

回転増幅機を用いた最近のケーブルクレーン用 電気設備

西 政 隆* 角 村 正 雄**

Electric Control Equipment for Cable Crane, with Rotating Amplifier

By Masataka Nishi and Masao Tsunomura
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Almost unprecedented surge of boom has been experienced by the civil engineering industry in these several years due to hydraulic plant construction enterprise staged under the electric source exploitation program, and this has led to a remarkable improvement of the construction machinery.

For the dam construction, the use of cable cranes is most prevailing. Recently, Hitachi, Ltd. has succeeded in bringing about a decided amelioration in the Ward-Leonard system-controlled electric equipment for cable cranes by using HTD, short for Hitachi Tuning Dynamo, or a rotating amplifier. The drooping characteristic of hoisting makes a noticeable feature in the cable crane operation and by the aid of the rotating amplifier this drooping characteristic, including accurate current control, is accomplished with quick responsivity.

The writers, noting that this new controlling method is becoming popular in U.S.A., introduce the first instance of its application in Japan by Hitachi, Ltd.

〔I〕 緒 言

最近各地に水力発電所の建設が行われており、従来その比を見ない程の盛況であるが、水力電源の開発には堰堤、水路、発電所建屋など大規模な土木工事が必要であり急速かつ低廉に開発するためには、高度の機械化と最適の工法および利用機械の性能種類を慎重に考慮する必要がある。

このうち堰堤工事は発電所建設の基盤となるものであるが、コンクリートの性質上バケツ輸送が不可欠であり、しかも一般にその打設点が相当広範囲にわたっているため、ケーブルクレーン工法の利点がかかなり古くから認められ、その採用はすでに20年近くの歴史を有しており、最近の堰堤工事もほとんどこれによつて行われている。

電動ケーブルクレーンは巻上および横行用電動機の種類により交流式と直流式とにわかれる。交流式は小型の

ものでは設備費が安いので、サーボリフタを利用した巻線型誘導電動機を用い、やゝ大型のものでは直流を使つて発電制動を行つた巻線型誘導電動機の世界制御方式を採用している。電動機容量がほぼ300kW以上になると、設備費は割高であるが速度制御の簡単円滑で能率のよい直流ワードレオナード方式が推奨されている。

日立製作所はすでに交流式、直流式ともに多数のケーブルクレーン製作の実績を有しており⁽¹⁾⁽²⁾、研究と経験と相まつてその制御方式には数次の進歩改善が行われてきたのであるが、最近回転増幅機HTDを使用した直流ワードレオナード式ケーブルクレーンを数台製作し、その性能を飛躍的に向上することができたので、こゝにその一端を紹介する。

〔II〕 ケーブルクレーン用電気設備概説

ケーブルクレーンは、コンクリートを満載したバケツを所定の打設点まで正確迅速に運搬するのが役目であ

* ** 日立製作所日立工場

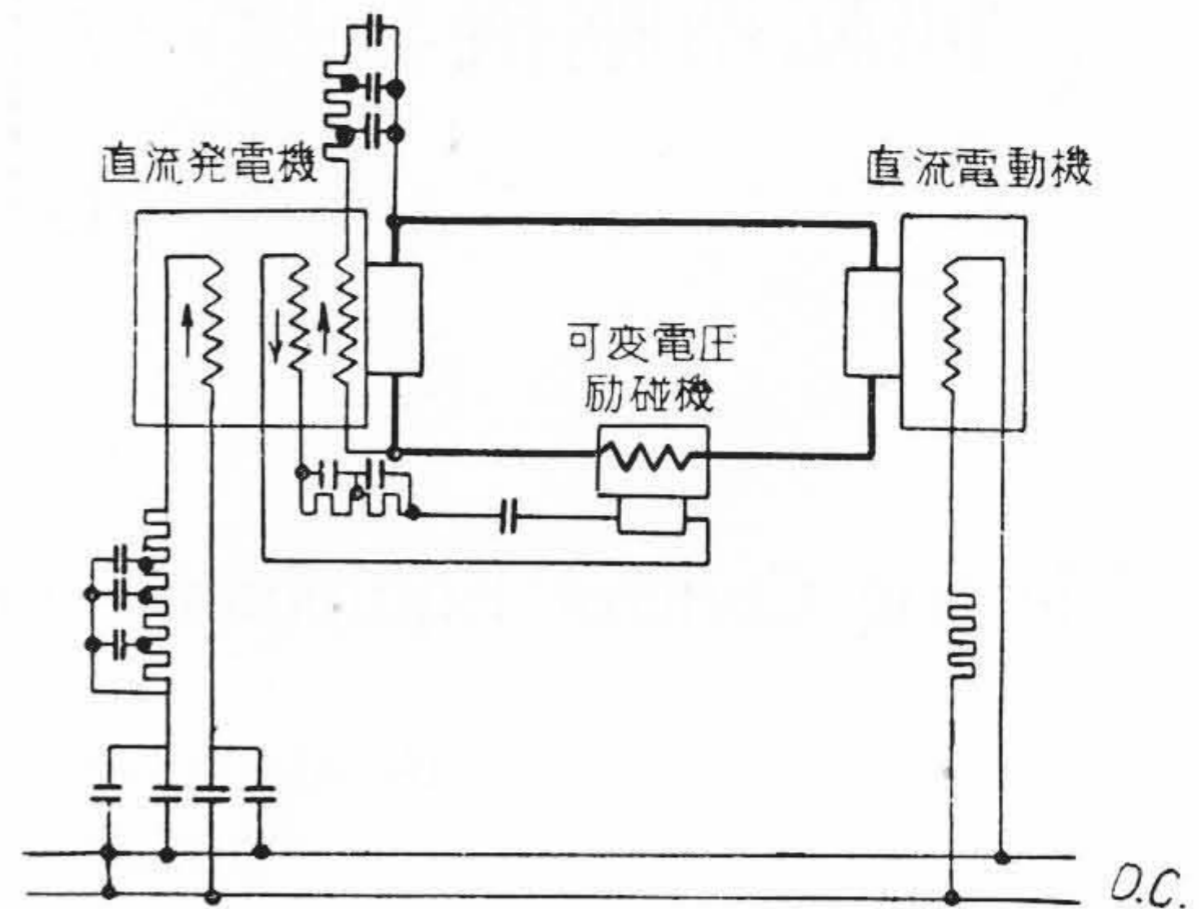
るが、まず満載したバケットを吊り上げる場合は、最初はロープが緩んでいるので、比較的低速かつ低回転力でロープにショックを与えないようにこれを巻取り、その次には高速でバケットを打設点上に運搬し、最後に荷重を下す場合は再び低速で運転せねばならぬ。したがってこの速度制御はきわめて広範囲に迅速確実に行われる必要があるが、さらに把手の誤操作その他のいかなる場合にもロープに過度の衝撃を与えるような過電流を生ずることのないよう完全な過電流防止の装置が必要である。

このため従来発電機に自動分巻界磁と他励界磁および直巻界磁を備えたいわゆる三界磁発電機を用いたワードレオナード制御方式により垂下特性の速度制御方式が用いられていた。しかしこの方式では差動直巻界磁その他を設けるため、発電機が大きくなるのみならず速応性が低下する欠点があつた。またこの方式では巻下しの場合直巻界磁を殺して普通のレオナード特性とすることが望ましいのであるが、実際問題としてこれがなかなかむづかしいこともこの欠点であつた。このため差動直巻界磁に主回路電流を直接通ずるかわりに特殊の励磁機を用いて、主回路電流に比例する電圧をえて、これを発電機界磁に加えて第 1 図のごとき方式を用いたものであるが、いずれも速応性の点に問題があつた。

米国でもこの種ケーブルクレーンおよびトランスポートなどに回転増幅機を使用したものが用いられてきているが、最近日立製作所でも回転増幅機を使用したレオナード制御方式を採用し、広範囲かつ正確な速度制御と垂下特性をもつたきわめて速応性の高いケーブルクレーンを製作した。第 2 図にこの概略結線図を示す。回転増幅機 HTD には速度指令を与える制御界磁 CF、この指令する電圧を発電機が出しているか否かを検出する饋還界磁 BF_1 、主回路電流を基準値と比較して大きい場合に電流が流れて作動する BF_2 、乱調防止用界磁 BF_3 および自動分巻界磁 SF を備えている。

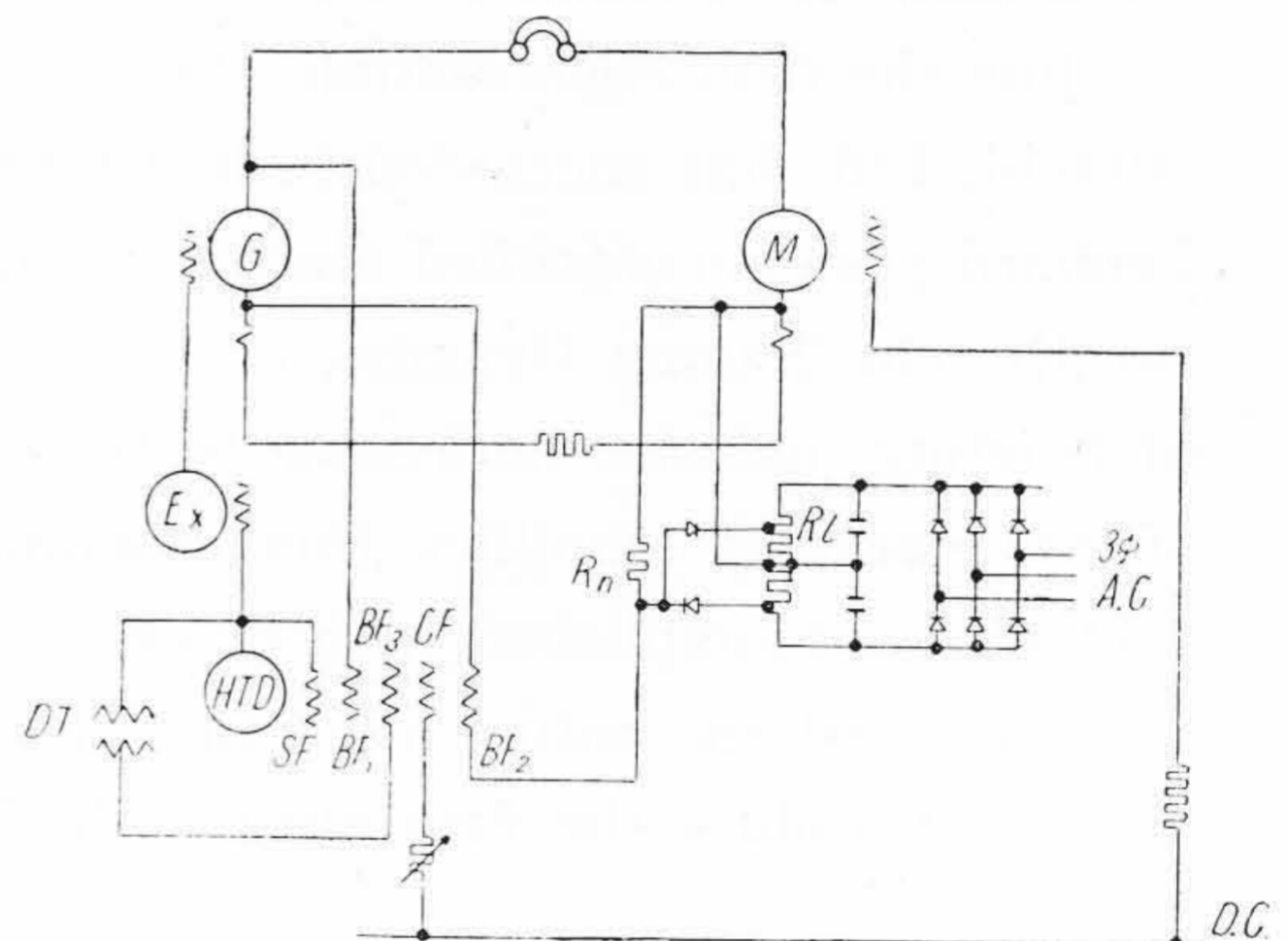
制御器把手で制御界磁 CF の励磁を調整すれば、発電機電圧は制御界磁の指令する電圧に迅速かつ正確に保持されるのであつて、もし電圧がこの指令値と相異すると CF_1 , BF_1 のアンペアターンに差を生じ、HTD には非常に大きな電圧が発生してこれを指定値に合致するよう急速に動作するのである。また主回路電流が基準値を越した場合は BF_2 に電流が流れて、HTD の電圧を下げ、発電機電圧を下げて主回路電流を小さくするように動作し、垂下特性をもたせることができる。いずれの場合も HTD は非常に大きな増幅率と正確かつ迅速でありしかも適切なダンピングトランスフォーマーを備えているのでその制御操作はきわめて安定である。

今第 2 図の方式をブロックダイアグラムで示すと第 3



第 1 図 可変電圧励磁機を設けたレオナードケーブルクレーン主回路

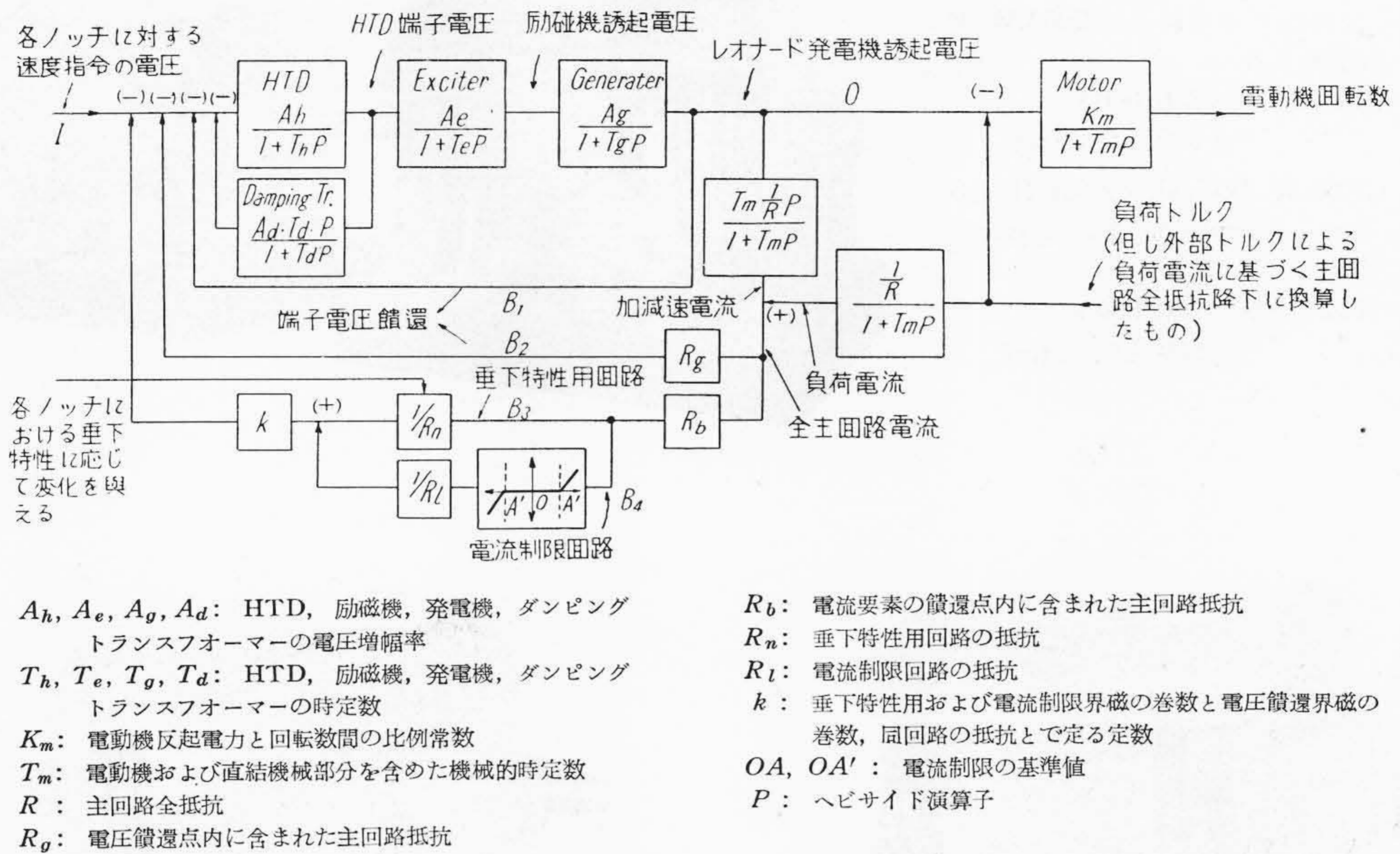
Fig. 1. Main Circuit of Ward-Leonard System-Controlled Cable Crane with Variable Voltage Exciter



第 2 図 主回路接続図の概略
Fig. 2. Electric Connection Diagram of Cable Crane

図のようになる。

B_1, B_2 回路は電圧の饋還で、これにより饋還点たとえば発電機の端子電圧は正確に各ノッチに対する速度指令に合致される。過渡状態を考えると、増幅機および電圧饋還がない従来の方式では励磁機、発電機の時定数 T_e, T_g などのため発電機出力に時間遅れを生じ、速応性が悪くなるが、増幅機を用い全体の増幅率をあげ負饋還をかけた本方式では小さい変化を入力側に与えても大きい調整力によつて出力を急変せしめ、目的値に達すれば調整がやむので発電機出力電圧の変化が速く、速応性が著しく改善されるため起動時のずり落しが防止されるのはもちろんきわめて能率のよい確実な運転が可能となる。 B_3 回路は垂下特性用の電流負饋還、 B_4 回路は電流制限回



第3図 ケーブルクレーン電動機の制御をブロックダイアグラムで示したもの

Fig. 3. Block Diagram of Controlling System for Cable Crane Motor

路であり、この両者への入力値はレオナード主回路の加減速電流と負荷トルクによる負荷電流の和すなわち主回路全電流であつて、 B_3 回路の抵抗値 R_n なる抵抗を加減することにより垂下特性の傾斜が与えられる。またこの B_3 回路は速度制御系の安定性をある程度向上する働きを有しており、系の合成にはこれを考慮に入れなければならない。 B_4 回路は電流制限回路で $A-A'$ は非通過帯域である。こゝで B_4 回路の抵抗値 R_l は R_n に比し十分に小さくしてあるため、加減速電流の最高値に対しては常に A, A' におさえるように、速度指令の与え方にかんにかゝらず発電機電圧の上昇を規制し、負荷電流の A, A' を超えるような大きな増加に対しても常に全電流の最高値は A, A' におさえるように発電機電圧を変化させ加減速電流を通す働きをする。

しかしてこれらのケーブルクレーンの制御に特有な動作を与える B_3 および B_4 回路は、さきにも述べたように、入力 I 点から出力 O 点までに時定数を含む要素を多く持つているにもかかわらず、饋還制御を行つているため総合としては時定数の効果の少ない速応性のよい系に接続されているためにそれらの動作はきわめて速応的に行われていることになり、従来の可変電圧発電機を用いて回転増幅機を用いた特長を大いに発揮できることになるわけである。

なお巻上電動機の巻上時はかなり傾斜が大きく垂下特性が用いられているが、横行電動機に対しても普通僅かな垂下特性が与えられている。

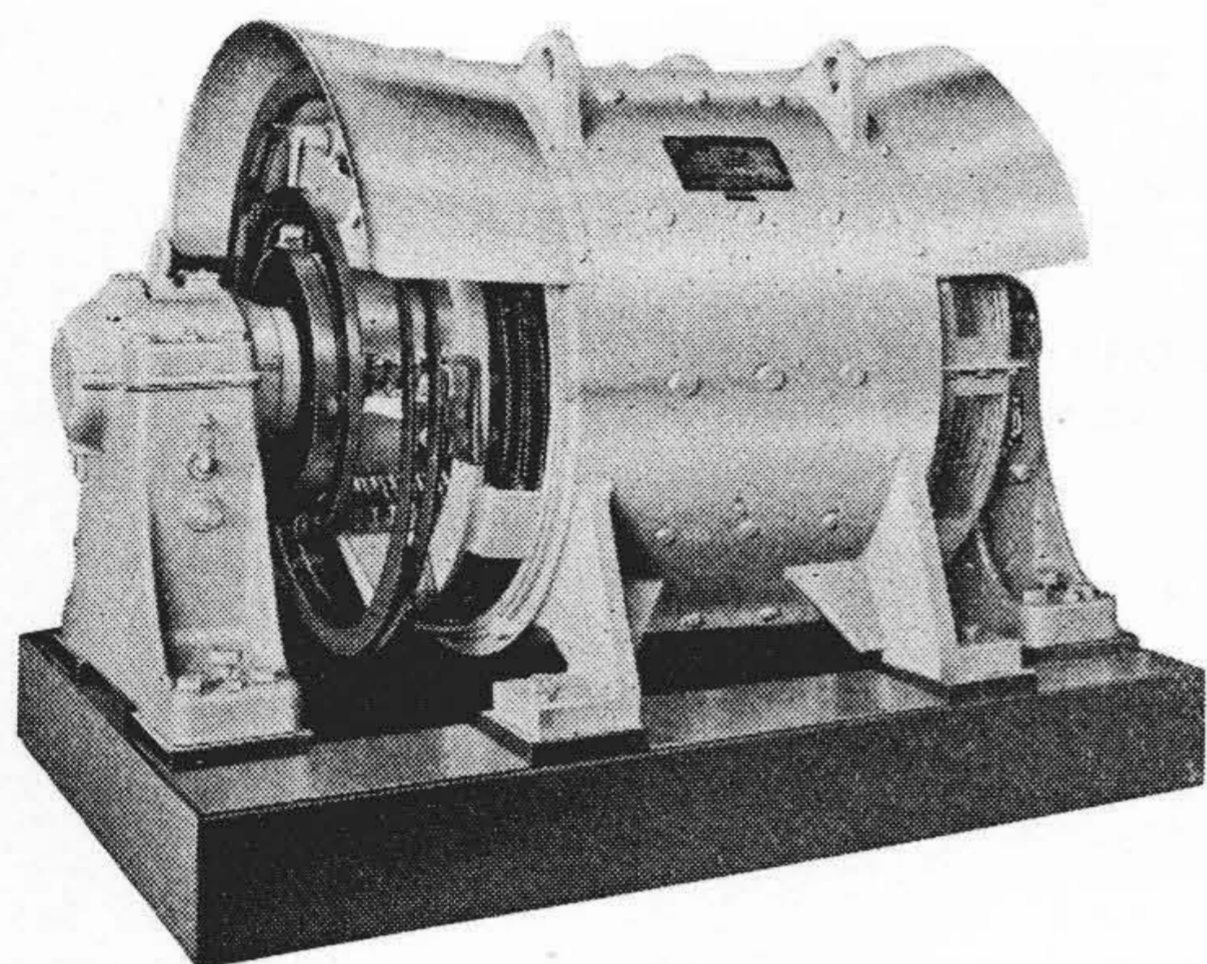
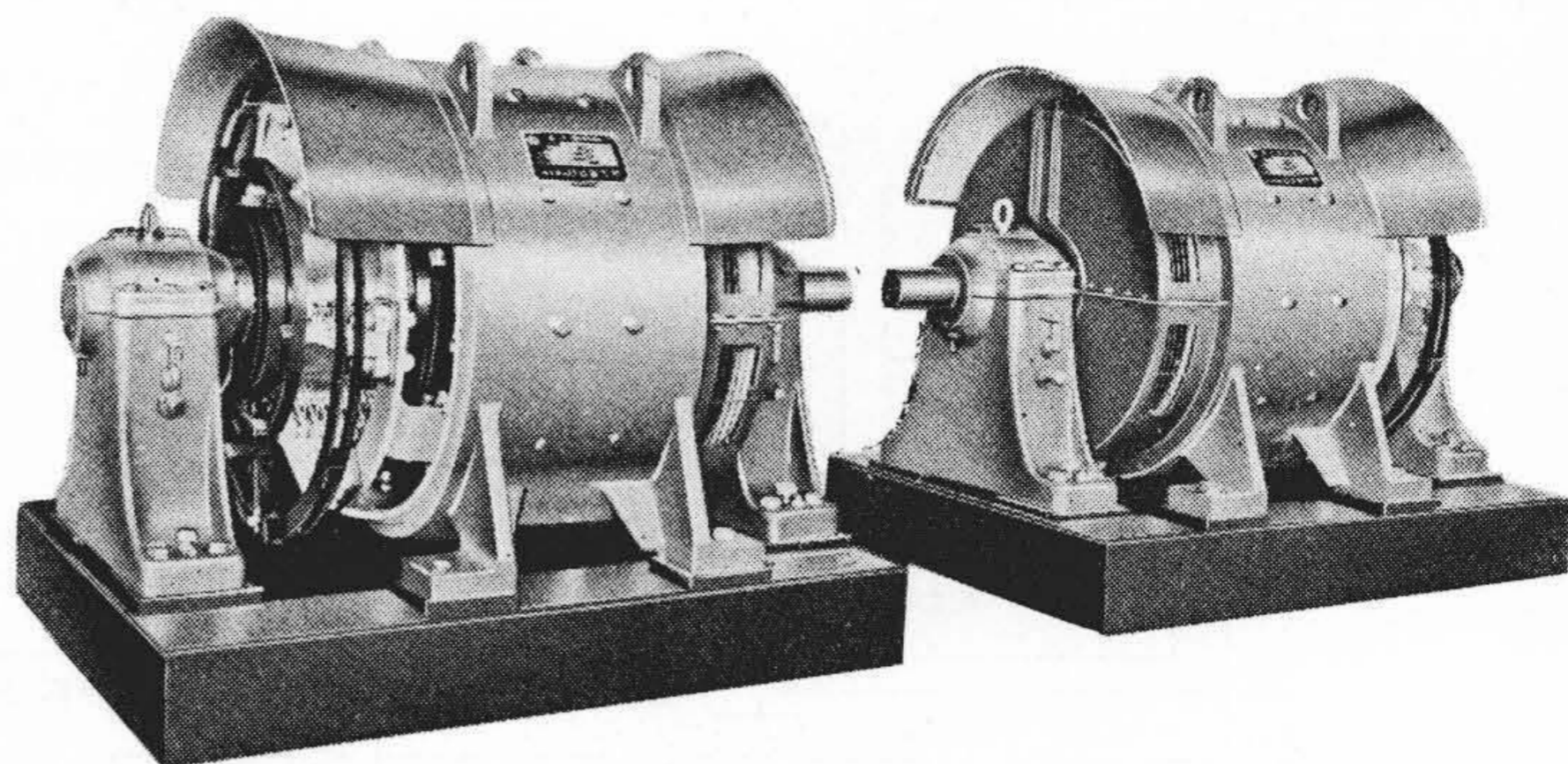
レオナード発電機、同励磁機、HTD などの各機器の増幅率、時定数ならびに各部の抵抗値などの諸定数は精度、速応性および安定度などに密接な関係があるので、自動制御系の設計に当つてはこれら定数間の最良条件を決定するためアナログ電気演算器による精密な解析研究を行うなどきわめて慎重な考慮が払われている。

なお最近納入した東京都小河内ダム用 20t ケーブルクレーン、および現在鋭意製作中の電源開発株式会社納め秋葉ダム用の大容量ケーブルクレーンに対しては巻上電動機の容量が大きくなるので、これを2台として慣性モーメントを減少し所要の熱容量を減らすとともに減速歯車を経済的なものとしている。この方式では電動機は並列運転とした方が慣性モーメントを減らしうると、一台運転が容易であるので並列運転を採用しているが、この場合は当然負荷平衡について考慮する必要がある。

このために別に負荷平衡用の回転増幅機が設置されており、その界磁は両電動機の負荷電流の差で励磁され、その出力は巻上用電動機の補助界磁に接続されて、界磁制御によつて負荷平衡作用を行つており、きわめて精度高くかつ速応的である。

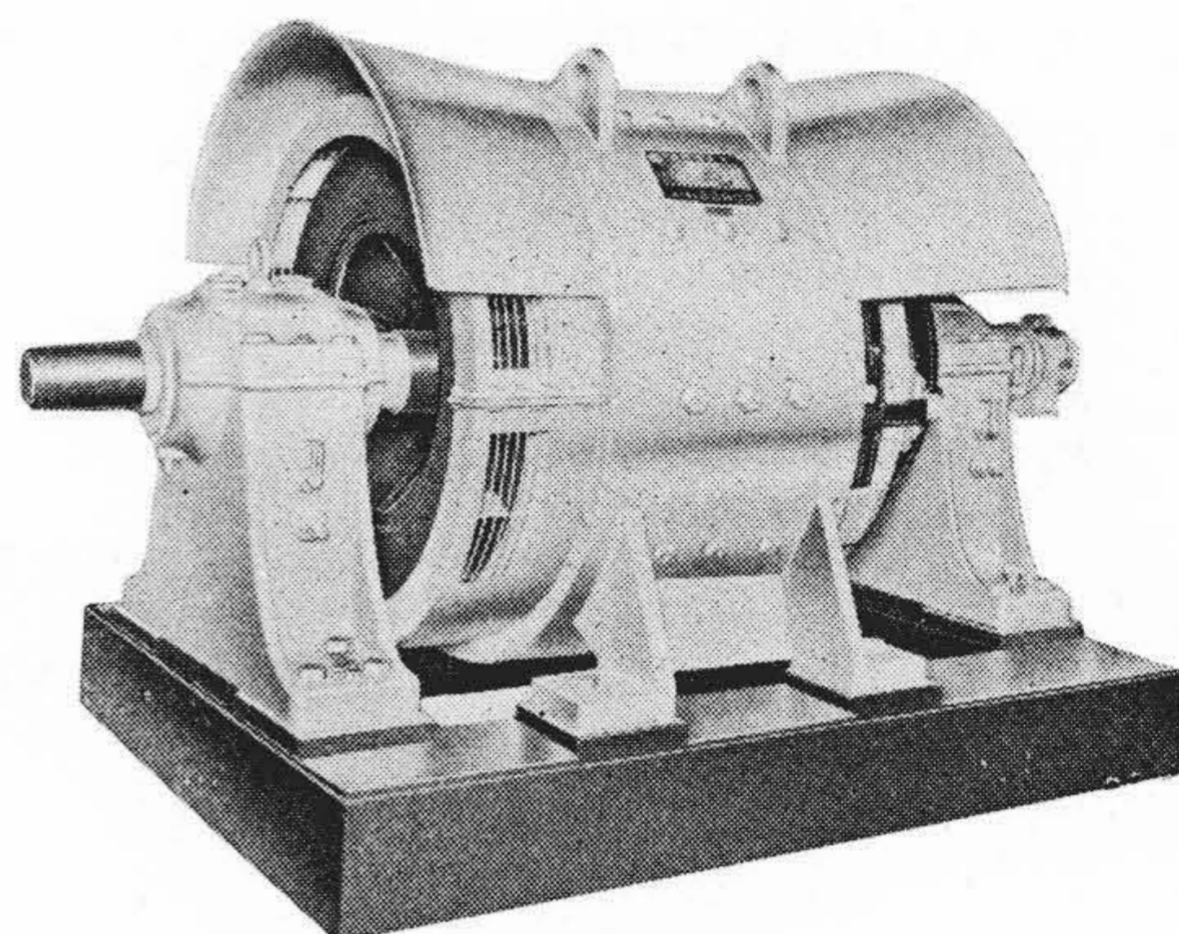
第 4 図 小 河 内 ダ ム 用 巻 上 用 200 kW 電
動 機 2 台
FBA-Sp $\pm 330/660$ V
 $\pm 500/1,000$ rpm

Fig. 4. 200 kW D.C.M. $\times 2$ for Hoist-
ing Supplied to Ogōchi
Dam
FBA-Sp $\pm 330/660$ V
 $\pm 500/1,000$ rpm



第 5 図 小 河 内 ダ ム 用 横 行 用 300 kW 電 動 機
FBA-Sp ± 330 V ± 500 rpm

Fig. 5. 300 kW D.C.M. for Traversing
Supplied to Ogōchi Dam
FBA-Sp ± 330 V ± 500 rpm

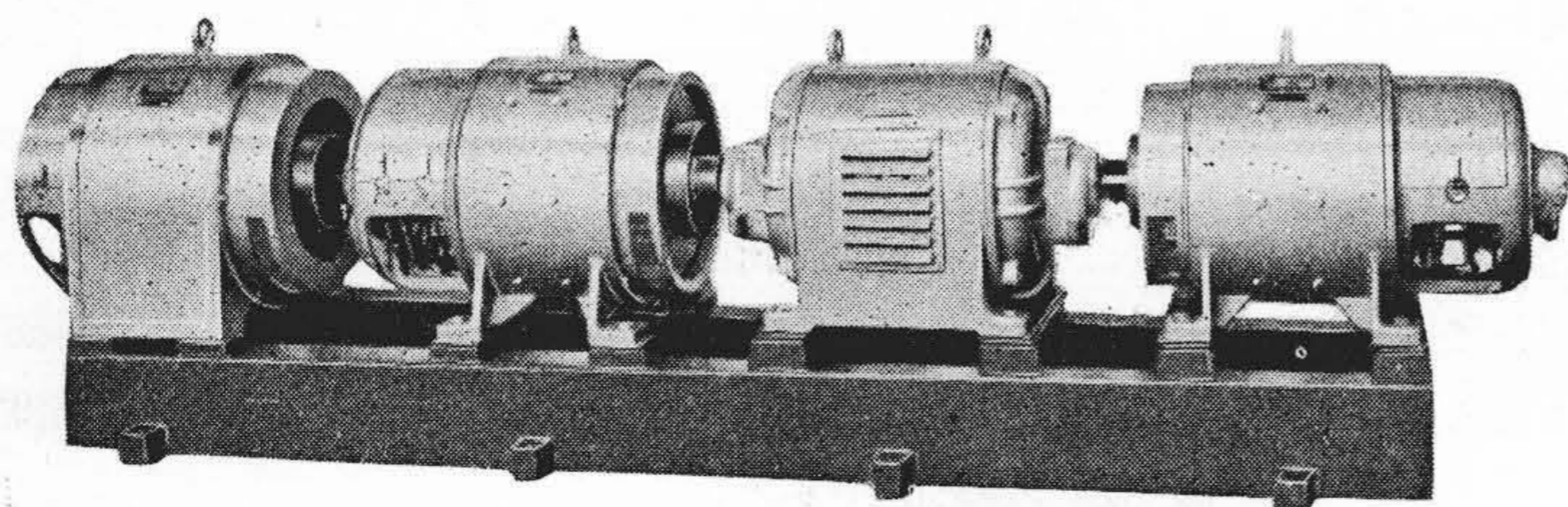
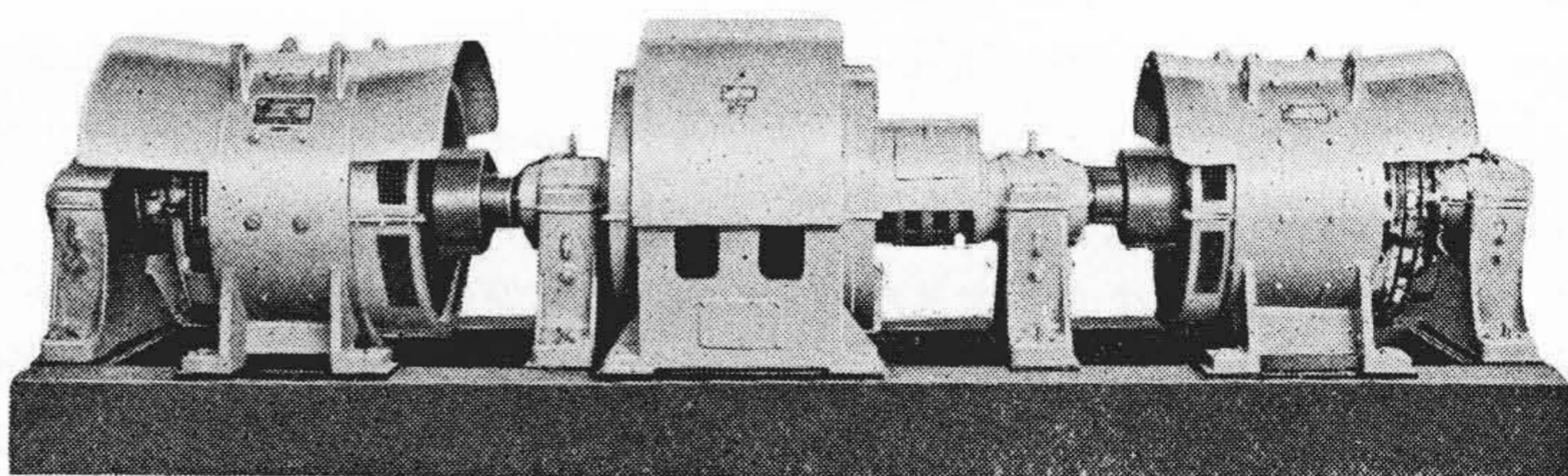


第 6 図 宮 川 ダ ム 用 巻 上 用 300 kW 電 動 機
FBA-Sp $\pm 330/600$ V $\pm 550/1,000$ rpm

Fig. 6. 300 kW D.C.M. for Hoisting Supplied
to Miyagawa Dam
FBA-Sp $\pm 330/600$ V $\pm 550/1,000$ rpm

第 7 図 藤 原 ダ ム 用 レ オ ナ ー ド M-G
セ ッ ト
350 kW DCG—550 kW I.M.—
225 kW DCG

Fig. 7. Ward-Leonard Motor-Gen-
erator Set Supplied to
Fujiwara Dam
350 kW DCG—550 kW I.M.—
225 kW DCG



第 8 図 宮 川 ダ ム 用 励 磁 機 セ ッ ト
1 kW HTD—1 kW HTD—15
kW I.M.—7.5 kW DCG

Fig. 8. Exciter Set Supplied to
Miyagawa Dam
1 kW HTD—1 kW HTD—15
kW I.M.—7.5 kW DCG

〔III〕 ケーブルクレーン用回転電気機械

ケーブルクレーン用電動機は、頻繁に急激な過負荷が繰り返される点でミル電動機について苛酷な取扱いをうけるものであるから、電氣的、機械的に十分頑丈な構造とする必要があることは勿論であるが、さらに速度が急速かつ広範囲に制御されるものであるから、その所要熱容量を小さくするためには、慣性モーメントを極力小さく設計する必要がある。慣性モーメントの小さいことは電圧変化に対する電動機速度の即応性を増大し、電流制限を容易確実にするという意味でも非常に有利である。

主発電機も電動機と同様な負荷をうけるから、その設計、製作には主電動機と同様の考慮が必要である。

なお励磁機は主発電機電圧の広汎な制御に対して十分な容量をもつ必要のあることはもちろんであるが、さらに速応性をますため、頂上電圧を高くしてその容量に相当の余裕をもたせることが大切である。

なお回転機は一般に設置場所を考慮して防滴型構造とするのが普通である。

〔IV〕 制御装置

(1) 巻上および横行用

巻上、横行はいずれも前にのべた理由により、回転増幅機を用いた直流ワードレオナード方式が採用され、電圧制御によつて速度を制御する。

電動機は定電圧電源により一定励磁され、発電機は回転増幅機 HTD により制御される励磁機で励磁される。HTD の制御界磁 CF は抵抗器を通じて定電圧電源より励磁されこの抵抗を調整することにより速度が制御される。饋還界磁 BF_1 には発電機電圧を、 BF_2 には主回路電流による電圧降下をそれぞれ負饋還する。後者により電流増大に比例して電圧が下り、適当な垂下特性をうるることができる。巻上および横行の特性の一例を第9図および第10図に示す。

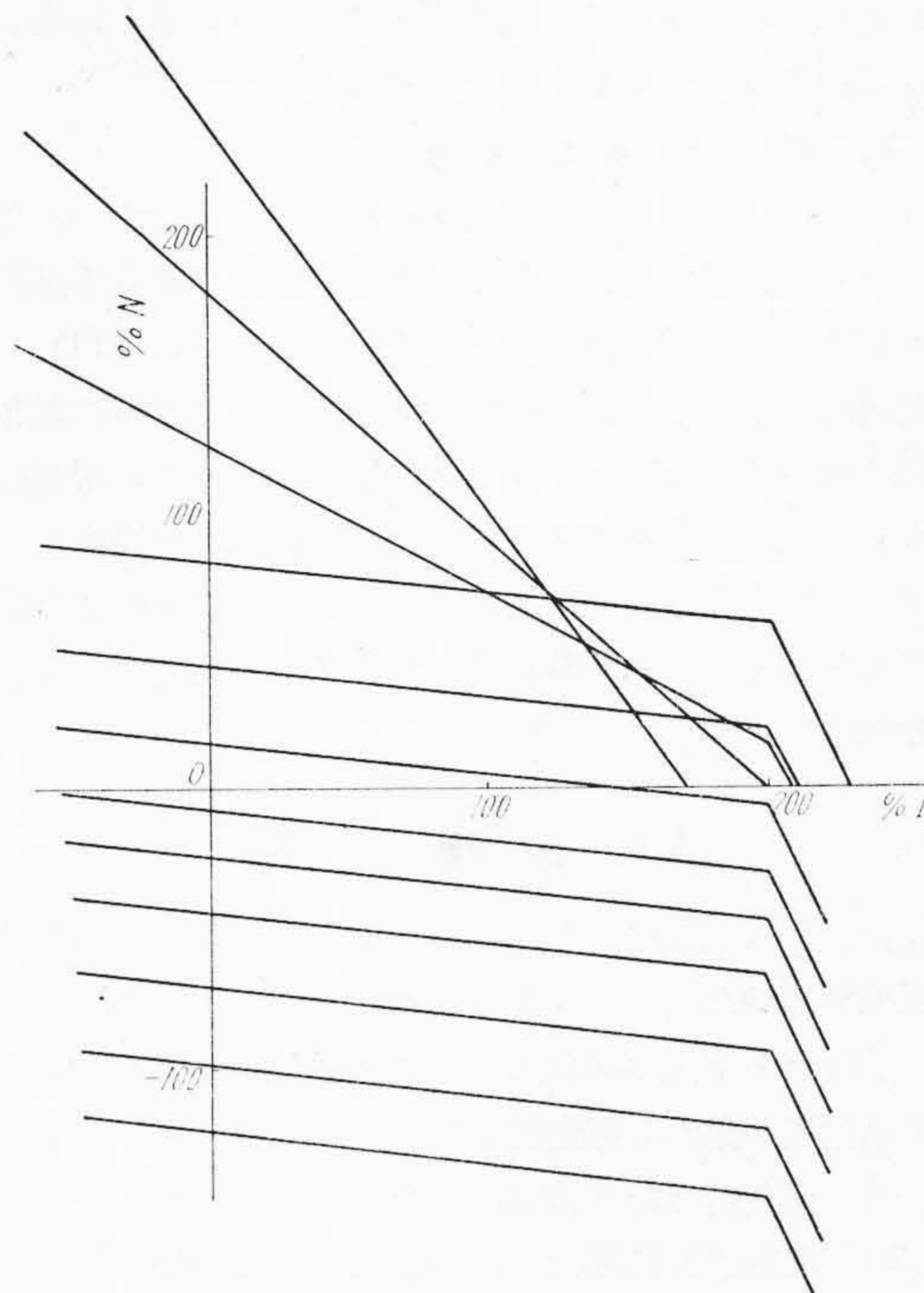
上記 BF_2 に接続されたセレン整流器を含む回路は電流制限回路であつて、交流電源電圧を整流したものを基準とし、主回路電流による電圧降下がこれより大きくなると、整流器を通じて BF_2 を励磁し電圧を下げ、電流を制限して垂下特性をもたせ機械を保護し、運転の円滑を確保するものである。

(2) 走行用

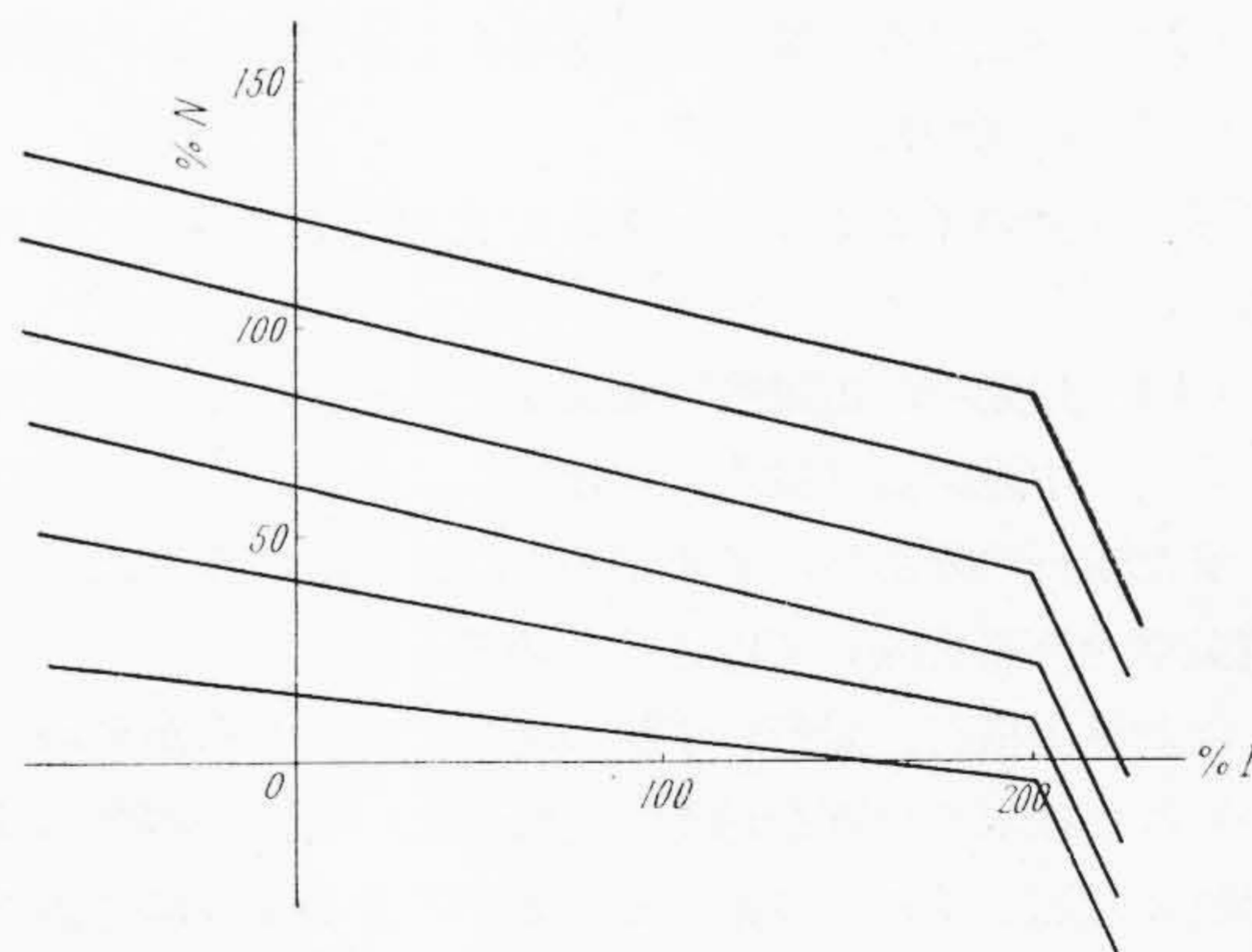
走行は主塔、副塔とも低圧誘導電動機が使用された普通の方式であり特に説明すべき点もないので省略する。

〔V〕 運転設備および操作

抵抗器および制限開閉器以外の器具類は鋼板製キュー



第9図 巻上特性の一例
Fig.9. One Example of Cable Crane Hoisting Characteristics



第10図 横行特性の一例
Fig.10. One Example of Cable Crane Traversing Characteristics

ビクルあるいは操作デスクに納められており、運転はいつさい運転室の操作デスクで行われ、速度制御はデスクに取付けた主幹制御器の操作による。

(1) 走行

走行用主幹制御器は停止ノッチと前後各ノッチを備えているだけで速度制御は行わない。主塔と副塔とがいず

れも走行する方式では、切換開閉器により両塔が同時または別箇に走行することができるようになっている。

(2) 巻上および横行

巻上および横行用主幹制御器は停止ノッチを中心に前後各6ノッチをそなえている。運転の際はまず気中遮断器を投入し、主幹制御器のノッチを進めると、HTDの制御界磁が励磁され発電機電圧が発生すると同時に電動機軸に働いていたサーボリフタ制動機がゆるみ、電動機は起動し主幹制御器のノッチと負荷とに応じた速度で回転する。停止の際は逆にノッチを停止位置に戻せば発電機電圧がなくなると同時にサーボリフタ制動機がかゝり電動機は停止する。

[VI] 保護装置

運転方法は上記のごとく簡単であるが、なんらかの異常現象が起つた場合に対する保護は十分に考慮されている。すなわち下記の場合は気中遮断器が開いてサーボリフタ制動機が動作し電動機は停止する。

- (1) 過負荷となり過電流継電器が動作したとき
- (2) 電動機界磁電流がある値以下になつたとき
- (3) 非常停止用開閉器を開いたとき

下記の場合は操作回路を開路して発電機励磁を切り、サーボリフタ制動機が動作する。

- (1) 巻下時に許容速度の120%以上の速度となり過速度開閉器が動作したとき
- (2) 巻上、巻下横行ともあらかじめ定められた極限に至つたとき

また起動のインターロックとしては下記のものがある。

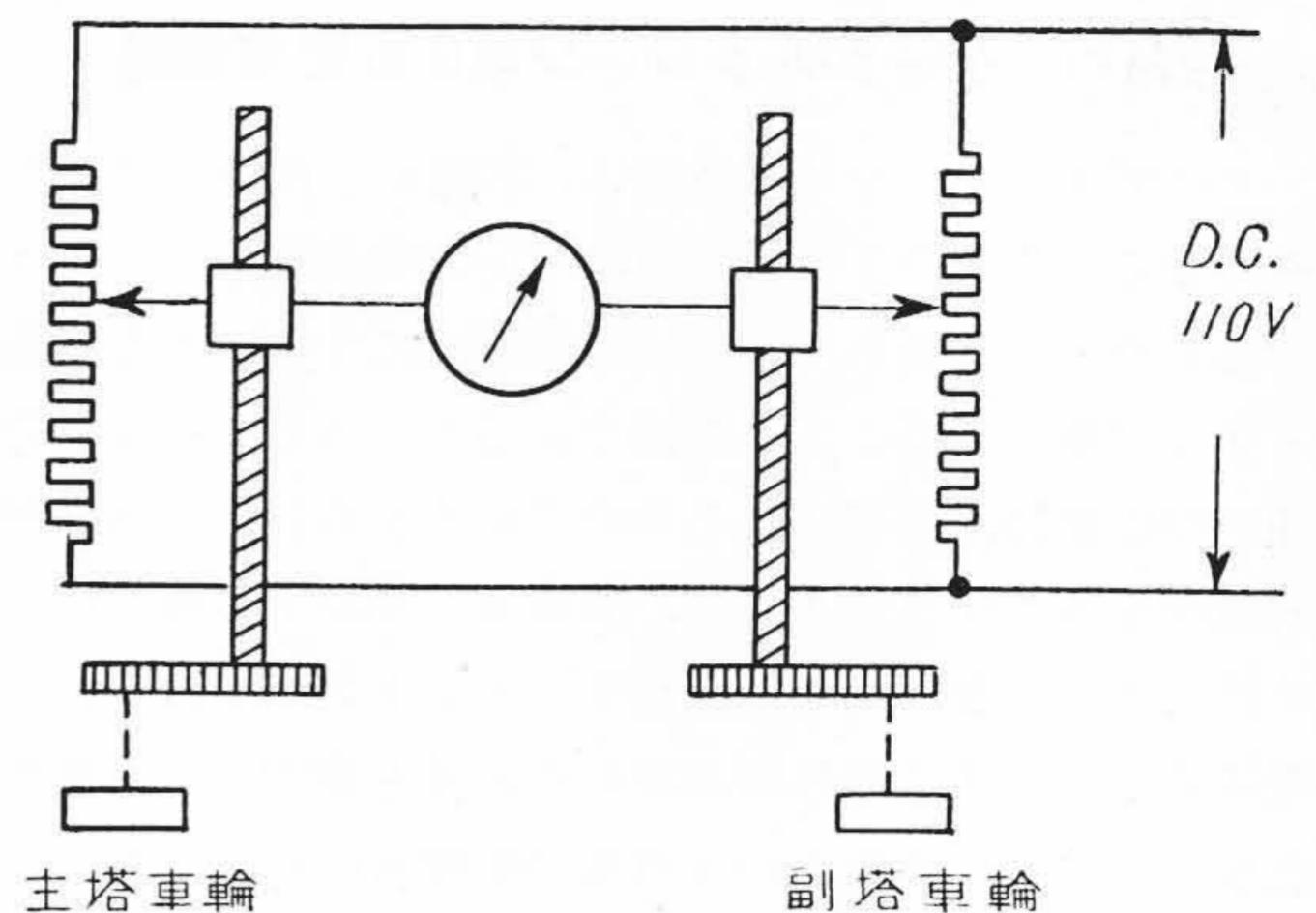
- (1) 起動の際電動機界磁電流がある値以下のとき気中遮断器は投入できない。

また走行の際あらかじめ定められた極限に至つたとき電動機主回路を開いて停止せしめる。

なお巻上横行、走行いずれの場合でも、あらかじめ定められた極限の位置を越えて運転したい特別の場合には足踏開閉器を踏んで運転することができるように考慮されている。

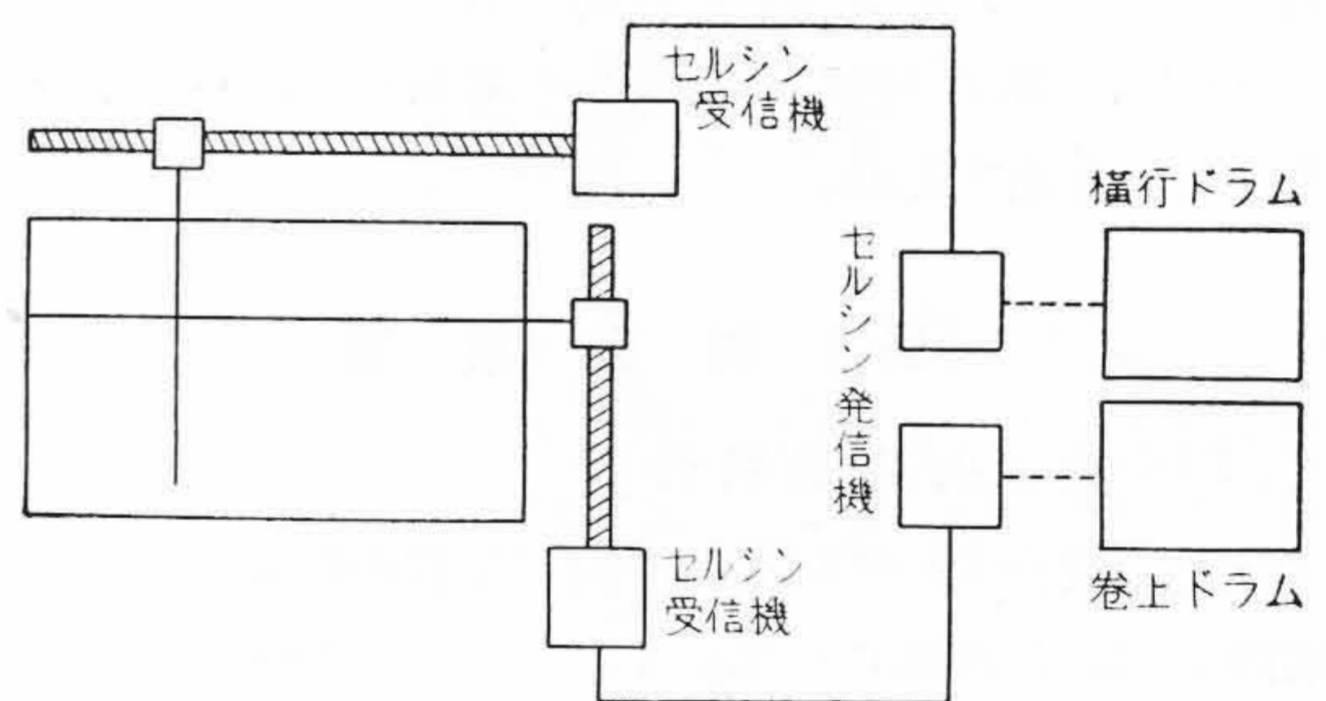
[VII] 附属設備

ケーブルクレーンはバケットの移動範囲は広いが、設置される場所が谷間であるため、運転室から直接バケットを見て、その位置を正確に把握しつゝ運転するということの難しい場合が多い。あるいはまた、主塔、副塔の走行により塔間距離が変つてロープに過大な張力やたるみを生じたりする場合もあるので、つぎのような附属設備が設けられている。



第11図 斜行表示装置説明図

Fig.11. Indicating Device for Difference between Travelling Distance of Engine Tower and Tail Tower



第12図 バケット位置指示装置説明図

Fig.12. Indicating Device of Bucket Location

(1) 斜行指示装置

第11図に示すように各塔の走行車輪によりそれぞれポテンションメータの接点を移動させ、走行距離に差ができると電位差を生じ、距離目盛で校正した電圧計に距離差となつて表わされる。この計器目盛はゼロセンターとして一方の塔の位置に対する他方の塔の関係位置を示す。

(2) たるみ取り装置

主塔副塔の移動により塔間距離が変つたときにロープの長さを適当に調節するためのものであるが、三相誘導電動機を押釦開閉器で正逆転させてロープの巻取巻戻しを行う。

(3) バケット位置指示装置

バケットの高さとロープ上の位置とを運転者に示すもので、第12図に示すように巻上および横行のドラムの回転をセルシン発電機にて信号し、指示器の縦横軸はこれらに接続したセルシン受信機で移動させ、その交点によりバケットの位置を示す。

(4) 通話装置

コンクリート打設場, コンクリートミキサ, テールタワーなどの作業場と運転室間に通常のインターフオンを設けて連絡の便をはかっている。

ることである。その結果運転はきわめて円滑確実となり把手の操作に応じて迅速, 的確にバケットの運動が追随するから, 不慣れな運転者でも自由に意のままに運転できることとなり容易に最高の荷役能率を発揮することができる。

〔VIII〕 結 言

回転増幅機を使用したケーブルクレーン用電気設備の大要は以上紹介した通りであるが, これを要約すると回転増幅機の採用により, 理想的な垂下速度特性と, 極度の速応性をもつてきわめて広範囲な速度制御が可能とな

参 考 文 献

- (1) 赤木, 阿部, 西岡, 平川: 日立評論別冊 No. 5 125 (昭 28)
- (2) 西, 高根: 日立評論 34, 1441 (昭 27-12)

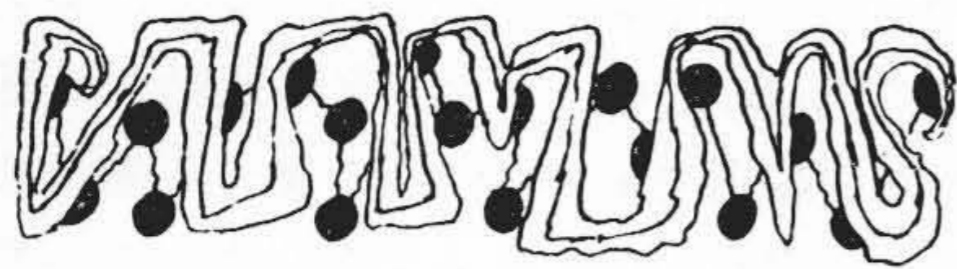
第 36 卷 日 立 評 論 第 8 号

◎ 北海道電力株式会社江別発電所 四号 25,000 kW タービン設備とその成績.....	北海道電力株式会社江別発電所所長 北海道電力株式会社火力部	浅山 野口 誠 一 佐浦 藤田 達 也 浦 田 博 司 星
◎ カプラン水車の吸出高さについて.....	日立製作所・日立工場	{ 深 栖 俊 一 横 井 信 安
◎ 推力軸受について.....	日立製作所・日立工場	長尾善右衛門
◎ 空気遮断器.....	日立製作所・日立国分分工場	{ 小 林 哲 郎 額 田 啓 三
◎ セレン整流器の研究.....	日立製作所・日立研究所	島 史 朗
◎ T.O. プラント (低圧式空気分離装置) の 理論と運転成績.....	日立製作所	{ 日立工場 { 松 本 政 吉 日立研究所 { 松 山 嘉 雄 杉 前 田 千 繁
◎ 日立高速多気筒圧縮機.....	日立製作所・栃木工場	須 藤 清 治
◎ 内接歯車ポンプの性能.....	日立製作所・栃木工場	高 橋 豊 吉
◎ 日立カルダン台車について.....	日立製作所・笠戸工場	山 田 一 男
◎ 三通話路搬送装置用濾波器.....	日立製作所・戸塚工場	菅 田 昌 次 郎
◎ 受像管の解像度について.....	日立製作所・茂原工場	小 泉 喜 八 郎
◎ ポリエチレン電力ケーブルの熱的特性.....	日立製作所・日立電線工場	{ 橋 本 博 治 川 和 田 七 郎

東京都千代田区丸の内1ノ4
(新丸の内ビルディング7階)

日 立 評 論 社

誌代 { 1冊分 ¥100 〒 12
6冊分 ¥430(送料共)
12冊分 ¥840(送料共)



特許と新案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その2)

(第30頁より続く)

区別	登録番号	名称	工場別	氏名	登録年月日
実用新案	413342	低電圧遮断選択表示装置	日立工場	池田正一郎	29. 5. 17
"	413343	揚水発電所の照光表示装置	日立工場	森井進	"
"	413344	配電回路選択遮断装置	日立工場	宮崎徳太郎	"
"	413345	回転型マクレオド真空計	日立工場	緑川勝弥	"
"	413346	増幅発電機励磁装置	日立工場	梅沢信義	"
"	413348	接触器箱	日立工場	{泉木千吉郎 鈴木正明	"
"	413350	光電比色計の指示装置	日立工場	古渡賢助	"
"	413351	光電比色計	日立工場	古渡賢助	"
"	413353	光電比色計におけるフィルタ表示装置	日立工場	古渡賢助	"
"	413355	縦軸回転電機	日立工場	滑川清	"
"	413357	エレベータ用パネルドア	日立工場	滑川清	"
"	413358	エレベータ乗籠インターホーン取付装置	日立工場	滑川清	"
"	413359	変圧器中身真空乾燥装置	日立工場	渡辺政巳	"
"	413360	変圧器	日立工場	渡辺政巳	"
"	413362	エレベータ吊籠インターホーン取付装置	日立工場	佐藤留之助	"
"	413363	エレベータ乗籠インターホーン取付装置	日立工場 本社	{宮本忠博 佐藤永留之助 吉永淳	"
"	413364	変圧器油濾過装置	日立工場	{栗田健太郎 滑川清	"
"	413354	固粒体輸送装置	亀有工場	{寺田進夫 橋本哲	"
"	413356	固形物をポンプにより輸送する装置	亀有工場	{木暮健三郎 大貫康志	"
"	413349	電気機器のコード出口固定装置	多賀工場	{大岡宏昭 萩野忠	"
"	413361	紡糸電動機給油装置	多賀工場	吉田金太郎	"
"	413347	X線管球吊り装置	亀戸工場	{和田正勝 馬場脩彦	"
"	413313	電話装置	戸塚工場	山田博三	"
"	413314	共電式電話装置	戸塚工場	山田博三	"
実用新案	413352	真空管その他類似装置の包装箱	茂原工場	須藤俊	29. 5. 17