

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

信号制御の論理的つながりを自動作成する

駅構内には多くの信号機が設置されていますが、信号機間において列車が同時に進入できる場合とできない場合があります。また、進入可能とするには信号機の進路上の転てつ器は目的の方向に転換されていなければなりません。このように、信号設備間は互いに関連し合っ動作していますが、直接的につないで制御することは難しいので、制御装置を介して間接的につないで制御しています。制御装置の制御を決定するためには、信号設備間の論理的つながりを明確にすることが必要です。線路配線図において関連のある信号設備間を自動的につなぎ、制御装置の制御論理を自動作成するシステムについて紹介します。



関根 俊
Satoshi Sekine
信号・情報技術研究部
列車制御研究室
主任研究員
[専門分野] 鉄道信号

信号機の制御

信号システムにおいて、代表的な設備が“信号機”です。信号機には、さまざまな種類がありますが、最もなじみのあるのが、赤(R)、黄(Y)、青(G)を表示する色灯式信号機です。道路交通信号機もこの3色を用いますが、色の意味するところは異なり、鉄道信号機では列車進入時の上限速度を示します。ところで、信号機は、“自動信号機”と“半自動信号機”という分け方があります。

自動信号機は操作者の取り扱いを必要としない信号機であり、駅間に設置される“閉そく信号機”がこれに相当し、列車の在線によってのみ制御されます。図1に自動信号機の制御回路の概念図を示します。信号機から列車の進行方向反対側の信号機に対して、

レールを導線として電流を流し、リレー(参照)で受電します。この回路を“軌道回路”といいます。線路上に列車が在線すると、電流が遮断されてリレーの電磁石が非励磁となることで、信号機間に列車が在線していることを確認できます。自動信号機に用いる軌道リレーは、軌道回路に流す電流の極性を変える(+と-を反対にすること)で、自分の信号機の内側の列車在線情報を伝えることができます。これにより、軌道回路による送電のみで、信号機に3つの状態(停止R、注意Y、進行G)を表示することができます。

半自動信号機は、操作者の取り扱いを必要とする信号機で、駅構内に設置します。駅構内では、途中に分岐が存在していたり、反対方向からの信号機が存在していたりしますので、いずれ

リレー

On/Offスイッチとこれを動作させる電磁石からなります。その名が示す通り元々は、スイッチのOn/Off情報を遠隔地まで伝達するために途中で中継する必要から発明されたもので“継電器”とも呼びます。

複数のリレーのスイッチ(接点)を直列や並列、あるいはOffで通電とすることにより、AND,OR,NOTといった論理回路を構築することができます。時素を付加したり、信頼性を高めたり、さまざまな種類のリレーが存在します。

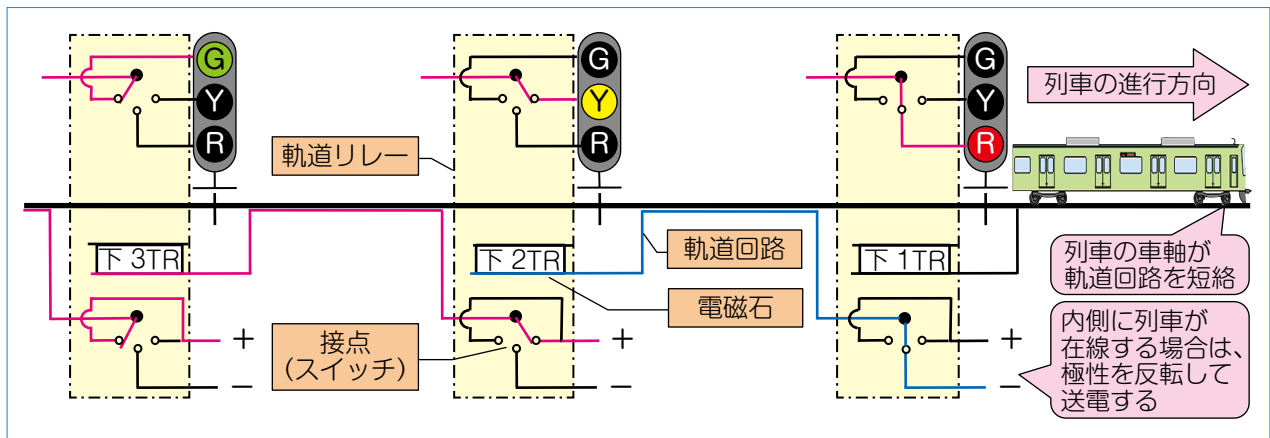


図1 自動信号機の回路概念図

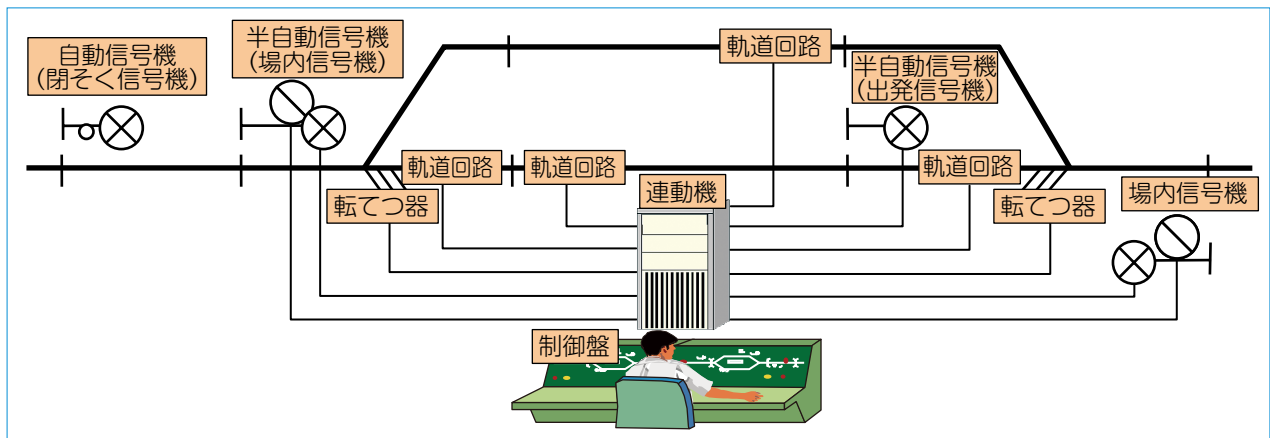


図2 連動装置の構成概念図

かを選択するために取り扱いが必要となります。その際、競合する信号機を同時に設定しないようにしなければなりません。これらの操作を人間の注意力で行っていたのでは、安全や効率の面で課題があります。このため、信号機の操作を危険側に誤ったときに、列車が進入可能とならないように制御する仕組みとして、“連動装置”が古くから開発されてきました。

信号設備間を概念的につなぐ

信号機の制御の基本は、進路内に進入可能な状態にあるかを判定することです。自動信号機では、内側の1軌道回路の状態を把握していれば判断できますが、半自動の信号機では、複数の軌道回路が存在し、転てつ器の開通状態も把握しなければなりません。また、

軌道回路や転てつ器を複数の信号機により共有します。自動信号機のように信号機と軌道回路を直接的に接続すると複雑となるため、図2に示すように、駅構内の全ての信号機、転てつ器、軌道回路を連動機によって間接的に接続し制御します。これらの構成全体を連動装置といい、信号設備の配置は駅毎に異なることから、その動作は信号設備間の関連に大きく依存します。

信号設備間の相関関係を明確にするために、信号機と転てつ器間、信号機と信号機間、信号機と軌道回路間などの関連を“連動図表”として記載します。連動図表は、信号設備の配置に大きく依存するため、“線路配線略図”と“連動表”の組み合わせで作成します。この作成によって、連動装置の動作を決定づけるため、鉄道事業者に

にとって最も重要な作業となります。鉄道総研では、この作業を半自動的に支援するシステムを実用化しています¹⁾。システムのコンセプトとしては、線路配線略図に基づいて、連動表を自動的に作成しようとするものです。しかし、連動表の作成には、線路配線略図以外にもさまざまな要素があり、それらを事前に一括入力しておくことは現実的でないため、いくつかの作成工程の中で段階的に自動生成の実行・修正を行いながら完成させていくシステムとしています。

自動生成を実現するに当たって、最も基本となる条件は、線路上で隣接する信号設備の接続関係です²⁾。自動信号機では隣接する軌道回路との間で直接的に接続されていましたが、半自動の信号機では連動機を介して間接的に

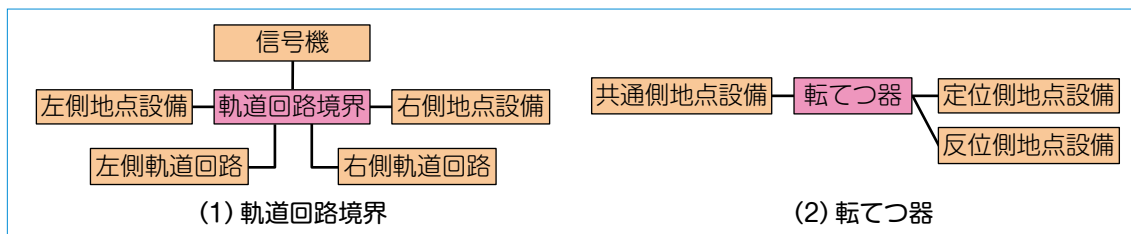


図3 線路上地点設備の概念的接続関係

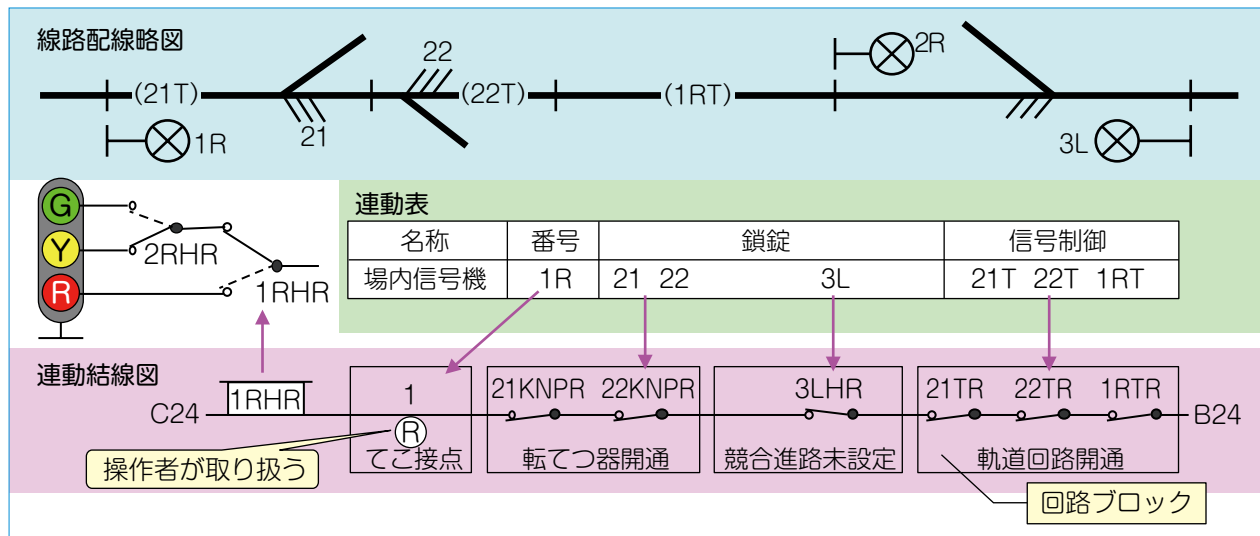


図4 連動結線図と自動作成手法の概要

接続されているため、図3のように概念的な接続関係を構築します。図3(1)において、軌道回路ではなく、軌道回路境界を中心に表現しているのは、転てつ器とともに地点に存在する設備(“地点設備”と呼ぶ)により列車の走行路を明確に把握できるためです。これらの接続関係により、駅構内信号設備のネットワークが構築されます。このネットワークを自動的に探索することにより、信号機の進路を自動作成し、進路上の転てつ器や軌道回路との関連を自動作成できるようになります。開発したシステムにおいては、カスタマイズした市販CADで作成した線路配線略図から信号設備間のつながりを自動作成することができます。

リレーのつながりによって論理回路を構築する

信号装置の制御は、信号機であれば停止か進行か、転てつ器であれば左開通か右開通か、軌道回路であれば在線か非在線かといった2値の論理演算を基本として処理されます。このような処理は、リレーによる論理回路で実現することができます。リレーは、単純な機構ですので、コンピューターが普及する前から発達しました。コンピューターが普及すると、電子連動装置が実用化され、安全性の向上や低コスト化が実現しました。しかし、このメリットは大規模駅であるほど効果が大きいものの、小規模駅ではこの効果が小さくなります。連動装置は、数進路程度の小規模駅から数百進路の大規模駅まで多様なため、全て電子連動装置に置き換えられるわけではありません。また、リレー回路のコンピューターへの置き換えは、PLC(☞参照)による方式とプログラミングによる方式があ

ります。PLCによる方式は、駅毎に設計者がリレー回路に相当する論理式を作成するため、自由度が大きくなり教育上の観点からも有効となります。この方式は、小中規模駅を中心として広く用いられています。以上のことから、リレー回路の役割はこれからも重要な位置づけとなります。

リレー論理回路の設計は、連動結線図として図面に作成します。図4に、連動結線図の概要を示します。なお、作図されている結線図は、説明のために簡略化されており、実際とは異なります。連動図表と連動結線図の対応関係は、標準結線図として定められており、原理的には機械的に作成できますが、連動装置の形態は駅毎に変化しますので、極めて労力がかかります。このため、連動図表から連動結線図を自動作成するシステムの開発にも取り組んでいます³⁾。連動図表が図から表を作成するものでしたが、連動結線図は表から図を作成するものであり、自

☞ PLC

Programmable Logic Controllerの略であり、リレー回路の論理をコンピューターによって処理する制御装置です。

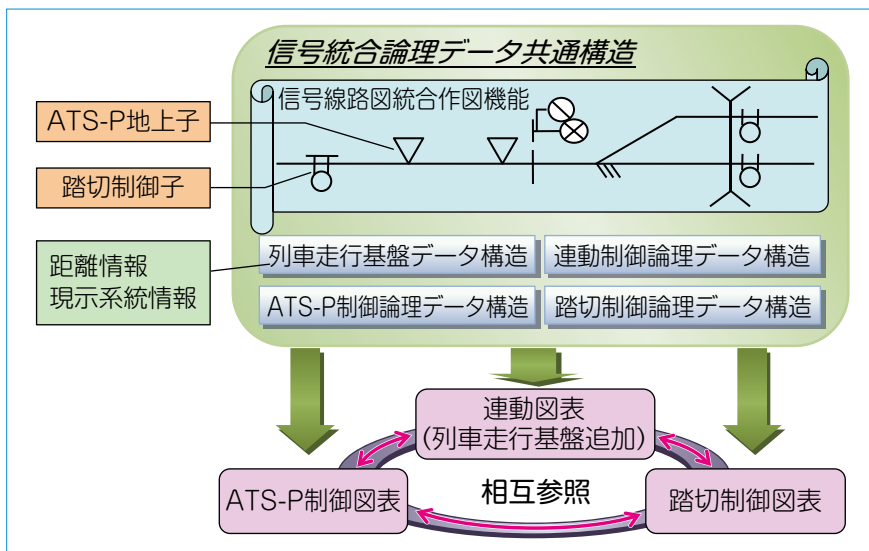


図5 信号統合理論設計の概念図

動生成の難易度は高くなります。また、標準結線図は、事例集的に作成されているため、コンピューターが処理できるように対応関係を論理的に明確に定める必要があります。そこで、標準結線図をリレー接点の単純な直列や並列で表される回路ブロックに分割して連動図表との関連を定義し、この回路ブロックによって全体回路を定義しました。これにより、回路ブロック内において、連動図表からリレー結線論理への変換が行われ、これらが全体回路として接続されていることから、結果的にリレー論理回路のネットワークが構築されます。次に、図面に出力するために、リレー回路のネットワークを自動探索して、直列回路のリレー接点間の間隔や並列回路の上下間隔を自動的に決定して作図位置を特定します。

異なる信号装置間をつなぐ

これまで、連動装置について述べてきましたが、信号システムには踏切制御装置やATSなどさまざまな装置があります。これらの装置は、密接に関連して動作します。例えば、踏切においては、列車の接近を検知して鳴動を開始しますが、駅構内付近に存在する踏切道の場合、列車が踏切道に進入するか否かの判断が必要となります。

そのために、連動装置の開通進路の照査を行います。ATS-Pにおいては、連動装置の出力する信号機の現示によって走行可能距離が決定されますが、逆にATS-Pの防護パターンを生成することにより、連動装置の過走防護の鎖錠が不要となります。さらには、ATS-Pと踏切制御装置の関係では、ATS-Pの防護パターンの生成により、踏切の定時間調整を実現しています。

これらの制御条件は、連動装置の連動図表と同様に、制御図表に作成します。鉄道総研では、連動図表作成支援システムを踏切制御やATS-Pに拡張して、統合的に支援するシステムの研究を行いました(図5)⁴⁾。線路配線略図から制御表を自動生成するという方針に準じて、追加される設備を見出すと、踏切制御は踏切制御子、ATS-Pは地上子のみとなります。しかし、連動装置の制御には不要であった距離情報や信号現示系統情報を、新たに追加することが必要です。距離情報は、信号機や軌道回路にキロ程を設定することにより、その差分から求めることができますが、キロ程が線路別に不連続になることがあり、補正が必要です。そこで、線路上で隣接する信号設備間に補正値を設定することにより、信号設備間の距離計算において、信号設備のネット

ワークを探索して補正値を自動的に取得できるようにしました。信号現示系統については、内外方の信号機の組み合わせを、信号設備のネットワークを探索することにより自動的に取得するとともに暫定的な自動作成を行うことにより、作業を効率化することができます。

実際の制御図表の作成は、同時並行的に進めるのではなく、基本的に連動図表を先行するため、データを統合することはできません。そこで、全ての制御図表のデータ構造を統合して、作成すべき種類の制御図表にモード切替するようにしました。これにより、開発コストを低減するとともに、異なる図面間の相互参照が容易となり効率的な支援が可能となります。

おわりに

鉄道信号は、広範囲の設備が直接的概念的に複雑につながれており、つながりそのものが制御論理に深く関係しています。これらのつながりは、駅毎に異なるため、個別の設計が必要となり、しかも安全性に直結することから、設計者にとって極めて負担のかかる作業となっています。システム化により、ある程度自動化が進みましたが、まだ改善の余地がたくさん残されています。今後も、ご要望に応えられるように努めていきたいと思ひます。[RRR]

文献

- 1) 関根俊, 関根徳治: 連動図表作成支援システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.18, No.7, pp.27-32, 2004
- 2) 関根俊, 奥谷民雄: 連動図表における配線略図の電子的表現法の研究, 電気学会論文誌, Vol.125-D, No.7, pp.729-737, 2005
- 3) 関根俊: 連動図表から結線図を自動生成するシステムの開発, 鉄道総研報告, Vol.25, No.5, pp.29-34, 2011
- 4) 関根俊: 信号保安装置論理設計の統合的システム化手法, 鉄道総研報告, Vol.27, No.9, pp.11-16, 2013