

列車運転の自動化に関する最近の成果

Recent Achievements of Automatic Controls of Train Operation

刈谷 志津郎* 後藤 隆雄*
Shizuo Kariya Takao Gotō

要 旨

列車運転の自動化に関する研究は、数年前より各所において、鋭意進められ、多くの注目すべき成果をあげるとともに、一部においてすでに実用化されるに至っている。本稿においては、最近のおもなる研究成果である、定速度自動運転装置、定位置停車装置、列車間隔制御装置などについてその実施意義と内容について説明し、今後のこの種技術発展の方向について言及した。

1. 緒 言

最近の目ざましい電子技術の進歩に伴って、各方面における列車運転自動化に関する研究は急速に進められ、すでにその一部は実用化されつつある。本来これら列車運転の自動化は、人間の技倆および注意力に依存していた運転操作を、単に機械におきかえるだけで完結するものではなく、さらに進んでたとえば列車の群管理の自動化などをも含めて鉄道の管理業務全体の自動化を最終目標としている。この目標への到達を前提として、個々の制御技術についての実績の積み上げが必要であり、この意味において列車の速度制御、停車点の制御、列車間隔の制御などに関する方式の確立は基本的な要件である。これらの各主題に関して日立製作所においてもかねてから多くの成果をあげてきたが、今回、日本国有鉄道のご指導を得て、新形式の実用的な定速度自動運転装置、定位置停車装置を完成し、これらの技術の総合化の最初の試みとして列車間隔制御装置を完成した。本稿においてはこれらの成果の内容について報告し、今後の技術的発展の方向を知るに必要な基本的問題点に言及する。

2. 定速度自動運転装置

2.1 定速自動運転の概念

列車制御の最も基本的なものが速度制御であることは論をまたないが、特に高速—長距離運行列車などにあっては目標速度を一定とした定速運転によって、速度制御自動化の目的を達する場合が多い。定速運転は特に複雑な速度プログラム装置を必要とせず、また ATC 装置との連動による装置の簡略化などが図られる一方、常に路線の許容速度に近い状態で運転されるので、表定速度が向上し、運転士に課せられる責務の軽減をはかることもできる。

速度制御方式として最も基本的な形としては、目標速度と実車速度との差を検出して操作量を決定する帰還制御方式が考えられるが、従来の直流電車のように操作量が力行、惰行、ブレーキなど、2~3の値のみしか取れない場合は当然 on-off 制御になってしまう。これに対して電気方式が直流だと交流だとを問わず主回路にサイリスタを用いる最近の電気車制御方式においては、操作量を連続的に制御することが可能となり、追従精度の高い制御を簡単に実施することができる。このような将来の電気車に対する適用を想定して、現在操作量を比較的自由に選択できる交流電気車を対象として帰還制御方式による定速制御の試験が多く試みられてきた。

当初の試作装置においては一般プロセス制御用の PID 調節計をそのまま制御器に用い、制御定数を種々変化して試験を行なったが、その結果、微分、積分制御は実際上あまり必要でなく比例制御のみで実用的な制御が可能であることが明らかとなった。今回製作された定速自動運転装置は、上記の試験結果をもとに、比例制御のみに

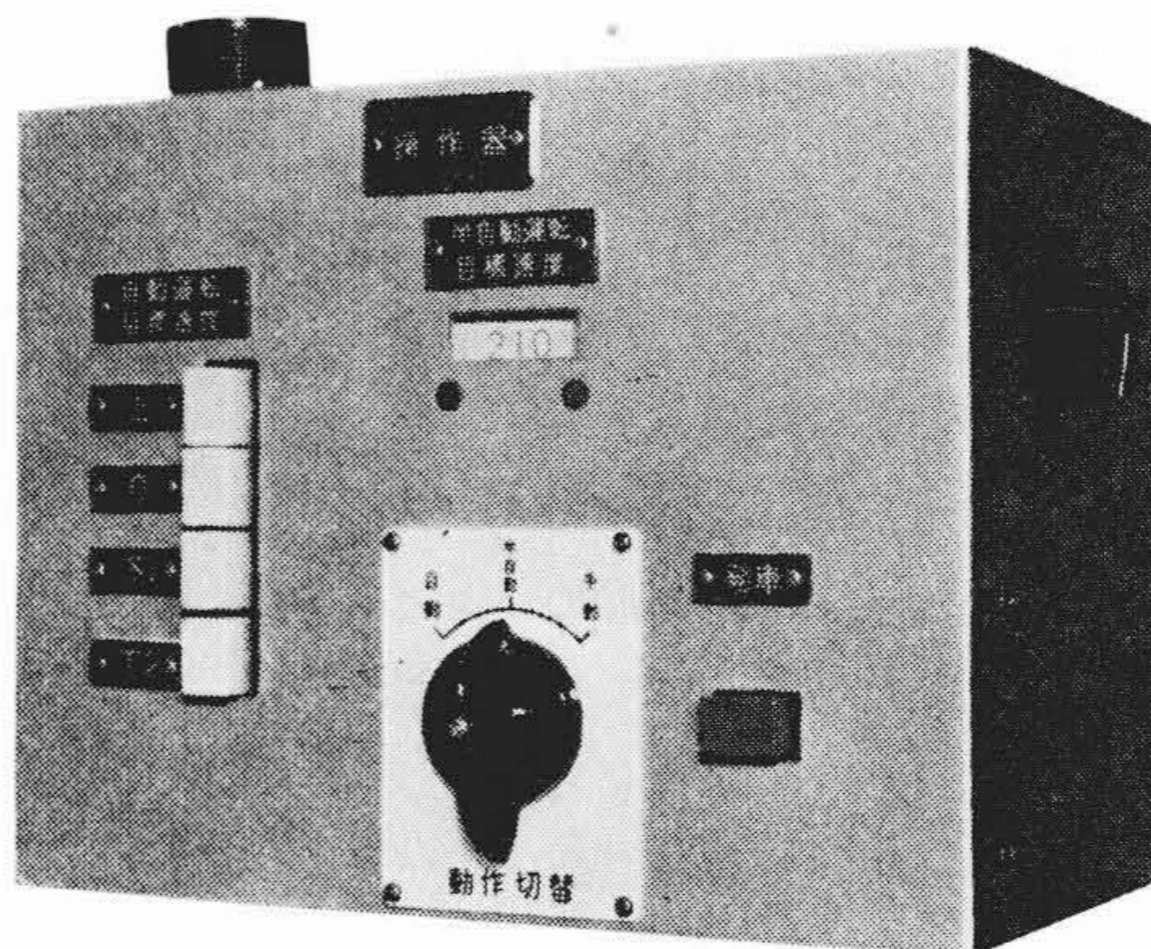


図1 定速度自動運転装置操作器

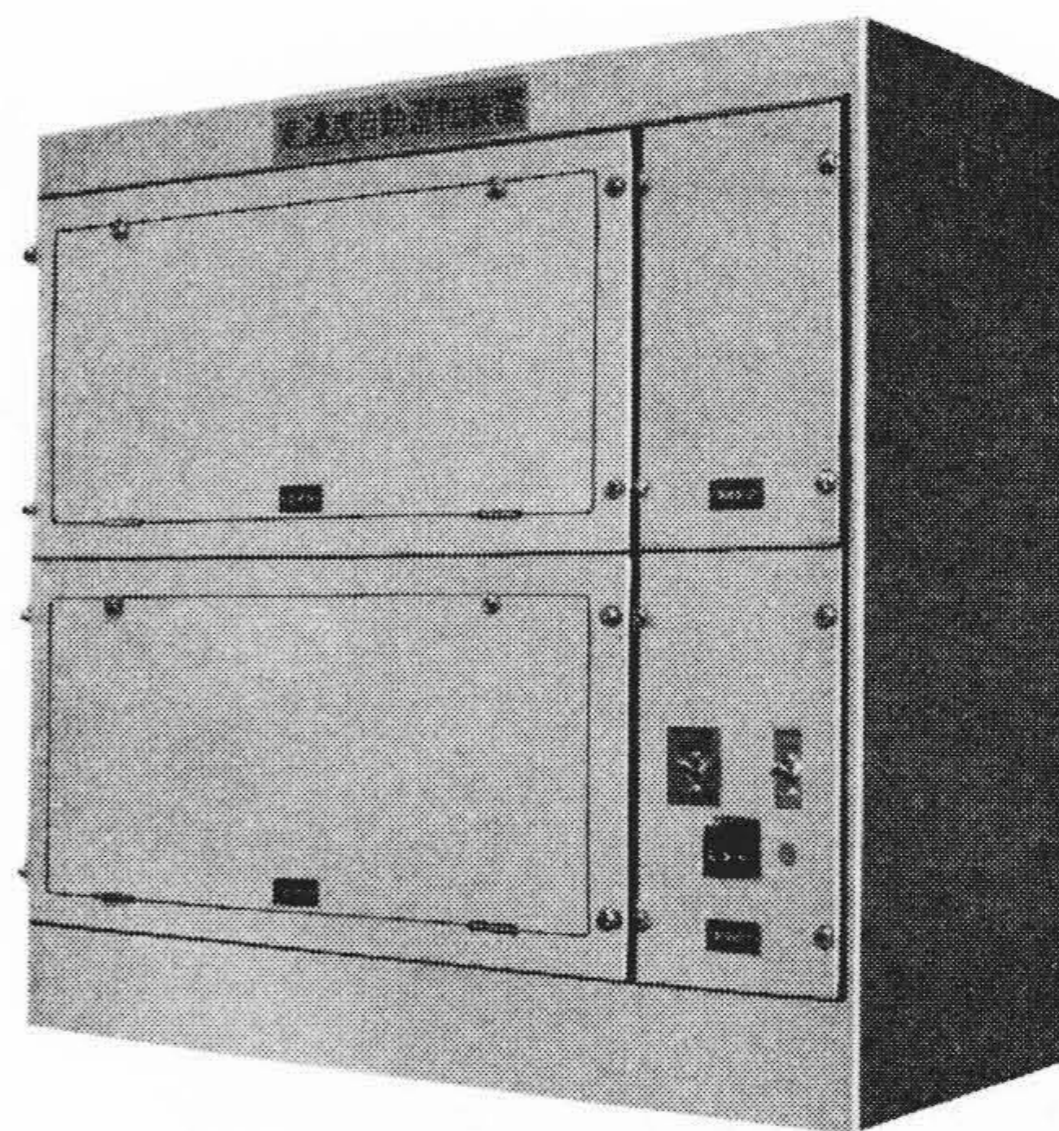


図2 定速度自動運転装置本体

よって定速制御を行なう方式となっている。また本装置は新幹線電車を具体的な制御対象としており、昭和40年12月、東海道新幹線、東京—新大阪間で試運転を実施し成功をおさめた。

2.2 定速自動運転装置の概要

本装置は、既設の自動列車制御装置(ATC装置)の制限速度よりやや低い一定速度で自動運転を行なわせる装置である。このため、車内信号受信機より目標速度の指令をえ、さらに速度指示計用発電機の出力によって列車の走行速度を知り、それらの差をA-D変換して指令ノッチを決定し、与えられた目標速度に列車を追従させる。

この装置は、運転席において種々の操作を行なうための操作器と、演算機構を持った本体とよりなり、図1,2に示すような外観を有している。

操作器は、出発押ボタン、自動・半自動・手動の切換スイッチ、自動の場合与えられる目標速度を適当に修正する切換器、半自動の場合に目標速度を信号制限速度以下において手動で設定する目標速度設定器などを有している。

* 日立製作所水戸工場

本体は速度発電機の出力周波数を速度電圧に変換する F-DC 回路、目標速度を電圧として与えるための設定回路、F-DC 出力と目標速度出力との差に応じた電圧を発生する比例制御回路、比例制御回路の出力を A-D 変換するための比較回路および変換用基準電圧設定回路、さらに各種の継電器群より構成される。これらの関係を表わしたブロック図を図 3 に示す。

本装置の持つおもな性能および仕様は次のとおりである。

(1) 目標速度

- (a) 自動目標速度は ATC 車内信号の、210, 160, 110, 70 信号に対応して与えられる。その他の信号の場合は出力を出さない。
- (b) 比例制御の定常偏差を小さくするために走行速度を各目標速度に対し、102.5, 100, 97.5, 95% の値に補正ができる。
- (c) 半自動運転時には、ATC 車内信号の指示速度以下において表 1 のような目標速度を設定できる。

(2) 比例制御帯

目標値 210 km/h に対する 2, 3, 5, 4% の速度幅とする。

(3) A-D 変換部

比例制御帯を 14 段に等間隔分割し、±0.5 ノッチ分のヒステリシスを持ったノッチ指令を発生する。

(4) 出力ノッチ

- 力行ノッチ 10 段
- 惰行ノッチ 1 段
- 制動ノッチ 3 段

(5) ATC 指令、平均運転との関係

本装置と ATC 装置出力の関係を表 2 に示す。種々な組合せを生ずるが、あくまでも ATC 制動優先を基本としている。

2.3 今後の見通し

新幹線電車による現車試験においては前述のように予期の成果をあげることができたが、詳細にこれを眺めると、操作量が段階的にしか制御できないことから次のような現象が見られた。

その一つはノッチ指令のハンチングで、平衡速度を連続的に得ることができないから当然生ずる現象で、機器の動作ひん度の増大をまねくことになり、高利得の比例制御を実施する場合は問題となる。特に新幹線電車は、低速領域でノッチ間のトルク変化が大きいいため、目標速度が低速で与えられるとこの傾向がはなはだしい。これに対する一つの対策として、本装置においては、速度偏差よりノッチ指令に変換するにあたってヒステリシスを持った A-D 変換器を用いた。この結果ノッチ切換ひん度は運転士による操作時よりも、自動運転のほうが少ない場合すらあるといった結果がでている。

一方下りこう配区間では当然定速運行を続けるためにブレーキをかける場合がある。新幹線電車の発電ブレーキは抑速ブレーキ用に設計されていないので特に主抵抗器の温度上昇に問題があり、試験においては比較的大なるブレーキ力によって速かに減速するように制御された。その結果、前述のような出力指令のハンチング現象とともに速度そのものにも大きなハンチングが発生した。

以上のようなことは現在のような電気車両においては、いずれにしても避けられない制御上の問題である。これに対して交流、直流を問わず最近開発されつつある、サイリスタ応用のノッチレス制御方式による電気車両を制御対象として考えるとき、操作量が連続的に制御でき、かつ主回路機器の無接点化によって制御機器の動作ひん度に対する制約を完全に無視することができるので、理想的な速度制御が可能となる。定速自動運転装置としても、速度偏差をそのまま連続的に主回路制御機器に与えればよいので、きわめて簡単な

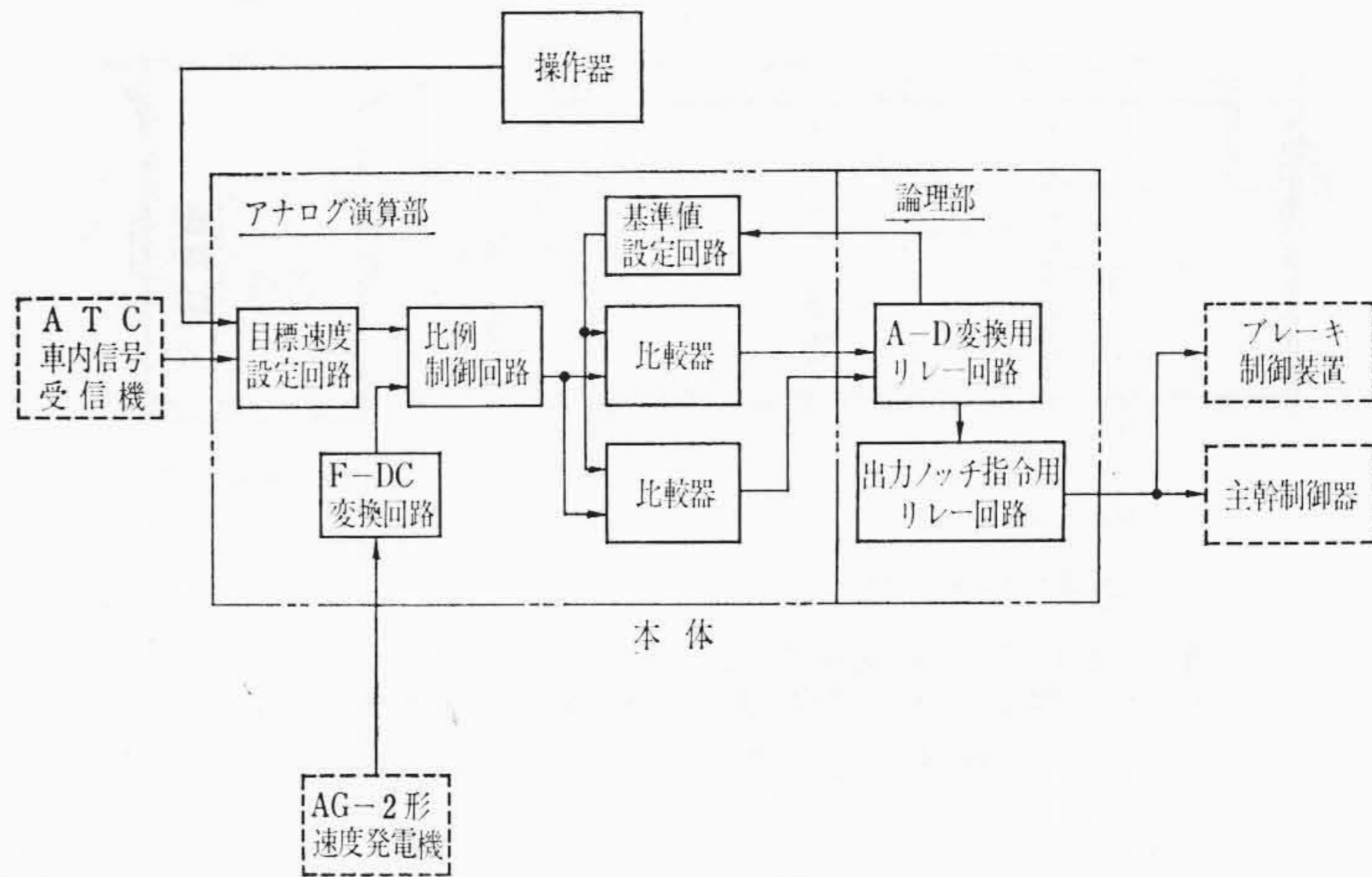


図 3 定速度自動運転装置ブロック図

表 1 半自動ダイヤル速度目盛と目標速度

速度目盛	目標速度 (km/h)	速度目盛	目標速度 (km/h)
230	235	110	113
220	225	105	107
210	215	100	102
200	205	95	97
190	194	90	92
180	184	85	87
170	174	80	82
160	164	75	77
150	153	70	72
140	143	65	67
130	133	60	62
120	123		

表 2 制御指令の関係

ATC 指令	手動指令	定速自動運転装置指令	優先指令
—	力行	力行 惰行 制動	自動運転装置指令
—	惰行	力行 惰行 制動	自動運転装置指令
—	制動	力行 惰行 制動	手動指令
制動	力行 惰行 制動	力行 惰行 制動	ATC 指令

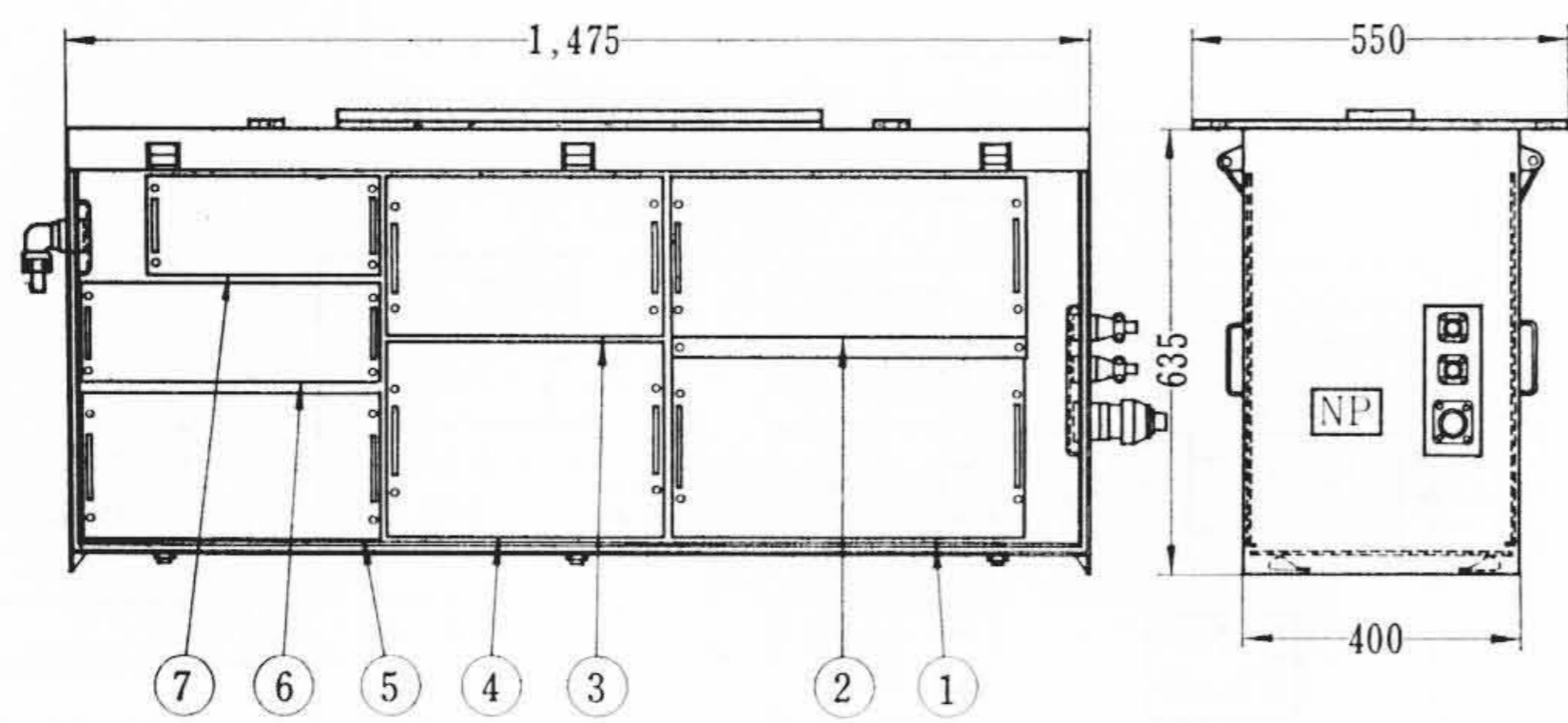
構成になり実用的なものとなるであろう。特にこのような車両においては従来の運転制御方式と異なって、手動時にも速度指令を与えるといった方式がとられるであろうから、自動化のために付加される装置はきわめて少ないと考えることもできる。

3. 定位置停車装置

3.1 最適な定位置停車方式

定位置停車装置の目的の一つが、停車点を常に一定の地点に規正すること自体にあることはいうまでもないが、さらには、滑走限界内の最大減速度をもって列車を定位置に停止させることによって、列車運転間隔の短縮をはかるといった面にも積極的な採用がはかれる理由がある。したがって与えられる停止時の制御パターンは極力減速度の高いもので、かつ十分ダンピングのきいた状態でこれに追従するよう制御することが必要である。

もちろん器具の簡単化も必要であるから、前章でのべた速度制御の延長として単一の速度パターンを与えてこれに追従するような帰



正面図はフタをはずしたところ。

- ① 関数発生部 ③ 電源部(A) ⑤ 受信器 ⑦ 制御回路部
- ② ブレーキ制御部 ④ 電源部(B) ⑥ 演算回路部

図4 定位置停車装置外形図

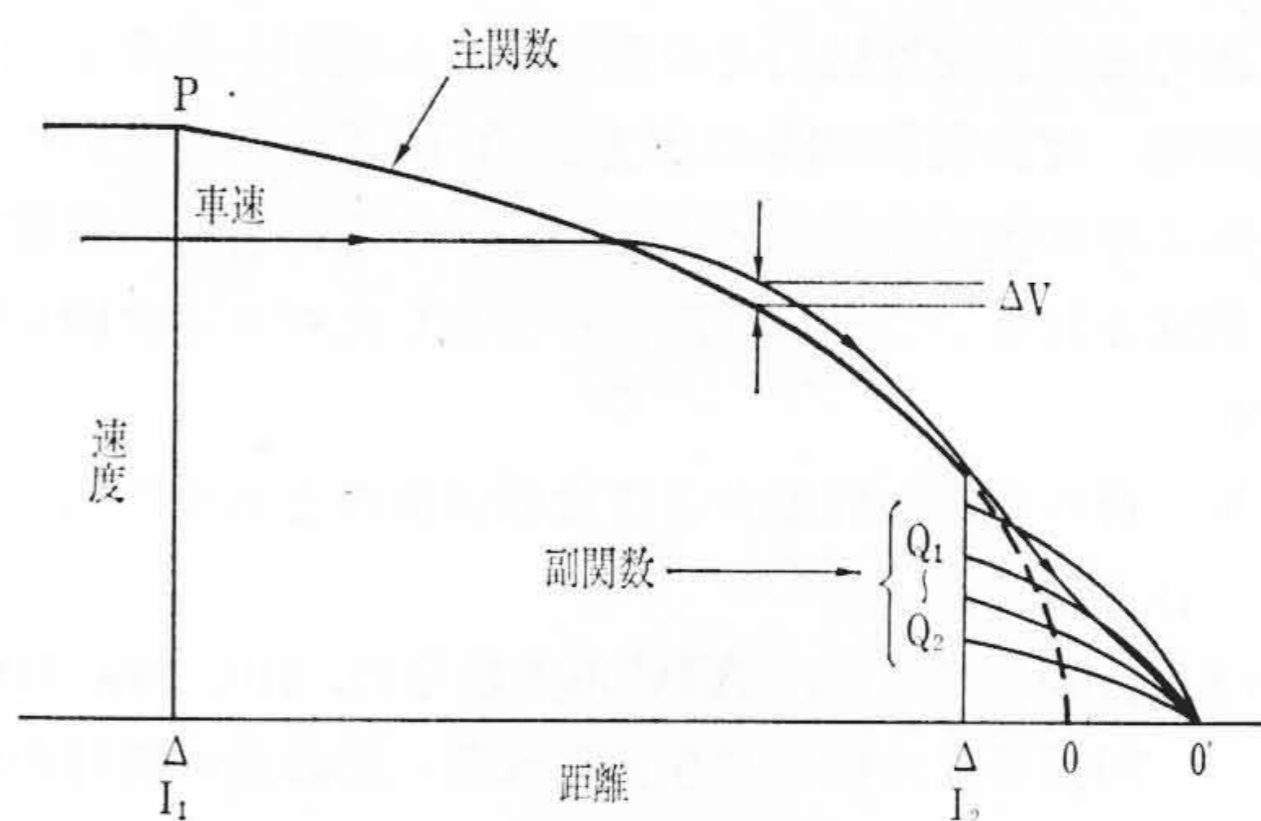


図5 定位置停車制御原理図

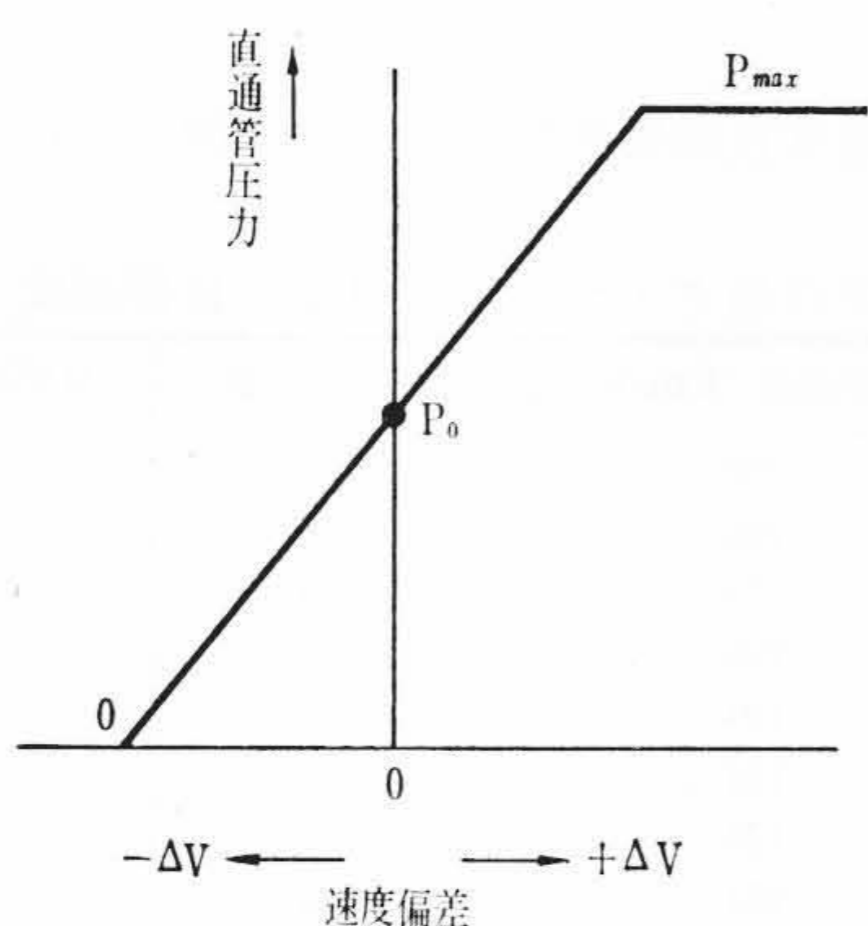


図6 比例制御特性

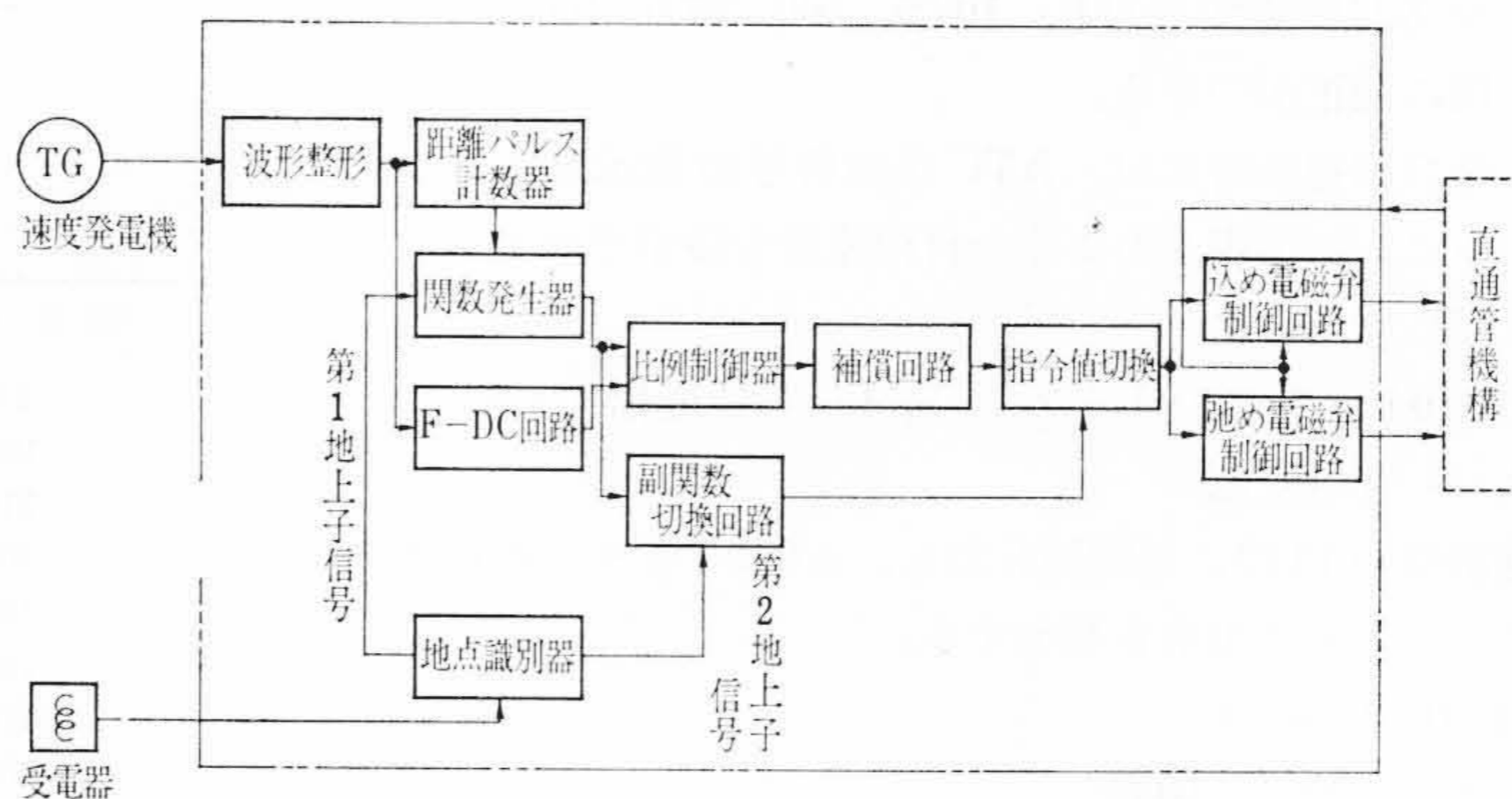


図7 定位置停車装置ブロック図

還制御方式を基本として考えるが、停車点の制御においては微細な応答の変化が停止精度に大きく影響し、かつ制御対象が空気系を大幅に含むブレーキ装置であるため、単なる比例制御によって良好な応答を期待することがむずかしく、適当な補償要素のそ入が必要となる。

日立製作所においてはかねてから日本国有鉄道のご指導を得て定位置停車装置に関する多くの実績を重ねてきたが、これらの研究成果と、多くのシミュレーションによる検討をもとに、今回、国鉄通勤車モハ101系電車用として新しい定位置停車装置を製作した。本装置はこれら多くの研究検討により決定した適切な補償回路を持つもので、図4に示すように床下設置可能な実用機である。

本装置は列車を停止目標点に向かって減速制御するとき、車上に基本となるべき距離-速度パターンを発生し、これと列車速度との偏差に応じてブレーキ力、具体的にはブレーキ装置の直通管圧力を制御する方式である。図5はさらに詳細にシステムの動作を説明したもので列車が停止目標点に近づき I_1 点を通過すると、車上においては、走行距離に応じて P_0 なるパターンが発生する。これは主関数と呼ばれこれに対し追従制御を行ないつつ列車は減速する。図6はその際の速度偏差 ΔV と直通管圧力との静的な関係を示すものである。このような制御方式において、定常偏差を小さくするには比例制御器の利得を高くとる必要があるが、制御対象であるブレーキ機構の持つ「むだ時間」や「積分特性」のためにそのままでは不安定な応答を示す。この系の応答改善の方法として本装置においては lag-lead 補償を採用した。

列車がさらに進行して停止点に近い I_2 地点を通過すると制御パターンは $Q_1 O'$ のように変わる。これは副関数と呼ばれ、列車がこの関数に当たると追従制御を止めて、弱い直通管圧力を設定して関数を $Q_2 O'$ と変化させる。以後同様な経過をたどり、空気圧力はしだいに弱められ乗心地を良くするとともに停車精度をあげるように働く。

3.2 定位置停車装置の構成と仕様

本装置の構成を図7に示す。図7において速度発電機の出力は距離パルスに変換され計数積算されて距離信号となる。この距離信号は電圧に変換されて関数発生器にはいり距離に対してほぼ一定減速度となるような制御パターンを発生させる。一方、速度発電機の出力を F-DC 回路 (周波数-直流変換回路) によって列車速度電圧に変換し、比例制御器においてパターン速度電圧と列車速度電圧を比較し、その出力を lag-lead 補償回路を通して圧力制御回路に圧力指令として与える。この圧力指令に基づいて直通管圧力を制御しながら一定減速度でパターンを追従する。第2地上の上を通過すると、帰還制御回路は断たれ、速度に応じて直接圧力を設定する。

本装置のおもな仕様は次のとおりである。

- (1) 進入速度 最高 100 km/h
- (2) 追従パターン減速度 3.2 km/h/s
- (3) 停車精度 ± 0.5 m

3.3 今後の見通し

今回製作された装置によって、定位置停車の基本的な方式としては一定定形化がなされたと思われるが、構成機器についてはさらに回路の簡単化と小形化に対する検討の余地があり、回路の標準化を前提として半導体回路のマイクロモジュール化をはかるなど具体的な見通しを得ている。

本装置においても、主回路にサイリスタ制御を応用した電気車両を対象として考えると、発電ブレーキ、回生ブレーキなどの応答特性の大幅な改善が見込まれ、補償要素を不要とする単なる比例制御によって理想的な制御が可能になるのではないかとと思われる。

4. 列車間隔制御装置

4.1 列車間隔制御の概要

前述の速度制御および停車点の制御はいわば列車個々の制御の基本的な技術であり、列車群管理の自動化に対する前提となるもので

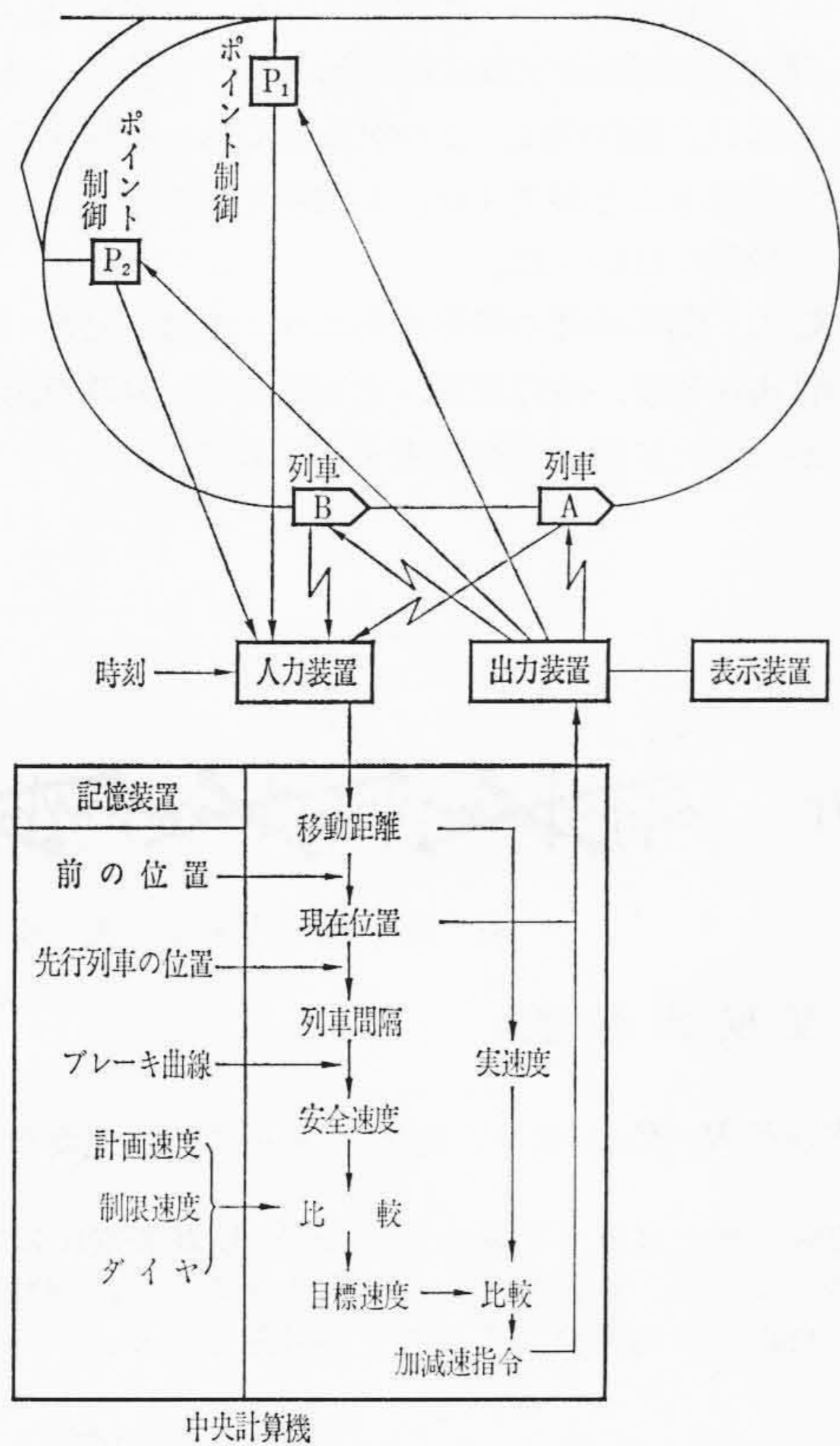


図8 列車間隔制御説明図

ある。これらについては既述のように方式の定形化がはかられつつある段階であり、したがって今後のこの種技術の開発努力は、総合的な列車群管理の面に集中されるものと思われる。

日本国有鉄道においては、中央制御方式による列車群管理の世界最初の本格的実験を、昭和40年3月、鉄道技術研究所構内線において、165系電車2列車を用いて実施した。本試験に際し、日立製作所においては、鉄道技術研究所のご指導によって、中央制御用電子計算機の入出力装置、制御通信回線用送受信装置、車両制御用装置を一括製作納入し好調な動作を示した。

本試験におけるシステムの概略は図8に示すようなものである。すなわち中央に電子計算機を置き、2列車の位置、速度を入力情報として、2列車間の間隔が常に安全なる範囲に保たれるように各車に速度制御指令を与えるもので、さらにポイントをも自動的に制御するような総合的な運行制御が図られている。

中央計算機より列車に対しては、中央計算機の入出力装置から試験的に使用した誘導無線機または導波管無線機を経て制御情報を与え、列車に搭載したそれらの受信機を経由して車両制御装置に伝えられる。一方各列車においては速度発電機の入出力装置を計数し、距離パルスに変換して同様に無線機により中央計算機の入出力装置へ位置情報を与えるように構成されている。

4.2 車両制御装置の概要

以上のシステムを構成する各機器のうち、特に車両制御装置につきその概要を説明する。本装置は車上の電信端局装置と車両機器の中間に位置し、指令を電信情報から主制御器および制動制御装置操作の電気信号にかえる制御指令部と、車軸の回転より走行距離を知り、電信情報に変換して中央計算機へ伝送する回転計部よりなっている。

図9は本装置の構成、図10は本装置の外観を示すものである。

試験は国鉄165系近郊形直流電車で行なったため力行、制動とも5ノッチの指令を主幹制御器と同様な指令として主制御器に与えるよう構成した。これらは制動転換指令と組合せ使用され、力行5ノ

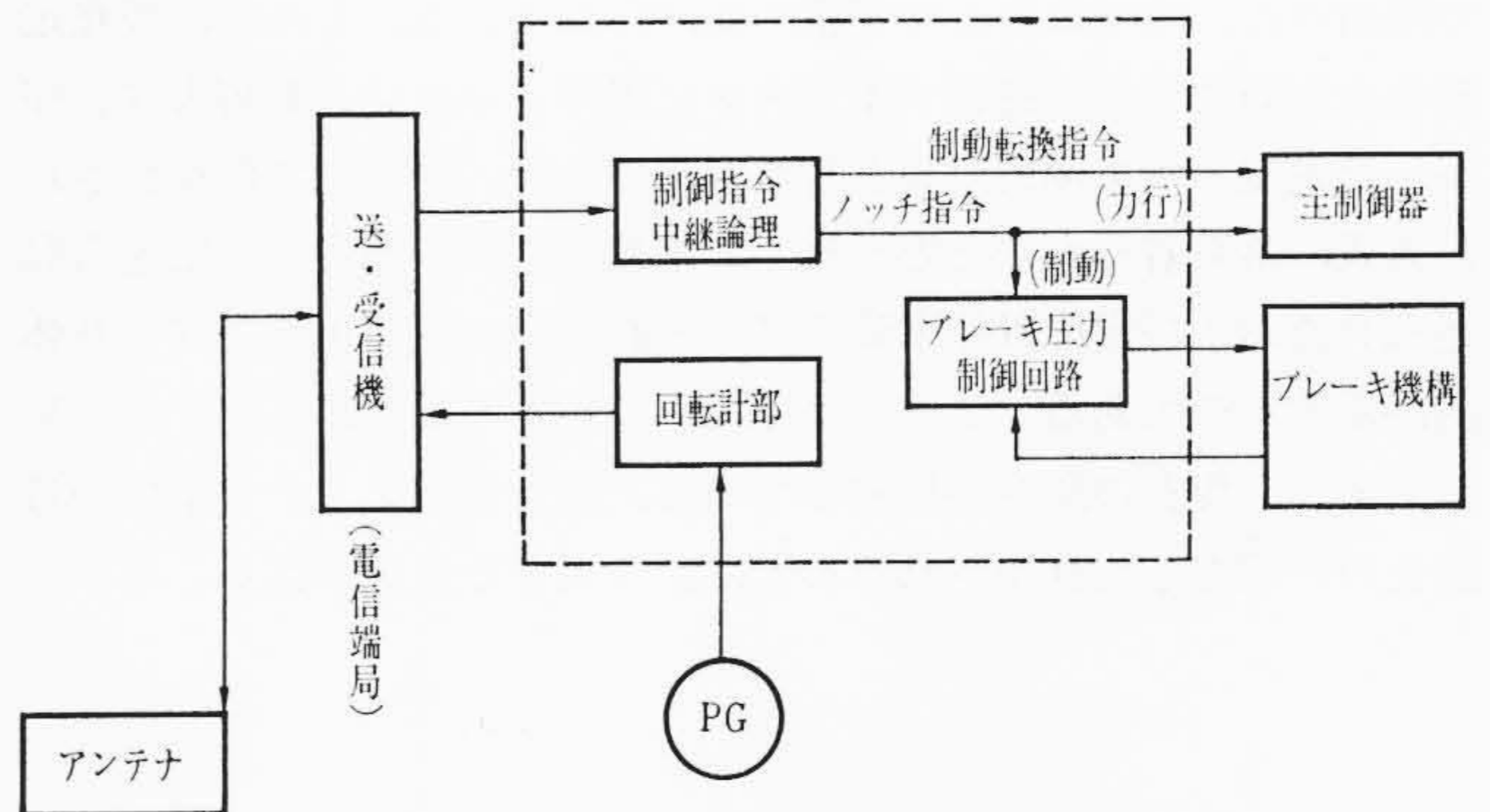


図9 車両制御装置ブロック図

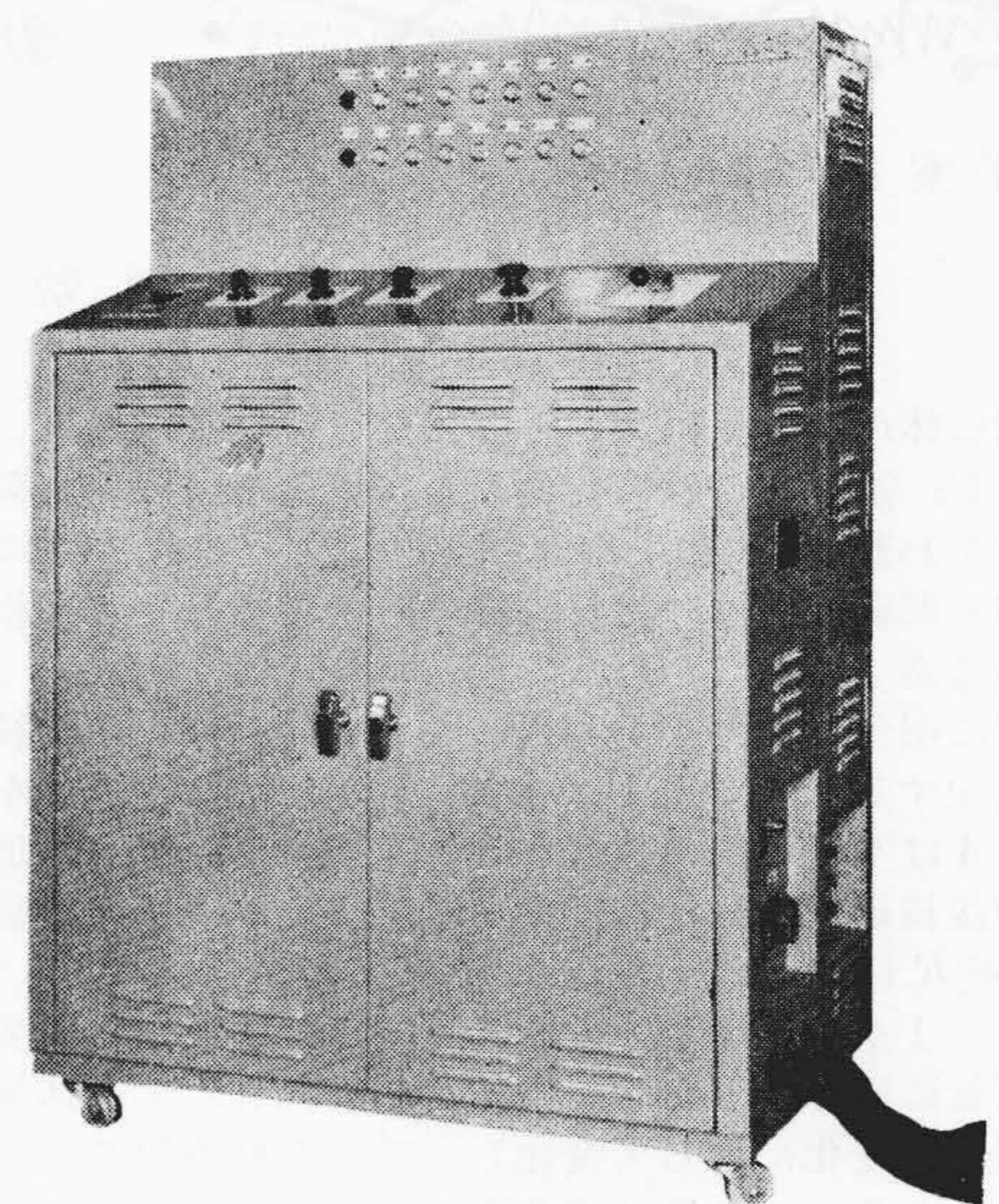


図10 車両制御装置本体

ッチ、制動5ノッチとこれに惰行ノッチを加え、合計11段の制御を行なうことになる。中央計算機の記憶、演算による指令速度どおりの運行を自動的に行なうことができた。

4.3 列車間隔制御装置の今後の課題

列車間隔制御は、相前後する列車が安全距離以上離れて走行するよう、かつ中央からの指令によって自動的にあるパターンに従って走行するよう列車の運行を制御するものである。これは、従来研究されている移動閉塞制御方式を包含しており、単にローカルな制御だけでなく、各車の走行状況を中央では握しつつ各車の運行を指示するという運転指令業務の計算機による制御である。

このような計算機を用いた中央制御方式においては情報伝送系、中央制御装置の構成に多くの技術的問題点が存在する。これらはともに最もシビアな意味においてオンラインで使用されるもので、信頼度、安全度に関する特殊な要求を十分満足する必要がある。このためには単に使用回路、素子などの吟味が必要だけでなく、系のソフトウェアの面における慎重な検討が必要となる。ただここで注意すべきは、これらの技術的難易を決定する大きな要因として、処理すべき情報量の多少があることである。この系は、この系に含まれる列車本数に対応した並列同時処理機能を要求されるので、一列車当たりの必要情報量の増大は、システム全体を見たとき飛躍的な複雑化をまねく。これらの点を考慮して各車の制御装置と中央装置との機能の分配を慎重に検討しなければならない。

5. 結 言

列車運転の自動化に関する研究は、個々の列車の制御といった形

で開始され、すでに多くの実績があげられている。それらは現在定形化の方向にあり、特にサイリスタ応用のノッチレス制御方式を採用した電気車両を制御対象として考えるとき、きわめて簡単化された方式に落ち着くものと思われる。本稿において報告した定速自動運転装置および定位置停車装置は、それぞれの定形化の方向を具体的に示すものである。これらは単独に採用することにも大きな意味があるが、現在の研究が指向している、鉄道管理システム全体の自動化の一環として採用されることにより大きな意義がある。この点

から、今回日本国有鉄道において実施された、世界最初の中央制御方式による列車間隔制御の試験は画期的な意味を持つものといえよう。幸いにして日立製作所は、この試験用機器を製作する機会を得て貴重な経験を得ることができた。本試験を契機として自動運転の研究は新しい段階にはいった。

終わりに臨み、関係装置の製作にあたりご指導いただいた、日本国有鉄道の技術研究所、技師長室、電気局および臨時車両設計事務所の方々の多数のかたがたに感謝の意を表す次第である。



新案の紹介



登録新案 第761349号

猿渡房吉・小沢重樹

磁気抵抗効果を利用した速度検出装置

従来、回転体の速度検出方法としては直流発電機あるいは交流発電機を使用し、速度をこれに比例した電圧あるいは周波数に変換する方法が行なわれているが、回転体が停止して速度が零の場合と、発電機出力と制御回路間の接続電線の断線事故とを判別検知することは不可能であった。

この考案は磁気抵抗効果を利用して回転体の停止と接続線の断線を判別検知するもので、1はマグネット、2は空隙3を有する発電機継鉄、4は空隙3内に放置された速度検出用半導体抵抗素子、5,6はその接続線、7は抵抗変化を電圧に変換する変換装置で電源E、直列抵抗Rおよび検出端子A,Bを有する。

マグネット1が回転すると鉄心2の空隙3における磁界はマグネット1の回転に応じて変化し、空隙3に挿入した半導体抵抗素子4の抵抗が磁界の変化に応じて変化し、その変化の周波数は速度に比例したものとなる。この抵抗変化を接続線5,6を介して検出装置7の出力端子A,Bに送れば抵抗Rと直列に接続された回路網が形成され、抵抗素子4の瞬時に於ける抵抗を R_x とすれば、端子A,B間

の電圧は $R_x \cdot E / R + R_x$ となり、電圧に変換された速度の検出が可能となる。

次に接続線5または6が断線すると端子A,B間電圧は電源Eの電圧に急増するため、断線は容易に判別できるので、回転体の停止と接続線の断線とを判別検知することが可能となる。(西宮)

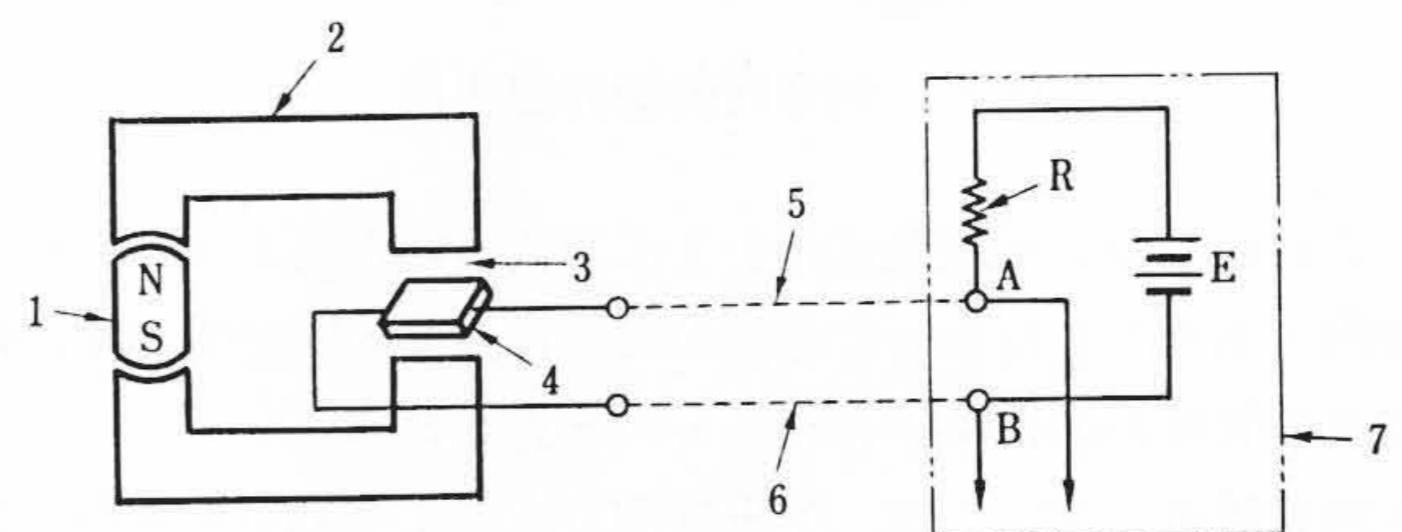


図 1

実用新案 第725644号

村田良雄

高周波増幅用真空管

この考案は中和用コンデンサを内蔵した形のVHFカスコードチューナ用高周波増幅管に関するもので、図1にその構造を、図2にその増幅回路の一例を示すように、プレートの一部または周囲全部を包囲するように電極を配置し、該電極とプレートとの間の容量を中和コンデンサとして利用するものである。

この考案によれば対地容量をなんら増加することなく中和用コンデンサを付加することができるという利点がある。

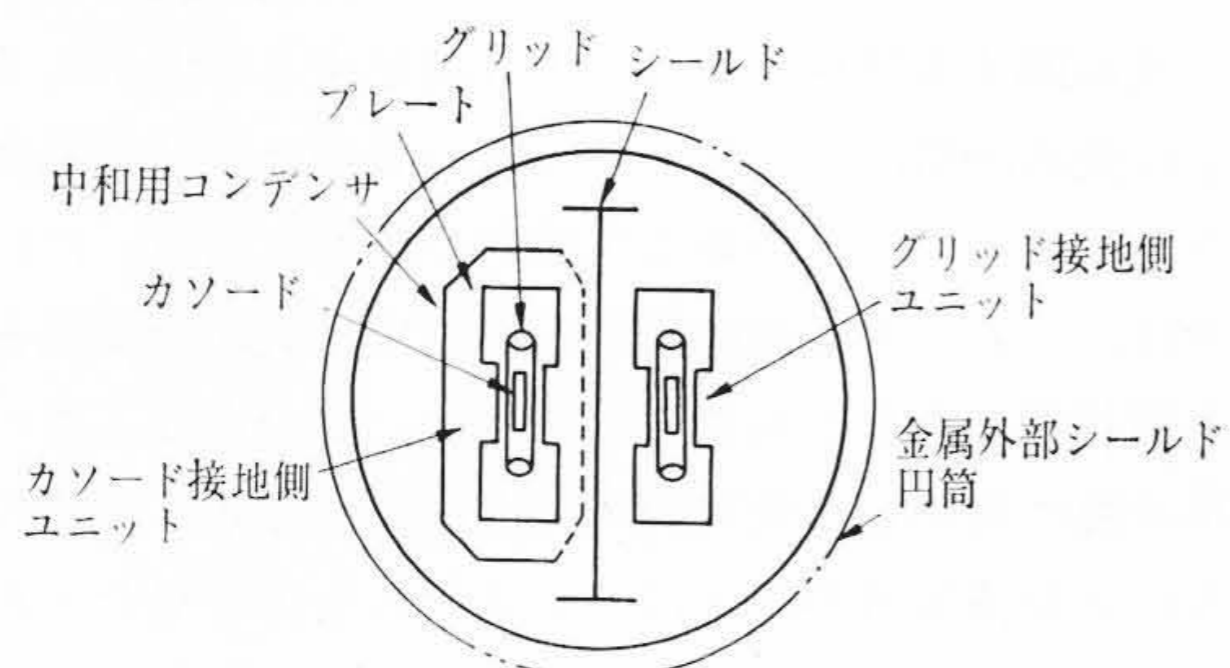


図 1

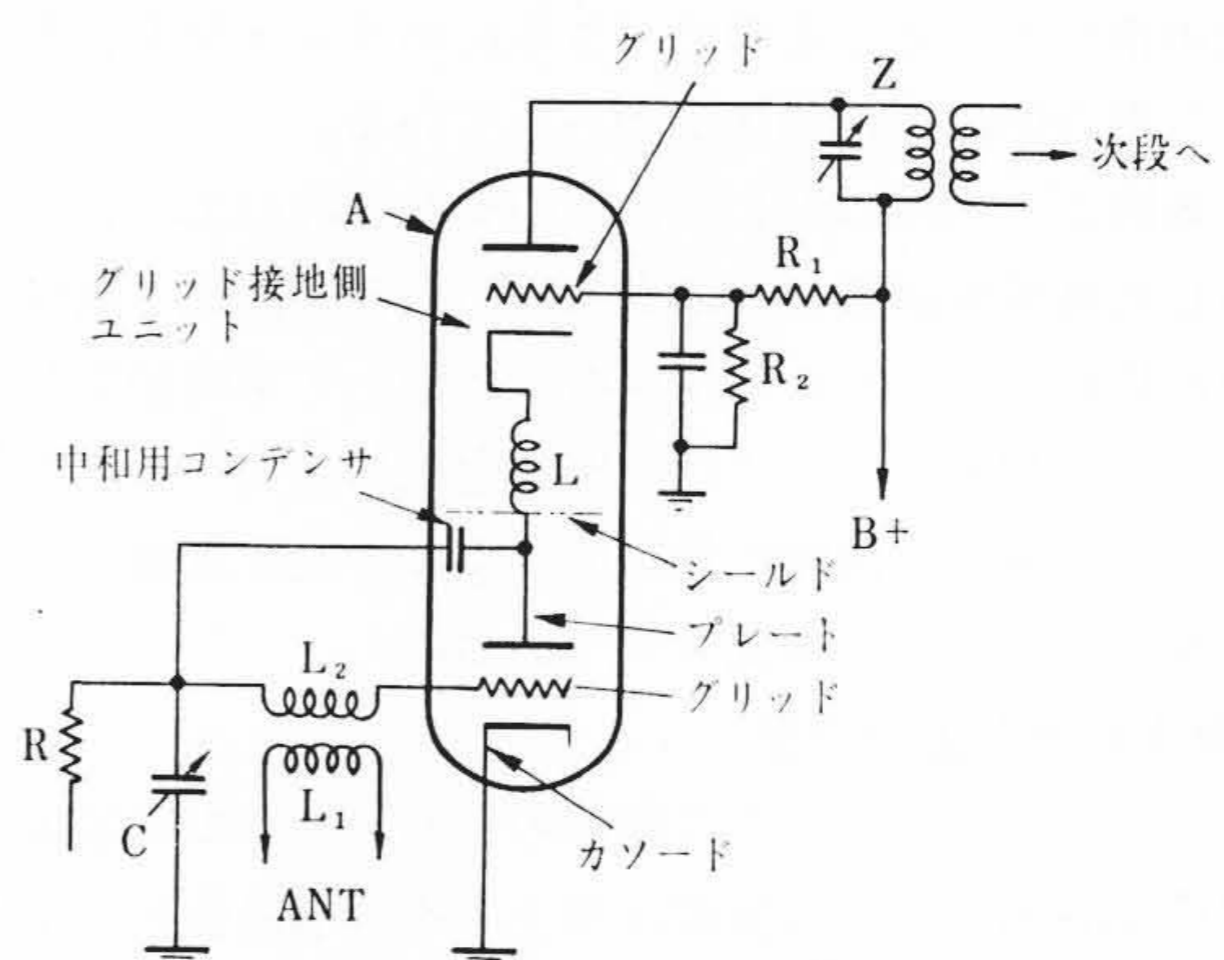


図 2