

信号保安装置論理設計の統合的システム化手法

関根 俊*

A Unification Method of the Computer-aided Logic Design for the Railway Signal Control Units

Satoshi SEKINE

Railway signal control units include an interlocking device, a signaling device, a level crossing device and an ATS device, and these devices work in conjunction with each other. The equipment constituting these devices is located dispersively in the track and takes various forms. Therefore, an individual design is necessary for each device. The logic design is not allowed errors and requires much labor. We have developed a computer-aided logic design tool for the interlocking device so far. By applying this, we research a unification method of computer-aided logic design for the railway signal control units.

キーワード：連動装置，信号装置，ATS-P 装置，踏切装置，連動図表，制御図表，結線図

1. はじめに

信号保安装置には、連動装置、信号装置、踏切装置、ATS 装置などがあり、相互に関連して動作している。また、各装置を構成する設備（信号機、転てつ器、軌道回路等）は、現場に分散配置され、様々な形態をとるため、個別の論理設計が必要となる。論理設計の表現形態として制御図表や結線図を作成するが、誤りが許されないことや多大な労力がかかることから、システム化による効率化が求められてきた。これまでに、各設計段階での設計者の意図を効果的に反映できるシステムを目指して、連動図表と連動結線図の作成支援に関する研究開発を行い、連動図表作成支援について実用化した¹⁾。連動結線図については、事例集的に規定されている標準結線図をコンピュータに組み込むための基本的手法の見通しが得られており、試作機能を開発済みである²⁾。

踏切装置や ATS-P 装置についても、連動装置と同様に制御図表及び必要に応じて結線図を作成する。また、駅構内関連については連動図表を前提に作成するため、連動装置の論理設計支援機能を応用することにより、踏切装置や ATS の論理設計支援が効率的に行える。これらのことから、信号保安装置の論理設計を統合的に支援するシステムの検討を行った。本報告では、システム開発の基本方針、ATS-P 装置と踏切装置における効率の支援方法について述べる。

2. システム開発の背景と開発方針

2.1 信号保安装置と論理設計の概要

図 1 に信号保安装置間の相互関係と制御図表の概要を示す。信号装置は、信号機の現示を制御することで内方進入可否と上限速度を乗務員に伝達する。連動装置は、駅構内進路の取り扱い操作に対して、転てつ器と信号機の鎖錠関係に基づき、転てつ器の転換可否と信号機内方への進入可否を決定する。ATS-P 装置は、信号機の現示に基づき、地上子を介して列車に走行可能距離を伝達する。踏切装置は、列車の進入を踏切制御子又は軌道回路により検知し、道路交通の遮断を決定する。これらの装置は、密接に関連しており、連動装置から各装置へは進路の開通情報を、ATS-P 装置から信号装置へは現示アップのための列車種別情報を、ATS-P 装置から踏切装置へは定時間調整のための各種情報を伝達する。

これらの装置の制御論理は、信号装置であれば現示系統図、連動装置であれば連動図表、ATS-P 装置であれば ATS-P 制御図表、踏切装置であれば踏切制御図表として表現する。また、必要に応じて結線図を作成する。これらの作成は、線路配線や設備の設置方法、列車の運行形態によって決定される。例えば、駅構内に複数のホームトラックがある場合、閉そく区間からどのホームトラックに進入できるようにすべきか、進入を現示する信号機はどこに設置すべきか、どの転てつ器をどの方向に転換すべきか、競合する進路の鎖錠方法はどのようにすべきか、過走防護の鎖錠はどうするか、これらの論理設計を装置個別に作成する必要がある。

* 信号・情報技術研究部 列車制御研究室

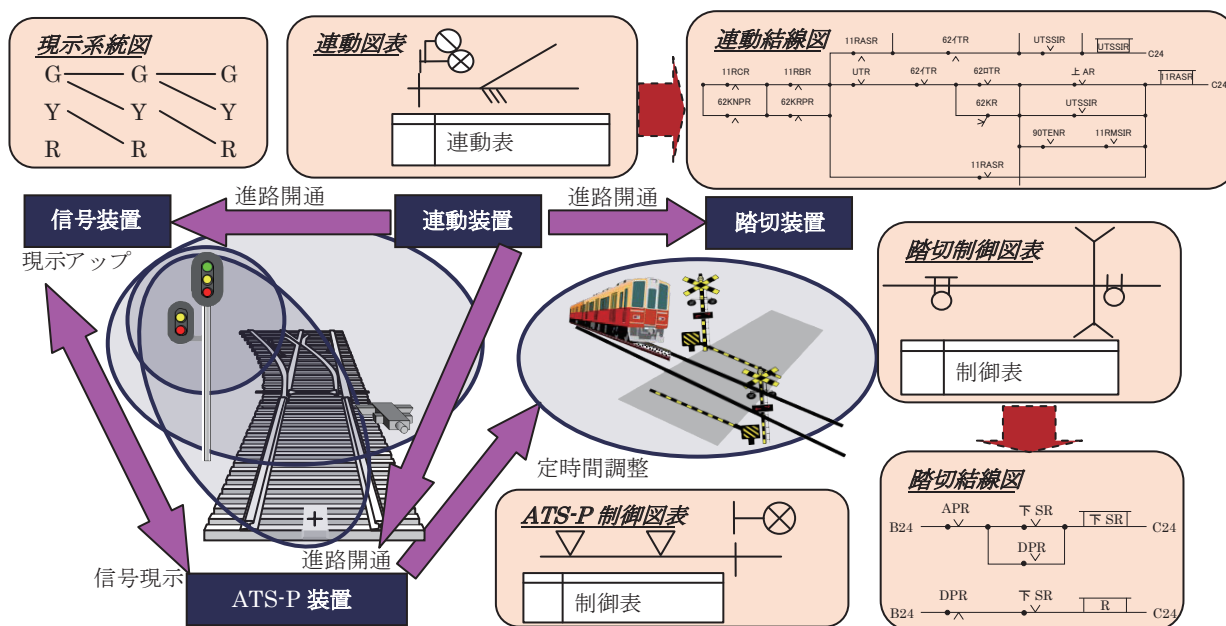


図1 信号保安装置の論理設計の概要

2.2 連動装置の論理設計支援

連動装置は、図1から分かるように、各信号保安装置に進路開通情報を伝達しており、中心的位置づけにある。そこで、これまでに、連動装置の論理設計支援について研究を行ってきた結果、連動図表について「連動図表作成支援システム」として実用化した。

連動図表作成支援システムの基本的構成は、線路図作図支援、進路作成支援、連動論理作成支援からなる。線路図作図支援は、設備属性を設定することによりシンボルを自動作成し、設備間の接続関係を構築していく。進路作成支援は、線路図から進路を暫定的に自動生成し、自動生成結果の編集を効率的に支援する。連動論理作成支援は、線路図の設備情報と進路に加え、短絡不良対策や時間鎖錠等に関する追加情報を設定することにより、連動論理を自動生成する。

2.3 信号論理統合設計支援の開発方針

AT-S-P装置や踏切装置の制御は、駅中間のみであれば比較的単純であるが、駅構内に関連すると、論理設計が複雑となる。そこで、連動図表作成支援システムを基盤とし、駅構内を含めて効率的な支援を行う方法について検討した。統合化に当たっては、データを全て統合して一元管理する方法があるが、改良工事を行う際に、設計変更には時間を要し、修正前、修正中、修正後といった新旧のデータが混在して管理が煩雑となるため、制御図表単位でのデータ管理が必要である。また、AT-S-P制御図表と踏切制御図表共に、連動図表と同様な線路図を作成するが、それぞれの設備を中心に作図するため、線路線形が微妙に異なる。さらに、制御表の作成においては、連動の進路を用いながらも特有な経路探索を行う。

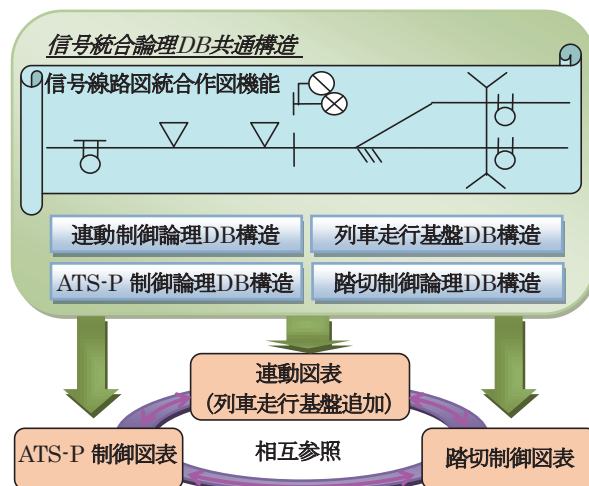


図2 信号統合理論設計の概念図

このように作図機能や探索機能に共通部分が多く、情報の共有を行いながらも、異なる形式で作成するため、制御図表を単位としたデータ及び機能の共通構造として、“信号統合理論DB共通構造”を定義した(図2)。この共通構造には、全ての信号保安装置の線路図作図機能と論理DB構造、及び列車走行基盤DB構造を含む。列車走行基盤とは、距離情報、分岐制限速度、現示系統、勾配情報などの列車走行に関わるデータであり、連動図表データに補足することによりAT-S-P装置や踏切装置の論理設計を効率化する。これらの補足情報は、連動図表において設備の属性や接続関係、及び進路上の設備が明確に把握できていることから容易に設定することができる。例えば、現示系統の作成においては、連続する信号機を自動的に抽出し、信号機間の距離情報から現示系統の暫定的な自動生成も可能である。勾配情報においては、勾配変化点を線路上に作図すると、その位置から左右に探索す

ると隣接する信号設備が取得できる。進路上において、この信号設備を含めば勾配変化点を經由することが分かる。

実際の制御図表の作成においては、制御図表の種類に応じて機能や書き込み可能なDB構造が制限されるが、異なる種類の別の制御図表データの参照は可能とする。例えば、連動図表の作成においては、連動関係の線路図作図機能と連動制御論理DB構造が有効となる。列車走行基盤データの作成においては、連動図表データに対して補足追加するが、列車走行基盤DB構造のみが書き込み可能となり、連動制御論理DB構造は参照のみとなる。また、ATS-P制御図表の作成においては、連動関係に加えATS-P地上子の作図機能とATS-P制御論理DB構造が有効となり、連動図表データは全て参照可能となる。

3. ATS-P 制御論理設計システム化手法

3.1 制御の基本

ATS-P装置の制御は、線路上に設置した地上子から情報を常時送信しているが、列車が地上子を通過した瞬間にのみ受信できる。列車側ではその情報と走行距離から列車種別毎に予め設定された照査パターンに基づき走行可能最大速度を求め、現在速度がこれを上回る場合は減速制御を行う。地上子には、信号機の現示に対応して送信情報を更新できる有電源地上子と、常に同一の情報を送信する無電源地上子がある。地上子から送信する情報には、停止制御情報と速度制限制御情報があり、電文容量の都合からいずれか一方のみ送信できる。ただし、停止制御情報には、速度制限取り消し情報を付加することができる。停止制御は、図3に示すように、信号機の外方に設置した有電源地上子から現示に対応した停止距離や勾配値を送信する。速度制限制御は、図4に示すよう

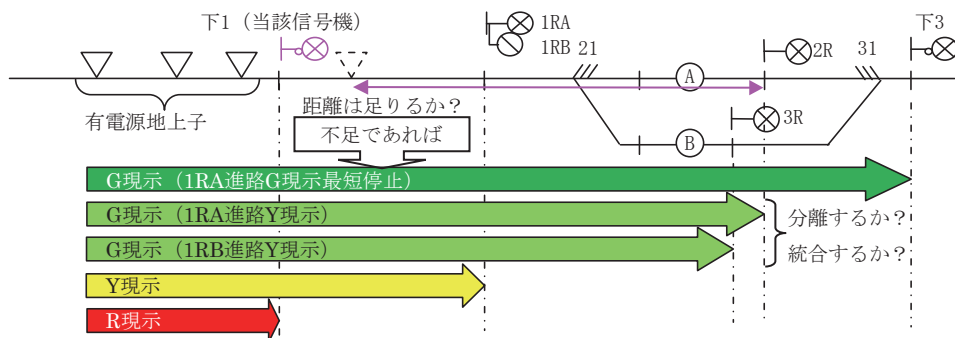


図3 ATS-P 停止制御の論理設計

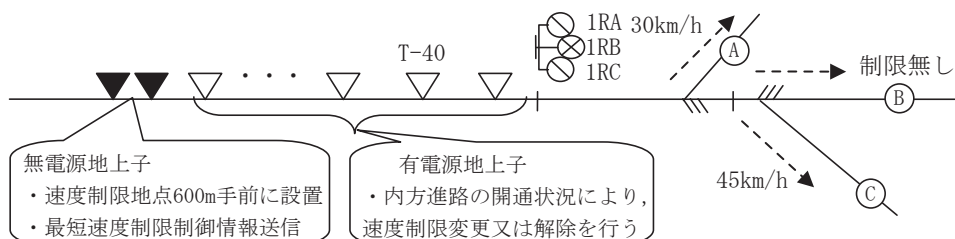


図4 ATS-P 速度制限制御の論理設計

に、制限区間から一定距離に無電源地上子を設置し、制限区間までの距離、制限区間長、制限速度を送信する。その内方の有電源地上子からは、速度制限のない進路が開通している場合に、速度制限取り消しを行う。また、速度制限が複数存在する場合は、信号機外方40m地点に有電源地上子(T-40)を設置して進路の開通方向別の速度制限制御情報を送信する。これらの送信情報は、設備の設置位置や線形により決定されるために、装置毎の作成が必要であり、その作成には労力を要する。

3.2 制御図表の作成支援

ATS-P地上子の設置位置を明確にした線路図の作成と、信号機の現示に対応した有電源地上子の送信情報を明記した制御表の作成を行う。以下に、線路図作成機能、及び送信情報として停止制御と速度制限制御別に作成支援手法を述べる。

3.2.1 線路図の作成

線路図の作成においては、ATS-P装置固有の設備は地上子のみであり、連動装置の多くの設備を必要とする。このため、連動線路図の作成機能にATS-P地上子の作成機能を付加することで、容易に実現できる。

有電源の地上子の設置位置は、当該信号機と外方連続進路の形態によってほぼ決まっているため、暫定的に自動作成してユーザによって設置位置の微調整を行う機能とすることで効率化できる。速度制限用の地上子(T-40)については、進路の開通方向別の速度制限が複数存在する場合に必要性を提示する。

無電源の地上子については、様々な用途に用いられるが、分岐速度制限用については制限開始点から600m程度手前に設置することを基本としており、列車走行基盤データの転てつ器速度制限情報を参照することで、設置位置の推定が可能となる。

3.2.2 停止制御情報の作成

地上子から送信する停止距離は、内方の開通状況を把握しなくても済むように、当該信号機の現示から判断して最短で停止となる信号機までとすることを基本としている。ただし、内方に分岐進路が存在する場合やG現示の停止距離が短い場合に内方信号機の条件が必要となる。例えば、図3において、信号機(下1)の最短停止目標は、信号

特集：信号通信・運輸

機（3R）であるが、転てつ器（21）の反位開通に速度制限がある場合は、1RAと1RBを区別しなければならない。また、信号機（下1）のG現示の内方信号機（1RA）開通の最短停止目標は信号機（2R）であるが、内方信号機（1RA）の最外方の破線で表した地上子から新たな制御情報を受信する前に減速を開始すると、1RAがG現示であった場合、不要な減速が発生することになる。このため、内方信号機（1RA）のG現示の条件を追加する必要がある。

これらの支援方法としては、各現示からの最短停止目標、分岐進路、及び信号機間の距離が連動図表や列車走行基盤データに登録されていることから、基本的には自動的に判断できる。しかし、分岐進路が多数存在している場合、どの進路を統合するか判断が曖昧となるため、ユーザが最終決定する機能とする。具体的には、システムが暫定的に自動作成を行った後ユーザが修正する方法と、統合可能な進路を逐次提示する方法が考えられる。

3.2.3 速度制限制御情報の作成

速度制限制御情報の作成は、速度制限用無電源地上子で受信した情報を内方有電源地上子でどのように扱うかを決定することである。速度制限のない信号機が開通しているときは、速度制限を解除する。速度制限情報が異なる信号機が開通しているときは、速度制限情報送信用の有電源地上子（T-40）から新たな情報を送信する。

例えば、図4において、信号機（1RB）には速度制限がないので、この信号機が開通しているときは速度制限を解除する。また、信号機（1RC）は制限速度が異なるので、この信号機が開通しているときは有電源地上子（T-40）から新たな速度制限情報を送信する。

これらの支援についても、分岐進路や転てつ器の速度制限情報が連動図表や列車走行基盤データの登録されていることから、基本的には自動的に判断できる。ただし、速度制限区間長については、手入力が必要となる。

4. 踏切制御論理設計システム化手法

4.1 制御の基本

踏切の鳴動時間は、踏切道における跨線数や遮断機数などの設備に応じて、基準鳴動時分が定められている。しかし、実際の鳴動時間は、鳴動開始設備の設置場所の制約や列車の走行形態の多様性から必ずしも最適値とならない。このため、基準鳴動時分を最低限満たし、不要な鳴動時間をコストとの兼ね合いを考慮して可能な限り減らす。踏切の制御方法は複数あるが、リレーを用いた点制御方式を対象として検討した。この方式では、列車の地点検知として、信号制御用の軌道回路をできるだけ活用するが、制御区間が長い場合、踏切制御子という短小軌道回路を設けて制御を行う。図5に、踏切制御子を用いたリレーによる点制御方式の基本を示す。「A」は鳴

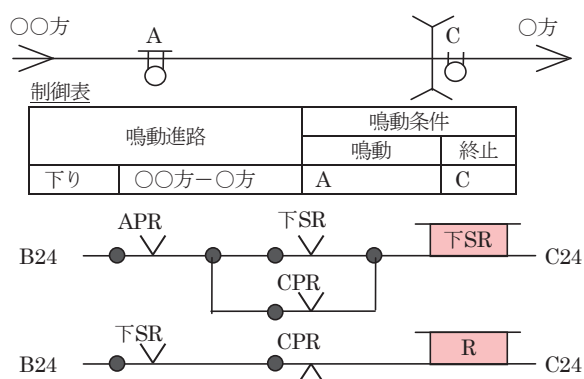


図5 リレーによる踏切点制御方式の基本

動開始用の閉電路の踏切制御子であり、列車が在線すると「APR」リレーの電流が切れる。「C」は鳴動終止用の開電路の踏切制御子であり、列車が在線すると「CPR」リレーの電流が流れる。「下SR」はA～C間に列車が在線しているときに電流が切れるリレーであり、「R」は道路交通を遮断する必要があるときに電流が切れるリレーである。列車がAからCの順に通過することを前提として、A～C間の列車在線を直接検知することなく踏切を制御できる。

4.2 制御図表作成支援

踏切道と踏切制御子の設置位置を明確にした線路図の作成と、鳴動進路毎の鳴動条件を明記した制御表の作成を行う。作成手順としては、線路図作成、鳴動進路自動探索、鳴動開始点・終止点作成、続行列車対策踏切制御子作成、鳴動条件自動作成と進める。

4.2.1 線路図の作成

連動線路図の作成機能に追加する設備は、踏切道と踏切制御子である。踏切道は、シンボルの上端と下端を指定して、線路との交差点を軌道回路境界や転てつ器との位置関係に注意して作図する。踏切制御子は、鳴動進路の自動探索を行ってから、設置位置を特定して作図する。また、閉そく区間の続行列車対策のために、閉そく信号機と場内信号機の近傍に設置する。作図方法は、連動図表のシンボルと同様に、マウスによって線路上の作図位置を指定することにより、線路の角度に補正したシンボルが自動作図される。

4.2.2 鳴動進路の自動探索

鳴動進路の作成に当たっては、踏切道と交差する線路を経由する進入進路を特定し、外方信号機をたどりながら基準鳴動時分に余裕時分を加えた範囲を探索する。探索方法は、信号機の種類によって異なり、閉そく信号機と場内信号機の外方探索は、現示系統の最高現示の速度によって探索する。出発信号機の場合は、さらに外方信号機の種類によって探索方法が異なる。外方信号機が場内信号機の場合は、出発信号機の発点線路からの“進出”進路として特定する。場内信号機が内方の出発信号機を

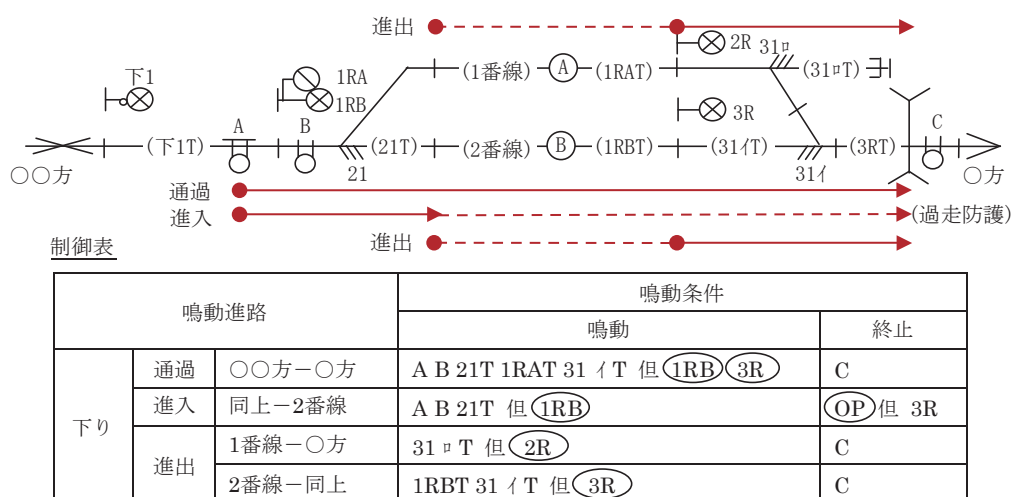


図6 駅構内進出側の踏切制御図表

通過可能である場合、すなわち場内信号機にG現示が存在する場合、“通過”進路として外方の探索を継続する。また、場内信号機の過走区間が踏切道と交差する場合は、過走防護による“進入”進路として、外方側を探索する。

例えば、図6において、踏切道と交差する線路上の軌道回路は3RT、進路は出発信号機(2Rと3R)と場内信号機(1RB)の過走防護であることがわかる。2Rの外方信号機を探索すると、場内信号機(1RA)が存在するので、鳴動進路(2R)が“進出”として作成されるが、1RAにはG現示が存在しないため、ここで探索を打ち切る。次に、3Rの外方を探索すると、場内信号機(1RA)が存在するので、鳴動進路(3R)が“進出”として作成される。1RBには、G現示が存在するので、外方探索を継続し、閉そく信号機(下1)で、基準鳴動時分と余裕時分を満たしたとすると、鳴動進路(下1-1RB-3R)が“通過”として作成される。過走防護としての場内信号機(1RB)についても、同様に外方信号機を探索し、鳴動進路(下1-1RB)が“進入”として作成される。

4.2.3 鳴動開始点・終止点の作成

自動的に抽出したそれぞれの鳴動進路において、鳴動開始点と鳴動終止点を作成する。踏切制御子の設置又は軌道回路の指定を行う。例えば、図6において、“通過”鳴動進路であれば、鳴動開始点として閉電路の踏切制御子(A)を下1T上に設置し、鳴動終止点として開電路の踏切制御子(C)を踏切道近傍に設置している。“進出”鳴動進路については、停止状態からの加速時間を計算する必要があり、出発位置の特定も重要である。1番線からは出発信号機内方軌道回路(31㊦T)、2番線からは出発信号機発点軌道回路(1RBT)を指定し、鳴動終止点は“通過”鳴動進路と共通の踏切制御子(C)を指定している。なお、過走防護の“進入”鳴動進路の終止条件については、列車は過走しなければ踏切まで到達しないため、取扱者による開きボタン操作か、時素解錠かを選択する。

図6では開きボタンが選択されている。

4.2.4 続行列車対策の作成

鳴動開始点が踏切制御子で閉そく区間に存在する場合、その内方の信号機まで続行列車対策を行う必要がある。対策方法としては、信号機近傍に踏切制御子を設置する場合と、踏切制御子を設置せずに

鳴動開始点の踏切制御子上の軌道回路により鳴動を保持する場合がある。

支援方法としては、続行列車対策の必要のある信号機を自動的に取得して提示し、必要に応じて踏切制御子を設置する機能とする。例えば、図6の鳴動開始点(A)は、閉そく区間にあるので、その内方の場内信号機(1RB)を取得して続行列車対策の必要性を提示する。ユーザが踏切制御子の設置を判断すれば、1RBの近傍に作図する。

4.2.5 鳴動条件の自動作成

鳴動進路とその鳴動開始点と鳴動終止点を作成されれば、鳴動条件は自動的に作成することができる。自動作成方法は、鳴動進路内において、鳴動開始点と鳴動終止点の間に含まれる続行列車対策用の踏切制御子と軌道回路を鳴動条件とし、鳴動進路の場内信号機と出発信号機の反位進路を但し書き付加することを基本とする。例えば、“通過”鳴動進路(下1-1RB-3R)については、鳴動開始点(A)から踏切道上の軌道回路(3RT)の手前までを探索すると、場内信号機(1RB)に続行列車対策用の踏切制御子(B)と軌道回路(21T,1RBT,31イT)が鳴動条件として取得でき、場内信号機(1RB)と出発信号機(3R)の反位条件を但し書きとして付加する。

過走防護対策の“進入”鳴動進路については、着点線路進入完了で鳴動終止となるため、着点線路の手前の軌道回路までが鳴動条件となる。また、終止条件には、出発信号機の定位進路を但し書きとして付加する。なお、出発信号機は鳴動進路に含まれないため、場内信号機の進路に連続する出発信号機の進路を取得する。例えば、“進入”鳴動進路(下1-1RB)については、鳴動開始点(A)から1RB進路の着点軌道回路(1RBT)の手前までを探索すると、場内信号機(1RB)に続行列車対策用の踏切制御子(B)と軌道回路(21T)が鳴動条件として取得できる。また、終止条件として、1RBの内方連続信号機(3R)を取得し、その定位条件を但し書きとして付加する。

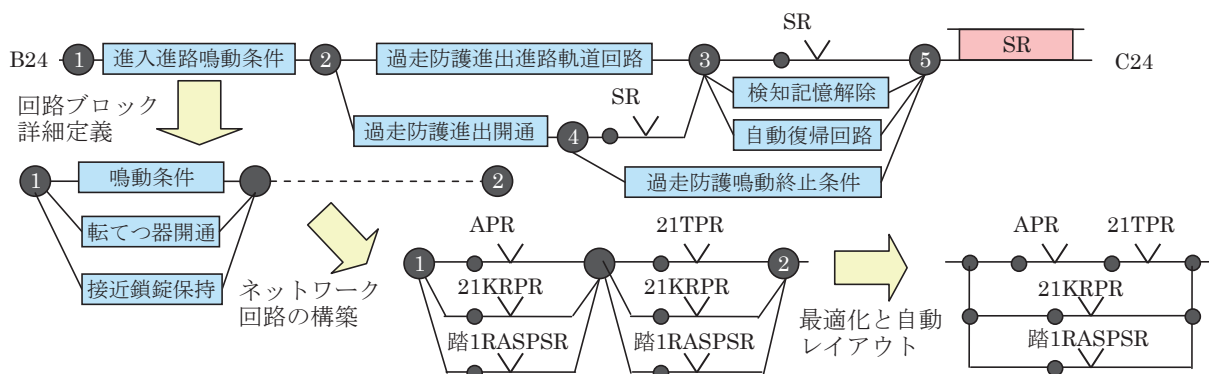


図7 駅進出標準結線図の一般化定義と回路構築手順

4.3 踏切結線図の自動生成

結線図は、制御図表との対応関係を定めた標準結線図を参考にして作成する。この標準結線図は、事例集的にしか規定されていないが、体系的に論理構築することにより、コンピュータに組み込んで自動生成が実現できる。連動結線図については、自動生成の基本的手法が確立しており²⁾、この手法の踏切への適用を検討した。

4.3.1 結線図自動生成の基本的手法

結線図の形状は、制御表によって変化するが、全体的な形状は同様であるので、ある程度まとまりを持った回路を1つのブロック（“回路ブロック”と呼ぶ）として、回路ブロック間の接続関係を“集約結節点”により定義する。回路ブロック内に構造を有する場合は、さらに詳細な回路ブロックによって接続関係を定義し、最終的に単純な直列又は並列回路となるまで繰り返す。そして、直列又は並列回路の接点の本体設備（リレー、てこ、着点ボタンなど）との関連を制御表に従い定義する。以上の手法によって自動作成される結線図は、コンピュータ内でのリレーや接点間の接続関係として構築される。これを人間が見て認識できるように、自動レイアウト処理を行った後、CAD図面に自動出力する。

4.3.2 踏切結線図への適用

図7に、駅構内進出鳴動制御回路の適用事例を示す。“SR”リレーに対して、回路ブロック（□枠内）と集約結節点（●）による標準結線図の全体的な形状が定義されている。進入進路鳴動条件の回路ブロックに注目すると、さらに詳細な回路ブロックによって定義されている。鳴動条件には、踏切制御子や軌道回路の在線側接点が直列に設定される。転てつ器開通の回路ブロックは、転てつ器の開通方向によって鳴動を制限する場合に転てつ表示リレーの接点を各鳴動条件に対して並列に設定する。また、接近鎖錠保持の回路ブロックは、進路が開通しているときのみ鳴動させるように、接近鎖錠の進路内方保持リレーの接点を各鳴動条件に対して並列に設定する。制御表との関連については、図6の制御表の“進入”の鳴動条件を取得する。具体的には、踏切制御子（A）

及び軌道回路（21T）の動作リレー APR 及び 21TPR の N 接点を直列に接続する。次に、但し条件の 1RB 進路上の転てつ器（21）を連動図表から取得し、さらにその反位開通表示リレー（21KRPR）を連動結線図から取得して、N 接点をそれぞれの鳴動条件に対して並列に接続する。また、1RB 進路の接近鎖錠保持リレー（踏1RASPSR）は、連動結線図の接近鎖錠リレー（1RASR）から踏切制御のために回路を構築するが、詳細については割愛する。その N 接点をそれぞれの鳴動条件に対して並列に設定する。これらの設定は、鳴動条件毎に行われるため、冗長な回路となる。このため、最適化処理により接点を統合してから自動レイアウトにより図面へ出力する。

5. おわりに

本報告では、連動装置の論理設計支援システムを基盤として、ATS-P 装置と踏切装置の論理設計支援に拡張する手法を述べた。論理設計は、基本的に制御図表単位に行うが、異なる種類の制御図表間においても、共通とする機能や情報の共有が多い。そこで、制御図表単位にデータを独立させるが、データの構造を共通化し、作成する制御図表の種別に応じてモードを切り替える方式を考案して、統合設計手法の検討を行った。

実用化の見通しとしては、制御図表の作成支援は実現可能と考えられる。一方、踏切結線図自動生成は、手法の枠組みとしては問題ないが、踏切標準結線図の一般化及び制御図表との対応付けについてさらなる深度化した研究が必要である。

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: 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