

タンデムコールドミルの自動運転

New Advance in Automation of Tandem Cold Strip Mill

川 野 滋 祥* 前 川 敏 明**
Shigeyoshi Kawano Toshiaki Maekawa

要 旨

タンデムコールドミルの通板後の種々の煩雑な圧延作業のうちで、その主要なものは、仕上り板厚調整、スタンド間張力の調整、負荷平衡などの通板直後、加減速時ならびに定常運転時における操作である。これらの操作を自動化し、運転の平易化、能率の向上、歩留りの向上を目的とする自動運転装置を開発したのでその概要を述べる。

1. 緒 言

多額の投資を必要とするタンデムコールドミルのオートメーションは、近年、目ざましい発展をとげているが、その運転の平易化、能率の向上および製品歩留りの向上をさらに飛躍的に推進するためには、次の諸問題が自動化により解決されなければならない。

- (1) 通板前の最適ミル設定の自動化および圧延状態の監視の自動化
- (2) 自動通板、自動加減速、自動コイル処理
- (3) 仕上り板厚制御のためのミル設定最適調整の自動化
- (4) スタンド間張力の制御
- (5) 各スタンド駆動馬力の配分比率の最適化
- (6) 加減速時のミル設定の修正

すなわち、第1の自動化により第2の自動化が可能になり、さらに、第3～6の自動化により精密な制御が可能となる。

第1、第2の自動化に対しては電子計算機の導入が考えられなければならないが、第3～6の自動化が完成していることが望ましい。

本文では、通板後の圧延作業に属する上記第3～6の作業を自動化する装置(以下、これを自動運転装置と仮称する)の概要を述べる。

2. 自動運転装置の構成

自動運転装置は、図1に示すように、前記第3～5の制御を自動化するための圧延スケジュール制御装置および高精度の仕上り板厚制御を行なうための自動板厚制御装置、さらに前記第6の制御を自動化するための加減速時の圧下補正装置の3者より構成されており、圧延スケジュール制御装置は、圧下設定修正装置ならびに速度設定修正装置より構成されている。

これらの制御装置は、通板完了時よりただちに作動して、圧延機を与えられた最適な状態に保ちながら、仕上がり板厚を一定に制御する。個々の概略について以下順を追って述べる。

3. 圧延スケジュール制御装置

図1にも示すように、一般に、冷間、熱間を問わず、連続圧延機は、次の3条件

の3条件

- (1) 仕上がり板厚一定
- (2) スタンド間張力一定
- (3) 各スタンド駆動馬力の所望な配分状態の確保

を満たすように運転されなければならない。通板前のミル設定がきわめて巧妙であった場合を除き、一般に、スケジュール変更が行なわれた最初のコイルにおいては、上記3条件を満たす所望の圧延状態になるまでには、通板後かなり長い時間を要する。これは、全スタンドにわたって、圧下設定および速度設定を互いに関連させながら、煩雑な操作を行なわなければならないからである。

圧延スケジュール制御装置は、これらの問題を自動化により一挙に解決しようとするものである。

3.1 圧下設定修正装置

圧延スケジュール制御装置のうち、圧下設定修正装置は、図1に示すように仕上がり板厚が設定値と一致し、しかも、電動機の馬力配分比率が設定値となるように、各スタンドの圧下設定を修正するものである。

図2は、本制御の原理を6スタンドタンデムミルについてブロック図で示したもので、点線内が本制御装置である。ただし、スタンド間張力およびリール張力は、一定に制御されているものとしてある。

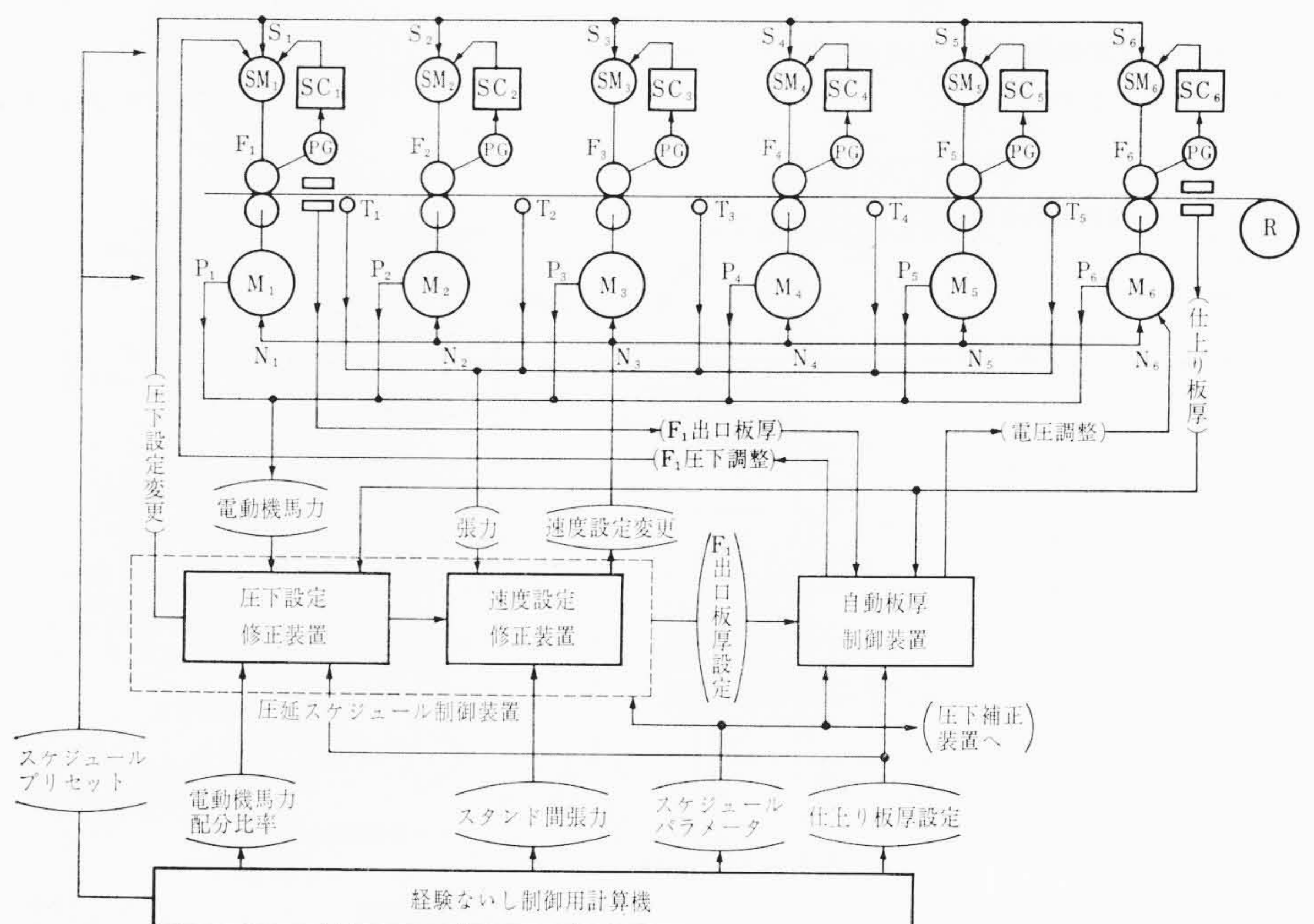


図1 コールドストリップミルの通板後の自動運転装置の概略

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所日立研究所工博

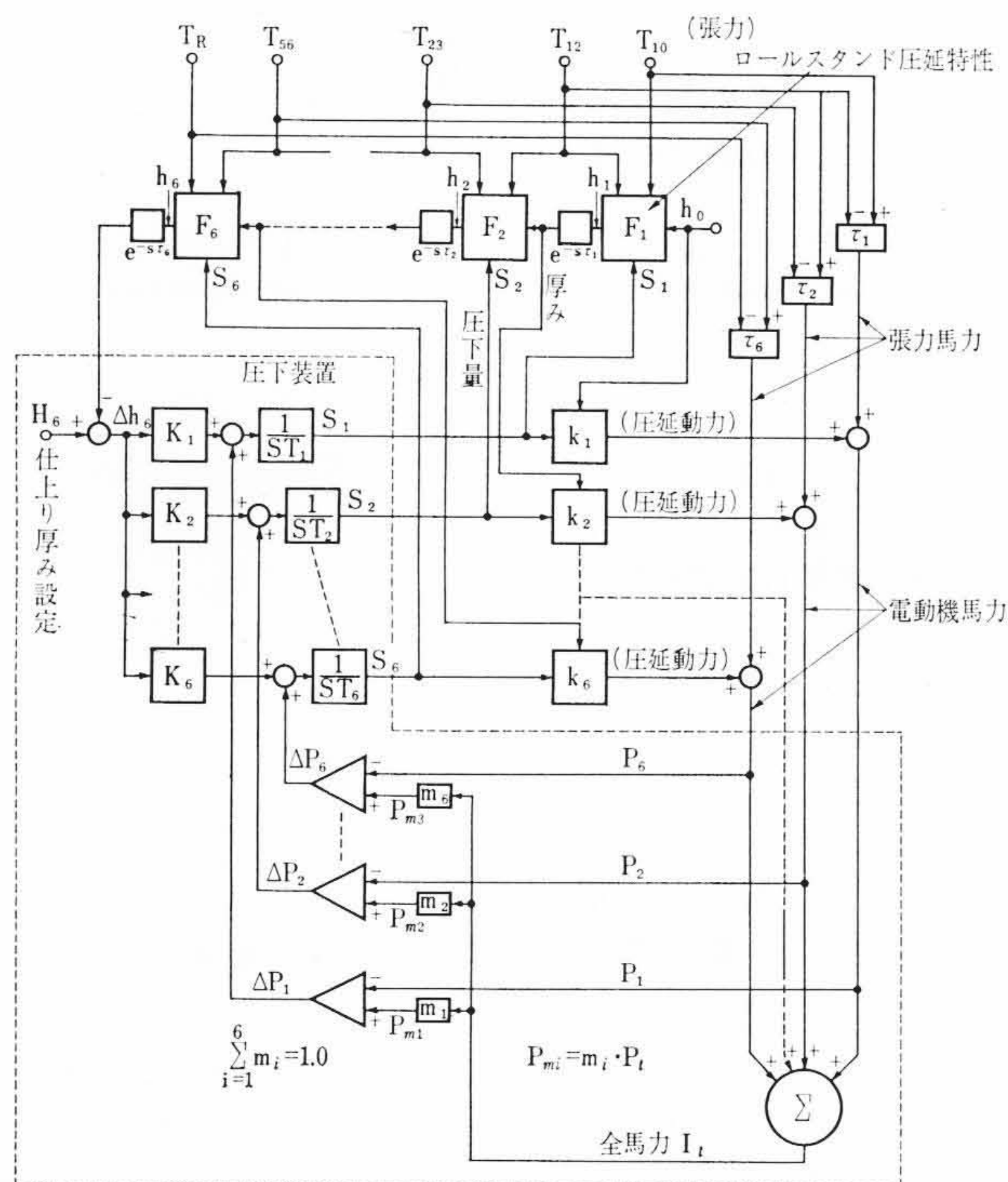


図2 圧下設定修正装置の概略

本制御装置の第1の部分は、馬力(負荷)比率分配部であり、各スタンドの電動機馬力(出力) p_i と、その全馬力 $p_t = \sum p_i$ を所望の比率 $m_1:m_2, \dots, m_6$ に分配する分配器と、これらの差、すなわち、所望の負荷状態からのずれを表わす信号

$$\Delta p_i = m_i \cdot p_i - p_i \quad (1)$$

$$\text{ただし、} p_t = \sum_{i=1}^6 p_i, \quad \sum_{i=1}^6 m_i = 1$$

を求める比較器により構成される。

この出力 Δp_i は圧下装置に加えられ、圧下量 S_i が修正されて、電動機負荷が調整される。ここで、圧下装置は積分系であるから、上記 Δp_i は最終的に零となり、次式が成立する。

$$\frac{p_1}{m_1} = \frac{p_2}{m_2} = \dots = \frac{p_6}{m_6} = p_t \quad (2)$$

すなわち、各電動機の出力の比率を所望の比率 $m_1:m_2:\dots:m_6$ にすることができるのである。

しかし、この制御系のみでは、全出力 p_t に関し、同時にこの p_t に対応する仕上り板厚 h_6 に関して不定位系である。そこで、これを定位化すると同時に、他の圧延条件(仕上り板厚一定)を満たすために、仕上り板厚制御系を重畳して付加する。

仕上り板厚制御は、板厚偏差 Δh_6 の $K_1, \dots, K_6$ 倍の信号により各スタンドの圧下を調整することによって達せられ、これにより $\Delta h_6=0$ となり、全出力 p_t も一意的に決定される。なお、 K_i ($i=1 \sim 6$)は板厚制御のための圧下分配比率であり、これをうまく選定することにより $\Delta h_6 \rightarrow 0$ の制御を負荷比率分配制御に先行させて、速応的に実行することができる。

図3は、本制御装置の一例を簡単にするため、3タンデムミルの場合について示したものである。実施に当たっては、図2のブロックを忠実に実現する必要はなく、たとえば、図において、VR-11~VR-13を各スタンドの速度設定レオスタット(最高電圧設定レオスタット)に連動させ、電動機負荷電流を検出することにより、実質上、電動機馬力(入力)の検出にかえることができる。

電動機馬力の合成-配分は、1台の演算増幅器で実行でき、さらに、馬力配分比率設定器のポテンショメータの分圧比 m'_i ($0 \leq m'_i \leq 1$)の和 $\sum m'_i$ は1である必要はなく、これら相互の比 $m'_1:m'_2:m'_3$ が所望の馬力配分比率であればよい。また、馬力合成-配分器に、図3に示すように、その制限値が $p_{1\max} \sim p_{3\max}$ によって与えられる制限器を付加し、その制限値として、電動機の所望の最大馬力値を選んでおけば、馬力合成配分器から加算器に与えられる馬力指令値は、いずれのスタンドにおいても $p_{i\max}$ を越えることはないので、駆動電動機の過負荷を保護することができる。

一方、このような構成の馬力合成配分器を使用することにより、あるスタンドの馬力が制御値に達し、さらに全馬力を増加する必要がある場合には、そのスタンドで負担できなくなった馬力が、自動的に他のスタンドで分担される。ただし、この際には、もはや、馬力配分率は所定の値よりずれることは当然である。しかしながら、このような調整の期間中ないし運転中に、馬力配分率が積極的に変更された場合においても、常に、仕上がり板厚一定の条件下に調整が行なわれる。

さらに、全電動機が過負荷になると、もはや、それ以上馬力を増加できず、そのために所望の仕上がり板厚が得られなくなる可能性がある。このような状態では、馬力合成配分器の演算増幅器の出力は過大な値を示す。したがって、このような状態の一手手前で検出し基準スタンドの速度設定(図4 U.C)のみを単独に減少させることにより、次に述べる速度設定修正装置の助けをかりて、圧延速度を一せいに減少し、電動機馬力に余裕をつくること

ができる。

また、たとえば、第1スタンドの圧下率に制限がある場合などにおいては、その出口板厚が制限値以上に薄くなったことを検出して、第1スタンドの圧下制御をその制限値を目標値とする板厚制御に切換え、図3に示す圧下設定修正制御の第1スタンド用の回路をすべて開放して、残りのスタンドに対してのみ、圧下設定の修正を行なうようにすることもできる。

なお、図3に示すように、これらの制御はすべて圧延速度と関係する周期をもったサンプリング制御によって行なわれる。

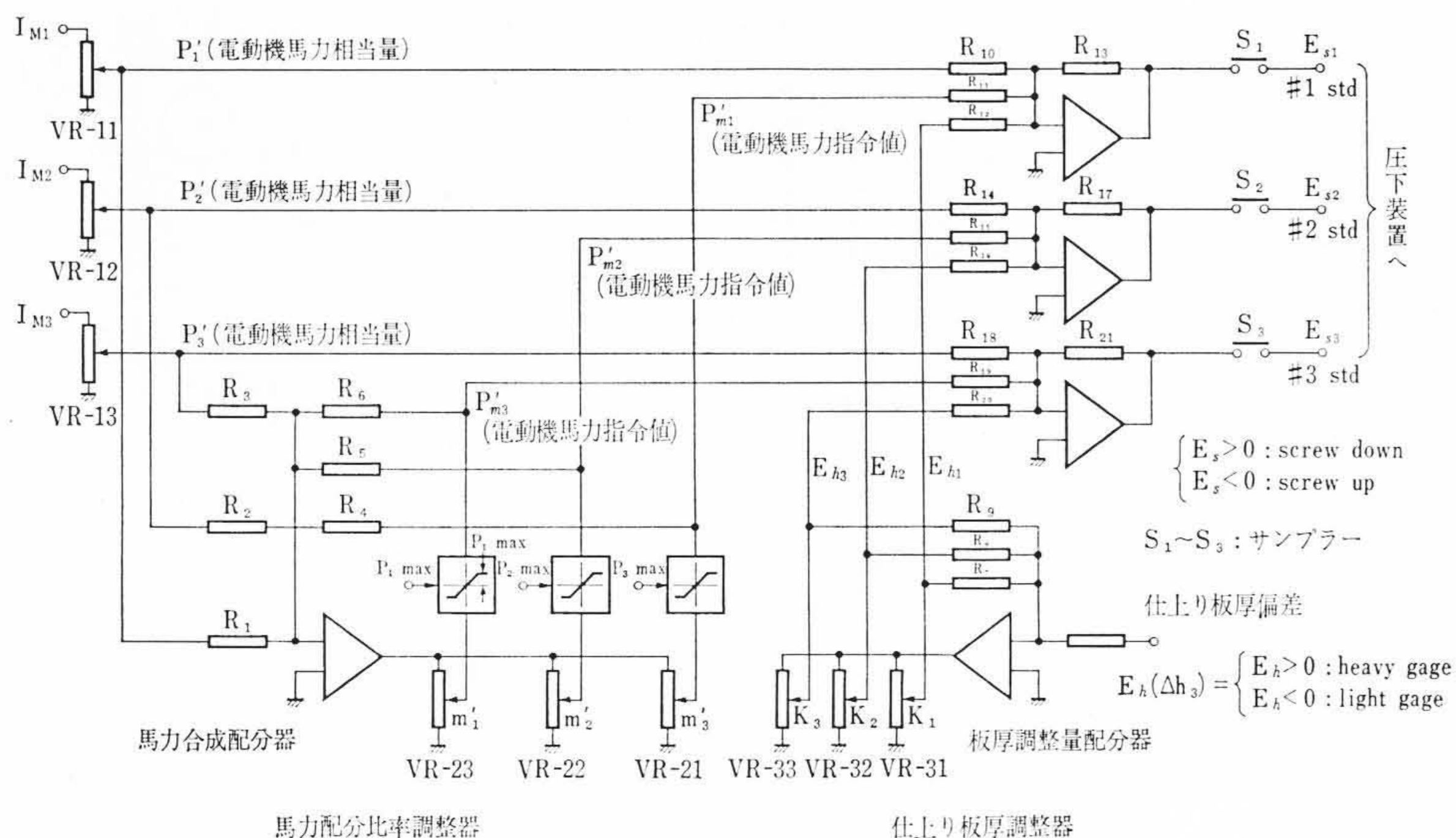


図3 3スタンドミルに対する圧下設定修正装置の例

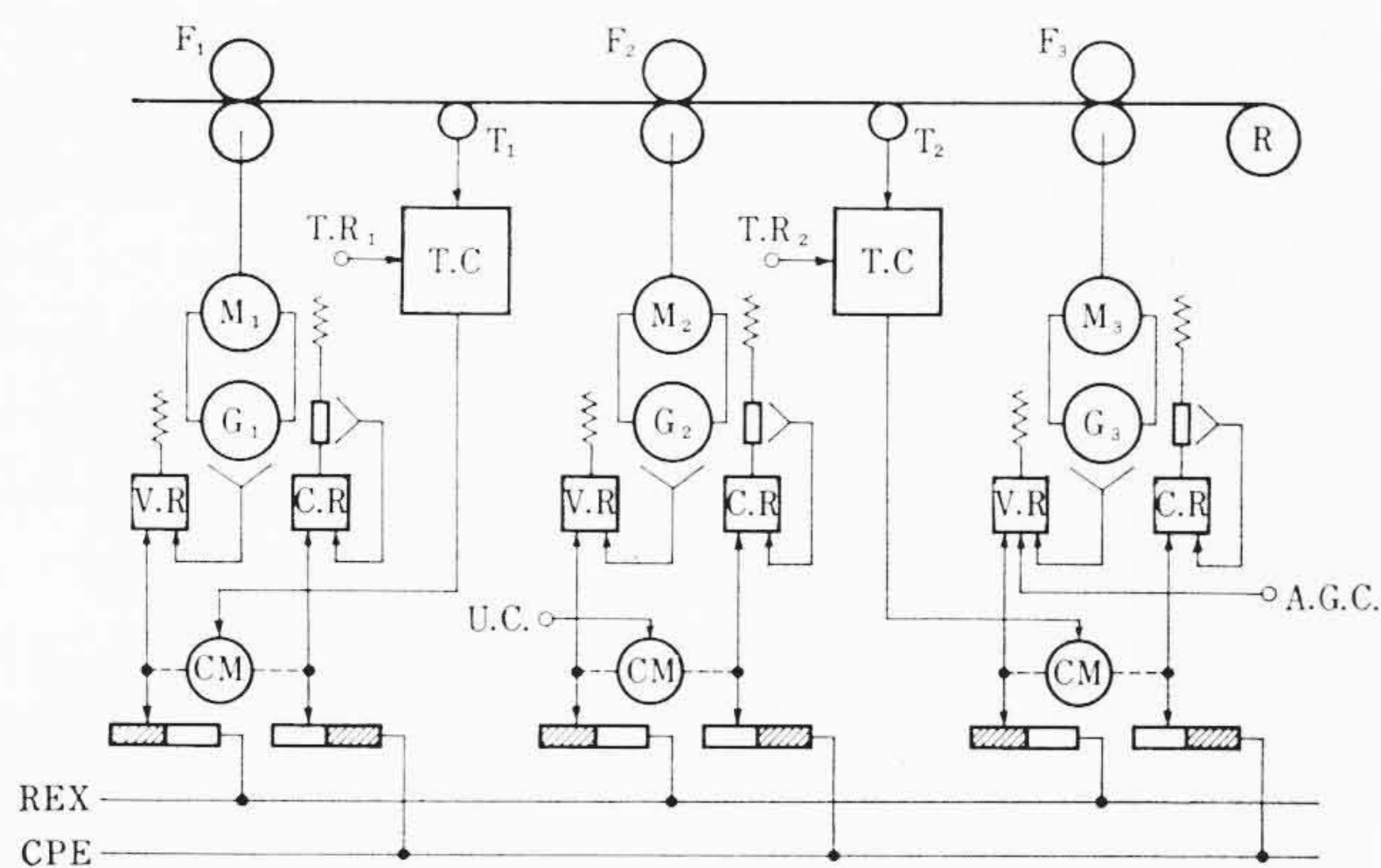


図4 3スタンドミルに対する速度設定修正装置の例

上記は単なる一例にすぎないが、種々の変形応用が可能であり、圧延作業の簡易化、自動化に大いなる貢献が期待できる。

3.2 速度設定修正装置

上記の圧下設定の修正制御は、スタンド間張力が所望の値に維持された状態で行なわれなければならない。したがって、圧下設定の修正に伴う速度設定の修正は、スタンド間張力が変化しないように、関係スタンドの速度設定を変更することによって行なわれる。すなわち、本装置は、速度設定調整式のスタンド間張力制御装置にほかならない。3タンデムミルの場合の最も簡単な例を図4に示す。

以上、圧下設定修正装置および速度設定修正装置の両装置によって構成される圧延スケジュール制御装置は、圧延状態が前記の必須3条件ならびに、種々の付帯条件を満足するように、圧下および速

度の設定を自動的行なうことができる。また、本圧延スケジュール制御装置は、いい換えれば、全スタンドの圧下および速度の調整により板厚制御を行なう広義の板厚制御装置であり、そのため、従来のものと異なり過大な板厚偏差に対しても動作することができる。

従来の高精度形板厚制御装置の制御範囲(比例帯)は、きわめて小さく、したがって、板厚制御を投入するまでに、かなりのオペレータ操作を必要とした。そこで、前者を板厚粗調整装置、後者を密調整装置として同時に使用することにより、前記のオペレータ操作を省略すると同時に、さらに、高性能な板厚制御を行なうことができる。したがって、このような制御装置を用いると、圧延中に大幅な仕上り板厚の変更を積極的行なうこともきでる。たとえば、溶接点近傍を、定められた一定の heavy gage で通過するように、圧延スケジュールを圧延中に自動的に変更することが可能になる。

3.3 圧延スケジュール制御の実験結果の一例

図5は、すでに述べた圧延スケジュール制御を日立製作所日立研究所が有する3タンデムコールドミルに適用した場合の一実験結果を示したものである。図は通板後、圧延スケジュール制御を行ない、仕上がり板厚を0.25mm、スタンド間張力をともにほぼ1.2トン、電動機の馬力配分率を0.8:1:1に調整した後、仮りに圧延スケジュール制御(ただし張力制御は常時作動している)を、offして加速し、その際生じた仕上がり板厚および電動機負荷の不均衡を、圧延スケジュール制御を再作動させることにより補正したものである。その結果、各スタンドの圧下および第1、第3スタンドの速度が修正されて、仕上がり板厚はほぼ10秒で所定の値となり、電動機負荷も所定の0.8:1:1の比に復元することがわかる。

この実験結果より、見方をかえれば次のようなことがいえる。すなわち、加減速中においてこれらと同量の圧下および速度の調整が行なわれれば加減速時の off gage は発生しない。このような考えに基づいて次にのべる圧下補正装置の圧延速度と圧下補正量の関係が求められるのである。

4. 加減速時の圧下補正

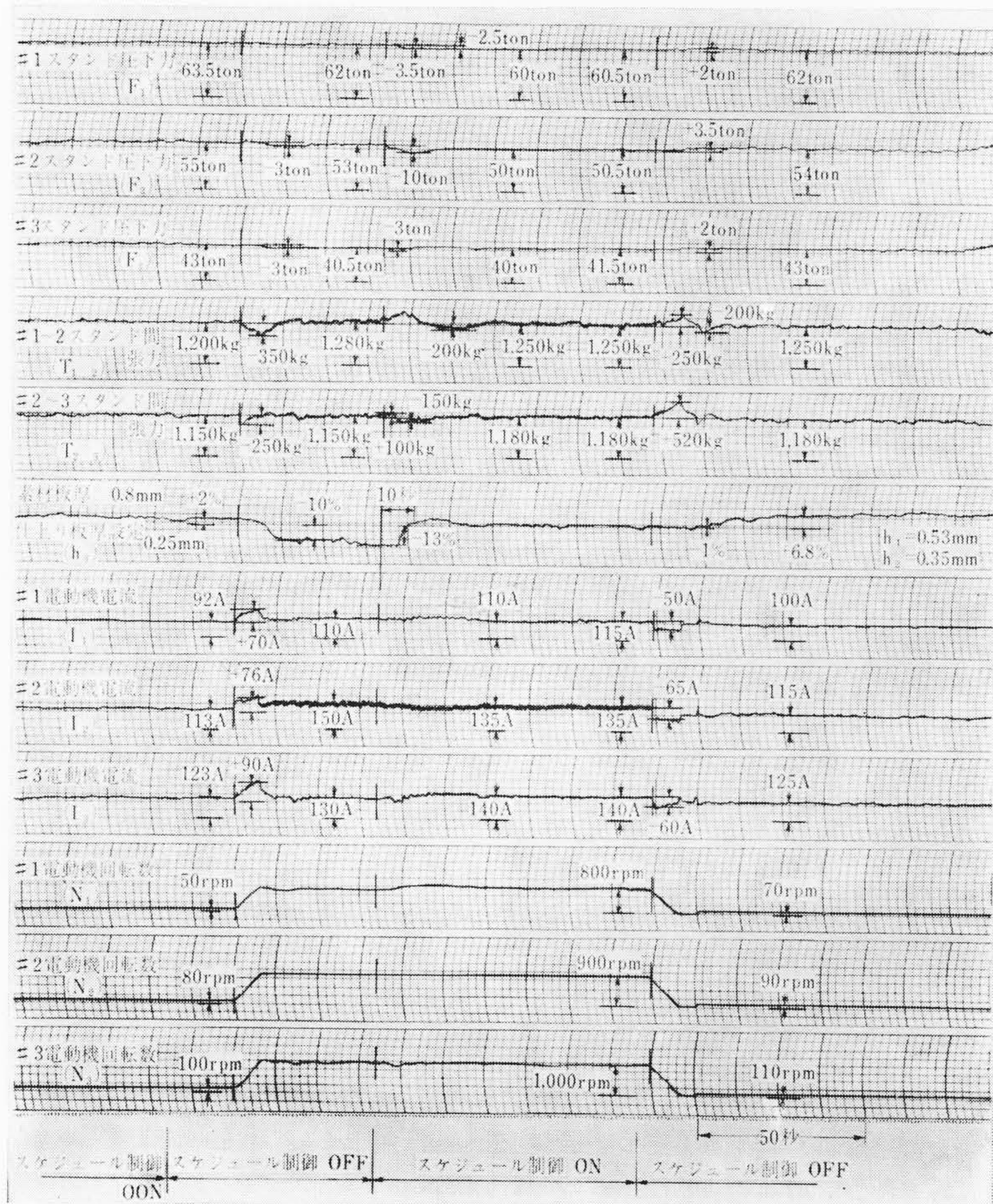
タンデムコールドミルの運転の次の問題は、図5にも見られるように加減速にともなう仕上り板厚変動ならびに張力変動によって代表される圧延状態の変化である。これらの存在は off gage を増大させるばかりでなく、ミスロールにつながるもので、ことに加速時には細心の注意がはらわれなければならない。

圧延速度の変化は次の要因をととして圧延状態を変化させる。

- (1) バックアップロールの軸受油膜の厚み変化
- (2) ロールと材料の摩擦係数の変化
- (3) 材料の変形態の変化
- (4) 圧延馬力および機械的馬力損失の変化

上記要因(1)~(3)は出口板厚を変化させ、(4)は揃速性を乱す。しかし、(4)の影響は実際上あまり顕著ではない。したがって加減速中においても所望の圧延状態を維持するためには、上記要因(1)~(3)による出口板厚の変化を補正するように圧下設定を修正する必要がある。本制御の実施方式の一例としては、図1にS.C.で示すように圧延速度と圧下補正量の関係を代表的な数種の圧延スケジュールについて求めておき、その関数に従って圧下を修正する方法がある。

他の方法としては、加減速中にかぎってスタンド間



素材 0.8mm, 仕上り 0.25mm ロール 130φ×300×300, 120mpm

図5 圧延スケジュール制御の一例

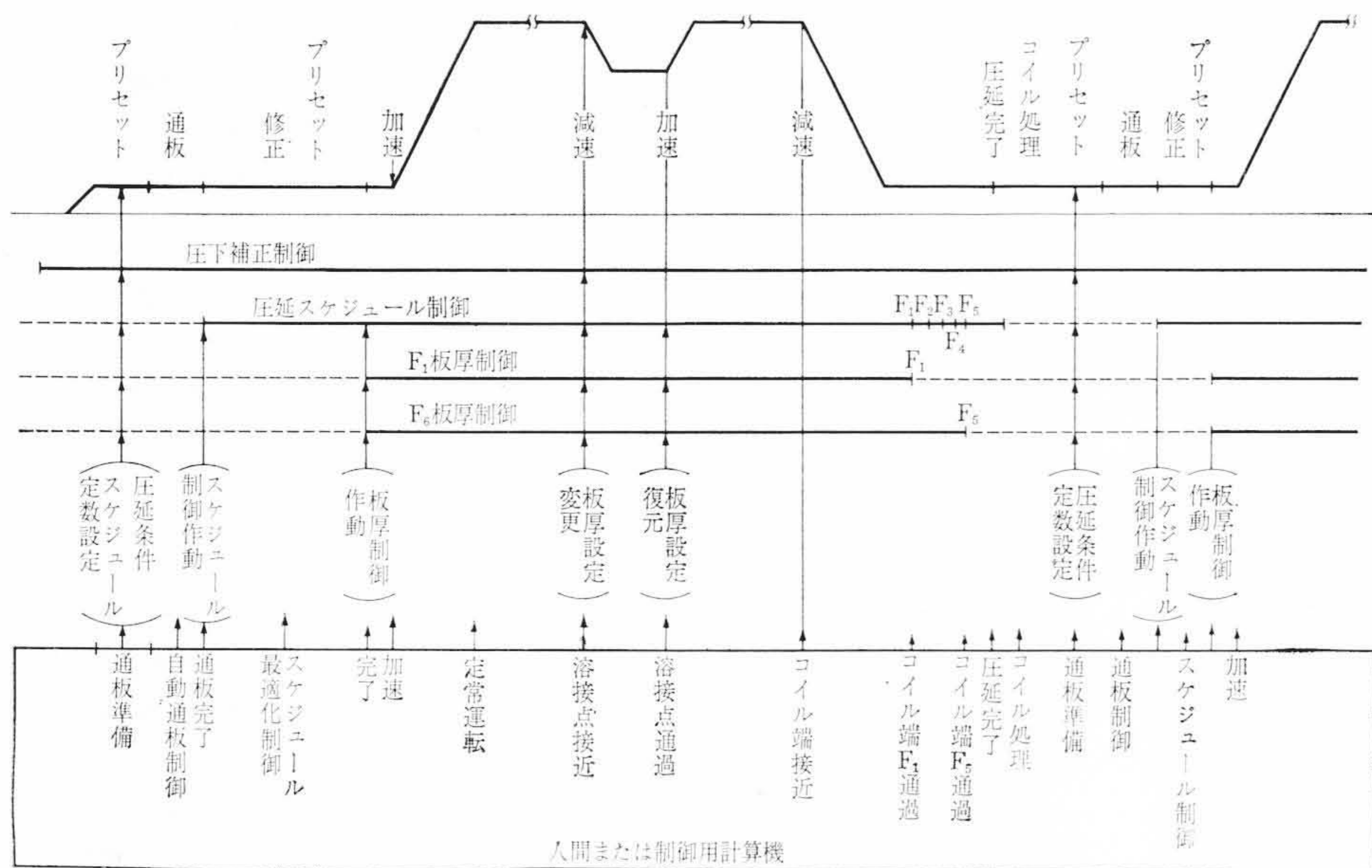


図6 6スタンドタンデムミルの運転制御の一例

張力の制御を関係スタンドの圧下修正によって行なうこともできる。すなわち加減速中において揃速性が乱されないものとすれば、スタンド間張力の変動はすべて出口板厚変動によるからである。

なお、本圧下補正制御は特別な装置を用いなくとも既述の圧延スケジュール制御装置によって（すなわちその板厚制御機能により）自動的に行なわれるのであるが、10秒前後の短い加減速期間中に速応的に圧下補正を行なうには、以上述べた専用の圧下補正装置を置き、圧延スケジュール制御ならびに後述の高精度形自動板厚制御装置の補助として使用することが賢明であると考えられる。

5. 自動板厚制御

既述の圧延スケジュール制御装置も圧下補正装置もともに板厚制御機能を持つが、速応性および精度の点で十分でない。したがって、これらの点ですぐれている自動板厚制御装置、たとえば図1に示すように第1スタンドの圧下調整による出口板厚制御装置ならびに最終スタンド間張力の調整による仕上がり板厚制御装置を用いることが推奨される。本制御装置の原理は現在実用化されているものと同様であるから詳細は省略するが、本装置はすでに述べたように、他の制御装置と協調運転することによって、従来よりいっそうの高性能を発揮するものとなる。

6. 自動運転の制御シーケンスの概略

以上で制御装置の概略について述べたので、ここではこれらの諸装置の総合制御動作、すなわち制御シーケンスの一例を圧延の進行に従って述べる。図6はその概略を示したものである。

図に示すように人間または計算機（以下計算機と呼ぶ）の通板準備の指令により、圧延機の圧下および速度のプリセットが行なわれ、既述の自動運転諸装置には、圧延条件ならびに種々の定数が設定される。ついで通板が行なわれ、その完了によって全スタンドに対する圧延スケジュール制御が作動し、ミル設定のプリセット値を修正して、圧延状態を所望の状態にするのである。

この際、第1スタンドの出口板厚に制限値が存在し、その制限値以上に薄くなった場合には、第1スタンドのみは、直ちにその制限値を目標値とする板厚制御に切り換わり、圧延スケジュール制御の

ループ内から除外される。

このような事態が発生しない場合には、圧延スケジュール制御の完了の時点で、第1スタンドに関しては、圧延スケジュール制御によって決定された出口板厚を目標値とする板厚制御に切り換わり、さきの制御ループから除外される。また最終スタンドに対しても同様に最終スタンド間張力調整（電動機電圧制御）による自動板厚制御装置が作動する。圧延スケジュール制御に付随した最終スタンド間張力制御調整器には不感帯が設けられており、張力が上下限值に達したときのみ制御を行なうよう構成されている。

計算機はこの時点における設定状態を記憶しており、次の設定の参考にする。

こののち加速を行なって定常運転にはいる。この期間においては第1スタンドと最終スタンドでの自動板厚制御と第2～最終スタンドに対する圧延スケジュール制御による板厚制御によって運転される。

つぎに、溶接点接近の指令によりミルを減速すると同時にスケジュール制御装置および板厚制御装置に対する板厚設定値を変更する。したがってこの期間は厚みは厚いけれども一定の厚みの製品をうることができる。つぎに溶接点通過の信号によって、加速を行なうと同時にすべてをよりの状態に復元して圧延を続行する。

つぎにコイル終端接近の指令によって減速を開始し、第1スタンドをストリップがぬけた時点で第1スタンドの板厚制御をoffし、以下順次ストリップがぬけると同時に圧延スケジュール制御ループから除外してゆき、第5スタンドをストリップがぬけた時点ですべての制御が完了する。このコイル端通過時のコイル端板厚補正は残った圧延スケジュール制御によって実行される。

こののちコイル処理と同時に次の圧延のためのミル設定が行なわれる。次の圧延が前のものと同一仕様のものであれば、前のミル設定最適化制御の完了時に記憶した設定をそのまま踏襲すればよい。このような場合には、圧延スケジュール制御による設定最適化制御はきわめて短時間に完了するから通板から加速までの時間を短縮することができる。

このようにアナログ式自動運転装置は、デジタル計算機の導入により最適プリセットの計算、運転の最適化制御、さらに自動通板、自動コイル処理などとともに、タンデムコールドミルの完全自動運転の完成に貢献するものと考えられる。

7. 結 言

以上、タンデムコールドストリップミルの通板後の圧延作業を自動化するために日立製作所日立研究所で開発したアナログ式自動運転装置の概略について、ことにその適用に関しては将来のビジョンをも含めて解説した。

コールドストリップミルは近年目ざましく発展したものの一つであるが、さらに電子計算機の導入により、一大飛躍をとげようとしている。このような情勢下において、本文が多少なりとも参考になれば幸いである。