

# 最近のディーゼル電気機関車制御方式について

## The Recent Controlling System of Diesel Electric Locomotive

竹村伸一\*  
Shinichi Takemura

### 内容梗概

最近におけるディーゼル電気機関車のめざましい発達には信頼性の高いディーゼル機関の出現とともに電気的動力伝達装置および電気的制御方式の進歩に負うところが多い。

本稿においては最近特に注目されている機関遠方制御装置および自動負荷調整装置を中心とした電気的制御方式につき諸外国の実例を比較しあわせて日立製作所独得の方式を紹介した。

### 〔I〕 緒 言

近時世界の鉄道は動力の近代化と経営の合理化に真剣な努力を続けており、ディーゼル化はその有力な手段の一つとして大きく取り上げられつつある。日本においても戦後の燃料事情好転に伴ってディーゼル化が各方面より着目されるに至った。日立製作所においても昭和28年に戦後における日本最初のディーゼル電気機関車を富士製鉄輪西工場に納入し、続いて国鉄向キハ44,000型電気式ディーゼル動車、DF90形1,900HPディーゼル電気機関車およびDF50型1,400HPディーゼル電気機関車、タイ国鉄向950HPディーゼル電気機関車などを製作している。

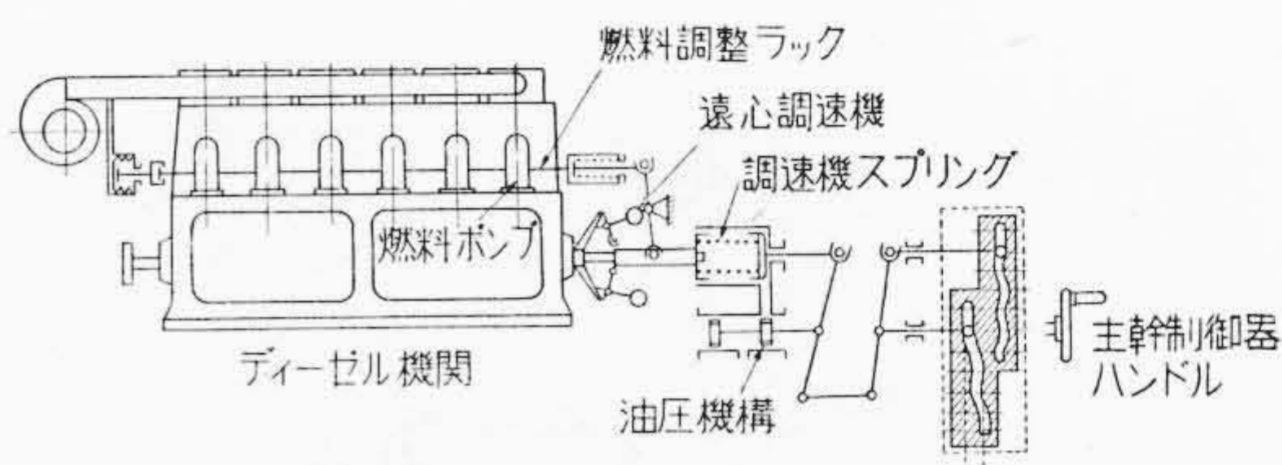
最近におけるディーゼル電気機関車の進歩は信頼性の高いディーゼル機関の出現によるとともにその電気的動力伝達装置および電気的制御方式に負うところが多い。

本稿においては最近特に注目されている電気的制御方式につき機関遠方制御装置および自動負荷調整装置を中心とし、さらに電気制動、直並列制御、界磁制御および自動ノッチ進めなどについて述べてみることにする。

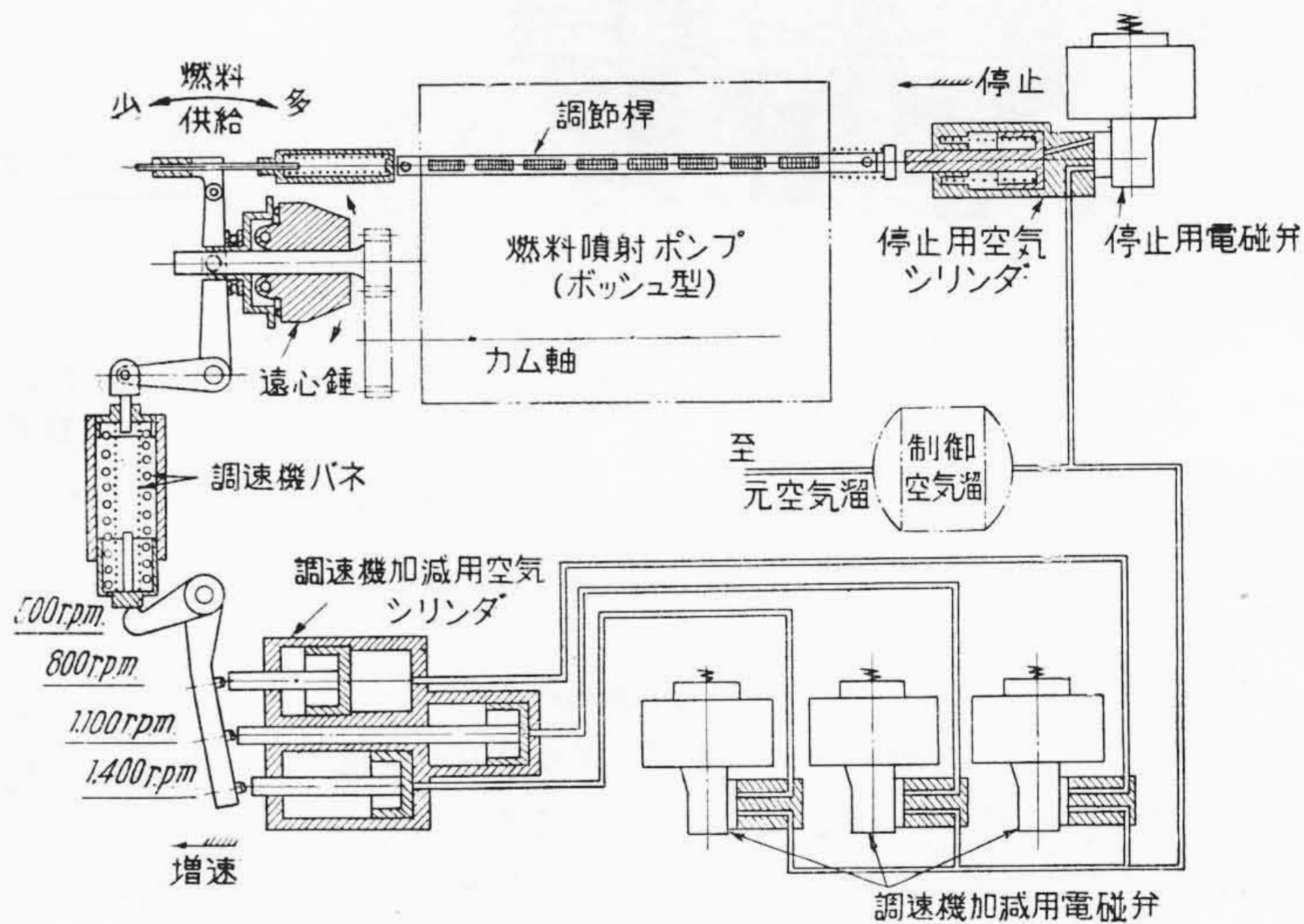
### 〔II〕 機関遠方制御装置

機関車の出力すなわちディーゼル機関の出力は運転室より数段階に制御できなければならない。ディーゼル機関1台を1個の主幹制御器で制御する場合には第1図に一例を示すように手動の機械的遠方操作装置でも良いが、普通は両エンドの運転室から制御する必要があるし、また2輦以上の重連運転における総括制御の場合も考えなくてはならないので中型、大型のディーゼル電気車輛

\* 日立製作所水戸工場



第1図 機械式機関遠方制御装置

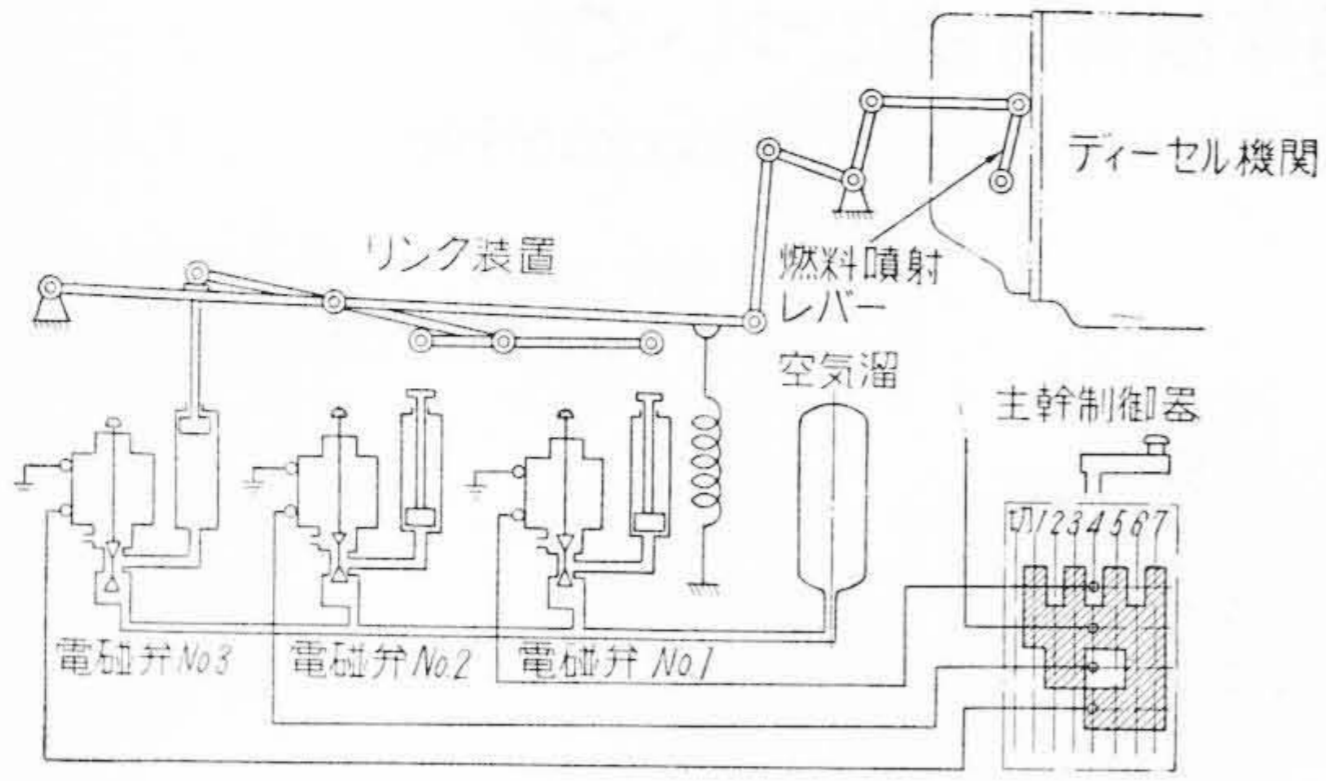


第2図 電磁空気式機関遠方制御装置 (A)  
(富士製鉄納35tディーゼル電気機関車)

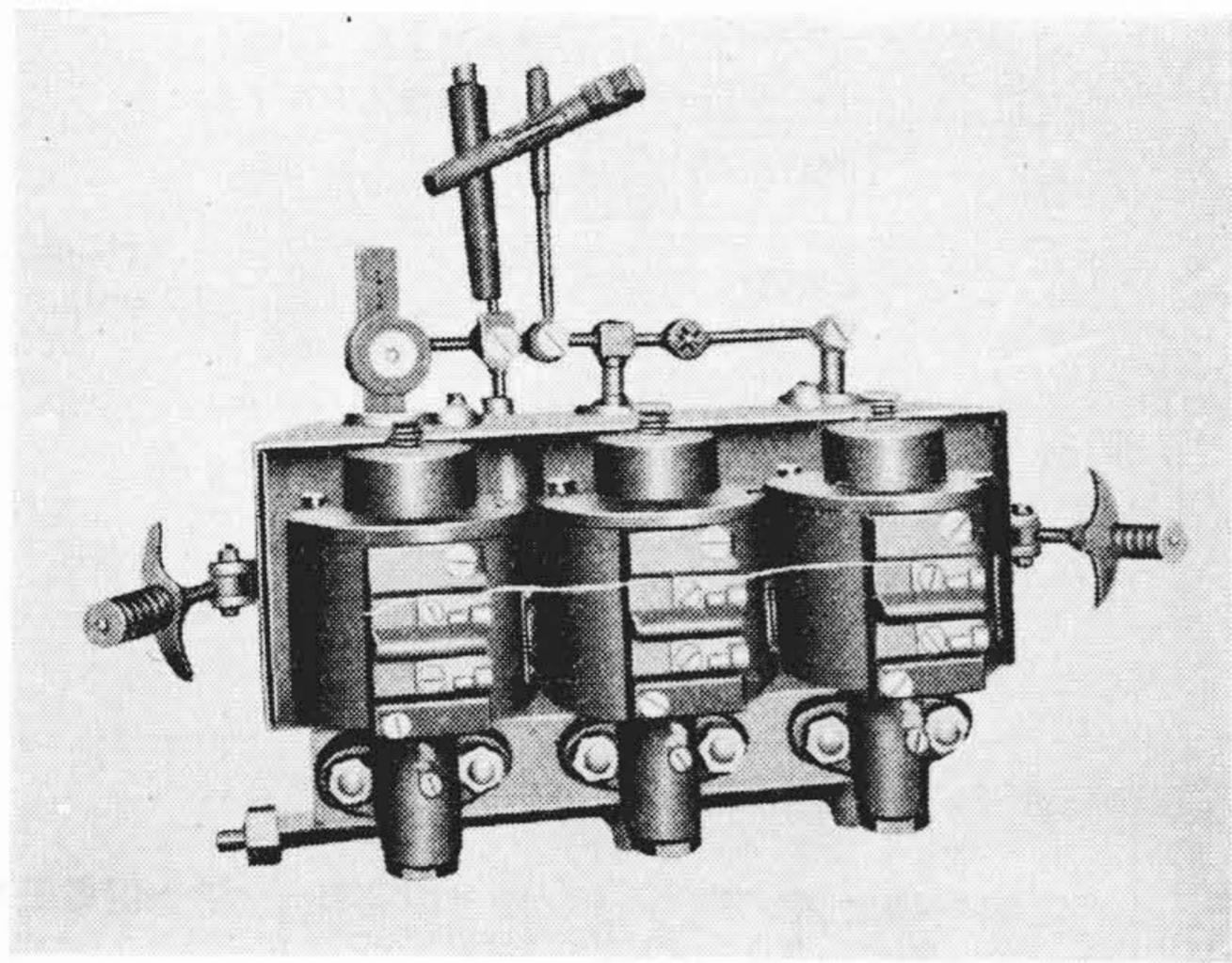
は各メーカー独得の機関遠方制御装置を使用している。

第2図に示すのは電磁空気式の機関遠方制御装置で富士製鉄に納入した35tディーゼル電気機関車に使用したものである。本図はノッチ数3の場合を示すが、主幹制御器を進めてゆくにしたがって、3個の電磁弁が順次動作して圧力空気をそれぞれの空気シリンダに送り、ピストンを動作させて機関调速機のスプリングを3段に圧縮してゆき、機関の出力を調整するもので遠方制御装置としては最も簡単なものの一つである。

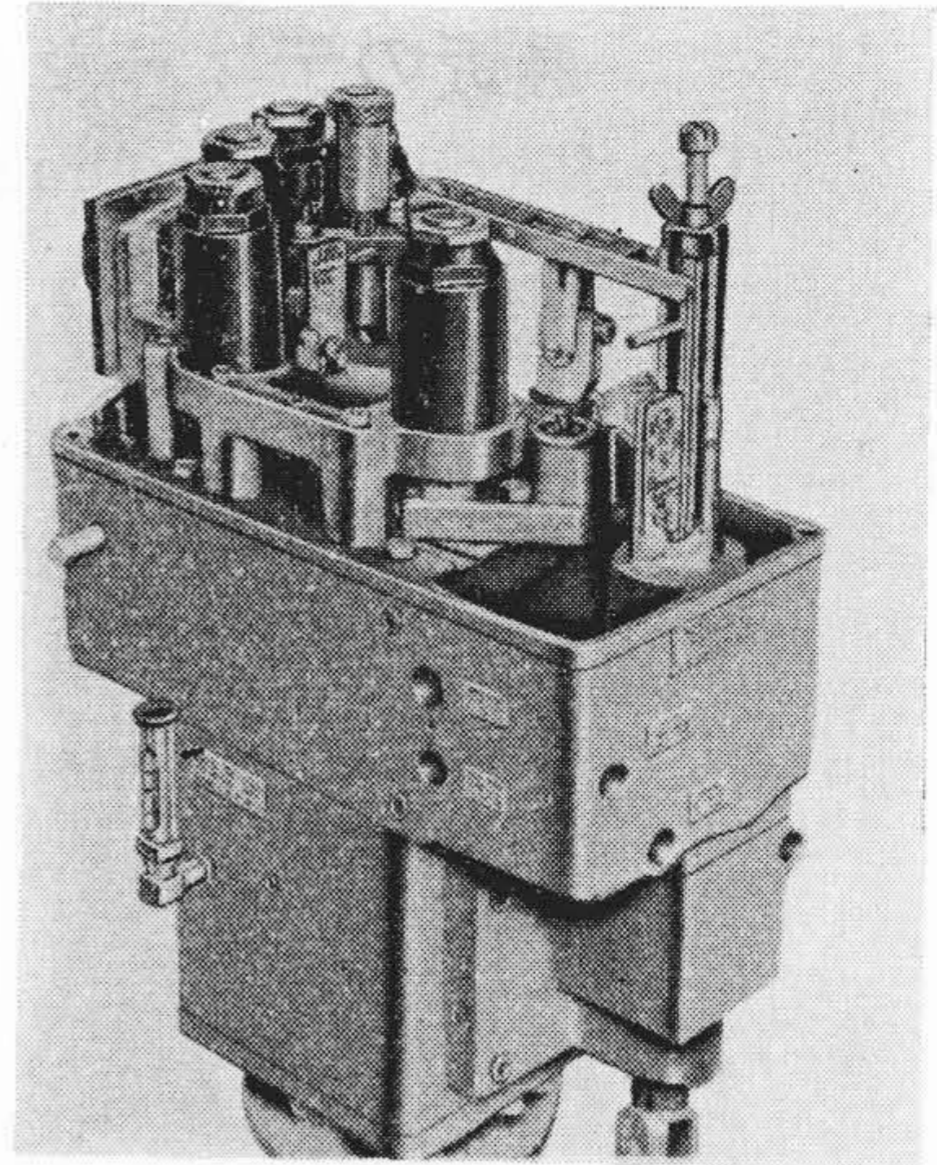
第3,4図は同じく電磁空気式のものであるが、リンク装置を附加することにより、3個の電磁弁で7ノッチを



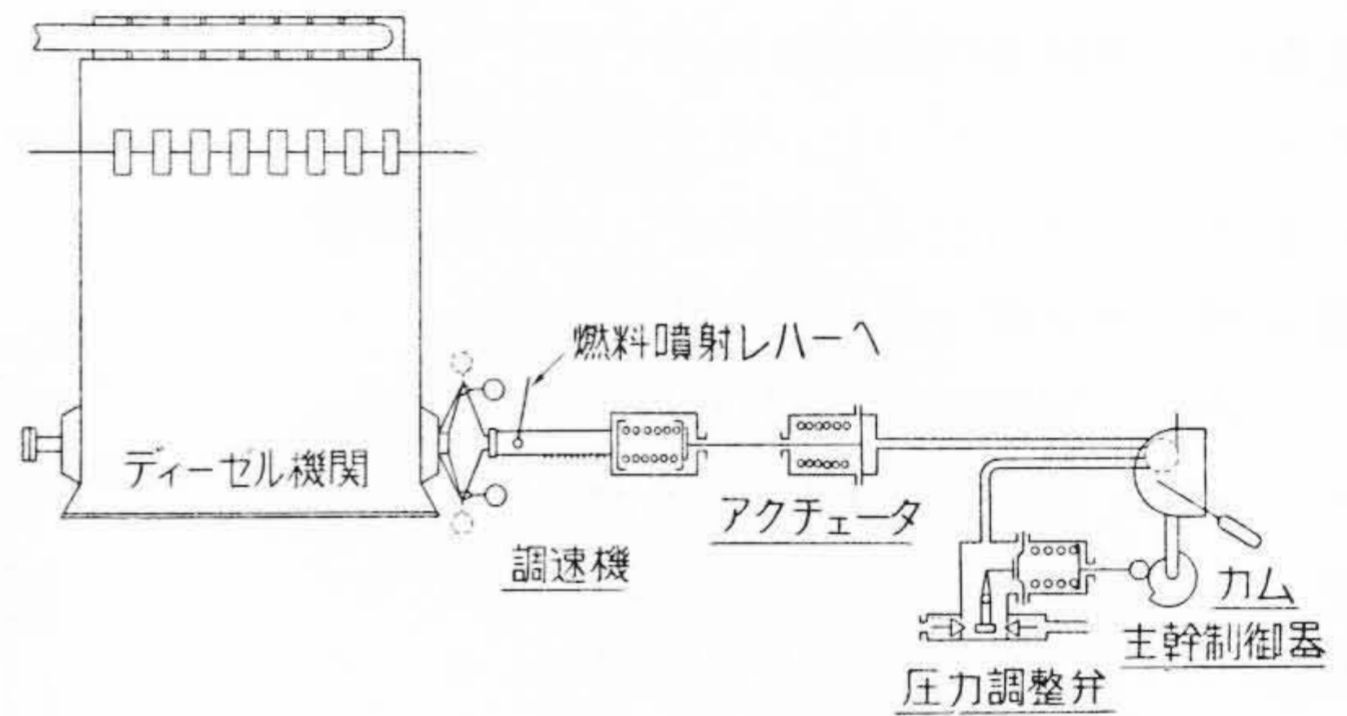
第3図 電磁空気式機関遠方制御装置



第4図 電磁空気式機関遠方制御装置 (キハ44,000形電気式ディーゼル動車)



第5図 電磁油圧式機関遠方制御装置 (ウッドワード調速機)



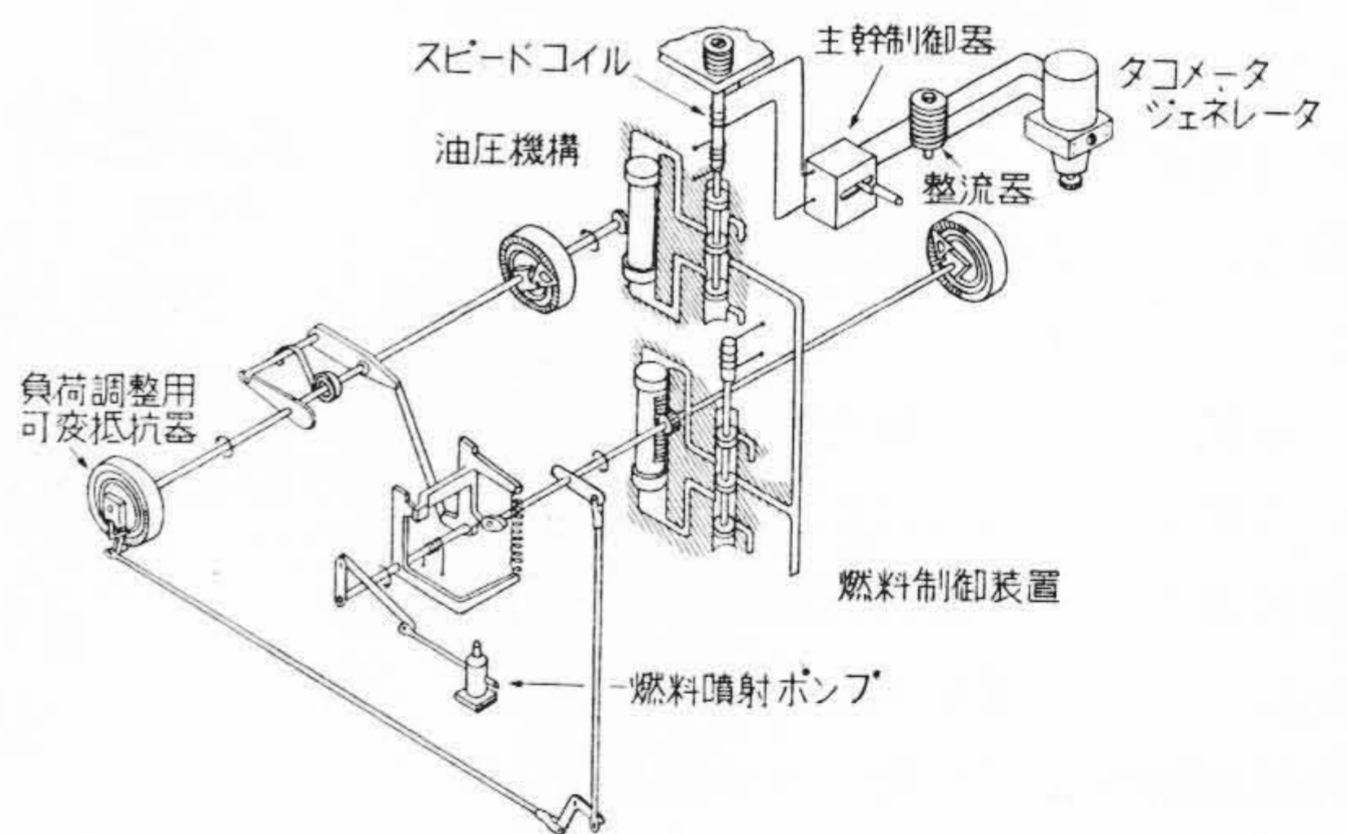
第6図 空気式機関遠方制御装置 (DF50形ディーゼル電気機関車)

作っており、国鉄納キハ44,000形電気式ディーゼル動車、そのほかトルクコンバータ式の小中型ディーゼル機関車に広く使用されている。

世界的に有名なウッドワード (Woodward) ガバナは第5図に示すように4個のソレノイドコイルとリンク機構の組合せで最高14ノッチまで作ることができる。その動作原理は大體上述のものと同じであるので説明は省略する。

以上の諸方式は、比較的簡単に数ノッチを作ることができる利点があるが、ノッチ数をこれ以上増やすことが困難であることおよび中間ノッチの出力はレバー機構によりきまつてしまい任意に選定することができないことなどの欠点を有しており、ウッドワードを除いては主として中形小形車輛の制御用に用いられている。

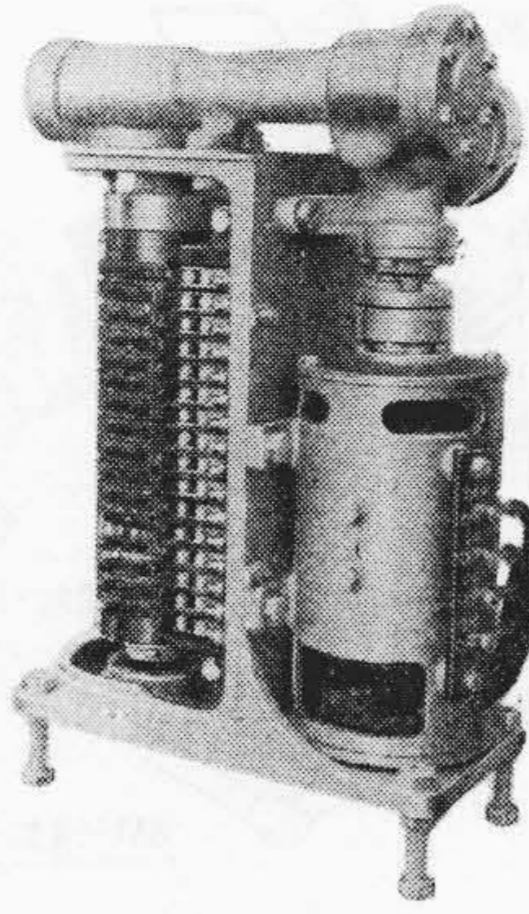
第6図は空気式遠方制御装置の一例を示したもので、ウェスティングハウス社やフェアバンクスモース社などが本方式を採用しており国鉄DF50型ディーゼル電気機関車もこの方式によつている。図に示すように主幹制御器の下方につけた円板形カムによつて空気管内の圧力を変化させ機関調速機の調整を変えるものである。本方式はノッチ数を多くすることが容易にできる利点はあるが、



第7図 電気式機関遠方制御装置

重連運転などの際主幹制御器からの距離によつて機関の出力に差のできる欠点がある。

第7図は全電気式の制御装置でGE社特有のものである。本方式はディーゼル機関の調速機に従来のフライボールガバナを用いずタコメータジェネレータを用いる場合にのみ使用可能のもので、主幹制御器を進めればタコメータジェネレータの発電回路に抵抗が順次挿入されてゆくの、スピードコイルの起磁力が変り、油圧機構を操作して燃料噴射ポンプを制御し機関の回転数を上昇



第8図 日立式機関遠方制御装置

させる作用をするものである。

最後に第8図に示すものは電動機操作式機関遠方制御装置で国鉄に納入したDF90型ディーゼル電気機関車、あるいはタイ国鉄に納入した950HPディーゼル電気機関車などに使用されている日立独得の方式\*である。第9図は本方式の原理を説明したものであるが、図において主幹制御器のハンドルを操作すれば2個の短絡継電器のいずれか一方が動作して操作電動機を正逆いずれかの方向に回転させ、制御円筒を主幹制御器の指示する位置までもつてくる。このとき制御円筒を駆動している軸は同時に機関の调速機のバネを圧縮するようになっているので、调速機は主幹制御器の指示するノッチにセットされることになる。

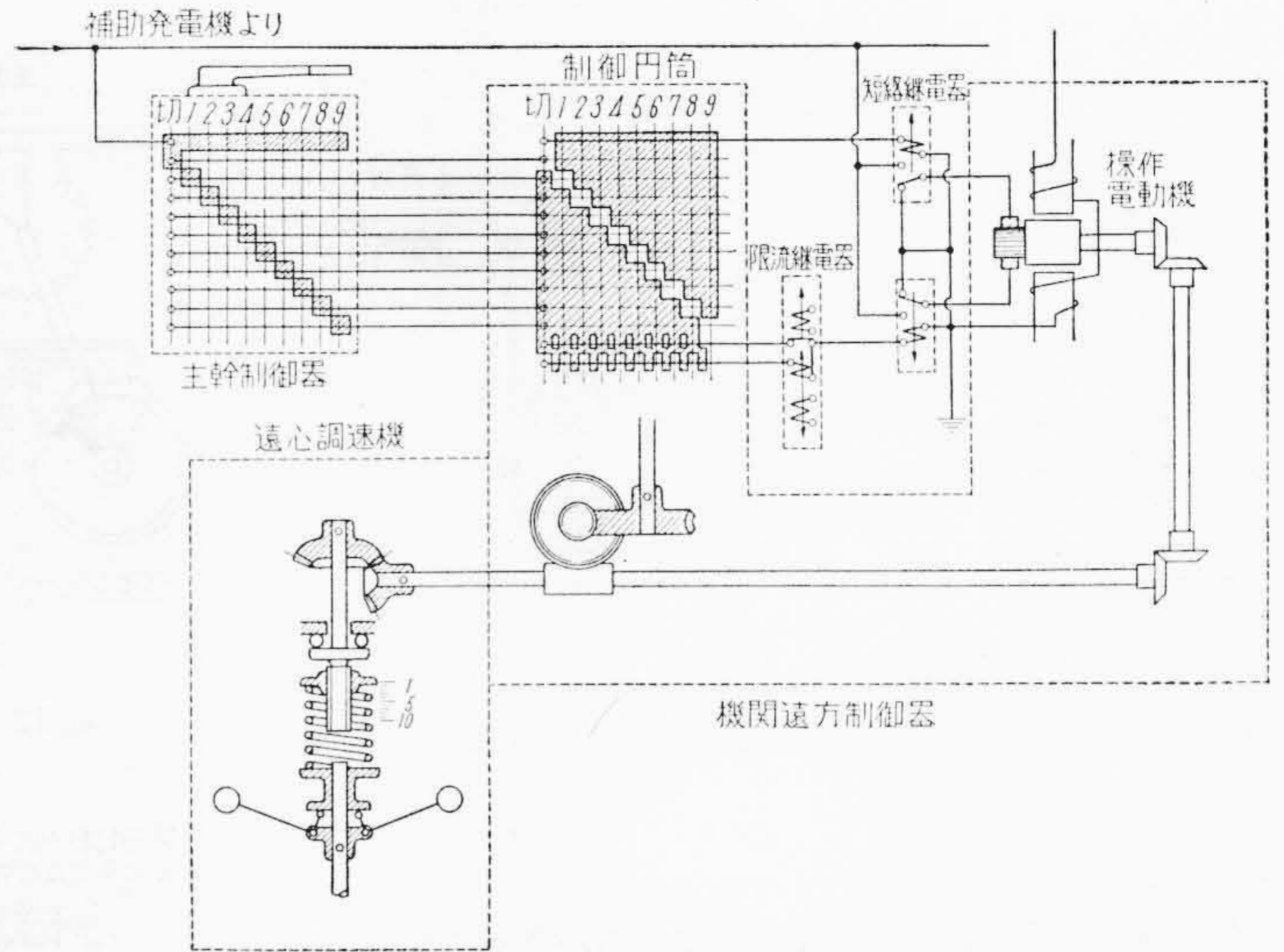
本方式はノッチ位置を常に正確に規正できる利点があり総括制御の場合にも動作が安定しており、また後述の自動負荷調整装置と組合せて使用する場合本制御円筒の一部が負荷識別部の作用を兼ねることができ、また容易に自動ノッチ進めの機能を付与しうるなど種々の特長を有している。

### 〔III〕 自動負荷調整装置

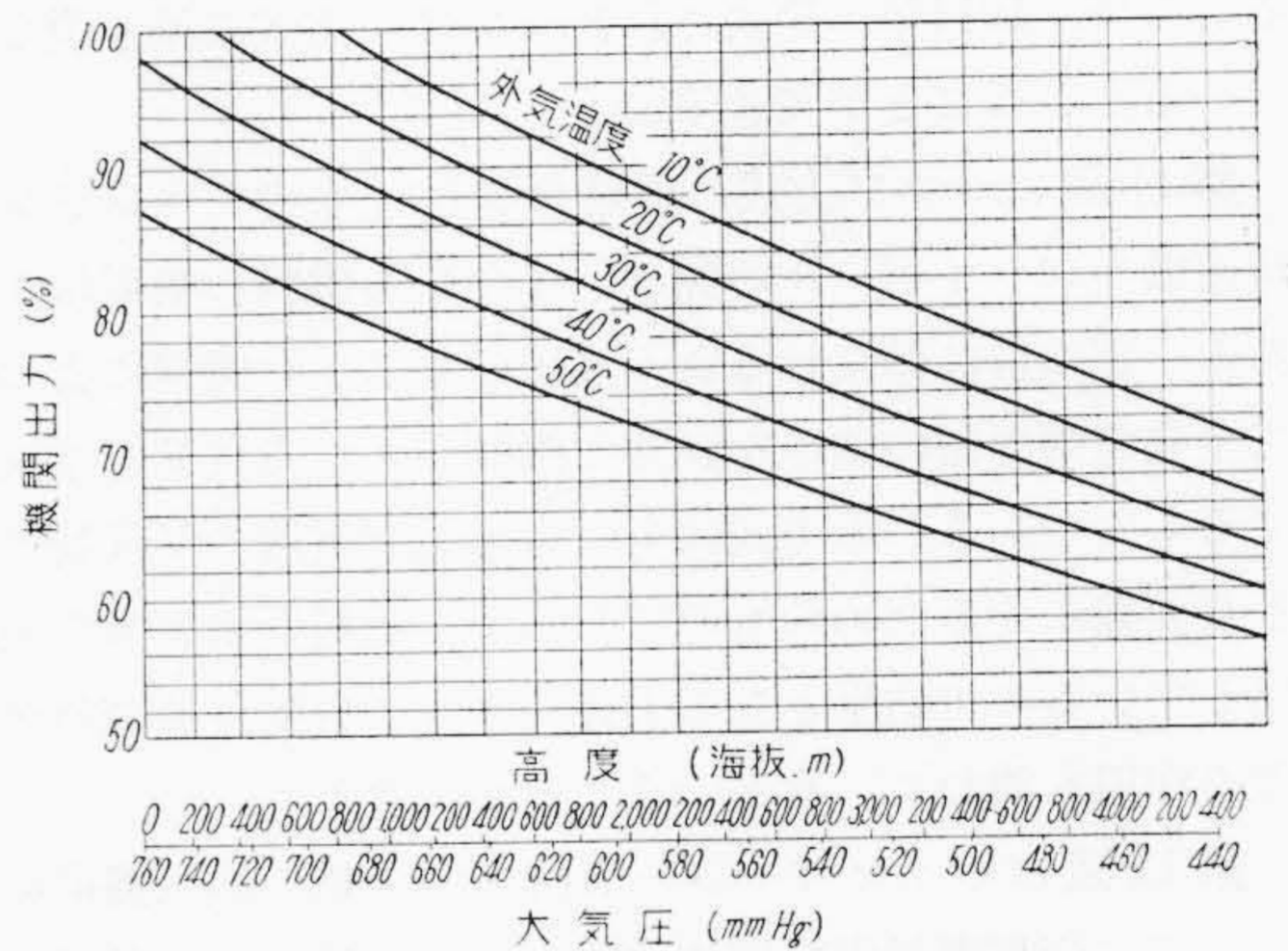
主発電機と主電動機の組合せによるいわゆる電気的動力伝達装置においては、車輛の速度が変つて主電動機回路の電流が増減しても、常にディーゼル機関の出力をいづばいに利用できることが望ましい。このため主発電機は出力電流と電圧の積が常にほぼ一定となるような特性とすることが必要であり古くはレンプ、ゲブスの方式に端を発し近年各メーカーがそれぞれ独得の方式を開発している。日立製作所ではHI励磁機\*\*と称する特殊励磁機を用いているがこれについてはほかの機会にしばしば

\* 特許申請中

\*\* 実用新案 第380772号  
実用新案 第394726号



第9図 日立式機関遠方制御装置説明図



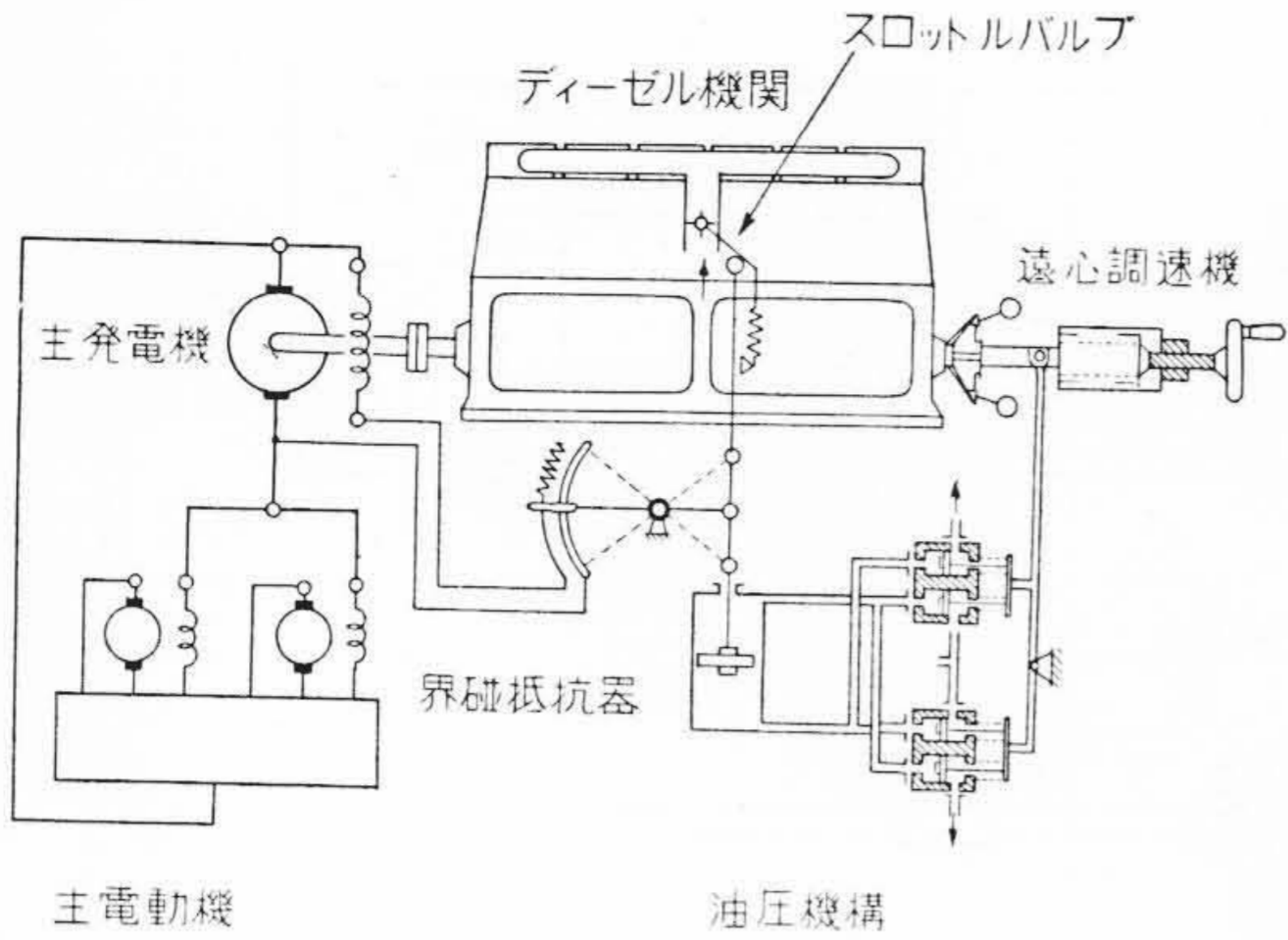
第10図 ディーゼル機関の出力低下特性

述べているので本稿では省略することにしたい。

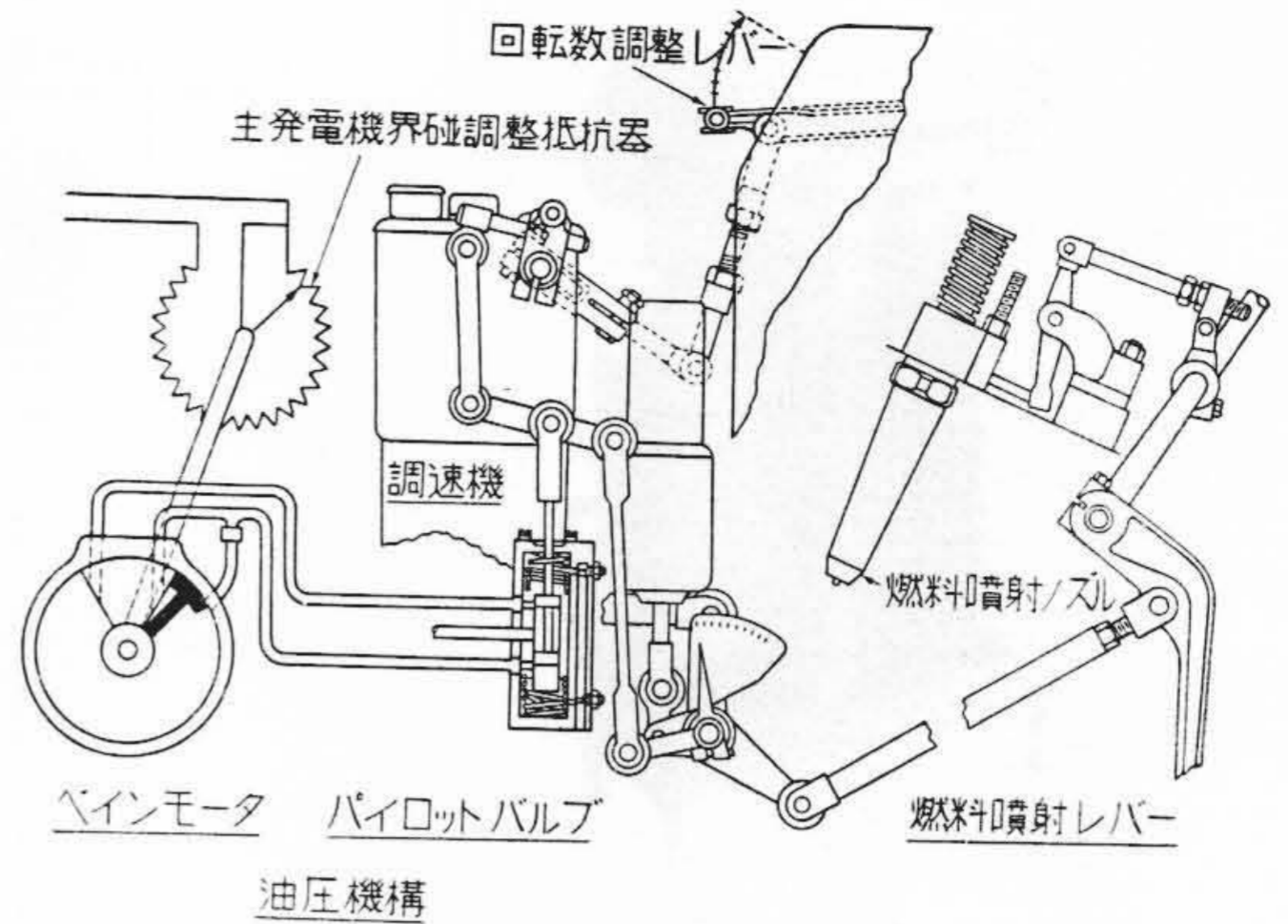
一般的にディーゼル機関の出力は気温、気圧などの周囲条件によつても、また使用される燃料油の種類やピストンリングの摩耗状態によつても相当大幅に変化するものである。一例として第10図にMAN社V8V形ディーゼル機関の出力変化特性を示してあるが、これによつて明らかなように気温10°Cの上昇ごとに約5%、海拔1,000m上昇ごとに約9%の出力減少が見られる。また一方主発電機についても、一般の電気機器と同様に巻線の温度が上昇するにしたがつて出力が低下してゆくのは衆知のとおりである。

さらにまたこの両者の回転数—出力特性を完全に一致させることは不可能に近く、また主発電機のV-I特性も理想曲線とは近似的にしか一致できぬものである。

自動負荷調整装置はこの両者の出力を常に自動的につり合うよう調整するためのもので大容量の機関には是非



第11図 自動負荷調整装置 (A)



第12図 自動負荷調整装置 (B)

必要なものである。

本装置は欧米において各社各様のものが考案されているがその根本原理はディーゼル機関の燃料噴射量がある一定の値に保つように主発電機の界磁を自動的に調整するもので、1914年に発表されたレンプの方式に端を発しているといえることができる。

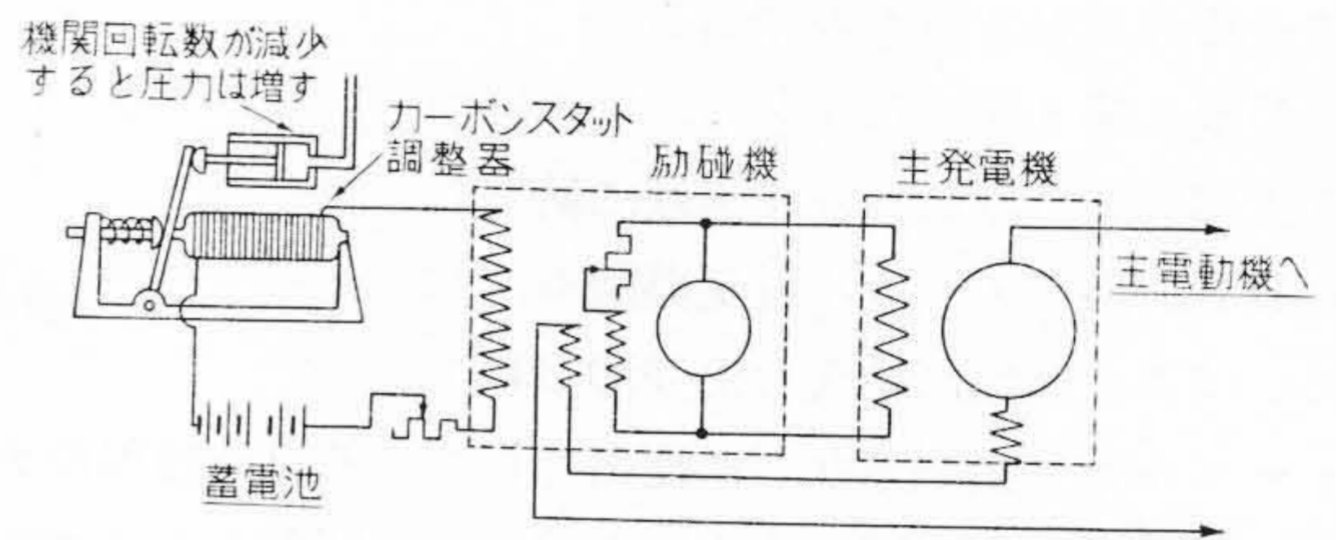
第11図はレンプ方式の概略を示したものでエンジン调速機のフライボールの開き、すなわち燃料の噴射量がある一定の量に保たれるよう油圧のピストン機構によつて主発電機界磁の強さを調整し機関にかかる負荷を増減するものである。本方式はもともと主発電機のV-I特性を双曲線にするためのものであるが、燃料の噴射量を検出しているため結果として上述のように自動負荷調整装置の作用も兼ねているといえる。

第12図はベインモーターと称する一種の油圧機構によつて主発電機界磁を調整するものでGM社やBBC社で広く使用されているものである。

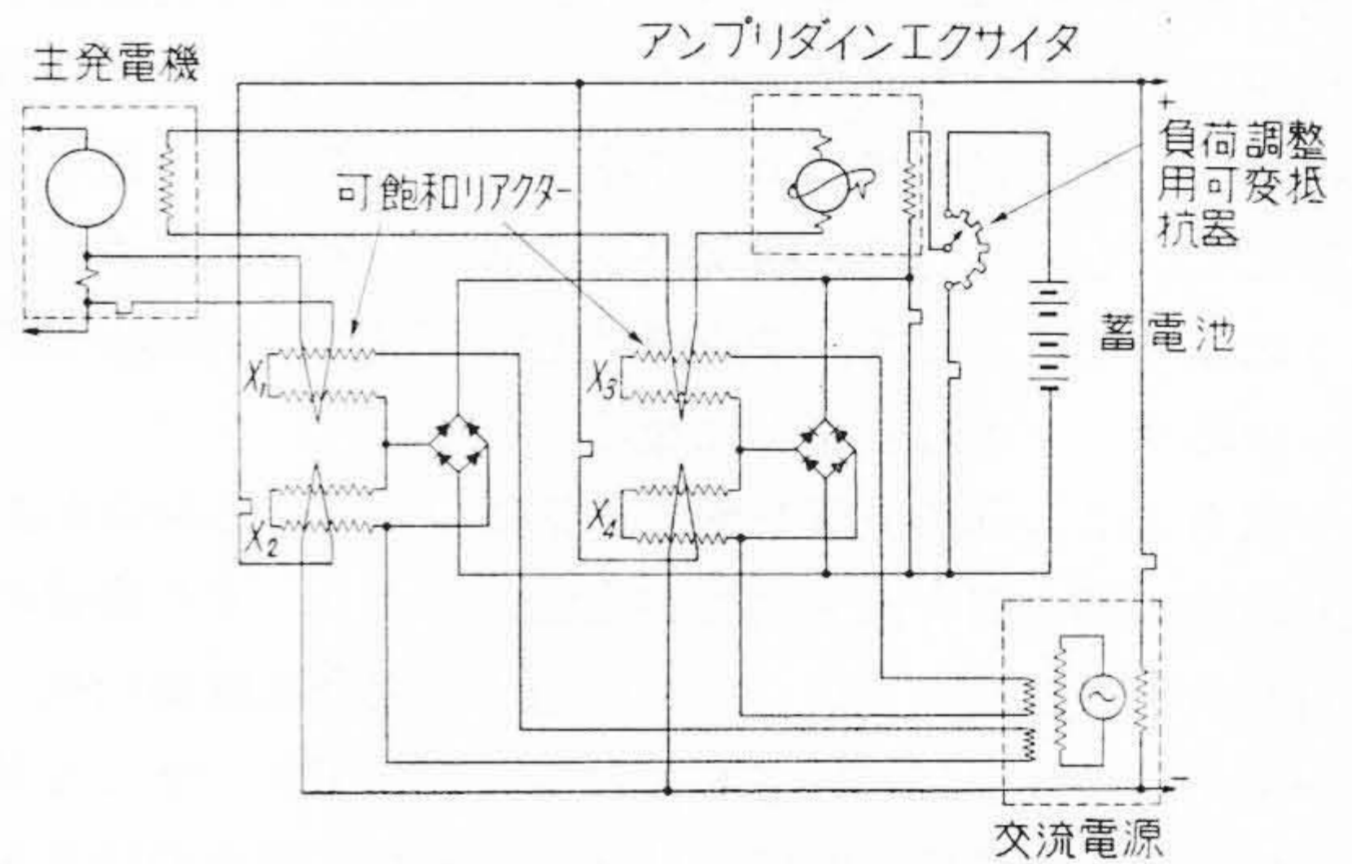
WH社では第13図に示すようなカーボンスタット調整器を使用している。油圧のシリンダに调速器の変位に相当する油圧が導入されるようになっており、これによりカーボンパイルの受ける圧力が変化して励磁機の界磁を調整するようになっている。

全電気式ガバナを使用しているGE社では第7図に示すようなタコメータージェネレータの電圧変化により操作される負荷調整用可変抵抗器により第14図のアンプリダインエクサイタの界磁を調整して主発電機出力制御を行っている。

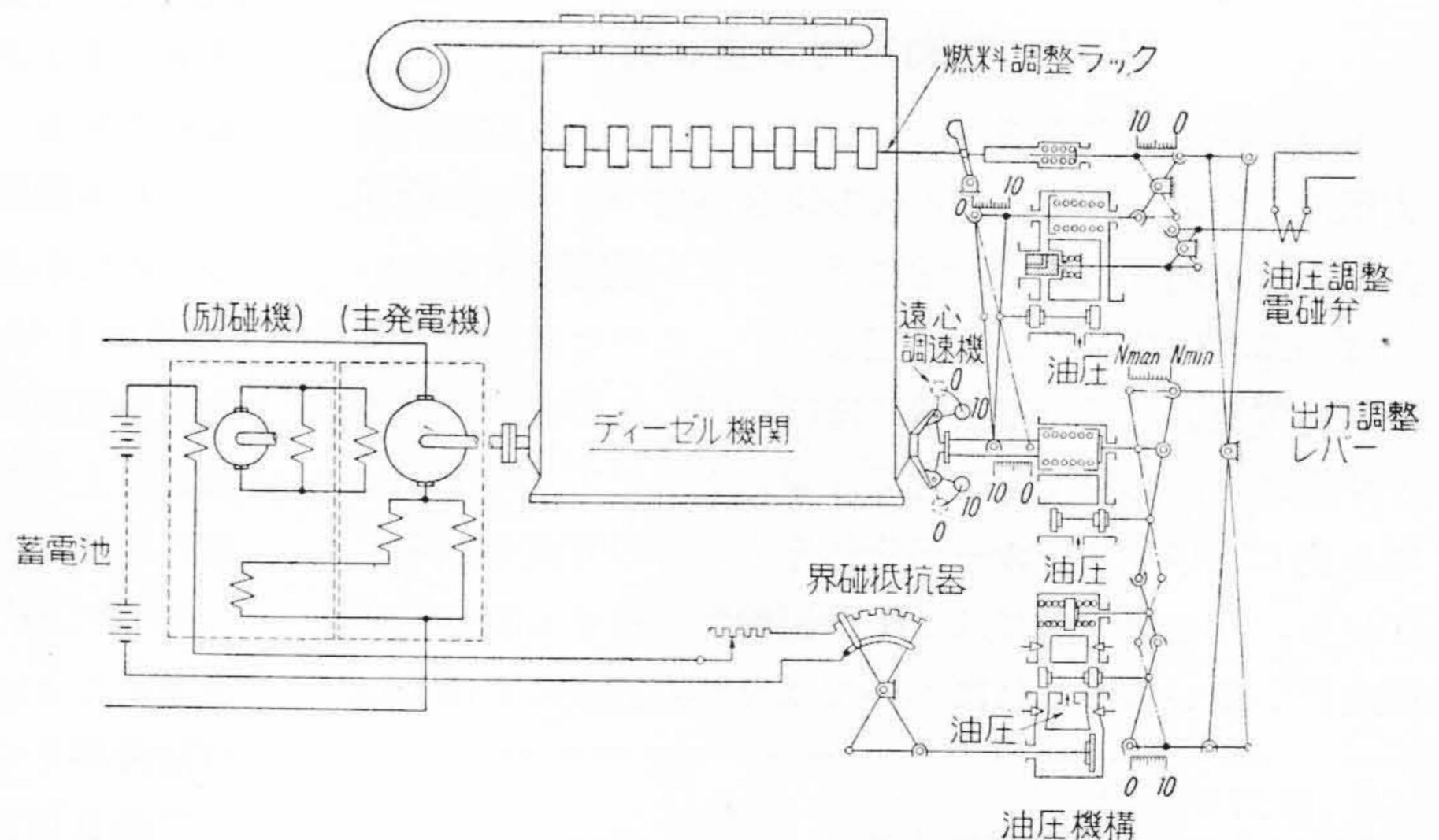
第15図は全部機械的な油圧のサーボメカニズムのみで励磁機の界磁を制御している例で主としてズルップ社の



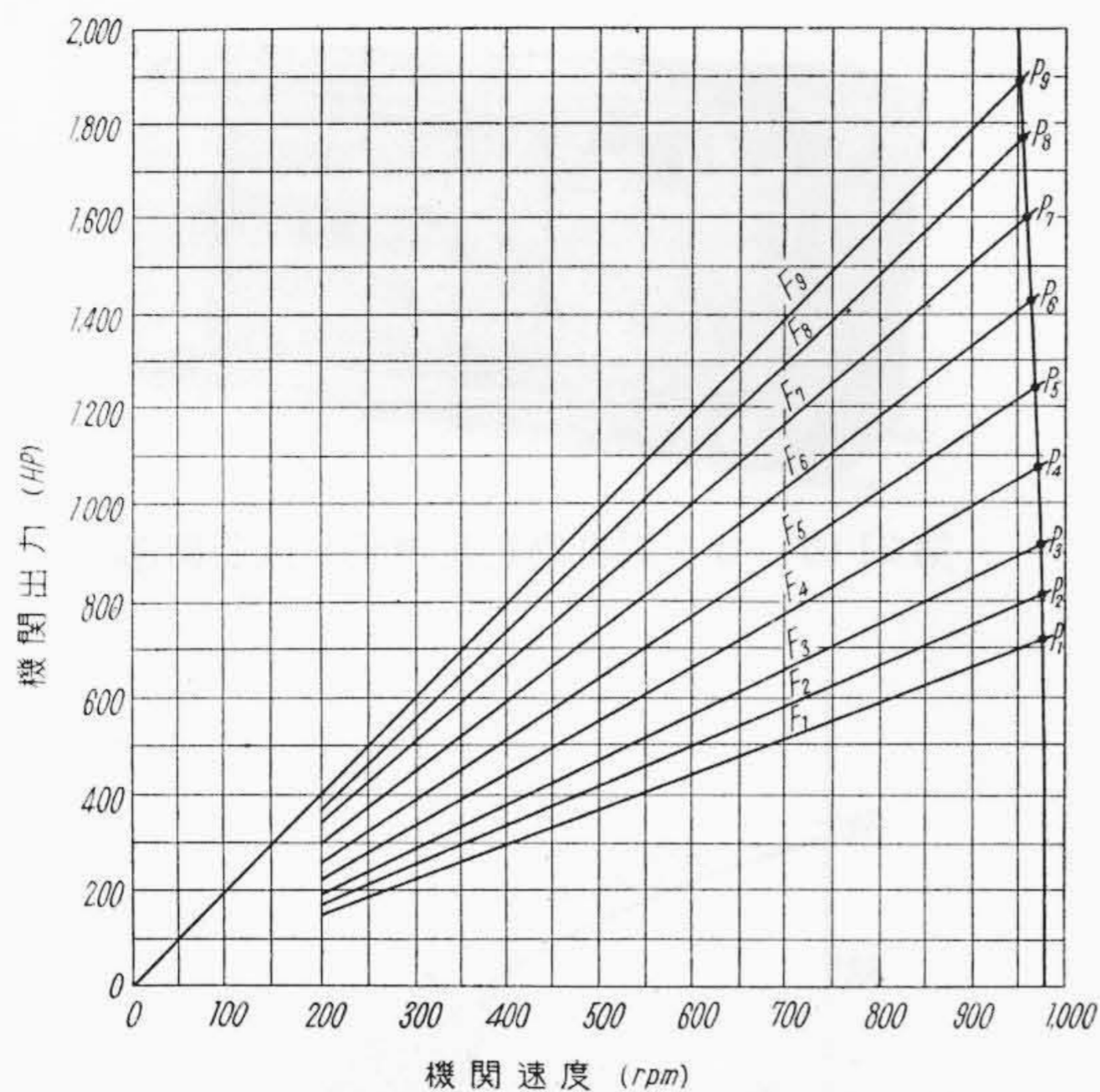
第13図 自動負荷調整装置 (C)



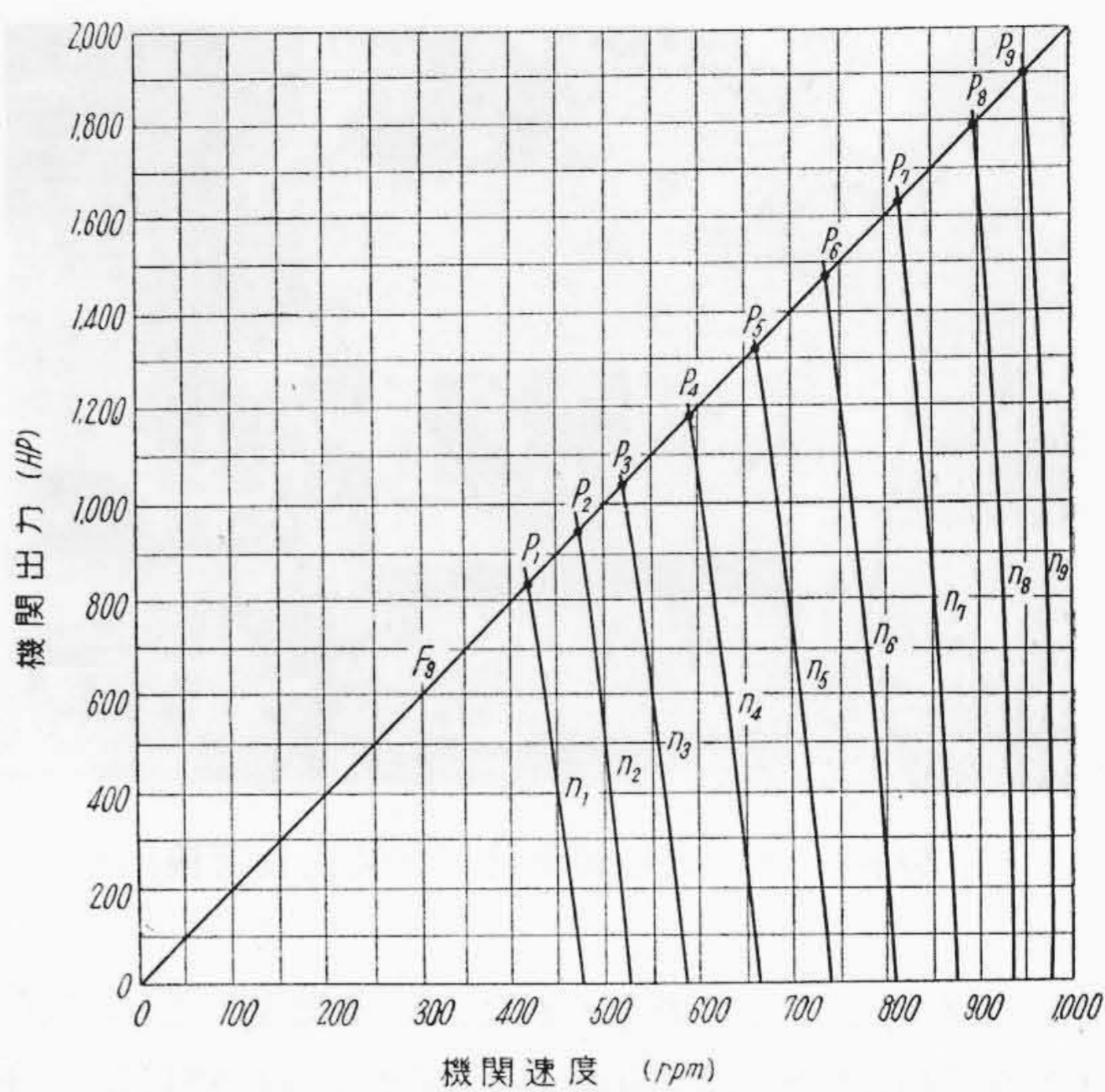
第14図 自動負荷調整装置 (D)



第15図 自動負荷調整装置 (E)



第 16 図 燃料制御の場合の出力—速度特性 (1,900HP ディーゼル機関)



第 17 図 速度制御の場合の出力—速度特性 (1,900HP ディーゼル機関)

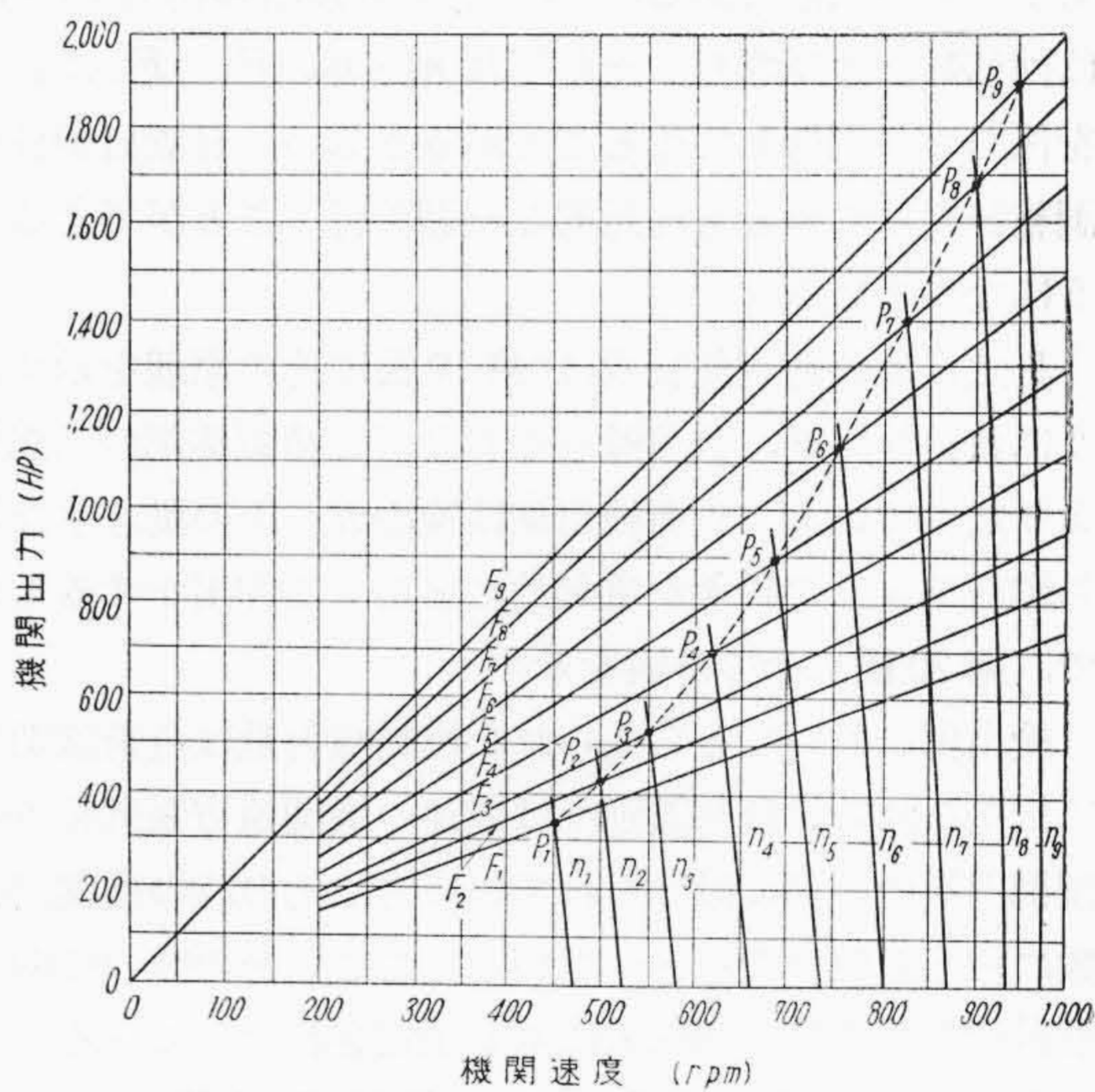
ものに用いられている。

さて、ここで日立製作所の方式を説明する前に機関の出力制御について考察を進めてみよう。

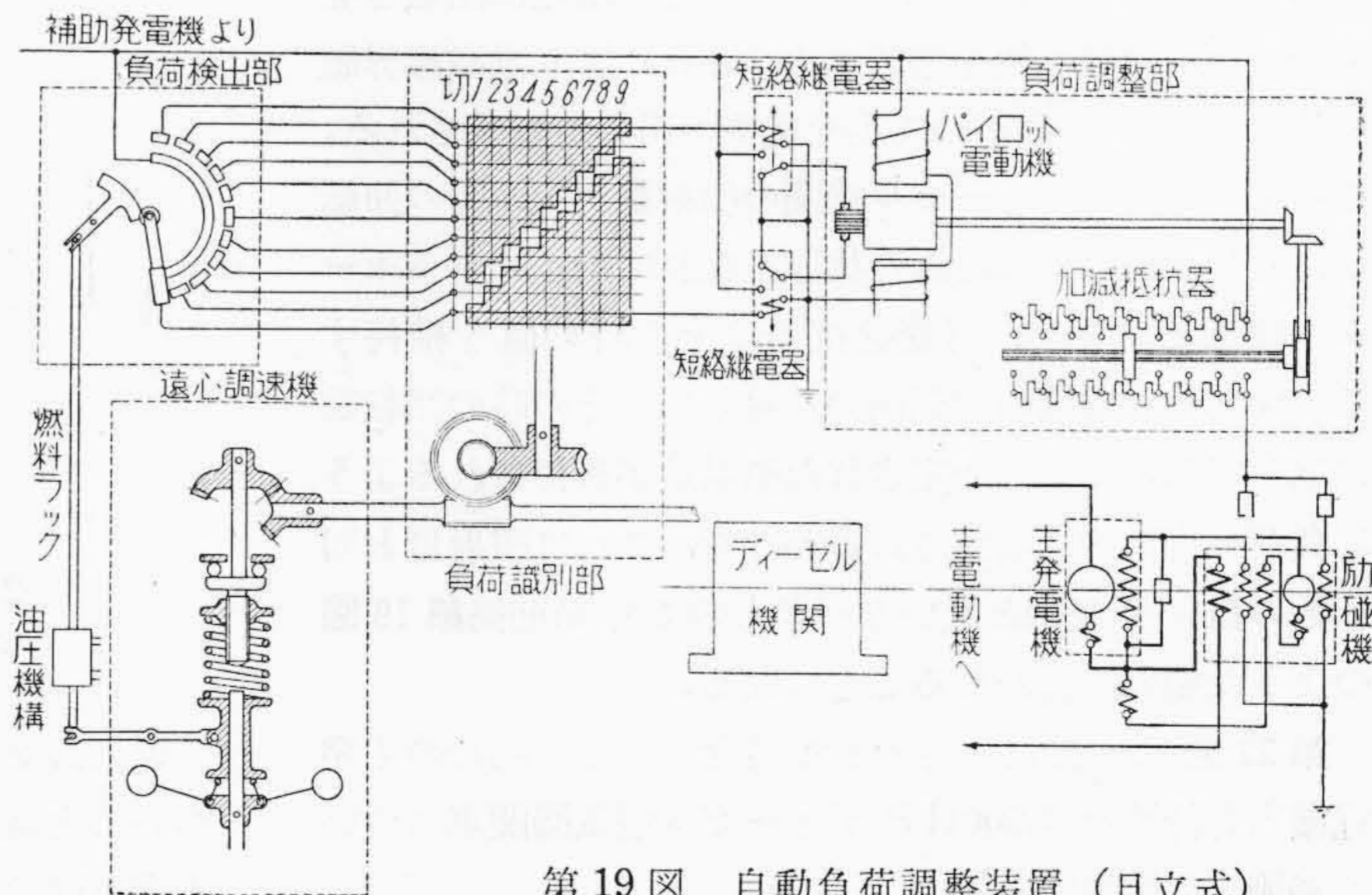
元来ディーゼル機関の出力はトルクと回転数の積であるから出力を制御するにはこの二つの要素のいずれを制御しても良い。第一の方法は機関の回転数すなわち调速機の調整はそのままにしておき燃料の噴射量を変える方法である。第 16 図は MAN 社 V8V の機関において燃料の噴射量を 9 段階に変化した場合の回転数—出力曲線であるがこのようにして  $F_1 \sim F_9$  までの 9 種類の特性が得られるので、機関回転数を 950 rpm にセットしておけば  $P_1 \sim P_9$  まで 9 段階の出力が得られるわけである。

出力制御のほかの一つの方法は燃料噴射量は一定にしておいて機関の回転数を変化させる方法で速度制御ともいべきものである。第 17 図は機関速度を 9 段階に変えた場合の特性曲線を示したもので燃料噴射量を一定値に保てば  $P_1 \sim P_9$  まで 9 段階の出力が得られる。

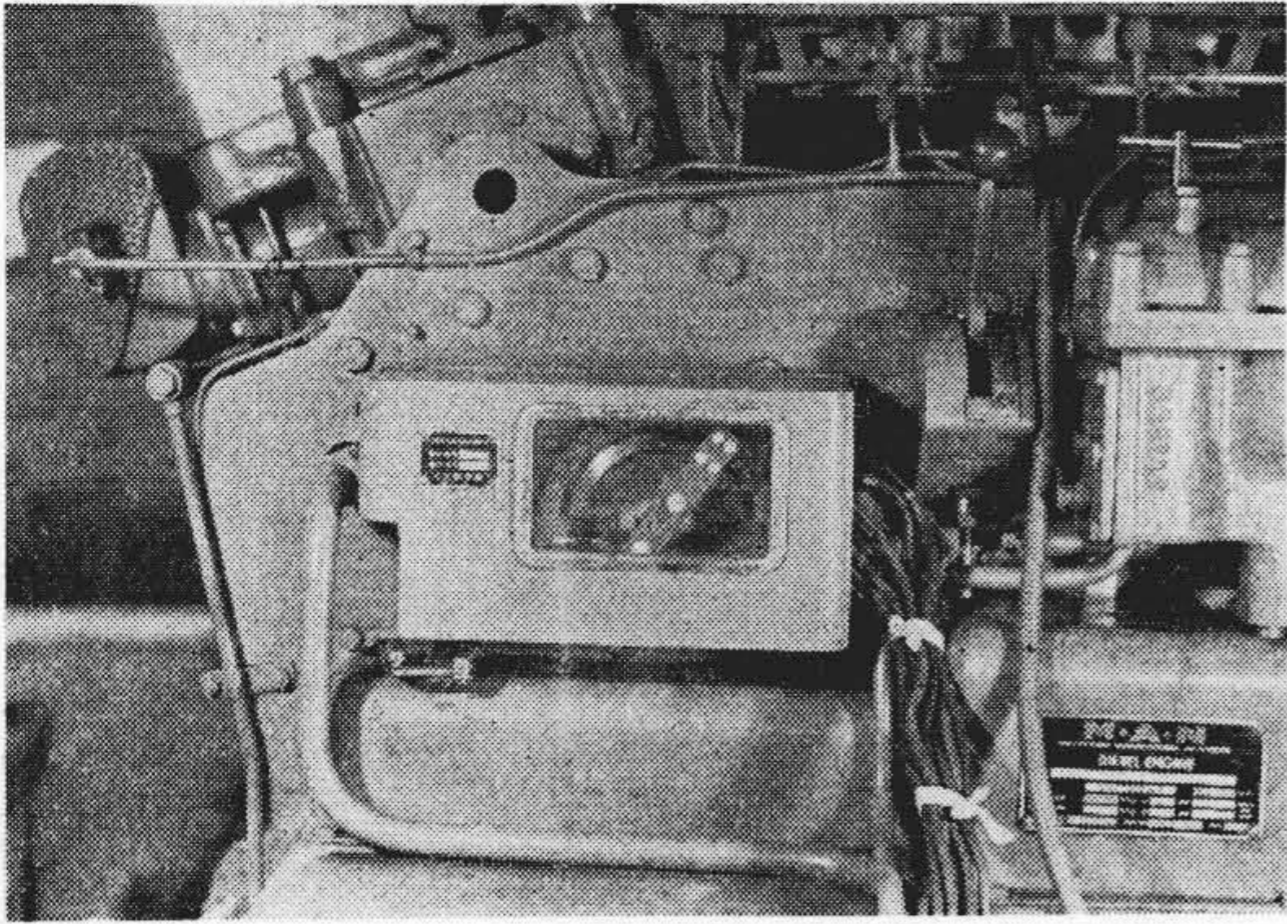
ディーゼル機関にとって中間出力を利用する場合に熱的および機械的な見地から燃料または回転数の一方のみを制御することは好ましくない。効率の点からも寿命の面からも、第 18 図に示すような燃料と回転数の両者をそれぞれつり合を保ちつつ制御することが望ましいことは明らかである。換言すれば第 18 図において中間出力 900 HP は、機関回転数を最高値 950 rpm に保ちつつ燃料噴射量を  $F_3$  に絞っても、また燃料噴射量を最大値  $F_9$  に保ちつつ機関回転数を 450 rpm に



第 18 図 燃料、速度組合制御の場合の出力—速度特性 (1,900HP ディーゼル機関)



第 19 図 自動負荷調整装置 (日立式)



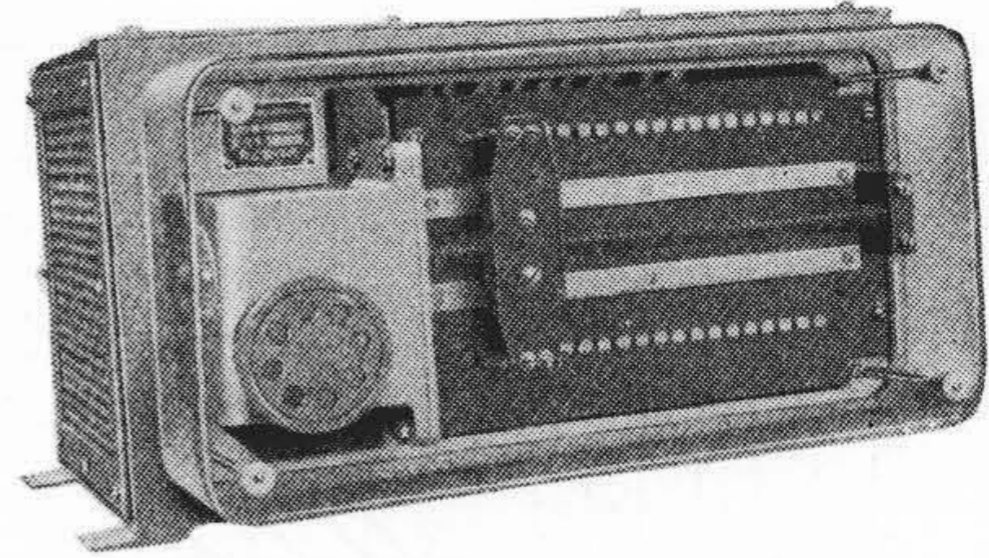
第20図 日立式自動負荷調整装置負荷検出部

下げても得ることができるがこれらは機関にとって好ましい制御ではなく、図中の  $P_5$  に示すように噴射量を  $F_5$  にまた回転数を約 700 rpm にそれぞれ下げることが最も望ましい状態である。すなわち9段階の出力  $P_1 \sim P_9$  は回転数および燃料をそれぞれ  $n_1 \sim n_9$ ,  $F_1 \sim F_9$  に釣合を保ちつつ制御して得ることが望ましい。日立自動負荷調整装置はこの最も理想的な制御を行うことができるようになっている。

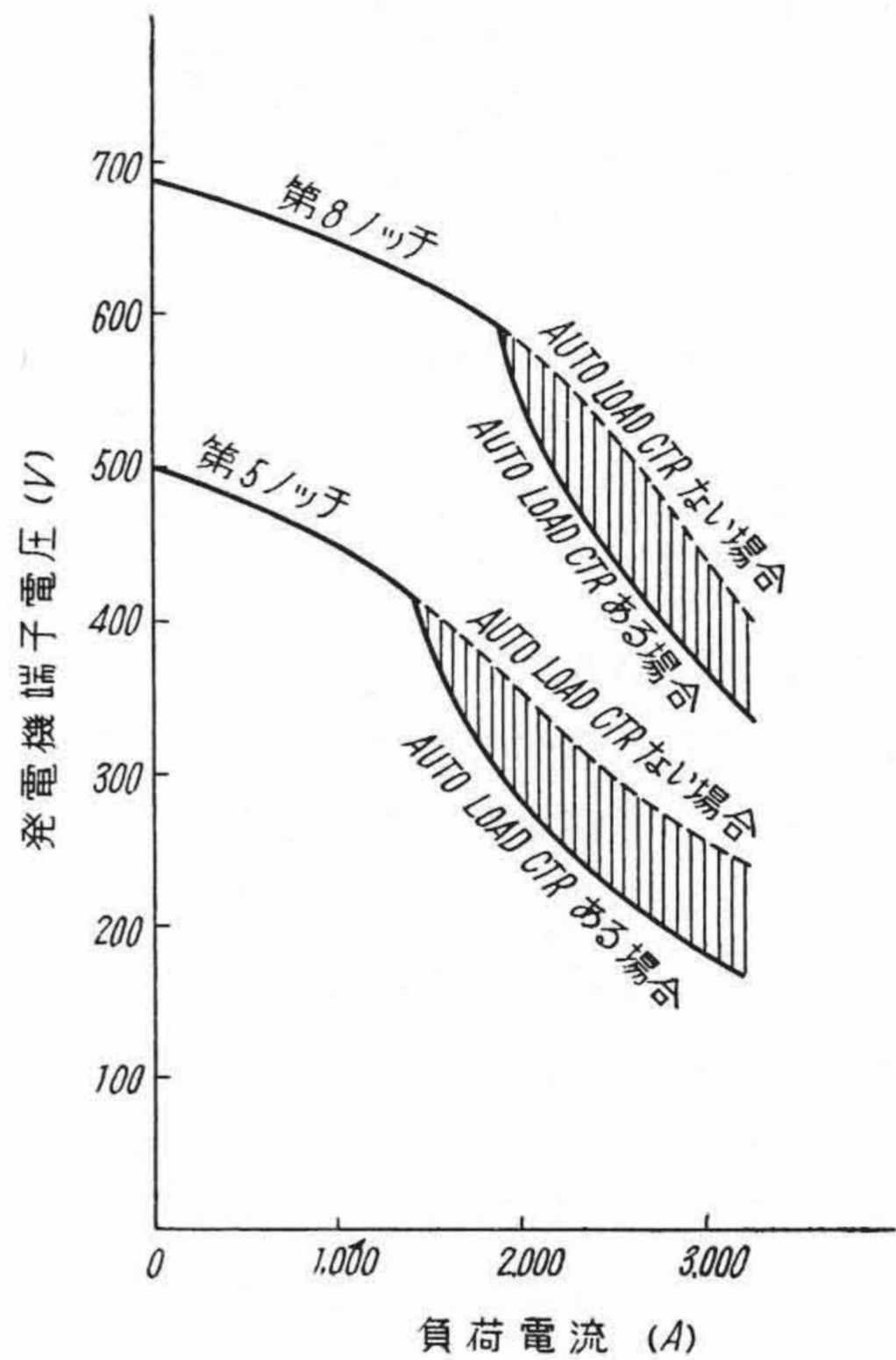
日立自動負荷調整装置は\*第19図にその原理を示すように負荷検出部、負荷識別部および負荷調整部の三部分よりなっている。負荷検出部は遠心ガバナの動きすなわち燃料ラックの動きを電気的にとらえる作用をするもので、第20図にその外観を示す。

検出部においてとらえられた燃料噴射量は負荷識別部に伝えられる。負荷識別部は前述の機関遠方制御装置の制御円筒の一部に設けられていて常にその時の機関回転数に相当した位置をとっている。ここでその時の機関の噴射量はその時の回転数に対し予定された量であるか否かを識別する。その結果は負荷調整部(第21図)に伝えられる。負荷調整部においては2個の短絡継電器が負荷の多寡に応じてパイロットモータを右または左に回転させ可変抵抗器の抵抗値を増減する。これにより励磁機界磁の強さが変わり、したがって主発電機の出力が増減される。このようにしてディーゼル機関の噴射量はその時の回転数に対し予定された最適の状態となればパイロットモータは回転を止め、可変抵抗器はその時の値を維持する。すなわち機関の中間出力に対してはその時の回転数に応じてあらかじめ予定された噴射量が維持されるように負荷が自動的に調整されるわけで、これは噴射量と回転数の組合せ制御ともいべきもので結局前掲第18図のような制御が行われることになる。

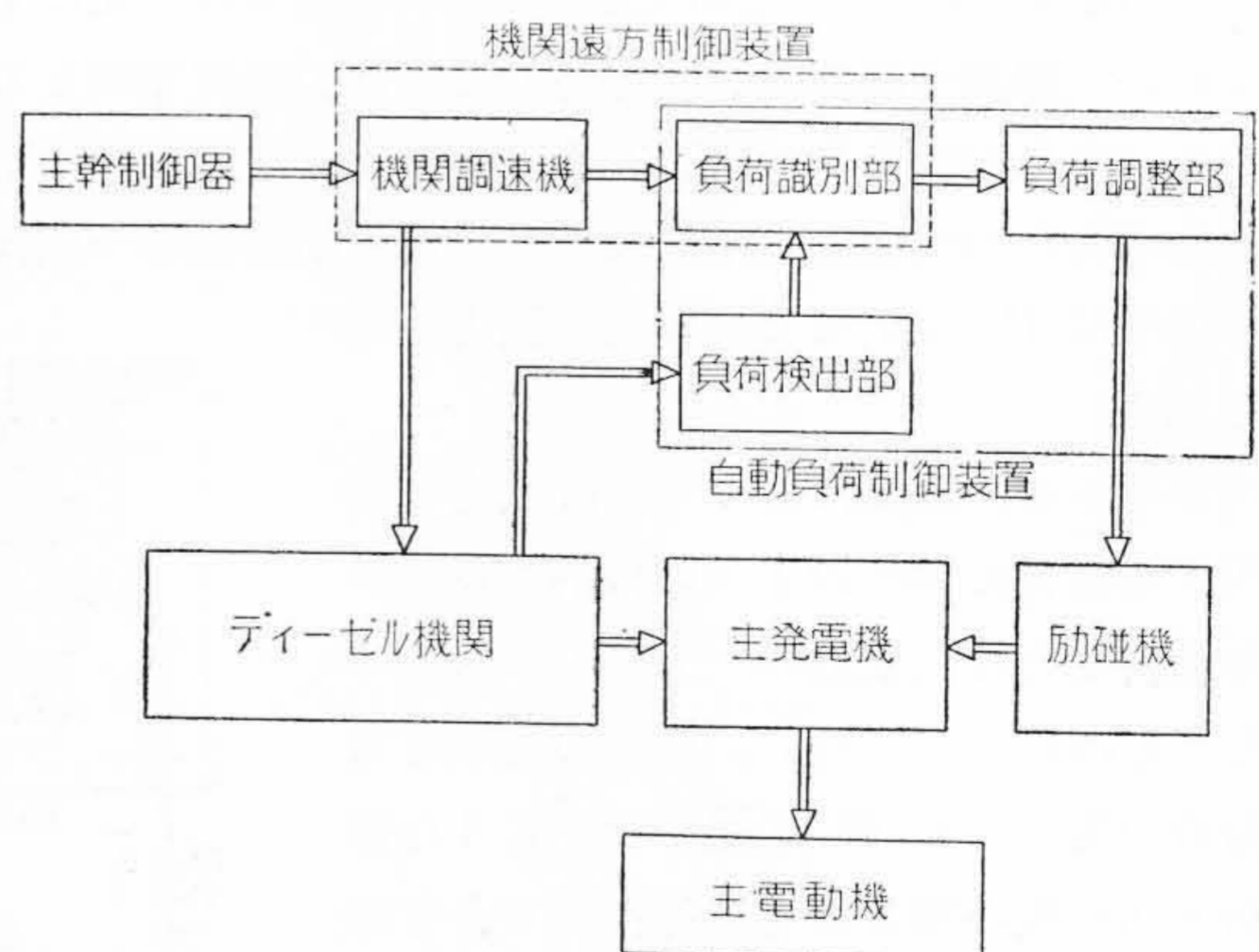
第22図は本装置を使用した場合としない場合の主発電機出力特性を 1,900HP ディーゼル電気機関車について実測した結果である。



第21図 日立式自動負荷調整装置制御部

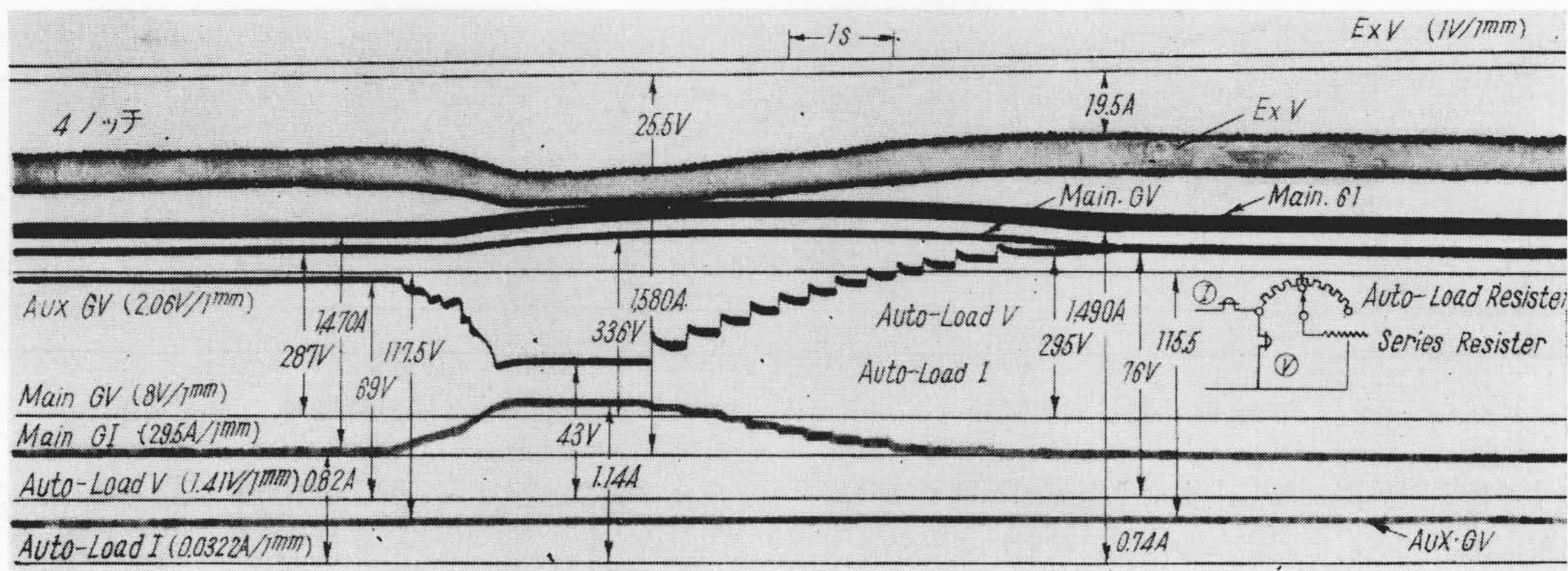


第22図 自動負荷調整装置による主発電機特性の修正 (1,900HP ディーゼル電気機関車)

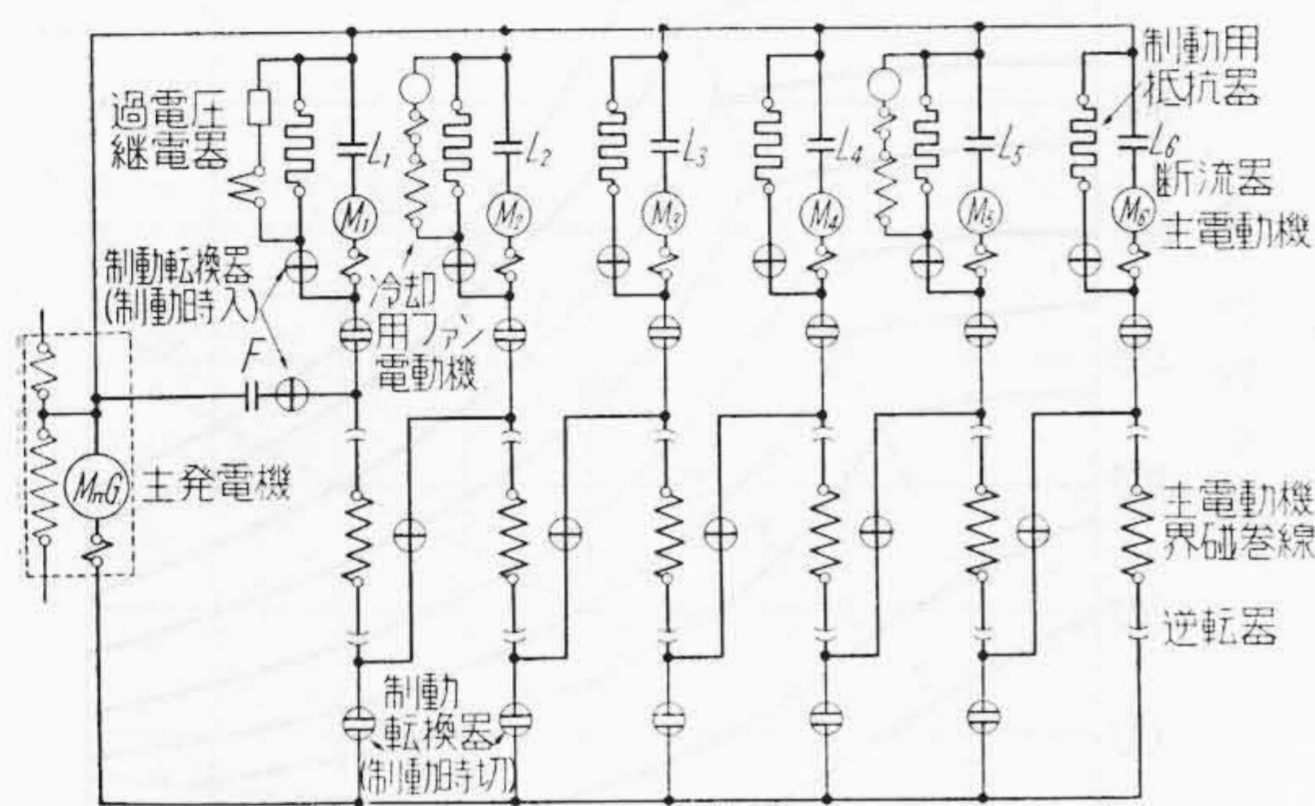


第23図 日立自動負荷調整装置ブロックダイアグラム

以上日立式機関遠方制御装置と自動負荷制御装置とについて大略述べたが、主幹制御器、ディーゼル機関、主発電機および励磁機などこれら両装置との関係は



第24図 自動負荷調整装置動作状態オシログラム



第25図 電気制動回路

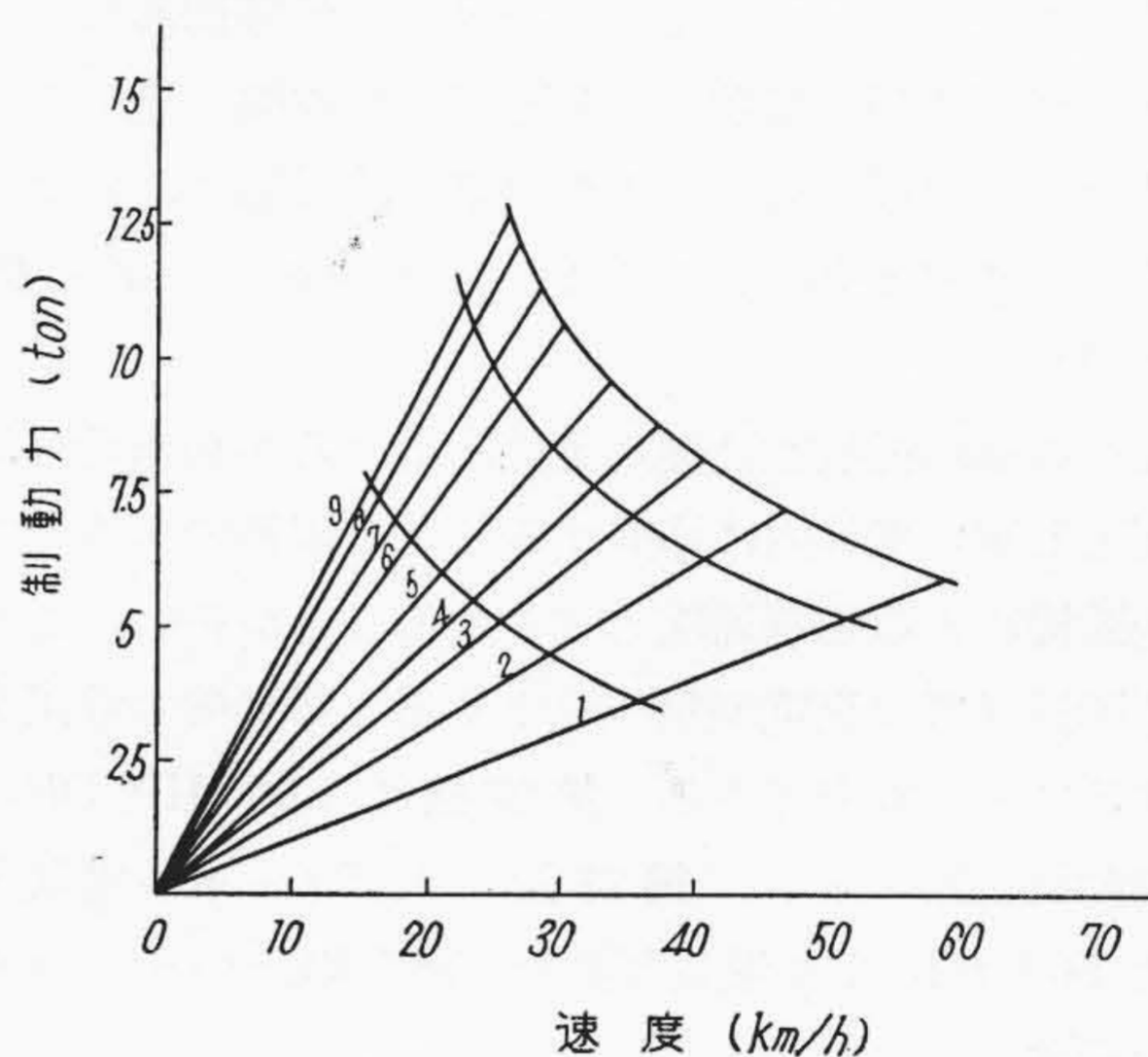
第23図のブロック・ダイアグラムによつて総括的に知ることができよう。

第24図は本制御系の応答速度および安定度の試験記録である。すなわち 1,900HP ディーゼル電気機関車において第4ノッチで定常運転している状態から励磁機界磁回路の抵抗の一部を急速に短絡して主発電機の出力を急増させ、ディーゼル機関が過負荷となるようにしてみた。この結果は本オシログラムに明らかなようにただちに自動負荷調整装置が働いてほぼ4~5秒の後にはこの系は短絡前の状態に自動的に復帰していることがわかる。

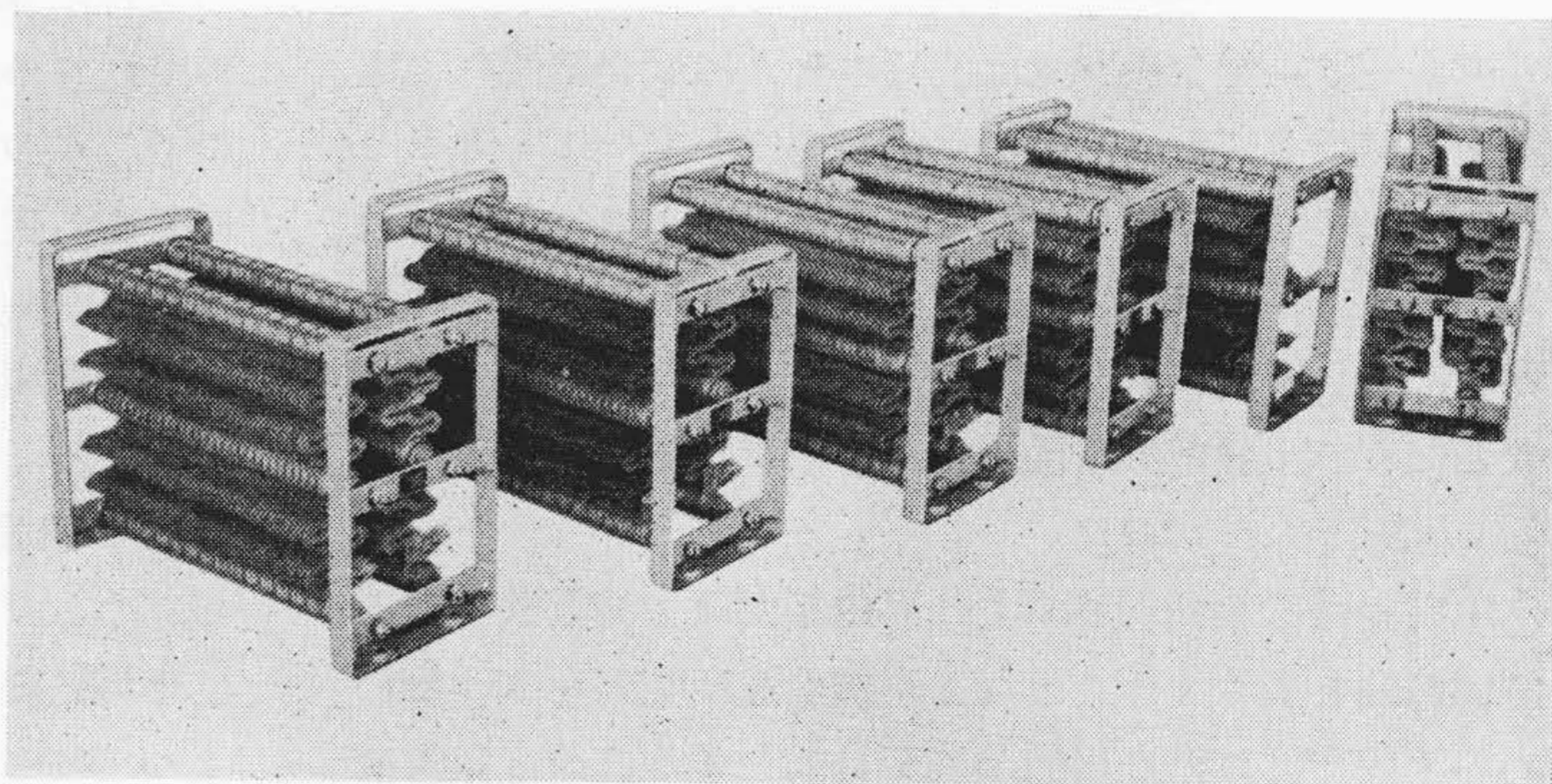
ディーゼル機関はこの装置を装備することによつてはじめて理想的運転状態が維持でき、効率、保守および寿命の面からも最も望ましい結果が期待できるものということができよう。

#### [IV] 電気制動

ディーゼル電気機関車に電気制動が用いられたのは比較的新しいことであるがその原理は従来古くから行われている直流電気車輛の電気制動と大差はない。最もディ



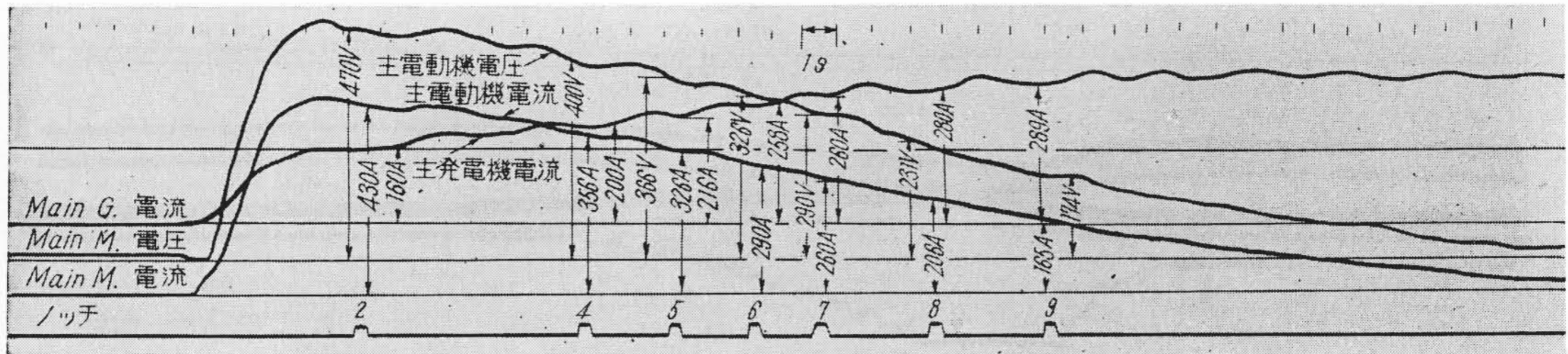
第26図 制動ノッチ曲線 (1,900HP ディーゼル電気機関車)



第27図 電気制動用抵抗器 (1,900HP ディーゼル電気機関車)

ーゼル電気機関車においては電車線を持たないので制動によつて生ずる電氣的エネルギーを電車線に返還するいわゆる回生制動はできず、もつぱら抵抗器より熱として外部に放散することになる。

第25図の主回路ツナギに示すように制動時には各主電動機の界磁巻線は全部直列に接続して主発電機により



第28図 電気制動試験オシログラム (1,900HP ディーゼル電気機関車)

励磁する他励磁界磁となし、また主電動機電機子に発生する電圧はそれぞれの回路に設けた抵抗器により熱として放熱するようになっている。この場合主発電機電圧を適当な値まで下げるため励磁機の回路に抵抗を挿入していることはいうまでもない。制動時主幹制御器のノッチを進めれば機関回転数は上昇して主発電機の発生電圧は高くなり、主電動機の界磁が次第に強励磁されるようになる。この結果得られる制動ノッチ曲線の一例を第26図に示す。

なお制動用抵抗器は使用条件にもよるが相当大容量を必要とし狭い車体内に搭載することが困難であるので電動送風機による強制通風方式とすることが多い。この場合電動送風機は発電制動時発生する主電動機の電圧を利用することが有利である。第27図は1,900HP DEL用の制動抵抗器を示し、第28図は本ディーゼル電気機関車で50km/hより電気制動をかけた場合のオシログラムを示す。

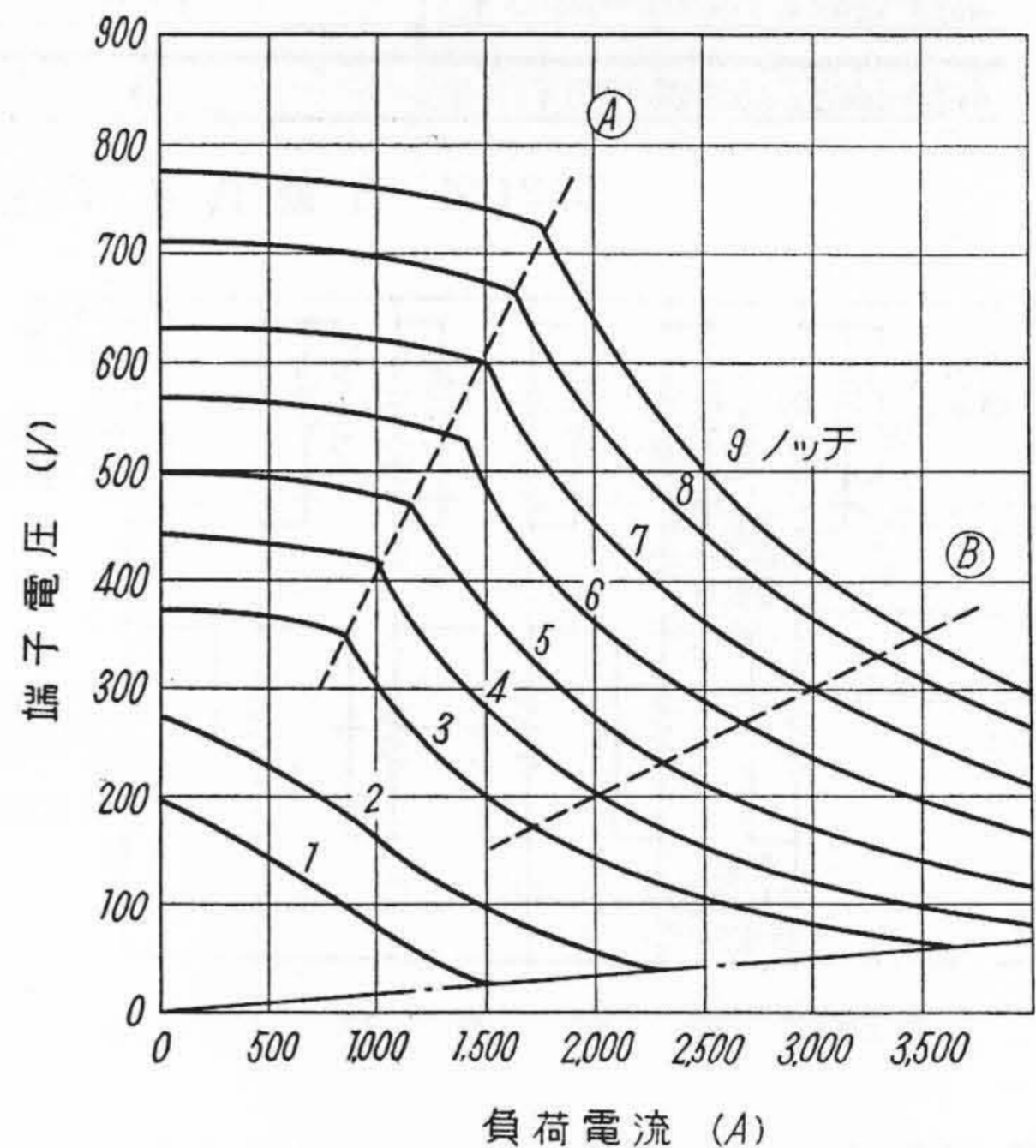
〔V〕 直並列制御、界磁制御および自動ノッチ進め

ディーゼル電気機関車は前述のように主発電機に主電動機を接続しておくだけで車輛の速度が変わっても効率の良い運転ができるものであるが車輛に要求される速度範囲が特に広い場合には主発電機に要求されるV-I特性を非常に広い範囲にわたって理想的なものとする必要があるとなり、主発電機も励磁機も容積重量ともに大きくなることをまぬがれ得ない。

主電動機直並列切替および界磁制御は主発電機の電流制御範囲を広くすることなく車輛の速度範囲を広げるための手段で、この点出力制御を目的とする直流電気車輛のそれとはいささか意味が違うわけである。

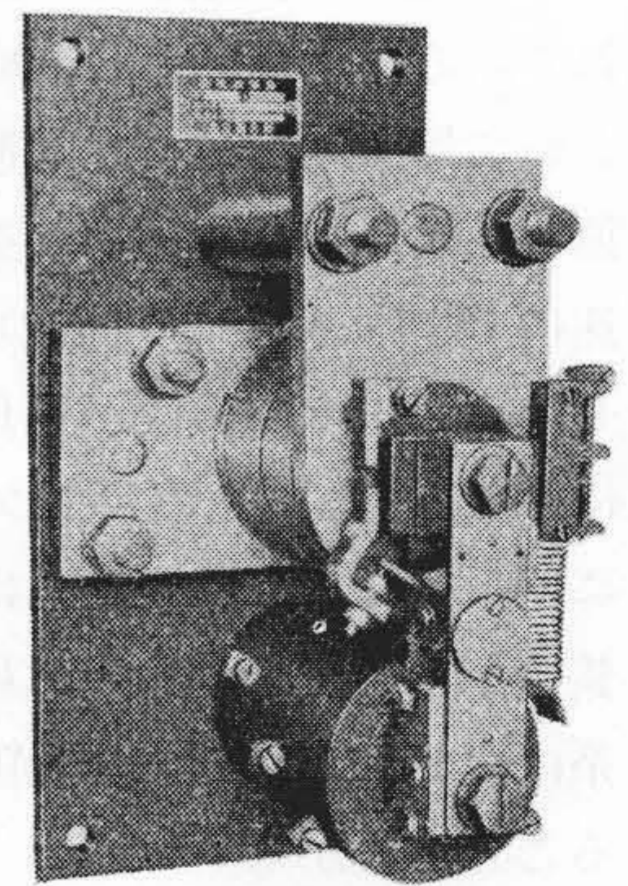
第29図は主発電機の特性を示したものであるが、今車の速度が上昇してゆきA限界に達すればそれ以上の加速はあまり期待できない。この時主電動機を弱界磁とするかあるいは直列接続を並列に直せば主発電機としてはBまで下つたところからAまでを再使用することになり車輛として制御しうる速度範囲が広がるわけである。

\* 実用新案出願中



第29図 主発電機特性

直並列あるいは弱界磁への切替は第29図のAの限界で行うのが最も望ましいので、このためノッチごとに目盛の変る電流継電器を用いるかあるいは電流と電圧の両要素で働く継電器を使用する。第30図はこの目的の継電器の一例である。



第30図 限流継電器 RC形 BB-1F式

車輛に要求される条件によつてはこの両者を組合

せて、直列全界磁→直列弱界磁→並列全界磁→並列弱界磁と変化させる必要がある場合がある。第31図はこの場合の切替方式の一例\*を示したもので、2個の切替継電器によつて動く正、逆回転の操作電動機と制御円筒よりなつている切替装置で、タイ納950HPディーゼル電気機関車に使用している。第32図はこの装置により4段に切替えた場合の機関車の速度牽引力曲線を示したものであるが

\* 特許出願中



本図によりいかに広い範囲の速度制御が可能となつたかを知ることができよう。

このような切替はすべて自動的に行われるもので運転士はまったく切替を意識する必要がないが、さらにノッチ進めも自動的に行う方法\*が考案された。日立式機関遠方制御装置において第9図に示すように限流継電器を追加することによりディーゼル機関の出力は主電動機電流をほぼ一定に保つように自動的に上昇させてゆくのゝ運転士は主幹制御器ハンドルを一気に希望ノッチまで進めればよく、運転は大いに簡単化されている。本方式は国鉄DF90形ディーゼル電気機関車およびタイ向ディーゼル電気機関車に採用されている。

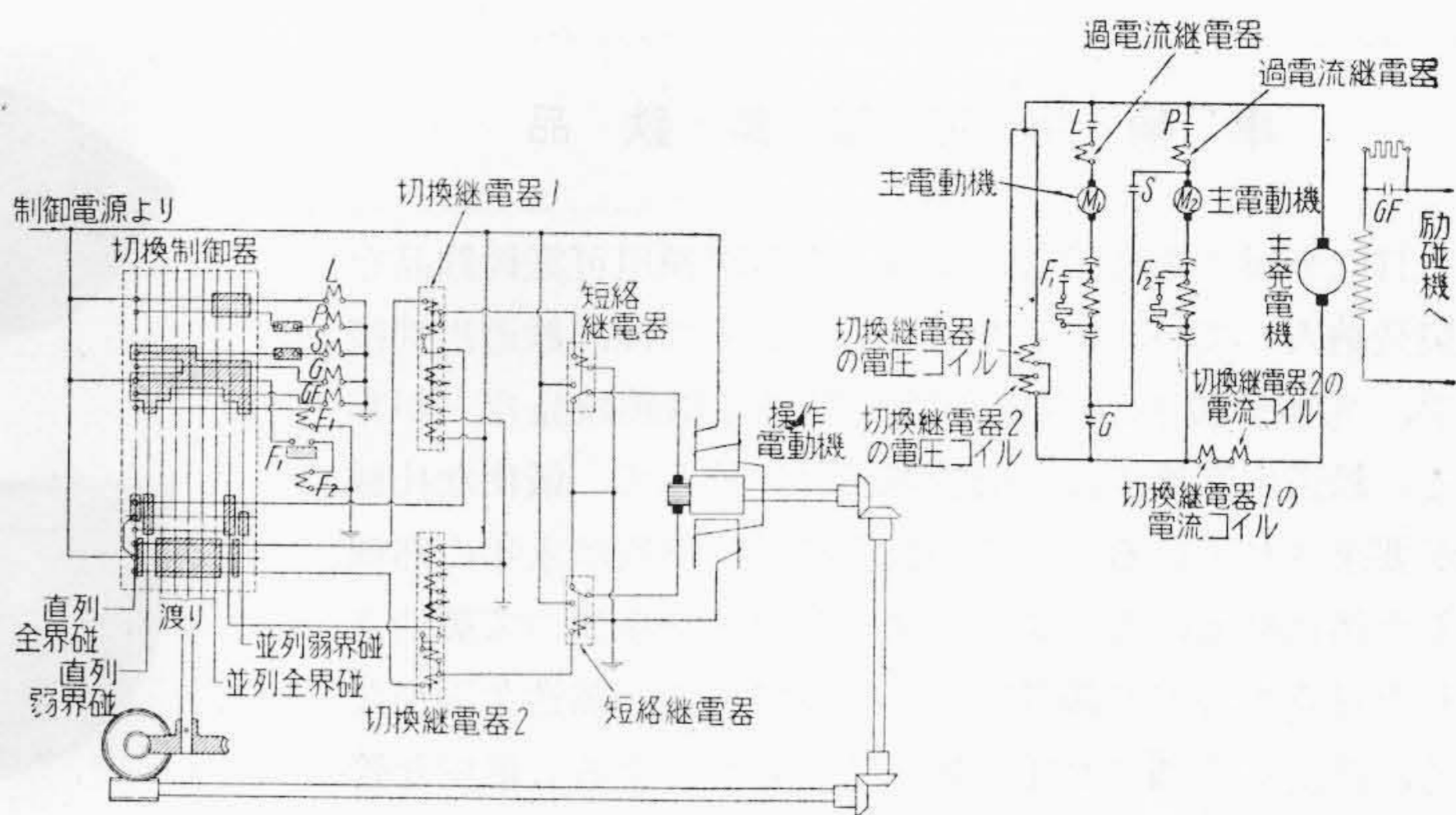
〔VI〕 結 言

以上ディーゼル電気機関車の制御装置中の重要な二、三の点について述べたがもちろん制御方式全体の中にはこのほかに補機類の制御方法、機関始動の方法、蓄電池充電の方法およびディーゼル機関主発電機などの保護方式などについても多くの興味ある問題があるが今回は割愛することにした。

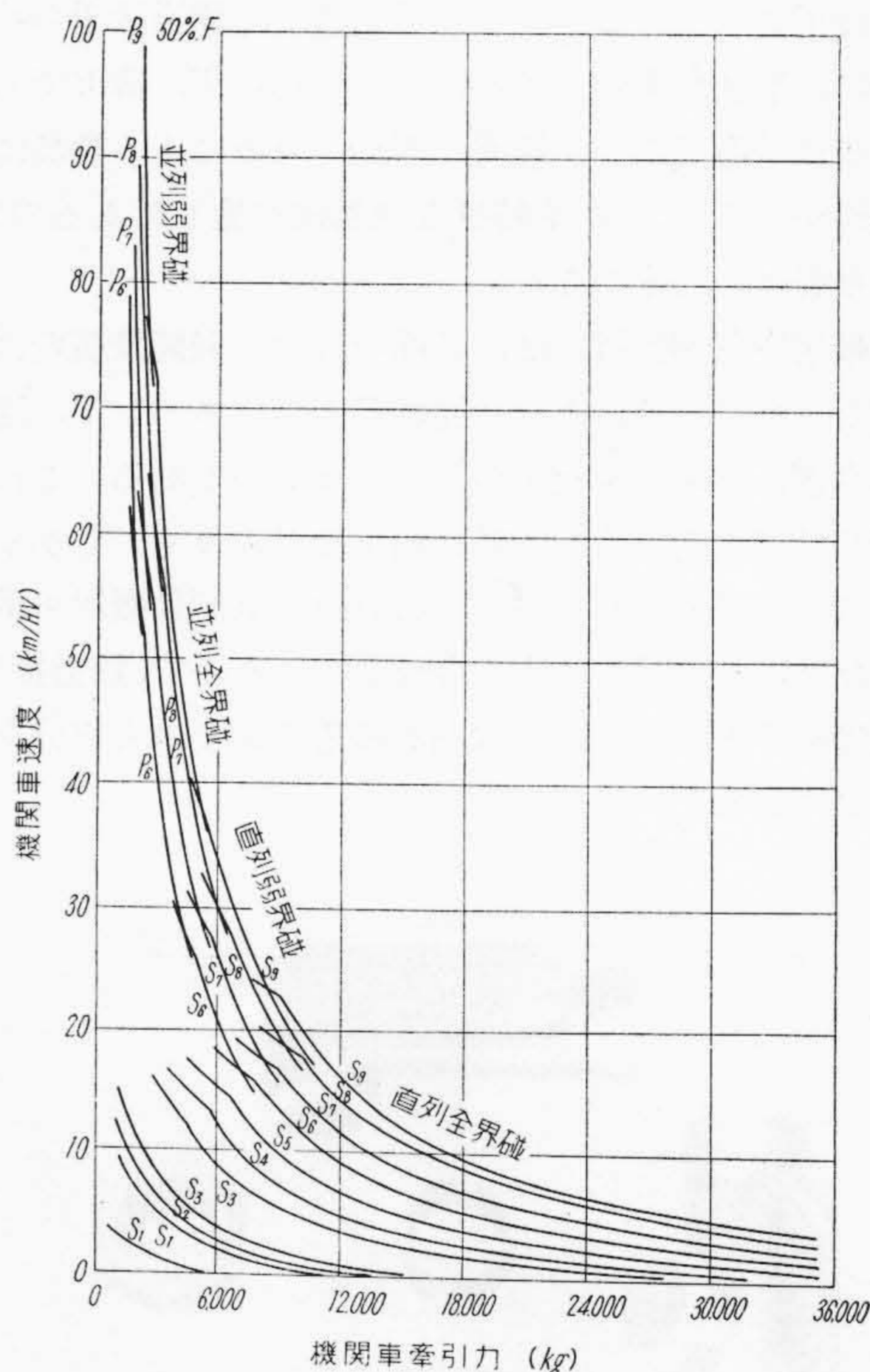
信頼性の高いディーゼル機関の発達とあいまつて優秀なる電氣的動力伝達装置および電気制御方式の進歩はディーゼル電気機関車の今日の発達の源をなしたといつても過言ではないと思う。ことに制御方式は今後さらに進歩してゆくものと思われるので、大方の御教導を御願する次第である。

参 考 文 献

- (1) 牧野田：日立評論 35, 793 (昭 28-5)
- (2) 竹村, 小泉, 立川：日立評論 39, 707 (昭 32-6)
- (3) Diesel Railway Traction, 4, 145 (July 1950)
- (4) Railway Mechanical and Engineer, 386 (July 1950)
- (5) Draney: Diesel Locomotives (1948)
- (6) K. Sachs: Elektrische Triebfahrzeuge, 574 ~620 (1953)
- (7) G. Mc Gowan: Diesel Electric Locomotive Handbook (1951)



第31図 主回路切替装置説明図

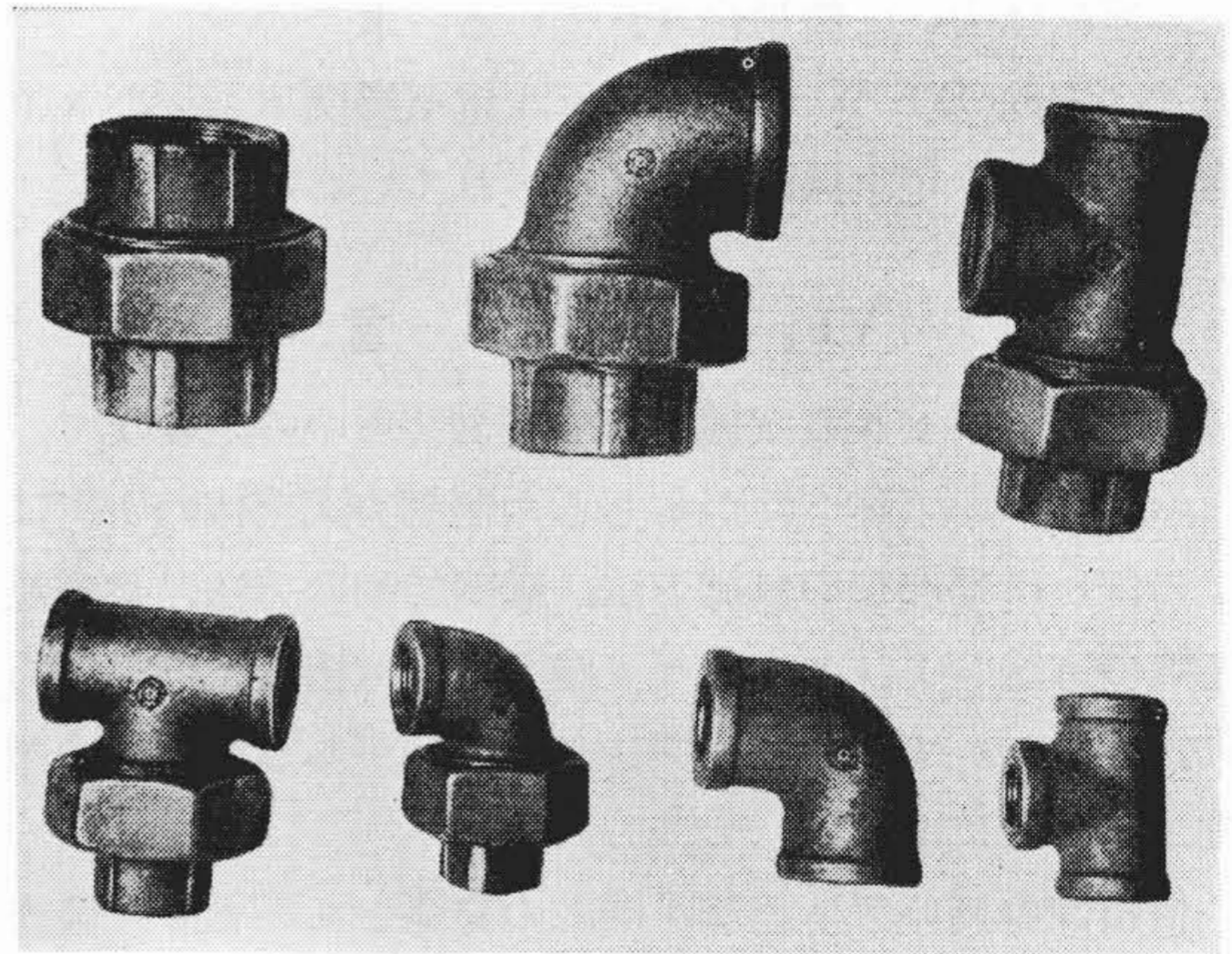
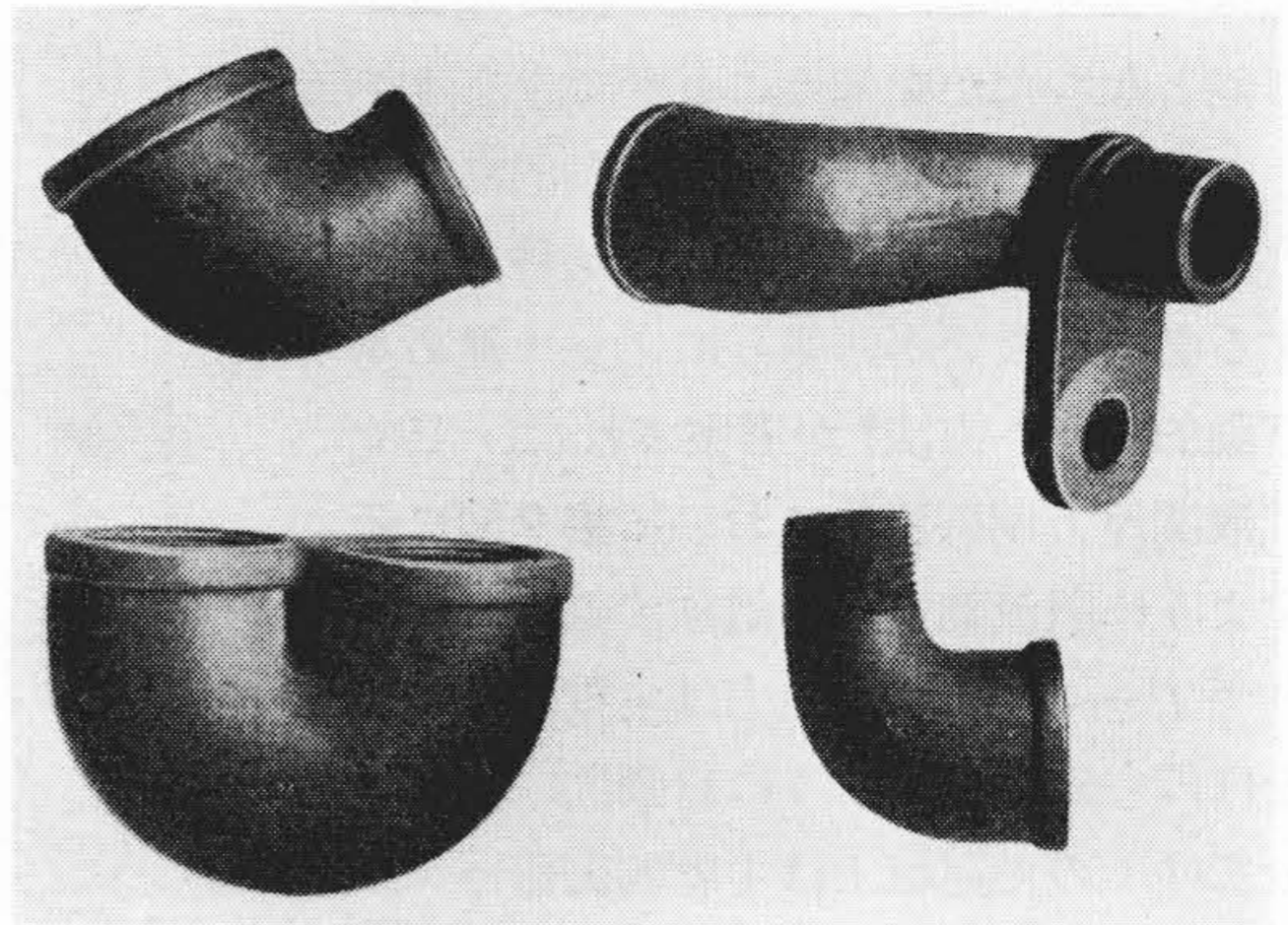


第32図 950HP ディーゼル電気機関車速度—牽引力曲線

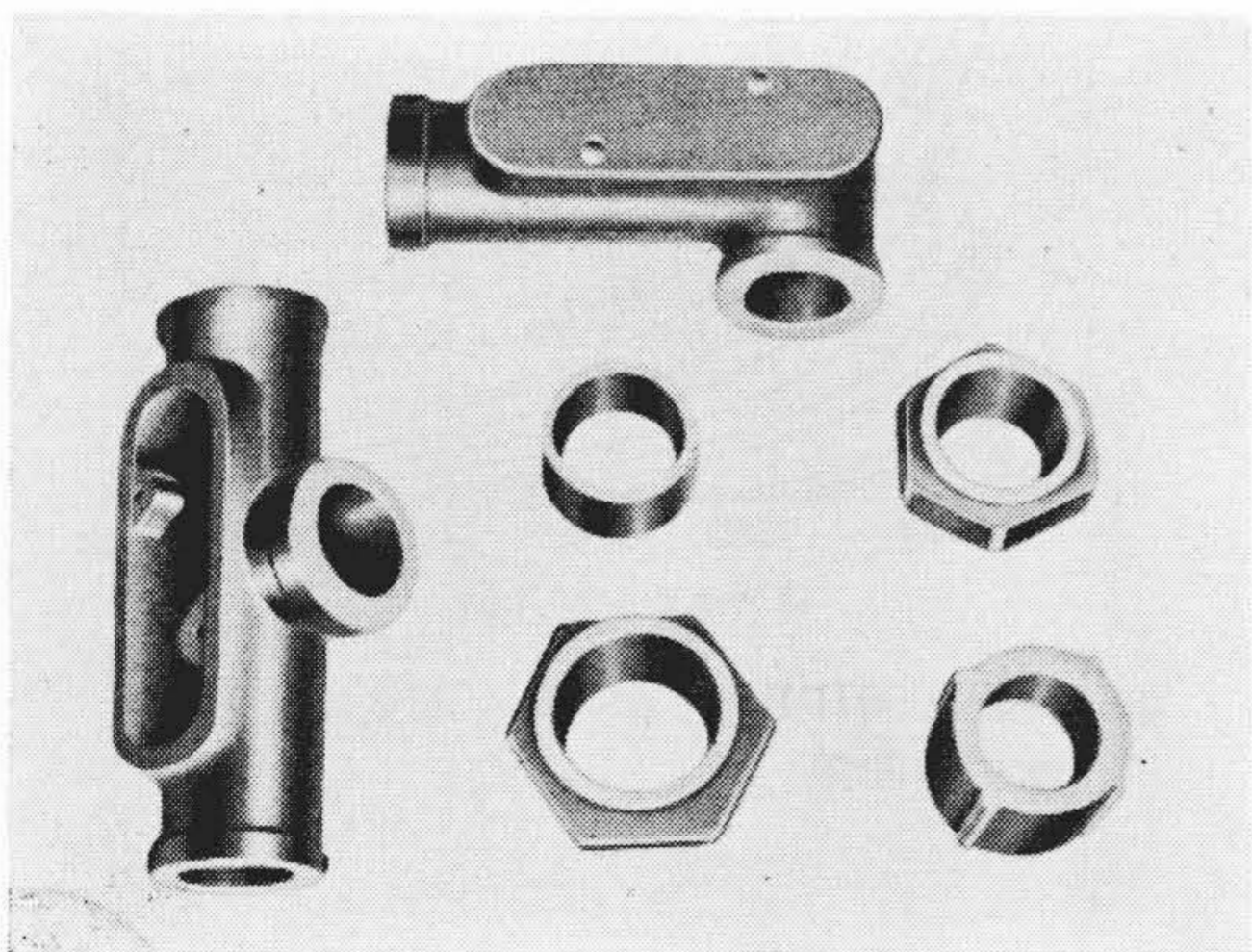
車 輛 用 可 鍛 鑄 鉄 品

日立金属工業株式会社は古くから車輛用可鍛鑄鉄品を製造納入している。その主なものとしては、鉄道用管接手、電線管接手、空気制動装置用可鍛鑄鉄品などがある。鉄道用管接手は一般管継手に比較して、厳密な仕様が要求されている。日立の鉄道接手は材質は永年の熟練した鑄造技術によりよく吟味された材料を使つて製造された日立黒心可鍛鑄鉄製で、強靱である。鑄造欠陥がなく、鑄肌も美麗で高圧に耐えることができる。厳密な管理と検査を行い、特に精密ネジ加工が施してあるから、品質は均斉、正確である。電線管接手は客貨車用として広く使用されているが、その特長は上記鉄道接手の特長以外に、形状が複雑であるにもかかわらず、薄肉でしかも鑄肌は美麗であり、優秀な亜鉛メッキによる製品は、耐蝕性が大きく、しかも特殊な熱処理を施してあるので、メッキ脆性の心配がない。

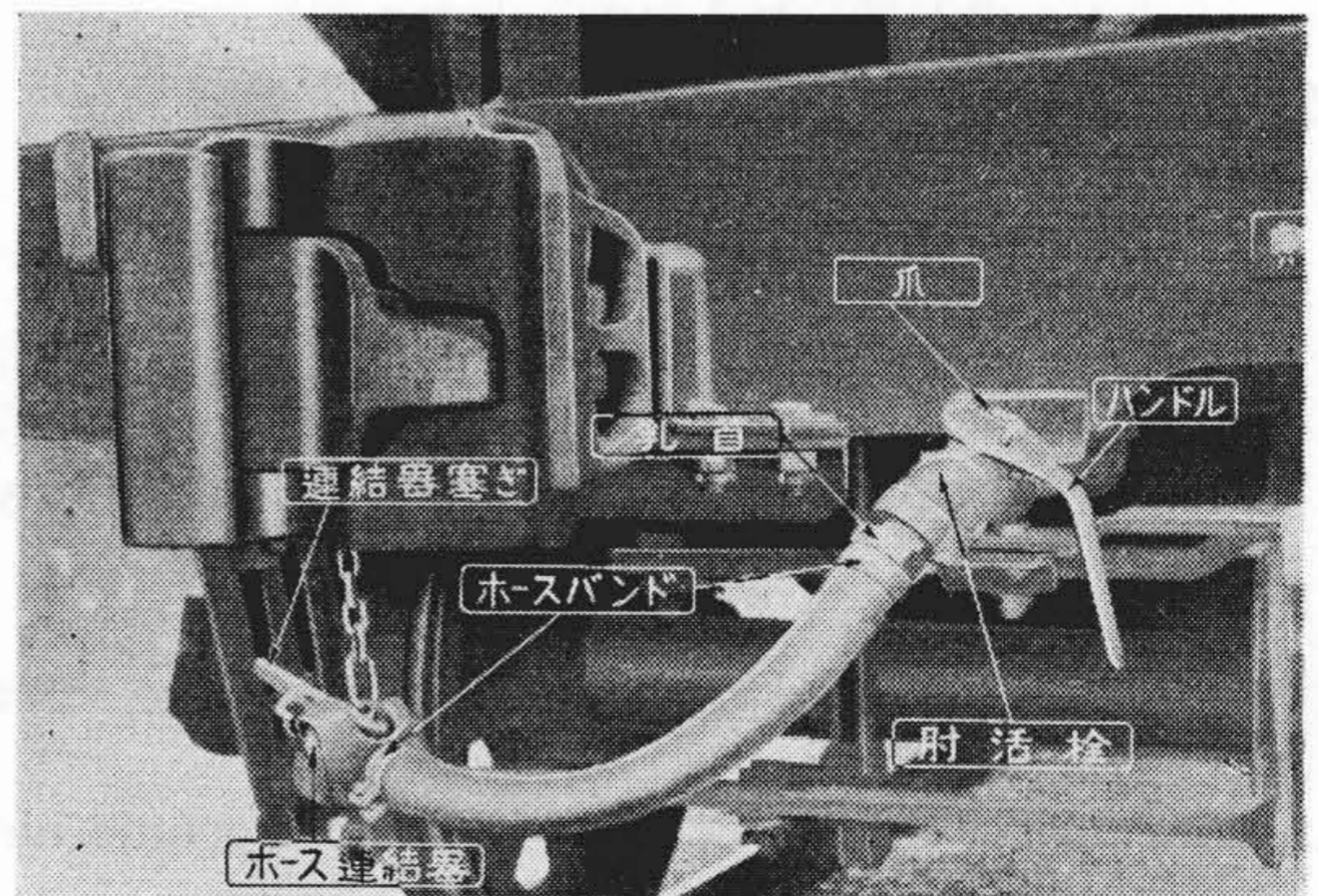
車輛用空気制動機には、各種の日立可鍛鑄鉄製の部品が使用されている。ホース連結器、ホースバンド、連結器ふさぎ、ハンドルなどがその主なものである。これらの部品は用途上、強靱で特に耐圧性が大きく、しかも精密な加工が要求されている。日立の空気制動機用可鍛鑄鉄部品は、その目的によく合致しているので、鉄道接手、電線管接手とともに、日本国有鉄道の需要の大部分をまかなつている。



第1図 鉄 道 用 管 接 手



第2図 電 線 管 接 手



第3図 鉄道車輛に使用された日立空気制動装置用可鍛鑄鉄品