

連動装置の制御論理を可視化する



せきね さとし

関根 俊

信号通信技術研究部(列車制御 主任研究員)

はじめに

連動装置は、列車を駅構内に進出入させるために信号機や転てつ器を自動的に制御するものです。この操作を人手で行うと、大変な作業量となるばかりでなく、操作ミスがあると重大な事故を引き起こす恐れがあります。安全に関わる装置の自動化は、人手を減らすだけでなく、安全性を確保することが大きな目的となっています。しかし、自動化すれば完全だとはいえません。自動化の仕組みは人間が作成するものであり、人間は誤りを冒すという前提に立てば、自動化の仕組みも誤る可能性があるからです。このため安全装置では、複数人による厳密な検証が行われます。特に、受注生産的な装置では負担が大きくなります。この

検証を効率的かつ確実に行うためには、仕組みが単純で明確であることが必要です。

連動装置は駅毎に線路線形や信号設備設置方法が異なるため、受注生産的に製作されますので、駅毎の設計が必要です(図1)。設計方法は確立されており、駅毎の制御条件を記述した“連動図表”の作成が必須となっています。さらに、継電連動装置と結線入力式の電子連動装置では、制御論理を記述した“連動結線図”を作成します。これらの作成は、安全上極めて重要ですが、人手に頼らざるを得ないために、少ない図面でできるだけ厳密に表現できるように工夫されてきました。

設計のコンピュータ化にあたっては、多くの作業を自動

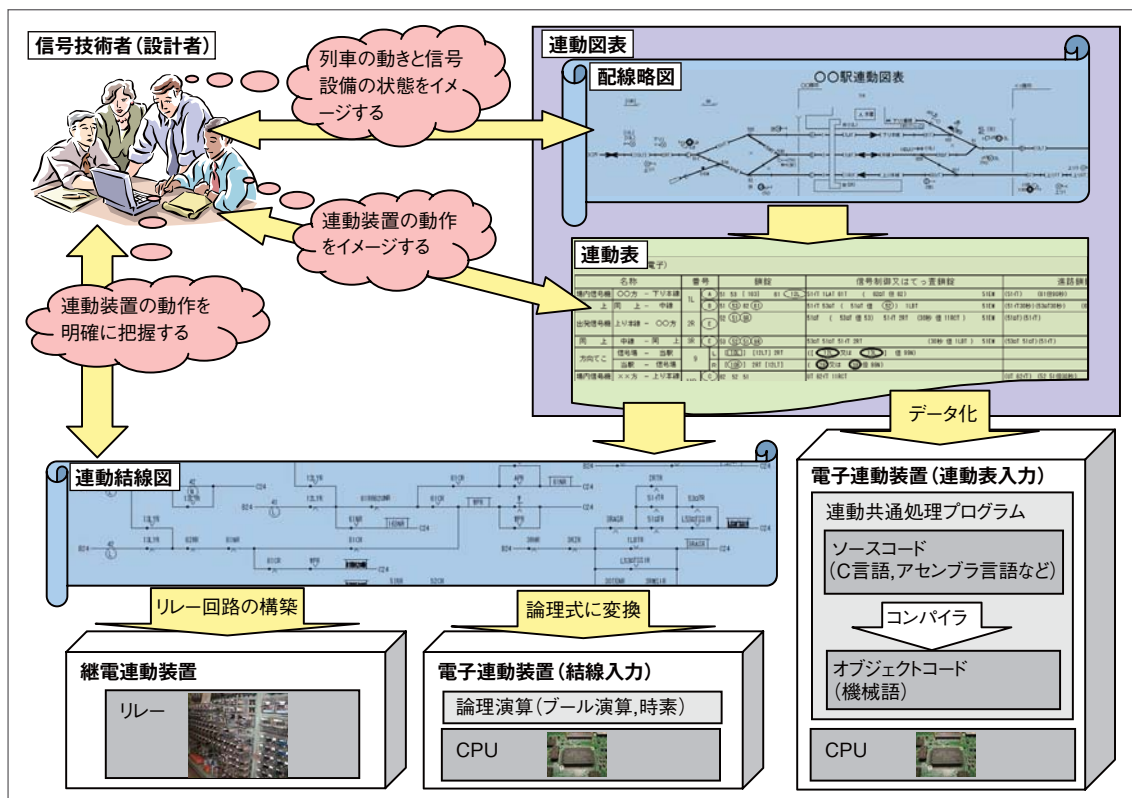


図1 連動装置の種類と設計

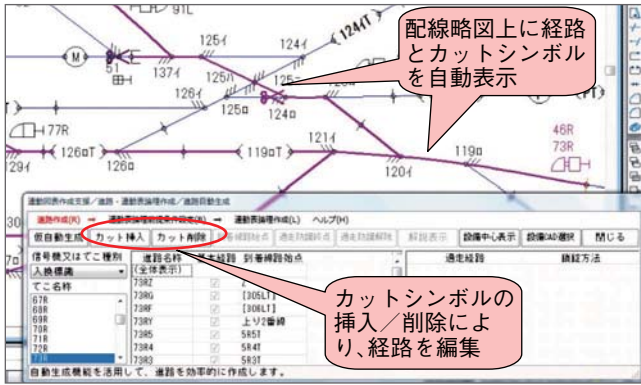


図2 進路作成の可視化

化できますが、作成過程において設計者の判断が不可欠であり、設計図面を全体的に見渡すことも必要です。このため、従来から行われてきた連動図表と連動結線図の作成を踏襲し、設計者を支援するという立場からシステム開発を行い、作成過程における自動化と様々な情報自動表示を実現しました¹⁾²⁾³⁾。ここでは、開発したシステムを制御論理の可視化という観点から、ご紹介します。

連動図表によって制御条件を可視化する

連動図表は、線路線形や信号設備の設置状態を作図した“配線略図”と連動装置の制御条件を表に記述した“連動表”からなります。設計者は、この連動図表を見て、列車の動きと信号設備の状態や、そのときの連動装置の動きをイメージします。そこで、設計者がイメージしている概念をシステムによって可視化することを試みました。

配線略図上に制御条件を自動表示

人間がイメージしやすいのは、図形的な表現と、目に見える動作です。配線略図は、現実の線路を図形的に表現したものであり、列車の動きや信号機の現示変化など動作がイメージしやすくなっています。連動表は、連動装置の制御条件を記述しますが、文字が羅列的に表現されますので、イメージしにくくなっています。このため、設計者は配線略図と連動表を頻繁に見比べながら設計を行います。そこで、システムにおいては、連動表の制御条件をできるだけ配線略図上に表示するようにしました。例えば、進路がどの線路上をたどるのかは、連動表の転てつ器の開通方向で読み取り、これを配線略図上に反映しなければなりません。システムにおいては、図2のように、発点となる信号機から設定されている経路を自動表示し、分岐点では経路のない線路上にカットシンボルを自動表示します。経路の修正を行う場合は、カットシンボルの挿入や削除を行うことにより、経路の削除や探索が自動的に実行されます。

また、図3には、制御条件の解説を自動表示する機能を

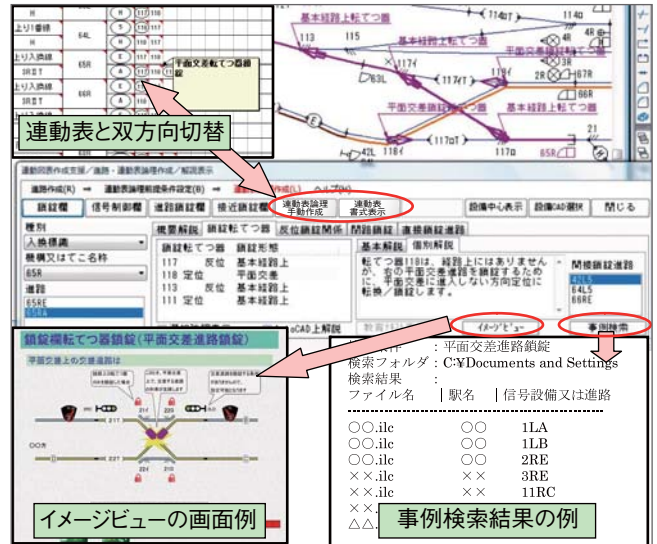


図3 連動表論理解説表示機能

示しています。この中で、図3右上において、転てつ器の鎖錠方向矢印や、引出線による鎖錠形態を、配線略図上に自動作図している例を示しています。

様々な方法により制御条件を自動解説表示

配線略図上に情報表示するだけでなく、下記のように、様々な方法で制御条件の自動解説表示を実現しています。

- (1) 図3中央のメイン画面において、制御条件データを一覧表示し、その右側に解説文章を自動表示します。
- (2) 図3左上の連動表上で制御条件の解説を引出線により自動表示します。また、個別のデータを図3中央のメイン画面との双方向表示切り替えが可能です。
- (3) メイン画面のイメージビューボタンを押下することにより、図3左下に示す画面によってアニメーションによる解説を起動します。
- (4) メイン画面の事例検索ボタンを押下することにより、図3右下に示すように、他の連動図表を検索して事例を表示します。

連動結線図によって制御論理を可視化する

連動図表の作成によって、連動装置の機能はほぼ決定されますが、動作を実現するための仕組みが必要となります。連動装置は、図1のように、制御方式により大きく3種類に分けられます。連動表入力式の電子連動装置では、連動制御を共通化したプログラムが組み込まれており、連動表をデータ化することにより制御が実現します。

一方、継電連動装置では、リレーと呼ばれる電磁石とその接点により回路を構築します。これを“有接点シーケンス制御”といいます。結線入力式の電子連動装置では、リレー回路をコンピュータにより論理的に処理します。これ

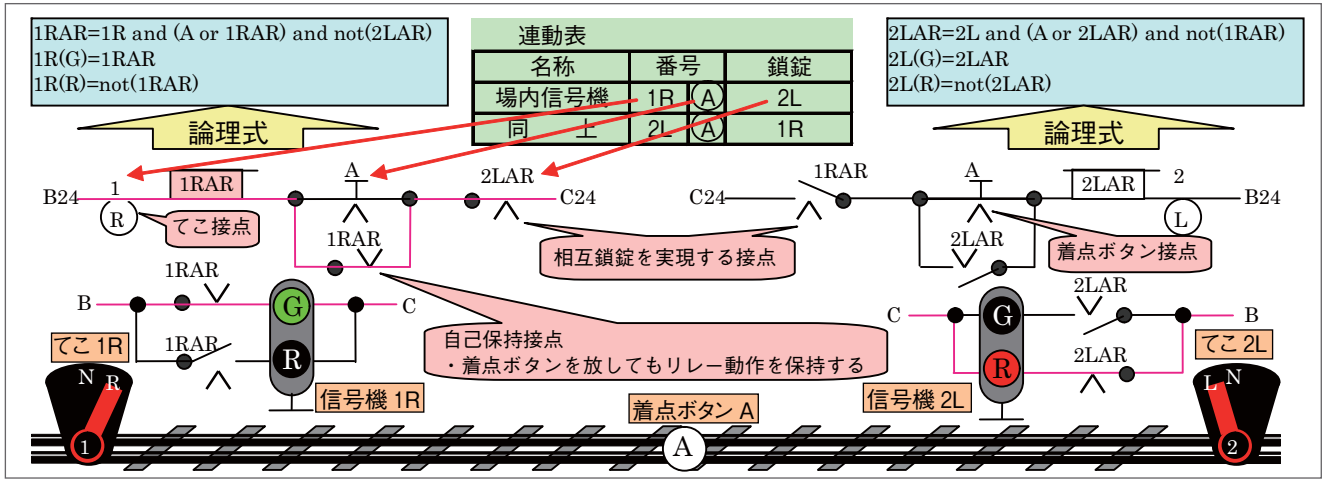


図4 連動装置の制御回路の単純構成例

を“論理シーケンス制御”といいます。

結線図は原理的に単純で論理的に厳密で図形的

シーケンス制御では、連動結線図の作成が必要となり、連動表入力方式よりも設計の負担が増えますが、単純な原理で動作するため、内部論理が明確に把握できるメリットがあります。図4に、シーケンス制御の単純な制御回路を示します。図4上中央の連動表に従って、1Rのてこを反位に設定して着点ボタンAを押下し、対向となる2Lの進路が設定されていなければ信号機1Rに進行を現示します。結線図で表すと、1RARリレーが動作すれば信号機の進行電球(G)に電流が流れ点灯します。逆に、動作していなければ停止電球(R)が点灯します。1RARリレーは、1Rのてこ接点が閉じ、相互鎖錠である2LARリレーが非動作の状態では、着点ボタン接点Aを閉じると電流が流れ動作します。そして、着点ボタンAを放しても、1RARの自己保持接点により1RARの動作が保持されます。このときの導通状態がマゼンタ色で示されています。また、論理シーケンス制御では、この回路を図4上のように論理式に変換して処理します。このように、結線図を用いると、内部動作がイメージしやすいことが分かります。

連動結線図の自動生成

安全に関わる制御では、内部動作が単純で明確に把握できることが重要ですので、その意味ではシーケンス制御方式が優れています。しかし、連動結線図を作成する際に誤るというリスクが存在するために、必ずしも有利とは言いきれません。連動装置には、標準結線図と呼ばれる規定があり、連動図表から連動結線図への変換方法が記されています。しかし、標準結線図は、事例集的であり、このままコンピュータによって変換することはできません。そこで、変換論理を厳密に定義してコンピュータに組み込むことにより、連動図表から

連動結線図を自動生成することを実現しました。なお、標準結線図は、論理面だけでなく、図形としてのデザイン性も考慮されており、これについても再現できるようにしました。

連動結線図の解説自動表示

連動結線図は、読みやすいように図形的に作図されますが、背景となる知識があることが前提であり、システムによって更に読みやすくすることも大切です。そこで、自動生成した結線図に対して、解説を自動表示するようにしました。図5に、解説表示画面の例を示します。図下の画面により、リレーとその接点の情報の表示と解説を行います。結線図では、画面で表示しているリレーや接点をマゼンタ色で表示します。回路の選択は、情報表示画面と結線図上から行うことができます。以下に、画面に表示する内容を示します。

(1) 回路毎のリレー名称と解説

結線図は、進路てこリレー回路や接近鎖錠リレー回路など10程度の回路種別があります。図5下の画面の左のメ

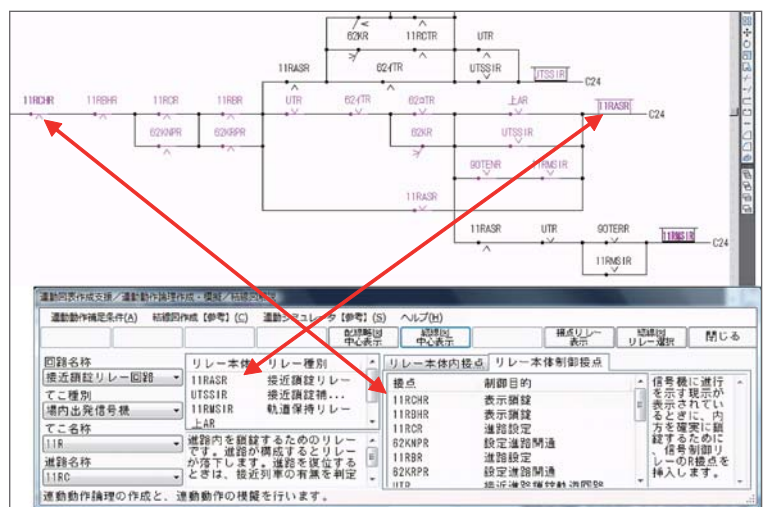


図5 連動結線図解説画面

ニューによって、回路を選択することにより、回路内のリレー名称や接点と、それらの解説を表示します。

(2) リレーを制御する接点とその解説

リレーを制御する接点を一覧表示し、その制御目的を自動表示します。また、接点を制御するリレーの解説に切り替えることもできます。

(3) リレーによって制御される接点とその解説

リレーによって制御される接点をリストし、その制御目的を自動表示します。また、接点によって制御されるリレーの解説に切り替えることができます。

連動装置の動作を可視化する

連動図表と連動結線図の作成によって、連動装置の動作が決定できますが、その動作を実際に見るのは運用が開始されてからとなります。しかし、事前に動作を模擬することにより、人間の目で確認しておくことも大切です。連動装置の動作は、連動結線図の論理をコンピュータによって評価することにより簡単に実現できますが、連動装置を操作する仕組みと、内部動作を人間の目に見えるようにする仕組みが必要です。そこで、配線略図と連動結線図を活用することで、パソコンにより連動装置の動作を模擬し、図6のように、内部動作を自動表示する連動シミュレータ機能を開発しました。

連動装置の操作の模擬

連動装置の操作は、てこと着点ボタンによって行われます。また、列車の位置は、軌道回路によって検知します。てこ、着点ボタン、軌道回路の設備は、連動図表の配線略図に記載されていますので、配線略図のシンボルをマウス

クリックすることで状態を変化させるようにしました。また、軌道回路の状態変化は、列車の動きの結果ですので、列車を配線略図上に発生させ、列車の走行に伴って軌道回路の状態を変化させる機能を作成しました。

連動装置の内部動作表示

連動装置の内部動作は、リレーの動作によって表現することができます。しかし、リレーの動作のみを表示したのでは分かりにくいので、リレーの動作の意味が理解できるようにしました。以下に、その概要を述べます。

(1) 連動結線図上での表示

回路の導通状態とリレー接点の開閉を表示します。

(2) 状態表示画面上での表示

連動装置の内部状態を、進路要求状態、進路開通状態、信号制御状態、進路鎖錠状態に分割して解説表示します。

(3) 配線略図上での表示

てこ位置、信号機の現示、進路鎖錠図、転てつ器の開通方向と鎖錠状態、軌道回路の在線状態をシンボル色変更、文字の追加または変更、図形の追加によって表示します。

おわりに

自動化装置における事故は、大抵の場合、自動といっても必ず存在する人間との接点において発生します。連動装置の場合は、表向きの人間系は進路の設定操作ですが、人間が進路設定ミスを買しても、原理上は事故を防ぐことができます。このため、コンピュータやリレーなどのハードウェアの信頼性を高めれば、安全性を保證できるようにも思えます。しかし、連動装置において最も人間との接点が強いところは、制御論理の設計にあります。設計によって操作ミスを防ぐ仕組みを構築していますので、設計を誤っては元の木阿弥です。設計のシステム化によって、ある程度の自動化は可能ですが、全てを自動化することはできません。人間が誤らない仕組みとして、制御論理を可視化して理解しやすくすること、さらには設計者の技術力を向上させる教育的な機能を組み込むことが大切と考えています。

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: 不確定要素の事前設定による連動図表の効率的自動生成, 鉄道総研報告, Vol.23, No.1, pp.17-22, 2009
- 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.29-35, 2011

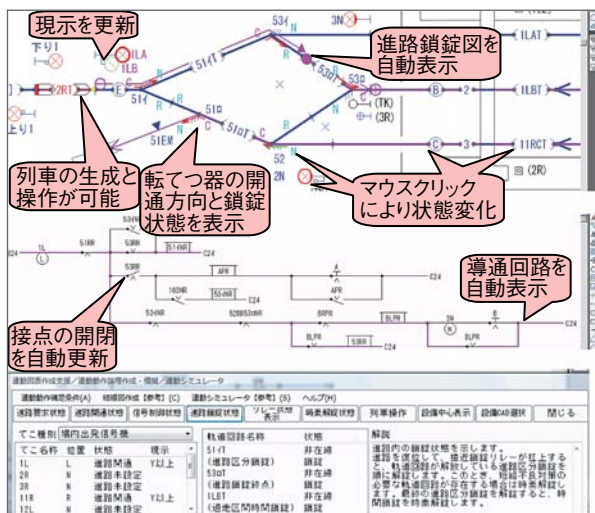


図6 連動シミュレータ機能