

# モノレールカーの自動運転 (ATO)

## Automatic Train Operation for HITACHI-ALWEG Monorail Car

刈谷 志津郎\* 高岡 征\*  
Shizuo Kariya Tadashi Takaoka

### 内 容 梗 概

わが国初の本格的モノレールとして注目を浴びた名古屋鉄道株式会社犬山ラインパークモノレール線には、開業当初より端末過走防止用の自動列車制御装置が設備されているが、今回これに自動運転装置を追加することになり、シーケンス制御方式による装置を完成し現車試験を実施した。その結果、一般走行時の制御が良好に行なわれたことはもちろん定位置停車装置の停車精度においても  $\pm 30$  cm 以内という好結果をあげ、営業運転に実用されることになった。

### 1. 緒 言

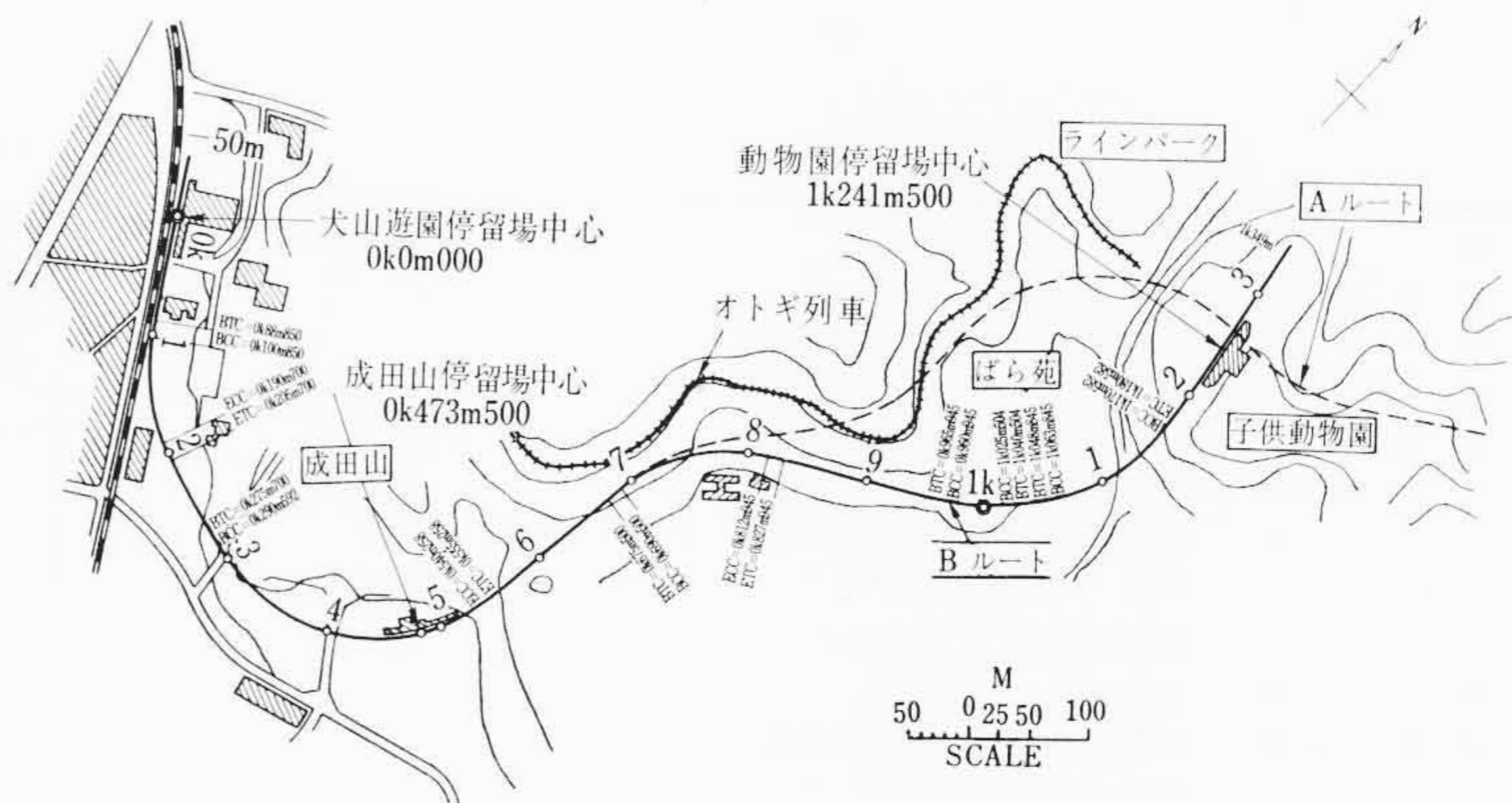
名古屋鉄道株式会社犬山ラインパークモノレール線はモノレールとしてわが国最初の本格的営業路線で、日立-アルウエーグ式としても初めての実施例である。すでに犬山ラインパークモノレール線においては路線端末の過走防止用 ATS 装置が設けられ、関数制御方式による保安用の自動列車制御装置の初の実施例となっている。一方モノレールは、地下鉄における場合と同じく踏切などによって列車運行を阻害されることがないから、各種交通機関中、最も自動運転 (ATO) を実施しやすいものの一つであり、その近代化された姿態とあいまって、自動運転技術の確立が早くからのぞまれていた。

日立製作所は列車の自動運転の分野においては、すでに名古屋市交通局地下鉄線において地上プログラム方式による営業運転実施例を有し、また、日本国有鉄道の指導のもとに車上プログラム式の PTC 装置、あるいは PID 自動運転装置の実施例を有して、それぞれ好結果を得ている<sup>(1)~(3)</sup>。これらの経験をもとにして、さらにモノレールの特殊性を考慮し、かつ実用化を前提とした簡易な機構と方式によって製作されたものが犬山モノレール用 ATO 装置である。

自動運転の技術は大別して駅間において、あるプログラムに従って列車を運行させる速度制御と、駅の定位置に列車を停止させる定位置停車制御にわけることができる。犬山モノレールカーは直巻電動機を用いた直流電車であるから、速度制御は力行、およびブレーキの ON-OFF 制御によることになる。したがって、もっとも簡易な方式として名古屋地下鉄の ATO と同じく速度バンド方式による ATO を採用した。しかし、走行路線が短いので、運転曲線を詳細に検討した結果、単一の速度バンド指令をもって全運行を制御できることがわかったので、特にプログラムというものを路線に対応して設けることはしなかった。

定位置停車には、車上に制御パターンを設ける方式を採用したが、一般電車と異なって車輪径が変動しやすいことや、実用性を考えて複雑な制御方式を排するといった考えから、パターンと実車速との関係によって列車に与えるブレーキ力のある一定値に定めて置く方式をとることとした。

以上の概略説明のように、車両の制御器に与える指令はすべてデジタルな信号で、しかも特定のプログラムを設定していないので、従来の地上プログラム式、あるいは車上プログラム式に対して、本方式をシーケンス制御方式と呼んでいる。



第1図 犬山ラインパークモノレール線線路平面図

### 2. 犬山モノレール

#### 2.1 路線および車両諸元

ATO 実施の対象となった犬山ラインパークモノレールの路線、列車設備などについてはすでに詳しい報告がなされているので<sup>(4)</sup>、ここでは制御方式上および試験上特に関係のあるもののみをあげる。

第1図は線路平面図で、路線距離 1,399 m 中、両端に犬山遊園、動物園両駅、中間に成田山駅がある。第2図は線路縦断面図で 97%、89% の急こう配を有している。これらの路線条件より次の2項を制御上の特殊条件としてあげることができる。

- (1) モノレールの特性上当然のことであるが、路線に急こう配を有し、こう配抵抗の変動が著しい。
- (2) 各駅のこう配、曲線などの条件がそれぞれ異なり、加えてゴムタイヤのため実効車輪径が複雑に変化するので定位置停車装置はこれらを補償するものでなくてはならない。

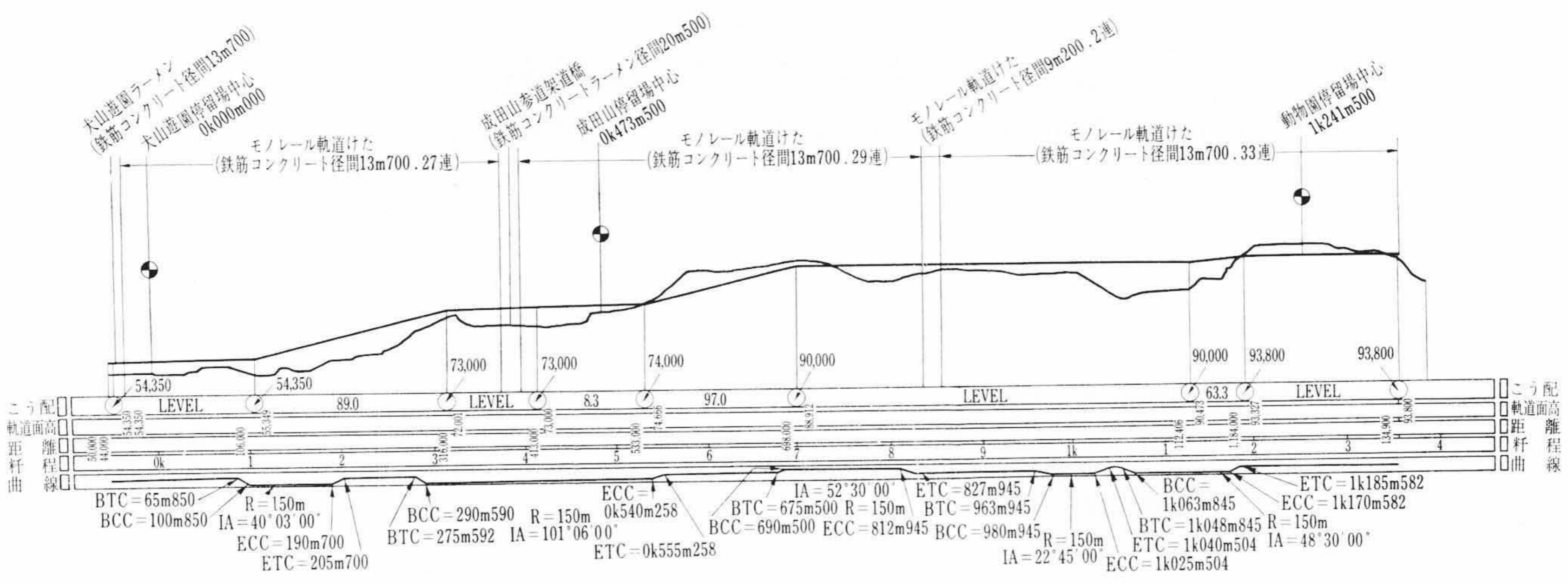
本モノレールに使用した車両の主要諸元を第1表に示す。

#### 2.2 ATS<sup>(5)(6)</sup>

本犬山モノレール路線は開業当初より、駅中間における過速防止および端末における過走防止用に自動列車停止装置 (ATS) を設けてある。本装置は ATO 装置と密接な関係があり、一部の機器は共用してあるので、ATO 実施の前提条件の一つとしてあらかじめ簡単な説明を加える。

ATS 装置の与える保安用の速度制限曲線は第3図および第4図に示すようなもので、端末駅においては、車上に制御速度関数を発生して過走防止をしている。これらの制限速度を越えたとき、列車には非常ブレーキが作用していったん停止し、確認を行なうまでゆるまない。以上の機能を行なわせるため、全線を  $T_0 \sim T_3$  の4区間に

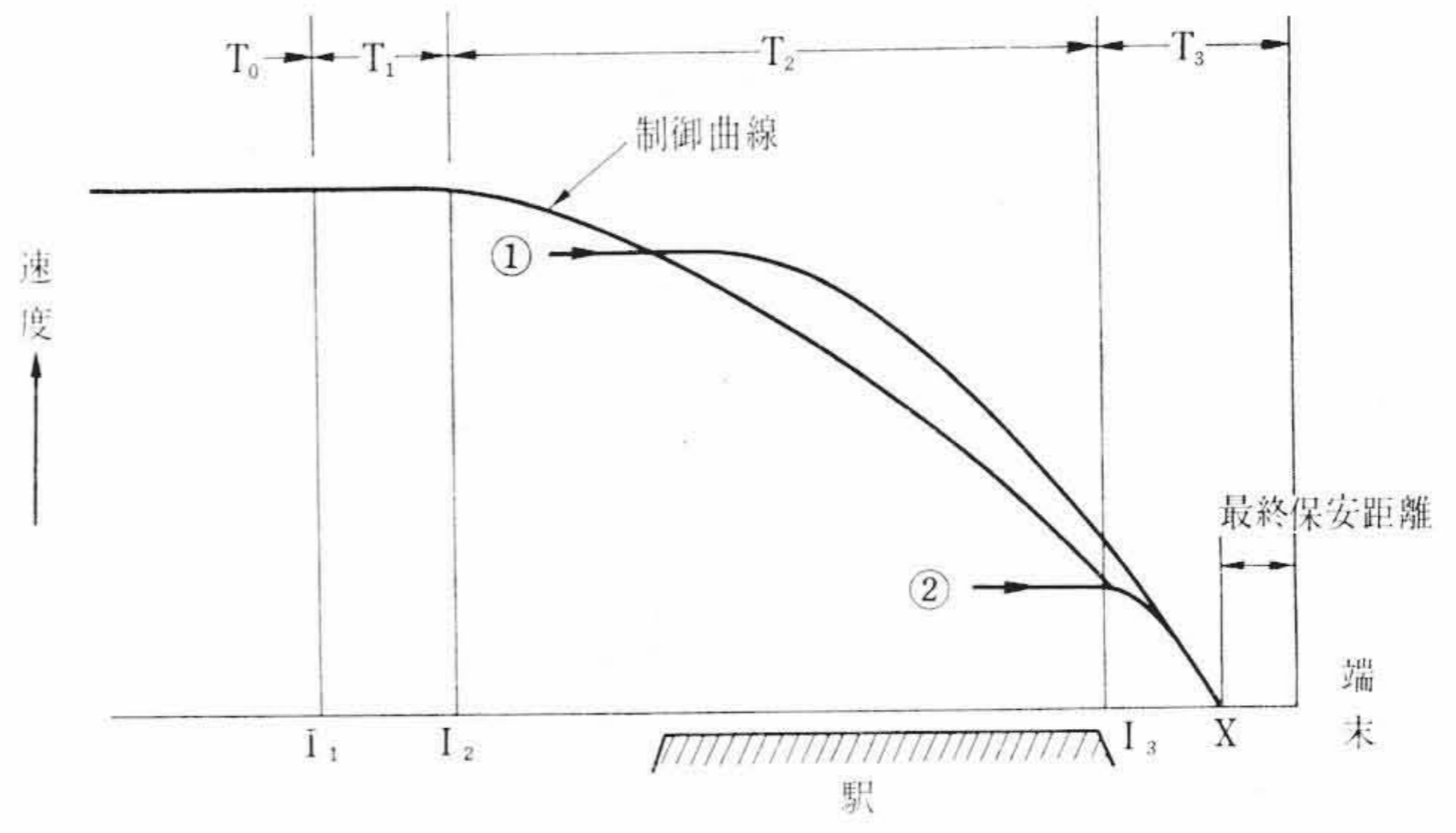
\* 日立製作所水戸工場



第2図 犬山ラインパークモノレール線線路断面図

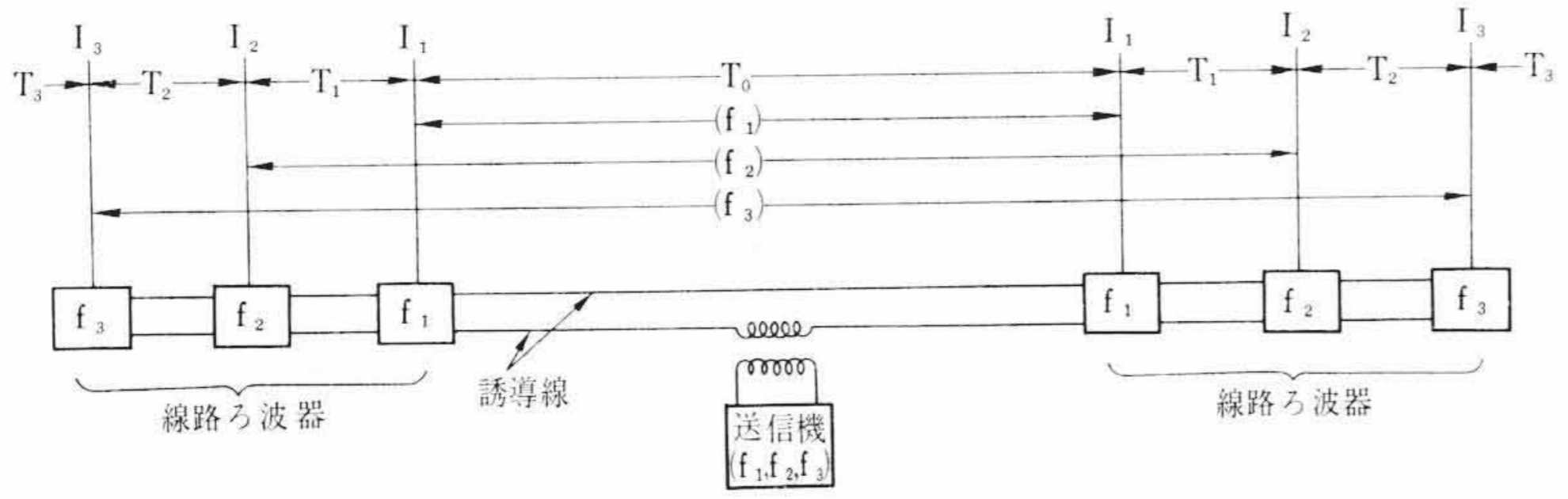
第1表 モノレールカー主要仕様

形式	日立-アルウェーグカー
基本編成	3両固定
定員	座席92人, 立席103人, 計195人
自重	39.3t
電気方式	1,500V 直流
最大外形寸法	長さ30.8m, 幅2.952m, 高さ4.3m
構造	構体: 軽合金溶接およびリベット締め組合せ構造 内張: アルミ化粧板
出入口側連結装置	片側6箇所, 内つり片引戸, 自動式 上段上昇, 下段固定式 両端: 自動密着中央緩衝連結器 中間: 連結棒
照明装置	40W 蛍光灯18灯
非常用脱出装置	自動緩降装置
換気装置	ファンデリヤ
放送装置	有
走り装置構造	鋼板溶接1軸台車
車輪	走行車輪 13.00-20-20 PR 案内および安定車輪 7.50-15-12 PR
駆動装置	3段減速直角カルダン方式
主電動機	1時間定格70kW, 340V, 232A, 1,600rpm, 22.4km/h, 4台/編成
制御装置	多段式間接制御電動カム軸式, 自動ノッチ進め方式, 電空併用ブレーキ, 抑速ブレーキ付
ブレーキ装置	電気ブレーキ, HSC-D形空気ブレーキ, パネブレーキ
集電装置	集電シュー方式
保安装置	非常用自動列車停止装置, 車体接地装置



第4図 ATS 制御曲線 (端末駅)

キよりなる常用ブレーキを制御して、各種の減速度を選択する。このように当然のことながら、制御指令の内容とその数においてATO装置の方が複雑になる。一方、保安用のATS装置はいわゆるfail-safeの原則に立ち、いかなる部分が故障しても出力指令になるようにシステム上留意されている。これに対してATO装置はそれが単独に用いられるときには事情が異なるが、犬山の場合のようにATS装置と併用する場合には、基本的にはfail-safeになるように信号を扱うことは当然であるが、系の多重化によってそれを実現するときには避け、むしろ回路の簡易化によって信頼度の向上を図るよう留意するのが正道である。以上のような装置としての本質的な相異と、ATO装置の定数を調整によって変更してもその影響がATSには表われないようにするため、基本的には双方の装置を独立に製作し、一部のもののみ共用することにとどめた。

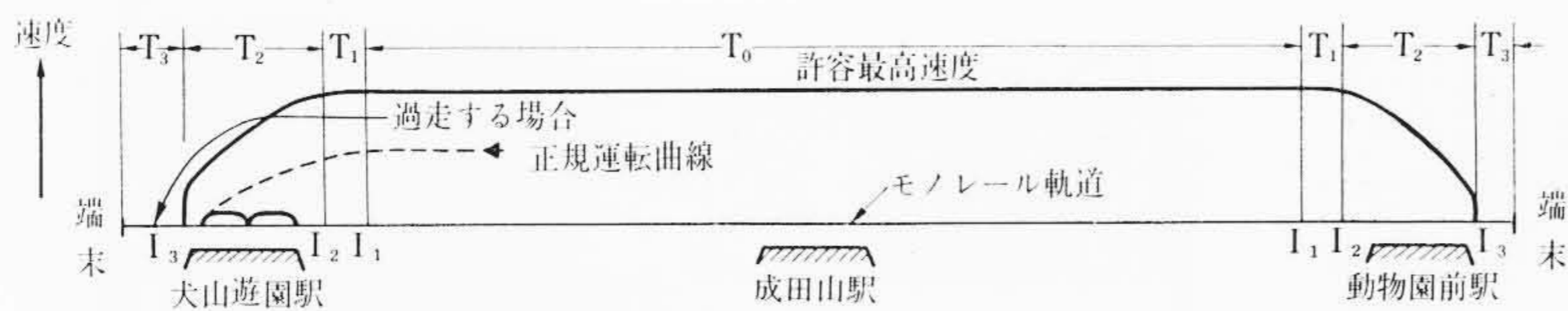


第3図 ATS 制御曲線 (全線)

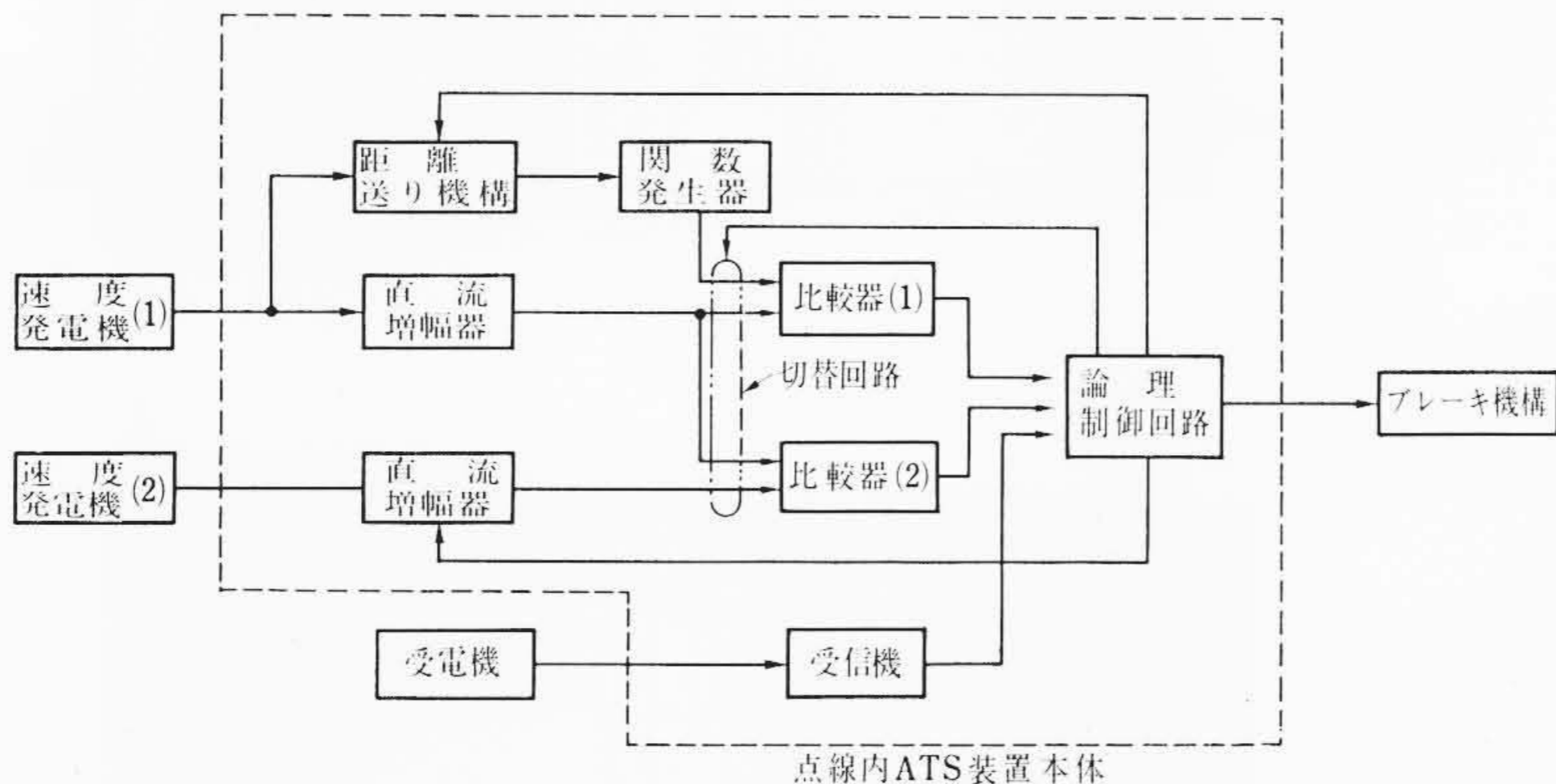
分割し、いずれの区間を列車が走行しているかは軌道けたの肩部分に埋めこまれた誘導回路を通して与えられる連続誘導信号によって識別している。この地上設備は第5図に示すように構成されている。同様に車上装置は第6図に示すような構成をもっている。

ここでATS装置とATO装置との機能を比較し、それぞれの特徴を明らかにしておく。第一に車両制御器に対する指令において、ATS装置は非常ブレーキのON-OFFに限られている。これに反して、ATO装置は力行指令および抑速ブレーキのON-OFFの制御を行ない、さらに定位置停車を行なう際、電気および空気ブレー

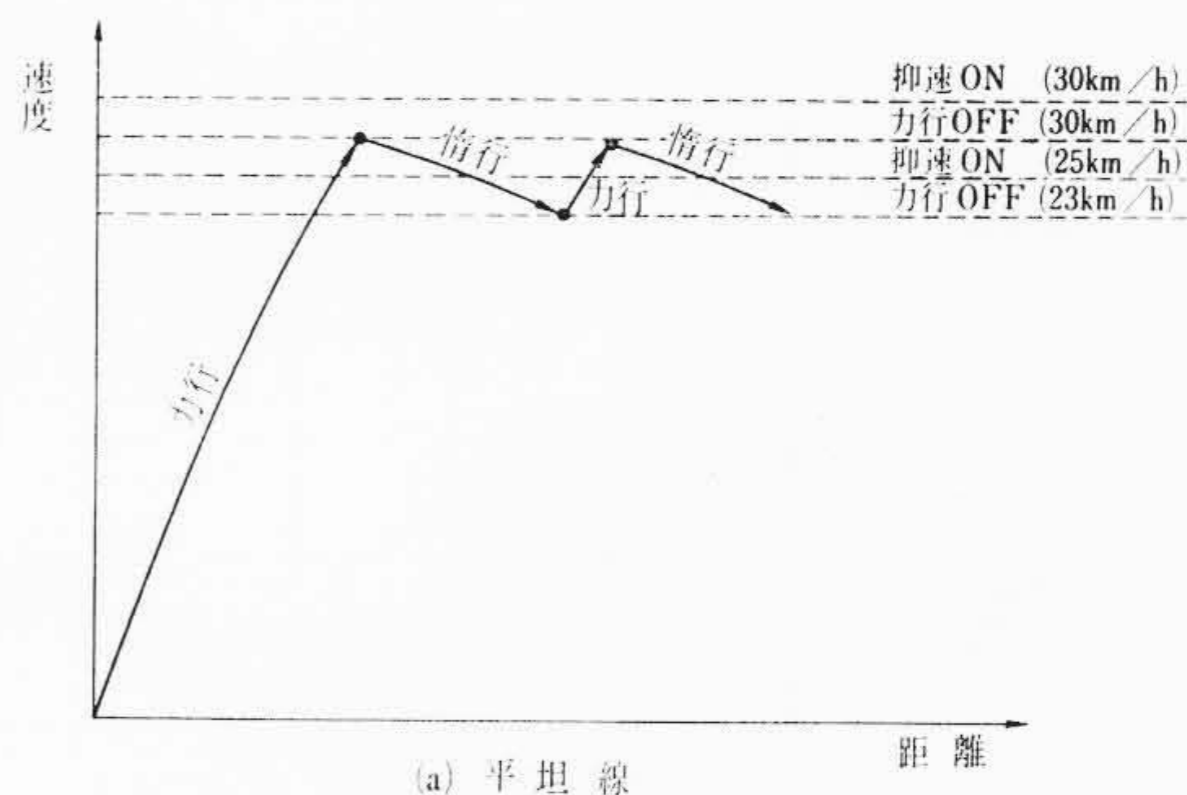
3. 制御方式  
3.1 駅間走行  
発車押ボタンを押して列車が発車してから次の駅で定位置停車動作を行なうまでの駅間走行方式として、前述のように簡易な速度バンド方式を採用した。この速度バンド方式はATO本体内に設定された全区間におたって一定の四つの速度レベルと車速とを比較して、力行、抑速、惰行の3指令を出し、列車を一定速度バンド内に保って自動運転を行なうものである。この速度レベルは力行ONレベル23km/h、抑速OFFレベル25km/h、力行OFFレベル30km/h、抑速ONレベル32km/hの4種類で第7図のように設定されている。列車発車時には発車指令により力行指令が与えられ力行OFFレベルに達するまで加速する。それを越えると列車



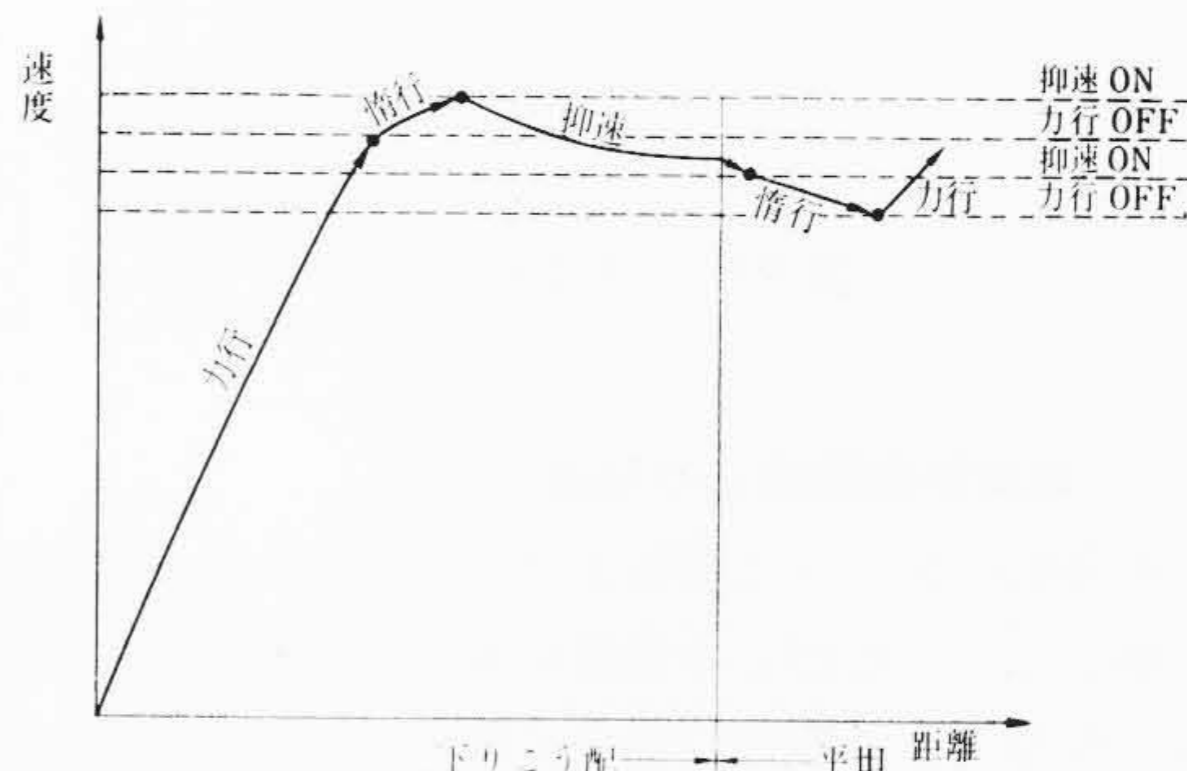
第5図 ATS 地上装置の構成



第6図 ATS 車上装置の構成

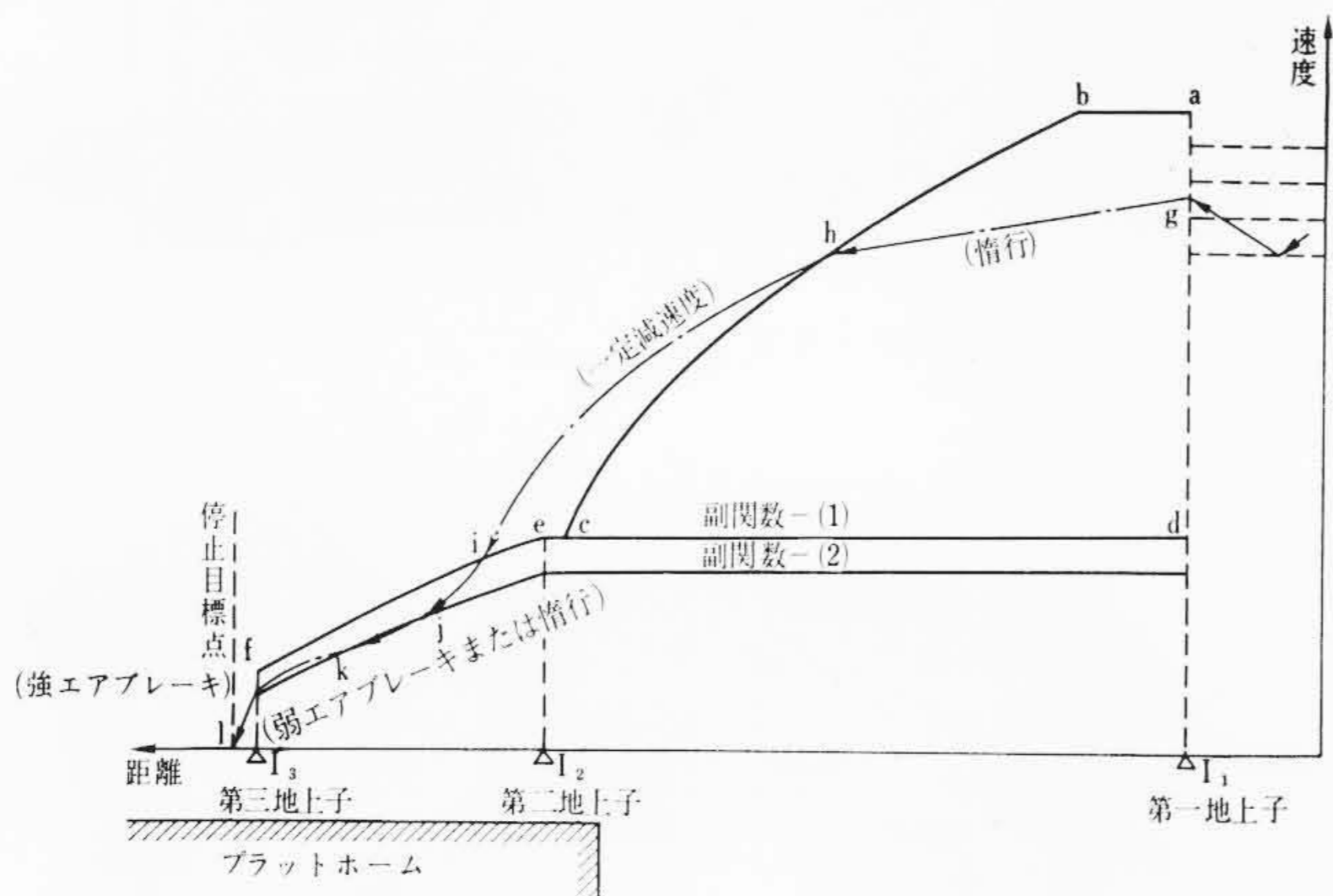


(a) 平坦線



(b) 下りこう配線

第7図 速度バンド走行説明図



第8図 定位置停車説明図

は惰行するので平坦線あるいは登りこう配区間では車速は次第に低下し、終わりには力行 ON レベルまで減速する。すると再び力行指令が出て列車は再力行、加速し力行 OFF レベルを越えると再び惰行する。その後、このサイクルを続けて力行 ON と力行 OFF の速度バンド内で走行する。一方、下りこう配区間に列車がある場合は第7図(b)のように、力行 OFF にしてもなお列車が加速する。抑速レベルに列車が達すると、抑速ブレーキ指令が出て、下りこう配区間中はこう配と抑速制動力で定まる一定速度で走行し、こう配区間を過ぎると減速して抑速レベルで惰行となる。このようにして ATO 装置に設定された速度バンドに従って制限速度を侵すことなく駅間を走行する。

3.2 定位置停車\*

速度バンド方式により列車が駅間を走行し停車駅へ近づくと一定地点に設置された地上子を車上で検知して定位置停車の準備態勢にはいる。第8図はその様子を示した説明図である。図において右方より速度バンドに従い列車が停車駅に向かって走行して来るが、第一地上子を列車が通過すると ATO 装置では a-b-c のような主関数(電気ブレーキ開始曲線)を発生する。一方、列車が第一地上子を通ると g-h のように列車は惰行状態で進行する。h 点で主関数に当たると以後一定減速度 (4 km/h/s 程度) で制御され、10 km/h 近

\* 特許出願中

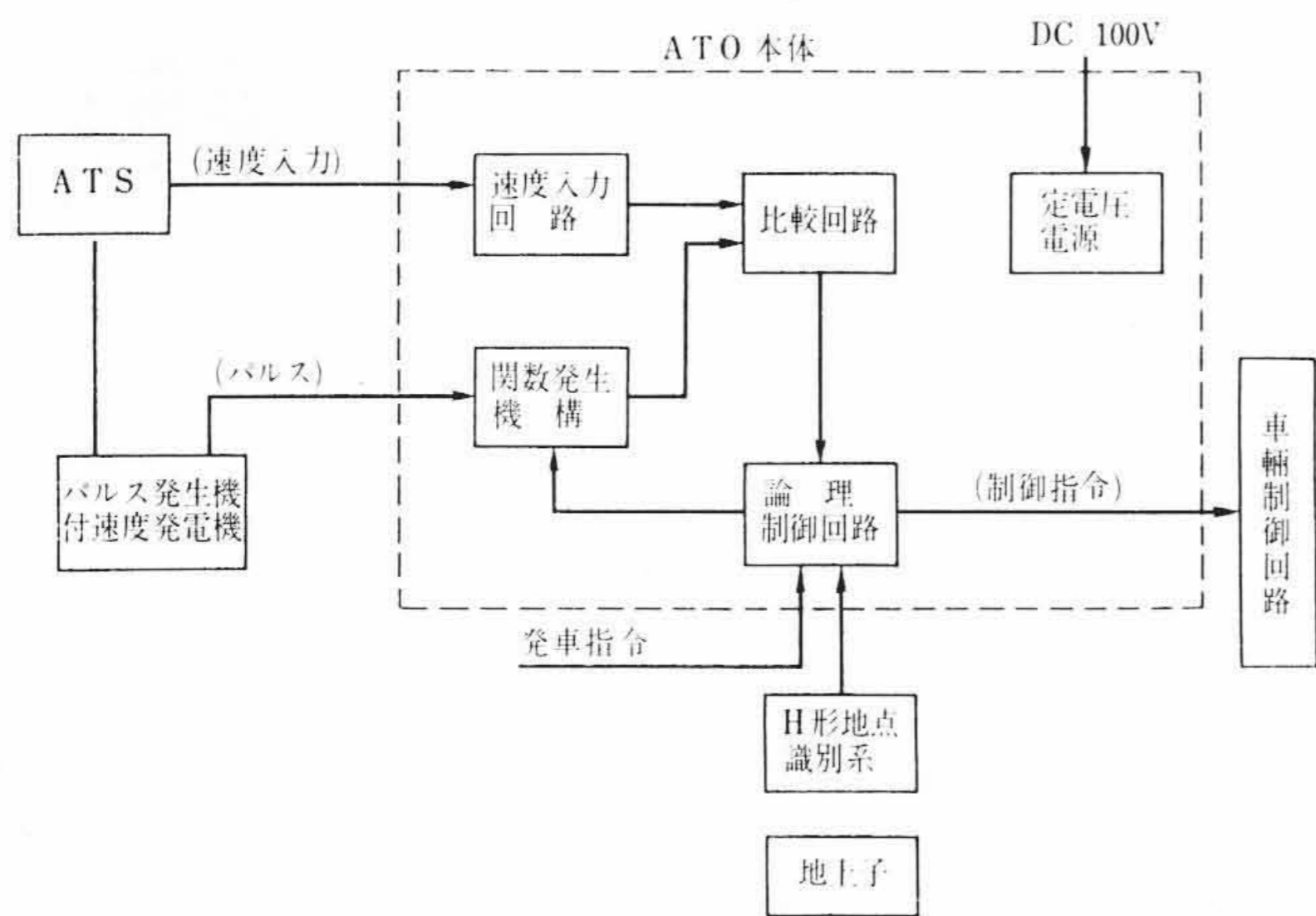
辺まで減速する。その間に列車は第二地上子を通り、d-c-e-f の副関数(1)を発生している。これに i 点で列車が当たると電気ブレーキ回路は切れ、以後ブレーキ力の弱められたエアブレーキのオン、オフにより副関数(2)に追従して、列車は第三地上子の f 点に至り、ここで再びブレーキ力は強められ、停止目標点に停止する。

以上説明した本定位置停車方式の特長は次のような諸点にある。第一に、ある定められたブレーキ力による制御を実施し、しかも制御関数を主関数と副関数にわけて発生したことにより、それぞれの関数発生点を各駅のこう配条件にあわせて変化して、モノレール路線特有のこう配条件の変動を補償している点をあげることができる。

またこの二関数を有することは直径の変動する車軸回転から距離を検出する車上パターン式でありながら、それによる誤差を少なくするように、展開距離の短い副関数で実質的な停車精度を規整することになり、最終停止点直前の第三地上子で、さらに精度を保証する手段などを併用して、本方式を非常に実用性あるものにした。実際に本路線においては綿密な計算と試験から各駅のこう配条件に適した異なった地上子設定が行なわれている。

さらに本方式では荷重変化その他の外乱による列車の制御特性の変化を副関数を追従する際に補償する方式と見ることもでき、主関数に一致して以後の列車の軌跡にばらつきが生じて、副関数に追従することによりある程度の範囲に収束され、最後に第三地上子で収束されることになる。副関数を(1)、(2)にわけたのは主関数以後の高速側の制御に用いたブレーキを副関数(1)によりゆるめて、副関数(2)に対する追従をなめらかにするために行ったもので、収束効果をたかめることは現車試験によっても実証されている。

以上の説明で明らかのように車上装置においてはすべて信号がデジタル的に扱われ、なんらアナログ的な演算回路を有しないことも大きな特長で、地上子から車上に与える情報が各駅3点のみで良いということとあいまってシステムの簡易化に役だっている。さらに諸定数を一回設定すればその変更を要しない点も本方式の大きな特長といえることができる。



第9図 ATO装置の構成

3.3 車両制御回路との関連

自動運転にあたって運転士は発車押ボタンを扱う以外に特別の操作を要しない。ただし本装置においては乗務員による手動ブレーキ指令が最優先され非常の場合に備えている。停電などの理由で駅間で手動により停車させた時はいったん切換スイッチによりATOを切り放して停車させる。再力行する際には通常の発車取扱いによれば再度ATO運転に復帰する。

なお空気ブレーキ系には、複式逆上昇、減圧弁などが追加され、ブレーキ弁扱いとは別に自動運転による制御が行なわれるようになっている。

4. ATO装置の構成

4.1 構成

車上装置は第9図に示すように構成されている。これを大別すれば列車の走行速度および距離の検出端となるパルス発生部つき速度発電機、制御地点信号発生用に特にモノレール用として開発されたH形地点識別系、基準値と車速とを比較して車両制御器に制御指令を発生するATO本体、およびATO指令に基づき列車を制御する車両制御回路にわかれる。

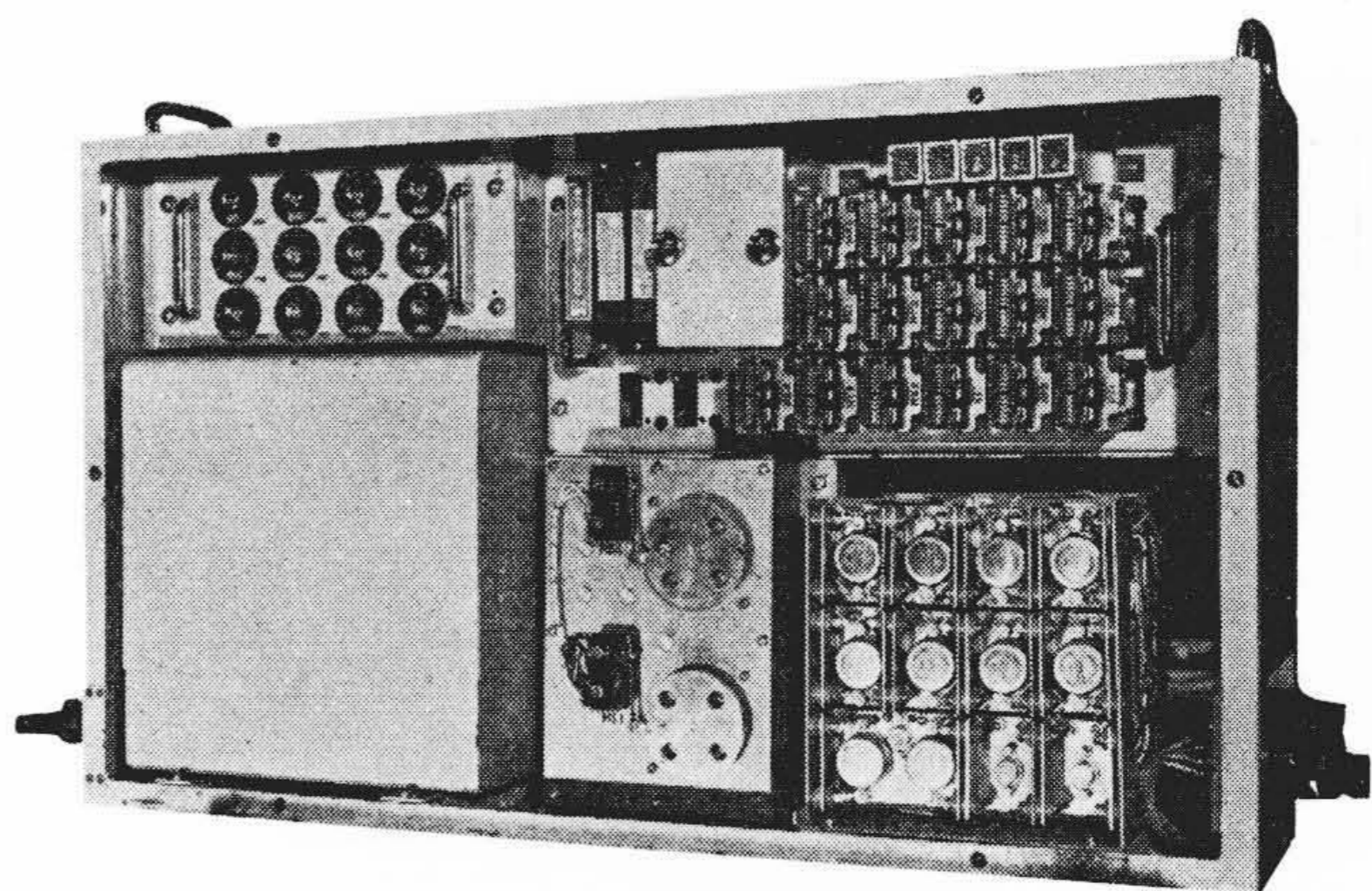
4.2 ATO装置本体

ATO装置本体はATO制御系の主要部分をなすものであるが、これらは速度発電機出力を整流増幅する速度入力回路部分、関数発生機出力としての定位置停車用、および駅間走行用の速度基準値部分、両者の比較部分、リレー回路よりなる論理制御回路、および定電圧電源などである。第10図および第11図にATO本体正面および裏面を示す。

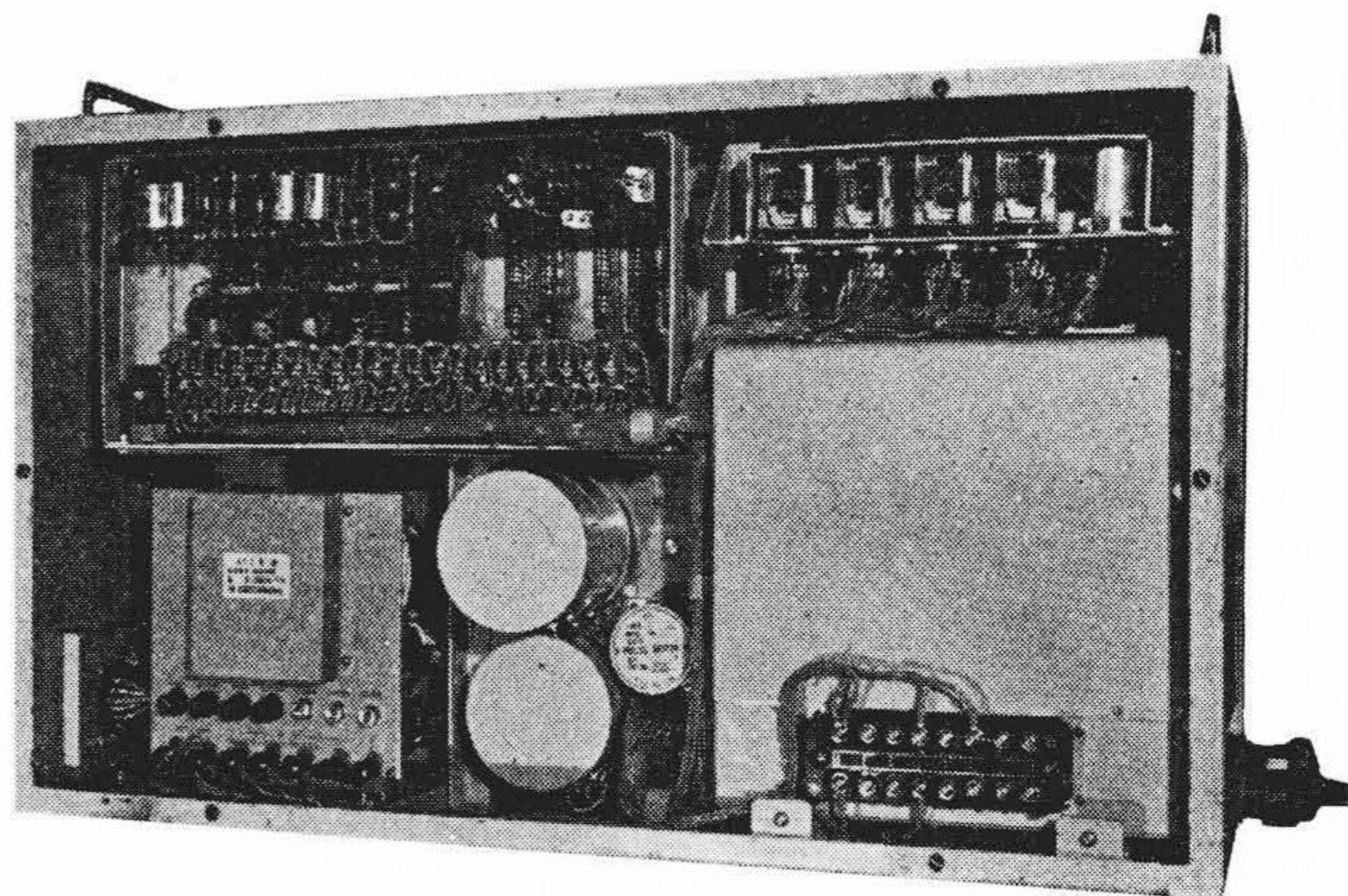
ATO装置はシーケンシャルな定値制御方式をとっているから、基準値と実車速を比較する比較系が制御機能の中心となる。このため比較器にはすでにATSにおいて実績のあるトランジスタ化論理要素トランジログを用いた。また論理制御回路は機能上から大別して、駅間走行用指令回路、地上子計数回路、関数発生機駆動回路、定位置停車用指令回路、その他の付属回路にわかれ、高信頼度継電器ワイヤスプリングリレーを基本として構成されている。このように本装置の器具的設計にあたっては十分な稼働実績を有するATS装置の経験を基にして信頼度の高い実用機として設計し、共通部品を多く使用するなど保守上の便を図っている。

4.3 H形地点識別系

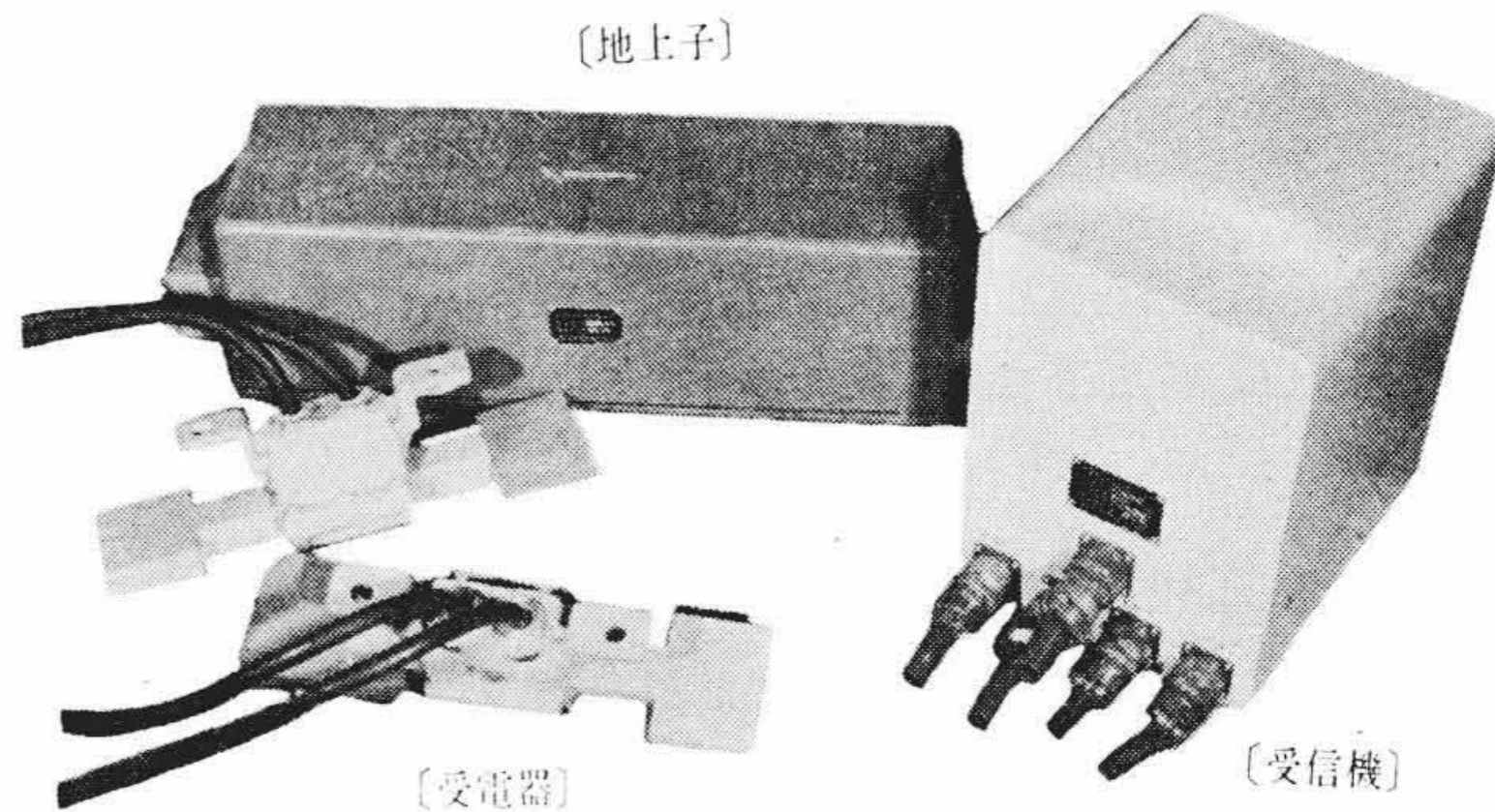
従来、軌道上の特定地点通過を車上において検知する方法として、C形、S形などと呼ばれている方式(名古屋地下鉄の地上プログラム式ATOの場合に用いられたものもこの方式に属する。)PM形と呼ばれる方式、および非常に短い高周波軌道回路をもってする



第10図 ATO本体正面



第11図 ATO本体裏面



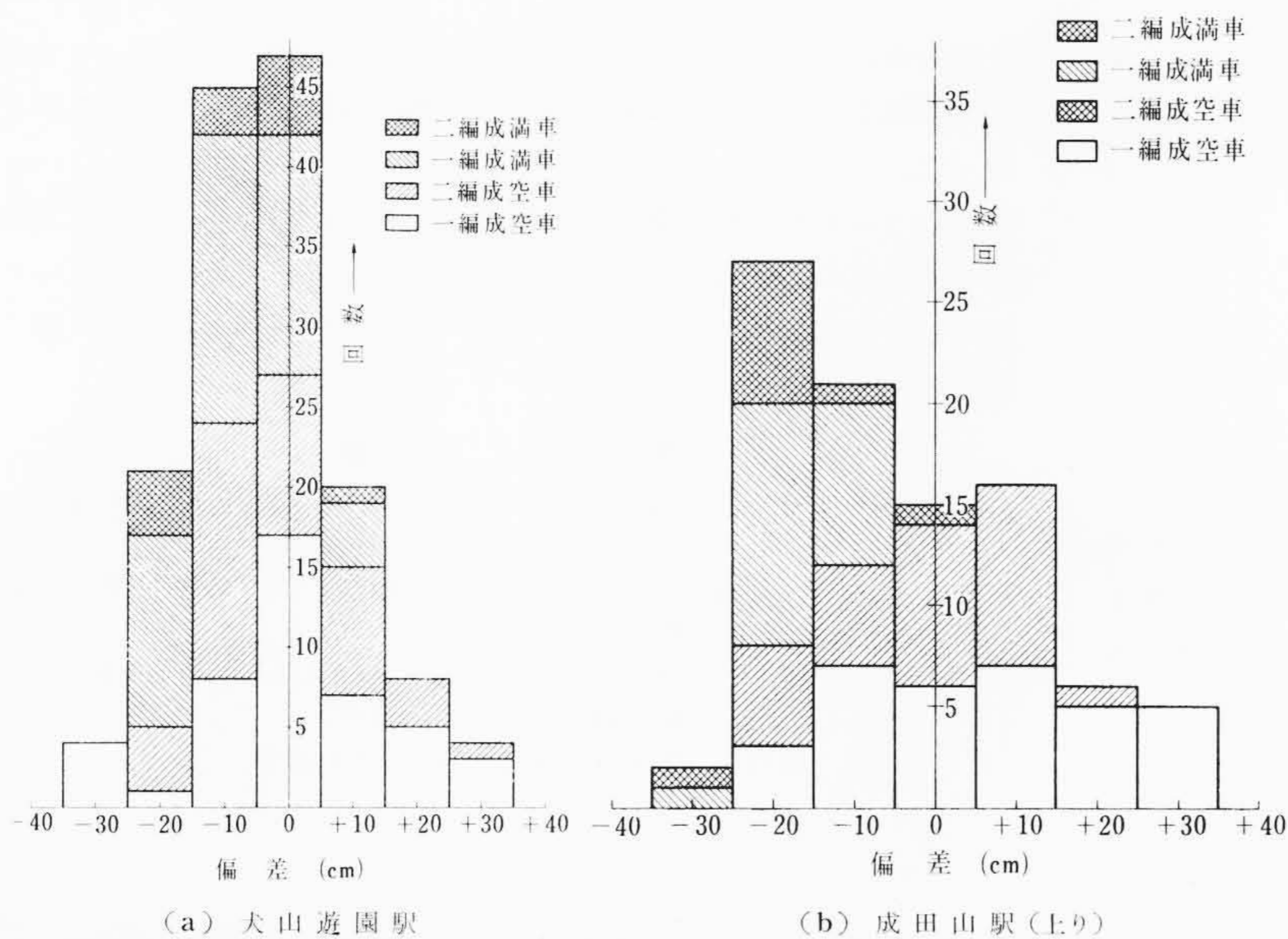
第12図 H形受信系

方式などがある。これらの方式はそれぞれ特長を有しておりかつ多くの実績をも有している方式であるが、一般車両用として設計されているため、モノレール用としては種々の不具合点がある。

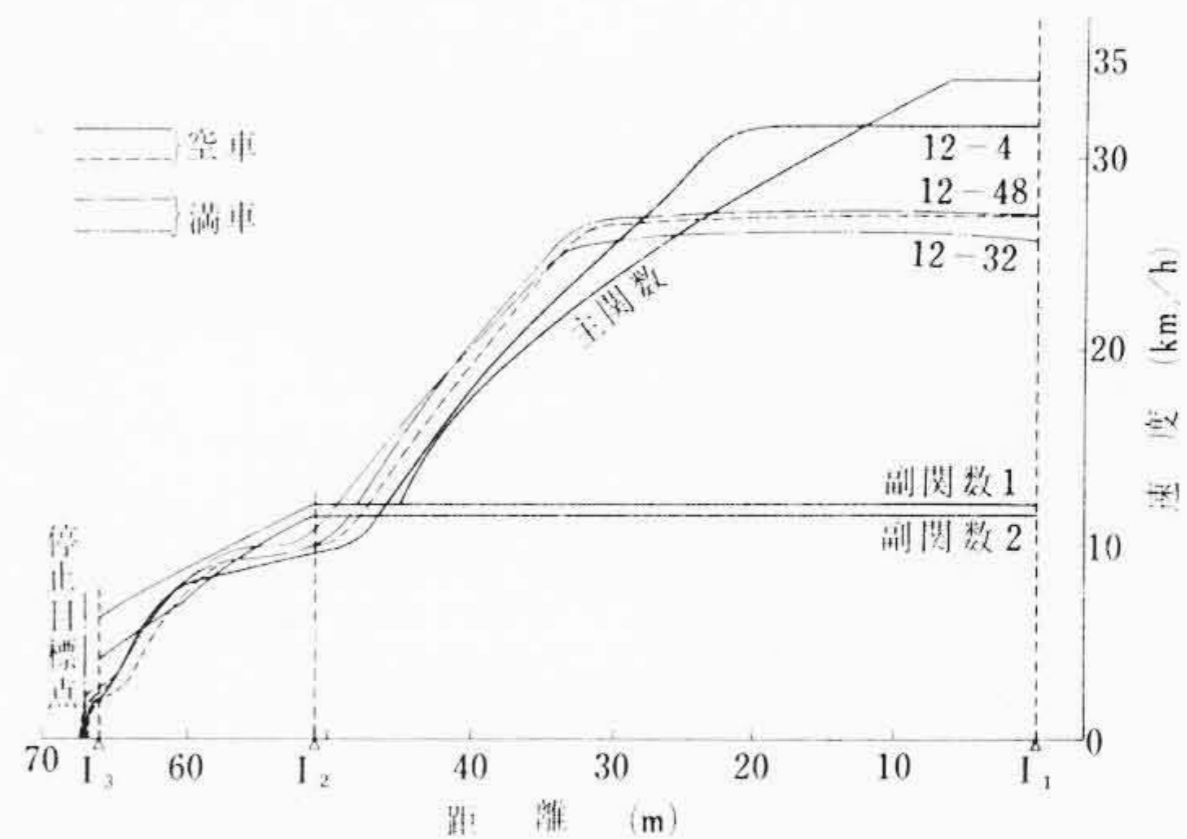
本ATOに用いたH形地点識別系は特にモノレール用地点識別系として開発されたもので、地上子にはPM形と同じく永久磁石を用いて地上設備の簡易化を図り、車上子にホール発電器を用いて検出回路を構成したものである。(H形とはホール発電器の頭文字より名づけた呼名である。)本方式は犬山ATOの成功によりさらに関東レースモノレールの端末保安装置に用いられるなど、モノレール用としての標準方式となった。第12図にH形受信系一組を示す。

5. 現車試験結果

本犬山ラインパークモノレール線は定位置停車にとってかなり過酷な条件を備えており、駅直前が97%、あるいは63.3%程度の急こう配で、中間駅の成田山駅では駅区間が8.3%の急こう配を持っている。したがって平坦線で列車を制御する場合に比べ問題がある。具体的には1編成走行の場合と2編成で走行する場合とで急こう配



第13図 定位置停車精度



第14図 定位置停車制御特性 (現車試験結果)

離前で列車を惰行とし、以後制動曲線と車速を比較しながら一定減速度で制御するが、駅直前で急な上りこう配の駅と下りこう配の駅とが存在し、それを考慮した地上子位置の設定を行なはねばならない。そのほかモノレール車両の動特性および路線条件の十分なる解析により諸定数を決定し現車試験を実施したが、その結果1編成による走行、2編成重連しての走行、それぞれにおいて空車、満車の各条件で満足すべき結果を得た。以下その結果を定位置停車および駅間走行に分けて説明する。

5.1 定位置停車

定位置停車精度を第13図に各駅別にヒストグラムで示した。これらの結果よりわかるように各条件をすべて含んでその精度は±30cm以内であり、本モノレール路線における駅の特異構造と考えられる停止点におかれた柵を考えると、十分実用できる程度の高精度である。また、空車、満車間の差は成田山駅(上り)において多少出ているが、ほかの駅においてはほとんどわからない程度であり、1編成時と、2編成重連時の差は各駅ともないと考えてよく、これらの条件は副関数の追従時に十分補償されていると見ることができよう。第14図は代表的定位置停車制御特性である。

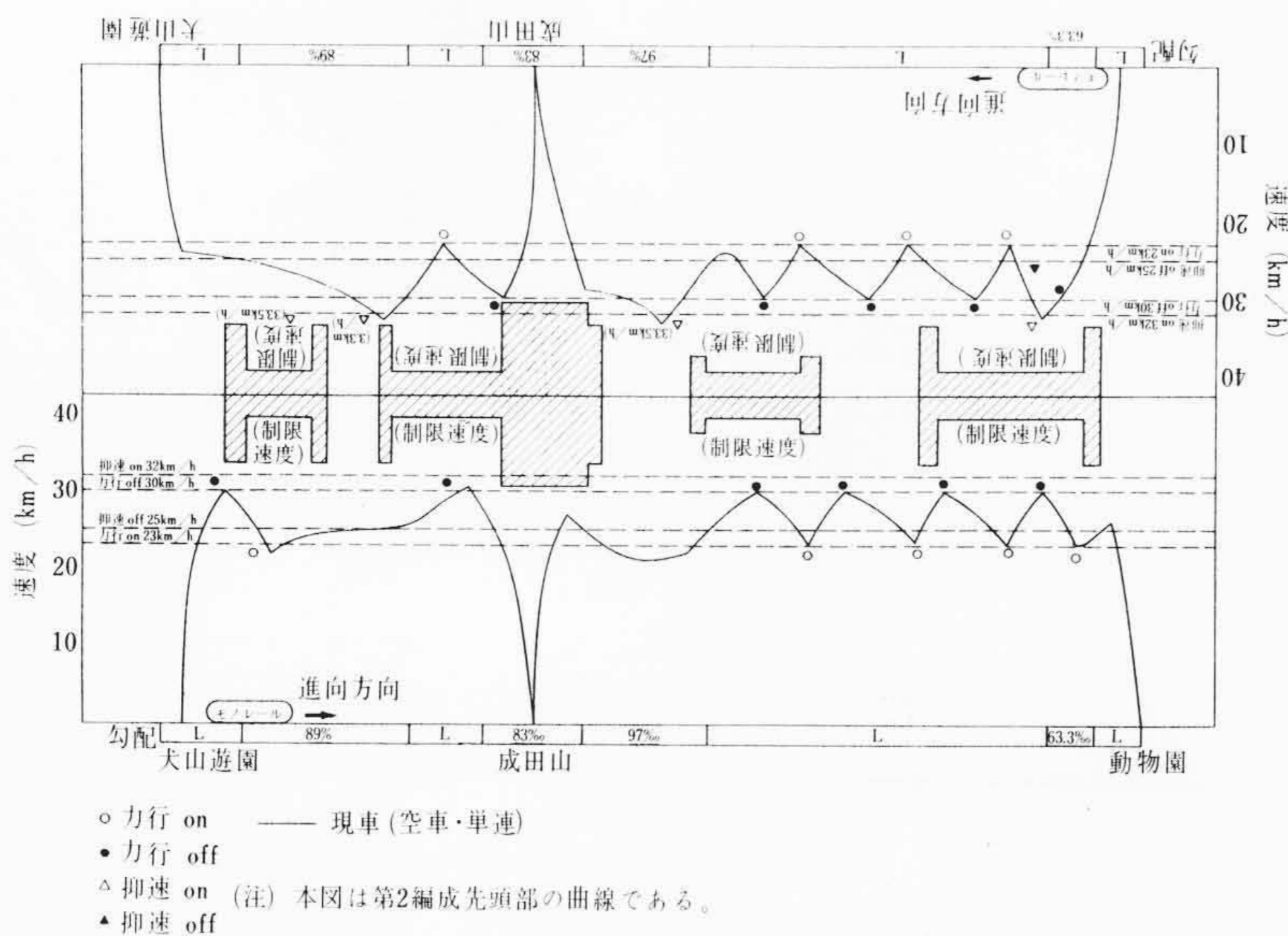
5.2 駅間走行

第15図に駅間走行の運転曲線、第2表に所要運転時分を示した。この運転時分において動物園→成田山の折り返し点で1編成時と2編成重連時で所要時間に差が出ているがこれは常に列車の後尾をそろえて停車するため、1編成長だけ列車がずれることによる。

6. 結 言

犬山モノレールの自動運転は、現在までに積み重ねられたATC, ATOの技術と、ATSによるモノレールの制御の経験をもとに速度バンド方式を主体としたシーケンシャルな制御方式により実施された。

本方式はあくまでも営業運転使用を前提としてATSと同程度の機構の簡易な方式によったもので、しかも、モノレールという、列車特性上から



第15図 駅間走行曲線

に列車のかかる度合が異なるので同一の制御方法で定位置停車を行なうためには種々の検討を要する。また本方式では停止点の一定距

みると通常の車両よりも不確定、かつ変動する要素を含んだものを制御するに適した方式として設計したものである。その結果、単車、

第2表 ATO 運転時の所要時分

	上り		下り	
	動物園→成田山	成田山→犬山遊園	犬山遊園→成田山	成田山→動物園
手動運転	1'50"	1'20"	1'30"	2'00"
空車1編成	1'51"	1'16"	1'14"	2'02"
空車2編成	1'57"	1'16"	1'19"	2'01"
満車1編成	1'51"	1'18"	1'18"	2'05"
満車2編成	1'58"	1'17"	1'25"	2'08"

重連、満車、空車の各条件で±30 cm以内という定位置停車精度を得たほか、モノレール用制御器の開発を図り、モノレールの自動運転方式を確立することができた。モノレールは踏切がないので地下鉄と並んで最も自動運転を実施しやすいものと考えられており、本自動運転計画の成功はすでに営業運転を実施した名古屋の地下鉄の場合とならんで非常に重要な意義を持つものとする。

本装置はさる5月27日に行なわれた運輸省の監査においても良好な性能を示し、ここにわが国初の本格的営業運転開始のはこびとなった。

終わりにあたり終始懇切なご指導、ごべんたつを賜った名古屋鉄道株式会社の関係各位、および装置製作に種々のご協力いただいた日本信号株式会社、日本エアブレーキ株式会社の関係各位に厚く感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 和田, 飛永, 湯浅, 竹村, ほか: 日立評論別冊 39, 67 (昭36-3)
- (2) 竹村, 刈谷, 和田, 飛永: 日立評論別冊 40, 99, (昭36-4)
- (3) 竹村: 電子工業 11, (昭37-8)
- (4) 犬山モノレール特集: 日立評論 44, 1251 (昭37-8)
- (5) 刈谷: 日立評論 44, 1263 (昭37-8)
- (6) 福岡, 高岡: 電気学会東京支部大会予稿集 (昭37- )



特許の紹介



特許第419949号

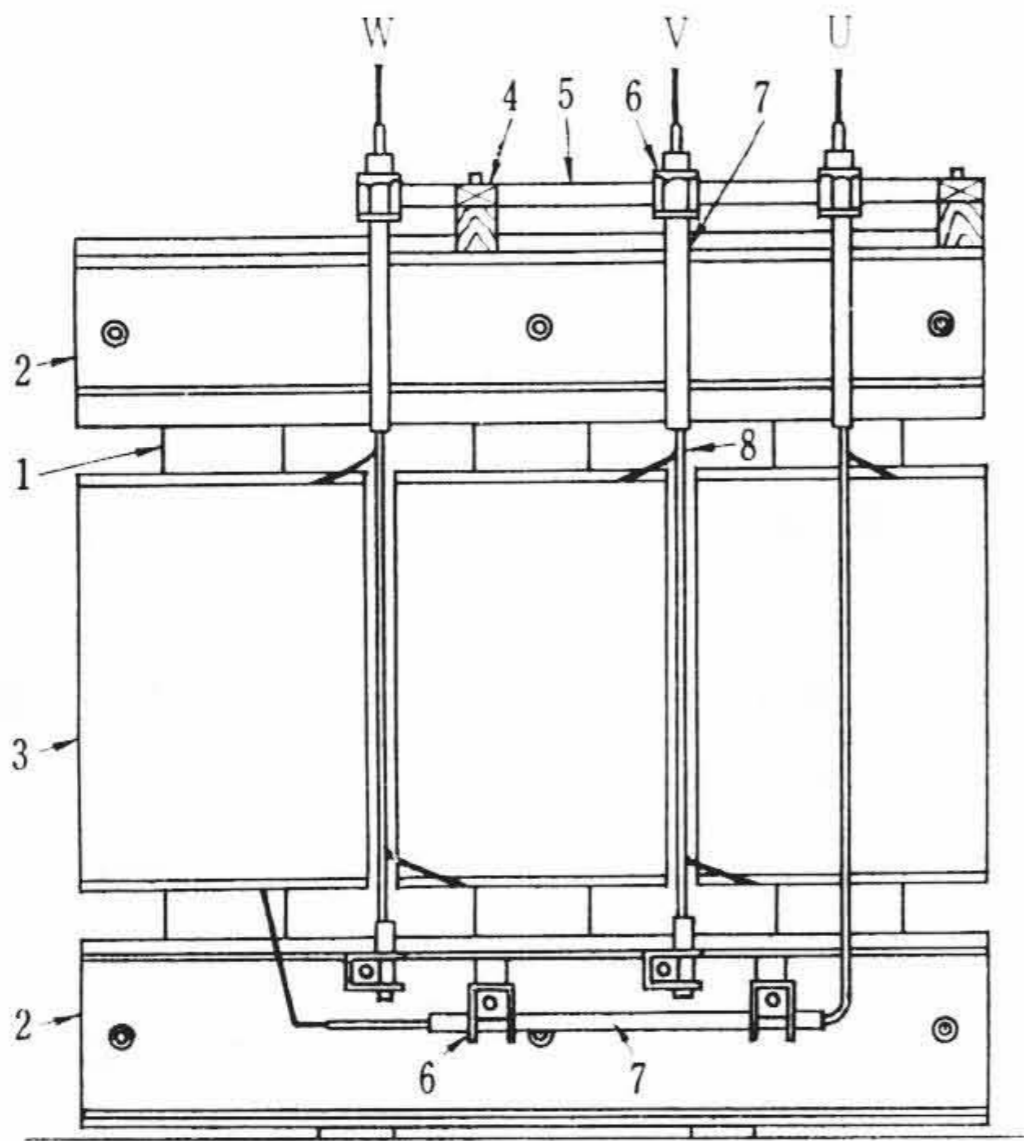
沢幡寅治

変圧器におけるリード線支持装置

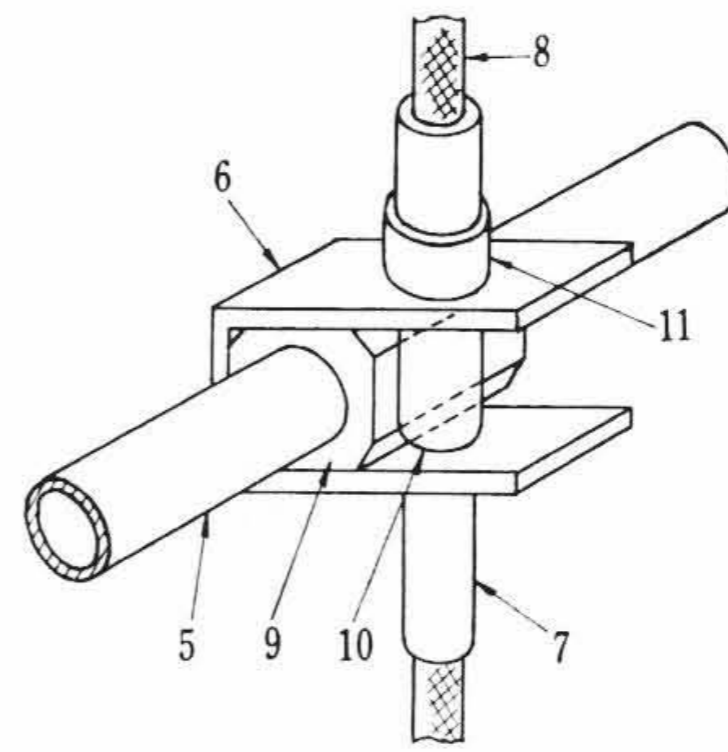
一般に変圧器巻線の各相間接続ならびに外部端子へのリード線は、鉄心締付金具に取付けた絶木に絶縁管を介して支持される。この種の絶木は相当の強度を要求されるため、一般にはアマニ油を含浸した桜材などが用いられているが、変圧器容量の増大に伴い長大形の絶木が要求されるため、要望の材質を入手することが困難になっている。しかも、超高圧変圧器においては、リード線支持部の絶縁耐力もさらに強化せねばならず、従来の絶木ではその目的を達成し難い状態に至っている。

この発明は、前述の点にかんがみてなされたもので絶木の代わりにファイバー、クラフト紙あるいはクラフト紙、プレスボードのごとき絶縁管などを使用するようにしたもので、第1図のように変圧器鉄心1の締付金具2に設けた絶木台4上に、ファイバー、プレスボードなどの適当な材質の長大な絶縁管5を支持し、この絶縁管5と直角方向に係合したU字状絶縁物6の開方端で、変圧器巻線3より引出されるリード線8を支持させたものである。すなわち、U、V、W相の各リード線8は第2図のように、絶縁管5に動き止めのためかん合する角形鋸9部分に配置したU字状絶縁物6に孔10を設け、この孔10に落下防止用の鋸部11を設けてかん合した絶縁管7部分よりそれぞれ貫通案内し、支持させるようにしたものである。

この発明によれば、リード線8はU字状絶縁物6に設けた絶縁管7を貫通案内するだけで支持できるから、取付作業が簡単になり作業工数の低減を図り得るとともに、絶縁強度をいっそう増大することができる。(白土)



第1図



第2図