

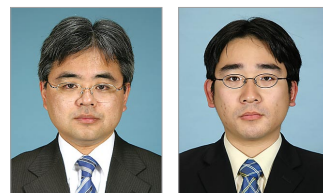
踏切を効率よく制御する

平栗 滋人

信号通信技術研究部
(列車制御研究室 室長)

水野 健司

前 信号通信技術研究部
(列車制御研究室 研究員)
(現(株)京三製作所)



ひらぐり しげと みずの けんじ

はじめに

踏切は鉄道交通と道路交通とが交わる地点であり、両者が安全に通行できるように、警報機やしゃ断機などの踏切保安装置が設けられています。これらの装置には高い信頼性と安全性が要求されるため、その基本的な設計には他の信号保安装置と同様な考え方が反映されています。一方、踏切を列車が通過する際は、道路側の交通をしゃ断することで安全を確保していますが、この時間を適切に制御することも必要です。特に、近年は、列車本数の増加などに伴い、大都市圏などで警報時間が延びる場合があります。開かずの踏切として取り上げられることも多くなっています。

ここでは、踏切保安装置が整備されてきた経緯を簡単に紹介した後、踏切保安装置の構成や制御の基本的な方法について述べます。さらに、将来の踏切制御方法に関する研究事例を紹介します。

踏切保安装置整備の経緯

日本に鉄道が開業した当初は、通常は鉄道側をしゃ断しておき、列車が通過するときに開通させる方式や、逆に通常は道路側をしゃ断しておき必要に応じて開通させる方式などが使用されていたようですが、1920年代半ばに現在と同じように列車が通過する時に道路側をしゃ断する方式が定められました。また、1930年代半ばには、現在の警報機の原形ともいえる仕様が定められました。しかし、当時は交通が頻繁な踏切には、終日、あるいは一定時間、監視要員を配置することとされていました。例えば、1933(昭和8)年の資料によれば、国鉄の東京鉄道局管内(当時)で警報機が設置された踏切はわずかに3%程度であり、その内の多くは、監視要員も併せて配置している状況でした。ちなみに2009年現在では、警報機としゃ断機を備えた第1種踏切が88%、警報機だけの第3種踏切が3%となっています。

第二次世界大戦後、鉄道における列車長の増大や速度の

向上、あるいは運転間隔の短縮に加えて、自動車交通の著しい発達もあり、踏切安全対策の強化が求められるようになりました。1950年代からは、警報機やしゃ断機の整備がより積極的に進められるようになり、現在に至る制御方式の基本もこの頃に確立されたようです。

その後、第3種、第4種踏切(警報機、しゃ断機がない踏切)の第1種化、立体交差化、障害物検知装置の導入などの施策や、踏切保安設備自体の機能や信頼性の向上などの改良に関する取り組みが実施されて現在に至っています。

踏切保安装置の概要

踏切保安装置は警報灯や警標、スピーカなどで構成される警報機、しゃ断機などの装置で構成されています(図1)。これらは、踏切を通行する際に目にするように、列車の接近を検知すると警報灯の点滅と警報音の鳴動によって注意喚起を行うとともに、しゃ断かんを降下させます。

万一、列車接近時に踏切内に人や自動車を取り残された場合や、何らかの支障物がある場合などに支障報知用ボタンを扱うと、特殊信号発光機などによって異常の発生を列車乗務員などに伝えます。



図1 踏切保安装置の例

また、障害物検知装置が設けられる踏切も最近では増えてきています。障害物検知装置は、踏切内に赤外線のリレーを張り巡らせ、これが遮られることで検知するもの(図2)、あるいは、踏切内の地中にループコイルを埋設して電流を流しておき、自動車がこの上を通過するときの電磁気的な作用による電流の変化を検出することを利用するもの(図3)などがあります。最近では、上部からレーザーレーダを走査し、踏切内で3次元的に障害物を検知するものなども開発されています。

特殊信号発光機は支障報知用押ボタンが扱われた場合や、障害物検知装置で異常を検知した場合に、赤色灯点滅に

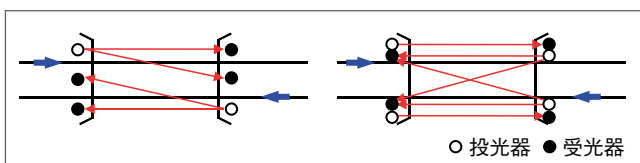


図2 赤外線式障害物検知装置のビーム配置の例

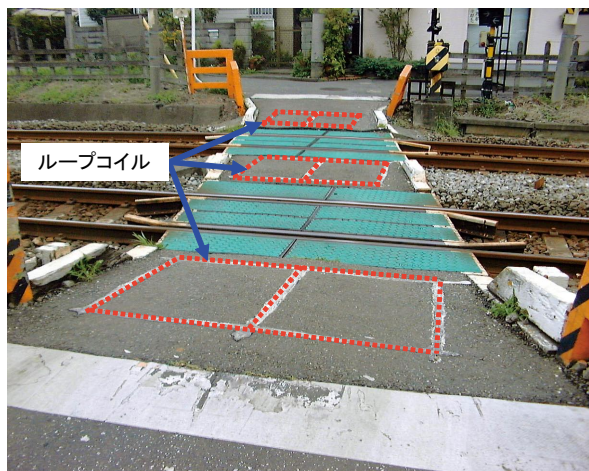


図3 ループコイル式障害物検知装置の設置例

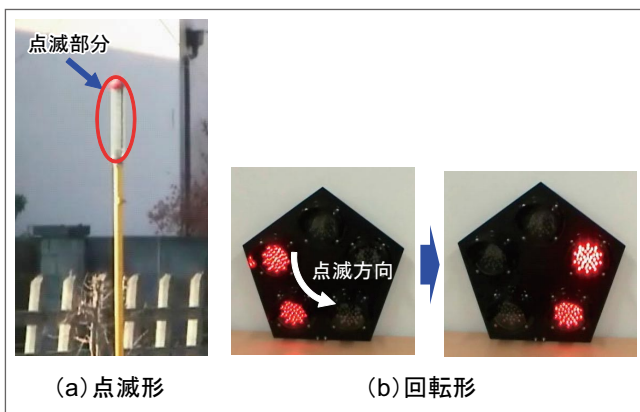


図4 特殊信号発光機

よって列車乗務員に異常発生を通知するもので、点滅形と回転形(図4)があります。これらは、踏切の手前800mから視認できることを基本として設置されています。

踏切保安装置の制御

踏切保安装置には信頼性や安全性を確保するための様々な技術が適用されています。

警報制御を正しいタイミングで行うためには、列車が接近していることと、通過し終わったことを確実に検知する必要があります。列車の接近検知は、列車速度などを考慮して適切な警報時間を確保できる位置で行う必要があります。これに関して、国土交通省の「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」では、警報開始からしゃ断動作終了までの時間は10秒以上、しゃ断動作終了から列車到達までの時間は15秒以上と定められています。

踏切制御用の列車検知の方法としては、信号機の制御などでも使用されている軌道回路による連続制御式(図5)と踏切制御子を使用する点制御式(図6)に大別されます。

軌道回路は他の信号保安装置でも広く使用されているものと基本的に同じです。多くの場合、信号制御用の軌道回路とは異なる周波数の電流を使用する、踏切制御用軌道回路を重畳して使用します。

一方、踏切制御子は列車検知の原理は軌道回路と同じですが、検知区間が25m程度と短く、制御の開始地点(始動点)と終了地点(終止点)に、それぞれ設置して使用します。ここで、制御の安全性を確保するため、始動点と終止点には異なる構成の制御子を使用しています。この概要を以下に示します。

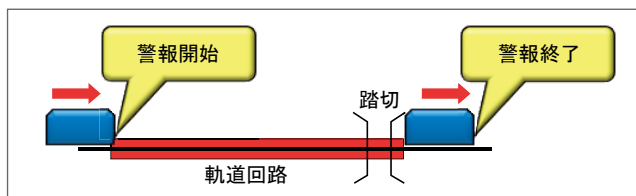


図5 連続制御式概念

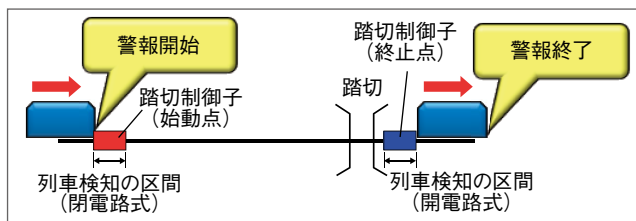


図6 点制御式概念

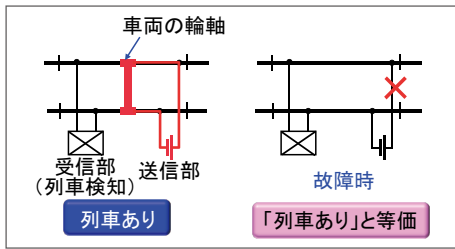


図7 閉電路式の原理

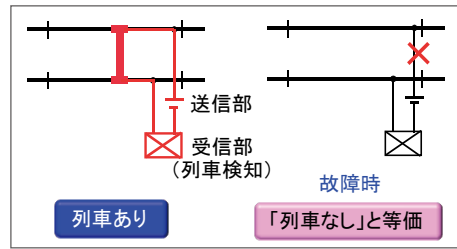


図8 開電路式の原理

始動点には、閉電路式(図7)という構成の制御子を使用します。閉電路式は一般的な軌道回路と同じ構成で、列車が在線する場合には、レール間が車両の輪軸で短絡されることで、受信側の検知装置(リレー)への入力電流が断たれ、この状態によって「列車あり」を検知します。つまり、装置に故障が発生した場合には、列車ありと同じ状態に遷移することで安全側の制御(信号機の停止現示など)を行うことができるフェールセーフな構成となっています。ちなみに連続制御式の場合には、閉電路式の軌道回路を使用します。

ところが、閉電路式を終止点に適用すると、故障した場合に列車が通過しているときと同じ条件が成立するため、最悪の場合、誤って踏切の警報を停止させてしまうことが懸念されます。そこで、終止点には開電路式(図8)と呼ばれる構成の制御子を使用します。開電路式は、列車が在線するときだけ、受信側の検知装置に電流が供給され、これによって「列車あり」を検知します。この場合には、故障が発生しても「列車なし」と同じ状態になりますので、誤って警報を停止させてしまうことはありません。

その他の装置における信頼性、安全性技術には以下のようなものがあります。

警報機やしゃ断機は、列車検知条件などに基づいて踏切制御装置が論理処理を行った結果の出力によって制御されます。例えば、駅近傍の踏切では列車検知条件だけでなく、駅構内の制御条件なども考慮しなければならないため、制御論理が複雑になる場合があります。このような制御装置は、他の信号保安装置と同じように、故障時にも危険側の制御状態になることを極力避けることを基本として設計されています。

また、警報音は2つの周波数を組み合わせて発生させることで、冗長性を持たせると同時に、一方の警報音発生回路が故障した場合には音色の変化で、これを検知できるようにしています。また、警報灯を2個1組としていることも冗長化の1つです。

踏切制御装置の電子化

当初の踏切制御装置は制御論理をリレー回路によって実

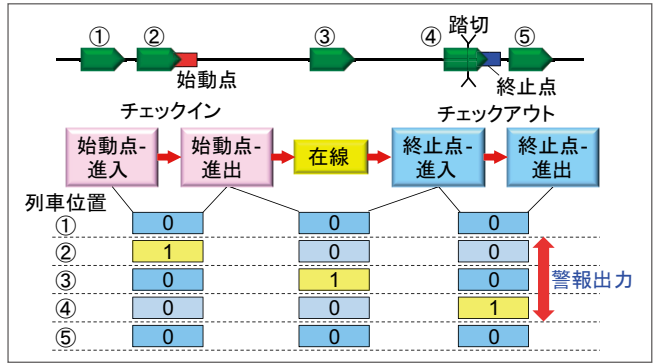


図9 電子踏切制御装置による制御概念

現していましたが、1980年代にはコンピュータ化された電子踏切制御装置が開発されました。

電子踏切制御装置は、制御論理をソフトウェア化することによって、論理の標準化や支援機能により、設計が従来に比べて容易になることや、動作シーケンスの合理性診断などが行いやすくなり、制御の信頼性向上が可能であることなどの特長があります。

点制御式の場合の動作概念は図9に示すとおりです。警報区間内の列車が在線は、論理処理によって連続的な追跡を行います。始動点をチェックイン、終止点をチェックアウト位置とし、列車のチェックイン後は、定められた順序を満足しない限りチェックアウトできず、警報区間内に列車が存在しないと判断できない場合には警報出力を行う論理となっています。

警報時間の適正化

これまでに述べた制御方法は、列車がある位置に到達した時点で警報を開始するものです。ところが、実際には様々な速度の列車が走行するため、速度の低い列車が通過する場合には、警報時間が延びる場合があります。

この対策として、車上から地上へ列車種別情報を送信し、これに応じて警報開始タイミングを判断する方式の適用事例があります。列車種別として、特急や普通などの情報を送信するものや、駅近傍の踏切で通過/停車の情報を送信するもの、情報伝送の手段としてATSと同じような共振周波数を利用するもの、ATS-Pで使用されているような

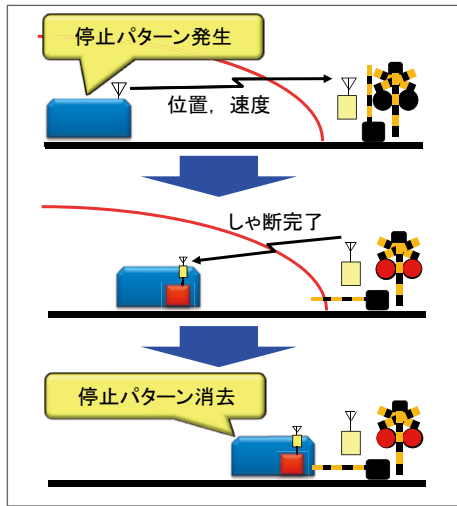


図10 無線列車制御での踏切制御

トランスポンダを使用してデジタル伝送を行うものなど、幾つかの種類があります。

将来の踏切制御

1980年代半ばから鉄道総研のCARATやJR東日本のATACSなど、無線を使った列車制御システムの開発が行われ、その実用化が予定される段階になっています。無線列車制御システムでは、連続的に列車の位置や速度を把握することができるため、これを利用することで列車速度や位置に応じた警報制御を行うことができます。図10に示すように、踏切手前に停止できるパターンを発生し、地上からしゃ断完了を受信することでパターンを消去します。万一、警報制御が正しく行われなない場合には、列車は踏切手前に停止することになります。このような制御によって、より効率的で保安度の高い踏切制御の実現が期待されます。

ここでは、無線列車制御システムを前提とした、将来の踏切制御と警報時間に関する検討事例を紹介します。

無線列車制御における踏切制御方式を考える場合、①定められた必要な警報時間を確保すること、②列車が踏切手前の停止パターンに到達する前に、踏切のしゃ断が完了する(不要な減速を回避するため)ことの2つを満足する必要があります。警報開始のタイミングは、列車の速度、位置に応じてこれらの条件を考慮して決定します。これには、列車が踏切に到達するまでの所要時間を予測する必要がありますが、最も安全側を考慮すると、ある時点から列車が最大加速をしたと仮定することになります。図11には、ある前提の下での、列車位置、速度と警報開始地点との関係を示します。

このような制御を行った場合の踏切警報時間を評価した一例を図12に示します。一般的には、最高速度で必要な警報時間を確保できるよう設備を設計するため、低速域で

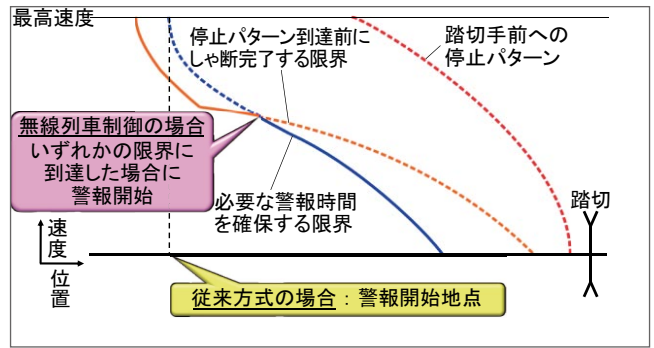


図11 無線列車制御での警報開始タイミングのイメージ

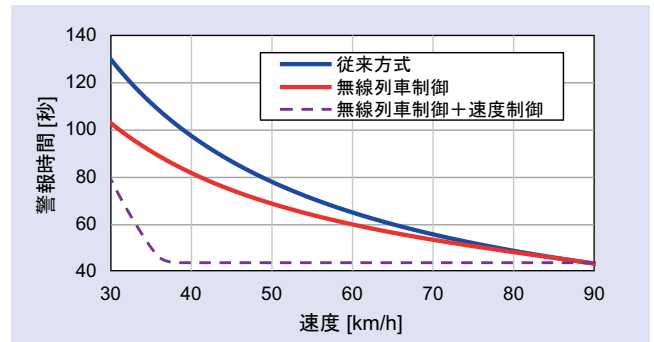


図12 無線列車制御での警報時間の評価例

は警報時間が延びることになりますが、無線列車制御での踏切制御を行った場合、この領域での警報時間が短くなっていることが分ります。ただし、先に述べたように最大加速を想定して警報開始タイミングを決定していますので、低速になるほど、警報時間が延びる傾向にあります。

これを回避するためには、列車走行自体を積極的に制御して、実際の走行と安全を見込んだ予測とのズレをなくすことが考えられます。図12の破線はその一例として、踏切手前で一旦減速し、加速しながら踏切に接近する場合を評価したものです。このような制御の実現には、様々な課題があることは事実ですが、今後、用途に応じてこのような考え方の適用を検討していきたいと考えています。

おわりに

踏切保安装置の基本的な制御の考え方、および将来の踏切制御に関する検討事例を紹介しました。

今後の列車制御システムの高度化に合わせて、更なる安全の向上と効率的な踏切制御の実現に取り組んでいきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 信号保安協会編：鉄道信号発達史，1980
- 2) 我が国における鉄道信号及保安装置の現況，信号，vol.6，No.1，1933