

## 東海道新幹線の列車制御方式と将来の自動 運転方式の研究について\*

吉 村 寛\*\* 篠 原 泰\*\*\*

鉄道輸送の特色は客貨ともに大量の輸送ができるという点であろう。この輸送を全うするための必要欠くべからざる要素は

- (1) 安全の保持
- (2) 正確の維持
- (3) 迅速の要求
- (4) 快的なサービスの提供

につきると思われる。

したがって、この鉄道輸送の主要な部門である列車の運転は、またこの四要素をかねそなえたものでなければならない。この中でも特に(1)の安全性については、今後の運転が高速を要求され、またさらに広い意味における高能率性を発揮するための基盤としての安全性の確保には、さらにさらに努力しなければならない。その意味において後述する自動制御装置といい、自動運転といい、この四要素を十分満足しうる設備でなければならないのは、いうまでもないことと考えられる。

列車の運転乗務員(たとえば運転士、機関士など)と地上または車上の設備との関連について、現状および将来の姿を進歩して行く順についてならべて書いてみると、概念的には第1表のごとくなる。

ただ自動列車運転装置(ATO)を例にとってみても加速制御、ブレーキ制御を自動化する場合、定時運転をすることを立前とすれば、たとえば客扱いで出発をおくれても到着時刻はなるたけ定時になるような、いわゆる回復運転の機能を、このATOに持たせるか、持たせないかによって大いに設備内容が異なるのである。また自動運転を完全な乗務員なしの運転と考えるならば、前方に障害物があるかないか、その障害物が運転に支障のあるものであるか、または鳥のように運

転には差支えないものであるかの弁別をする障害物探知装置を備えて、制動と連動したものでなければならぬことになる。したがってATOといっても方式そのもののいろいろのやり方もあるが、またいろいろの機能の組み合わせもあることを念頭において頂きたい。あるいは、その中の一部は手動にした方が合理的である場合もあるであろう。

第1表 列車運転乗務員と設備との関連

項 目	運転条件を示す設備	運転士の作業内容	記 事
自動信号	地上信号機	前方地上信号機注視する。その現示により、加速、ブレーキともに手動	地上設備は列車により自動的に信号現示を変える
自動信号+車内警報	地上信号機および警報ベル	前方地上信号機注視および警報確認により加速、ブレーキともに手動	地上信号機の現示の見落としなどを防止するものである
自動列車停止装置(ATC)	上に同じ	上にほとんど同じ。ただし異状扱いの場合自動的にブレーキ	
自動列車制御装置(ATC)	車上信号	加速手動・ブレーキ自動(安全な範囲で手動)	危険な場合は全部自動的に安全措置を取る
自動列車運転装置(ATO)	車上信号	加速、ブレーキともに自動運転士は機器の監視	運転中の取り扱いほとんど自動化

国鉄の現状として、自動運転の研究が活発化してきて、各種の試験では成果をあげている。これらの成果の結果

1) 自動運転は中央制御方式が望ましい。その場合個々の列車の装置は簡単に、計算機構などは中央制御所に集中する方式を取りたい。

2) 直ぐ間に合う自動運転としては、ATCを拡大した方法がよいと思われるがその経済性、必要性などについて、なお検討すべき要素があると思われる。

3) 自動運転を完成させるためには、列車と指令所との間の情報交換の手段としての伝送方式、伝送回路、および結合方式について、新しい列車通信方式をさらに確立する必要がある。

などの議論があり、集中制御方式のシミュレーションなどを行なったが新幹線の当面の工事計画としては、

\* Train Control System on New Tokaido Line and Research on Automatic Train Operation in Future, by Hiroshi Yashimura (Electrical Construction Department New Tokaido Line Construction Bureau J.N.R.) and Hiroshi Shinohara (Automatic Laboratory, Railway Technical Research Institute, J.N.R.)

\*\* 日本国有鉄道新幹線局電氣部

\*\*\* 鉄道技術研究所自動制御研究室

保安上として問題のない ATC 方式を採用することとし、自動運転の研究は、さらにつこんでいくことにした。

以下、東海道新幹線で採用している ATC および列車集中制御装置 (CTC) につき御紹介して、さらに現状乃至将来の姿としての種々の ATO についてふれさせて預きたい。

### 1. 東海道新幹線の ATC および CTC

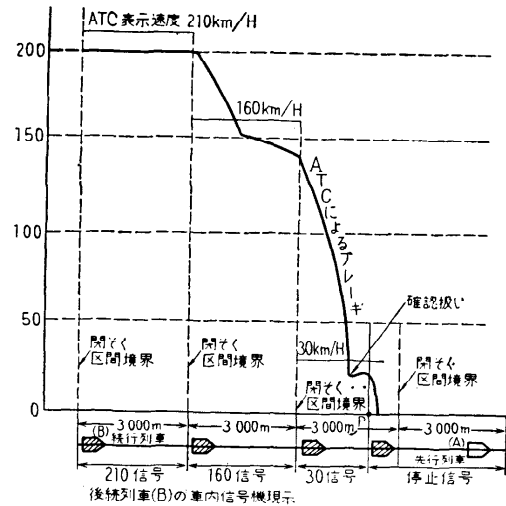
#### 1.1 ATC 装置

東京—大阪間 515 km を 3 時間で走るためには、最高時速 200 km/h、平均時速 170 km/h の高速で走らなければならない。このような高速では、ブレーキをかけて止るまでに約 3 km の距離があるので、地上の信号機を見ながら運転することは困難である。

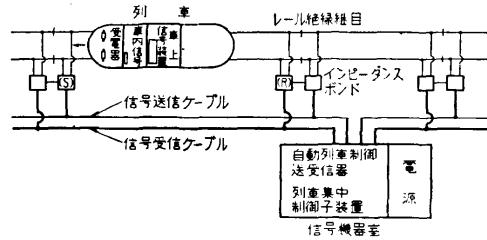
そこで新幹線で高速運転する場合は、信号を全部車内にとりつけ、進行 (青)、注意 (橙)、停止 (赤) という簡単なものでなく、第 2 表のごとく速度制御段階を 6 段階にしている。

前述したように列車の加速制御は車内の信号現示により運転士が行ない、ブレーキ制御は信号現示の速度以上になれば、ただちに自動的にブレーキが動作するものである。第 1 図は先行列車により続行列車の車内信号現示が制御されて ATC の減速するありさまを、横軸に距離、縦軸に速度をもって表わした運転曲線である。

これは先行列車 (A) が停止している場合、続行列車が先行列車に近づく場合の速度制御の関係を示したものである。列車を安全に運転するため、一定の線路区域の間には 1 個列車しか入れないよう運転する方式を取ることにした。この一定区域を閉そく区間と称しているが、この長さは駅中間においては 3 km を標



第 1 図 ATC による運転曲線 (停車場中間)



第 2 図 ATC 概要図

準としている。

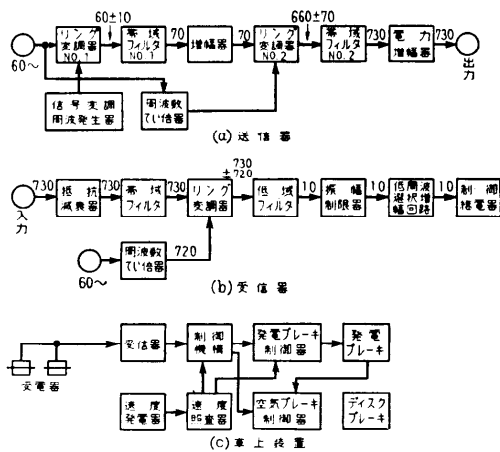
これらの信号現示は軌道回路を利用している。すなわち、第 2 図 ATC 概要図に示すように、信号電流が信号機器室からケーブルでインピーダンスポイントを経てレールに流され、そこを通過する列車は受電器によ

第 2 表 ATC の速度段および使用周波数

車内信号の信号現示	指示速度 [km/h]	信号制御変調周波数 [c/s]	搬送周波数	記 事
210 信号	210	10	上り線 { 720 c/s 900 c/s 下り線 { 840 c/s 1020 c/s	最高許容速度
160 信号	160	15		速度でい減または速度制限 (曲線)
110 信号	110	22		速度制限 (急曲線)
70 信号	70	29		速度制限 (分岐器および除行)
30 信号	確認扱により 30	36		最終速度段階
停止信号	0 <sub>1</sub>	P 点	上り線 840 c/s 下り線 900 c/s	停止
	0 <sub>2</sub>	無電流		運転指令の指示により無閉そく運転することができる。
	0 <sub>3</sub>	無変調		絶対停止

り車上に信号電流を受取り車内の信号を動作させ、またブレーキ機構を必要により動作させる。一方信号電流を送信する反対側のインピーダンスポンド(R)では、そのレール間に列車がいるため、車軸により短絡されて送信が流れなくなる。すなわち列車がいることにより電流ケーブルから信号機器室内のATC機器は電流となり、次の軌道回路を制御する。レールとレールの間には信号電流が他の区間に流れないように、レール絶縁が挿入されている。

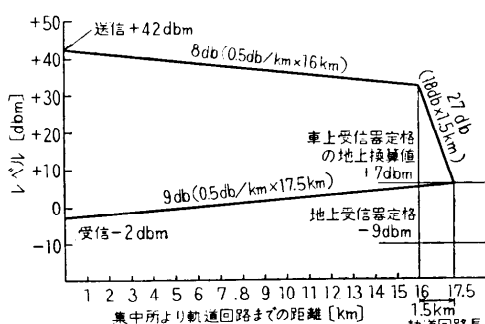
信号電流の周波数は第2表に書いてあるごとくAF(Audio Frequency)を用いている。第3図にATC



第3図 ATC装置のブロック図

の機器のブロックダイヤグラムを示す。電車電流が交流のため、この障害を防ぐため、SSB (Single Side Band)方式を取っているのが特徴である。これら機器を収容している信号機器室は東京—大阪間29カ所に集中し機器は、すべてトランジスタ化している。

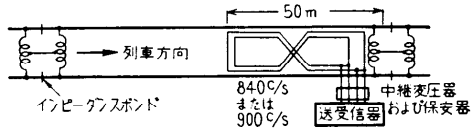
信号機器室—軌道回路—信号機器室間のレベルダイ



第4図 軌道回路レベルダイヤグラム (軌道回路漏れコンダクタンスは最大0.8 V/kmと想定)

ヤグラムは(1,020 c/s)の周波数の場合の最悪の条件下における例)第4図のごとくなる。

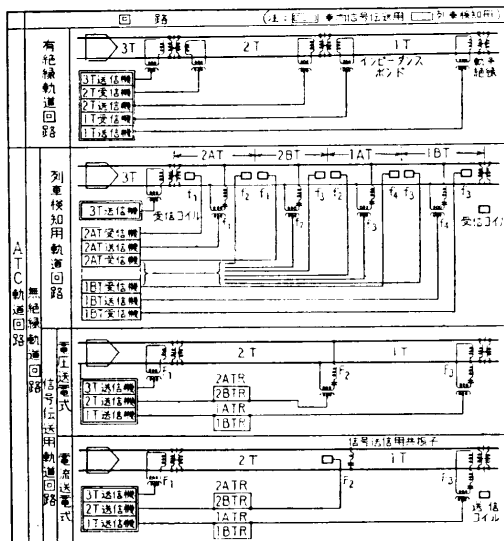
また駅構内に進入または進出する箇所(場内信条機あるいは出発信号機相当の箇所)の外方には第5図のごとく50mの長さの添線式軌道回路が設けられ、この区間には840 c/sあるいは900 c/sの信号波が送電され、列車はこの区間に入れば停止信号に変わり自動的に停止する。



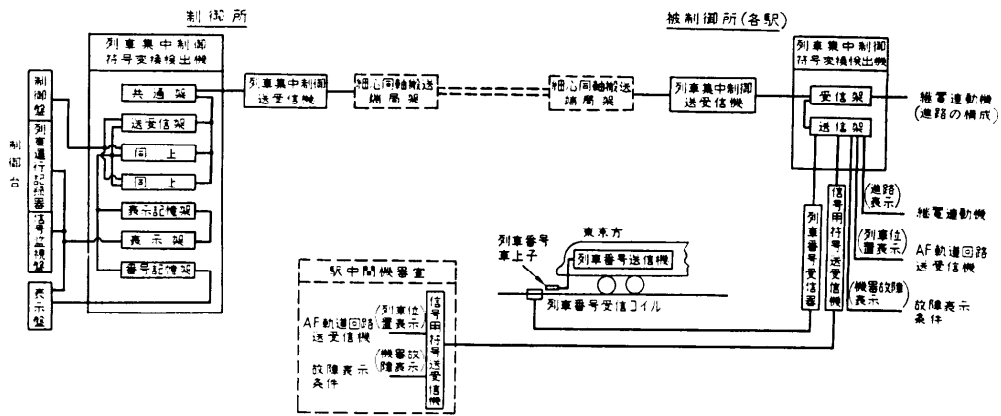
第5図 ATC絶対停止装置

新幹線においてはレールにロングレールが使用され、軌道回路の境界には絶縁を有する伸縮継目を設備することにより、有絶縁軌道回路を構成している。しかし、ロングレール区間でも線路の曲線半径が小さい場合(約2,000 m)以下には、伸縮継目の挿入が無理となるのでこの区間には無絶縁の軌道回路を設備することにした。なおレールの継目は高速度で走れるよう、乗心地のよいように斜めにレールを切っつないであるので車上の人には何処で継目を通過しているかわからない。

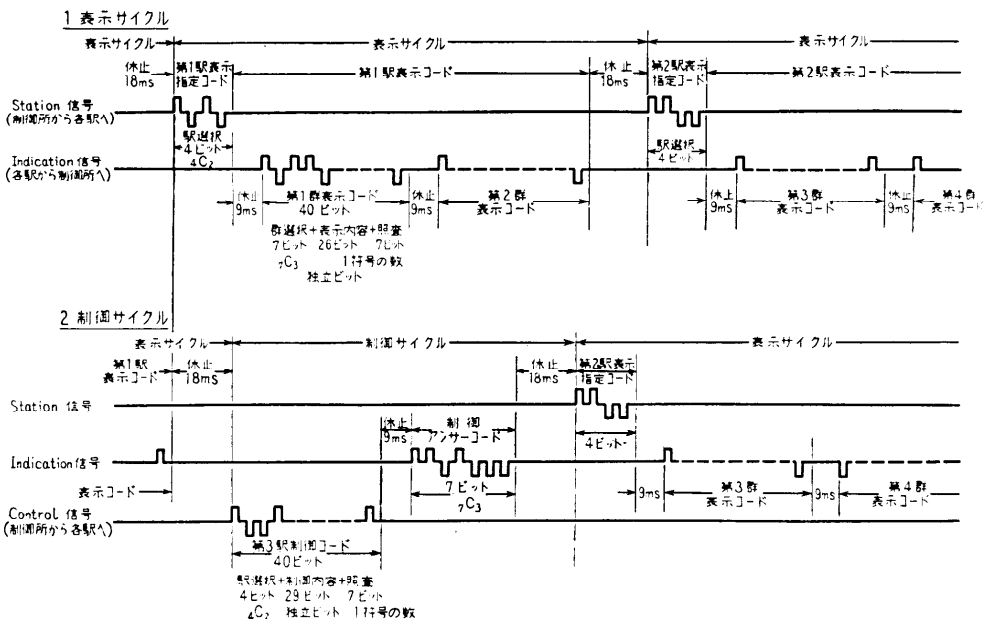
無絶縁の場合は列車検知用軌道回路を特に設ける。



第6図 有絶縁軌道回路方式と無絶縁軌道回路の比較図



第7図 CTC構成回路図



第8図 符号伝送タイムチャート

列車がこれにより検知されると信号伝送用軌道回路から車内に信号を伝える方式となっている。列車検知用軌道回路は 2.4 kc~6 kc の軌道回路で、中央から電圧送電され、軌道回路両端の受信コイルで電流受電する。この両受信コイル間が軌道回路長となり、通常 500~1,000 m である。有絶縁方式と無絶縁方式を比較した図を第6図に示す。

1.2 CTC 装置

東京—大阪間全線の列車の位置がわかり、各駅構内における列車の進出および進入の信号を制御できる

CTC 装置を東京に設けそのほか各地の風速の監視、警報装置、列車の番号表示などがわかる設備をし、運転指令設備の一環として整備を進めている。なおこの CTC 制御回線を利用して ATC の機器の故障表示などを信号指令設備の一つとして設けることにした。

CTC 装置の構成は第7図のとおりである。中央制御所は東京駅のプラットフォームのはずれにあり、その中の表示盤は屏風型で横幅は 20 m あり、線路配線が図示され、列車の閉そく区間占有の位置、駅間にある列車の番号、駅装置の CTC 扱からの開放表示、駅装

置の故障などが表示される。

表示盤の手前 5 m のところには制御盤があり、制御盤には各駅進入・進出の列車を制御する信号で子が設けてある。

第7図に示すとおり信号機器室内の ATC 軌道回路の送受信機からの列車の位置表示の条件は信号用符号送受信機で 1~4 kc 間にわたる 24 周波数を選択、選別することにより 24 情報を各駅まで伝達する。

各駅には CTC 符号変換検出機(いわゆる論理機構)があり、第8図のごとき符号(D. C±4 V)を速度 2,000 ボーで送信する。これが中央で選択された時のみ CTC 送受信機に送られる。搬送端局架へは 18±2 kc の 3 周波に偏移するよう変調されて入り、細心同軸ケーブルによる多重搬送方式で中央に送られ、中央で復調され、表示盤上のランプなどを点灯させるようになる。

列車番号表示装置は列車上に列車番号送信機および車上子が設備され、列車乗務員は列車番号送信機によりあらかじめ列車番号をセットする。さて列車が出発すると第7図に示す列車番号受信機コイルがあり、列車の車上子が地上コイル上を通過すると地上コイルは電磁誘導を受け(搬送波 200 kc)、列車番号受信器で信号波を選別し、約 10 秒蓄積し、その間に CTC 回線で中央制御所へ送る。制御所では受けた符号を翻訳し、表示盤上の列車番号表示を行なう。

従来の CTC は伊東線などに設けられているが、新幹線では情報数が 1413 にもなるので、従来のように継電器式では情報伝達に時間がかかる。また継電器の寿命がすぐなくなる。したがって新幹線ではトランジスタ、ダイオードなど使って全線の表示のスキューニング約 1 秒という CTC 装置のエレクトロニクス化を図ったものである。スキューニング方式、高速度符号伝送方式、ビット同期方式で目下工事中である。

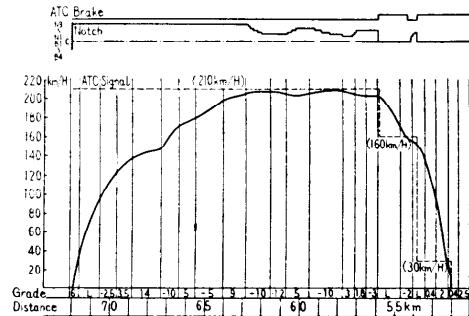
## 2. 将来の自動運転方式の研究について

東海道新幹線では ATC, CTC による制御を行なうのみであるが、将来の運転業務については自動化が相当進められることと思われるので、その研究を国鉄で行なっている。その一つは個々の列車の運転作業を自動化するものであり、他の一つは列車群の制御を中央から一括して行なうものである。

### 2.1 ATC を利用した自動運転方式

これは運転士の作業を自動化するもので、1.1 で述べた ATC を前車警戒の保安装置のほかに、速度制御

の基準にしようとするものである。すなわち軌道回路から与えられる速度制限信号を列車の指示速度として、加速並びに減速を自動的に行なうのである。そこで与えられ指示速度と列車の進行速度とを比較し、それが 0 になるように加速機と減速機を自動的に制御するのである。東海道新幹線のモデル線で試験した結果は第9図のとおりで、予想したとおりに滑らかな運転が行なわれた。



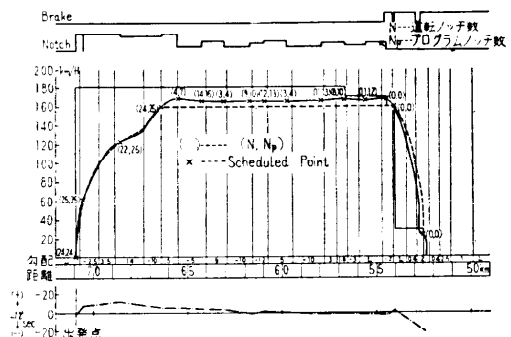
第9図 ATC を利用する自動運転の試験結果

### 2.2 プログラム制御自動運転

これはやはり運転士の作業を自動化するものであるが、2.1 では時間の要素がないのに比べて、時刻表どおり運転させることを目標にしている。

すなわち、予め与えられる運転ダイヤ、運転曲線から任意の点の予定時刻、予定速度を設定し、パンチテープに記憶させておく。このテープから列車の進行につれて、列車の予定される時間、速度を読み出し、それに一致するように列車を自動的に制御するものである。

もちろん進行途中で外乱によって、予定時刻、予定速度からはなれると、できるだけ早く予定運転曲線に



第10図 プログラム制御自動運転試験結果

復帰するような列車速度を計算して、列車をその速度になるように制御する。この機能の電子計算機によるシミュレーションはすでに本学会誌に発表されている。

なお、この装置による東海道新幹線における試験結果は第10図のとおりである。

2.3 列車群を中央で一括して制御する方式

これは各列車の運行状況を一カ所に集中して、それによって各列車の運転条件を判断し、自動的に制御しようという研究で、運転業務の自動化の効果はこのような方式に見出されるであろうと思われる。

現在は基礎実験の段階であるが、方式の電子計算機によるシミュレーションを終り、模型電車による基礎的な測定を行なっている。

第11図は各列車の状況が集められて、列車の将来の運動を判断決定する場合の電子計算機内で行なう作業のフローチャートである。

このほか列車距離の積算とかの計算作業や記憶作業、あるいは表示作業などがあって、これらを一括して行なうには電子計算機を必要とする。

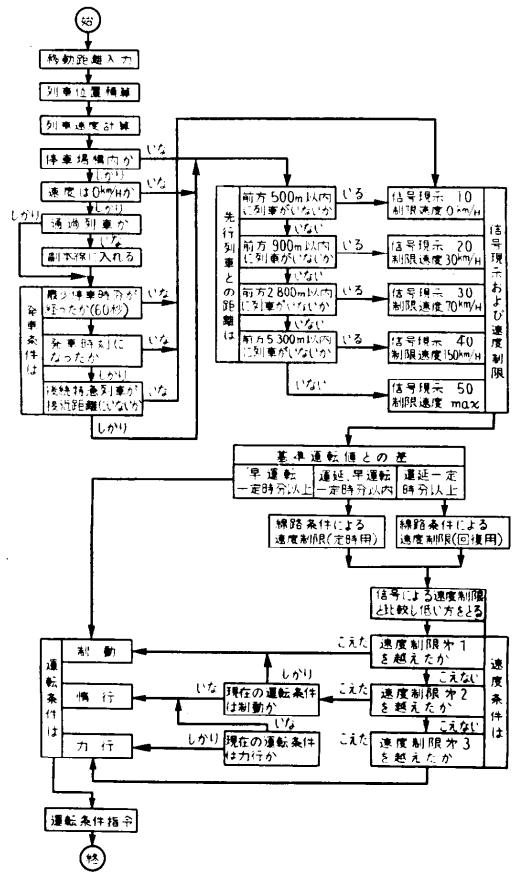
現在模型電車で行なっているのは3台の電車であるので、電子計算機も中形のものを使用しているが、実際面になると、相当大形の計算機を必要とするであろう。

3. 結 言

以上述べたとおり、東海道新幹線の列車制御方式は現在実用されている方式の中で最も新しい技術を使用している。しかし急速に進歩している情報伝送、情報処理、自動制御技術の面からいえば必ずしも最先端なものではない。これは現実には営業列車を制御するために安全、確実を第一条件にする以上ある程度使用経験をもって、実用に耐える確信をもつものでなければならない。したがって生れたばかりの技術や装置でなく、使いたれたものであることは当然である。

しかし鉄道運営の方法も社会の進歩につれて急速に変ぼうし、企業の健全な運営を常に考えている。これにつれて列車制御方式の技術開発も活発に推進させて時代に遅れないように努めている。これが将来の列車制御方式として述べたことで、単にわが国だけの傾向ではない、今後技術の進歩につれていろいろの漸新な

方式が生れてくると思うが、我々としては、これをよく消化して営業列車の運転に使用できるように努力していきたいと思う。



第11図 判断プログラムフローチャート

参考文献

- 1) 海老原浩一：列車自動運転方式のシミュレーション，情報処理，Jan. 1962. p. 1~6
- 2) 山崎恵三：中央制御方式による自動運転（第1報），昭和37年10月計測自動制御学会学術講演会予稿 419.
- 3) 中村一郎，山崎恵三：中央制御方式による自動運転（第2報），昭和37年10月計測自動制御学会学術講演会予稿 420. (昭和39年1月30日受付)