U. D. C. 621.337.078-551.4+656.22：65.011.56

最近の自動運転装置

Recent Achievements of A. T. O. Equipment

後藤隆雄* 高岡征* 安波政弘*
Takao Gotô Tadashi Takaoka Masahiro Yasunami

要旨

列車の運転自動化は，現在既に実用化の段階で論じられるに至っている。本稿では，最近の実用化例として，新幹線用試験電車の運転制御システム，万国博覧会用モノレール自動運転システムについて，その実施意義と内容を説明し，今後のこの種技術の発展方向について言及した。

1. 緒言

列車運転自動化に関する最近の成果としてあげることのできる，新幹線用試験電車の運転指令装置，万国博覧会場内輸送用モノレールの自動運転システムは，ともに実用化のために製作されたものである。実用化を前提としてシステムを考えるとき，周辺システムとどのように協調をとるか，機器の信頼度をどのようにしてあげるか，事故時の処置をどのようにしてとるか，などを詳しく検討する必要のあることはもちろん，要求される機能，性能を必要，かつじゅうぶんに実現するにはどのような回路方式が最適であるかなど，原理的なものとはやや異なった研究をする必要がある。

以下，上述の2実施例について，主として機能を中心に紹介するが，実用化にあたって，従来の試作的装置と違った配慮がどのように払われているかが汲み取られ，将来の発展へのなんらかの示唆となれば幸いである。

2. 新幹線用試験電車の運転指令装置

2.1 運転指令装置の概念

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の自動化の目的を達することが多い。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車上装置との連動による装置の簡略化が図られる一方，常に路線の許容速度に近い状態で運転することも可能となり，表定速度の向上ならびに運転士に課せられる責務の低減を図ることもできる。

速度制御方式の最も基本的な形としては，目標速度と実車速を比較し，その速度差に応じて操作量を決定するフィードバック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，惰行およびブレーキなど2～3の状態しか取れぬ場合は，当然ON-OFF制御となってしまう。これに対し，直流，交流を問わず，主回路にサイリスタを用いた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。このような電気車に対し適用を想定し，早くからフィードバック制御方式による定速運転の試験が多く試みられてきた。

日立製作所においても，日本国有鉄道のご指導のもとに，一般プロセス制御用のPID調節計を制御器に用いた定速度自動運転装置を試作し，次いで比例制御のみを行なう装置も製作してきた。

これらの装置を用いて，新幹線電車による東京—新大阪間の現車試験の結果，微分や積分制御は，実際上あまり必要でなく，比例制御のみで実用上じゅうぶんな定速制御が可能であることが明らかとなった。

* 日立製作所水戸工場

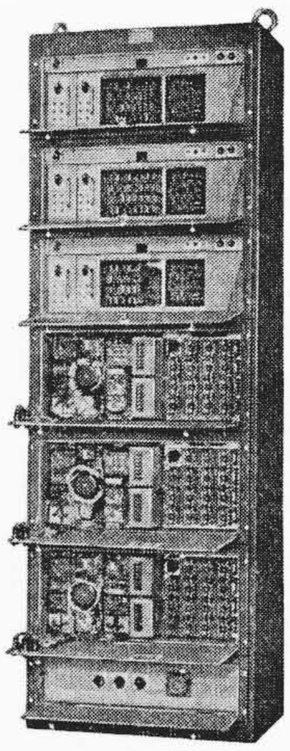
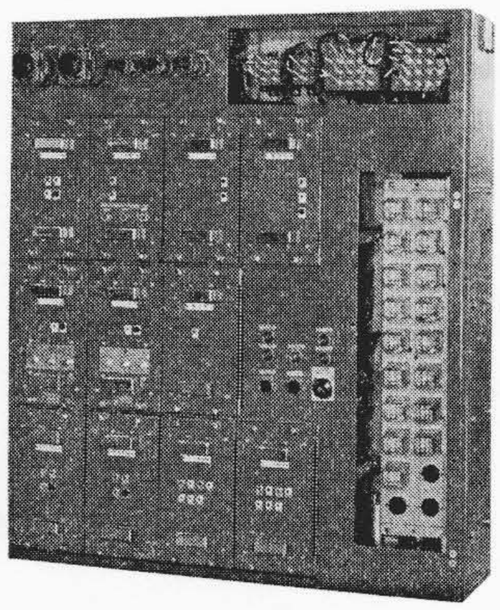


図1 運転指令装置本体



(M車用)

図2 受量装置

今回，新幹線試験電車用の運転指令装置には，以上の試験結果より得られた比例制御のみによる制御方式が採用された。また試験的に，積分制御を追加できるようにし，その効果も現車試験により調べることにした。

2.2 運転指令装置の概要

新幹線用運転指令装置は，現在の東海道新幹線電車にとう載されているTS-1形自動列車制御装置のATC機能とあわせて定速度自動運転機能を持っており，先頭車に設置される運転指令装置本体と各車に設置される受量装置とから構成されている。

運転士は，速度設定器より目標速度を設定するが，その値はATCの制限速度以下に限定される。

運転指令装置本体は，この目標速度と実車速を比較し，その差に応じたトルク指令を，交流分を重畳した直流電流信号に変換して各車の受量装置に伝達する。

各車の受量装置は，伝送されてくる指令電流の正，負およびその大きさにより，力行，惰行，ブレーキの別と力行，ブレーキのトルク指令量とを判別する。

運転指令装置本体および受量装置の外形写真はそれぞれ図1，図2に示すとおりである。

2.3 性能および仕様

今回の試験電車の運転指令装置は，次のような性能および仕様をもっている。

(1) 目標速度

(a) 運転士による設定可能目標速度範囲を0～300 km/h (2.5 km/h刻み) とした。

(b) ATC信号70以上で，ATC制限速度から一定値（約5 km/h)下の速度での定速度自動運転を可能にした。

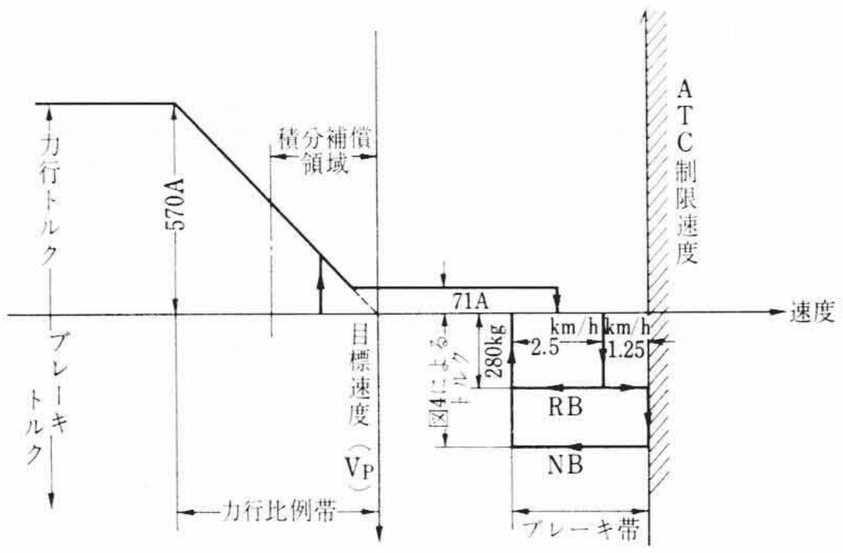


図3　トルク量-速度の関係図

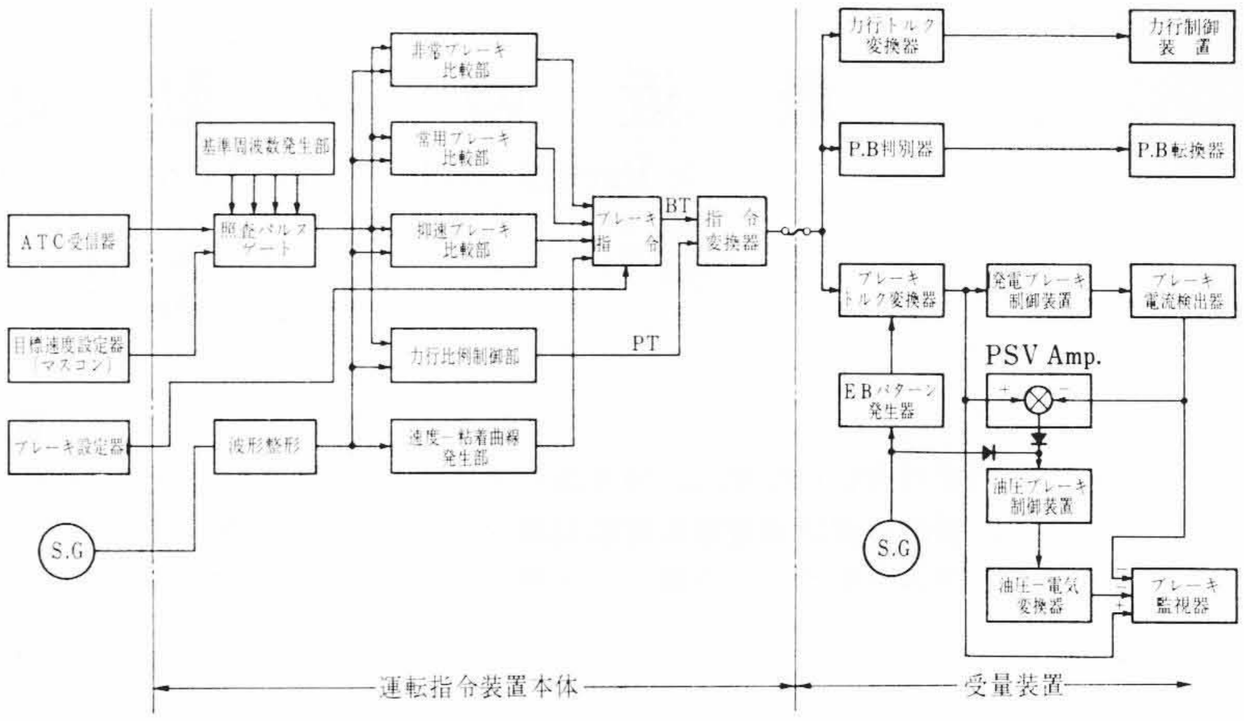


図5　運転指令系ブロック図

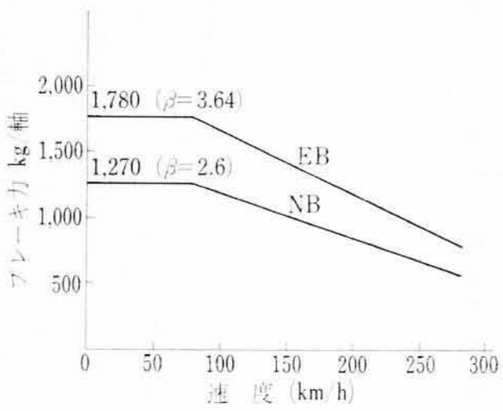


図4　速度-粘着曲線

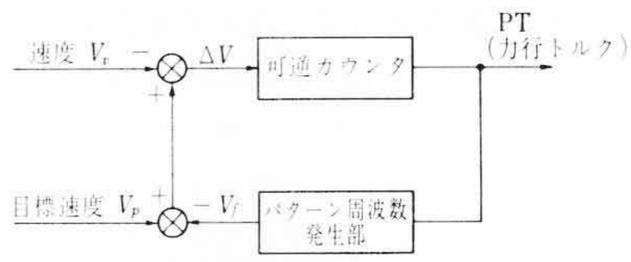


図6　力行比例制御

(2)　力行比例帯

(a)　各目標速度において比例帯を5～20 km/h に設定することを可能とした。

(b)　比例帯の1/2以内にはいったとき，積分補償を生かす回路を試験的に設けた。

(3)　ブレーキ

(a)　抑速ブレーキ帯をATC制限速度より1.25 km/h低い所に設け，280 kg/軸相当のトルクを作用させる。

(b)　ATCブレーキは，速度—粘着曲線に沿ったブレーキ力を作用させ，ブレーキの中で最優先とする。

(c)　手動ブレーキは，ATCブレーキの次に優先し，常用7ノッチおよび非常の8段階がある。

(4)　トルク伝送

力行およびブレーキのトルク量は，サイリスタの位相制御方式を用いて，400 Hz の交流を重畳した直流電流で各車に伝送され，正電流100 mA を最大力行トルク，負電流100 mA を最大ブレーキトルクとし，−12 mA～+12 mA を惰行とした。また，交流の有無により指令線の断線および短絡を検知できるようにした。

(5)　P・B　判　別

(a)　本指令装置は従来のATC装置と同様，いわゆる2 out of 3方式であるが，指令装置本体内でP（力行）およびB（ブレーキ）の判別を行ない，これを用いて各チャンネル間の同期をとり相互監視を行なっている。

(b)　各車の受量装置では，トルク指令線の電流の正負の極性判別によりP・B判別を行なう。惰行→力行，惰行→ブレーキへの転換時，指令電流はステップ状に変化する。

以上のうちで，図3はトルク量と速度の関係を，図4はATC作用時の速度—粘着曲線を示している。図3において，ATCの制限速度の手前まで最小力行トルク（全トルクの1/8）の領域を設けたのは，惰行指令時，断流器「入」のままとしてサイリスタのゲートオフによる方法をとったが，主電動機4回路が並列に接続されているので，残留磁気の打ち消しによる発電ブレーキの立ち上がりが不じゅうぶんになるおそれがあったためである。しかし，80 km/h 以下では，加速することも考えられるので，この最小力行トルクの帯は設けないことにしてある。

2.4　各部の構成

(1)　運転指令装置本体

運転指令装置本体には，制御性能の向上を目的として，半導体集積回路（IC）を用いたディジタル制御技術を導入した。また信頼度向上のために，現在のATC装置と同様に，全機能を備えたチャンネル2チャンネルと，故障論理判断のためだけのチャンネル1チャンネルとを用い，各チャンネル間の動作の同期をとって，多数決論理で故障検知を行なう方式とした。

図5は運転指令装置のブロック図であるが，本図に示すように，運転指令装置本体の基準周波数発生部で，目標速度に対応する周波数を発生する。この周波数と速度発電機からの速度周波数とを比較し，その速度差に応じて，非常，常用および抑速ブレーキ指令を各比較器で判別し，各ブレーキに相当したトルク量を指令装置から指令線を通して各車の受量装置へ伝送する。また速度—粘着曲線発生部は，速度に応じた最適ブレーキ力を発生する。

一方，力行の比例制御は，図6に示すように，速度差 $\Delta V = V_p - V_v - V_f$ が $\Delta V > 0$ のとき，力行トルクを指令し，$\Delta V \leqq 0$ のとき出力を発生しない。このようにして，目標速度に対し速度差 ΔV をゼロにするため，フィードバック制御を行なっている。

そのほか，照査部で演算した結果を，アナログ変換し，トルクを伝送する指令変換部と，各チャンネル間の故障検知や同期をとる部分があり，従来から実績のあるリレーや磁気増幅器で構成してある。

(2)　受量装置

試験電車は，2電動車（MC M′C）よりなっているが，M′C車には力行制御装置があることから，力行トルク変換器，P・B判別，油圧ブレーキ指令器（PSV Amp）およびブレーキ監視器からなる，力行指令を主体とした受量装置を設置し，MC車には，ブレーキ制御装置があることから，ブレーキトルク変換器，EB

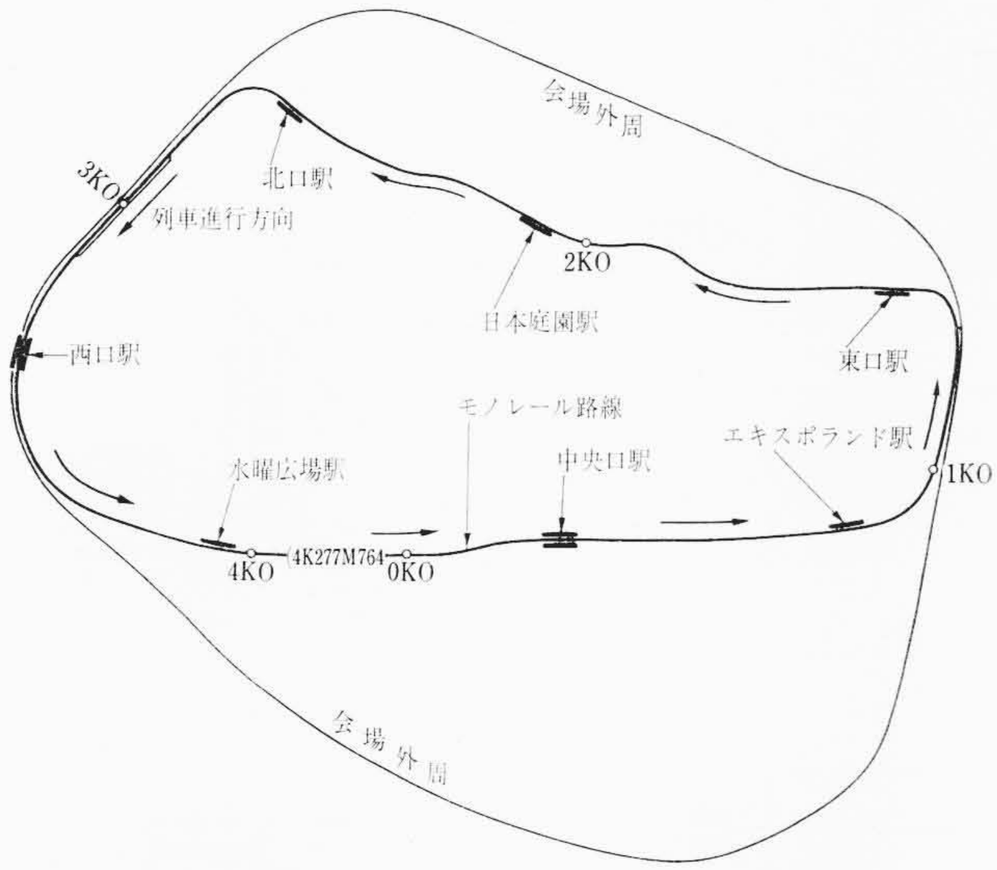


図7　万国博覧会場のモノレール線路

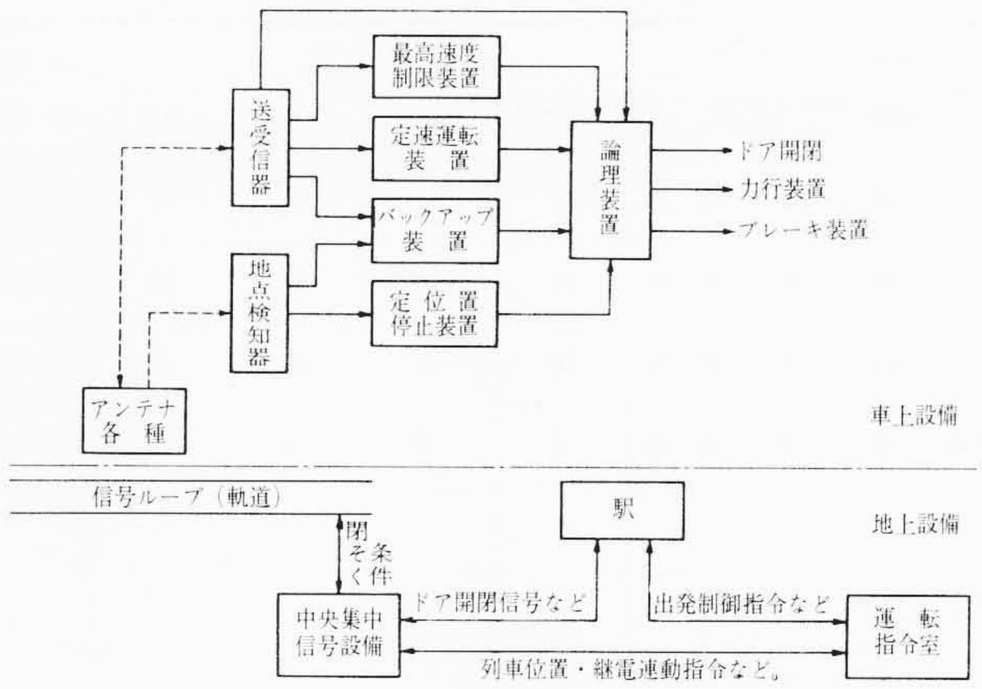


図8　制御指令系統ブロック図

パターン発生器，油圧ブレーキ指令器およびブレーキ監視器からなるブレーキ指令を主体とした受量装置を設置した。

この2台の受量装置の入力部は，直列に接続され，指令装置本体からの信号を受ける。このように直列に接続することにより，指令線の断線検知などが容易となる。

とくに油圧ブレーキと電気ブレーキの協調には留意しており，ブレーキ指令に対して油圧ブレーキおよび電気ブレーキが正常か，過大，不足または不緩解かを検知するブレーキ監視器を設けている。

受量装置は，実績のある磁気増幅器を主体とし，一重系で構成されている。また保守点検を容易にするために各機能ごとにトレイ構造としてある。

2.5　今後の見通し

新幹線用試験電車は昭和44年3月に完成し，引き続き各種の試験が行なわれている。

この試験電車の定速運転の方式は，目標速度を与えるのに，運転士の操作する目標速度設定器を用いているが，これに定時運転用プログラム装置を付加し，定められた各地点通過時刻をプログラムに合わせるように自動的に目標速度を設定して，運転士の操作する目標速度設定器を取り去ることもできる。

さらに定位置停止制御装置を付加すれば，完全に自動運転の機能を持つことになる。しかるに，各機能を実現する装置は個々に存在するため，それらの機能のうちに同一の回路が重複して存在するなど，ある意味において不経済な構成になりやすい欠点を持っている。

今後，この面での検討を進め，信頼性，安全性および保全性を考慮したシステムとする必要があろう。今後われわれに残された課題は，次第に個々の列車制御を定形化するとともに，全体的にとらえた自動運転システムを展開していくことであろう。

3.　万国博覧会場内大量輸送用モノレール自動運転システム

3.1　自動運転システムのあり方

自動運転システムは，たとえば乗降客数の変動にも弾力的に応じられるようなシステムであることが望ましい。そのためには，列車群を制御し得るシステムであることが必要である。既述のような方式は，次第に定形化されつつあるので，今後の自動制御の開発努力は，総合的な列車群管理を中心とした自動運転システムに集中するものと考えられる。

今回の万国博覧会場内大量輸送用モノレールの自動運転システムは，約4.3 kmの短い環状の単線で，あまり複雑でない運転曲線の6列車を制御するものなので，既開発の車上制御装置を使用し，中央における比較的簡単な時間管理装置の管理のもとに動作させるようにしたものである。

図7はこのシステムの対象となった路線ならびに駅の配置を示したものである。なお，本路線の1時間最大輸送力は約25,000人である。

3.2　自動運転システムの概要

このモノレールの運転は次の3種を行なうよう計画されている。

（1）　自動：通常この運転が行なわれ，車掌が出発ボタンおよびドア開閉操作を行なう。

（2）　無人：試験用および夜間回送用の運転で，すべての制御は自動的に行なわれる。

（3）　手動：入換用および自動制御系の機器が損傷したときの運転で運転士による制御と車掌によるドア開閉が行なわれる。

図8は，このシステムの制御指令系統を示したものであるが，このシステムは幾つかのサブシステムから構成されているとみることもできる。それらのサブシステムとその機能の概要は，次のようなものである。

（1）　信号保安サブシステム
　（a）　単線1方向固定閉塞式
　（b）　チェックイン・チェックアウト式列車検知方式
　（c）　連続誘導式車内信号現示方式
　（d）　ＡＴＣ装置を付属
　（e）　第1種継電連動装置による進路設定

（2）　運転制御サブシステム
　（a）　可変速度バンド制御式定速運転
　（b）　車上パターン追従式定位置停止
　（c）　自動運転のほかに，無人運転可能

（3）　ドア開閉制御サブシステム
　（a）　自動運転では，車掌による定位置での手動ドア開閉
　（b）　無人運転では，定位置での自動ドア開閉

（4）　時間間隔制御サブシステム
　（a）　時計装置により各駅への出発予告，出発指示を列車数に合わせて等間隔で行なう。6列車で2分30秒間隔，5列車で3分間隔など，3列車まで可能である。
　（b）　信号制御テコによる時間間隔制御のバックアップシステムを持つ

表1　制御情報と制御内容

信号	信号呼称	ATC 制限速度(km/h)	ATC 適用ブレーキ	ATO 力行ON レベル	ATO ブレーキOFF レベル	ATO 力行OFF レベル	ATO ブレーキON レベル	力行制御	適用ブレーキ
				(km/h)	(km/h)	(km/h)	(km/h)		
F1	50	53	常用	35	42.5	45	50	直並列	弱ブレーキ
F2	38	41	常用	20	27.5	35	38	直並列	弱ブレーキ
F3	31	35	常用	20	25	29	31	直列	弱ブレーキ
F4	0	0	常用	0	0	0	0	cut out	常用
F5	出発	—	—	—	—	—	—		
F6	入換	25	常用	—	—	—	—		cut out

(注)　故障　無信号——→非常ブレーキ

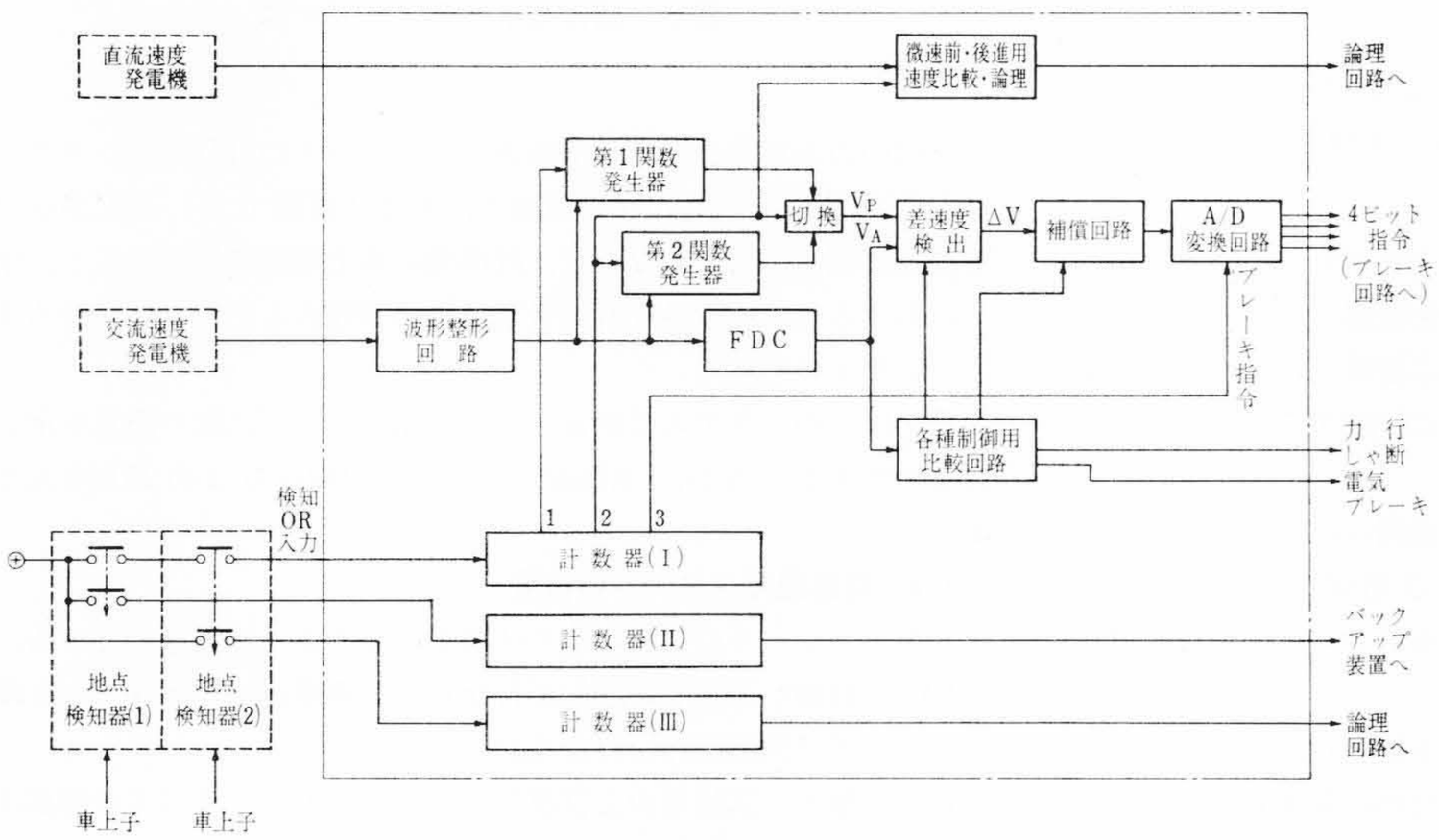


図9　定位置停止装置ブロック図

(5)　そのほか

(a)　運転指令室での列車集中監視装置による運転監視

(b)　運転指令室での進路てこ扱い

(c)　運転指令室での緊急処理扱い，および指令

(d)　運転指令室でのITVによる各駅ホーム監視

以下，自動運転システムの中心となる車上装置で構成される運転制御サブシステムおよび，列車間隔をほぼ一定に保つ時間間隔制御サブシステムについて述べる。

3.3　運転制御サブシステム

制御の対象となる主回路制御方式が従来どおりのカム軸制御器による抵抗制御方式であるため，速度制御方式は速度バンド制御式となった。このバンド幅およびレベルは，線路状況に合わせることが要求される。特に本路線は会場内施設の状況から曲線や起伏が多いため，速度制限個所が多く見られ，それらの条件を満足し，かつ乗心地よく，輸送計画を実現する必要がある。この結果，最終的に決定した信号と速度バンドの各レベルの関係は，表1に示すようになる。

定位置停止装置の停止精度は，ホームの縁端に設けられるたなの乗降口幅2mと，車両の側引戸幅1.2mとの差より，±35cmを目標としている。これを実現するための制御条件をシミュレーションおよび等価試験により求め，最高速度55km/hから減速度2.8km/h/sの車上パターンを発生し，それと車速とを比較してその差速度に応じてブレーキ力を制御するいわゆる車上パターン式の比例制御方式を採用した。一方，空気ブレーキ制御系には，応答の速い電気指令方式の15段階制御式電磁直通ブレーキ装置を採用している。

図9は定位置停止装置のブロック図である。

図9において，交流速度発電機の出力は距離パルスに変換され関数発生器にはいり距離対速度の関数を発生させる。一方，交流速度電圧に変換され，差速度検出回路により偏差が求められる。その出力はさらに補償回路を通って15段階にブレーキ管圧力を制御するためのA/D変換回路にはいる。この圧力指令に基づいて，ブレーキ管圧力を制御しながら一定減速度でパターンに追従しつつ定位置に停止させる。

3.4　時間間隔制御サブシステム

時間間隔制御は，各駅における列車の出発をほぼ一定の時間間隔に保つ制御である。

本モノレールの自動運転は制限速度の多い路線を，極力短時間で走行するような制御を行なっているので，回復運転を行なう余裕はあまりもっていない。一方，列車群が路線上に片よって分布するような状態をまねくことは，乗客整理上望ましくない。そのためある駅で出発が遅れた場合には，それ以降の後続車を一斉に遅れさせて，均等な運転間隔を保たせるような時間間隔制御を行なうこととした。

このシステムの制御条件および仕様の概要は次のとおりである。

(1)　1周運転時間　15分

(2)　停車駅　7駅

(3)　運行列車数　6，5，4，3列車まで制御可能

(4)　駅停車時間　最小30秒とし調整可能とする

(5)　出力

(a)　各駅への出発予告ベル指令

(b)　駅ループへの出発合図信号発信指令

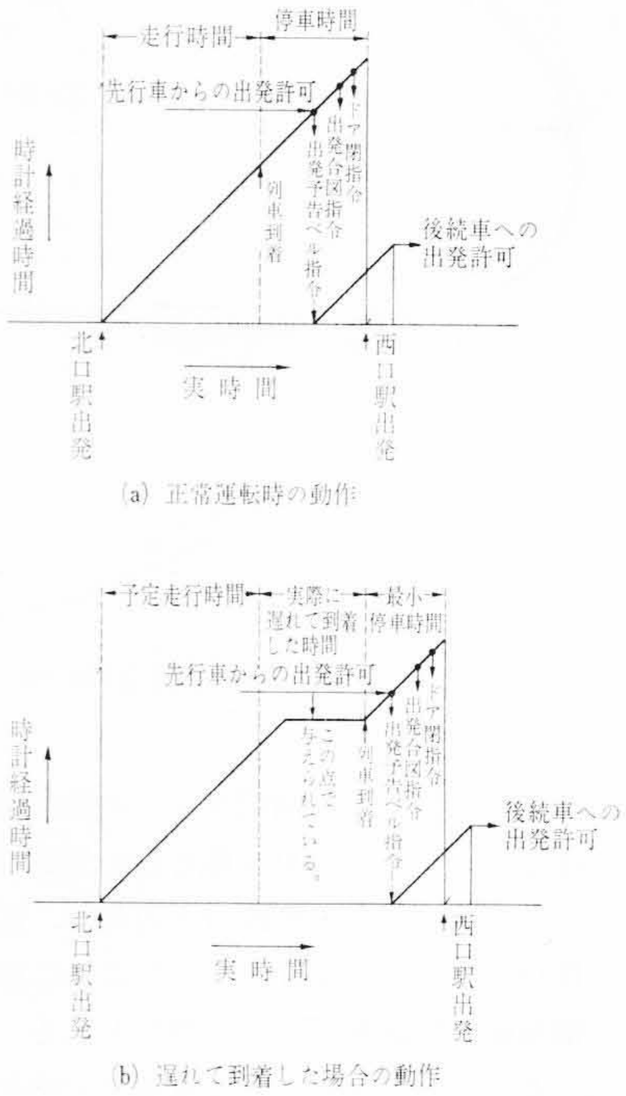


図10　時隔制御システムの動作説明図

（c）　駅への自動ドア開閉信号発信指令

（6）　構成および動作

（a）　各駅に帰属する時計が7駅分ありそれが列車の動きに応じて環状動作する

（b）　先行列車の出発に続いて，後の駅にいる列車に対して規定時間経過後出発信号を与えるように時計を動作させ出発間隔をほぼ一定に保つ

このシステムの動作を示したのが図10である。図において，(b)のように遅れて到着したときは，時計はその駅での最小停車時間を残して動作を停止している。列車が到着すると最小停車時間計は再び動作し始め，順に出発予告指令，出発合図指令，ドア閉指令を与えていく。さらに，後続車すなわち北口駅から出発する列車を管理する時計に対し，一定の時間経過した後に出発許可を出し，時間間隔をほぼ一定に保つ仕組となっている。

3.5　列車自動運転システムの今後の課題

列車運転の自動化が，個々の列車制御の技術を基として，列車群の制御を含む大きなものに発展していくことは明らかである。万博会場のモノレールは，単純，簡明な方式によってはいるが，このような形で実施される初めてのシステムである。したがって本実施例は，個々の機器にその特長を見いだすよりは，機器相互間の連係，機能分配といった点に独自性が見いだされるものである。

しかしながらこのような簡易な機器構成のみによって，あらゆる種類の路線が自動化されるものとは考えられない。より複雑な路線においては当然，中央装置として電子計算機を持つような形の系が構成されるであろう。われわれは，そのよのようなシステムに対して，いっそう格段の研究が必要であると同時に，検討されるべき項目，機能そのものは万博会場のモノレールシステムと同一であることを付記する。

4.　結　　言

新幹線試験電車用の運転指令装置，万博会場のモノレールの自動運転システム，この二つの実施例は，その対象，実現せんとする機能において非常な差異がある。しかしながら，それぞれ自動化の段階において，実用化のために慎重な検討がなされたものである。諸方面において運転自動化の実用化が真剣に考えられている今日，なんらかの参考となることを期待する。

終わりに臨み，新幹線用試験電車の運転指令装置の製作ならびに試験にあたり，種々ご指導いただいた日本国有鉄道の車両設計事務所のかたがた，また万国博覧会場のモノレール自動運転システムの検討にあたりご意見をいただいた多数のかたがたに感謝の意を表わす次第である。

新　案　の　紹　介

登録実用新案 第798688号

渡井三夫・伊藤孝也
片田光男

継　電　器　な　ど　の　接　点　装　置

この考案は接点開閉時のチャッタリング，バウンジングなどを防止し，高速度復帰をし，遮断容量を増大し得るようにしたもので，1はアルミニウムなどの誘導円筒で磁極2, 3, 4, 5および中心極により形成される空げき6に，回転可能に軸7に設置される。8はほとんど弾性のない可動接点支持金具でその一端は軸7に固着され，他端に可動接点9が設けられている。10は可動接点9の対抗位置に配置される固定接点で，渦巻バネ11を介して後述の方法によりきょう体13に可動可能に設置される。すなわちきょう体13はその内部がシリンダ131に形成されその一端はふた14により密閉され他端はきょう体ツバ132を形成し，このツバ132の中央部に小孔133が形成される。また固定接点10の背後に固着した軸15は小孔133を貫通介装し，かつシリンダ131内に位置するその一端に円板16を固着し，ピストン的作用をなすように配置される。17は軸15のシリンダ131内に設けたストッパで，可動接点9と固定接点10との接点間げきを任意に定めるものである。

今誘導円筒1に接点閉路方向に回転力が生ずると，可動接点9が固定接点10に接触し，接点回路を形成する。その際金具8は鋼体であるため振動することなく接点10をバネに抗して矢印18のごとく押圧する。したがって接点10はピストンとシリンダ131により制動効果を受けながら矢印18方向に移行する。この際接点10が接点9の速さよりも遅く両接点が離れることのないようにじゅうぶん動いていれば両接点共振動を生ずることがなく，また制動圧とバネ11の反力により接点圧じゅうぶんに保たれることになる。それとともにピストン作用をなす円板16がふた14に当たるまでの制動効果により可動部の運動エネルギーが吸収され，行程が最終位置に達し円板16とふた14の内面が当たり可動部の運動が止められる瞬間における反発力はきわめて小さくなるからバウンヂングも生じないことになる。そして円筒1の回転方向が反対になれば，円筒1に直結された接点9の復帰速度は接点10が復帰する速度よりも早いので両接点は瞬時に離反し，復帰時間が早くなるとともに遮断容量が大きくなる。これらのことからこの考案は高速度保護継電器などに好適なものとなる。（西宮）

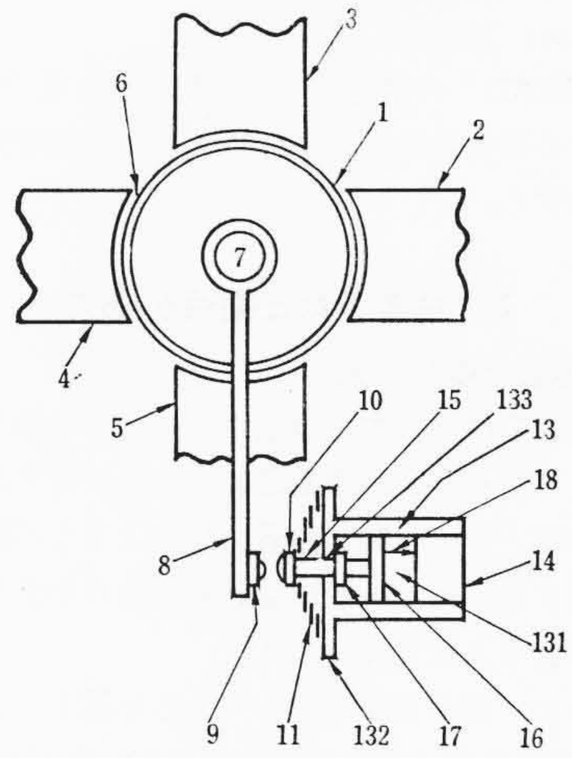


図　1