

# 圧延設備のオートメーション

日立製作所大阪営業所技術部\*

電機車輛技術課 真柄正昭

## 1. まえがき

近年あらゆる産業界にオートメーション化の気運が高まっているが、鉄鋼プラントも例外でなく、とりわけ最終生産工程の圧延設備において著しいものが見られる。ここでは圧延設備におけるオートメーションの1例として、カードプログラム制御装置 (C.P.C.) および自動厚み制御装置 (A.G.C.) について、簡単に紹介する。

## 2. カードプログラム制御装置

### 2.1 装置の概要

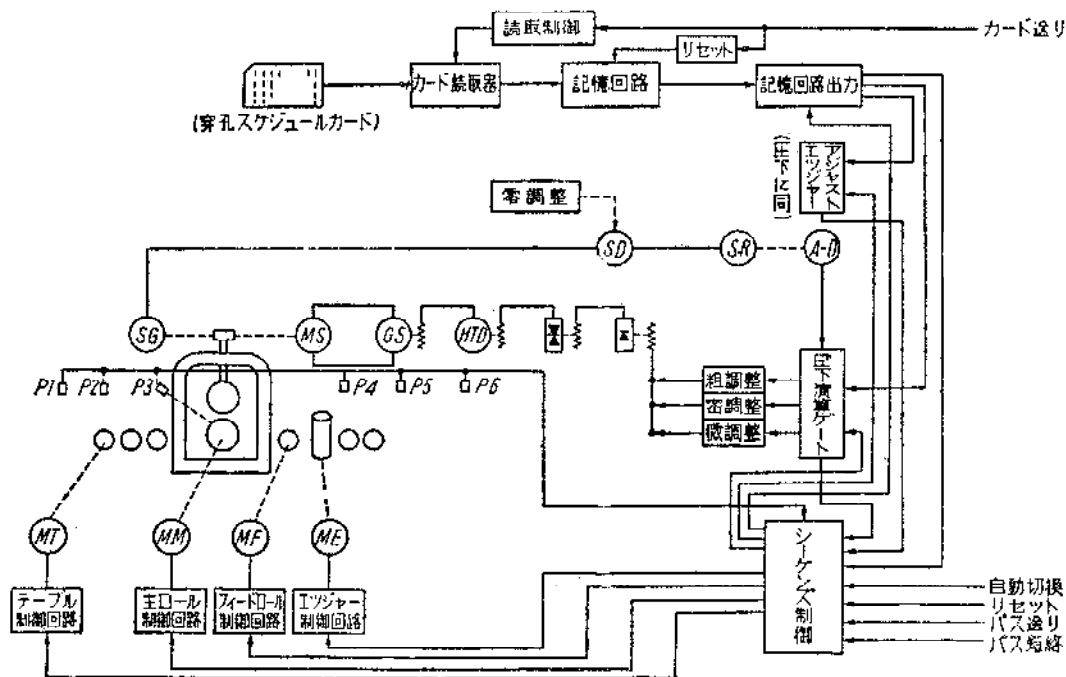
分塊、厚板圧延などの熱間可逆粗圧延機による圧延作業は、素材を何往復かの圧延パスを通して次第に延してゆき、奇数回目の最終パスによつて所要の寸法に仕上げられるものである。いま厚板圧延機を例にとつてみると各パス毎に次のような操作が必要である。すなわち

- (1) 水平ロールおよび、堅ロールの開度を所定の値に設定すること。
- (2) 数段階ある圧延速度のうち所定のものを選び出すこと。

- (3) 堅ロール速度を水平ロール速度に対して所定の比率に設定すること。(ドラフト補償)
- (4) 圧延機およびテーブルを所要の方向に起動、加速し、圧延が終るとたゞちに減速、停止すること。
- (5) 1パスが終れば、たゞちに次のパスの準備行動に移ること。

などである。これらは圧延スケジュールがきめられると各パス毎に必要な操作ならびに順序が定まり、一連の工程が1個の圧延材料ごとに繰返される。そして生産計画により圧延スケジュールが変更されるまで、ほぼ同一作業がつけられる。通常は2~3名の運転員が上記の操作を順序に従つて繰返すことになるが、実際の圧延加工を行っている時間、すなわち材料がロールに噛まれている時間は全圧延時間の20~40%くらいであるといわれている。残りの時間が運転員の熟練、疲労などの程度によつて大いに左右されるものであることは明かであり、またこれが生産速度に影響することも大きい。

カードプログラム制御装置はこれら一連の運転操作をすべて機械に行なわせることにより、理想的な熟練者が最良のコンディションで作業している状態をたえず容易



第1図 自動プログラム制御装置ブロック線図

\*大阪市北区梅田2 第一生命ビル8階

に実現しようとするものである。すなわち各種圧延スケジュールをIBMカードに予め穿孔して置き、必要なカードをカード読取機にかけて読取らせて、「パス進め」押ボタンを押せば一連の圧延作業がすべて自動的に行なわれるものである。

第1図は本装置のブロック線図を示すが、大別してカード読取記憶制御部、シーケンス制御部、位置ぎめ制御部に分けることができる。

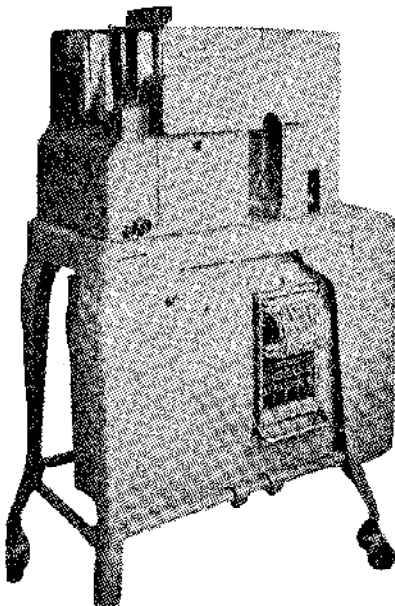
カード読取記憶制御部は、あらかじめ穿孔されたカードを読取り記憶する部分であり、シーケンス制御部は光电検出装置により圧延作業の進行を判断して所定パスのスケジュールの記憶を取出し、各制御部に指令として与え、また圧延機、テーブルなどに対して速度および起動停止の指令を与える部分である。位置ぎめ制御部は、与えられた指令に基づき、水平ロール、堅ロールの開度などの位置ぎめを行なう部分である。

2.2 カード読取記憶制御

カードはIBM標準サイズのものを使用し、各部の穿孔総数が奇数になるよう穿孔するパリティチェック方式により、読取り記憶に誤りがある場合を検出する。

カードの読取にはIBMカード読取機を使用し、カード送り押ボタンにより記憶装置中の記憶はリセットされ、カードが送られて新しいプログラム内容が記憶される。

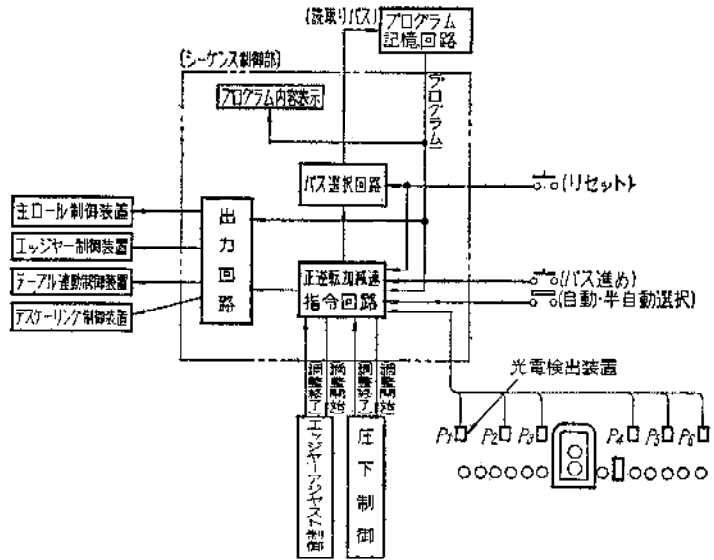
記憶要素としては、電子計算機の記憶要素とは異なり、カードの読取りにそれほど高い速度は必要なく、動作ひん度も少ないので、小形で動作速度が速く、高寿命のリードリレーを用いている。各パスにおける記憶内容の読取は、トランジスタ論理素子による無接点式パス選択回路により、保持しているリレーから信号をとり出す方法で行なわれる。したがって、記憶リレーは異なったスケジュールカード毎に1度動作するのみで、動作ひん度は年数千回を越えないと考えられるから、リードリレーの寿命1億回より考えると、カード読取記憶部の寿命は半永久的である。しかも電源電圧の変動や、周囲温度の変化などの外部条件に対しても動作が安定で



第2図 カード読取機

あるから、きわめて信頼性のあるものとなっている。またプログラムは、読取り、記憶してしまつたものを使用するので、一度記憶してチェックしてしまえば、読取り誤りによる誤動作の機会はなくから信頼して運転することができる。

第3図 シーケンス制御ブロック線図



2.3 シーケンス制御

シーケンス制御部は、プログラム制御装置の各部動作の起動停止などの時間的指令を与え、また水平ロール(主圧延機)、堅ロール、テーブルなどの制御装置に、起動停止、速度、ドラフト補償の指令を与える部分である。第3図はそのブロック線図であり、詳細は省略するが、トランジスタ論理素子を用い、無接点制御となっている。

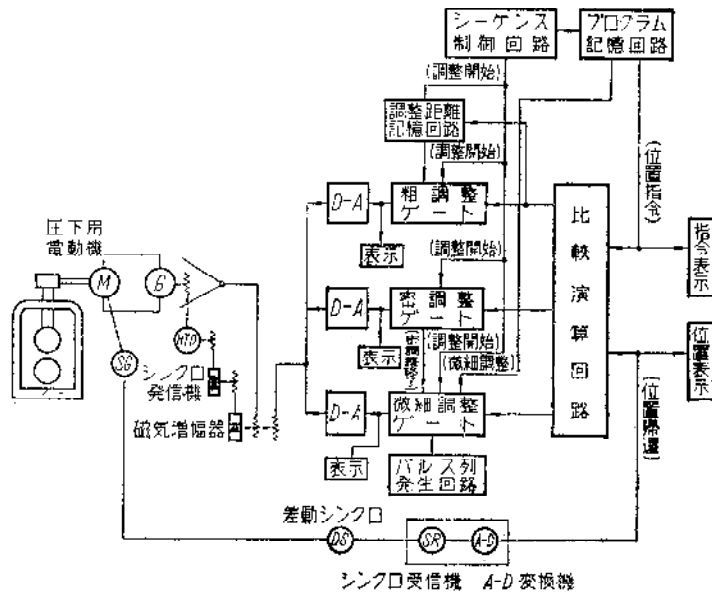
2.4 位置ぎめ制御

カードプログラム制御装置において、最も重要な部分であり、正確さと速さが要求される。圧延作業においては、前述の如くむだ時間が60~80%もあるが、その大半がこれら位置ぎめ制御に費されており、位置ぎめ制御時間の短縮は、大きく全体の生産量に影響する。

2.4.1 演算回路

バス選択回路により記憶制御部から取出された位置の指令数値が演算回路に与えられ、一方ロール位置は圧下スクリュウにシンクロ発受信機を介して結合されたA-D変換器により、デジタル量に変換され、同じく演算回路に与えられる。演算回路は指令数値と帰還数値とを

第4図は圧下制御ブロック線図を示すが、正確さを満すため、デジタル制御方式が採用され、また速さを得るために、粗調整、密調整、微調整の併用方式とし、かつ粗調整は最適制御方式が用いられる等、特殊の方式により、その目的を達している。



第4図 圧下制御ブロック線図

比較演算し、調整回路に与える。演算素子はトランジスタ論理素子の一種で、動作速度が速く、けた数の大きな演算もきわめて速に行なわれる。

またA-D変換器は回転符号化板とブラシとよりなり、回転角度を2進法のデジタル符号に変換し、高精度で読取るものである。符号化板は、けたあがり読取りの読取誤りを防ぎ、高精度の位置検出を行なうために各けたに複数の読取ブラシを持ち、論理回路によりブラシを選択して読取るV-SCAN法を用いている。

#### 2.4.2 位置ぎめ調整

##### (1) 粗調整

粗調整は位置ぎめを早く行なうことに重点をおき、しかも精度をたかめるため最適制御方式を用いている。すなわち、圧下調整開始信号がはいると、目標値までどれだけの距離を移動しなければならないかを記憶し、その値に応じて粗調整の速度および減速開始位置を変えることにより最適速度曲線を得、すみやかに正確な位置ぎめを行なう。

##### (2) 密調整

粗調整のみで通常の位置ぎめには1分の精度を得よう設計されているが、低下スクリーンの摩擦トルクの変動等により、なお多少の誤差が残る場合を考え、目標値近くで誤差が一定値以下になるまで低速の矯正調整を行なう。

##### (3) 微細調整

密調整以上に高精度の位置ぎめを行なう必要がある場合には、カードの微細調整の欄に穿孔しておくこと、密調整終了後、所定の精度が得られるまでパルス列状の出力が発生して電動機は低速で寸動調整を行なつて、1ディジットの位置ぎめがなされる。

## 2.5 カードプログラム制御装置の現況

カードプログラム制御装置は前述のように、正延設備のオートメーションの一端として開発されてきたが、その技術は多方面に応用の可能性がある。

現在国内において稼働中の設備は、日本鋼管水江工場にW.H.製のもの、富士製鉄広畑製鉄所にG.E.製のものがあるほか、東都製鋼豊橋工場、H新製鋼南陽工場に当社製の設備が納入されている。

幸い国産1号機として東都製鋼に納入せられた設備は比較的短時日に好調に運転に入つたが、これには工場試験において、高温、多湿の可酷なる周囲条件にて、長時間ヒートランしたほか、誘導障害に対しても要素、回路構成上サー

ージに強い方式を検討し、かつ人工開閉サーージにて駆動の有無を十分にチェックしたことが効果あつたものと思われる。一般的に産業用、とりわけ鉄鋼プラント用の設備においては、湿度、塵埃、強電回路よりの閉閉サーージの誘導障害等、悪い周囲条件を充分に考慮した設備でないと好調な運転が望めないように考えられる。

これらの点より現在迄に発表されている各種方式についてその得失を検討してみる。

##### (1) 位置ぎめ制御方式

位置ぎめ制御方式には、デジタル方式とアナログ方式があり、デジタル方式にも符号化板方式と可逆計数方式がある。アナログ方式は一般的にデジタル方式に較べ、速応性において勝るが、精度において劣ると共に設定がやや不便と考えられるが、系の中に摩擦トルクのような不連続的変量がある場合には、あまり速応性を大きくするとオーバーシュート、ハンチングの原因となり制御が不安定となる。同時に精度を良くするため、増巾率を大きくすることも困難となる。一方可逆計数方式は、パルスの加減算によりロール位置を決定するため、パスごとの計数誤差が積算される欠点と共に、パルス信号を取扱っている点で誘導障害にたいし、弱点を有している。

符号化板方式は符号化板そのものの信頼度の問題があること、けたあがり時に読取誤りがあれば誤差が大なること等の欠点はあるが、これらは信頼度の高いものを開発し、V-SCAN法を使用することにより解決され、また速応性の点においても、最適制御方式の採用と3段階の調整方法を必要に応じ使い分けることにより、アナログ方式に勝るとも劣らぬ性能が得られている。

##### (2) 読取記憶方式

読取記憶方式には、次の2つの方法がある。

(i) カードそのもので記憶する方法

特殊なカードリーダーを用い、各パスごとにロータリースイッチにより指令を読取る方式と、ホトトランジスターを使用する方式がある。いずれもパスごとにカードの対応する行を選択読取るもので、カードそのものが記憶要素となっている。

前者はパス選択にロータリースイッチを使用しており機構上信頼度に問題がある。

後者は無接点読取りであり、記憶要素を省略できる利点があるが、各パスの消勢(数ビット)に対応する増巾装置が必要であつて、特に(ii)の方法に較べ、有利ではないものと考えられる。

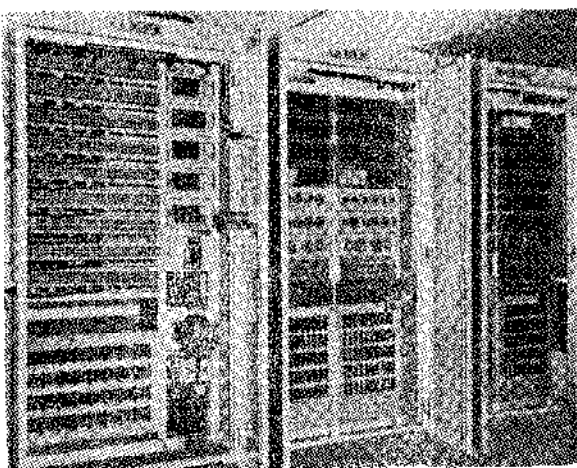
(ii) カードリーダーで読取り、記憶する方法

IBMの標準カードリーダーを使用し、スケジュールが変るごとに、1度カードを挿入して読取記憶する。次にスケジュールが変つて新しいカードを入れ、押ボタンが押されると、記憶がリセットされてカードが送られ、新しい内容を記憶する。

記憶要素としてマグネティックコアを使用しているものは、周囲温度の影響を受け易く、厳密な温度制御を必要とする上に、(20°±5°C) 1度読取つたときに記憶が消えるので再書込回路が必要である。

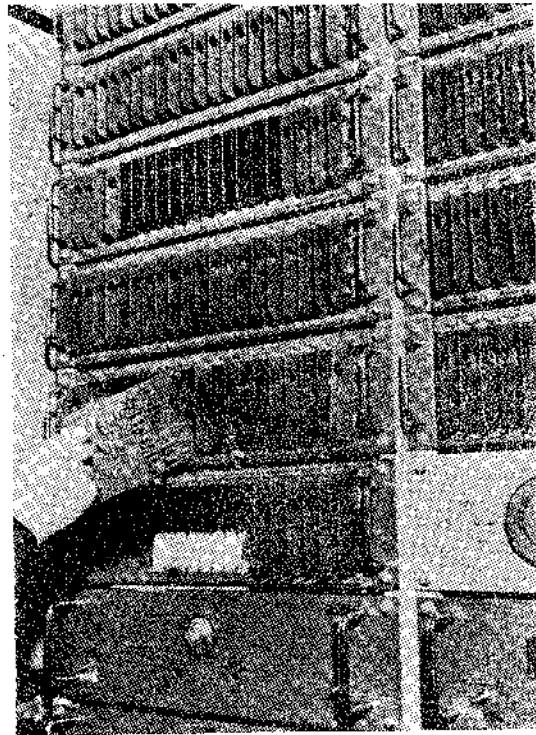
これに対し、リードリレーは不活性ガス内に接点部が封じ込まれており、比較的周囲の条件に影響を受け難い。そのうえ読取りは接点の状態をトランジスタ論理素子による無接点式パス選択回路により、信号として取出すもので、記憶はリセットしない限り消えず、したがつてリードリレーの動作回度も数千回を越えない。リードリレーの寿命は1億回以上といわれているので、読取記憶部の寿命も半永久的であり、信頼性の高い方式といえる。

以上のように各方式はそれぞれ長所欠点を有するが、



第5図 制御キュービクル

今後更に進歩、改良がなされ、カードプログラム制御装置がますます広い分野に使用されることが期待される次第である。



第6図 トランジスタ論理素子盤内部

### 3. 自動厚み制御装置

#### 3.1 はしがき

圧延によつて製造される鋼帯の厚み精度は、従来専ら圧延機運転者の経験と熟練によつて保たれていたが、最近になつて圧延速度が増大し、厚み精度も次第に高く要求されるにつれて人為制御では不充分となり、更に運転者の個人差をなくし、常に一定の仕上り厚みを有する鋼帯を生産する為に、自動厚み制御の必要が生じてきた。この様な自動厚み制御が実用されるに至つたのは、数年の間で、連続冷間鋼帯圧延機、可逆冷間鋼帯圧延機、アルミ箔圧延機、連続熱間鋼帯圧延機等に実用されている。自動厚み制御は最初連続冷間鋼帯圧延機において開発され、国内にも輸入装置が数セット稼動中であるが、最近可逆冷間圧延機用として、当社にて数セット製作納入し、国産初の設備として好評に稼動中であるので、ここに簡単に紹介したい。

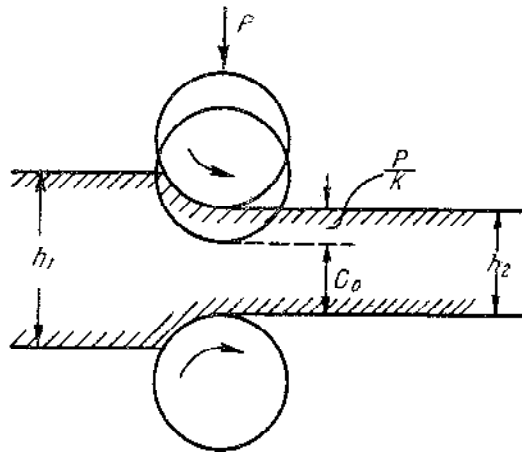
#### 3.2 自動厚み御制の理論

圧延機から出てくる鋼帯の厚みは、ほぼロール間げきによつて決まるが、圧延中は圧延圧力により圧延機が弾性変形するため、そのロール間げきは(1)式で示される。

$$h_2 = C_0 + P/K \dots \dots \dots (1)$$

ただし  $C_0$  : 噛込み前のロール間げき

P : 圧延圧力  
 K : 圧延機のばね常数  
 $h_2$  : 圧延中のロール間げき



第7図 圧延機のロール間げき

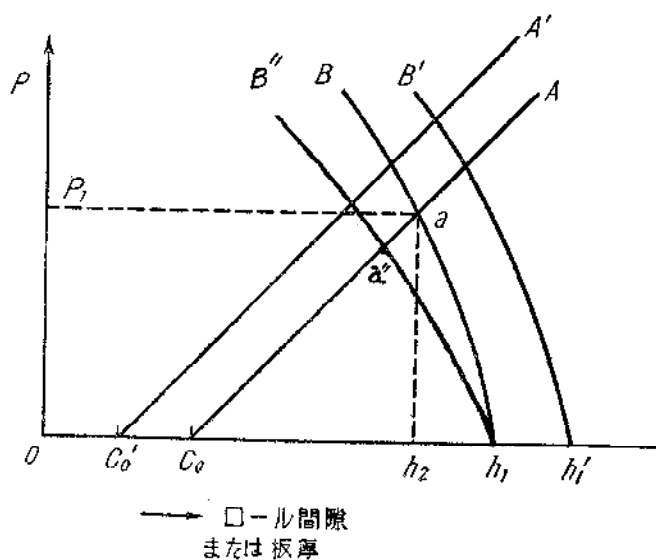
ここでは鋼帯の弾性変形が小さいので、 $h_2$  は出口板厚とみることが出来る。

これに対して圧延圧力は、鋼帯の塑性変形抵抗によつて与えられ、一般に次のような式で表わされている。

$$P = B\sqrt{R'(h_1 - h_2)} \cdot f(S_0, S_1, S_2, \mu) \dots (2)$$

ただし B : 鋼帯の中  
 R' : 圧延中のロール半径  
 $h_1, h_2$  : 入口, 出口の厚さ  
 $\mu$  : 鋼帯とロールの摩擦系数  
 $S_1, S_2$  : 入口および出口側の張力  
 $S_0$  : 鋼帯の拘束変形抵抗

第8図は圧延中のロール間げきと板厚の関係を示したものである。A曲線は(1)式の圧延機の弾性変形特性を示



第8図 ロール間げきおよび板厚と圧延圧力との関係

し、B曲線は(2)式による鋼帯の塑性変形抵抗特性を示している。圧延中は第8図のA, B両曲線の両方が共に満足されなければならないために、両曲線の交点aが圧延条件となり、その時の出口厚みは $h_2$ 、圧延圧力は $P_1$ で表わされる。

さて出口厚み $h_2$ に変化を与える原因としては

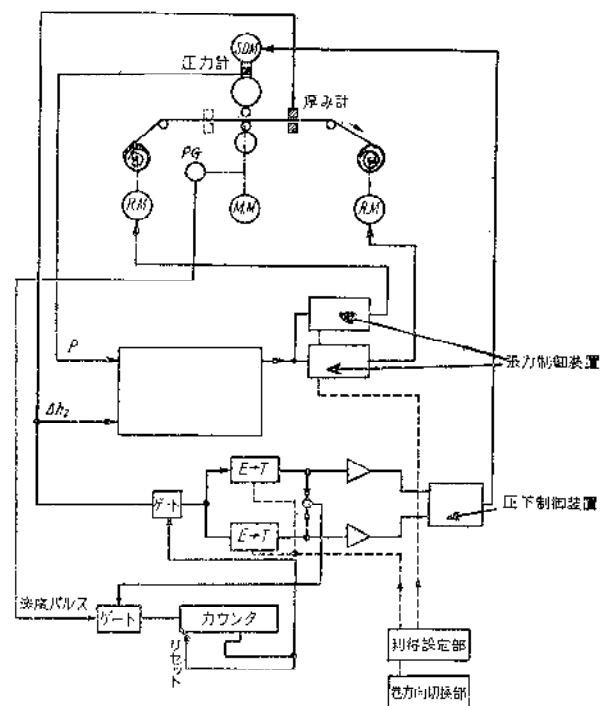
- (1) 圧延機の弾性変形特性 (A曲線) の変化によるもの。
  - a. ロール間げき設定値の変化
  - b. ロールの熱膨張, 偏心, 軸受油膜厚みの変化
  - c. 圧延機のばね常数の変化
- (2) 鋼帯の塑性変形特性 (B曲線) の変化によるもの。
  - a. 入口厚み  $h_1$  の変化
  - b. 前後面張力の変化
  - c. 拘束変形抵抗の変化
  - d. 摩擦係数の変化

等多数の原因があり、圧延速度の変化も上記の直接的原因を変化させて、出口厚みの変化をもたらす。

自動厚み制御は、人為的に変化できるもの例えばロール間げき、前後面張力等の調整により、他の諸原因に基づく出口厚みの変化を自動的に補正して一定厚みの鋼帯を圧延せんとするものである。

### 3.3 自動厚み制御装置

前述のごとき厚み制御理論に基づいて、組立てられた自動厚み制御装置のブロック線図を第9図に示す。この装置の動作を圧下調整と張力調整にわけて説明する。



第9図 自動板厚制御系構成

### 3.3.1 圧下調整による厚み制御

圧下調整には、厚み偏差と圧延速度に関係したサンプリング周期を有する特殊なサンプリング制御方式を採用している。すなわちロールの下で圧延された鋼帯が、厚み計に達する迄に輸送の死時間があり、その間に次の制御動作が行なわれると制御が不安定となるため、死時間以上の OFF—TIME を置いて次の制御を行う。又 ON—TIME は、厚み偏差に応じた値となつていて、制御のゆきすぎがなく安定な制御ができる。

OFF—TIME の設定には、ロールから厚み計までに鋼帯が移動するあいだ、ロールの回転数、すなわち主電動機の回転回数が一定であるという関係を利用し、主電動機に連結されたパルス発信器からのパルスを、パルスカウンタにより一定数だけカウントすればよいこととなる。

厚み計からの厚み偏差信号  $\Delta h^2$  は直流増巾器によつて増巾され、ゲートによつてサンプルされて、E—T変換器（電圧—時間変換器）に送られる。ここで厚み偏差が正であるか負であるかが判別され、正負に応じて圧下の上げまたは下げ信号が出される。その信号は厚み偏差の大きさに応じた時間巾を有するパルス信号であるが、入力（電圧）と出力（時間）の関係はデッドバンドを有する非線形関数となつている。その理由として、圧下制御装置は、ワードレオナード制御を行つているが、電動機回転の指令時間と電動機の回転角度との間に比例関係が成立せず、特に圧下制御のごとく、寸動操作を行なう場合には、非線形性がはなはだしい。この非線形性を補償し、安定な制御を行なうために、電圧入力、時間出力の関数発生器を使用しているのである。またデッドバンドは、製品板厚の許容公差に比して小さな値に設定してある。

### 3.3.2 張力調整による厚み制御

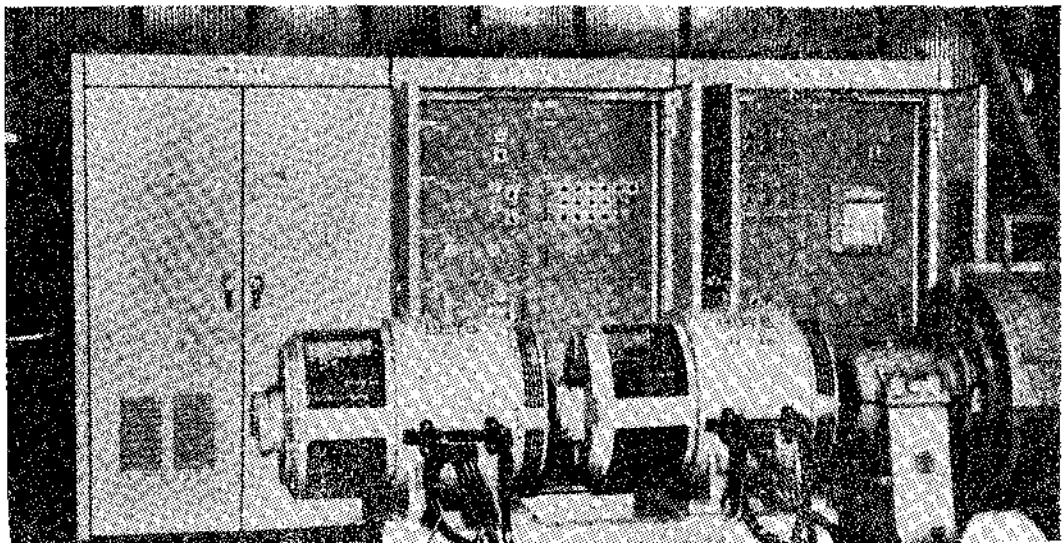
厚み偏差は一般に、フライングマイクロ、放射線（ $\beta$ ,  $\gamma$ , X線）厚み計が用いられているが、前述せるように死時間があるため、張力調整には圧延圧力計を併用している。すなわち圧延圧力の変化(1)式に示された関係より板厚変化

として間接的に利用でき、圧延圧力そのものは、ロールの熱膨張、ロール摩耗、クーラントおよび軸受油膜厚さの変化などにより、絶対値としては不安定な値である。一方厚み計からの偏差信号には、前述のように時間遅れがあるため、圧延圧力の比較的急な変化を取出し、これと厚み計よりの偏差信号を加味して張力調整を行ない、かつ圧延圧力による制御の先行時間と、厚み計信号の時間遅れをほぼ等しくすると、厚み計をロール直下においたのと同様の制御が可能となり、死時間による不安定性を克服することができる。一方張力調整による厚み調整の原理は、(2)式および第9図により示される。すなわち鋼帯の圧延圧力には、(2)式のごとく入口、出口張力が関係するが、入口および出口張力の増加は圧延圧力を減少し、したがつて出口板厚が減少する。これは第9図において、B曲線が倒れてB'曲線となり、交点a'が示すように出口板厚が減少すると云うように理解できる。

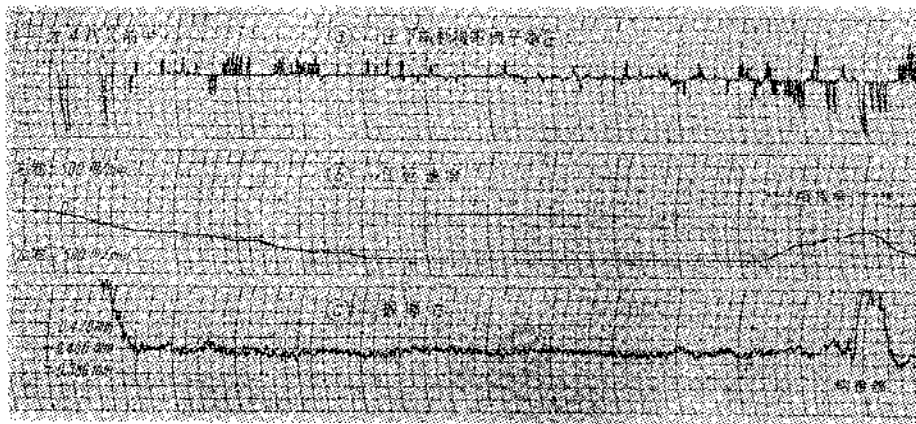
この張力調整は電動機の電機子電流を制御するものであるから速応性があり、圧下調整では取り除き得ない板厚の急激な変化を制御することができる。張力には圧延条件により定まる値があり、あまり大巾に張力調整して板厚を制御することができないので、急激ではあるが、範囲の狭い変動を、圧下制御は割合ゆつくりした大巾の変動を制御することになり、この両者を併用すると良好な結果が得られる。

### 3.4 運転結果

第10図は大阪造船所横浜工場に納入、稼働中の自動厚み制御キュービクルを示し、第11図は0.4mm板圧延時のオシログラムの一部を示している。このオシログラムに見るように、圧延開始後ただちに板厚は正常値に入り、熔接点以外は厚さの変動がきわめて少ないことがわかる。運転結果を要約すると下記のようなになる。



第10図 自動板厚制御キュービクル



第11図 自動板厚制御中の圧延オシログラム

(1) 板厚精度，歩留りの向上

板厚精度が向上し，特に未熟な作業者の場合に著しく，また同一コイル内の板厚のパラツキが大巾に減少した，その結果製品の歩留が数%向上した。

(2) 品質の向上

圧延中作業者は板厚修正の努力をほとんど必要とせぬため，板の平坦度，ロールクーラント，コイルの観察などに注意力を注ぎうるため，製品品質が向上した。

(3) 技術差の補正

圧延中の板厚修正動作が自動化されたため，パス始めの圧下，張力の設定が適正なら未熟者の技術をもつても熟練者とほとんど差のない結果をうることができ，この結果作業者の肉体的ならびに精神的負担が軽減された。

### 3.5 今後の課題

ここでは可逆冷間鋼帯圧延機の自動厚み制御装置が，国産初の設備として好調に稼動中であるので，その一端を紹介した。なお同様設備が数セット稼動中であるほ

か，センジマー式冷間鋼帯圧延機用自動厚み制御装置を製作中であり，可逆式冷間圧延機用自動厚み制御装置は，国産技術として完成の域に達したといえる。

連続式冷間および熱間圧延機用自動厚み制御装置は従来，大部分を輸入にまっていたが，すでに国産技術による可逆式の物も完成した現在連続式圧延機の自動厚み制御装置が，使用者の協力により，すべて国産化される日も近いと期待される次第である。

## 4. あとがき

以上圧延設備のオートメーションとして，カードプログラム制御装置および自動厚み制御装置を紹介した。

これらはいくまでオートメーション化の一端であり，将来の姿としては，米国において現在製作中のものがあるように，鋼塊より最終成品まですべて ON—LINE のデジタルコンピューターにより，制御，監視，作表，および警報が行なわれ，ロール間げき，ロール速度等の設定まですべてコンピューターが行なうようになるものと考えられる。

当社においてもこの方面の研究を進めているが，このようなオートメーションを実現するためには，制御器具より計算機に至るすべての機器について，その信頼度を更に高める必要があり，国産技術全体の LEVEL UP が望まれる次第である。