

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

関根 俊*

Effective Automatic Generation of an Interlocking Table by Presetting the Uncertainty Elements

Satoshi SEKINE

An interlocking table prescribes movement of an interlocking device, which is different from station to station. It must be prepared precisely, because an accident will be caused if there is an error in the table. We have developed "an interlocking table preparation support system", to reduce the burden of the creator, and to get rid of the error of the interlocking table. Basics of the systematization are to generate automatically an interlocking movement list from a track layout sketch, but it will be difficult to generate the complete interlocking movement list automatically because there are many uncertain elements that are not mentioned in a track layout sketch. In systematization, we clarified these uncertain elements and devised an effective technique to generate the complete interlocking movement list automatically by integrating and presetting these elements.

キーワード：連動図表，連動装置，CAD，エキスパートシステム

1. はじめに

駅構内に進出入する列車に対する信号機や転てつ器の制御は、連動装置によって行われる。駅構内の線形は駅毎に異なるため、連動装置も駅毎に動作が異なる。この駅毎に異なる仕様を記述するのが連動図表であり、これに誤りがあれば、事故を起こす原因となるため、作成には厳密性を期し、入念な審査が行われている。それでも、過去には、連動図表の記載漏れにより、異線進入となった事故も報告されている。

筆者らは、連動図表の作成に当たって、誤りを無くし、作成者の負担を軽減するために「連動図表作成支援システム」を開発してきた¹⁾。配線略図と連動表は、密接な関係があるため、配線略図から連動表がある程度決定できるので、配線略図そのものから連動表を自動生成することを重点的に行ってきた。しかし、実際には配線略図には表現されない条件が多く存在しており、システム化当初では曖昧に自動生成して、後から作成者が修正することとしていた。ところが、再度自動生成を行うと修正箇所もリセットされてしまうため、自動生成の度に修正が必要となる。連動図表の作成過程においては、繰り返し修正することが多く、また改良工事においては複数回切り替えを行い、その度に連動図表を作成するので²⁾、自動生成を確実にして効率化することが望まれていた。

専門家が行っている作業をコンピュータにより実現しようとするエキスパートシステムの研究では、このような暗黙に持つ専門的知識を如何に組み込むかが常にネックとなって存在する。筆者らは、配線略図に記載されない不確定要素を明確化し、連動表自動生成前に集約して最小限の事前設定を行うことで、最終的な自動生成を確実にする手法を考案したので報告する。

2. 連動図表の作成

2.1 配線略図と連動表

連動図表は、配線略図(図1上)と連動表(図1下)からなる。配線略図は、構内配線と信号設備の概略を記述したものである。連動表は、配線略図から進路や転てつ器などを制御するための条件を表形式に記述することによって、連動装置の動作を規定するものである。

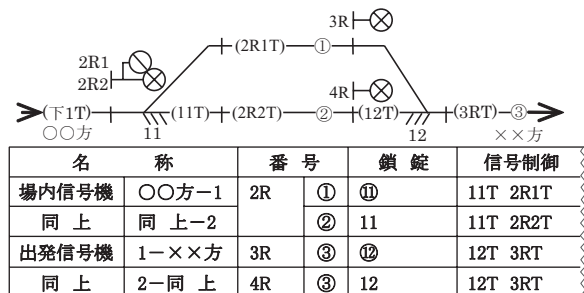


図1 連動図表の例

* 信号通信技術研究部 (列車制御)

特集：信号通信技術

2.2 連動図表作成支援システム

連動図表作成支援システムは、連動図表の作成をパソコンによってサポートするシステムであり、配線略図の作図支援、連動表の作成支援、連動表の出力、連動検査チェック表の自動生成を行うことができる。

配線略図の作図支援は、AutoCADをベースに開発しており、信号機などのシンボルはパラメータ設定により自動構築し、角度などを自動的に補正して図面上に貼り付けることができる。作図後には、線路上のシンボル間の自動接続を行うことで、探索のためのネットワークを構築することができる。

連動表の作成支援は、配線略図上で信号機から到着可能な着点ボタンを探索する進路抽出を行い、その経路から鎖錠欄や信号制御欄などの連動論理を自動生成する。例えば、図1において、2R1信号機に接続している下1T-11T軌道回路境界から、線路上のネットワークを探索し、着点ボタン1までの経路を抽出することで、2R1の進路が特定できる。連動論理については、その経路を調べることで判定する。転てつ器の鎖錠については、11の開通方向から11反位となり、軌道回路信号制御条件については、経路上の軌道回路11T-2R1Tとなる。

3. 不確定な連動論理

図1の連動図表を見る限り、配線略図から自動で決定できるようにも見える。しかし、これだけでも不確定要素が含まれており、現実の連動図表ではより多様化している。不確定な連動論理の分析結果を下記に述べる。

3.1 過走余裕区間鎖錠

場内信号機においては、着点線路内に停止できない場合に備えて、停止目標地点から一般的に100m以内の転てつ器を鎖錠する必要がある。配線略図には、距離情報が記載されていないため、その範囲を特定することはできない。また、転てつ器を直接鎖錠するのではなく、内方進路を反位鎖錠することで過走余裕区間を鎖錠する場合もある他、開通方向の決定も不確定である(図2)。

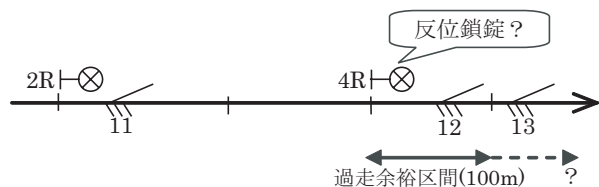


図2 過走余裕区間の鎖錠

3.2 内方信号機閉路鎖錠の信号制御軌道回路

内方出発信号機が閉路鎖錠の場合、駅停止時の停止目標は列車停止標識であるので、閉路鎖錠区間の軌道回路によって信号制御する必要はない。しかし、通過を考慮

する場合、図3のように閉路鎖錠区間に在線する列車を検知しなければならない。このため、通過の有無によって、内方信号機の閉路鎖錠区間の軌道回路を信号制御条件とするかを判定する。この場合も、進路表示機によって振り分けていると、不確定要素となる。

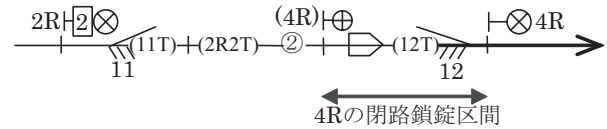


図3 内方信号機閉路鎖錠軌道回路の信号制御条件

3.3 進路表示機表示

1つの機構に複数の進路を現示する場合に、機構の下部に設置した進路表示機によって開通進路を特定する。進路表示機には、進路の開通方向(◁▷)を表示する3進路式と、着点(1,2,3,A,B,C...)を表示する多進路式がある。各進路の表示は不確定要素となっている。

3.4 入換標識(線路表示式)の信号制御条件

入換標識(線路表示式)は、線路表示器に発点及び着点を表示することによって進路の開通を現示するものである。線路表示器は、1つのものでここに拘束されるものでなく、近隣の見通しのきく進路に対して表示を行う。1つの進路が複数の線路表示器に表示する場合もある。

進路と線路表示器の対応関係によって、連動論理の決定に影響を及ぼす。例えば、進路相互において、線形的には並行進路であっても、線路表示器が共通であると、同時に表示することができない。しかし、進路と線路表示器の対応関係は、配線略図からは読み取れない。

また、進路が連続している入換標識(線路表示式)について、同時に進路設定したとき、1つの進路として線路表示器に表示することがある。具体的には、外方側進路に対しては、内方側進路の着点の表示を行い、外方側進路に対しては、外方側進路の発点の表示を行う。このような表示を行うかは、不確定要素である。

例えば、図4において、31R, 32R, 33Lが全て1Kに表示すると、同時には表示できない。このため、ある進路を表示しているときに、別の進路の表示を行えないように制御する必要がある。なお、31Rと32Rのように、進路が連続している場合には、線路表示器への表示を統合して行うことができる。

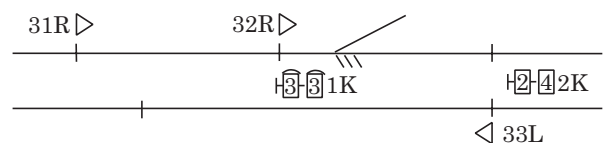


図4 入換標識(線路表示式)の機構共有の例

3.5 現示時素

踏切の鳴動開始点は、列車が最高速で走行した場合に必要な鳴動時分を満たすように定める。駅構内においては、長時間列車が停留する場合があるため、進路が開通していなければ踏切を鳴動させない。進路が開通すると同時に踏切の鳴動が開始するが、同時に列車も発車すると必要な鳴動時分を満たさないことがある。このため、不足分だけ信号機の進行現示を保留し、列車の出発を遅らせる。また、列車が在線していないときにも、時素を刻むと後方信号機の現示アップも遅れるため、在線しているときのみ時素を刻む対策を行う場合がある（図5）。

現示時素の必要性は、信号機シンボルの下側の一部を塗りつぶして示すため、配線略図上から判定できるが、その必要時分は不確定となっている。また、信号機外方の在線検知を行うか、行う場合どこまでの軌道回路を対象とするかが不確定要素となっている。

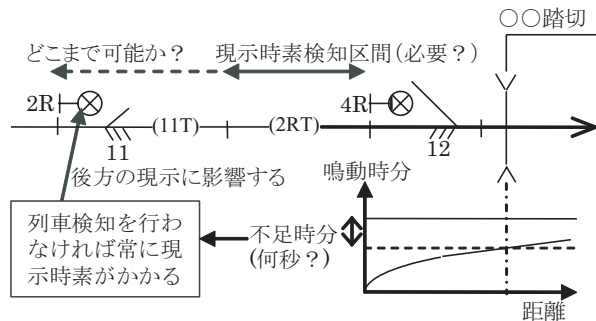


図5 現示時素の不確定要素

3.6 進路区分鎖錠の区分方法

列車進路内方進入後、列車の後方を順次解錠できるように、進路鎖錠をいくつかに分ける。通常、解錠可能な進路又は転てつ器が存在する地点で区分するが、継電連動装置では区分毎にリレーが必要となりコストが増大することから進路の解錠のみで区分する場合がある。逆に、電子連動装置では、区分に対してコストを必要としないため、軌道回路毎に区分する場合もある。また、双方方向運転可能な入換標識では区分しない。この場合、機構は両面となりシンボルに表現するが、両面だからといって双方方向とは限らない。早期解錠によって折り返す場合もあるからである。

3.7 進路鎖錠における早期解錠

着点線路に到着した列車が、ホームトラックの有効長不足等のために、進路鎖錠としている軌道回路を短絡した状態となることがある。このとき、過走余裕区間を鎖錠していたり、着点对向の入換標識が存在していたりすると、それらを解錠できなくなる。そのため、到着時に短絡状態となりうる軌道回路を含む進路区分鎖錠を早期解錠として、それらを解錠可能とする。到着時に在線を許可する軌道回路は、配線略図上からは読み取れないた

め不確定要素である。

例えば、図1において、2R2進路が転てつ器12の過走防護鎖錠を必要としていて、2番線のホームトラックの有効長が不足している場合、11Tを短絡状態で停止すると、進路鎖錠が解錠できないため、12も解錠不可能となり、3R進路が設定不能となる。このため、11Tの進路鎖錠を早期解錠として、過走防護区間を解錠する。

3.8 進路鎖錠における軌道回路短絡不良対策

渡り線など列車の走行本数の少ない線路では、錆などによって軌道回路が短絡不良となる場合がある。軌道回路の短絡が不良となるということは、連動装置からはみれば列車が在線していないことを示し、進路区分鎖錠の解錠が可能となり危険を伴う。このため、この区間を経由する進路の進路区分鎖錠について、軌道回路が未在線を検知しても一定時間鎖錠を継続する。この対策を行う区間及びその時素については、不確定要素である。

3.9 時間鎖錠

時間鎖錠とは、図6のように、最終の進路区分鎖錠区間より内方に存在する鎖錠転てつ器について、進路区分鎖錠の解錠後一定時間鎖錠を継続することである。転てつ器の鎖錠形態によって、「進路内時間鎖錠」と「過走防護時間鎖錠」に分けられる。

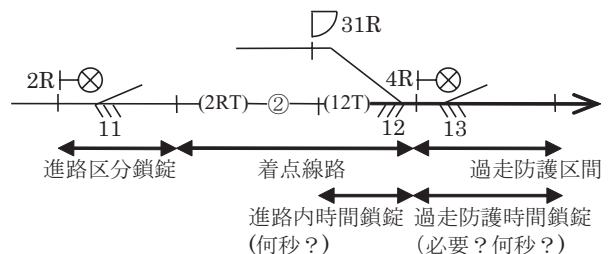


図6 時間鎖錠の不確定要素

3.9.1 進路内時間鎖錠

着点線路が複数の軌道回路からなる場合、内方側の軌道回路まで進入しないで停止することもある。このとき、内方軌道回路上に転てつ器が存在する場合、これを解錠して並行進路を設定可能とすることが望まれる。例えば、図6において、2RTに確実に停止すれば入換標識31Rの進路が設定可能になる。内方軌道回路手前で確実に停止したことを判定するために、この転てつ器を時間鎖錠する。着点線路の軌道回路は判定できるので、時間鎖錠とすべき転てつ器も判定可能である。しかし、その解錠時素は不確定である。

3.9.2 過走防護時間鎖錠

過走余裕区間の防護については、着点線路内に進入した列車が過走しないことを判定して解錠する必要がある。てこ扱い者が目視により確認できる場合は、最終進路区

特集：信号通信技術

分鎖錠の解錠により、同時に過走防護も解錠するが、確認できない場合は時間鎖錠により解錠する。目視により確認できるか、また必要な解錠時素は不確定要素である。

3.10 接近鎖錠又は保留鎖錠

列車が進路内方に進入前に、進路を引き戻すと、信号機までに停止できずに、内方に進入する恐れがある。そのため、列車が確実に停止するまで、内方進路が解錠されないように、一定時間鎖錠を継続することを、接近鎖錠又は保留鎖錠という。保留鎖錠は必ず時素解錠を行うもので、接近鎖錠は信号機外方一定区間内の軌道回路により列車検知を行い、列車が在線していなければ、即時解錠を可能とする。必要な解錠時素や、接近鎖錠とすべきか保留鎖錠とすべきか、及び接近鎖錠の場合は列車検知区間をどの範囲とすべきかが、不確定要素となる(図7)。

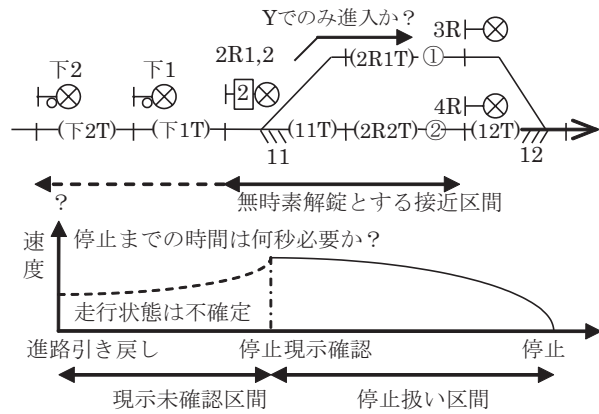


図7 接近鎖錠又は保留鎖錠の不確定要素

3.11 安全側線緊急防護装置

安全側線緊急防護装置は、安全側線を過走してきた列車を検知して、周辺列車に対する防護を行うものである。どの範囲まで防護を行うかは不確定要素となっている。

3.12 方向てこ

出発信号機によって単線閉そく区間に進出する場合は、必ず方向てこを鎖錠する。一方、入換信号機や入換標識の場合は、閉そく区間又は場内信号機付近まで車両を引き上げることがあり、必要に応じて方向てこを鎖錠する。鎖錠の必要性については、停止目標位置が必要な他、設計者の判断に依るため、不確定要素となっている。

また、CTC線区では、通常、出発信号機によって、方向てこを総括制御する。しかし、入換信号機や入換標識において、総括制御とするかは設計者の判断による。

3.13 CTC関連てこ

CTCによるセンター扱いでは、場内出発信号機は必ず制御するものの、入換信号機や入換標識などを制御するかは線区によって異なる。駅扱いてこや線路閉鎖てこで

は、構内をいくつかに分けてそれぞれの区分を制御するてこを割り当てる。また、駅扱いてこでは、操作できるとてこ種別は線区によって異なる。

このように、センター扱いと駅扱いてこ扱いのてこ種別、及び各てこの制御範囲が不確定要素となっている。

4. 不確定な連動論理の効率的作成方法

配線略図からは決定できない不確定な連動論理は、いくつかの前提条件を付加することによって自動生成可能となる場合が多い。そこで、連動論理自動生成の前に、これらの前提条件を集約して事前設定する処理を行うこととした。事前設定作成概念フローを図8に示す。前提条件として、全般的な前提条件と個別的前提条件の2つの方法を使い分ける。全般的な前提条件は、連動論理条件毎又は信号機種別毎に前提条件を設定するものである。例えば、進路鎖錠の区分方法や時素の設定などが相当する。なお、時素の設定などにおいては、曖昧にしか決まらないので、標準的な条件を設定して仮自動生成を行い、個別に纏めて修正する。個別的前提条件は、個別の信号機や進路に対して前提条件を設定するものである。例えば、接近鎖錠の軌道回路条件が相当する。接近開始点を前提条件設定することにより、連動論理自動生成時に信号機までの経路を自動探索して求めることができる。なお、接近開始点のようにある程度特定できるものは、候補条件を絞り込んで提示する。下記に、各不確定要素の具体的な事前設定方法について述べる。

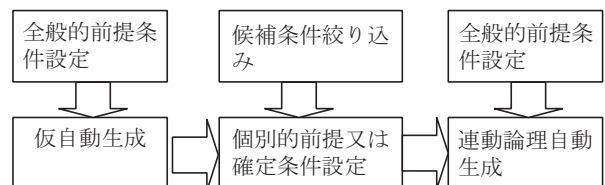


図8 事前設定作成概念フロー

4.1 進路補足条件

連動論理に間接的に関係する進路の補足条件として、現示、過走防護経路、到着線路始点、入換標識双方方向運転、及び入換標識(線路表示式)進路の線路表示器の設定を行う。

4.1.1 進行又は警戒現示

信号機の現示は、「進行」と「警戒」の有無が連動論理に関係する。進行現示については、隣接間進路、閉路鎖錠軌道回路信号制御条件、現示時素、及び接近鎖錠又は保留鎖錠の前提条件設定に必要な。警戒現示については、進路に過走防護を伴う場合、過走防護転てつ器又は反位鎖錠進路を片鎖錠とする。

各進路の現示は、基本的に信号機のシンボルによって判断できるが、進路表示機が付属している場合は、シン

ボルの現示を表示するとは限らない。このため、進路生成時に信号機シンボルに従って仮自動設定を行い、必要に応じてユーザが不要な現示を除外する。

4.1.2 過走防護経路

過走余裕区間の防護を転てつ器により行う場合、その経路を設定する。ユーザは、過走余裕区間の最終地点を指定することで、進路終点からの経路を自動探索する。

連動論理自動生成においては、過走防護経路を確保するように転てつ器の鎖錠を決定する。判定方法は、基本経路とほぼ同様であるが、進路区分鎖錠がかからないため、並行進路確保の進路外転てつ器鎖錠は行わない。

4.1.3 到着線路始点

到着線路始点を設定することで、進路鎖錠の早期解錠が自動生成可能となる。進路生成時に、線路名称や運転方向シンボルの位置関係から仮自動生成し、ユーザが必要に応じて変更する。

4.2 隣接間進路

場内信号機については、内方に連続する出発信号機又は入換信号機を抽出し、その鎖錠の有無を設定する。鎖錠形態は、外方信号機の現示によって決定でき、進行が現示できる場合は反位鎖錠、できない場合は定位鎖錠として提示する。

入換標識（線路表示式）については、連続進路を抽出し、線路表示器の表示を変更するかを設定する。表示変更形態は、内方進路に対しては着点表示変更進路として、外方進路に対しては発点表示変更進路として提示する。

4.3 信号機前提条件

信号機関係の事前条件設定画面を図9に示す。ここでは、現示時素と接近鎖錠又は保留鎖錠、及び名称欄左の設定を行う。「仮自動設定」ボタンにより、図9の左上の画面を開き、全般的な前提条件を設定する。一括して仮自動生成し、その結果をメイン画面に一覧表示する。個々の修正ボタンを押下することにより、修正画面を開く。図9では、「現示時素」ボタンを押下したときの画面を示している。

4.3.1 現示時素

現示時素のシンボルを持つ信号機に対して、現示時素の必要秒数と、付加条件とする軌道回路の始点を設定する。現示時素の秒数は、全般的な前提条件に標準時素を設定して仮自動設定し、必要に応じて個別に修正して確定する。付加条件の軌道回路始点は、発点軌道回路及び外方側連続進路内の軌道回路を絞り込んで候補を表示する。なお、発点軌道回路より外方の軌道回路が設定されるのは、通過進路となる場合、すなわち外方進路に進行現示がある場合であるので、外方進路の進行現示がある場合のみ、外方側連続進路内の軌道回路を候補とする。

連動論理自動生成時に、軌道回路始点から信号機までの軌道回路を抽出することで、軌道回路の付加条件が決定できる。

4.3.2 接近鎖錠又は保留鎖錠

解錠時素は、定常的に必要とするものではないため、十分余裕を見込んで、信号機種別毎に設定する。接近区間は、高速で接近する場内信号機や通過を考慮する出発信号機のみ不確定であり、それ以外は発点軌道回路からとなる。なお、外方信号機により反位鎖錠される信号機は、実際には通過可能であっても通過を考慮しない。外方信号機が解錠されなければ、内方信号機も解錠できないからである。接近開始点を定めれば、軌道回路条件は自動生成可能であるので、信号機種別毎に全般的な前提条件として、解錠時素、及び接近鎖錠／保留鎖錠別の指定を行い、解錠時素と接近開始点を仮自動生成する。仮自動生成によって未確定となる場内信号機や通過を考慮する出発信号機の接近開始点は、信号機外方を探索することにより候補軌道回路を絞り込むことができる。

連動論理自動生成時には、接近開始点から信号機までの軌道回路を抽出し、また、その間の別進路を探索し、付加条件として登録する。

4.4 進路前提条件

4.4.1 進路表示機表示

多進路式の場合、着点に固有な表示を行うので、各



図9 信号機関係事前設定画面

特集：信号通信技術

着点ボタンに前提条件設定しておくことで、進路の表示条件を自動生成する。3進路式の場合は、個別に設定する必要があるため、事前確定設定する。

4.4.2 時間鎖錠

時間鎖錠については、解錠時素を全般的な前提条件設定して仮自動生成し、必要に応じて個別に修正を行う。仮自動生成は、その必要性を自動判定する。進路内時間鎖錠では到着線路の線形から、過走防護時間鎖錠で過走防護経路又は反位鎖錠進路の設定状態から判定できる。

4.5 短絡不良区間

配線略図上で直接短絡不良区間を作成し、その進路区分鎖錠の解錠時素を設定する。設定方法は、短絡不良区間の始点と終点の転てつ器又は軌道回路境界を指定することにより、その間の経路を自動的に探索して短絡不良区間を作成し、解錠時素として30秒を仮設定する。解錠時素は、ユーザが必要に応じて修正する。

連動論理自動生成においては、短絡不良区間を含む進路区分鎖錠に対して、解錠時素を自動設定する。

4.6 安全側線緊急防護装置

各安全側線緊急防護装置に対して、防護する範囲の軌道回路を前提条件として設定する。連動論理自動生成時に、防護する範囲の軌道回路を経由する進路を抽出し、信号制御条件として登録する。

4.7 方向てこ

各方向てこに対して、入換信号機と入換標識による鎖錠及び総括制御を行うかを前提条件設定する。連動論理自動生成時に、前提条件設定された種別の進路について、進路終点が単線閉そく区間に渡るか接すれば、鎖錠条件又は総括制御条件として登録する。

4.8 CTC 関連てこ

CTC関連てこの全般的な前提条件設定として、センターによる扱いと駅扱いによるてこ扱いの範囲をてこ種別毎に設定する。

4.8.1 駅扱いてこ

各駅扱いてこの制御範囲は、軌道回路によって前提条件設定する。連動論理自動生成時には、進路と転てつ器の鎖錠又は解錠を判定する。進路については、制御範囲の軌道回路を経由する進路を抽出し、センターによる扱いの進路を鎖錠とし、駅扱いてこによる扱いの進路については解錠とするが、他の駅扱いてこ制御範囲に渡る場合はその駅扱いてこの反位付加条件とする。転てつ器については、制御範囲の軌道回路内に双動を含む全ての転てつ器が含まれている場合に解錠とし、一方が他の駅扱いてこ制御範囲に存在する場合は、その駅扱いてこの定

位付加条件で鎖錠とする。

4.8.2 線路閉鎖てこ

各線路閉鎖てこの制御範囲は、軌道回路又は線路名称によって前提条件設定する。連動論理自動生成は、制御範囲を経由するセンターによる扱いの進路を抽出し、鎖錠条件とする。

5. 評価

本研究では、把握しているほぼ全ての不確定要素について、対応を行った。未対応の連動論理もあるが、近い将来設備そのものが無くなるものか、極めて少数でシステム化も困難なもののみが残されている。

本手法による詳細な検証はまだ不十分であるが、小規模駅から大規模駅までの数駅で評価した限りでは、事前設定を行うことにより、自動生成後の修正量が大幅に減少したことを確認した。また、事前設定内容は保存されるので、連動図表を修正した場合、関係箇所のみでの事前設定を修正すればよく、修正時の作業量は更に削減されることを確認した。

本手法による課題点としては、事前設定の登録方法がやや煩雑な点にある。特に、事前設定を仮自動生成すると、既存設定がリセットされるため、仮自動生成しないで修正した方が効率的な場合もある。仮自動生成の精度に原理的なばらつきがあり、その判断がしづらい。メニュー体系を見直すことで、もう少し改善の余地はあると考えられる。

6. おわりに

本報告では、配線略図と連動表の間にある不確定性要素について、どのような連動論理があるのか、その連動論理をどのように自動生成するのかを述べた。不確定な連動論理には、事前設定を行うことで自動生成可能となるもの、大まかに決定して必要に応じて修正を行うもの、また事前設定項目の絞り込みが行えるものがある。いずれも、連動論理自動生成前に、不確定項目のみを集約した設定メニューによって効率的に作成するようにした。本手法による詳細な検証はまだ不十分であるが、基本的な枠組みは完成されたと考えている。今後、検証を進めていく過程で、より効率的な条件設定や自動生成、或いはメニューの構成方法などの改良を随時行っていきたい。

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: 工事用連動図表作成システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.20, No.10, pp.11-16, 2006