

川崎製鉄株式会社千葉製鉄所納

タンデムコールドストリップミル用電気設備

Electric Equipment for Tandem Cold Strip Mills (Delivered to the Chiba Iron and Steel Works, Kawasaki Steel Corporation)

西 政 隆* 立 石 貞 夫*
Masataka Nishi Sadao Tateishi
岩 城 秀 夫* 斉 藤 奎 二*
Hideo Iwaki Keiji Saito

内 容 梗 概

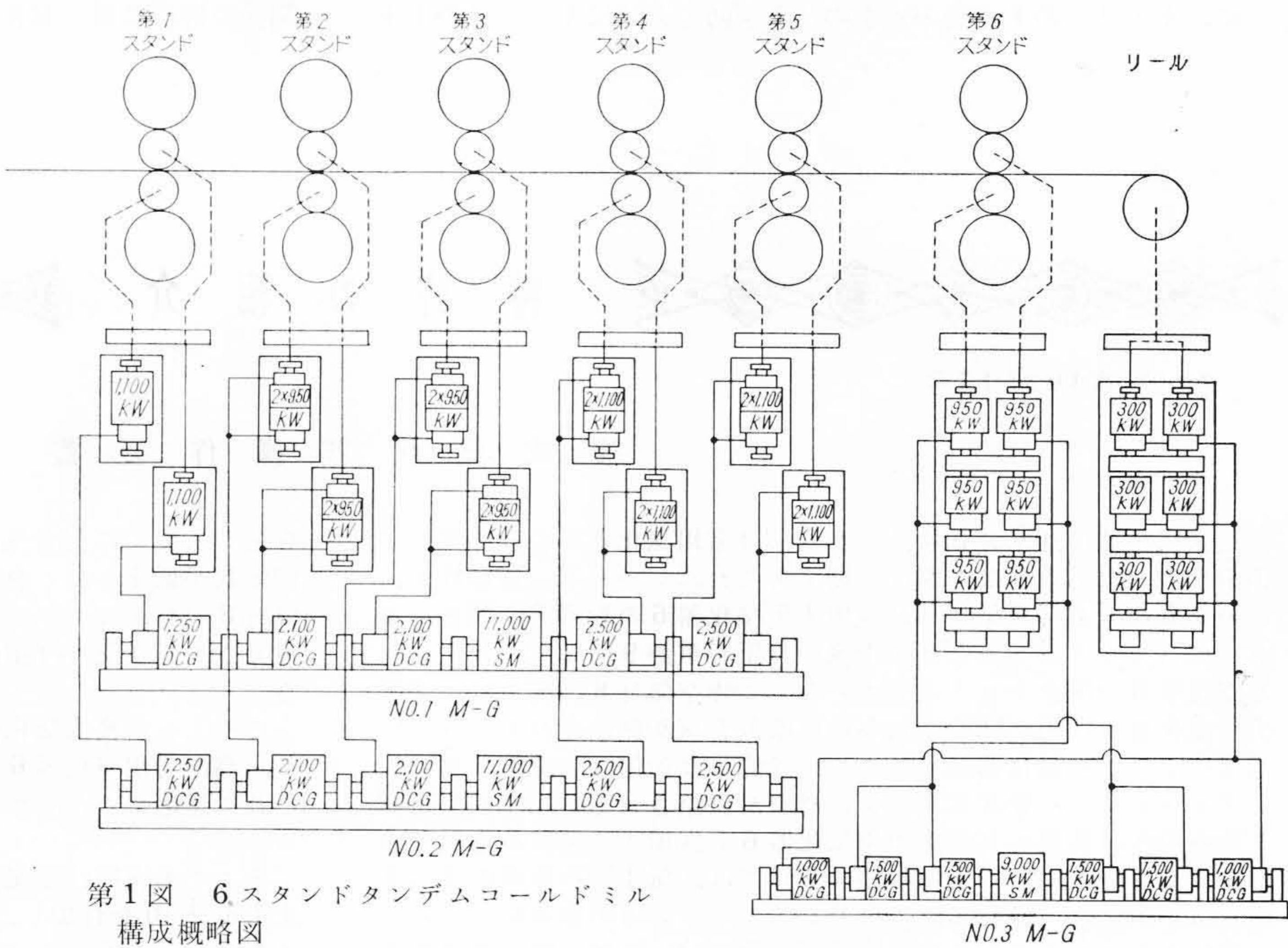
川崎製鉄株式会社千葉製鉄所納世界最大6タンデムコールドストリップミル用電気設備は、主電動機総出力26,100 kW に及ぶ設備で、日立の技術陣の総力をあげて設計製作したものでその回転機の設備は設備のバランス、保守点検の便を考えGD²の軽減、負荷—速度特性の改善、過負荷耐量の増大などに意をつくし制御装置もその性能をあげるため大形の磁気増幅器を使用して制御系を簡潔にし、かつ良好な性能を得るようにした結果、試圧より直ちに営業運転に入ることができた。ここにこれら電気品の詳細を紹介する。

1. 緒 言

今回、川崎製鉄株式会社千葉製鉄所にわが国最大を誇る 1,420×1,420 mm, 585 mm 6 スタンドタンデムコールドミル用電気品を納入した。機械設備はアメリカ MESTA 社と三菱造船株式会社の合作によるもの、電気品はすべて日立製作所にて製作されたものである。

本設備は電動機総出力 26,100 kW、最終圧延速度 2,160 m/min でわが国最大の設備である。本設備の概略配置を第1図にまた電気品を第1表に示す。

本設備の設計製作は日立技術の総力を結集したもので、圧延機の圧延特性の解析をもとにし、高品質の成品を生産するため電気品に要求される特性を解析し、これにもとづき電動機の特性の改善、特に GD² の低減による加減速特性の改善、自動板厚制御装置の採用など各方面から慎重な考慮を払った。ここにその概要を紹介する。



第1図 6. スタンドタンデムコールドミル構成概略図

第1表 電 気 品 一 覧 表

分類	用 途	電 動 機 仕 様		員数	電 源	制 御 方 式
主 ロ ー ル	No. 1 スタンド	1,100kW	125/375rpm 600V	2	2-1,250kW DCG 600V	定電圧制御+IR補償
	No. 2 スタンド	2×950kW	212/520rpm 600V	2	2-2,100kW DCG 600V	定電圧制御+IR補償
	No. 3 スタンド	2×950kW	212/520rpm 600V	2	2-2,100kW DCG 600V	定電圧制御+IR補償
	No. 4 スタンド	2×1,100kW	255/645rpm 600V	2	2-2,500kW DCG 600V	定電圧制御+IR補償
	No. 5 スタンド	2×1,100kW	255/645rpm 600V	2	2-2,500kW DCG 600V	定電圧制御+IR補償
	No. 6 スタンド	3×950kW	300/635rpm 600V	2	2-2×1,500kW DCG 600V	定電圧制御+IR補償
	リール	3×300kW	196/1,000rpm 600V	2	2-1,100kW DCG 600V	定出力制御
可 変 電 圧 補 機	No.1 スタンド圧下	75kW	485/1,030rpm 220V	2		定電圧制御
	No.2 スタンド圧下	75kW	485/1,030rpm 220V	2		定電圧制御
	No.3 スタンド圧下	55kW	515/1,300rpm 220V	2		定電圧制御
	No.4 スタンド圧下	55kW	515/1,300rpm 220V	2		定電圧制御
	No.5 スタンド圧下	55kW	515/1,300rpm 220V	2		定電圧制御
	No.6 スタンド圧下	55kW	515/1,300rpm 220V	2		定電圧制御
	ストリップ給油	1.1kW	1,150/3,600rpm 220V	5		定速度制御
定 電 圧 補 機	入口コイルコンベヤ	5.5kW	900rpm 220V	1	シ リ コ ン	NRDB+MAG.BR
	コイルセンタリング	5.5kW	900rpm 220V	1	シ リ コ ン	RDB+MAG.BR
	コイルポジショナ	11kW	725rpm 220V	1	シ リ コ ン	RDB+MAG.BR
	入口ピンチロール	11kW	725/1,800rpm 220V	1	シ リ コ ン	NRDB+MAG.BR
	出口コイルコンベヤ	5.5kW	900rpm 220V	1	シ リ コ ン	NRDB+MAG.BR

* 日立製作所日立工場

重量	20 t
成品コイル	厚み 0.1~1.0 mm
	内径 420 または 508 mm
	外径 最大 2,140 mm
圧延速度	最大 2,160 m/min

機械およびこれを駆動する主電動機ならびに主発電機の構成を第1図に示す。主ロールはすべて上下ワークロールを別個に駆動する双電動機駆動方式であり、またリールも増速機内における機械的結合はあるがやはり双駆動方式である。

各電動機は第1スタンドを除き多重電機子形であり、第2~5スタンドは二重電機子形、第6スタンドおよびリールは三重電機子形として双電動機軸間距離の制限に応ずるとともに GD^2 の低減による性能向上がはかられている。

電動機のレオナード電源は3セットからなり、No. 1, No. 2 セットは同一の構成で 11,000 kW、同期電動機駆動により 1~5 スタンド電動機に給電し、No. 3 セットは 9,000 kW 同期電動機駆動で 6 スタンドおよびリール電動機に給電している。

タンデムコールドミルの駆動電気品に課せられる速度制御その他の諸性能をしらべるために日立製作所では多数スタンドをもつタンデムミル全体の圧延運転の動的関係につき理論的並びに実験ミルによる研究を行ってきたが、その結果はこの最高速大容量ミル電気品の設計に十分活用されている。以下順を追ってその概要を述べることにする。

本体の設計製作に先だって保守の便および設備全体のバランスを考えた外観につき各種モデルによる検討が行なわれた。第2図は現地稼働中の主電動機群であるが整流子側に設けた十分なスペースをもったカバー、特に並置双駆動方式の第6スタンドおよびリールにおける横方向にまたがる一体カバーは整流子の保守点検を容易にするための構成にほかならない。

制御装置は簡潔にして良好な性能を得よう努めた。各スタンドの電圧制御系に対しては特にその点に留意し、大容量の磁気増幅器を使用し、制御要素を一段減らして時定数を小さくし、目標とする制御性能を得ることができた。そのため加減速は円滑となり、安定した運転ができた。保守点検の容易さ、事故などの処置の迅速化を計るとともに集中監視方式を採用し、各所にインターホーン信号装置を設けた。また絞り込み事故に際して電動機を保護するため準高速度遮断器を設けるなど細心の注意を払った。

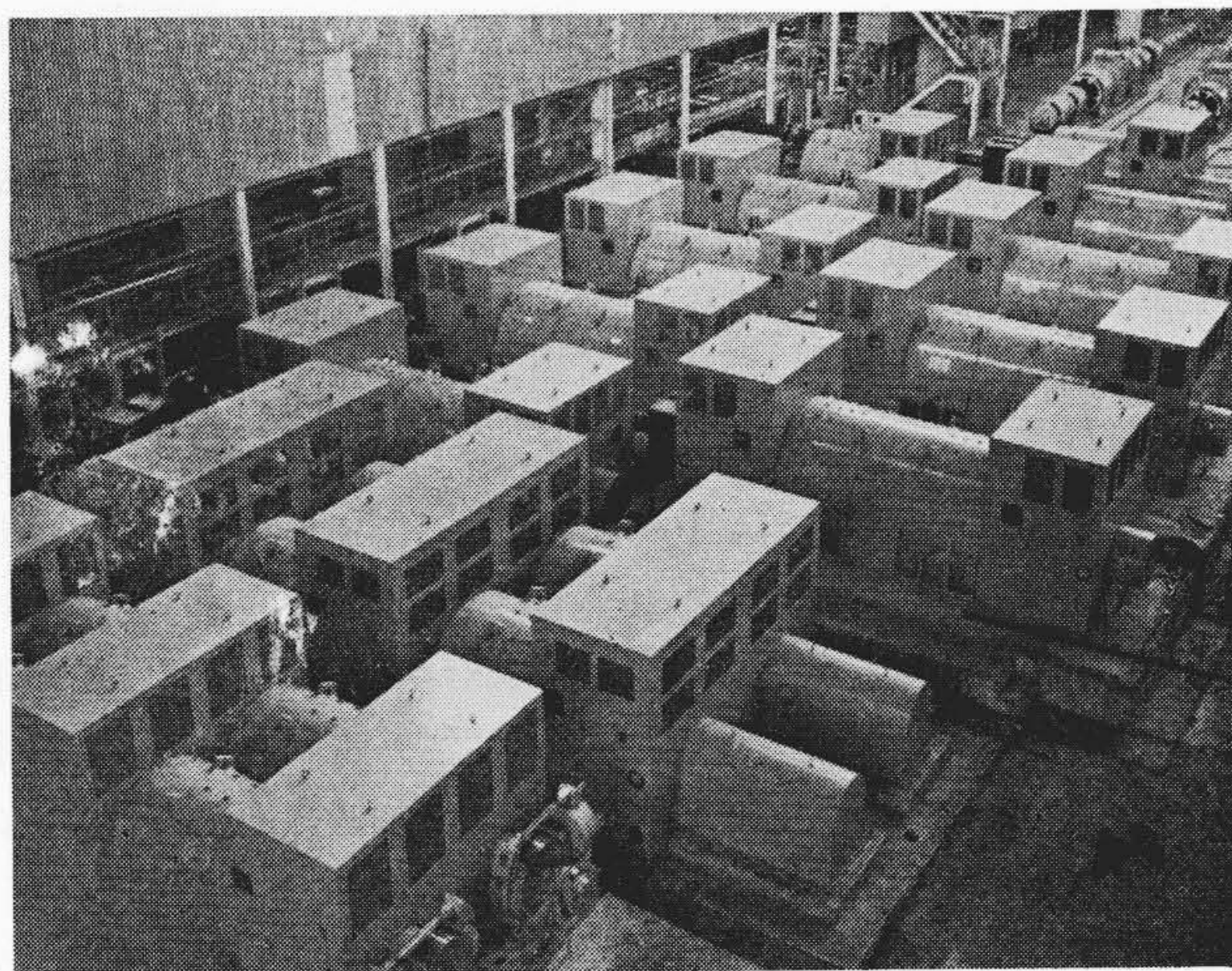
また高品質の鋼材圧延を得るため自動板厚制御装置を採用している。

3. コールドタンデムミルの特性

日立製作所においては数年前試験用3タンデムコールドミルを研究所内に設置し、圧延理論の解明、自動板厚制御装置の開発実験を行なって来た。その成果としてすでに可逆冷間圧延機、ゼンジマミル、タンデムホットストリップミル、アルミフォイルミルなどの自動板厚制御装置を数基製作納入している。また電子計算機による圧延特性の解析、制御特性の解析などとあいまって、タンデムコールドミルの圧延特性から、電気設備に要求される特性を解明してきたのでここにその一部を紹介する。

タンデムコールドミル用電気設備の制御の目的は、高品質の鋼帯を能率的に生産することで、特に均一な厚みのものを生産することであるが、この板厚に対する電動機と制御装置の特性を圧延速度と圧下の両面から考えてみる。

いま仮りに n 番目のスタンドの速度を増加すると、この n スタンドの前面張力は、その速度変化割合の約 6~10 倍の張力変動を生ずる。この前面張力 T_n は $n+1$ スタンドの後面張力でもあるから、こ



第2図 主電動機群

の張力の減少は $n+1$ スタンドの出口板厚 $h_{(n+1)0}$ を増大する原因になる。この $h_{(n+1)0}$ の増大は $(n+1)$ スタンドより $(n+2)$ スタンドまで鋼帯が走る時間 $t_{(n+1)}$ 後 $(n+2)$ スタンドの入口板厚 $h_{(n+1)i}$ の変動となって表われ、後面張力の減少による増大分と $h_{(n+1)0}$ の増大がスタンドの弾性により表われる増大分の二つが重なってほとんど減衰することなく板厚変動を出口に伝播してゆくことになる。

さらに、 n スタンドの速度を増加することにより、 n スタンドの前面張力の減少は直接 n スタンドの出口板厚 h_{n0} の増加となり、 t_n 時間後 $(n+1)$ スタンドに達し、これがはねかえって T_n の減少となって、 n スタンドの速度増加による減少と重なることになる。

最初のスタンドを除く他のスタンドの速度を増加すると、その後面張力 $T_{(n-1)}$ は増大する。これは上記の前面張力と同様に考えられるが極性反対で、一つだけスタンドを余計に通るため t_n 時間遅れて、前面張力の減少による板厚変動を打消すようにはたらくことになる。また一方後面張力の増加は $(n-1)$ スタンドの前面張力の増加とも考えられるから、 n スタンドの速度上昇による h_{n0} の増加に原因する張力の減少を $t_{(n-1)}$ 時間後に打消してゆくことになる。したがって最初のスタンド以外のスタンドの速度を上昇させると後面張力が速度上昇割合の約 6~10 倍の割合だけ張力の伝達時定数 $\tau_{(n-1)}$ をもって増大し、その大きさは以後あまり変わらない。一方前面張力も τ_n なる時定数で速度上昇割合の約 6~10 倍程度に変わるが、後面側で生じた板厚変動が t_n 時間後に伝播してきて、その変動分を打消してしまうということになる。すなわち最初のスタンド以外の速度を変動しても上述のような自動板張力減少効果により最終板厚変動にはあまりきいてこない。

最初のスタンドではその後面張力が 0 であるので後面張力の打消し作用がないので最終板厚変動にきいてくる。

最終スタンドとリールの間の張力はリールでは塑性変形がないので、最終スタンドの速度上昇変動は非常に大きな張力変動を生ずることになり、速度上昇割合の約 100 倍近い張力変動になる。これにより板厚は約 3 倍程度増大する。また後面側に伝播し、後面張力は速度上昇割合の約 20 倍に張力増大し、このため結果として製品板厚は速度変動割合の約 1~2 倍と減少する。またさらに他からの伝播を考慮すると製品板厚は約 1~2 倍の変動割合となる。しかし板厚変動は速度と同時に生ずるから製品の精度を上げるにはリールの定張力制御は絶対必要であるといえる。

以上述べたことを要約すると、最初のスタンドで速度を変化するとその変動割合に等しい最終板厚変動が生ずる。また最終スタンドで速度を変えた場合にはリールの定張力制御が完全な場合には製品

板厚はほぼ速度変動割合と等しい変動を生ずる。中間スタンドにおける速度変動はそのスタンドの後面張力の変動を生ずるのみで、あとの現象は相殺されてそれほど最終板厚には表われない。また製品板厚の制御には最初と最終のスタンドの速度が考えられるが、レスポンスと他への影響を考えると最終スタンドの速度が板厚制御には好ましいといえる。

タンデムコールドミルの加減速時のスタンド間の速度差を考えると通板速度は最高速度の約 1/10 であるから、通板時のスタンド間の速度差は最高運転速度誤差の 10 倍にもなり板厚変動にも当然同じ程度の影響を与えるから、したがってタンデムコールドミルの電動機には、速度変動率がきわめて小さいこと、電動機速度変動率はいかなる速度においてもほぼ等しいこと、加減速電流が小さいこと、加速遅れが極力小さいことなどが要求される。

次に圧下の関係を調べてみると、いまあるスタンドの圧下操作を行なった場合には前面張力は中立点の位置から考え、それほど変動しないが、後面張力は大きな影響を受け、その割合は前面張力の約 10 倍位である。この後面張力の変動の伝播は前述のとおりである。圧下操作が速度変化の場合と異なる点は、速度変動は前面張力をまず変動させるだけであるが、これに対し圧下操作は直接そのスタンドの出口板厚が変わるのである。この板厚変動は t_n 時間後、次のスタンドに到達し、その後面張力すなわち圧下「上げ」操作をしたスタンドの前面張力を減少させる。また板厚変動はスタンドによりそれほど減衰することなしに鋼帯の圧延速度で伝播してゆく。このことを合わせて考えてみると、今 n スタンドの圧下を上げると、その後面張力は増大し、そのため n スタンドの出口厚みは減少する。後面張力 T_{n-1} は $(n-1)$ スタンドの前面張力であるから、その変動は $n-1$ スタンドの出口板厚 $h_{(n-1)_0}$ をも減少せしめ、 $h_{(n-1)_0}$ は時間 $t_{(n-1)}$ 後には n スタンドに伝播されて、 h_{n0} をさらに減少せしめる。一方圧下を上げると板厚 h_{n0} は増加する。この両者は現象は反対方向で大きさはほぼ等しいので $t_{(n-1)}$ 時間後には互に打消し合って、圧下を変えた影響は単に後面張力のみの変動にとどまる。しかし最初のスタンドでは後面張力がないので、打消し作用がなく、そのまま出口側に伝播される。したがって最初のスタンドの圧下調整は板厚制御には有効であるといえる。したがって板厚制御は一般に No. 1 スタンドの圧下調整と No. 6 スタンドの速度調整による方法が結論として最も有効であり本設備に採用された自動板厚制御もこの方式によっている。

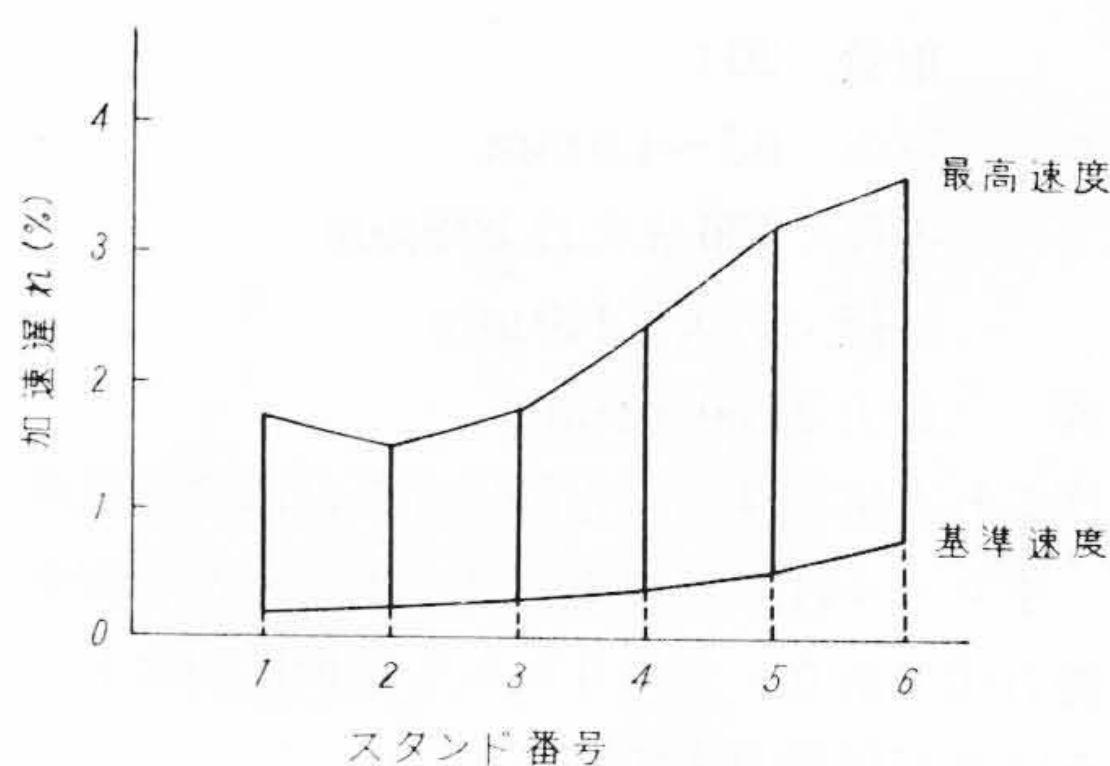
4. 回 転 機 設 備

4.1 主 電 動 機

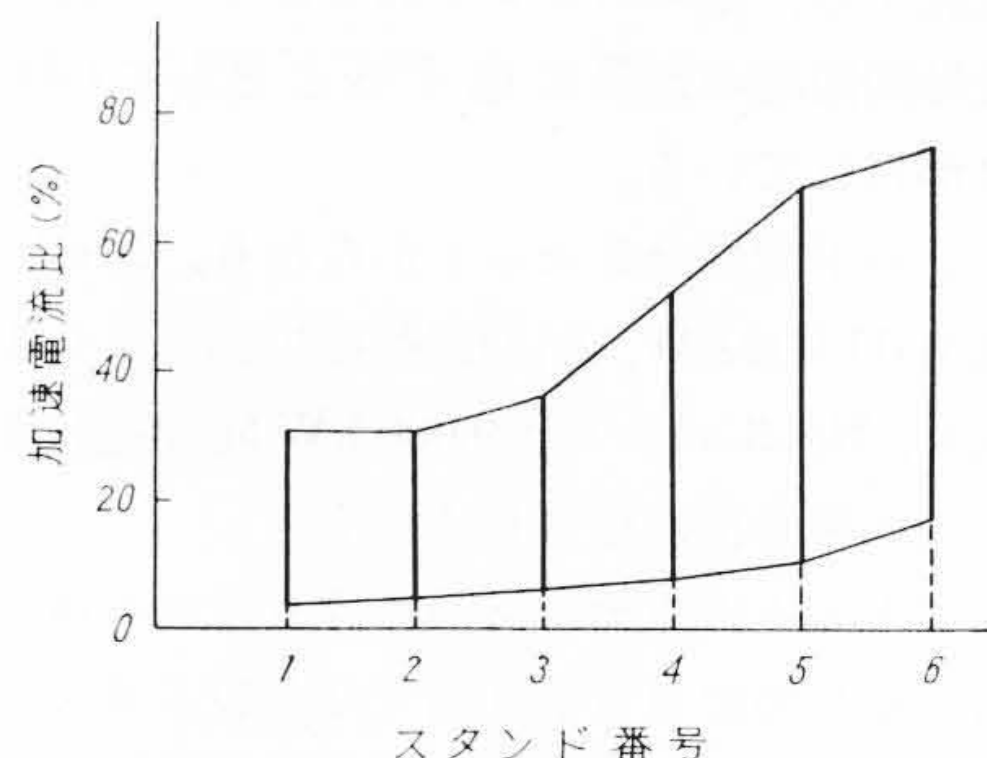
各スタンドロールおよびリール駆動電動機の仕様は第 1 表に示すとおりである。第 2～5 スタンド電動機の二重電機子形においては軸受方式として 3 軸受とするか 2 軸受とするかにつき種々検討されたが、電動機全長の短縮、据付分解の容易、軸受数の減少による保守の便などの利点より 2 軸受方式を採用した。

第 6 スタンド電動機では並置双駆動による軸間距離の制限から継鉄外径したがって電機子直径は特に小さく設計する必要があり、その解決方法として電機子鉄心には特別寸法のケイ素鋼板を用いた改良構造を採用した。すなわち電機子鉄板を一枚物とすることによりスパイダは軸に羽根状のアームを溶接して取り付けただのダブルテールを一切設けないようにしたため構造が簡略となり通風を有効にして寸法切詰めを達成することができた。

リール電動機は第 6 スタンドと同様並置双駆動方式で特に増速機の 2 駆動軸間距離の制約より三重電機子方式とするとともに、各電機子は直径に比較して軸長が非常に長いいわゆるペンシル形となったが、F 種絶縁の採用により温度上昇を解決し、また 5.1:1 という



第 3 図 各スタンドの加速遅れ



第 4 図 各スタンドの加速電流比

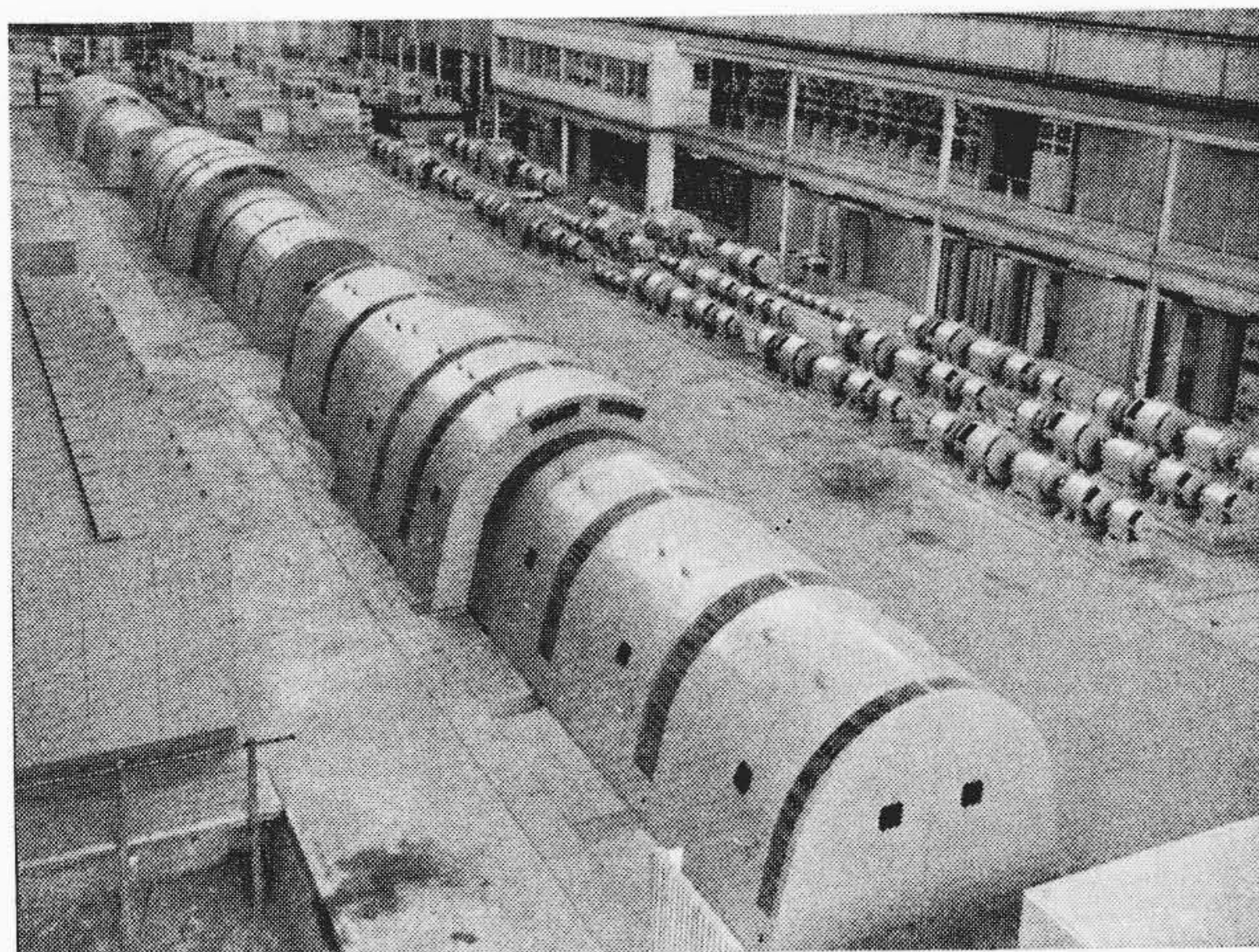
大きな界磁制御範囲に対して速度特性、整流なども十分良好な結果を得た。

コールドタンデムミル駆動上の基本問題の一つは加減速中に発生するオフゲージを最小限に押えることであり、自動板厚制御を別にするとスタンド間張力変動および加減速時間を最小限に押えることが必要である。前者に対しては各スタンド電動機の加速遅れが関係しており、これを一定にすればよいが、電動機の定格、機械側定数圧延スケジュールなどの関係より一般にはこの値を一定にすることは不可能な場合が多く、このため一般に電動機の電機子電圧降下補償制御が採用されている。本設備もこの補償が行われているが、このためには主電動機の負荷—速度特性が界磁制御範囲について「電機子回路の純抵抗による変動率と同一であること、つまり電機子反作用の直軸分による主極の増磁または減磁がないこと」が要求される。このため補償巻線による電機子反作用の打消しを完全にして主極飽和のひずみによる直軸減磁効果をなくし、かつかつ補極磁束分布および強さを適切にして整流曲線よりの直軸起磁力を最小限に押えることにより理想的な速度特性を得ることができた。第 3 図は無制御時における電動機および機械の常数を総合した加速遅れを示し、加速時間は最高速度まで 15 秒の場合である。

加減速時間については本設備のような高速ミルでは特に出口側スタンドでは機械側の GD^2 が電動機の数倍に達し、このため加減速電流もまた機械側の値によって左右されているが、電動機過負荷耐量の範囲内で可能な限り短時間の加減速を行なうように計画されている。第 4 図は 15 秒加速時における加速電流比を各スタンドについて示したものである。

コールドタンデムミル用電動機におけるもう一つの問題は被圧延材の絞り込みなどに対処して過負荷耐量を十分考慮しておくべきことである。このような場合には電動機軸に対しては衝撃的過負荷となるので軸のねじと強度を大きくするとともに、電氣的にも主回路保護遮断器によって保護できない瞬時過大電流に対しては電動機自体で十分耐えうるようにする必要があり、本設備ではこれら機械的電氣的耐力を十分大きく設計している。また整流子面のカーボン粉を除きかつ冷却を有効に行なうために通風の一部を分岐して導き整流子面へ冷気を高速で吹きつけるようにした。

スタンド電動機のパフォーマンスは NEMA 規格により絶縁は B 種、温度上



第5図 主電動発電機群

昇限度は40℃であり、またリール電動機は前述のようにF種を採用し、温度上昇限度は60℃である。

4.2 主電動発電機

構成はさきに示した第1図のとおりであり、性能は発電機、同期電動機ともに、スタンド電動機と同様 NEMA 規格に準拠して製作された。

各発電機の界磁はいずれも差動複巻界磁を有する励磁機により速応励磁されており、後述のように電圧制御応答はきわめて高く設計されている。さらに自動板厚制御に直接関係する第6スタンドおよびリール用発電機では電圧制御応答を高めかつ過渡整流改善のために積層鉄心構造が採用されている。過負荷、せん絡などに対する考慮はスタンド電動機と同じである。第5図は主電動機発電機群を示す。

5. 制御装置

前述のようにコールドタンデムミルの電気設備の制御の目的は高品質の成品を能率よく生産することであるが、それがためには各スタンドの速度は加減速中においても一定の関係を保持するよう、各電動機には特殊巻線を使用することにより電動機自身に直線的な速度-負荷特性を与えると同時に、各発電機には定電圧制御とIR降下保償を加え、かつ制御性能の向上のためにできる限り系の時間遅れを少なくするよう400～大形磁気増幅器を使用している。

また、各電動機は加減速中の時間遅れを少なくするため二～三重電機子を採用し、GD²を通減するとともに双電機子駆動方式を採用

しているため、上下ロールに負荷平衡装置を加えている。

リールは加減速中も円滑な張力調整ができるよう六重電機子を採用するとともに、日立製作所にて従来センジマミル用として採用し優秀な成績を得ている高精度の張力制御を加えている。

また、高品質の鋼帯を圧延するため No. 1 スタンドの圧下調整と No. 6 スタンドの張力調整による自動板厚制御装置を設備している。以下制御装置について述べる。

5.1 基準電源

本設備の基準電源は100 kW 定電圧励磁機(CPE), 10 kW 基準励磁機(REX), 125 kW 基準発電機(BEX) および100 kVA 400～高周波発電機2台より成りたっている。

CPEは磁気増幅器のバイアスおよび速度基準とするので常に一定電圧を発生する必要あり、そのため、磁気増幅器2段による定電圧制御を加えている。HFG も同様定電圧制御を加えている。

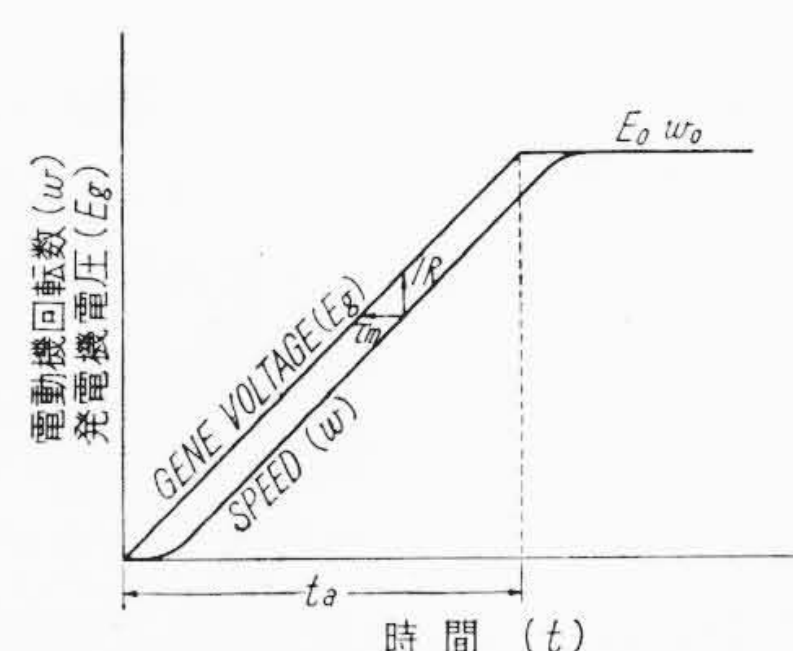
スタンド速度基準は第6図に示すように電動抵抗器70Sにより与えられ、起動時はREXおよびBEXは0ボルトで、起動するに従い70Sからの指令により直線的に電圧を発生する。この電圧が電圧制御の指令となる。また70Sは加減速時間をおおのこのスケジュールで許せる範囲で短縮するため、ワードレオナードにより駆動し、スケジュールの指令はNo. 5 スタンドの速度設定電動抵抗器70M 5FRより与えている。REXは電圧の指令で厳密性を必要とするが、BEXは電圧制御のバイアス的な働きであるので、上昇度が若干ことなっても自動電圧制御系により補正されるので厳密性はあまり要求されない。

5.2 電圧制御

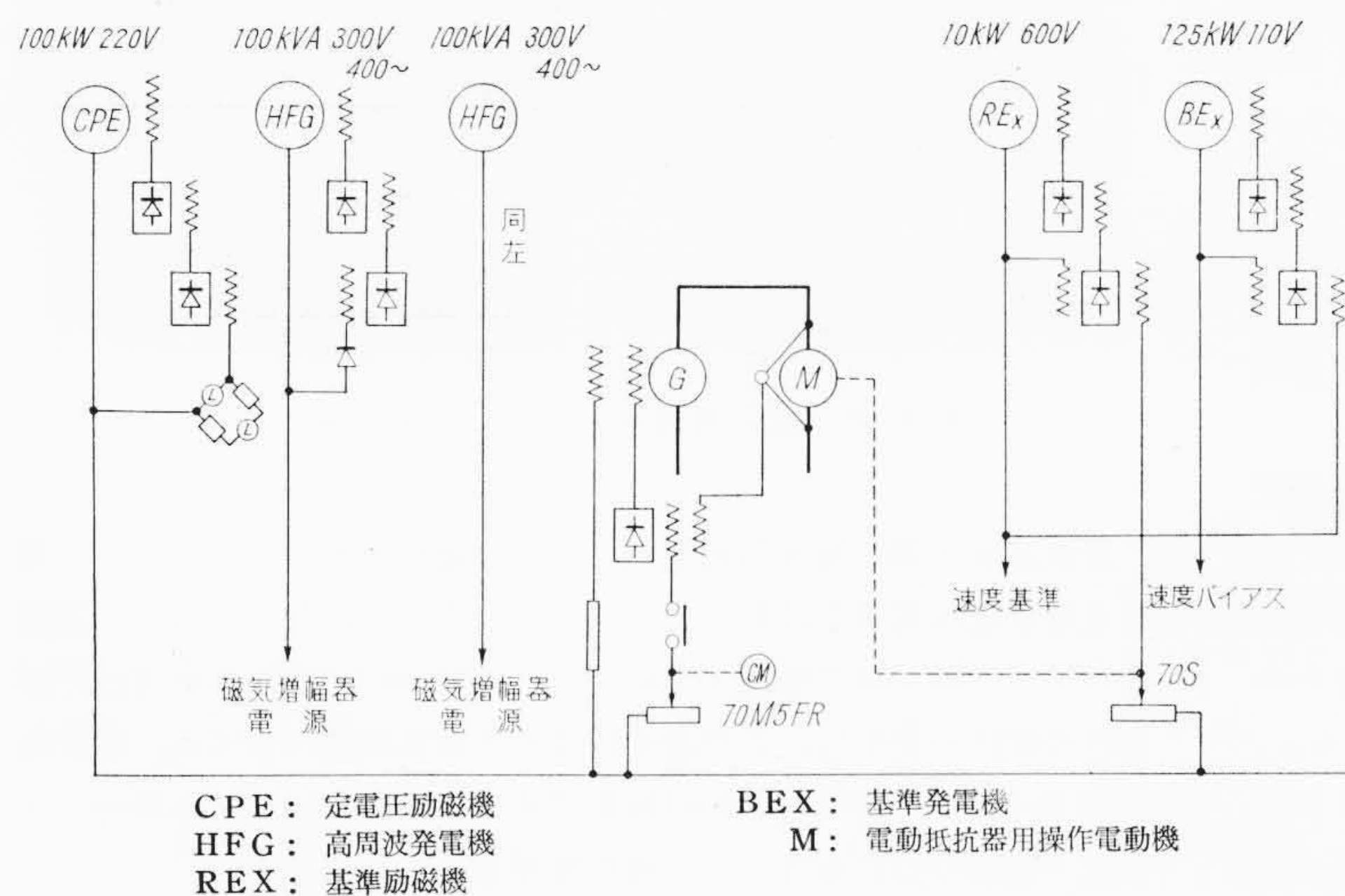
各電動機は速度協調のため、前述のように電動機は直線的負荷特性を得るよう考慮されるとともに、各発電機には定電圧制御とIR降下補償を加えている。古い時代は圧延機および電動機の慣性率を各スタンドにおいて平衡するようにし、かつ加減速時の電動機のIR降下を等しくするよう、各スタンドには同一電動機を使用した。近年の高速大容量の圧延機においては各スタンドの要求する容量並びに速度の電動機を用いるようになり、GD², IR降下も各スタンドでことになってきた。そのため加減速中の速度調整のためには各スタンドの加速に要するトルクの電動機定格トルクに対する比と、各電動機のIR降下と定格電圧に対する比との積を一定にすることにより、その目的を達している。すなわち電動機は速度制御においては各電動機の加速トルクの圧延負荷トルクに対する比に応じて電動機のIR降下を適当に補償し、速度協調するよう制御している。

いま電圧を直線的に上昇したときの速度の遅れを考えてみる。

- E_g : 発電機誘起起電力 (V)
- E_g' : 発電機電圧の上昇率 (V/s)
- R : 主回路の全抵抗 (Ω)
- ω : 電動機の回転数 (rad/s)
- T : 電動機のトルク (kg-m)
- $\xi\phi$: 電動機単位回転数あたりの逆起電力 (V·s)



第7図 直流電動機の加速遅れ



第6図 基準電源部概略結線図

τ_m : 電動機の機械的時定数 (s)

とすると発電機電圧が直線的に上昇した場合、電動機
の速度は

$$\omega = \frac{1}{\xi \phi} \{E_g - E_g' \tau_m (1 - e^{-t/\tau_m})\}$$

となり、第 7 図の関係になる。すなわち速度は電圧より
も τ_m だけ時間が遅れて上昇する。また定格電流 I_0 に対
する加速電流 I_{acc} の比は

$$\frac{I_{acc}}{I_0} = \frac{\omega^2 \Theta}{E_0 I_0 t_a}$$

$$\Theta = \frac{GD^2}{4} \text{ (kg-m}^2\text{)}$$

E_0 : 電動機の定格電圧 (V)

t_a : 加速時間 (s)

であり、これに定格電流における電圧降下との比は

$$\frac{I_{acc}}{I_0} \cdot \frac{I_0 R}{E_0} = \frac{\omega^2 \Theta}{E_0 I_0 t_a} \cdot \frac{I_0 R}{E_0} = \tau_m / t_a$$

となり、この値を一定に押えるということは加速遅れ、
すなわち機械的時定数 τ_m が一定となり、各スタンドの
加速遅れが一定になり、スタンド間の速度協調ができる
ということになる。

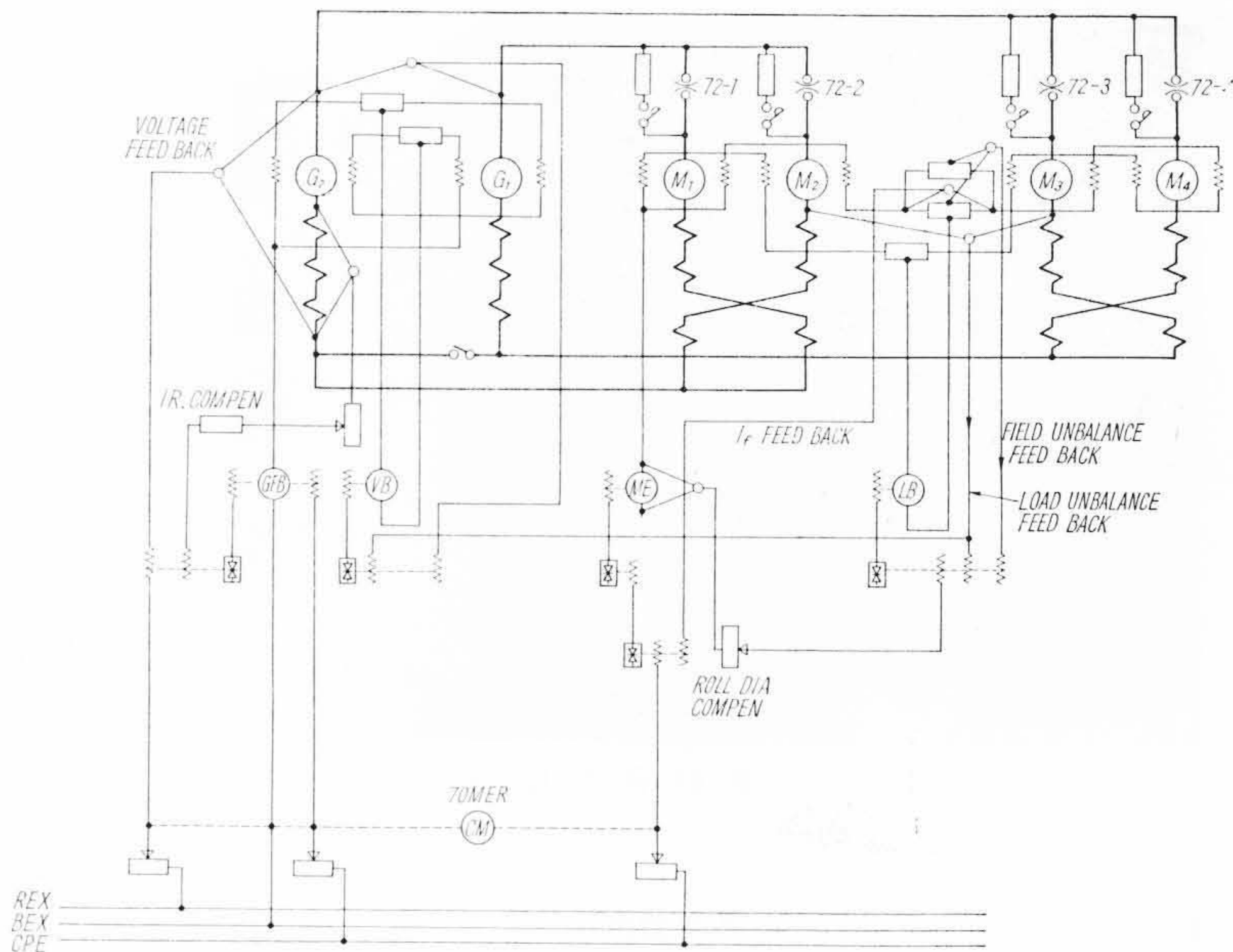
この関係制御を行なうために発電機には定電圧制御と
IR 降下補償を加えているが、実際には加速指令に対し
発電機電圧は制御系の遅れのため若干遅れる。また負荷
変動に対しても速やかに電圧を回復する必要があるの
で定電圧制御系は高い応答度を必要とする。そのため本
設備においては系の時定数を極力小さくし、かつ高い増
幅度を得るため 400 大形磁気増幅器を使用するととも
に、制御要素を極力少なくするため磁気増幅器 1 段、界
磁昇圧機 1 段とした。

従来タンデムコールドミルに採用されている制御系に
は、全回転機式から全磁気増幅器式まで種々あり（最近
は制御シリコン整流器使用のものも現われている）、そ
れぞれ特長を備えているが、本設備に採用したような
磁気増幅器 1 段、回転機 1 段のものと、回転機の代り
に磁気増幅器を用い、直接発電機を励磁する全磁気
増幅器式のものとは、その制御性能は大差ない⁽¹⁾。し
かしブッシュプル接続の場合には回転機に比し、磁気
増幅器は大形になるので、本設備では前者を採用した。
第 8 図は一つのスタンドの制御回路を、第 9 図はその
電圧制御系のブロック線図を示したものである。

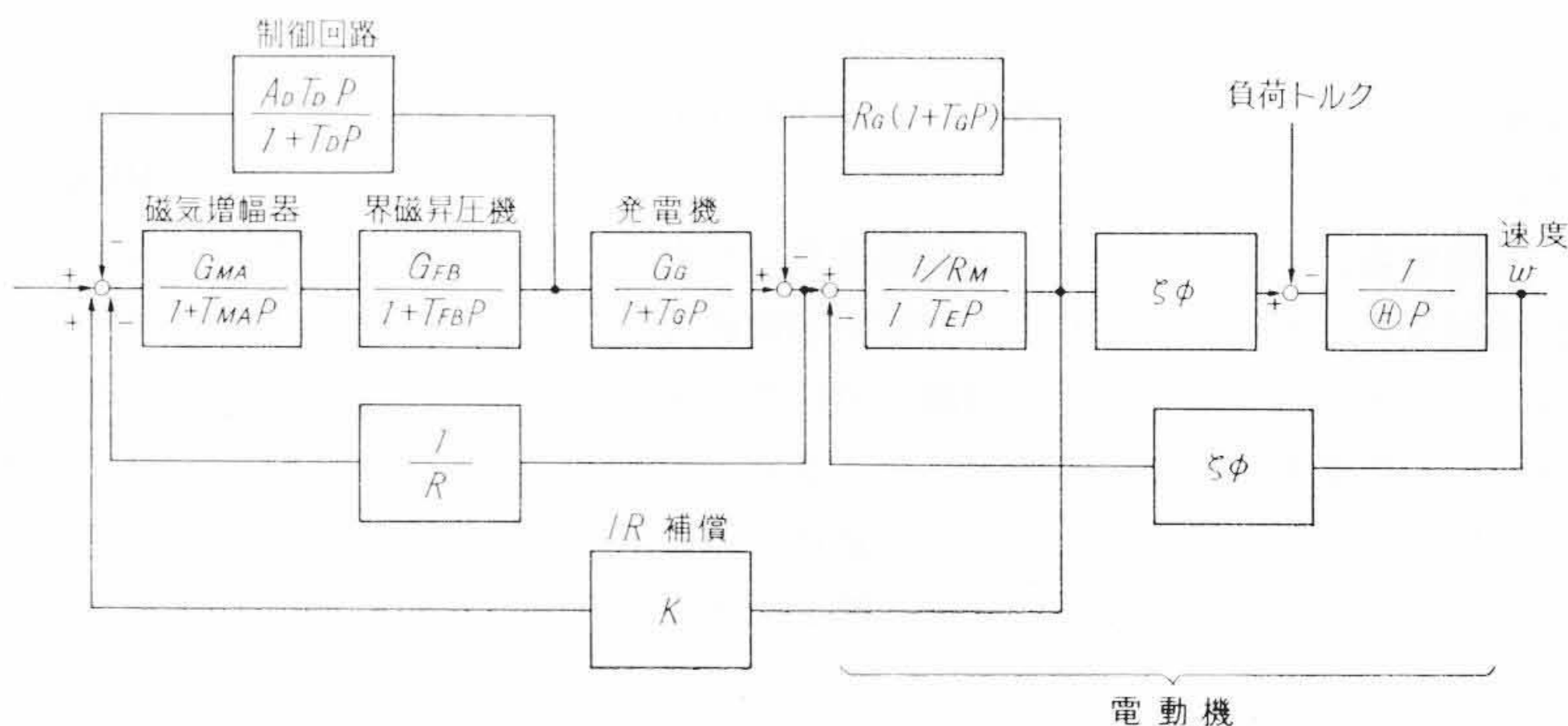
電動機の界磁は励磁機と磁気増幅器によって界磁電
流一定制御を加えている。界磁電流検出には温度特性
を特に考慮した設計としているので時間変化はほとん
ど認められない。電動機界磁はあらかじめ圧延スケ
ジュールによって設定し、発電機電圧により加減速制
御を行なっている。発電機の界磁は励磁機および磁気
増幅器により制御されている。すなわち REX から
の電圧信号により界磁抵抗器 70-MFR により分圧さ
れた指令と、発電機電圧および IR 降下量相当の帰還
量とが比較されている。

冷間圧延機の電気制御に関し、その制御性能を比較
するのに発電機が定格電圧の 1/2 の電圧を発生してい
る状態において、基準電圧に定格電圧の 4% の変化を
与えたときの発電機電圧の応答時間で表わすことが行
なわれているが、本装置においては 0.09 秒というきわ
めてすぐれた値を示している。第 10 図はそのオシロ
グラムである。

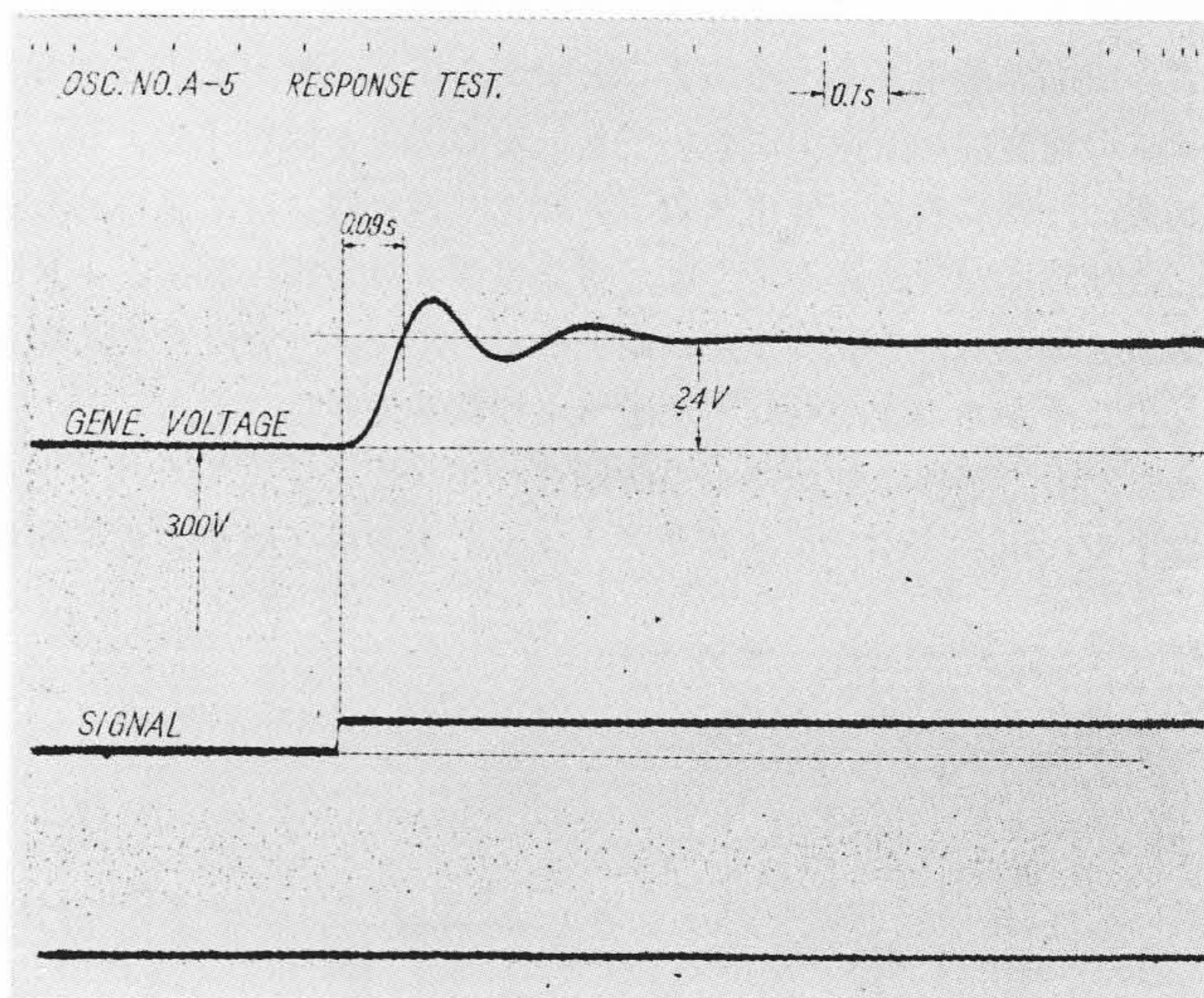
第 11 図は 4~6 スタンドの加減速オシログラムで、
スタンド相互間の電圧は起動の際 0.25% の差を示し、
速度においても 0.3% の速度差できわめてすぐれた特
性を示している。



第 8 図 スタンド電動機制御概略結線図



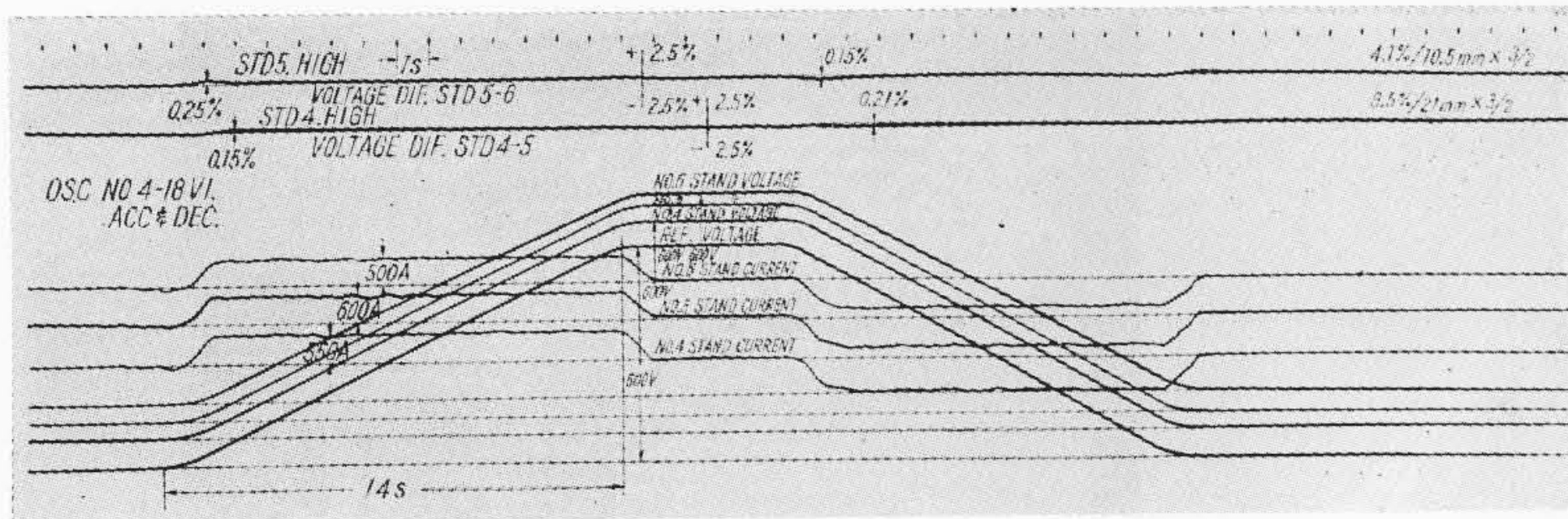
第 9 図 電圧制御系ブロック線図



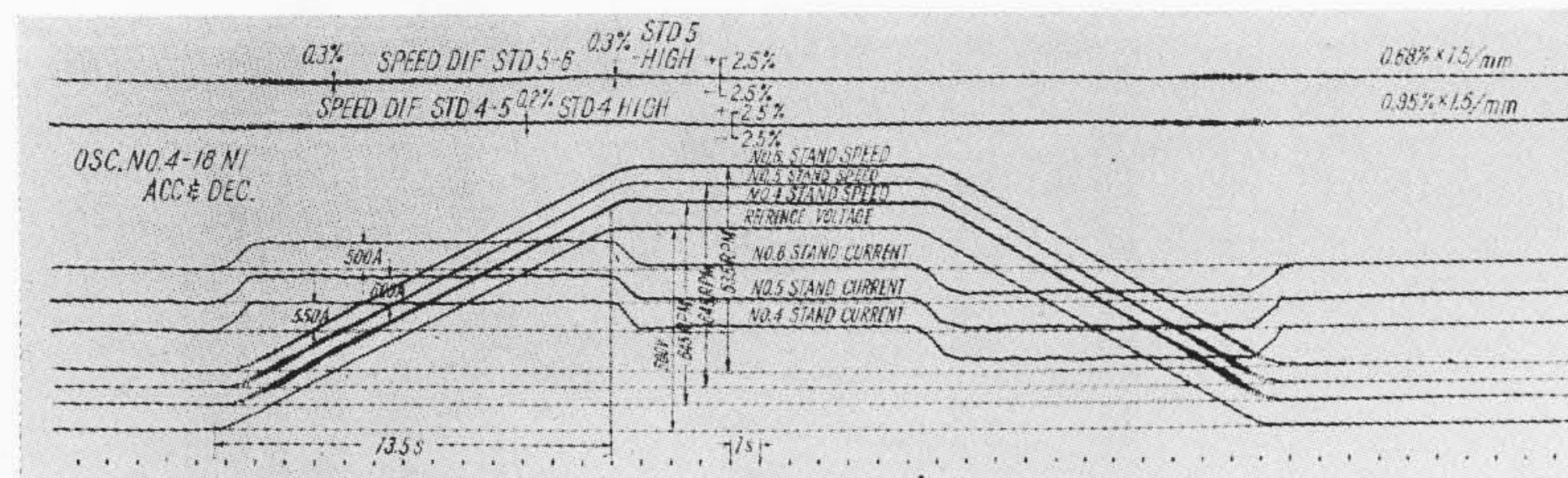
第 10 図 電圧制御系レスポンスオシログラム

通板速度は運転速度の約 10% で、その速度までの上昇度および通
板速度設定は電気室においてセットできるようになっており、通板
用押ボタン開閉器“低速 I”により、REX および BEX がそれぞれ
相当の電圧を発生し、この指令により主電動機は回転する。通板時
にはリールが後から追いつき起動できるようにし、リールのハンド
リング時間のむだをなくし、運転能率を良くしている。

次に運転用押ボタン開閉器“低速 II”または“高速”を押せば、



第11図(a) No. 4, 5, 6 スタンドの加減速特性 (IR 補償なしの場合)



第11図(b) No. 4, 5, 6 スタンドの加減速特性 (IR 補償なしの場合)

前もってセットされる速度まで前述のような制御を行ないながら上昇する。またロールを空転させる必要上全スタンド単独に空転させることができる。

5.3 非常停止

タンデムコールドミルでは鋼材の絞り込みなどの現象あり、電動機に急しゅんな電流が突入するため、電動機は速やかに事故電流を遮断し、停止する必要がある。電動機電流の高速遮断のため本設備では準高速度遮断器を使用している。非常停止は制動抵抗器による方法であるが、この抵抗器は準高速度遮断器と並列にそう入され、準高速度遮断器が遮断すると同時に発電機電圧を急速に0とする。制動電流は制動抵抗器と発電機の電機子回路を通じて流れる。この方式は制動電流の立ち上りの急しゅん度を押えるとともに、準高速度遮断器の遮断時回路の各部に発生するサージ電圧を遙減する特長を有している。本設備では上記の非常停止のほか、各スタンド間の速度は協調を保ちながら急速に電動機を停止せしめる“急停止”がある。これは70Sを急速に起動位置に戻すことにより行なわれている。

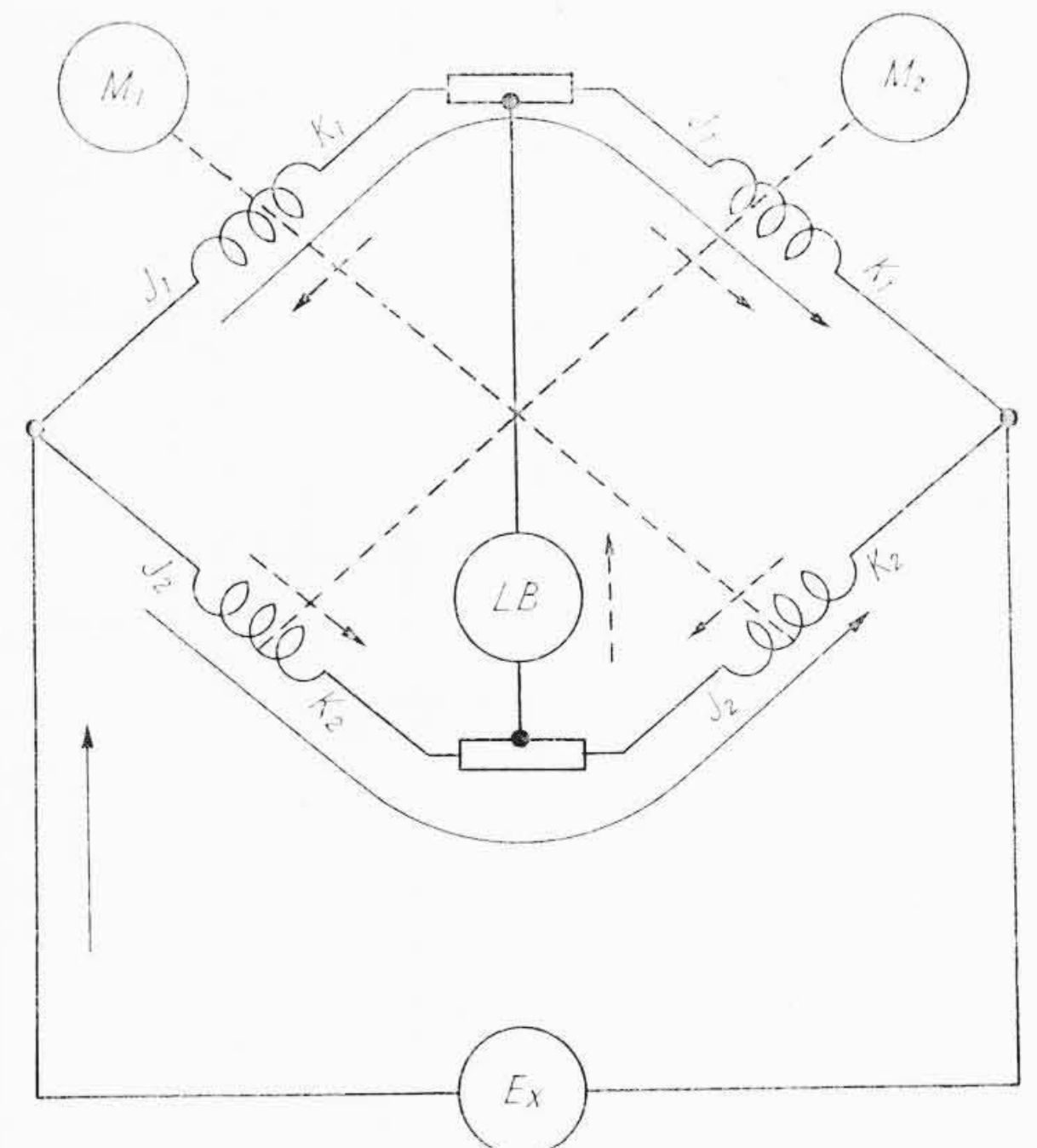
5.4 負荷平衡

各スタンド電動機には前述のように双駆動方式を採用しているので、高能率で良好な圧延をするため、負荷を双電動機で平衡させる必要がある。一般に上下電動機間には圧延素材の条件、上下ロール発電機電圧、あるいは電動機界磁の差などの電気的條件によって負荷分担に差が生ずる。この負荷の不均衡を平衡させる方法としては

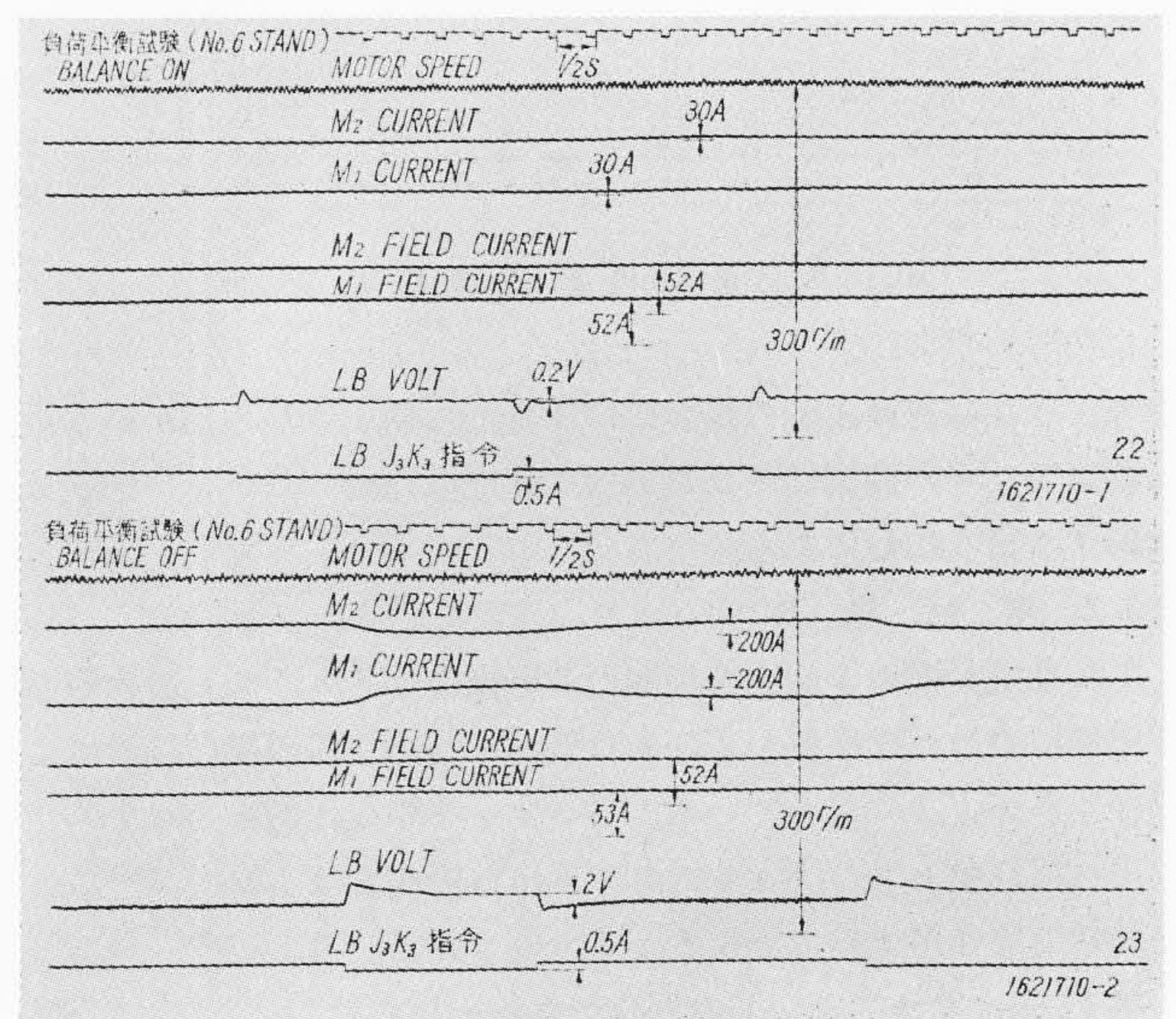
(1) 発電機電圧を調整して負荷電流を平衡させる方法

(2) 電動機界磁電流を調整して負荷電流を平衡とさせる方法が考えられる。本設備ではこの両者を併用し、発電機電圧による応答が早く、制御利得が圧延速度であまり変わらないよう負荷平衡制御を行なうとともに、電動機界磁差を制御して負荷平衡を行なっている。すなわち、上下電動機の補極巻線と補償巻線の電圧降下を比較し、差電圧を磁気増幅器により増幅し、負荷平衡用 HTD (VB および LB) の励磁を調整する。VB は電流の大きな電動機の発電機の発電機電圧を下げ、電流の小さい電動機の発電機電圧を上げるように電圧を発生し、LB は電流の大きい方の界磁を強め、小さい方は弱めるように電圧を発生し、上下ロール電動機電流を平衡させている。

VB および LB の各発電機および電動機界磁の接続は第12図に示したように各発電機および発電機には、おのおの2個の巻線を設備し、ブリッジを形成させている。第13図は工場試験における負荷



第12図 負荷平衡結線説明図

上段オシロ (a) 負荷平衡有りの場合
下段オシロ (b) 負荷平衡ない場合

第13図 負荷平衡オシログラム (ロール空転時)

平衡のオシログラムである。

5.5 巻取機の制御

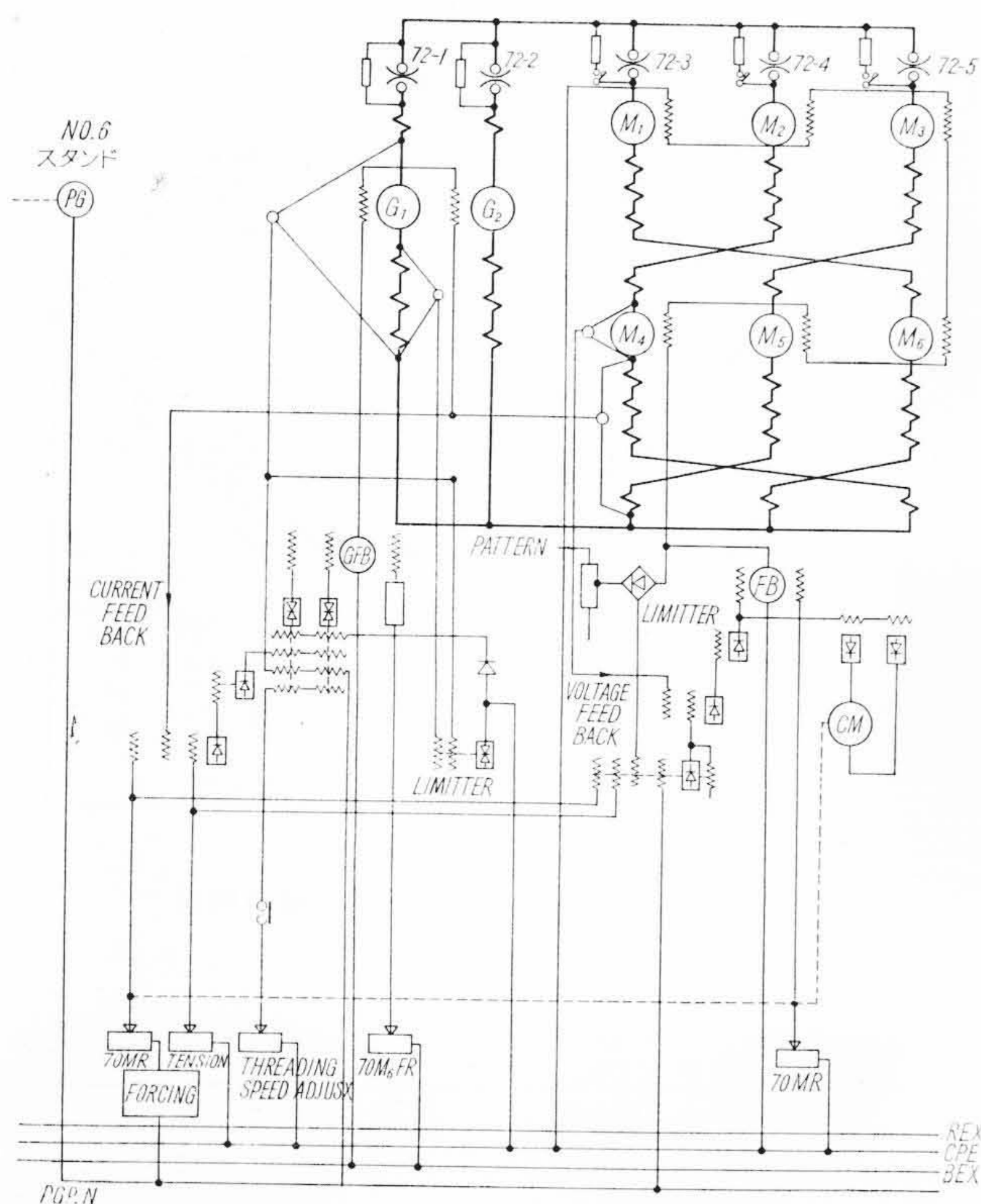
巻取機には高精度の定張力制御が要求されるが、日立製作所においては従来極薄板の圧延に使用するゼンジマミルに採用し、優秀な結果を得ている定電圧定電流による定出力制御を実施している。

第14図は定張力制御系の概略結線を示したもので、定電流制御系は発電機電圧を変化させることにより行なっている、通板時を考慮し、発電機系には常にマイナーループの定電圧制御を行なって加減速時の定張力制御を容易にし、かつ定電流制御系の応答度を高め高精度の定張力制御を行なっている。

また定電圧制御は電動機界磁により行ない、巻取機の巻太りに応じて電動機界磁を強めている。圧延途中で停止した場合でも、円滑な運転ができるよう記憶制御を採用し、途中加減速においてもコイル径に相当した各種の補償が行なわれている。巻取機の巻太り比は1:5で全範囲が電動機の界磁制御により行なわれている。

5.6 補機電動機の制御

補機電動機の仕様は第1表に示すとおりである。可変電圧補機は圧下およびストリップ給油ポンプで、No.1 スタンド圧下電動機は自動板厚制御に使用されている。またストリップ給油ポンプは本設



第14図 巻取機制御概略結線図

備のような高速度圧延の場合には圧延油に使用される油が最も重要な要素で、その制御は圧延電動機の数に連動し、ポンプ回転数を制御するようにしてある。

5.7 運転操作

主圧延電動機および圧延補機の運転操作は各スタンドの入側および出側に設けた操作盤および入口側および出口側の操作机盤により操作できるようになっている。各スタンドの操作盤中 No.1 スタンド出口操作盤および No.6 スタンド出口操作盤は主幹操作で、ここで通常の操作がすべてできるよう考慮されている。

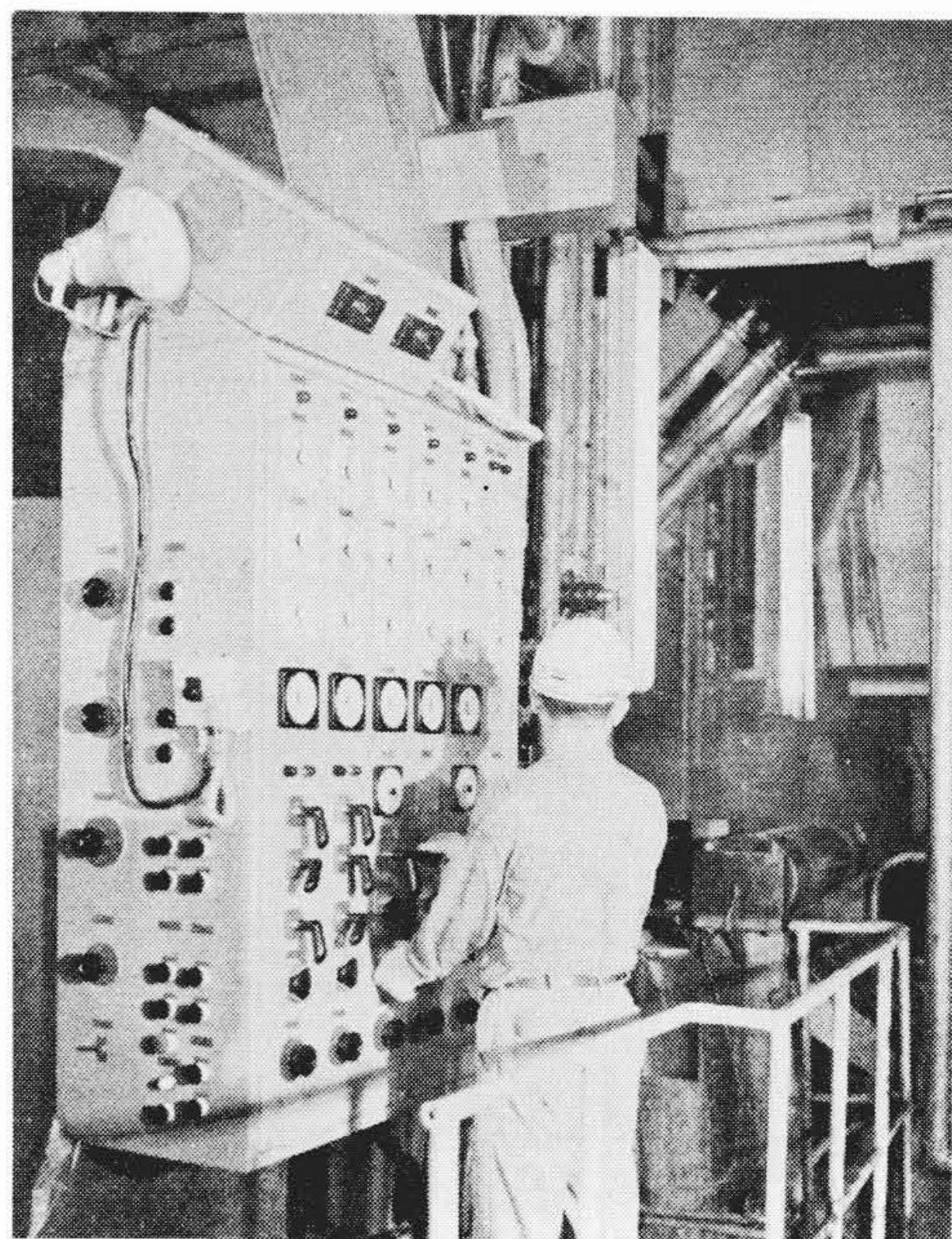
第15図は操作スタンドの写真である。

電気室には集中的に運転状態を監視するとともに、圧延の準備操作をするため、集中監視盤を設け、事故などに対しても迅速に処理できるようにしている。第16図は集中監視盤の写真である。

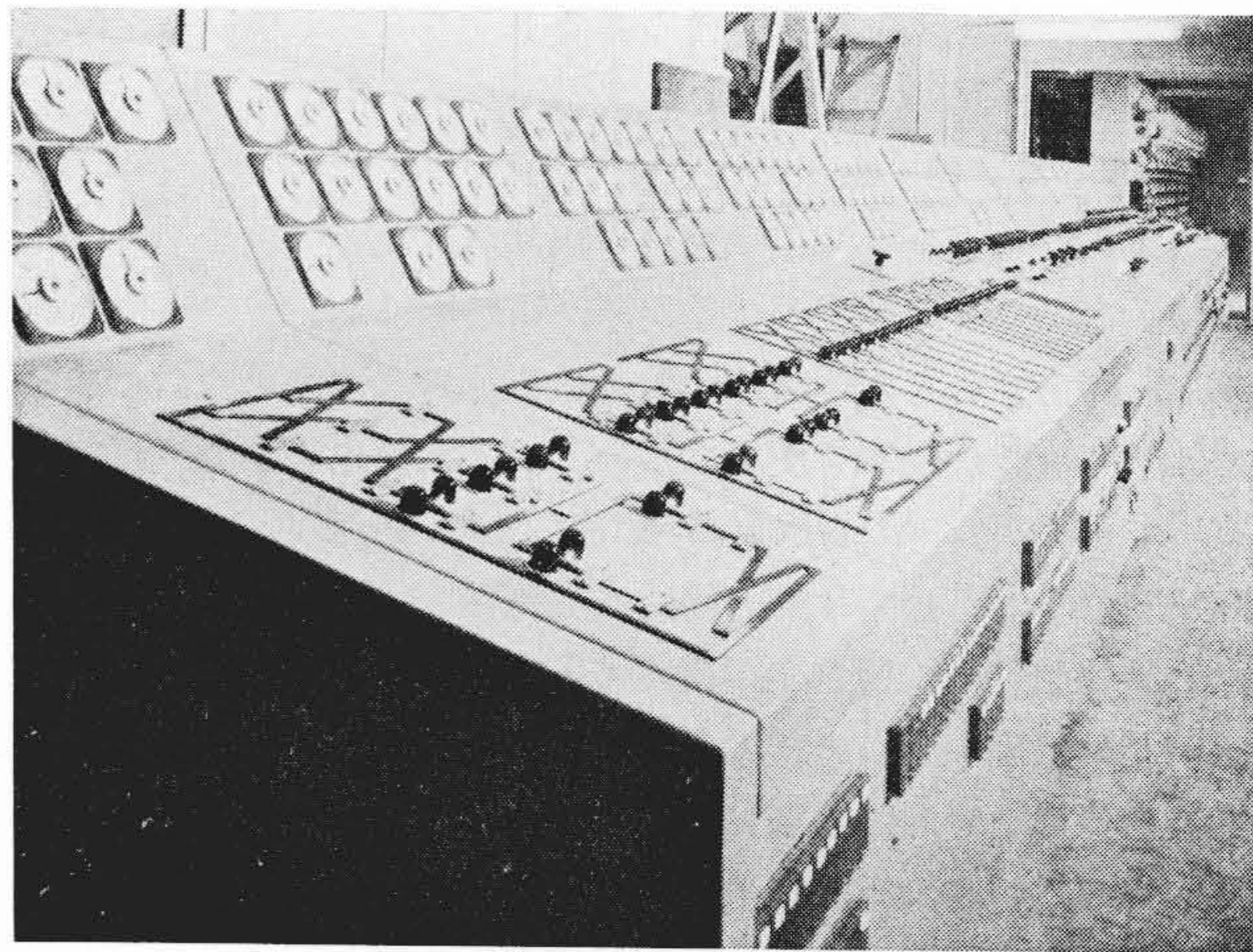
また、油関係の操作はオイルセラー内の機側とオイルセラー外の集中制御盤で行なえるよう考慮されている。

6. 結 言

川崎製鉄株式会社千葉製鉄所に設備された世界最高の6スタンドタンデムコールドミル用電気品は、圧延特性の理論的解析を基とし研究ミルによる実験と、多くの可逆冷間ミル、ゼンジマミルなどの経



第15図 操作スタンド (No.6 スタンド出口)



第16図 集中監視盤

験を生かして完成したもので、試圧より直ちに営業運転に入るといふ出来ばえを示した。

これは川崎製鉄株式会社千葉製鉄所、吉田副工場長、中島動力部長、那須副部長、有村圧延部副部長ら各位のご指導の賜であり、また設計製作に当って常にご指導をいただいた日立製作所日立工場、高木、泉両副工場長、田附、平川両部長、木田、中山両課長、日立製作所日立研究所前川主任研究員の諸氏に負う処大であるのでここに記して感謝の意を表する。