

621.337 : 625.35-52

自動列車制御装置*

大石 勝**

1. 概要

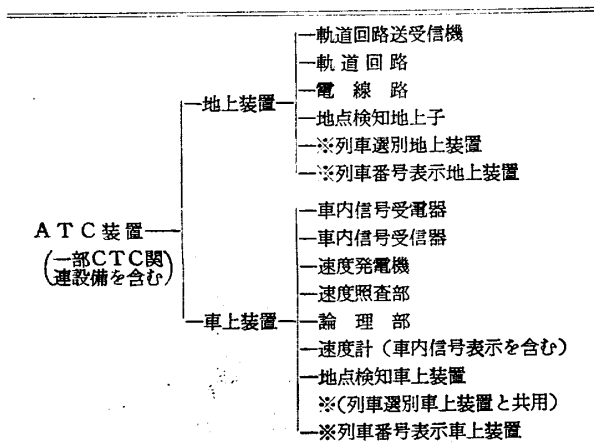
国内、国外の一部の鉄道において、すでに自動列車制御装置 (ATC) というものが使用されている。しかし、これらはすべて地上に信号機を建てて、その信号表示にしたがって運転士が速度調節を行ない、運転士が操作を誤ったときだけ ATC の作用により非常ブレーキを掛けて停止させるものである。

第1表 ATCによるブレーキ種別およびブレーキ減速度

列車速度 (km/h)	信号表示 (許容速度)					0	
	210	160	110	70	30	0 ₁ , 0 ₂	0 _s
210 以上	○ (1.5)	◎ (2.1)	◎ (2.1)	◎ (2.1)	◎ (2.1)	◎ (2.1)	◎ (2.1)
210~160		○ (1.5)	◎ (2.1)	◎ (2.1)	◎ (2.1)	◎ (2.1)	◎ (2.1)
160~110			○ (1.9)	○ (1.9)	○ (1.9)	◎ (2.8)	◎ (2.8)
110~70				○ (2.4) (2.6)	○ (2.4) (2.6)	◎ (3.6) (3.8)	◎ (3.6) (3.8)
70~30					◎ (2.6)	◎ (3.8)	◎ (3.8)
30 以下						◎ (2.6)	◎ (3.8)

○ 常用ブレーキ, ◎ 非常ブレーキ, () 内は設定減速度 (km/h/s), (()) 内は空気ブレーキのみの場合 (km/h/s).

第2表 ATC装置の構成



(注) ※印の機器は車上においてはATC装置に含めて設備されるが、地上においては主としてCTC (列車集中制御装置) の一部として使用されている。

* 原稿受付 昭和39年7月10日。
** 日本国有鉄道車両設計事務所 (東京都千代田区丸の内1の1)。

新幹線においては、高速列車の運転保安上および輸送能率上の必要から、

- (1) 信号は6種類の制限速度をそのまま信号の名称として、車内に数字により表示することとし、地上信号機は設けない。
- (2) 運転中速度の増加あるいは信号の下位への変化により列車速度が制限速度以上となったときは、ATCにより自動的にブレーキを作用させ、制限速度以下となったときは、自動的にゆるめる。

の2点を骨子としたATC方式の開発を行なった。

このように、運転士の操作に優先して、高速列車運転における速度制御を行なうという画期的方式を採用したために、装置各部の設計に当っては信頼度の向上と、万一故障した場合でもフェールセーフを確実にするため特段の配慮がはらわれ、主要部分はずべて二ないし三重系のシステムとしている。

また、このATCによって検出された列車速度は、許容速度との比較に使用するほか、ブレーキ時に速度に応じた最適な減速度を自動的に選択するためと、電気ブレーキ作用時に空走距離を最少にするためスポッティングを行なうのに利用している。信号表示と列車速度の組合せにより作用するブレーキの種類、およびその設定減速度 (走行抵抗を除く) を第1表に示す。

2. ATCの構成

ATCは大別して地上装置と車上装置に分かれる。その構成を第2表に示す。

3. ATC地上装置

新幹線は交流電化であり、列車の有無を検知すると同時に車内信号として6種類という多くの信号表示を車上に伝送するのに都合の点から、AF (Audio Frequency) 軌道回路を採用した。これは1000 c/s前後の搬送波を10~36 c/sの5種類の周波数で変調し、無変調波と合せて6種類の電流を用い、約1500 mごと

に絶縁区分された左右レールの一端から送信し、他端でその電流を受信増幅することにより、その区間の列車の有無を検出するものである。すなわち列車がその区間に進入すると、レール間が車軸で短絡されて受信入力なくなるので、地上で列車を検知することができる。また同時に車上では短絡電流により生ずる磁力線を電磁誘導により感知し、送信電流の種類（信号種別）を知り得るわけである。なお搬送波は60 c/s電源に同期した4周波を、上・下線別に交互に使用し、更にSSB（片側帯波）変調方式として混信を防止している。軌道回路送信器は、トランジスタを主体としたエレクトロニクス回路により構成されているが、信頼度および安全度の向上を計るため、送信部は二重系による自動切換方式を、受信部は、三重系により2アウトオブ3（3出力のうち2出力以上が一致したとき正しいものとみなす一種の多数決原理）方式がとられている。各送信器は、性能の安定、保守点検の便、電源設備の経済性等を考慮して、全線区の設定を空気調和を行なった29箇所の信号機器室に集中し、各軌道回路との間は送信用、受信用別個に布設したケーブルにより接続している。

4. ATC 車上装置

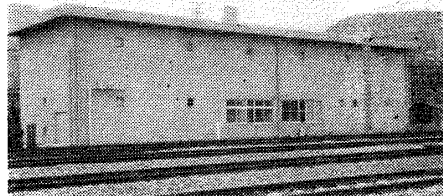
第3図にATC車上装置のブロック線図を示す。車内信号受信器、速度発電機、速度照査部および論理機構は三重系より構成され地点検知装置、速度計は二重系となっている。

4.1 車内信号受電器 車内信号受電器は、前記の軌道回路短絡電流によって生ずる磁力線を車上で感知するための誘導コイルであり、左右レール上約200 mmの高さに2個取り付けられている。左右のコイルは信号電流による誘起電圧が相加されるように直列に接続され、その結果電車電流その他の雑音は相殺されるので、S/N比の向上に有利である。標準誘起電圧は、レール信号電流50 mAに対して13 mVである。

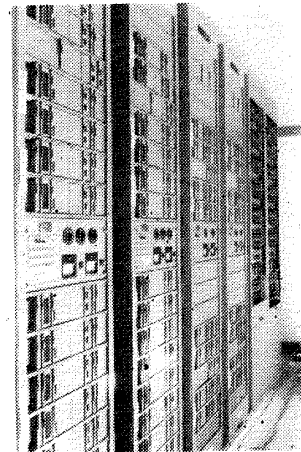
4.2 車内信号受信器 車内信号受信器は、受電器により受けた信号電流を、主変圧器三次巻線出力の電車線周波数に同期した復調搬送波により平衡復調し、信号種別に応じた変調波を分離して各信号の受信継電器を動作させるもので、地上から送信されている信号に対応して車内に信号現示を行なうものである。

車内信号受信器は、地上装置における軌道回路受信器と同様、信頼度と安全度の向上をはかるため三重系方式（2アウトオブ3）としている。すなわち、1号と2号は全く同じもので、信号電流の種別に応じた受

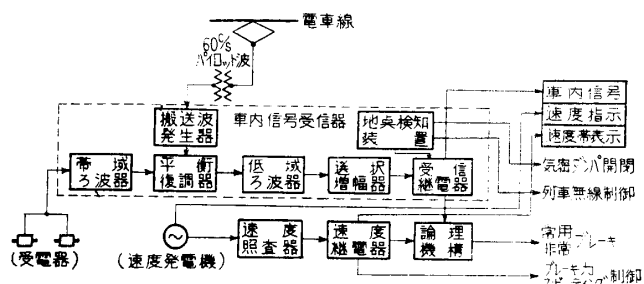
信継電器を動作させるが、3号は照査用として信号の選別は行なわず、信号電流の有無のみを検知している。このようにして1, 2号の動作が一致しているときはそれを正しいものとし、いずれか一方に受信出力がないときは3号受信出力の有無と比較して3号と一致したほうを正しいものと判定している。また1, 2号に異なった二つの出力を生じた場合で3号に出力があ



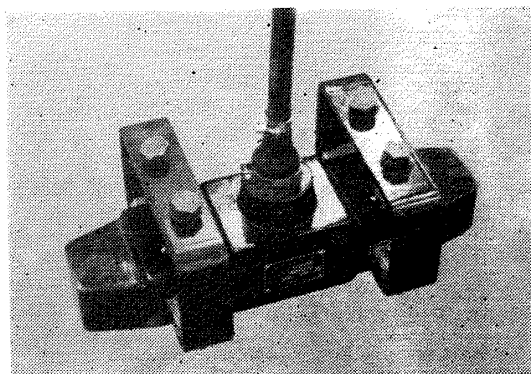
第1図 信号機器室外観



第2図 信号機器室内部



第3図 ATC車上装置ブロック線図



第4図 信号受電器 (ATC 受電器)

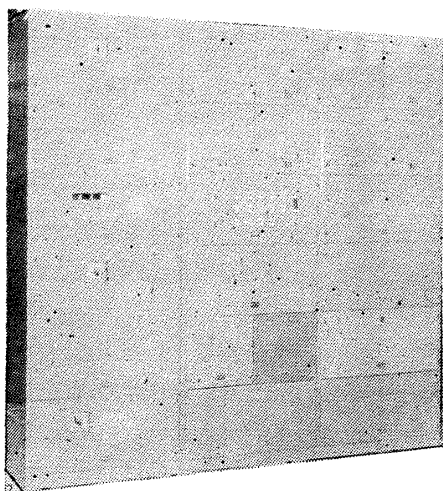
れば、1, 2号のうち許容速度の低い出力を系としての出力としている。この方式により、部品数は一重系の場合の約2.5倍で三重系の信頼度を確保し、同時に接点融着などの危険側の故障に対してさえも、それが二つのチャンネル同時に発生しない限りフェールセーフとすることができるわけである。

車内信号受信器は、後に述べる制御装置（速度照査器および論理機構）とならべて運転席背面に取付けられるが、収容架に各ブロックをはめ込み、配線は連結プラグで行ない、点検、取替えの便をはかっている。装置の外観を第5図に示す。

4.3 速度発電機 速度発電機は、先頭車軸の駆動装置歯車箱に取付けた誘導形交流発電機で、列車速度に比例した周波数の交流正弦波出力を速度照査器および速度計に与える。片運転台当り2台4出力あり、このうち1台2出力は交流励振形であり、他は永久磁石形で、ともに可動部分は全くなく、歯車の周囲に接近して取りつけて、歯の通過によって生ずる磁気抵抗の変化を利用したものである。

交流励振形は、2組の励振コイルに60 c/s 2相交流を流すことにより交流移動磁界を作り、出力コイルには列車停止時に60 c/s、前進走行時には速度に比例して周波数が高くなり、210 km/hで約1400 c/sを発生するようになっている。このような速度発電機を用いたのは、一般の発電機では停止中の出力が0であるため、走行中に断線その他の故障で出力が0となった場合に停止との区別がつかず、危険であるからである。この出力は速度照査器の1号および2号に供給される。

永久磁石形は、交流励振形の励振コイルを永久磁石に置き換えたものに相当し、故障と停止の区別はでき



左側 1列が速度照査器および論理機構。
右側 2列が車内信号受信器。

第5図 ATC車上装置外観

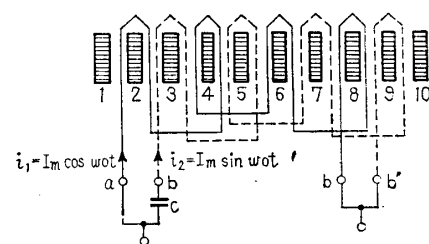
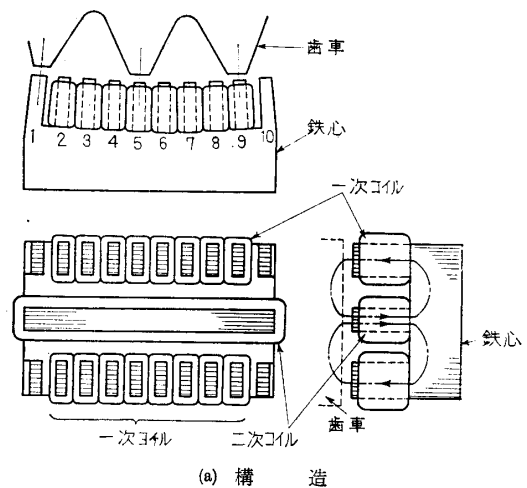
ないが、構造が簡単のため故障は少なく、また出力が大きくできるので、3号速度照査器と、速度計の駆動に使っている。出力周波数は210 km/hで約1340 c/sである。

4.4 速度照査器 速度照査器は、車内信号受信器と同様の考え方により、三重系となっている。

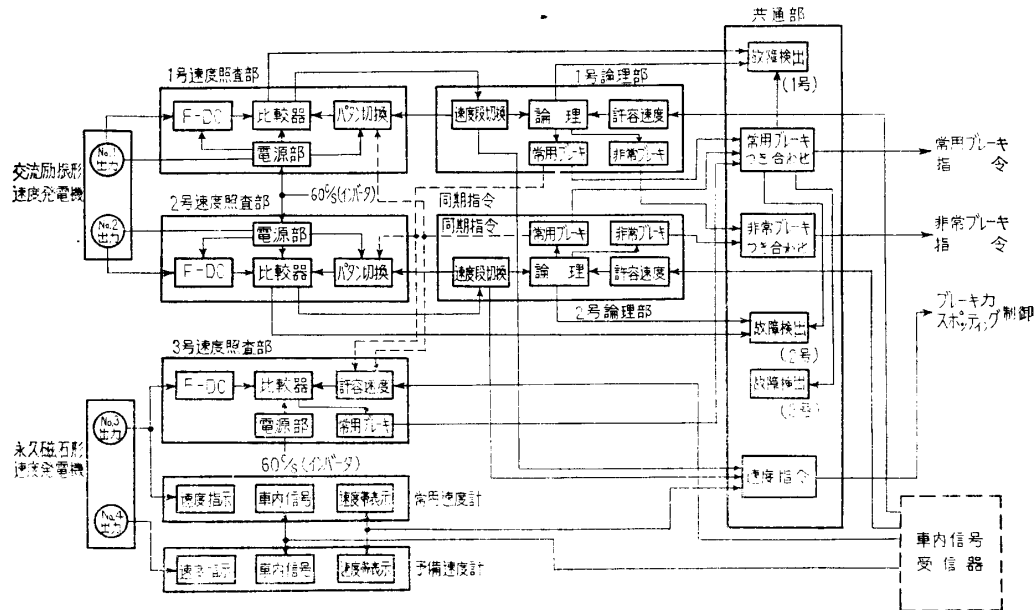
1, 2号は全く同じもので、交流励振形速度発電機の二つの出力をそれぞれ受け、周波数に比例した直流電圧に変換した後、速度段階に対応して作られた直流ボタン電圧と比較し、6段階の速度継電器の動作を切り換えている。周波数の直流電圧への変換およびボタン電圧との比較は、それぞれトランジスタ回路によって行っているが、精度を下げずに信頼度の向上をはかるため、回路の設計および部品の選定には特段の研究を重ねたところである。その結果、特別な安定電源が不要な方式とし、回路の簡素化によって部品数の減少に成功したほか、トランジスタの使用手法も、前置増幅器の1個を除き残りの16個はすべてon-offのいわゆるスイッチング作用によることとした。これにより、性能の安定さきわめて有利となったほか、交流励振形速度発電機の使用と相まって常時スイッチング出力を検出して故障の発見を確実にし、安全度を著しく高めている。

なお速度照査精度は、車輪径の補償誤差を含めて2%以内である。

3号は、1, 2号の速度照査出力が不一致となった場



(a) 構造
(b) 一次コイル結線図
第6図 交流励振形速度発電機原理説明図



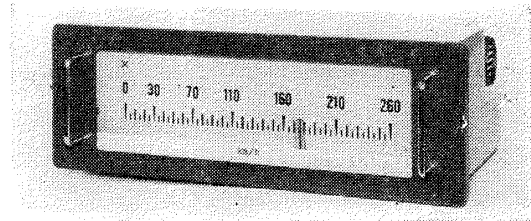
第7図 速度照査器および論理機構ブロック線図

合に、いずれが正しいかを判定するためのもので、永久磁石形速度発電機の出力を使用し、周波数をいったん直流電圧に変換したのち、速度段階継電器を動作させることなく、直接信号による許容速度と比較し、その結果のブレーキ指令の有無を出力としている。したがって、3号器自身の故障検出はできないが、構造が簡単であるため信頼度は高くなっている。

論理機構は、1, 2号速度照査器によって得られた速度段階出力を、車内信号の許容速度と比較して、ブレーキ指令の要否を判定する1号および2号論理部と、三つのチャンネルの出力を比較し、2アウトオブ3の原理により系としての出力を決定し、不一致になったチャンネルの故障表示をする共通部よりなっている。

1号および2号論理部では、速度および信号の組合せにより、第1表に示すブレーキ種別を決定すると同時に、チャンネル間に同期作用を行なっている。

同期作用とは、各チャンネルの許容誤差範囲以内でのブレーキ指令の不一致を除くためのものである。速度が増加して許容速度を越えるときには、いずれか一つのチャンネルから最初にブレーキ指令がでるわけであるが、このときブレーキ指令の出たチャンネルから、他のチャンネルに同期指令を行なう。同期指令を受けたチャンネルでは、それにより速度照査器のパターン電圧を最大照査誤差の幅だけ引き下げを行ない、相対的に速度が上がったように作用してブレーキ指令を促進するのである。その結果チャンネル間のばらつきが許容誤差以内であれば、当然ブレーキ指令は一致するはずであり、もし一致しないチャンネルがあれば、それは故障とみなして系から切離すわけである。



第8図 速度計外観

共通部における3チャンネルのつき合せは次によって行っている。1号と2号のブレーキ指令が一致しているときは、それを系としての出力とし、いずれか一方のみブレーキ指令がでて他方はでないときには、3号の出力と一致したほうを正しいものとして、不一致のチャンネルを故障として系から切離す。故障と判定されたチャンネルは、ターゲットリレーにより機械的に鎖錠し、そのチャンネルの電源を断つので、自然回復により復帰することはない。

また1, 2号機の速度段階継電器の動作により、前述のブレーキ減速度およびスポッティング作用の自動制御を行なうため、共通部において各チャンネルの出力を並列接続して動作する継電器を設けている。

4.5 速度計 新幹線電車の速度計は、速度表示を行なうと同時に内部に車内信号表示、およびATCの速度段階出力を表示する方式とした。このようにしたのは、高速運転においては列車速度の目測が困難であり、速度計にたよる度合いが大きいから、速度計を大きくして前方注視時に自然視野内にはいることを考慮したこと、更に列車速度と許容速度およびATC速度照査器の動作との対照を容易にするため、人間工学的研究に基いた結果である。このように重要な意味をも

つ速度計であるため、常用および予備の2個を設け、永久磁石形速度発電機の二つの出力にそれぞれ接続して並列動作させている。

速度計の原理としては自動平衡形と可動線輪形の2種類を開発したが、いずれも一長一短あるので両方式とも採用し、それぞれ常用および予備に用いている。精度はいずれも2.5%以内である。

車内信号表示は速度計上部の相当速度の位置に点燈し、速度段階表示は速度目盛の相当部分が内部より照明され、指針の位置と一致するように考慮している。

4-6 地点検知装置 これは、従来線のS形自動列車停止装置と同一原理に基くもので、1号車の車内信号受信器架に約100kcの発振器を設け、前頭部床下軌間中心のレール面上約200mmの位置に一次、二次の結合コイルよりなる地点検知車上子コイルを設置している。一方地上装置としては、レール中心に地上子と称する共振コイルを設けておき、車上子がその上を通過する時に地上子の共振周波数に応じて車上の発振周波数が変化するいわゆる引込み現象を利用したものである。地上子には共振周波数の異なる4種類がありその組合せにより、ATC信号の補助(停止信号区間の予告)、外気締切装置の制御、列車無線の周波数およびアンテナ指向性の切換えなどに使用している。

また車上の常時における発振周波数は列車種別により3種類(超特急、特急および貨物回送)に切換えを行ない、地上でその周波数を識別することにより、列車種別を検知している。この検知コイルは駅構内の手前一定距離に設置され、接近する列車の種別により進入線路のポイントを自動的に転換する自動進路設定装置の入力としている。なお車上発振器は二重系で自動

切換方式を行なっている。

4-7 列車番号送信器 12号車の車内信号受信器架には、列車番号送信器が收容されている。これは運転台の計器盤に組込まれた列車番号設定器のダイヤルを、その列車の3けたの列車番号に合わせることであり、12種類の周波数を使用したバイナリ信号が200kcの搬送波に乗せられる。この発振出力は、12号車の先頭床下軌間中心のレール面上200mmの高さに取りつけられた車上コイルにより地上に送り出される。これを地上に設けた検知コイルにより受信し、軌道回路の動作とともに東京のCTC中央指令所に伝送され、列車の位置とともにその列車番号を表示盤上に点燈するようにしている。

4-8 その他 以上のほかに車内信号受信器架に、自動記録装置が設けられている。これは、信号表示、列車速度、ブレーキ種別、故障状況、などを変化の都度記録し、装置の動作安定度、故障原因等のはあくを容易にし、保守の合理化、能率化を計ることを目的としている。またこの装置は、地上の軌道回路送信レベルが規定値以下になった場合もそれを検出記録し、警報を行なうこととしている。

このほかATC車上装置の試験は、浜松工場および東京・大阪の両運転所に設置された自動試験装置により、列車の入出庫ごとに検査し、正常な機能と安定した性能を維持するようにしている。

なお昭和37年3月に製作された4両編成の試作電車は、営業開始に先立って電気試験車に改造され、全線を定期的に運行して、変電所、電車線、ATC列車無線等に関する各種のデータを測定し、設備の管理を有効かつ能率的に行なうこととしている。



連続振動表面仕上げ法

現代は精密構成部品の時代になってきた。これに伴って表面仕上げのようなちょっと考えると小さな問題が重要な生産要素となってきた。

たとえばゼネラル・モータ社の最近の設計による自動車のクラッチ板の場合、その表面仕上げがきわめて重要な性格を持っている。しかもそれが非常に困難な仕事であったが、連続振動タンブラが開発されたので問題はなくなった。

このクラッチ板の材料は、ゼネラル社のハイドラマチック部で造っている低炭素鋼である。この材料の周辺を大きな歯の形にし、表面はまくれや引かきのない特別のマット仕上げにしなければならない。

この仕上げ前の加工が重要である。材料をスタンピングしたあとで、完全に平面なものとし、熱処理を行なう。それから酸洗いでスケールその他のかすを除

く。次に高温のさび止め溶液の中に入れる。その結果空中で急速に乾かすことができる。

この板はニューマチック・シリンダで振動タンブラの中に送られる。内部には各種サイズの粒の研磨剤がはいっているので、表面粗度7~10rmsのマット仕上げが行なわれる。これがまくれ除去、射出部除去、みがきあげ、つや出しを最も急速に行なう方法である。このハイドラマチック装置は1時間当たり1000個の板の表面仕上げを行なう。

この速度を変えないで振動の幅を変えることができる。この変更によって材料の表面の処理量を変えることができるのである。また材料の流れ速度を変えることもできる。

(Iron Age, 1964, Vol. 193, No. 26, p. 86~87)
(日本科学技術情報センター提供)