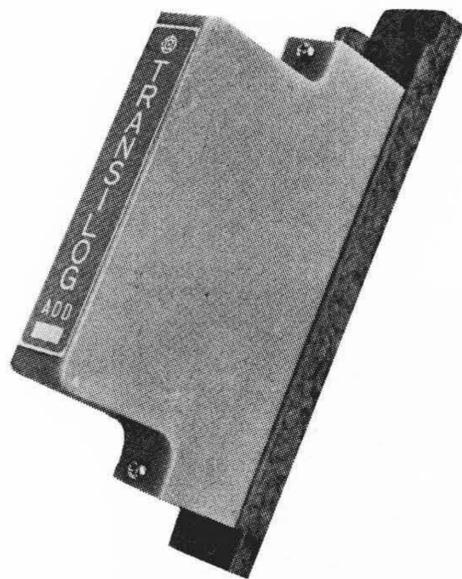
あらかじめ検討して作成された圧延プログラムは、カードせん孔機により、第8図に示すようなプログラムカードの所定欄にせん孔されて、カード読取機にかけられ、記憶装置に記憶される。また、所定欄にプラグをそう入するプリパッチボードに組まれて、設定盤に取り付けられる。各パスの進行に伴い、シーケンス制御部からはパス選択指令が与えられ、そのパスのプログラム値が読み出されて各制御部に与えられる。

3.2 位置決め

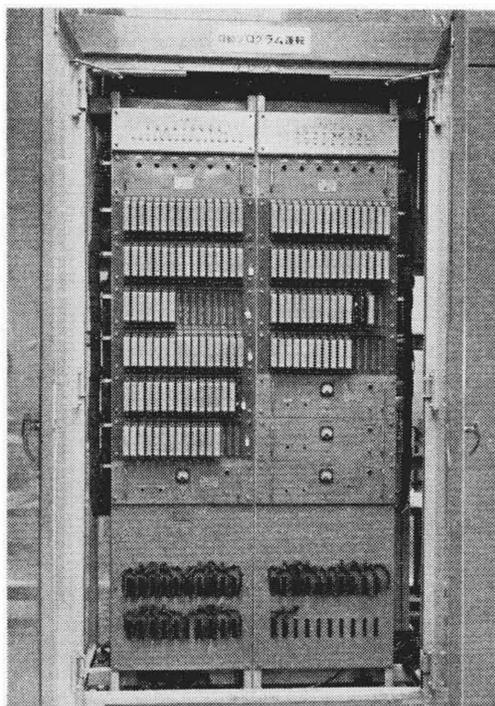
圧下およびエッジアジャストの実際の位置は、圧下スクリーダウンに取り付けられたシンクロ発信器を経て、シンクロ受信器から、A-D変換器に伝達され、デジタル量に変換される。この圧下位置数



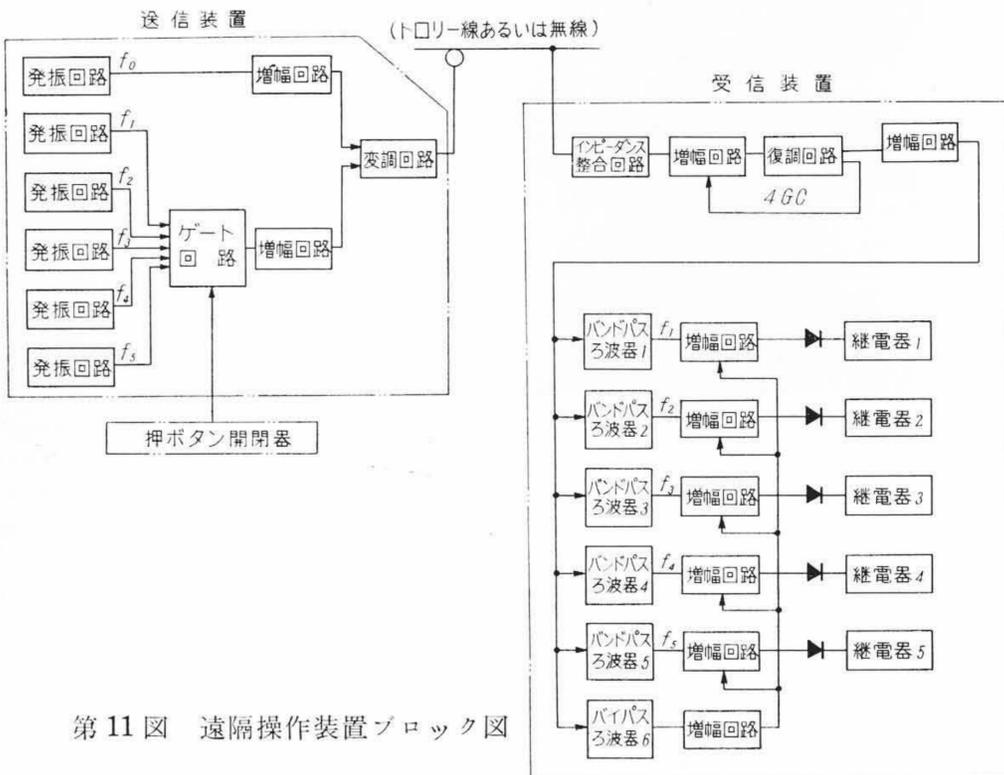
第 9 図 A トランジログ(モールド前)



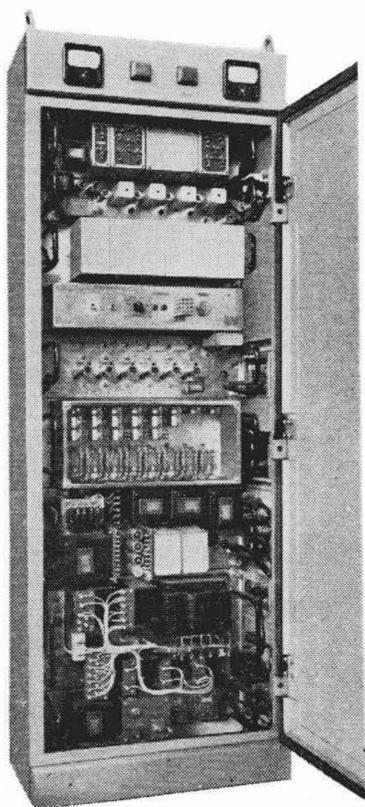
第 9 図 B トランジログ外観



第 10 図 プログラム制御盤の一部



第 11 図 遠隔操作装置ブロック図



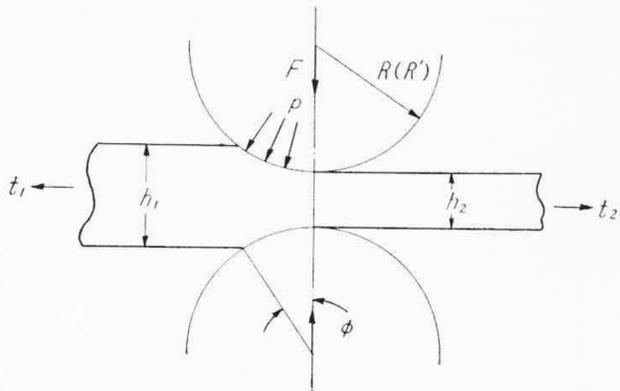
第 12 図
インゴットバギー
遠隔操作装置

使用の容易な 150 Mc 帯を使用し、上述のような外来雑音を考慮し、変調方式として S/N の高い周波数変調方式を用いている。有線搬送操作の場合は、搬送波として 350 kc を用い、信号電力も大きく、外来雑音も少ないので、変調方式としては振幅変調方式を用いている。第 11 図に構成をブロック図により示す。各操作押ボタンを押すと、各操作に応じて 2 個の制御リレーが投入され、そのリレーによって変調回路に接続された 2 周波数が混合されて搬送波を変調し、アンテナ、あるいは 1 本の伝送トロリーを通して受信装置に伝達される。受信装置では、クレーン位置により大幅に変わる受信強度に対して、一定レベルの出力を得るよう特に設計された増幅器で増幅後、復調増幅後帯域ろ波器で信号周波数を選択して増幅、さらに整流し増幅して制御リレーを動作せしめる。制御リレー 2 個の動作により一操作の指令が与えられる。

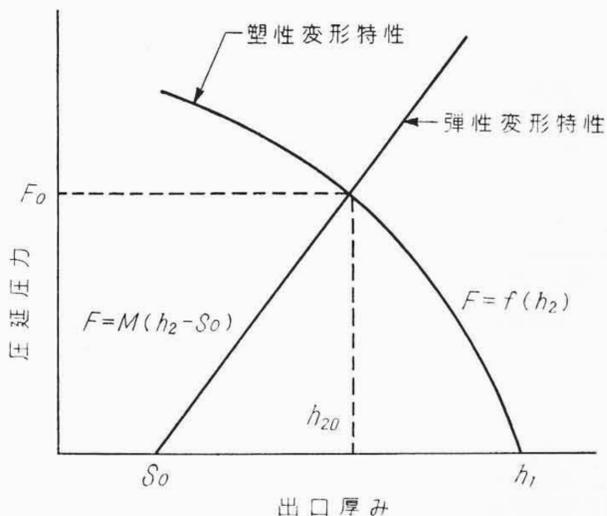
工業用制御装置としては、雑音による誤動作は絶対に防止しなければならないが、日立遠隔操作装置では、上述のような変調方式信号電力などに対する考慮とともに、一操作を二波の組み合わせにするとともに、自己チェック回路を付加して実用上雑音による誤動作を皆無としている。受信部のリレー回路の構成により、同時に二個の周波数のリレーが動作してはじめて信号が得られ、また、同時に三個の周波数のリレーが動作した場合には、誤動作として信号出力を遮断してしまう方式となっている。

第 12 図に日立製作所が、住友金属工業小倉製鉄所分塊圧延機用として納入したインゴットバギー遠隔操作装置を示す。本装置はソーキングピットクレーン上より、有線搬送方式によりインゴットパ

日立遠隔操作装置は、信号方式として、誤動作が少なく、また経済的にも有利な一操作二波一伝送路方式を用いている。すなわち、信号周波数として、425 c/s より 170 c/s ほどの間隔でとった正弦波を用い、一操作は必ず二つの信号周波数の組み合わせで表わし、一つの搬送波に変調して伝達する。無線操作の場合、搬送波として、



第13図 圧延材のかみ込み時の状況



第14図 圧延特性

ギーを遠隔操作するもので、操作は、クレーン上の操作箱の、レーシング行、あるいは、各炉行の選択指令押ボタンを押すことにより、遠隔操作発信装置を経て地上のインゴットバギー制御装置にそれぞれの指令として与えられて、インゴットバギーは起動加速し、各行先の指令に応じてあらかじめ定められた位置検出装置ランディングマグネットにより通過を検出して自動減速してクリープ速度となり、絶縁トロリーにより停止位置を検出して所定位置に自動停止するものである。

5. 自動板厚制御

最近、圧延によって製造される鋼帯の寸法精度、特に厚みに対する要求が次第に厳格になってきている。しかし、この厚みに影響を与える原因はきわめて多く、一定厚みの製品を能率よく大量生産するには従来の運転者の熟練のみに頼ることはできなくなり、自動的に板厚を制御する自動板厚制御をとり入れる必要が出てきた。

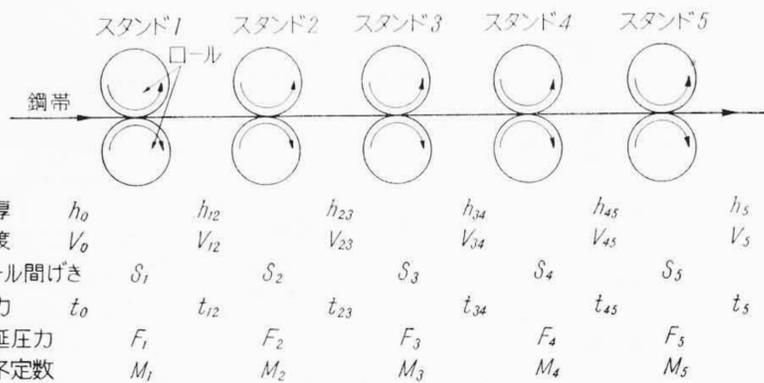
日立製作所は圧延機の機械品、電気品の一貫した製作経験と、日立研究所内の研究用タンデム圧延機を駆使し、この自動板厚制御の研究を行ない、その結果多数の自動板厚制御装置を製作納入した。本稿では各種圧延機の板厚制御系について、圧延の一般理論とともに説明する。

5.1 圧延理論⁽⁷⁾

鋼帯圧延機において圧延された鋼帯の厚みを調整するには、圧下を変化する方法と、張力を変化する方法の二つがあることはよく知られているが、これらの関係を5スタンドタンデム圧延機についてさらに詳しく考えてみよう。

第13図は一つのスタンドのロール間げきの様子を示したもので、半径Rなる2つのロールが、鋼帯を圧延圧力Fにより互いに押しつけ、鋼帯はh1からh2に圧延されているものとする、塑性変形の理論から次式が成立する。

$$F=f(R', p, \phi, \mu, t_1, t_2, h_1, h_2, k) \dots\dots\dots(1)$$



第15図 タンデム圧延機の定数

- F: 圧延圧力
- R': 圧延中のロール半径
- μ : 摩擦係数
- ϕ : 接触弧
- h_1 : 入口側厚み
- h_2 : 出口側厚み
- t_1 : 入口側張力
- t_2 : 出口側張力
- p : 接触弧内の分布圧力
- k : 鋼帯の拘束変形抵抗

(1)式は鋼帯の塑性変形特性を示したもので、非線形関数であるが微小変化を考えると線形として考えてよい。

圧延機は完全な固体ではなく、負荷が加わると弾性変形を起こす。圧延機のバネ定数はハウジング、圧下スクリュー、バックアップロール、作業ロールなどの結合されたもので、慣性とダンピング特性を省略すると圧延圧力Fは次のように表わされる。

$$F=M(S-S_0) \dots\dots\dots(2)$$

- M: 圧延機のバネ定数
- S: 圧延中のロール間げき
- S0: F=0すなわち鋼帯がないときのロール間げき

もしも、ロール間げきを通過した後の鋼帯の塑性回復が省略できるならば

$$F=M(h_2-S_0) \dots\dots\dots(3)$$

となり、この式は圧延機の弾性変形特性を示したものである。(1)式において入口側の定数が一定であれば圧延圧力Fは

$$F=f(h_2) \dots\dots\dots(4)$$

で表わされる。第14図は(3)式および(4)式の曲線を示したもので、両曲線の交点aが圧延圧力F0で圧延後の鋼帯の厚みがh20であることを示している。第14図において圧延後の厚みh20の変化する原因を考えると次のような要因が考えられる。

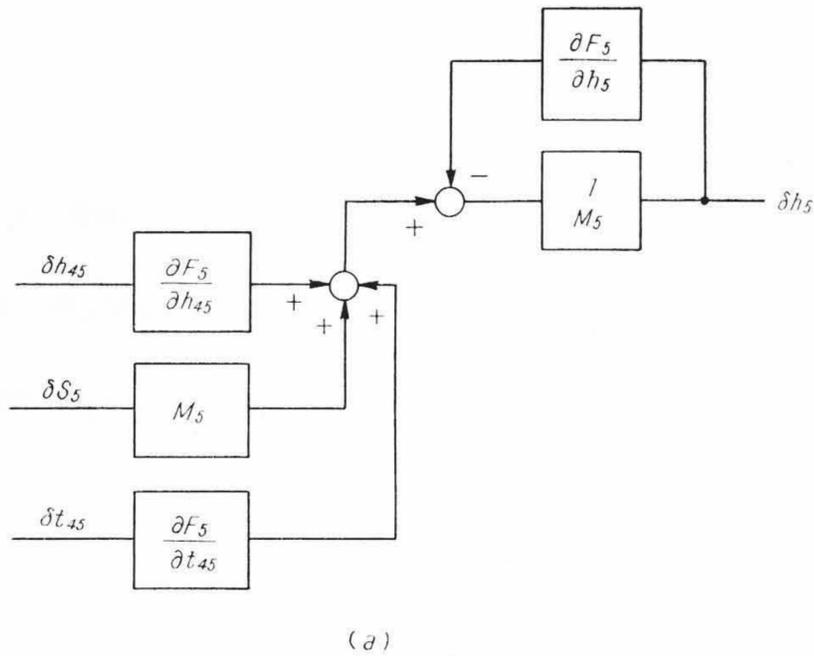
- (1) 圧延機の弾性変形特性に影響する要因
 - (a) ロール間げきの設定値の変化
 - (b) ロールなどの熱膨張による変化
 - (c) ロールの偏心誤差
 - (d) ロール軸受の偏心、油膜の厚さ変化
 - (e) バネ定数の変化
- (2) 鋼帯の塑性変形特性に影響する要因
 - (a) 圧延前の鋼帯の厚み変化
 - (b) 鋼帯の拘束変形抵抗の変化
 - (c) 張力の変化
 - (d) 摩擦係数の変化

以上のような多くの厚み変化の要因のうちで、人為的に変化するものを用いて、他の諸原因による厚み変化を打ち消そうとするのがここで述べる自動板厚制御である。

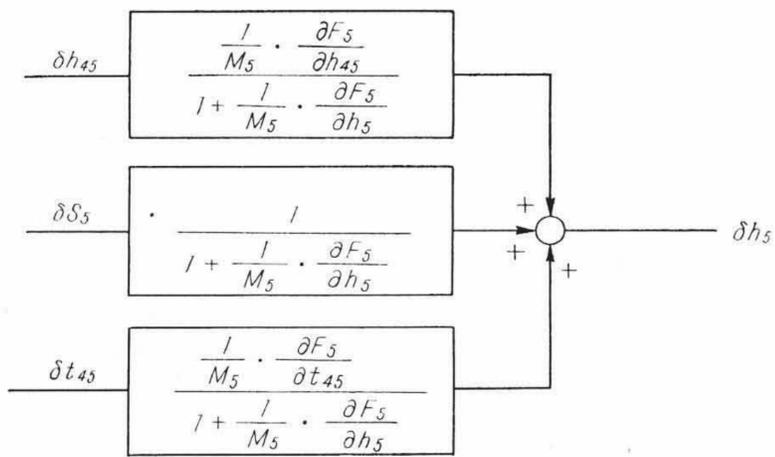
いままでは1個のスタンドについて述べたが、次に第15図のよ

第 2 表 タンデム圧延機の計算図表

鋼帯変数	δh_{12}	δh_{23}	δh_{34}	δh_{45}	δh_5	δV_{12}	δV_{23}	δV_{34}	δV_{45}	δV_5	δt_{12}	δt_{23}	δt_{34}	δt_{45}
$-(M_1 \delta S_1 + \frac{\partial F_1}{\partial h_0} \cdot \delta h_0)$	$\frac{\partial F_1}{\partial h_{12}} - M_1$										$\frac{\partial F_1}{\partial t_{12}}$			
$-M_2 \delta S_2$	$\frac{\partial F_2}{\partial h_{12}}$	$\frac{\partial F_2}{\partial h_{23}} - M_2$									$\frac{\partial F_2}{\partial t_{12}}$	$\frac{\partial F_2}{\partial t_{23}}$		
$-M_3 \delta S_3$		$\frac{\partial F_3}{\partial h_{23}}$	$\frac{\partial F_3}{\partial h_{34}} - M_3$									$\frac{\partial F_3}{\partial t_{23}}$	$\frac{\partial F_3}{\partial t_{34}}$	
$-M_4 \delta S_4$			$\frac{\partial F_4}{\partial h_{34}}$	$\frac{\partial F_4}{\partial h_{45}} - M_4$									$\frac{\partial F_4}{\partial t_{34}}$	$\frac{\partial F_4}{\partial t_{45}}$
$-M_5 \delta S_5$				$\frac{\partial F_5}{\partial h_{45}}$	$\frac{\partial F_5}{\partial h_5} - M_5$									$\frac{\partial F_5}{\partial t_{45}}$
0	V_{12}	$-V_{23}$				h_{12}	$-h_{23}$							
0		V_{23}	$-V_{34}$				h_{23}	$-h_{34}$						
0			V_{34}	$-V_{45}$				h_{34}	$-h_{45}$					
0				V_{45}	$-V_5$				h_{45}	$-h_5$				



(a)



(b) (a)の変換

第 16 図 ブロック線図 (スタンド 5)

うな各種の定数をもつタンデム圧延機について考えてみよう。タンデム圧延機においては隣接スタンドは鋼帯により結合され、また単位時間内に各スタンドを通過する鋼帯の量は等しいから次式がなりたつ。

$$h_{12}V_{12} = h_{23}V_{23} = h_{34}V_{34} = \dots = h_5V_5 \quad (5)$$

厚み h , 速度 V の微小変化を考えると (5) 式は

$$h_{12}\delta V_{12} + V_{12}\delta h_{12} = h_{23}\delta V_{23} + V_{23}\delta h_{23} \\ = \dots = h_5\delta V_5 + V_5\delta h_5 \quad (6)$$

となり、速度 V は

$$V_2 = v(S_L + 1) \quad (7)$$

第 3 表 厚み測定器の比較

	接 触 形	放射性同位元素形	圧 力 形
長 所	(1) 測定範囲が広い	(1) 非接触形のため熱間圧延機に適用できる (2) 応答速度早い	(1) 堅ろうである (2) 厚み変化を直ちに検出できる (3) ロール組替時セッティング容易とする
短 所	(1) 摩擦有り保守困難 (2) 熱間圧延機には適用できない (3) スタンドから厚み計まで時間がかかる	(1) 放射性同位元素のため取扱複雑 (2) 板厚が制限される (3) 価格高い (4) スタンドから厚み計まで時間がかかる	(1) ドリフトがある

S_L : スタンドにおける単位速度あたりの前向きスリップ

V_2 : スタンド出口鋼帯の速度

v : ロールの周速

であるが、 $S_L \ll 1$ であるから $V_2 = v$ として考えてもよい。第 1 スタンドの弾性変形の変化分は (3) 式より

$$\delta F_1 = M_1(\delta h_{12} - \delta S_1) \quad (8)$$

が得られる。もしも入口側張力 t_0 が一定であれば (4) 式における圧延圧力の変化は h_0 , h_{12} および t_{12} に原因され、塑性変形特性の微分は

$$\delta F_1 = \frac{\partial F_1}{\partial h_0} \cdot \delta h_0 + \frac{\partial F_1}{\partial h_{12}} \cdot \delta h_{12} + \frac{\partial F_1}{\partial t_{12}} \cdot \delta t_{12} \quad (9)$$

となり、(8) および (9) 式より次式がなりたつ。

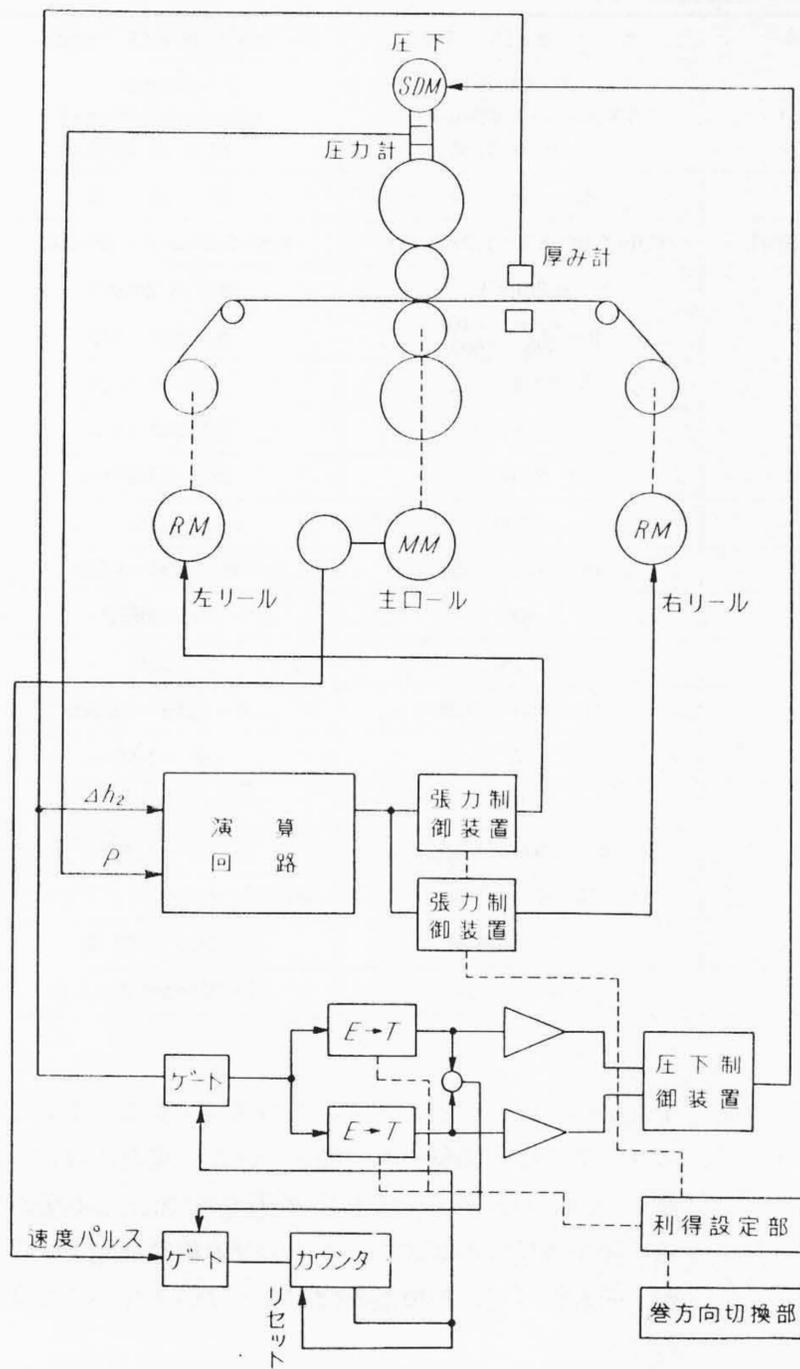
$$-(M_1 \delta S_1 + \frac{\partial F_1}{\partial h_0} \cdot \delta h_0) = (\frac{\partial F_1}{\partial h_{12}} - M_1) \delta h_{12} + \frac{\partial F_1}{\partial t_{12}} \cdot \delta t_{12} \quad (10)$$

これらの関係式はスタンド 2, 3, 4, 5 についても同様に得られる。これらの関係を第 2 表に示した。すなわち表中左端の定数はその行の定数と鋼帯変数との積の和で表わされることを示したものである。

いまスタンド 5 について考えてみる。

$$-M_5 \delta S_5 = \frac{\partial F_5}{\partial h_{45}} \cdot \delta h_{45} + (\frac{\partial F_5}{\partial h_5} - M_5) \cdot \delta h_5 + \frac{\partial F_5}{\partial t_{45}} \cdot \delta t_{45} \quad (11)$$

これをブロック線図に示すと第 16 図のようになりスタンド 5 の出口厚みの変化分は、入口側厚み δh_{45} , ロールの間げき δS_5 , 4, 5 間の張力 δt_{45} によって生ずることを示している。これらの各微小変化に対する厚み変化の利得は多くの人々によりいろいろな形で示され



第17図 可逆冷間圧延機の自動板厚制御系

ている。これを求めることにより自動板厚制御系の解析ができる。

5.2 厚み測定法

板厚を測定するには次の3種類がある。

- (1) 接触形 フライングマイクロ
- (2) 放射性同位元素形 X線, β線厚み計
- (3) 圧力形 ロードセル

これらの比較を第3表に示した。接触形および同位元素形では鋼帯が圧延されてから厚み計まで走る死時間が制御上の問題となるが、この解決方法には次のものがある。

(1) サンプル制御

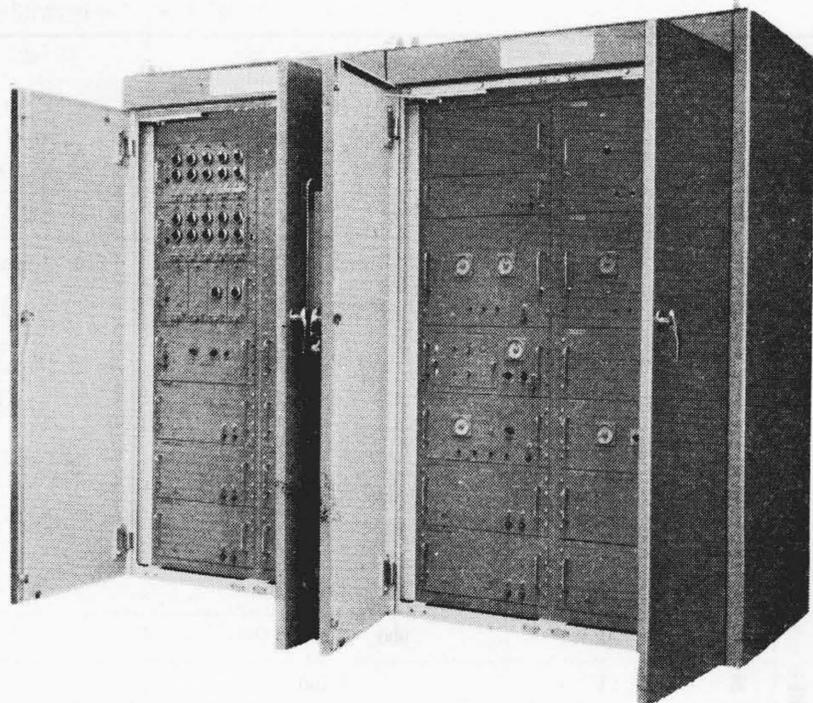
圧延速度に反比例した、すなわち死時間に比例したサンプル周期を有するサンプル制御とし、死時間による不安定性を補償する。

(2) 圧延圧力を利用

圧延圧力は現在ロールの下で圧延されている板の板厚によって定まるので、圧延圧力を使って制御すれば死時間による不安定性は起こらない。

(3) 入口側板厚の測定

板厚変動の原因中、おもなものは素材の板厚変動であるから圧延前の板厚を測定して制御を行えば死時



第18図 自動板厚制御装置

間の問題はなくなる。

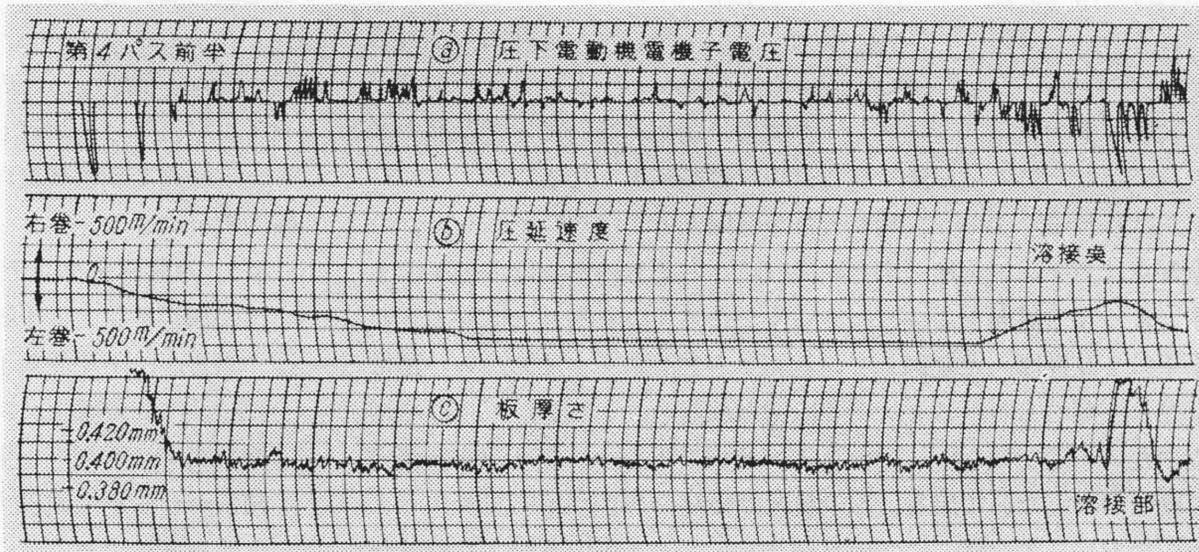
5.3 可逆冷間圧延機の板厚制御⁽⁸⁾

第17図は可逆冷間圧延機の自動板厚制御系の構成を示したもので板厚制御は圧下調整と張力調整からなりたっている。以下簡単にその動作を説明する。圧下調整には厚み計からの厚み偏差と圧延速度に関する特殊サンプリング制御方式を採用している。厚み計からの偏差信号 Δh_2 は直流増幅器により増幅され、ゲートによりサンプルされてE-T変換器に送られる。ここでまず厚み偏差が正であるか負であるか判別され、正の場合には下げ指令、負の場合には上げ指令を圧下制御系に与える。このE-T変換器は入力(電圧)と出力(時間)との関係はデッドバントを有する非線形関係である。制御が終了すれば、終了信号がゲートに送られ、次に鋼帯が厚み計まで到達する時間を主電動機に付けたパルス発振器からのパルスを数えることにより測定し、ふたたびゲートを開き前述の制御を行なう。

張力調整はリール電動機の張力指令に厚み制御からの指令を加減して、主電動機とリール間の張力を変えて厚みを一定にしている。この際厚み計までの死時間の補償をするのに圧延圧力の微分を与えている。第18図は可逆冷間圧延機の自動板厚制御装置の写真を、第19図は板厚制御中のオシログラムを示したものである。第4表は現在まで納入した可逆冷間圧延機用板厚制御装置の諸元を示したものである。

5.4 熱間鋼帯圧延機の板厚制御

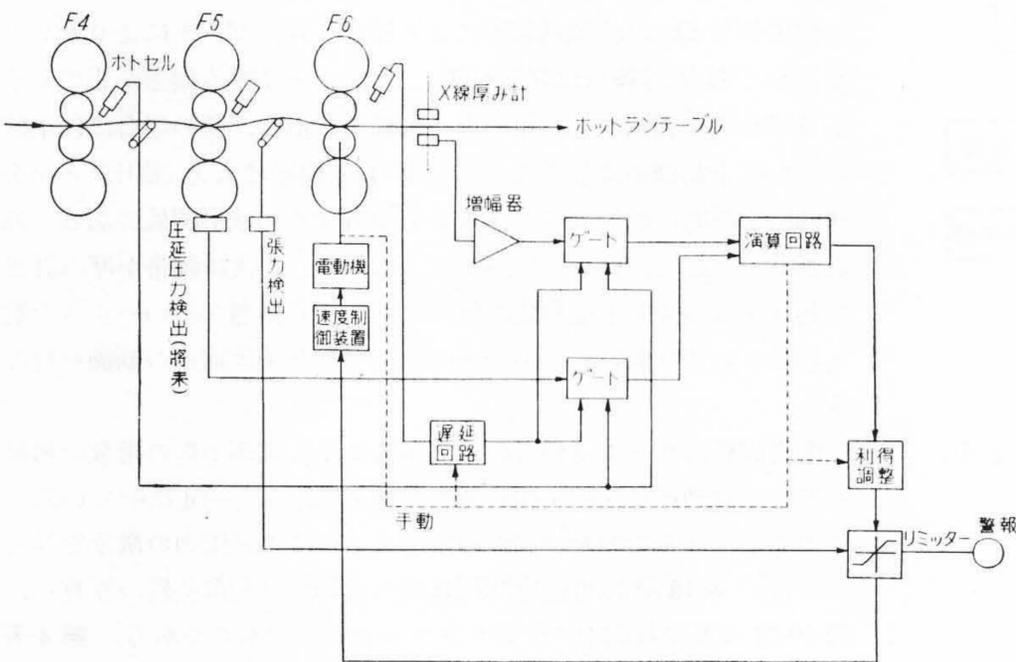
熱間鋼帯圧延機(タンデム)における板厚変動の要因⁽⁹⁾は



第19図 板厚制御中のオシログラム

第4表 可逆冷間圧延機用板厚制御装置の諸元

納入先	大阪造船(横浜)	川崎製鉄(千葉)	東京亜鉛(千葉)	東京特殊金属(船橋)
圧延機	1,340mm 420mmφ×1,370mmL 四重逆転式	1,345mm 420mmφ×1,420mmL 四重逆転式	1,345mm 420mmφ×1,420mmL 四重逆転式	330mm 130mmφ×300mmL 四重逆転式
材質	軟鋼板	軟鋼板	軟鋼板	洋白板
素材寸法	2.5~1.9mmT×1,250mmL	6.0~2.0mmT×1,300mmL	6.0~2.0mmT×1,300mmL	0.6~0.5mmT×190mmL
製品寸法	0.258mmT	0.2mmT	0.2mmT	0.3~0.2mmT
圧延速度(m/min)	0~±300~±600	0~±230~±460 (300)~(600)	0~±230~±460 (300)~(600)	0~±30~±40
厚み計	フライングマイクロメータ	X線厚み計	X線厚み計	β線厚み計
圧延圧力計	プレッシャブロック	プレッシャブロック	プレッシャブロック	抵抗線ひずみ計
主電動機	出力(kW)	2,620 (3,500HP)	2,400	2,400
	電圧(V)	±750	±750	±750
	回転数(rpm)	0~±230~±460	0~±175~±350	0~±175~±350
リール電動機	出力(kW)	900 (1,200HP)	900	900
	電圧(V)	±750	±750	±750
	回転数(rpm)	0~±145~±600	0~±145~±600	0~±145~±600
圧下電動機	出力(kW)	37	37	37
	電圧(V)	±220	±220	±220
	回転数(rpm)	0~±550~±1,650	0~±550~±1,650	0~±550~±1,650
制御方式	主ロール	電圧制御	電圧制御	電圧制御
	リール	定張力制御	定張力制御	定張力制御
	圧下	レオナード(急速励磁)	レオナード	レオナード
				電圧プリセット オープンループ
				定張力制御
				電磁接触器による入切



第20図 熱間圧延機の自動板厚制御ブロック

- (1) 温度変化 スラブの先端より後端が冷えている。
- (2) 冷却点 炉内における水冷スキットのためスラブが部分的に冷却され、いわゆる冷却点(COLD SPOT)ができる。
- (3) 張力変化 スタンドを鋼帯の後部が通過するとき張力が無くなるため、板厚が大となる。

があげられる。このうち最も大きな原因としては(2)であり、この冷却点はスタンドを通過するに従い、この部分の厚み偏差がますます大きくなる傾向をもっている。すなわち、いまもしスタンド2の圧下により板厚一定制御しているとすると、スタンド2からの鋼帯は厚み一定のものがスタンド3に送られるが、しかしかたさは冷却点のため一定ではない。そのためスタンド3ではこの冷却点の部分の厚みが大となって出る。この現象は後続のスタンドに波及することになる。これを防ぐには出口側スタンドの方が圧下による板厚制御は有効であるといえるが、最終スタンドは一般に圧下の制御量も

少ないので、一つ前のスタンドが適当である。もしこのスタンドの圧下調整のみで補正できない場合には、そのまた一つ前のスタンドにも圧下調整を加える必要がある。圧下調整は中間スタンドにおける板厚変動をへらす、それだけでは板厚制御は完全とはいえない。なぜならば

- (1) 最終スタンドにおいてもわずかに前述の冷却点の効果が表われる。
- (2) 最終スタンドの運転者のセッティングは完全とはいえない。
- (3) ロードセルを検出器として使用するときにはロール摩耗および熱によるドリフトが生ずる。

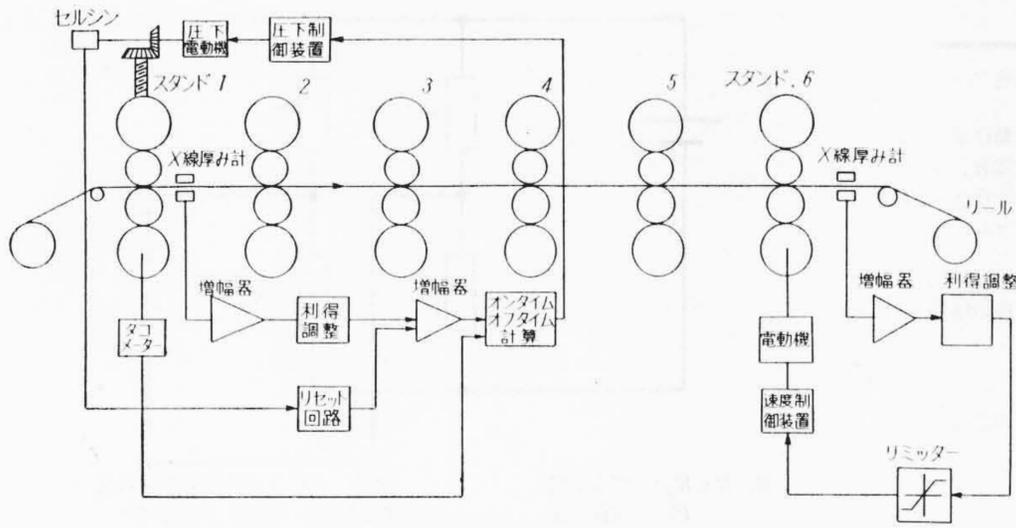
などが考えられる。そのため冷間圧延機と同様、最終スタンドとその一つ前のスタンド間で張力調整を加える。すなわち板厚偏差を増幅し最終スタンドの速度を調整して張力調整を行なう。

第20図は住友金属工業株式会社和歌山製鉄所向けに製作納入した、板厚制御系のブロック線図である。本装置には磁気増幅器形演算増幅器を使用し、製鉄工業向けとして堅ろうに製作され、寿命も半永久的である。簡単に説明を加えるとF6スタンド出口で厚みを測定し、この厚み偏差を増幅した後、演算回路でロードセルからの信号と演算し利得調整およびリミッター回路を経てF6スタンドの速度制御装置に加えている。リミッター回路はルーパからの張力指令により、リミットする動きをもっている。

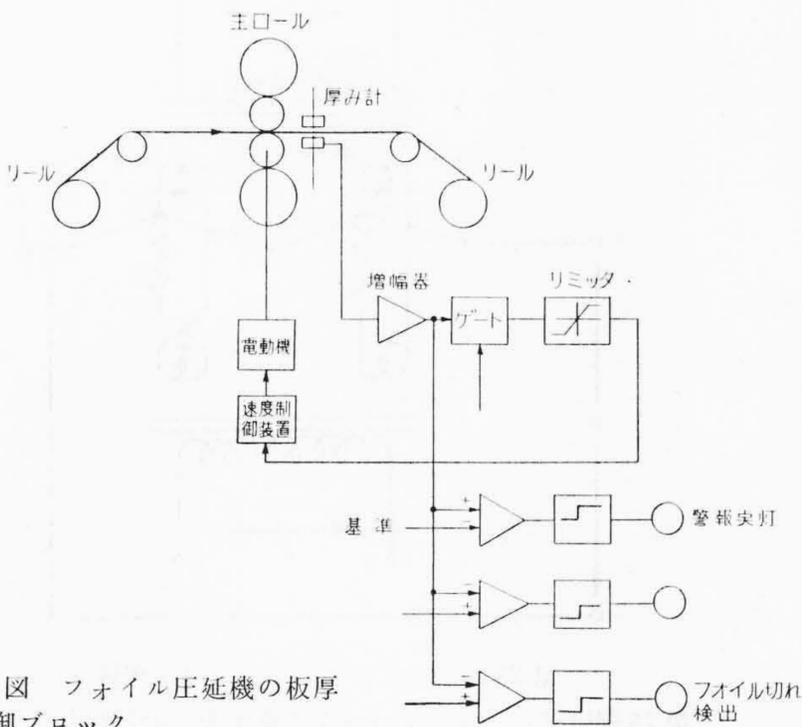
5.5 冷間鋼帯タンデム圧延機の板厚制御

冷間鋼帯タンデム圧延機の板厚制御は基本的には熱間の場合と同様であるが、圧延理論上下記の点が相違している⁽¹⁰⁾。

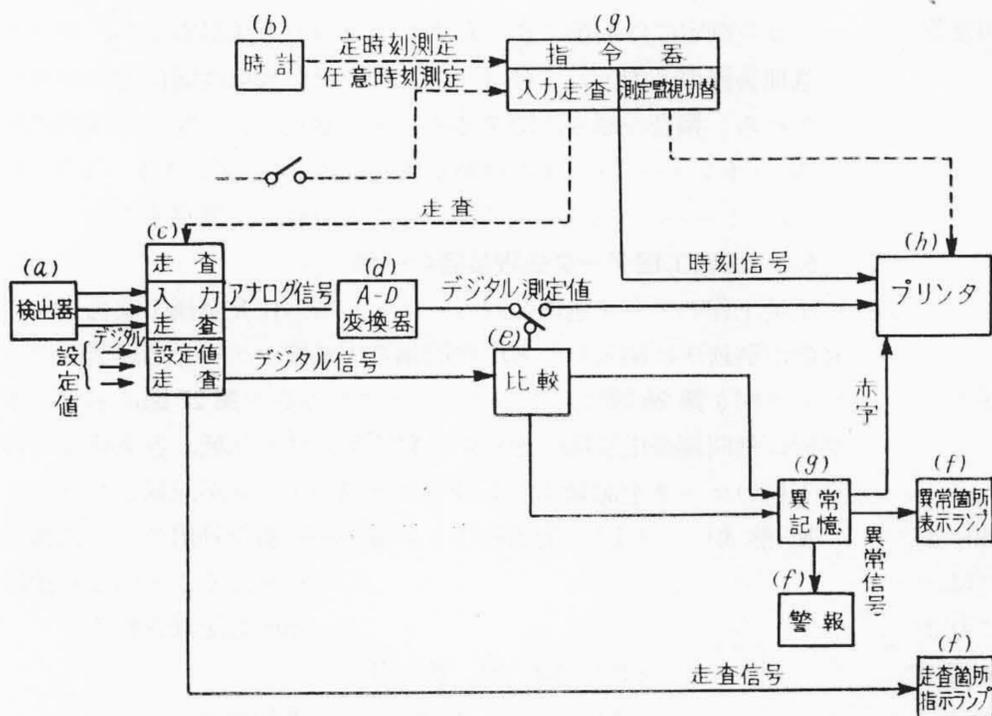
- (1) 冷間の場合にはロール間げき中の中立点以外ではロールと鋼帯間にスリップを生ずるが、熱間の場合にはロール間げき中で鋼帯がロールに固着する傾向がある。このため圧延理論式の境界条件を異にすることになる。
- (2) 熱間の場合はスタンド間を通過する鋼帯は塑性的であり冷



第 21 図 冷間タンデム圧延機の板厚制御ブロック



第 22 図 フォイル圧延機の板厚制御ブロック



第 23 図 データ処理装置ブロック

間の場合には弾性的であるといえる。そのため中間スタンド間の張力は回復することなく伸びとして働く傾向があり、そのため断面積が変わる。その変形はある時間を必要とする（これをクリープ現象という）。しかし張力が小さければクリープも少ないので省略してよく、冷間の場合でも熱間の場合でも鋼帯は弾性的と考えて良い。

このため圧延理論の一般式は熱間、冷間の両者に適用してよいと

いえる。第 21 図は冷間鋼帯圧延機の板厚制御のブロック線図である。

5.6 フォイル圧延機の板厚制御

フォイル圧延機においては圧下を変えてもロール変形をきたすのみで厚み変化は少ない。これはロール直径と厚みとの比が非常に高いためで、この種の圧延機においては主ロールの速度を上昇すると、ロールと鋼帯間の係数が変化し厚みが減少する。したがってフォイル圧延機の板厚制御は主ロールの速度を変化せしめて行なう。またリールの張力調整もあまり有効ではない。

第 22 図は東洋アルミニウム株式会社向けとして製作中の板厚制御系のブロック線図である。すなわち厚み計よりの偏差信号を増幅し主ロールの速度制御系に与え、主ロール速度を制御する。リミッタ回路で過度の補正をリミットしている。本装置にもまた磁気増幅器形演算増幅器を使用している。

6. データ処理装置⁽¹¹⁾

最近、わが国の製鉄工業界では長期合理化計画により設備投資が行なわれているが、その中で新しく採り上げられているものの一つにデータ処理装置がある。製鉄工業においては大きなプラントが数多くあり、焼結工場、高炉、転炉から圧延工場に至るまで、そのほとんどがデータ処理装置の適用が考えられる。このうち本稿では圧延工場におけるデータ処理装置について説明を加える。

一般にデータ処理装置の目的は

- (1) プロセスの監視、警報、表示
- (2) プロセスのデータ作成、記録、記憶
- (3) プロセスの制御

などである。すなわち、プロセスにおける各測定箇所を毎秒 1～数百個所で走査し、プロセスの変数があらかじめ設定された範囲にあるか否かを監視し、設定範囲外にある場合には警報表示し、必要に応じて記録する。またプロセスにおける温度、寸法などを一定時間ごとに記録紙に自動的に記録させる。これは運転員のチャートの読み取り報告書の作成という仕事から解放し、労働時間の短縮、人員の節約などに役立つ。またデータは整理された形で得られるので運転状態が一目瞭然とし、迅速適切な操作を行なうことができ、能力向上に役立っている。

一方、データの読み取り、整理の自動化によりさらに進んでデータ処理装置の出力をデジタル計算機に結合して、最適の制御条件を演算し、その結果をプロセスの制御の指令とする、いわゆる計算機制御が台頭してきている。本稿では圧延工程中のデータの検出部について主として述べる。

6.1 データ処理装置の構成

データ処理装置を構成する要素をブロック線図で示すと第 23 図のようになる。(a)検出部、(b)時計部、(c)走査部、(d)A-D変換部、(e)異常比較部、(f)表示警報部、(g)指令部および記憶部、(h)印字部よりなりたっている。簡単に各要素に説明を加えると、予定された測定時刻になると指令部より指令する信号が発せられ、走査部はこの信号を受けて測定量を順次切り換えて、一つずつ取り出すため入力走査回路に指令を与える。取り出された測定量は前置増幅器に送られ、微小アナログ電圧を増幅し、次にA-D変換器に送られ、ここで処理に適したデジタル符号に変換される。変換された信号は比較回路にはいり、上下限

第5表 圧延工程のデータ検出器

検出工業量	検出変換器	用途
位置	1. 機械的リミットスイッチ 2. 光電管 3. 近接スイッチ(メタローススイッチ) 4. セルシン	鋼材の位置, 機機の動作記録 熱間の場合には光電管, 直接検出できぬかまたはひん度高いときにはメタローススイッチ
速度	1. ACタコメータ 2. DCタコメータ 3. パルス発振器	圧延機の長さ, 回転機の回転数記録
力, 圧力および重量	1. ロードセル, ひずみ計 a. 張力 b. クレーンつり上重量 c. 圧延圧力 2. 流体圧力計	張力, 圧延圧力などの記録
温度	1. 固体膨張を利用したもの 2. 流体膨張を利用したもの 3. 輻射エネルギー 4. 抵抗変化 5. 熱電効果	回転機その他機機の温度などには4, 鋼材の温度, 炉の温度には3, 5を用い温度記録
寸法	1. 機械的ゲージ 2. 厚み計, 幅ゲージ 3. 光電管とカウンタ	圧延材の寸法記録
交流電力	1. サーマルコンバータ	電力量の記録
交流電圧電流	1. CTまたはPT, 整流器	

整定器から整定値走査回路を通じて読み出された上下限整定値と比較される。一方A-D変換器でデジタル化された符号は印字部に送られ印字信号に変換され, プリントされる。また比較回路で比較されたデータが異常の場合には, これを記憶し赤字にてプリントするとともに異常個所をランプにて表示または警報を行なわしめる。

6.2 圧延工程におけるデータ

圧延工程においてデータ処理の対象となる工業量は数多く考えられるが, これらの工業量をデータ処理装置の入力にするには, 直流電圧に変換する必要がある。直流電圧以外の工業量のため検出変換器を必要とするが, その二, 三の例についてここに説明する。

検出器の条件としては

- (1) 経済的であること
- (2) 正確であること
- (3) 安定で, かつ反復特性を有すること
- (4) 時定数と応答時間はできるだけ小さいこと
- (5) 出力は電気量であること

などである。第5表は圧延工程で考えられるデータ検出器を示したものである。

(1) 温度の検出

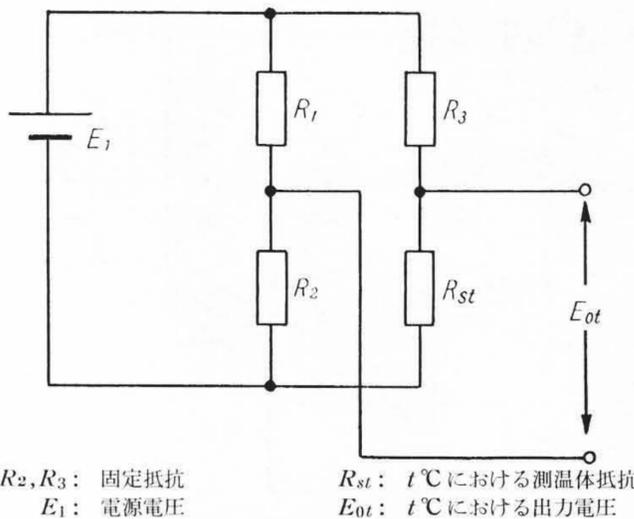
第5表に示したように温度の検出には, その測定温度範囲により各種の方法があるが, 工業計器と組み合わせられる場合には, 指示部のサーボモータによりスライド発信器を取り付け, これより行うことができる。また抵抗変化を利用したものは第24図のような回路で変換することができる。

(2) 速度の検出

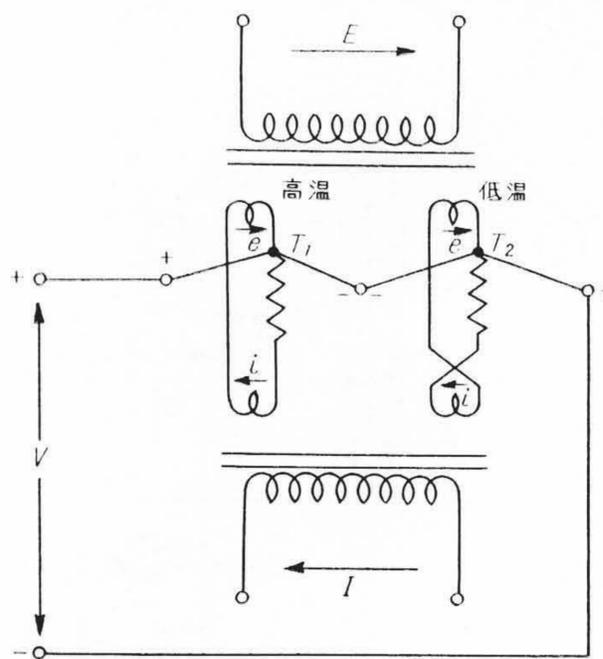
圧延したコイルの全長を測定したり, 後述のようにオンゲージ長, オーバゲージ長などを測定するために, 圧延電動機と直結したパルス発振器により, 鋼帯長に比例したパルスを処置装置に送る。この場合圧延ロール径の変化を補正してやる必要がある。

(3) 電力の検出

交流電力に比例したDC電圧を得るため, 変換器としてサーマルコンバータを使用し, 電力を熱に変換し, これを熱電対で測定する。



第24図 抵抗変化を利用した温度検出回路



第25図 サーマルコンバータ原理図

第25図はサーマルコンバータの原理図を示したものである。

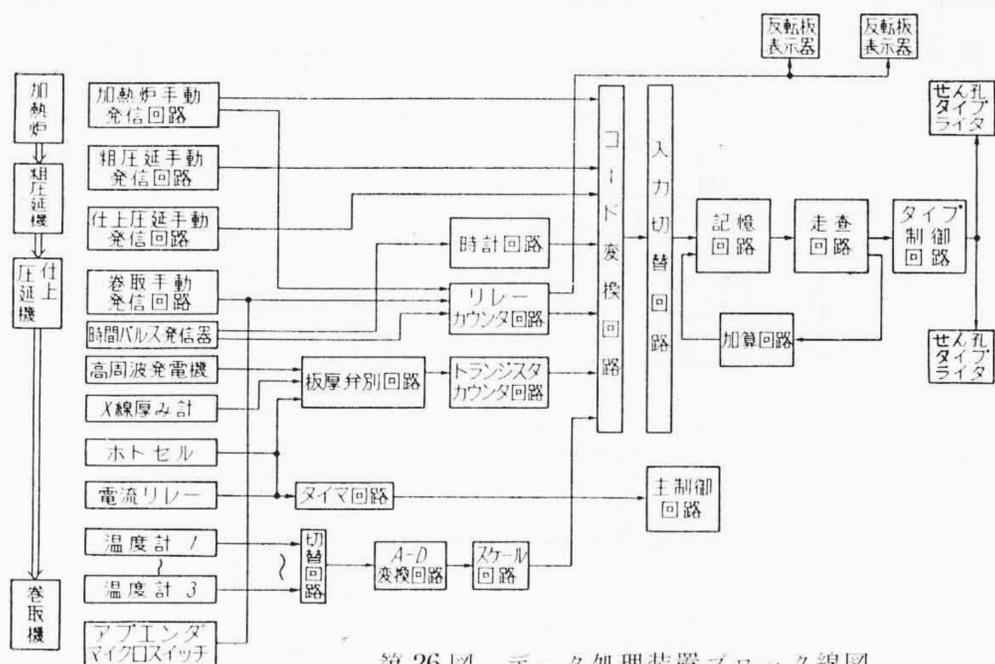
(4) 鋼帯の厚み測定

厚み測定には前節で述べたように三つの方法があるが, データ処理装置の入力としてはドリフトの少ない放射性同位元素が用いられる。鋼帯の厚みに関するデータは整定された厚み範囲内にあるか(オンゲージ), または整定値より薄い(アンダゲージ), 厚いか(オーバゲージ)をコイルごとにその長さを測定する。

6.3 圧延工程データ処理装置の一例

圧延工程のデータ処理装置の一例として, 住友金属工業株式会社和歌山製鉄所に納入した80"熱間鋼帯圧延機のデータ処理装置のブロック図を第26図に, そのキュービクル写真を第27図に示す。本装置は熱間鋼帯圧延機の加熱炉, 粗圧延, 仕上圧延, 巻取機までの全工程のデータを記録するもので, 下記のデータが記録される。

- 加熱炉 (1) 抽出順序と炉番……炉番を抽出のたびに指令を与えることにより抽出順序も記録される
- (2) 鋼塊番号
- (3) スラブ番号 } ……手動記録
- (4) スラブ重量
- (5) 抽出時刻……(1)により自動記録
- (6) 抽出温度……手動記録
- 仕上圧延 (1) オンゲージ長
- (2) オーバゲージ長 } ……自動記録
- (3) アンダゲージ長
- (4) 全長
- (5) 厚み整定値(上限) } 手動記録
- (6) 厚み整定値(下限)



第26図 データ処理装置ブロック線図

- (7) 圧延温度(入口) } …自動記録
- (8) 圧延温度(出口) }
- 巻取機 (1) 巻取温度 } …自動記録
- (2) 巻取本数 }

以上のデータは今後計算機制御の採用の際十分役立つとともに、次の工程の冷間圧延機への資料として必要なものである。

7. 計算機制御への道

自動化の著しい最近の制御装置において、粗圧延機カードプログラム制御装置はあらかじめ定められたスケジュールにより、複雑な運転操作を自動的に行ない、データ処理装置は、多種多様なデータを自動的に測定記録する。この段階では、測定したデータと、制御装置の間には、人間の計算および判断によるオフラインあるいはオンラインの作業が介在するが、測定装置と制御装置の間が計算機によって結合され閉ループを作ったとき、自動化は飛躍的な次の段階に達する。この計算機制御は、最近の計算機技術、制御装置、測定装置、物理的・化学的な工程現象の解析などの進歩により、実現可能なものとなってきたので、近い将来において、相当程度の計算機制御が一般化されるものと考えられる。

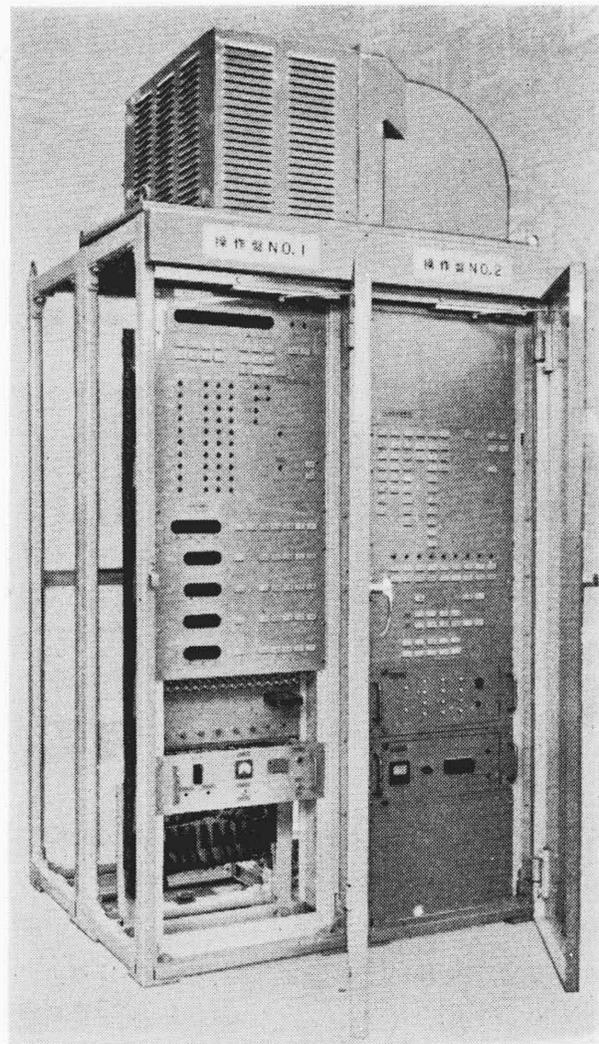
7.1 計算機制御の利点

計算機制御は次のような利点をもつ。

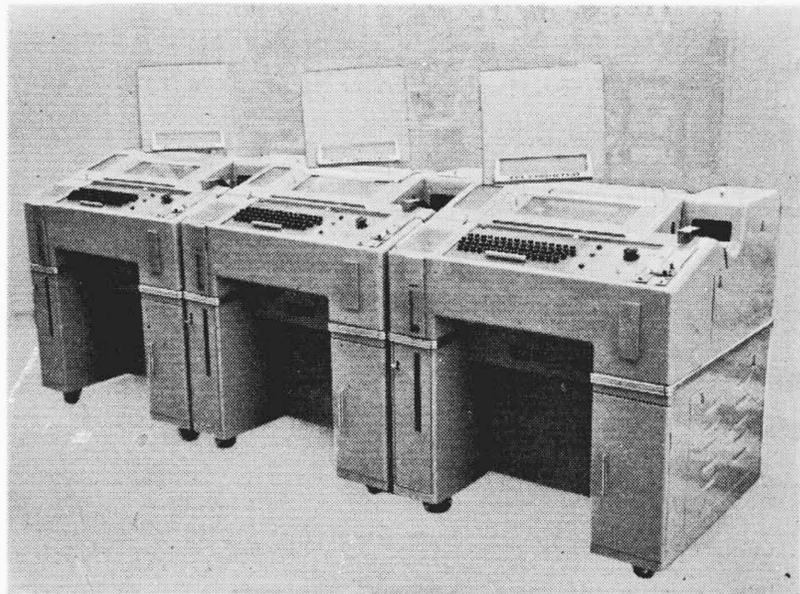
- (1) オフラインの計算が不要になる。
- (2) 各場合における測定結果を監視し、最も適した値の制御を行なわせるため、工程の所要時間を減少させることができる。
- (3) 高速度の計算により多数の変数の変化に対応して制御するため品質が向上する。
- (4) 機械の最大能力を発揮させるとともに、制限値内に押え、機械の安全を保つ。
- (5) データを記録し、整理あるいは検討の資料とすることができる。

7.2 計算機制御の構成

上述したように、計算機制御においては、計算機を中心とした測定装置、制御装置、制御対象の閉ループを作らねばならないから、第28図に示すホットストリップミルにおける計算機制御の一例のように、通常の制御装置、工程の多数の変数を測定する測定装置、計算機本体、およびそれに付属する測定入力を計算機入力に変換する装置、計算機出力を制御装置入力に変換する装置、および計算機に対する入力情報を与えるテープあるいはカード読取器のような入力装置、測定結果、計算機出力などを記録する装置により構成され



(a)



(b)

第27図 圧延用データ処理装置

る。

第28図の一例では、人間の手で準備される入力情報は、材料スラブの幅、長さ、厚さ、重量、製品ストリップの幅、厚さ、長さ、材質の種類などの最少限度にとどめられ、圧延工程中の各所における材料温度、圧延機速度、負荷、位置、冷却水圧力などの運転データ、材料製品の厚さ、幅などの測定値により、粗圧延機および仕上圧延機の各ドラフト、速度、スプレイなどの制御指令が与えられ、同時に入力記録される。

7.3 計算機制御の計画

計算機制御は上述のような利点を有し、きわめて魅力あるものであるが、その実現には多額の費用を必要とするものであるから、その計画設計に当たっては詳細な検討を行なわねばならない。

まず、制御の最終目標を明確にし、制御対象に影響を及ぼす変数を取り出して、その変数の間の関係を明確な数式に表わさねばならない。そのためには、理論的な説明および十分な量の実測データに

よりその裏付けを行なわなければならない。次にその制御方程式により得られると予想される結果の利益を検討しておく必要がある。計算機の選定と設計は、上述の検討結果に基づき、その制御対象の変数の数、制御速度、演算の種類、精度を考えて、最も適したものを選定しなければならない。また、完成後は、運転実績の記録を検討し、計算機に与えられている方程式、制御指令を修正していくことにより、計算機制御を最も有効に使用するようにしなければならない。

7.4 計算機制御の将来

計算機制御が広く用いられるためには、上述のように、制御対象の地道な解析、および測定装置の現在以上の進歩が必要であるが、これらの進歩、計算機の信頼性の増加、生産性向上の要求、計算機使用の多目的化による価格の低下などにより、今後急速に一般化されることが予想される。

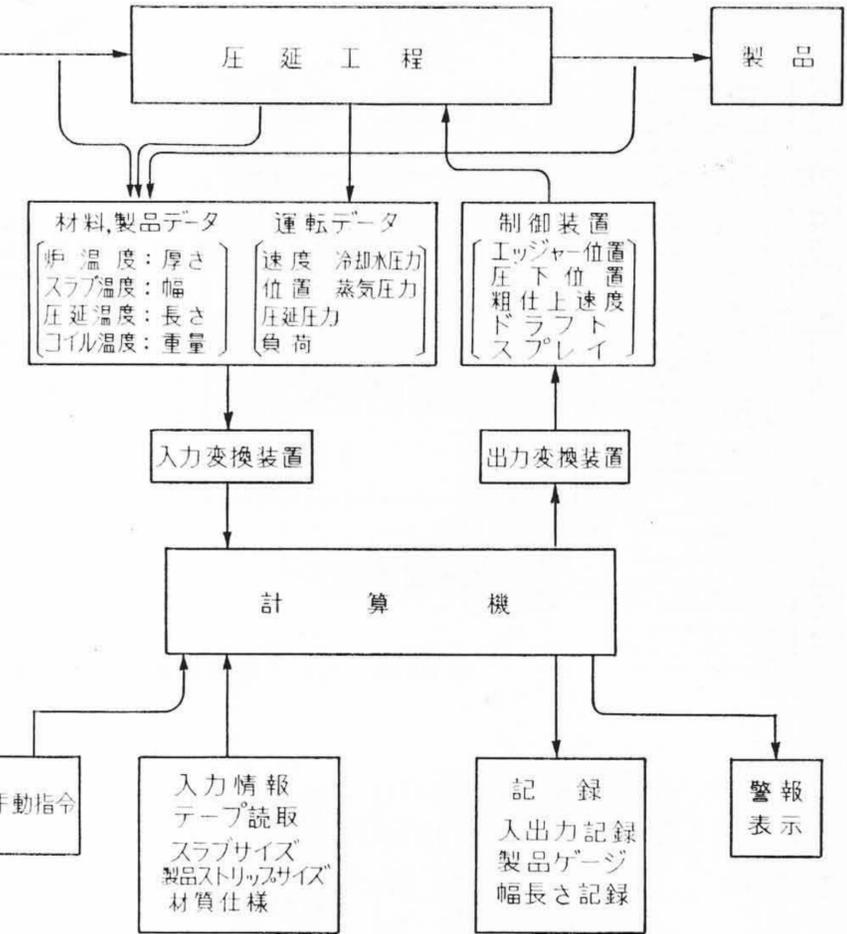
8. 結 言

最近開発された特色ある制御装置について説明を加えたが、われわれはさらに信頼性の高い、制御性能のよい装置を開発したいと努力している。もちろんこれらの開発には製鉄工業界の積極的な後援に負うところが大きいので、特にこの点お願いするとともに器具の設計者の奮闘を望むものである。

最後にこれら新しい制御装置の開発に当たり絶えずご指導をいただいた日立製作所本社井上部長、日立工場泉部長、平川部長、西課長、中山課長に厚くお礼申しあげるとともに、制御器具の開発にご尽力をいただいた松村主任、佐野主任を始め関係諸氏に感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

(1) 松村, 佐野: 日立評論別冊 34, 103 (昭35-2)
 (2) 小西: 日立評論 43, 860 (昭36-7)



第 28 図 ホットストリップミルの計算機制御

(3) 佐野, 吉田: 日立評論 44, 1161 (昭37-8)
 (4)(5) 実用新案出願中
 (6) 佐野, 宅間, 小西: 日立評論 43, 1198 (昭36-10)
 (7) J. H. Courcoulas: Incremental Control Equation of Tandem Rolling Mills. AIEE JAN 1957
 (8) 佐藤, 前川, 西: 日立評論 43, 1090 (昭36-9)
 (9) R. G. Beadle, W. E. Miller: Improving Thickness Control in Hot Strip Mills Control Engineering July, 1961
 (10) Hughs Maxwell, R. A. Phillips: System Analysis and Design for Hot Strip Mill with Automatic Gage Control Iron & Steel Eng. April, 1960
 (11) 小淵: 日立評論 44, 432 (昭37-3)



特 許 の 紹 介



特許 第 287881 号

河 竹 好 一・竹 村 克 巳
 新 井 健・山 名 昭
 狩 野 精 士・上 野 辰 三

送 電 損 失 率 算 出 方 式

この発明は、電力系統の経済負荷配分制御を行なう場合などに必要となる送電損失率 $\partial P_L / \partial P_i$ を、模擬回路を用いて簡単に算出する方式を提案するものである。図は本発明を電力経済負荷配分制御装置に適用した実施例であって、発電機単位 1 は A によって与えられる発電機出力の情報に比例した電流を流す。この電流を送電網がループ状となる部分を、各線路の抵抗値とリアクタンス値の比 r/x を考慮して、補正を行なった抵抗により構成される模擬回路 2 を介して、負荷配分比率装置 4 で制御される負荷単位 3 に流入させるようにし、発電機単位 1 の端子電圧 E_i と負荷単位 3 の端子電圧 E_{rj} を、次式を満足するように送電損失率算出器 5 で計算する。

$$\partial P_L / \partial P_i = 2K(E_i - \sum \alpha_j E_{rj})$$

そして求めた送電損失率に相当した電圧を B より電力経済負荷配分制御装置に送り込むものである。このように本発明では、模擬回路網の入出力端子間の電位差から送電損失率を算出するよう

し、模擬回路網は線路の抵抗値相当の抵抗で表わすだけでなく、ループ状となった回路の部分は、抵抗値とリアクタンス値の比率 r/x を考慮して補正した抵抗で構成したので、電力潮流が実際とよく相似し、正しい送電損失率を求めることができる。(福島)

