

鉄道信号とフェールセーフ

近畿日本鉄道株式会社 技術局電気部* 高岸宗吾

まえがき

1825年英国で初めて列車を運転したとき、信号手が旗をもって馬に乗り、列車の前方を走ったのが信号の始まりであると伝えられている。

その後幾多の変せんを経て、1872年アメリカに於て閉電路式の軌道回路が発明され、信号保安装置の画期的な革命が行われた。現在の信号設備はこの閉電路式軌道回路を基礎にして発展したものである。

先ず信号保安装置の現在までのすう勢と設備の概要を説明し、フェールセーフの考え方の一端を述べたいと思う。

〔I〕 鉄道信号のすう勢

鉄道信号の目的は当初は列車を防護して安全に運転することにあつたが、現在では列車防護だけでなく、更に積極的に輸送能率を向上することにあると云える。

鉄道信号の中には、信号装置、駅の連動装置、転てつ装置、閉そく装置、或は踏切保安装置等の各種の設備があり、これらが一体となって鉄道信号を構成しているわけである。

信号装置とは、予め定めた形、色、音等により運転の条件を相手方（例えば運転士、信号掛員）に伝える装置である。腕木式信号機、色灯式信号機等各種のものがあるが、東海道新幹線に採用されている車内信号は一番新しい信号形体である。

転てつ装置とは、一つの線路から他の線路に列車を進入させるためのもので、線路の可動部分を転換させる装置である。転てつ装置は列車運転上極めて重要な部分であるため種々の保安装置が必要である。当初は転換時の動力として人の力にたよった機械式のもので、何んら保安装置がなく列車通過中にも転換出来るようなものであったが、列車の密度が増大するにつれ保安度の向上と、転換能率向上のため電気或は圧縮空気による動力転てつ器が用いられるようになり、列車の接近、或は通過中は各種の鎖錠装置により絶対転換出来ないようなものになった。

閉そく装置とは、一定の区間に1列車のみ運転させようとする装置で、二つ以上の列車の安全を保つためのものである。タブレット閉そくのように列車を発着させる駅の従事員相互の打合せによって取扱うものと、軌道回路を利用して列車自体によって自動的に行なうものがある。前者の場合は保安度も低く高密度の運転は不可能であるが、後者の場合は非常に保安度が高く、閉そく区間長は任意に取り得るから運転能率も向上出来る。但しこの設定に当っては、列車のスピード、制動距離、線路条件等を充分考慮して決定する必要がある。

連動装置とは、転てつ器が列車の進入する方向に正当に開通しているか、又他の列車の進入進出方向と競合しないか等信号や他の転てつ器と関係づける装置である。

列車回数の非常に少なく構内の規模も小さい初期の段階では人の注意力にたよっても保安は保たれていた。処が列車回数が逐次増加し人の注意力では保安は保たれなくなり、機械的に信号機と転てつ器を「こま」組を利用して互に関係づける機械連動が開発されるに至った。

而しこの機械連動では列車の発着ルートをとるのに時間がかかり、保安度の点でも充分なものではなく、列車密度の増大に伴い継電器を用いて電氣的に鎖錠を行う継電連動装置へと発達して来たのである。現在の連動装置の中では継電連動装置は最も保安度が高く而も能率の良いものである。

最近では更に研究が進められ継電器の接点不良による事故をなくすためこれを無接点化する方向にあり、いわゆる電子連動装置の開発がなされている。

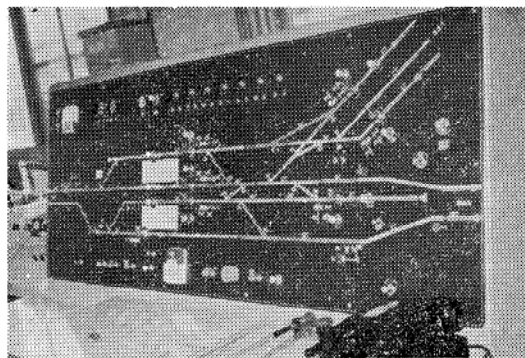


写真1 継電連動装置の制御盤

*大阪市天王寺区上本町6丁目1番の1

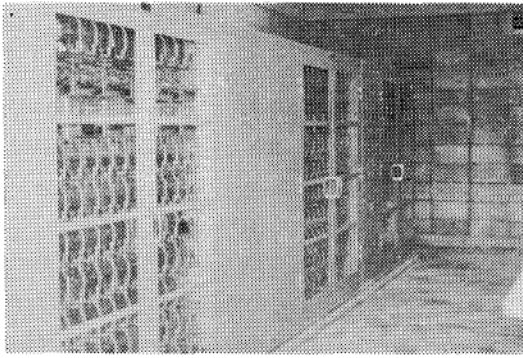


写真2 継電連動装置の継電器架

踏切保安装置とは、いうまでもなく自動車、通行人等を列車から防護する設備で、踏切警報機、踏切遮断機、及び有人踏切の列車接近報知ベル等がある。最近では有人踏切の人為的なミス無くすると同時に合理化対策として自動遮断機が多く採用されるようになった。

警報機の鳴動時間、自動遮断機の遮断時間を速度の異なる列車に対して一定に保つため、急行、緩行の選別装置を制御回路に挿入し保安度の向上を計っている。

以上従来からの信号保安装置について簡単に説明したが、これらの装置がいかに十分な保安度が保つたとしても運転士が一旦信号を誤認すれば重大な事故を起す危険性ははらんでいる。これを積極的に防止しようということで最近になって、

- 自動列車停止装置 (Automatic Train Stoper A.T.S.)
- 自動列車制御装置 (Automatic Train Control A.T.C.)
- 自動列車運転装置 (Automatic Train Operation

A.T.O.)

等の装置が開発され実用化されつつある。これらの装置は地上の信号条件を運転士を介入しないで車上に伝える情報伝送技術、及び列車のスピードと地上の信号条件による制限スピードとの比較判断する論理回路の技術、この両者の開発により達成されたものである。

A.T.S. は停止信号の場合にブレーキが作用して自動的に停車するもので、制限速度以下で運転士の確認扱いによりブレーキが緩解できる方式も含めて A.T.S. と呼んでいる。国鉄S型 A.T.S. のように通過する列車の内の最大制動距離の地点で列車にブレーキ使命を与えて停める方式、或は最近の各私鉄の A.T.S. のように何段階かのスピードチェックを段階的に行って停止信号までに停める方式等各種の方法があり、夫々線区の実状に応じたものが採用されている。

A.T.C. は地上信号に連動して常用ブレーキが作用し制限速度以下で自動的にブレーキが緩解する方式で、A.T.S. より一歩進んだもので東海道新幹線に実施されてい

るのが一例である。

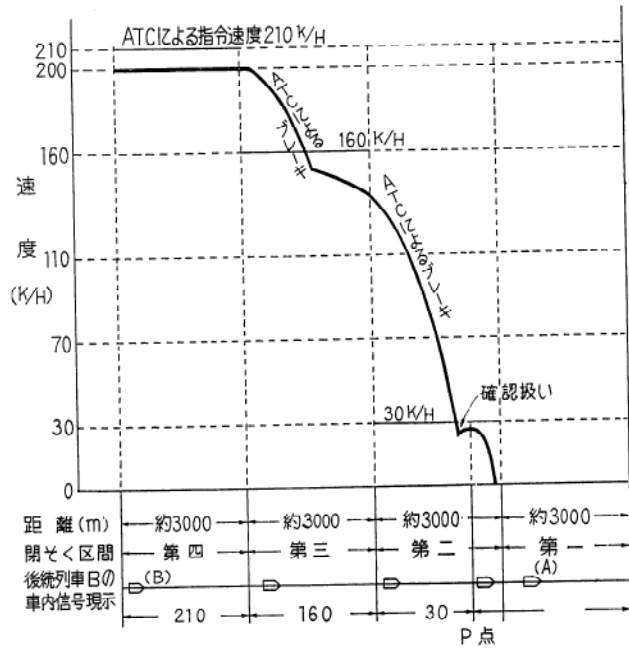


図1 A.T.C. の1例 (東海道新幹線)

A.T.O. は更に進んだ方式で地上信号と連動して列車の発車から停車まで自動運転を行なうもので、A.T.C. 装置と組合せて用いられている。所謂無人運転をするのが目的である。

閉そく方式についても現在実施されているものは固定閉そくで一定区間に1列車しか入らない方法である。これでは地上の閉そく区間数で列車の運転回数が決まってしまう欠点がある。この欠点を除き更に能率のよい運転を行うには地上に固定した閉そく区間を設けず、個々の列車のスピードに応じて前方列車との間隔を出来るだけ縮めようとする移動閉そく方式が理想的である。

一方駅構内の信号扱いの面からは列車集中制御装置 (Centralized Traffic Control C.T.C.) プログラム制御装置 (Program Traffic Control P.T.C.) 等が開発され、連動装置の信号扱いを遠隔制御又は自動化しようとするものである。

C.T.C. は各信号所毎に信号扱いをしているものと一ヶ所に集中して取扱い、列車の運行を集中監視しようとするもので、列車運転の円滑化と信号扱者の合理化を目的としたもので、**P.T.C.** はすでに決まった列車ダイヤにより予め進入進出のプログラムを作り、これにより自動的に信号を現示しようとする装置である。

また信号方式には

- 進路表示方式 (Route Signal System)
- 速度制御方式 (Speed Signal System)

の二つの方式がある。

進路表示方式は進路毎に信号機を建てて進行の可否を現示する方式で、運転士は進入する線路を予め知ることが出来、構内の配線状態が比較的簡単なとき信号機数が少ないという利点はあるが、構内が複雑になると信号機数が多くなり運転士が誤認するおそれがある。

速度制御方式は信号の現示により進行する速度を指示する方式で、進路に応じた速度を表わすから運転士は進路の状態をよく知らなくてもよいし、信号機の数も構内の配線状態が複雑でも少なくして済む利点はあるが、信号現示の種類が多くなり限られた灯色（緑、黄、赤）で信号を現示するとすれば2種類以上の灯色の組合せとなりや、複雑である。

高密度、高速化すれば必然的に速度制御方式を採用することになるが、現在日本では自動閉そく区間では速度制御方式と進路表示方式との併用を行っていると考えてよい。スピードチェックを行うA.T.S.の採用に際しては両者の併用で問題はないが、A.T.C.以上の保安装置を実施する場合は当然スピードの概念を信号機にもたす必要があるから、将来の高速鉄道に於ては速度制御方式に移行することが考えられる。東海道新幹線の車内信号に於てもすでに速度を表わす信号になっており、この場合灯色の組合せでなく列車の速度そのものを表示している。

〔II〕 フェールセーフの概念

以上信号保安設備の現在の姿のあらましを簡単に述べたが、腕木信号機から色灯信号機、地上信号から車内信号、機械連動から継電連動へと進歩し、装置自体としての信頼度も飛躍的に向上して来た。更にまた信号設備の運用に当って人為的ミス無くすため、各種の自動制御、A.T.S. から始まり列車の自動運転まで信号技術の分野

が大巾に拡大されて来た。

信号保安装置の現在まで果して来た役割の大きさは今更述べる必要はないが、反面装置の故障は直ちに運転事故に直結し、場合によっては列車の衝突、脱線等を引起し人的、物的損害をもたらす結果となる。

従って装置の設計、施工に際しては極めて高い信頼性をもたせるよう考慮が払われている。而し機械である以上如何に信頼度を上げて故障を皆無にすることは出来ない。如何なる故障の場合でも信号機だけは停止信号にしたいというのが信号技術者の切なる願いである。ここに信号保安装置のフェールセーフの原則があるわけで、

- ① 信号保安設備は、設備に事故が発生した場合必ず安全側に動作するよう施設すること。
- ② 信号設備に使用する継電器回路及び鎖錠電磁石回路は、無励磁のとき鎖錠する方式とすること。

の原則に基き設計が行われている。

現在使用されている信号回路でどのようにフェールセーフの考え方を導入しているか、二・三簡単な例を挙げて説明して見ることにする。

1. 警戒信号、減速信号の信号電機の直列点灯

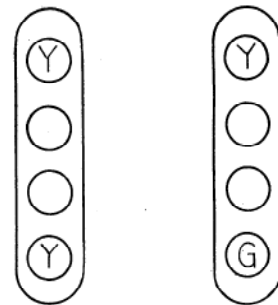


図2 警戒減速信号

警戒信号は列車のスピードを25K/H以下に制限する

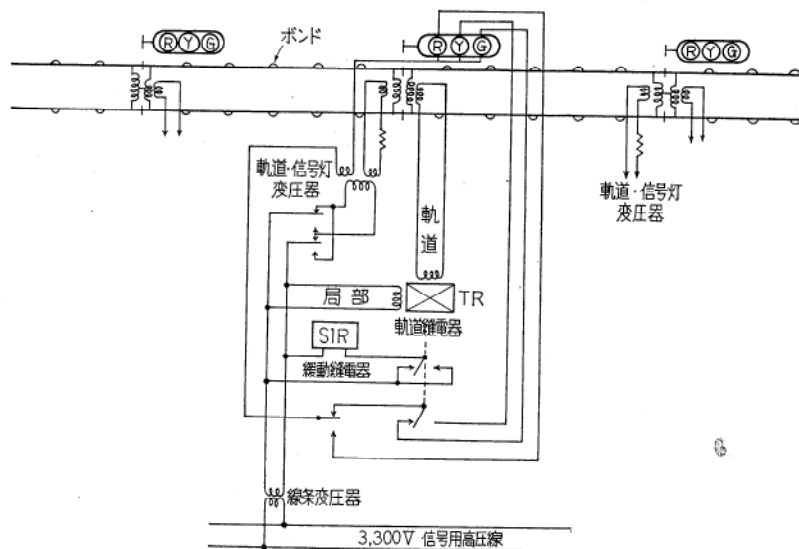


図3 閉電路式2元3位軌道回路

信号であるが、図2のようにY-Y黄色二つを点灯して現示する。このとき二灯を並列に結線すれば一灯が断芯して消灯した場合、Y一灯即ち注意信号の現示となり速度制限を緩和することになり危険側になる。従って必ず二灯直列に結線して一灯の断芯のときは消灯させてしまう。減速信号の場合も同様でY-G二灯の内Y灯が断芯すると並列結線の場合はG即ち全く速度制限のない信号現示となり危険側になるので直列結線するわけである。

2. 軌道回路

軌道回路とはレールを信号電流の伝達回路として利用した電気回路で、ある一定区間の列車の有無を連続的に検知する回路で、現在の鉄道信号では最も確実な方法とされている。自動閉そく信号機は勿論、継電連動装置、A.T.S. A.T.C. 等あらゆる信号設備の根本をなすもので信号回路の中でも最も重要なものの一つである。

一般には図3のように閉電路式と云って列車のない場合は継電器は動作して進行信号(G或はY)を点灯し、列車のある場合は車軸により電気回路を短絡する。従って継電器は励磁を失い落下する。この無励磁接点で停止信号(R)を点灯する方式である。

この場合配線の断線、ボンドの脱落、レールの折損、継電器の打上げ不良等の場合停止信号となり安全側の動作をすることになる。

又複軌条式の軌道回路において片側の軌条絶縁が破れると送電々流は図4のようにインピーダンスボンドの中性点を通り隣接の軌道回路に電圧を誘起して軌道継電器が誤動作することになる。

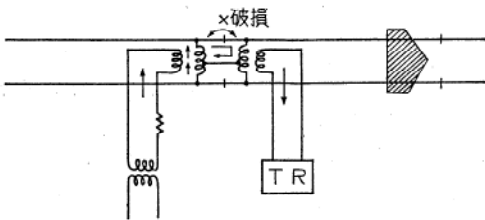


図4 レール絶縁が破損した時軌道継電器に流入する電流

最悪の場合でも2元3位の軌道回路は進行信号を現示しないよう、又2元2位の軌道回路では停止信号を現示するよう極性を正しく合せ、万一軌条絶縁が破損しても障害を最少限に止めるよう隣接の軌道回路の極性を図5のように正しく調整する。

3. 制御回路の混線防護

制御回路の電源は制御条件側に設けるのを原則とし、制御電源が混線した場合の誤動作を防止する。

図6で上図の回路方式の電源のとり方ではA地点間

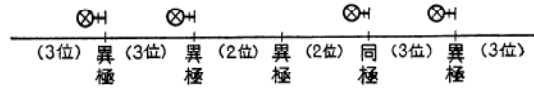


図5 道回路の正しい極性

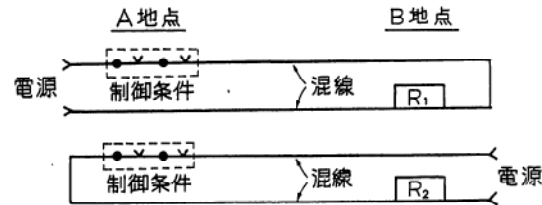


図6 制御回路

の配線が混線しても継電器 R₁ は落下しフェールセーフを満足するが、下図では、混線した場合継電器 R₂ を動作させるA地点の条件が完全にぬけてしまい R₂ が動作してはいけないときに動作する可能性がある。信号制御回路では必ず上図の方式を採用している。

4. 電源

普通電灯電源等の場合は二線の内一線をアースに落すことになっているが、信号電源では二線とも大地より絶縁して使用する。一線をアースしておけば他の一線に絶縁不良を起しアースした場合他の電源で継電器が誤動作する可能性がある。信号回路では、この誤動作をきらい、二線とも絶縁するわけで、一線の絶縁不良だけでは故障にならないよう配慮している。

5. 継電連動装置の一回路

図7で、列車をOAT区間よりILT区間のホームセクションに進入さすときの信号回路を説明しよう。

先づ列車の進路に当たる10T区間、1LT区間に他の列車がないことを10T、及び1LTの軌道継電器が動作していることでチェックする。転てつ制御回路で接近鎖錠がかかっていないこと(AS継電器動作)、10T区間に列車がないこと、1Lの場内信号機のを扱ったことにより転てつ器「10」を1LT方向に転換する。

転てつ器が完全に転換し鎖錠したことでもって転てつ表示回路の10KR継電器を動作させ信号制御回路の1LZ継電器を動作させる。1LZ継電器が動作したことで接近進路鎖錠回路の、AS、及びMS継電器を落下させ、転てつ制御回路の電源を切り、他線からの列車の進入を防護して最後に信号制御回路の1LH継電器を動作させる。これにより1L場内信号機に進行信号を現示する。

このようにフェールセーフの原則に基き接近進路の鎖錠回路の継電器が必ず無励磁になったこと、及び確実に転てつ器が転換して機械的に鎖錠が終り絶対に転てつ機

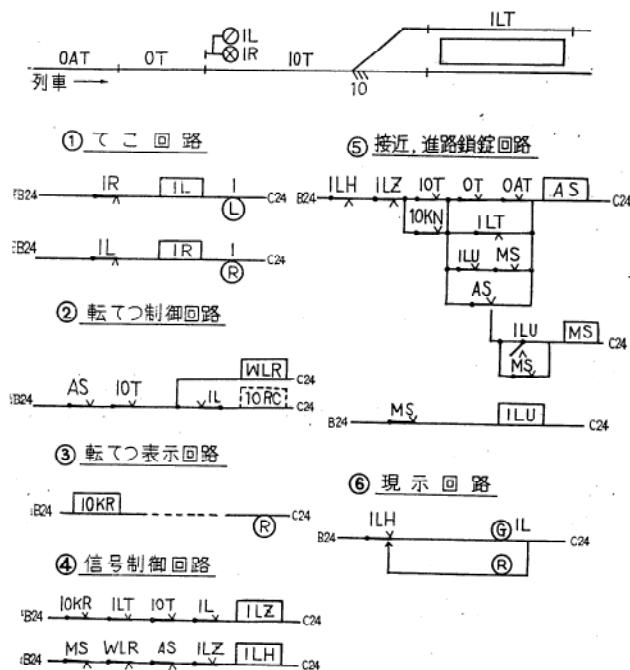


図7 継電運動回路の1例

が動かないことを確かめた後信号現示回路を構成するわけで、列車の進路については一旦信号てこを扱おうと、二重にも三重にも防護しているのである。

以上現在の信号回路のフェールセーフと考えられる二、三の例をあげて極く簡単に鉄道信号のあり方について説明したが、これらも過去の苦い経験から生まれたもので、信号回路独自の立場をきづいて来たわけである。

而し信号回路が完全にフェールセーフであるかということであるが、決して完全に満足しているとは答えられない。例えば継電器の落下不能、接点の溶着が起った場合はフェールアウトになる。

信号用継電器は接点の材料、構造等に特別な方法がとられているので非常に信頼度の高いものであることは確かであるが、而し過去には落下不能、接点溶着等により悪質な事故を起していることも事実である。

回路設計を如何にフェールセーフに考えても使用する継電器、電線、転てつ器等材料の信頼度が高いものでなければ設備としてはフェールセーフを満足しないわけである。

さきにも述べたように鉄道信号にも情報伝送技術、自動制御技術等が導入され従来からの信号保安装置を中央で一括制御しようとする傾向にある。これらの新しい技術には当然エレクトロニクスの分野が大巾に必要なって来ることは明らかである。又エレクトロニクスの分野を好むと好まざるとにかかわらず取入れなければ大きなシステムの構成は不可能といえる。

而しエレクトロニクス回路の回路素子であるトランジスタ、ダイオード等の半導体素子がそれ自体の固有の性質として従来からのフェールセーフの原則に合わないということが大きな問題である。

これを如何なる形で解決するかということであるが、従来のフェールセーフ的な考え方をした場合実用化が困難であると考えざるを得ない。

従って系全体としての信頼度を向上する以外には手はないわけである。

現在この対策としては部品の信頼度を高めることは勿論、系を多重化する方式がとられている。

例えば2台の装置の動作が一致したときだけ制御命令を出すやり方である。ところがこうした場合どちらかが故障しても系の機能は停止し、逆に故障率が倍になり、かりにフェールセーフであっても使用効率が著しく低下することになる。現在のような高密度の運転区間に適用する場合は相当安定した装置でないと大混乱を引起すことになり、輸送能率の向上を目的としたことが逆の結果をまねくことにもなりかねない。

いずれにせよこれからの信号技術は、従来からのフェールセーフの概念を基礎にして、信頼性の向上という問題を中心にして発展して行くものと思われる。

以上極めて断片的な、簡単な説明に終わったが、今後の信号保安設備の進み方によって鉄道の価値判断がなされると云っても決して過言ではない。列車運転の近代化、運用の妙味は一つにかかって信号設備の進歩に帰せらるべきであると云える。信号技術者は往々にして従来からの殻にとどもり新技术に対して排地的であったが、今や門戸を開き勇敢にエレクトロニクスの技術の導入に立向わなければならない。