

# 新幹線電車用自動列車制御装置(ATC装置)

Automatic Train Control Equipment for New Tōkaidō Line

刈谷 志津郎\*  
Shizuo Kariya

福岡 卓二\*  
Takuji Fukuoka

河井 陽一\*\*  
Yōichi Kawai

## 内 容 梗 概

東海道新幹線電車用自動列車制御装置は、列車の超高速運行を安全ならしめるために設けられたもので、信頼度、安全度、および精度の面で十分な検討と試験を経て製品化されたものである。その機能は、保安装置として基本的な列車速度制限機能のほかに、減速度指示、ブレーキ制御器に対するスポッティング指示などにまで及んでいる。車両に対してこれらの最終的な指令を発する TS-1 形制御装置においては、従来方法のなかった単一速度発電機による照査回路の fail-safe 化を実現するなど、多くの新しい試みが成功している。

## 1. 緒 言

東海道新幹線電車は、従来に比して飛躍的な高速運行を行なうため、その制御は従来方式のものをもってしては不十分である。特に保安用の諸設備においては、対象列車の最高速度からのブレーキ距離が 2 km を越えるという一事をもってしても、そこに慎重な配慮と新しい試みが必要なことは明らかである。ある意味で本自動列車制御装置(ATC装置)の完成が、画期的な東海道新幹線計画実現の前提となったともいえる。

本 ATC 装置の第一次試作品は、日本国有鉄道当局のご指導を得て、すでに昭和 36 年に製作された。その年、北陸線において実施された現車試験の成功によって、その基本形態が定まってより、臨時車両設計事務所のご指示とご指導により、試作車用装置の製作およびモデル線区における試験を経て、量産車用装置の完成を見るにいたった。その間、各種の試験結果と絶えざる検討が続けられ、性能上、構造上とも試作品とは面目を一新したものとなっている。

ATC のシステムは、軌道回路その他の地上設備、車上においては車内信号受信機などを含む広範なものであるが、本稿においては日立製作所において製作を担当した、TS-1 形制御装置部を中心に記述する。本部分は自己の車速を検出し、これと車内信号受信機より与えられる閉そく条件を入力として、列車制御器に対する制御指令を発するもので、本システム中最も重要な部分を占めており、次のような特長を有している。

- (1) 信頼度を向上するため系は 3 重にしてあり、ブレーキ時同期動作を行なわせることにより、故障した系の自動切り離しが行なわれる。
- (2) 単一系においても高度の安全性が確保されるよう設計してある。
- (3) 静止形でしかも停止時にも出力が零でないよう全く新しい速度発電機を用いている。
- (4) 高精度でしかも簡単な回路構成である。
- (5) 単なる速度制限装置にとどまらず、減速度制御、スポッティング指示機

能をも持っている。

- (6) 大形横行式速度指示計が採用され、その指示面上に信号その他の動作表示灯が組み込まれ、一目で機器の正常動作が確認できるようになっている。
- (7) 回路および使用部品全体にわたって信頼度の面から十分な検討が施されている。

以下これらの点について説明する。

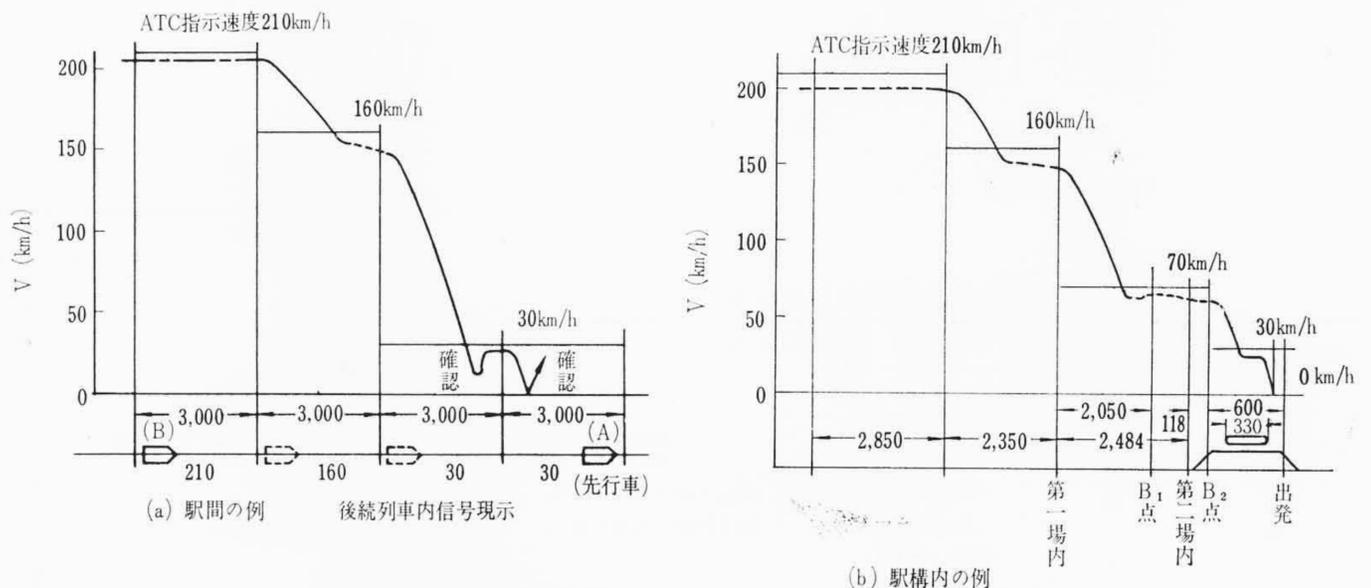
## 2. ATC のシステム

### 2.1 列車の制御<sup>(1)(2)</sup>

新幹線においては、固定閉そくによる速度信号方式が採用されているので、ATC 装置としては階段制御方式をとるものである。すなわち、車内信号受信器によって得られる信号現示はその区間の制限速度を示し、それ以下での列車の制御は運転士の操作にまかされているが、過速したときには自動的にブレーキがかかって車速を制限速度以下に保つような働きをする。その制御速度段階は第 1 表に示すとおりであり、通常の運転例は第 1 図(a)、(b)に示すとおりである。さらにもし線路に曲線その他の制限速度区間がある場合、110 信号、70 信号などが用いられるとともに、0<sub>1</sub>、0<sub>2</sub> 信号のときは

第 1 表 信号現示と制御速度段階

信号現示	制限速度 (km/h)	適 用
210	210	最高許容速度
160	160	速度てい減、速度制限 (急曲線)
110	110	速度制限 (急曲線)
70	70	速度制限 (分岐器および急曲線)
30	確認扱いにより 30	最終速度段階
0 <sub>1</sub>	確認扱いにより 30	0 <sub>2</sub> の予告 (30 信号で P 点通過)
0 <sub>2</sub>	確認扱いにより 30	無閉そく運転
0 <sub>3</sub>	0	絶対停止



第 1 図 ATC による列車の制御

\* 日立製作所水戸工場  
\*\* 日立製作所那珂工場

第1図(a)のように確認扱いが運転士に要求される。

以上は保安装置としての基本的な制御性能であるが、新幹線電車のように高速列車を制御対象として考えると、単なる速度制限のみをもってしては十分でない。たとえば列車減速時に不適切な減速度をとれば、高速時には滑走現象を生じ、低速時には減速度不十分による無用のブレーキ距離増大を生ずることが考えられる。このため走行速度に対応して減速力を選択する機能が要求された。この結果、安全にして十分なる減速度を確保し、滑走限界内でブレーキ距離最短の停車をすることができる。またこの選択値は、制限速度と車速の差によって常用、非常の2段に切り換えられるようになっている。

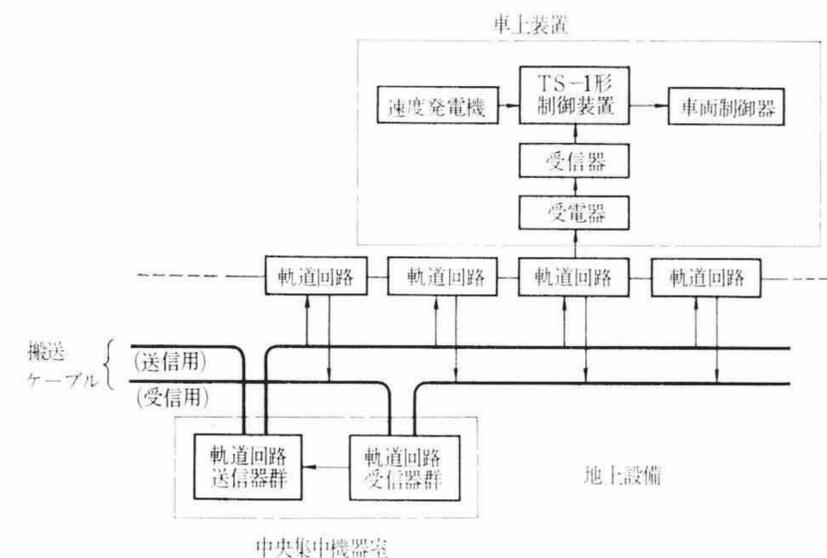
高速列車を制御する場合には機器動作の時間遅れについても十分な注意を払わなければならない。200 km/h 走行時1秒の遅滞が55 mの空走距離を生ずることをもってしても保安上重要なことが明らかである。このため関係諸機器の動作時間についての管理はもちろ十分行なわれているが、さらに速度によってブレーキ力立上りが異なる電気ブレーキ制御器に速度指令を与えて、いわゆるスポッティング動作を行なわせ、ブレーキ立上り時間の短縮と一定化を図っている。

以上のように総合的見地から列車の保安を図っているのが新幹線ATCシステムの一つの大きな特長である。

2.2 システムの構成<sup>(3)(4)</sup>

本ATCシステムの概略構成は第2図に示すようなもので、大別して閉そく条件を構成するために列車位置を照査する地上設備と、その条件を得て実際に列車を制御する車上装置にわけられる。

地上設備はCTC装置その他の信号保安装置との関連において説明を加えないと不十分であるが、ここでは第2図に示されたATCに直接関係のある部分についてのみ触れることにする。新幹線においては標準長3 kmに設定された閉そく区間で、レールにSSB(single side band)方式で変調された第2表記載の高周波電流を流し、そこを通過する列車の車軸短絡により列車の存在を照査するようにな



第2図 ATC の シ ス テ ム

第2表 制御速度段階と信号周波数

制御速度段階 (km/h)	変調周波数 (c/s)	搬送周波数	
		上り線	下り線
210	10	上記2周波を相隣れる軌道回路に交互に使用	上記2周波を相隣れる軌道回路に交互に使用
160	15		
110	22		
70	29		
30	36		
0 <sub>3</sub>	無変調	840 c/s	900 c/s

っている。このための軌道回路送受信器は、付属の保安器および中継器類とともに、全線分が29箇所集中され、軌道回路とはケーブルによって接続されている。

車上装置は大別して車内信号受信器と制御装置よりなっている。車内信号受信器はレールに流れている高周波電流を受電器により受信し、これを復調して指示計に組み込まれた信号表示灯により車内に現示するとともに、制御装置に制御信号を与える。制御装置はこの信号と、速度発電機により検出する自車の走行速度を入力として、前述のように、ブレーキ、減速度、スポッティングの各指令を車両制御器に与えるように動作する。

以上の各装置はそれぞれ安全度、信頼度の面から慎重な設計がなされているが、特に新幹線においては各機器が多重化され、かつ故障検出と故障機の自動切り離しなどによるシステムとしての信頼度向上がはかられているのが従来のこの種の系に見られなかった大きな特長である。

3. TS-1形車上制御装置

3.1 機能と概略仕様

本装置もほかの部分と同じく、システムとしては多重化されているが、その基本的な機能と概略仕様について説明する。

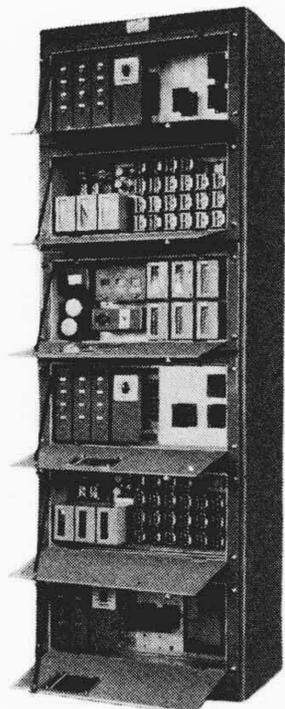
本装置の出力信号は前述のようにそのいずれもが車速に関するものであるが、指示計部分を除いては連続的に車速に対応させる必要がなく、定められた速度帯のいずれに属するかを検出すれば十分なので、連続的速度入力の変換を第一の機能としている。この速度帯信号は以下デジタル的に扱われて信号との突き合わせに用いられ、また直接車両制御器部分への出力となっている。また論理演算部分には自己の故障検出および故障時自動切り離し機能を持ち、システムとして信頼度、安全度の向上を図るとともに、速度入力により指示計を駆動して機器の有機的使用を図っている。

本装置の概略仕様は次のとおりである。なお減速度指示、スポッティング指示などは厳密には車両制御器に対するものであるが参考のためにかけた。

- (1) 検出速度 5, 30, 70, 110, 160, 210 km/h の6段
- (2) 制御信号 0<sub>3</sub>, 0<sub>2</sub>, 0<sub>1</sub>, 30, 70, 110, 160, 210 信号の8段
- (3) 速度照査精度 ±2% 以内
- (4) 車輪径補正 830~910 mm の10 mm 間隔ステップ
- (5) 非常ブレーキ 速度が210 km/h 以上で信号が160 以下のとき、速度が160 km/h 以上で信号が110以下のとき、速度が110 km/h 以上で信号が0<sub>1</sub>, 0<sub>2</sub>, 0<sub>3</sub> の時、および0<sub>3</sub> 信号を受けた時に非常ブレーキ指令を出す
- (6) 減速度

速度 (km/h)	常用ブレーキ (km/h/s)	非常ブレーキ (km/h/s)
160 以上	1.40	2.00
160~110	1.84	2.64
110~0	2.50	3.58

- (7) スポッティング指示 70 km/h 以下, 70~110 km/h, 110 km/h 以上の3段
- (8) 速度帯信号出力 30, 70, 110, 160, 210 km/h の5段
- (9) 電 源 交流 100 V 60 c/s  
直流 100 V



第3図 TS-1形制御装置外観

第3図に本装置の外観を示す。

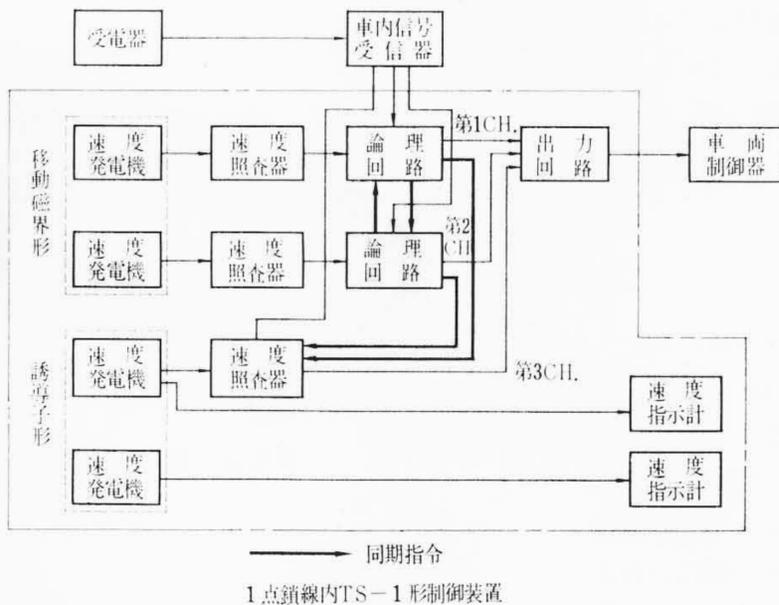
3.2 信頼度と安全度

高信頼度、高安全度を前提とする機器の設計にあたって、部品点数の減少、回路の簡素化、裕度ある部品の使用、信頼性のある部品の使用に意を用いるとともに、特に移動磁界形速度発電機の開発を含めて高安全度の回路設計が行なわれたが、さらに多重化によって両者の飛躍的な向上が図られた。系の多重化はすでに試作車においても実施されていたが、2重系として故障時手動切り換えによる完全待期予備方式をとっていた。このような構成においては次のような点に問題がある。すなわち単位系が故障を起こしたとき、手動により予備器と切り換えられるため、システムとしては事故にならないが、故障時安全側(fail safe)の原則にしたがってブレーキがかかって列車は停止する。したがって列車運行から見るとは事故として現れる。またこのように直列に機器を使用すれば、常時は一台のみ使用することになるので安全度についても向上が見られない。

以上の解決策として2台を並列に使用する方式によれば、動作の同期の有無によって多少事情は異なるが、信頼度または安全度の面でまだ不十分な点を生ずる。新幹線においてはこれらの点を考慮して三系列並列に運転し、しかも動作時同期をとって制御結果をつき合わせ、2 out of 3の多数決原理に従う故障機自動切り離しの機能を持たせるように構成した。また3系中の1台は簡易化した回路構成として全体の信頼度向上に寄与させた。

第4図は以上のように構成された制御装置の概略を示すものである。列車速度が制限速度を越えたと判断して単位系がブレーキ指令を発した時に同期動作が行なわれるようになってきている。それによる他系の引き込みは速度基準値を下げてあたかも車速が高くなったかのような動作を行なわせ同期の指令がfail-safe側故障による指令である時には、同期を受けても他の2系はブレーキ指令を出さず、いずれかの系がfail-out側に故障していれば、正常な系のいずれかがブレーキ指令を発し、たとえ同期指令を発しても、正常な系のみその同期指令によりブレーキ側に引きこまれるため、不一致を生じて故障の検出ができる。このようにいずれかの系のブレーキ指令時、多数決原理にしたがって故障機が切り離されたあとは、残った2台で運行し、その間に再び不一致が生じたときにはシステムの故障として、制御装置全体が切り離される。

このような多重化を行えば3系中の1系は他の2系に比べ簡素化されたもので十分である。すなわち、同期動作が行なわれるのは信号により指示された制限速度を越えた時のみであるため、必要最小限の機能は通常速度制限装置のようなものであって、速度帯へ



第4図 TS-1形制御装置の構成

の変換機能は同時に動作している他の系に持たせてあればよい。3号機と称せられているこの系は他の2系の正常動作を判別するために用いられるものであるから通常は車両制御装置に対する出力を要せず、また同期指令を受けたとき引きこまれることの可能な速度幅を十分広くとり自らは同期指令を発しないような簡単な構成をとることができる。

第5図はこれら3系の同期動作の詳細であるが、このような3重系で、そのおのおのの信頼度を $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ としたとき、システムの信頼度 $\lambda_0$ は

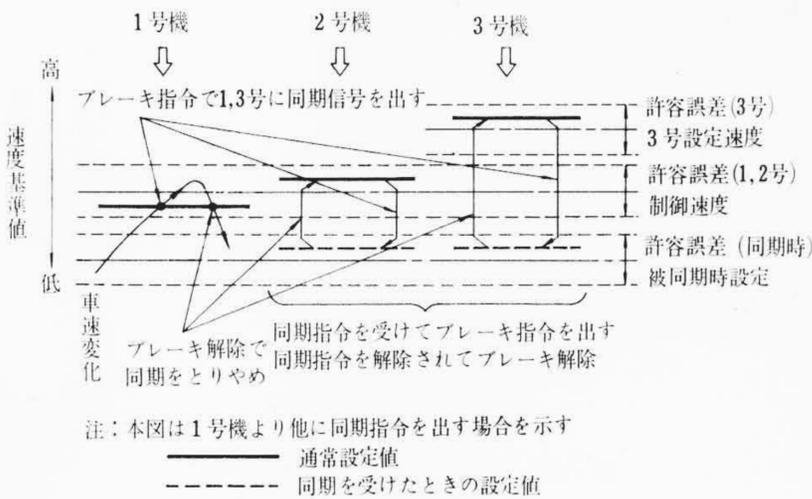
$$\lambda_0 \cong (\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\lambda_3 + \lambda_3\lambda_1) T \dots\dots\dots (1)$$

となり飛躍的に向上する。ここで $T$ は保守時間で一系が故障しても $T$ 時間内には必ず復旧すると考えるものである。これらに実際数値を代入して $\lambda_0 \cong 4 \times 10^{-5}$ 個/hの故障率が予想されており、系として画期的な信頼度の高い設計がなされたと考えることができよう。同様に安全度についても、各系のfail-out側故障が全故障率中に占める割合が非常に少ないように設計されているうえに、多重化によりシステムとしてfail-outになる前に故障検出がなされるので、その発生率は新幹線の全操業時の台数を想定しても問題にならないような数字である。

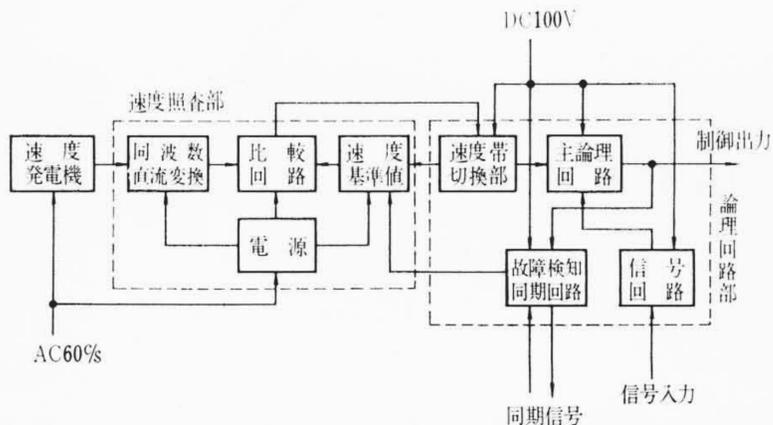
3.3 単位系の構成  
TS-1形制御装置の単位系の構成を第6図に示す。3号機はこのうち速度帯切換部および論理回路の大部分が省かれた簡単な構成によっていることは前述のとおりで、速度発電機も簡単なものが用いられている。

速度発電機は台車大歯車箱に取りつけられた静止形のもので、周波数基準の出力を発生する。本出力は速度照査部内において直流電圧に変換され比較器にあたえられる。比較器は2回路もうけられ、

速度発電機は台車大歯車箱に取りつけられた静止形のもので、周波数基準の出力を発生する。本出力は速度照査部内において直流電圧に変換され比較器にあたえられる。比較器は2回路もうけられ、



第5図 同期動作の原理



第6図 TS-1形単位系の構成

リレー回路に制御された速度基準値と比較されて速度帯信号に変換される。したがってこの変換精度が速度照査精度になっている。以後はデジタル信号の突き合わせで、リレー論理回路において扱われて車両制御器への出力となる。

#### 4. 各部の動作

##### 4.1 速度発電機(移動磁界形)<sup>(5)</sup>

一般の速度発電機は周波数基準、電圧基準いずれの方式においても列車停止時にはその出力が零となる。したがって列車の停止と信号経路の断線事故などを区別することができなかつた。これに対して本発電機は第7図に示すような特性をもつもので、列車停止時においても定められた出力を発生し、このことによって単に速度発電機そのものの故障検出のみでなく、比較回路の入力端にいたるまでの経路における故障をも自動的に検出できる。この意味で本発電機は新幹線 ATC 装置設計の前提となったものといえる。

第8図は本発電機の原理を示すものである。図において8本の脚を持つ鉄心に90度位相の異なった交流によって励振されるコイルを巻いて移動磁界を発生させ、これに対向する歯車の回転によるレクタンス変化によって、検出側コイルに滑り周波数を発生させるものである。したがって歯車の歯のピッチを移動磁界面の一波長に相当させたとき、その出力周波数  $f$  は次式で与えられる。

$$f = f_0 \pm \frac{PN}{60} \quad (\text{c/s}) \dots \dots \dots (2)$$

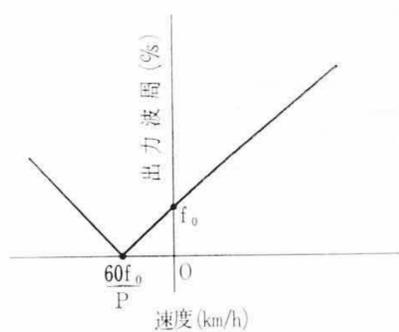
- ただし、 $f_0$ : 励振周波数 (c/s)
- $P$ : 歯車の歯数
- $N$ : 歯車の回転数 (rpm)

実際には励振に車内交流電源60c/sを用い、また大歯車の歯数を63枚としてある。

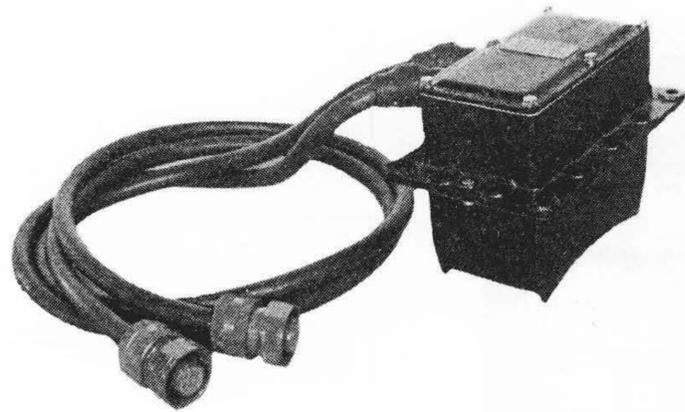
第9図は本発電機の外観を示すもので、励振側に必要な移相用コンデンサをも含み、1, 2号機用2台分が同一ケースに組み込まれ樹脂モールドされている。

##### 4.2 速度照査部

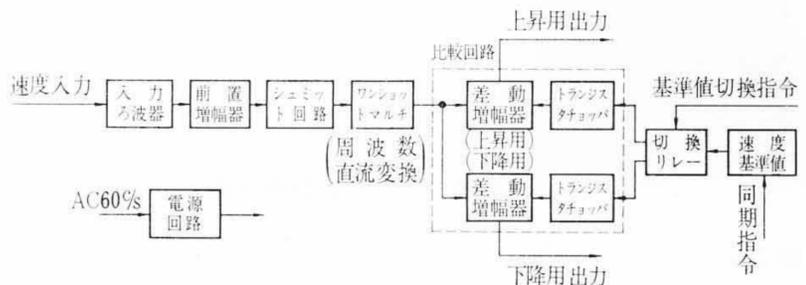
第10図に速度照査部の構成図を示す。



第7図 速度発電機の特性



第9図 SIR<sub>21</sub>形速度発電機外観



第10図 速度照査部の構成

前述のように本装置に使用された速度発電機は周波数基準形であるがその出力電圧も列車速度にしたがって変化し高速側で増大する。一方実車試験により判明したことであるが、台車駆動歯車は相当磁化されており、それによる発生雑音量はかなり大きい。速度発電機が正常な場合には信号電圧のほうがはるかに大きいので問題はないが、高速運行中に発電機の励振側が断線したような場合には、発生雑音が列車停車時の信号レベルより大きく故障発生の検出を不能ならしめる。そのため高周波側で減衰特性を有する前置増幅器が初段に置かれた。発電機出力信号は本前置増幅器で増幅後シュミット回路で波形整形される。

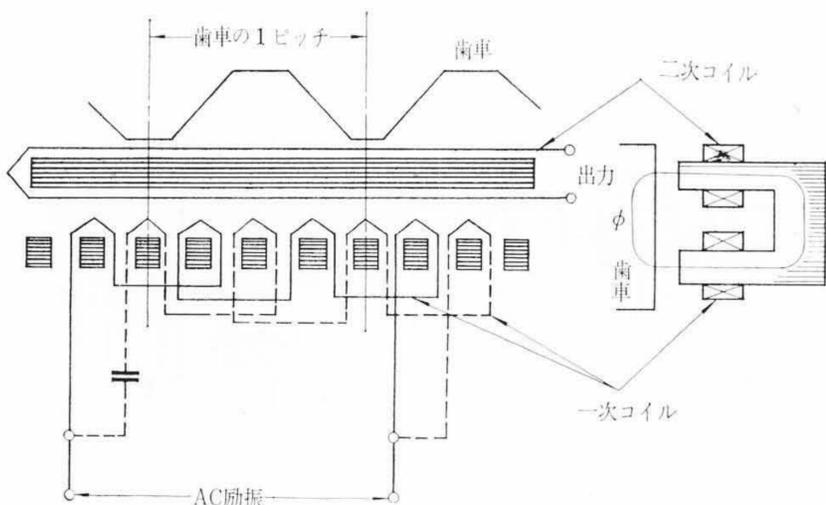
シュミット回路の次段に置かれたワンショットマルチバイブレータ回路は、周波数基準で与えられる入力を直流電圧に変換するもので、比較回路の基準値と電源を共通にすることにより電源電圧変動を自動的に補償し得る特長がある。また回路の温度特性向上のためにシリコントランジスタ、2SC166を用いるとともに、使用CR部品の選択について留意されている。

本速度照査部に使用された比較回路は、差動形増幅器で入力回路の一方に速度電圧を、他方に基準電圧を与える。一般に差動形増幅器は直流増幅器であるため、そのままでは故障に対してfail-safeとはならない。その点を考慮して、比較電圧の一方にトランジスタチャップを用いて交流信号に変換し、差動形増幅器より交流結合によって比較結果をとりだし、増幅後整流して出力リレーを駆動するようにした。この結果、回路故障は出力リレーの消磁となって現われるので、系統的にfail-safe化することが可能となった。

第11図に速度照査部の外観を示す。

##### 4.3 速度帯信号への変換

速度照査器には比較回路が2回路設けられているが、これは連続量で与えられる速度入力を速度帯信号に変換するためのものである。第12図はこの変換原理を示すもので、たとえば図上  $V_1$  なる速度帯内に列車速度があるとき、比較回路の一方(上昇用比較器と称している)には  $P_2$  なる速度基準値が与えられ、他方(下降用)には  $P_1$  なる速度基準値が与えられる。したがって車速がこの速度帯よりはずればいずれかの比較器がそれを検出する。たとえば上昇用比較器が動作すれば基準値を切り換えて、上昇用に  $P_2$ 、下降用に  $P_1$  なる基準値を与える。以上の動作はワイヤスプリングリレーで構成



第8図 移動磁界形速度発電機の原理

されたリレー回路に制御されて行なわれており、いずれかの比較器の動作につれて基準値を制御しつつ、必ず実車速度がはさまれるような形で追従して行く。

比較器の動作極性は、上昇用比較器においては速度が基準値をこえたとき出力リレーが消磁するように設定される。また下降用比較器においては逆に速度が基準値を下回ったとき消磁するように定められている。したがって通常は比較器の出力リレーはいずれも励磁された状態になっていて、速度帯信号切り換えの過渡時のみいずれかが消磁する。このような構成でかつ回路素子の故障が出力リレーの消磁となってあらわれる方式によっているので、故障の検出が簡単に行なわれる。また速度電圧は列車停止時の値より低下することはないから、速度帯信号の最下段を、速度0に対応する値を含みながらその下限が電圧0でないように定めておけば、速度発電機より比較器前段にいたる部分の故障は、下降用比較器出力リレーの消磁となって現れるので同時に故障検出が可能である。

#### 4.4 主論理回路

主論理回路はワイヤスプリングリレーと、出力信号を車両制御器に与える主要部分に用いられているより大形の RL 674 形リレーより構成されている。速度帯信号に変換された列車速度は、本部分でシーケンシャルな扱いを受け、車内信号受信器より与えられる制御速度段を示す信号との突き合わせが行なわれ、過速時ブレーキ指令を発するとともに、減速度、スポッティング指示用の速度帯指令を車両制御器に与えている。運転上の確認動作、同期動作、故障検出、電源投入時の自動リセットなどを目的とした各種回路が含まれている。速度帯変換用の回路を含んだリレー論理回路部分の外観を第13図に示す。

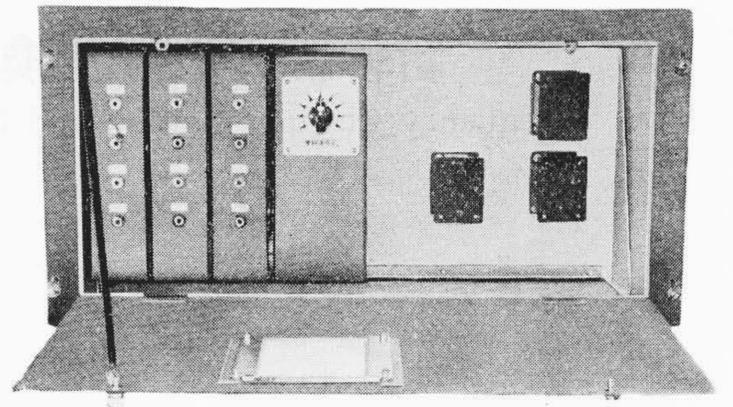
#### 4.5 速度指示計

速度指示計には横行式の自動平衡形計器と可動線輪形計器が各一台ずつ用いられている。試作車に搭載されたものと同じく、指示面は車内信号機としても用いられ、走行区間の制限速度がランプによって表示されるようになっており、また同時に速度帯信号がランプ表示され、運転士の視覚によって系の正常動作が確認できるようになっている。第14図は主務機とされている自動平衡形速度指示計の外観を示すものである。

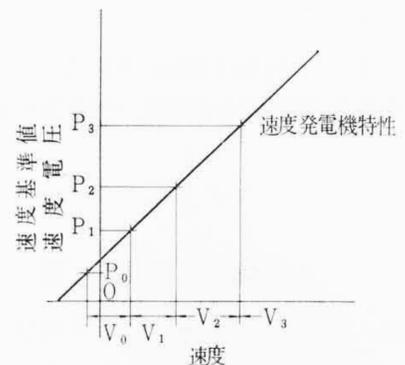
### 5. 結 言

東海道新幹線電車はその性能において鉄道界に新しい一時期を画するものであるが、その成功をささえる大きな要因は自動列車制御装置の採用にあったと考えることができる。東海道新幹線における場合、それは単なる速度制限機能のみをもった装置ではなく、減速度制御、スポッティング指示の機能をも含めた高度の保安を実現するもので、精度はもちろん信頼度、安全度の両面からも十分な検討と試験を経て実用化されたものである。

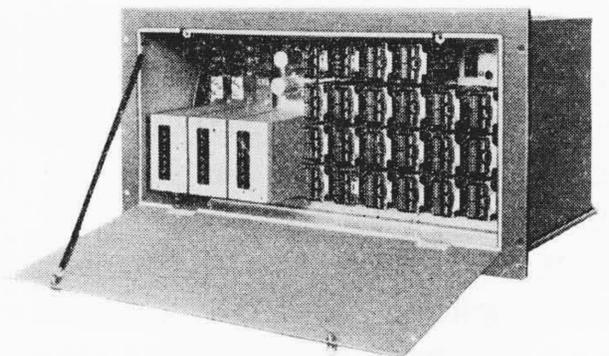
自動列車制御装置の総合機能より見て、本装置はこの種技術の総決算と見なすことができる。本稿を終わるに当たって、試作当初より量産形の完成にいたるまで、絶えざるご指導を賜わるとともに、数次にわたる現車試験の便宜を与えられた日本国有鉄道当局、特に



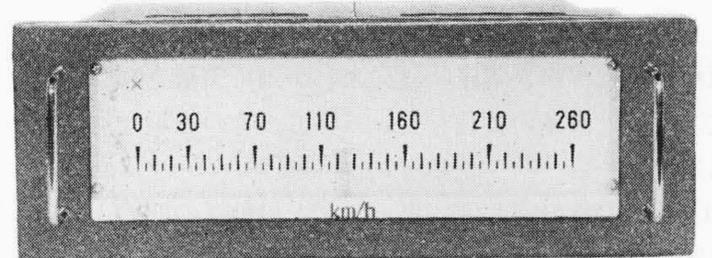
第11図 速度照査部外観



第12図 速度帯信号への変換原理



第13図 論理回路部外観



第14図 速度指示計外観

臨時車両設計事務所、鉄道技術研究所のかたがたに深甚なる謝意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 加藤：電学誌 81, 2053 (昭36-12)
- (2) 国松：電学誌 81, 2061 (昭36-12)
- (3) 吉村：エレクトロニクス 7, 540 (昭37-5)
- (4) 吉村：OHM, 49, 33 (昭37-4)
- (5) 河井、山田ほか：日立評論 48, 836 (昭39-5)