

継電連動装置の結線図自動作成における回路規模最小化手法

関根 俊*

Circuit Scale Minimization Method for Automatic Wiring Diagram Creation of Relay Interlocking Devices

Satoshi SEKINE

In automatic generation of wiring diagrams for relay interlocking devices, we have developed a method for minimizing circuit size and a method for minimizing circuit modifications during station modifications. To minimize the circuit size, the equivalent circuit of Boolean algebra is applied to reduce the number of contacts. Then, the wiring diagrams are structured hierarchically so that the equivalent circuit can be applied at each level to deal with complex circuits. Regarding the minimization of circuit changes, we created a circuit in which the contacts before and after the construction were mixed by associating the circuits before and after the construction. Using the created circuit, we made it possible to minimize the changes by the newly devised equivalent circuit before and after the construction.

キーワード：連動装置，リレー，結線図，連動図表，ブール代数

1. はじめに

連動装置は、列車在線，進路設定，転てつ器開通方向など，制御の状態が2値により処理されるため，リレー制御に適している。現物のリレーによって連動論理を構築する継電連動装置は，規模が大きくなると設置スペースを要しコストが嵩むデメリットがある。このため，CPUを用いた電子連動装置が実用化されており，実用化当初は，リレー論理によらずに駅固有条件を定数データで与える手法がとられていたが，リレー論理のメリットが再認識され，論理式で処理する仕組みが広く実用化されている。連動論理の作成は容易ではないため，電子連動装置では論理式を結線図という図形式への変換を可能とし，連動表からの自動作成も実現されている¹⁾。

ところで，規模の大きくない駅では現物リレーによる設置スペースのデメリットはなく，リレー論理のメリットが再認識されたことから，継電連動装置も再評価された。継電連動装置のリレー論理は，リレーを現物で設置することから施工コストの低減が要となっており，回路

規模を最小化するため論理式と等価とならずに，回路網の形状となる。電子連動装置と比較して，回路設計に熟練を要するため，継電連動装置の結線図自動作成の要望が高まり，研究を行ってきた^{2)~5)}。本稿では，回路規模の最小化手法について，論理演算法則適用によるリレー接点数削減方法を中心に述べる。

2. 連動結線図自動作成手法の概要

連動結線図をコンピュータによって自動作成するフローを図1に示す。連動結線図は，連動装置の仕様を定めた連動図表に基づいて作成する。連動図表から連動結線図への変換方法は，標準結線図に記述されており，システム化に当たって，回路種別ごとに一般化を行い(図2)，連動図表との関連を明確化した(図3)。対象とする連動図表を標準結線図との関係から回路網を自動構築し，CAD図面に自動レイアウトして出力する。

回路規模を最小化するには，回路方式の選択，リレーの共有，及びリレー接点削減の3通りがある。連動装置

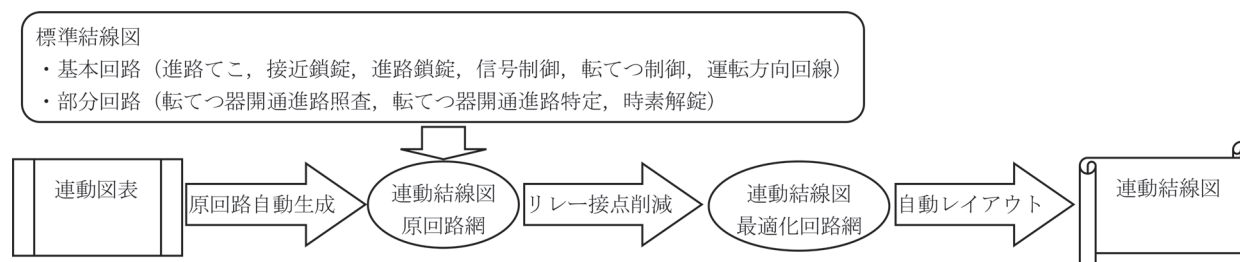


図1 連動結線図自動作成フロー

* 信号技術研究部 列車制御システム研究室

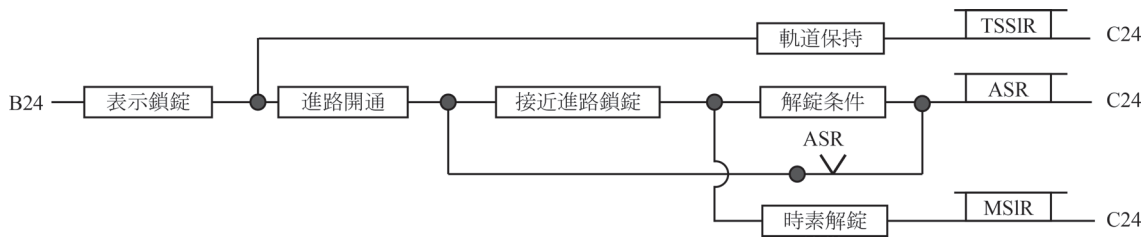


図2 接近鎖錠リレー回路の一般化例

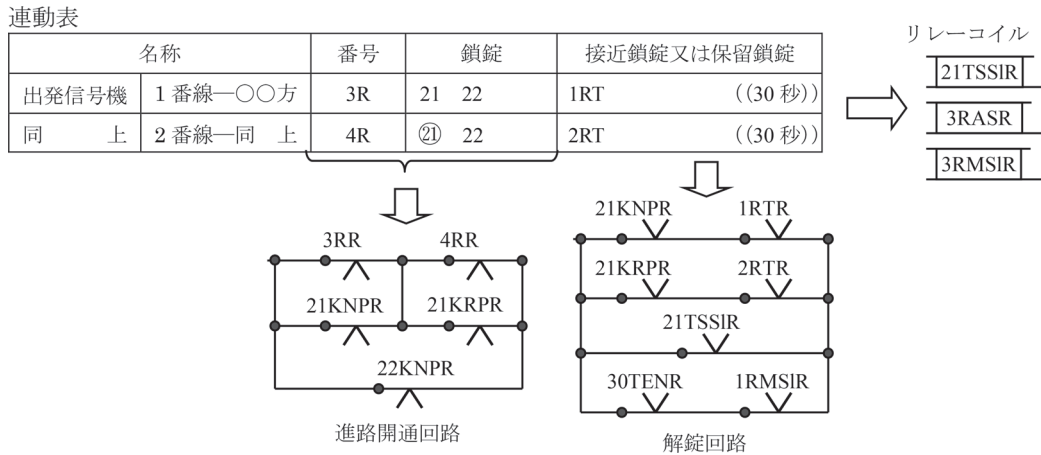


図3 連動図表と結線図の対応関係事例

の回路方式は、進路選別式⁵⁾と進路てこ式があり、規模の大きさで優劣が決定される。リレーの共有は、本来別々に設けるリレーを同時に設定されない条件で、1つにまとめる。例えば、図3において、3Rと4Rの接近鎖錠リレーはそれぞれに設けるが、同時に進路設定されることがないので1つに統合できる。リレー接点の削減については、論理演算法則を用いて接点数の少ない方に適用することにより行われる。最初の2つは連動装置の機能に依存するもので、標準結線図の適用の範囲内となり、3つ目は回路形状に依存するものとなる。そこで、標準結線図により「原回路網」を作成し、これに対して論理演算法則を補元則、冪等則、吸収則、分配則の順に接点数の少ない方向に適用して「最適化回路網」を作成する2段構成とした。

3. 回路規模最小化手法

回路規模の縮小は、以下に示す論理演算法則を要素の少ない方向に適用することで実現する。

①冪等則

$$A \text{ and } A = A \quad A \text{ or } A = A$$

②補元則

$$A \text{ and } \bar{A} = 0 \quad A \text{ or } \bar{A} = 1$$

③吸収則

$$A \text{ and } (A \text{ or } B) = A \quad A \text{ or } (A \text{ and } B) = A$$

④分配則

$$A \text{ and } (B \text{ or } C) = (A \text{ and } B) \text{ or } (A \text{ and } C)$$

$$A \text{ or } (B \text{ and } C) = (A \text{ or } B) \text{ and } (A \text{ or } C)$$

しかしながら、回路が複雑になると適用が困難となる場合がある。例えば、 $A \text{ and } (B \text{ or } C) \text{ and } A$ という回路においては、左端と右端のAは冪等則により統合され、 $A \text{ and } (B \text{ or } C)$ となる。これは、括弧内(B or C)を一つの要素として置き換えることにより、冪等則を適用している。論理式のみで表現できる場合は、この括弧の位置を特定することにより、論理演算法則を適用していくことができるが、回路図として表現されている場合は、回路構造を読み取る必要がある。以下にその手法を述べる。

3.1 要素回路単接点化法

構造のある回路において、論理演算法則を効率的に適用するために、図4に示すように分岐点間の単純構成の直列要素回路や並列要素回路を単接点に置き換え、この単接点を通常の接点と同様に単純構成の回路の一要素として扱い、さらに単接点化することで回路を階層構造化する手法を考案した。これにより、それぞれの階層で論理演算法則による接点削減を行うことができる。具体的な手法を図5に示す。上段の回路において、最内包の並列要素回路C or Dを単接点とすることにより、B接点との直列要素回路B and (C or D)が現れる。この直列回路を単接点とすることにより、E接点との並列要素回路

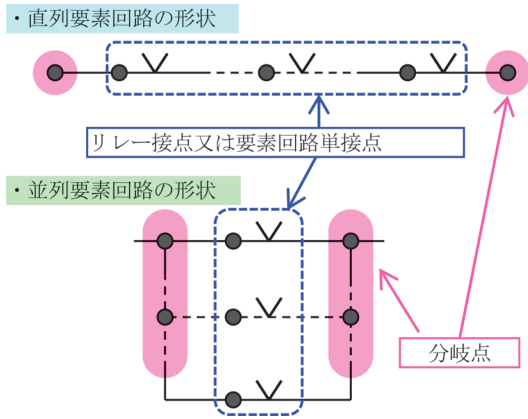


図4 要素回路の形状

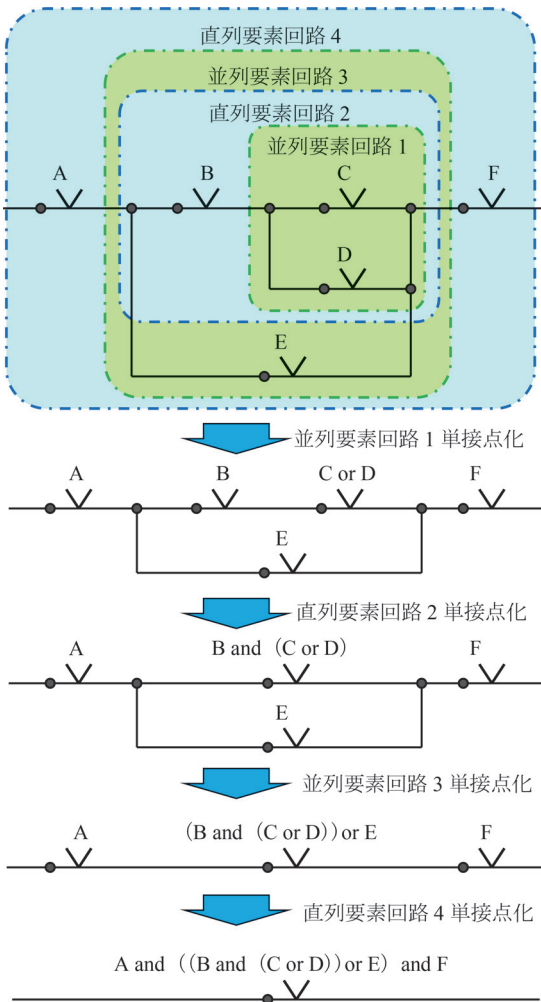


図5 要素回路による単接点化手法

(B and (C or D)) or E が現れる。これを繰り返すことにより、回路の階層構造が構築できる。

3.2 論理演算法則の拡張定理による接点数削減法

論理演算法則として定義されていないが、定理として定めておくことで効率的に接点数を削減する方法を説明する。

3.2.1 補元吸収則

図6の回路において、左側は吸収則に似た形状をしているが、共通接点が not となっているところが異なる。分配則を適用すると、右側の形状となり接点数が削減できる。この定理を「補元吸収則」と呼ぶことにする。

この定理による適用事例を図7に示す。信号機1Rは、過走防護として転てつ器21を、着点对向進路として入換標識31Lを鎖錠する。信号制御リレー回路において、21KNPR接点は転てつ器の開通を照査し、21TLRSR or 21KRPRは着点对向進路が開通していないことを照査する。21KRPR接点は、対向とならない進路を除外する進路が存在する場合に挿入するものであるが、21が過走防護により定位に鎖錠されるのであれば必要ない条件である。補元吸収則を適用して、21KNPRと21KRPR間の否定関係から、21KRPRを削除することができるため、挿入の有無を判断する必要がなくなる。なお、過走防護がなければ、21KNPRは挿入されないため、21TLRSR or 21KRPRはそのまま残る。

3.2.2 補元吸収則逆適用

回路規模を最小化するには、論理演算法則を接点数が少なくなる方向に適用するのが基本であるが、一旦接点の多い方向に適用することによって、より多く削減できる場合がある。図8の左側の回路は、論理演算法則では直

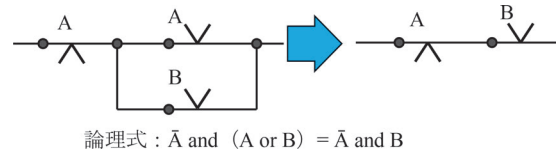


図6 補元吸収則

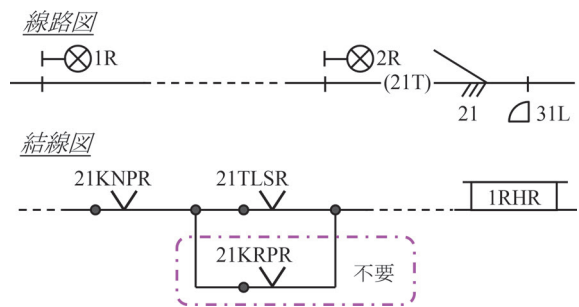


図7 補元吸収則適用事例

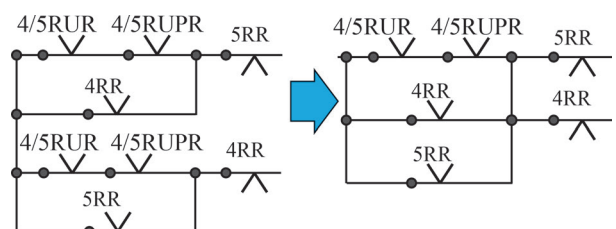


図8 補元吸収則逆適用事例

接点的には接点数を削減できない。ところが、補元吸収則を逆適用することにより、右側の回路のように接点数を削減できる。以下に2つの事例を紹介する。

①事例1

図8は、てこリレー回路における現示時素不正動作回路の共有化事例である。変換手順を論理式で簡略的に示すと以下ようになる。

$$\begin{aligned} & (A \text{ or } B) \text{ and } \bar{C} \text{ or } ((A \text{ or } C) \text{ and } \bar{B}) \\ = & ((A \text{ or } B \text{ or } C) \text{ and } \bar{C}) \text{ or } ((A \text{ or } C \text{ or } B) \text{ and } \bar{B}) \\ = & (A \text{ or } B \text{ or } C) \text{ and } (\bar{C} \text{ or } \bar{B}) \end{aligned}$$

1行目のA or BにC, A or CにBを、補元吸収則を適用してorで挿入すると、2行目のようにA or B or Cが共通となる。これに、分配則を逆適用することで3行目のようにAが1つ、図8の例では2接点削減される。

②事例2

信号制御リレー回路の車両接触限界支障軌道回路においては、以下の論理変換により共有化できる場合がある。

$$\begin{aligned} & ((A \text{ or } B) \text{ and } C) \text{ or } (\bar{A} \text{ and } B \text{ and } D) \\ = & ((A \text{ or } B) \text{ and } C) \text{ or } (\bar{A} \text{ and } (A \text{ or } B) \text{ and } D) \\ = & (A \text{ or } B) \text{ and } (C \text{ or } (\bar{A} \text{ and } D)) \end{aligned}$$

1行目の \bar{A} and Bに補元吸収則を適用して、BにAをorで挿入すると、2行目のようにA or Bが共通となる。これに、分配則を逆適用することで3行目のようにBが1つ削減される。

4. 工事前結線図自動作成

これまで、回路としての接点数の削減方法を説明してきたが、実際の設計においては駅構内改良による工事前の結線図を作成する場面が多い。工事前の結線図作成においては、改修の工数を削減するために、接点数を削減する以上に、回路の変更点を最小化することを重視し

ている。そこで、工事前後の変更点を最小化した工事前結線図を自動作成する手法を開発した。図9に、自動作成のためのフロー図を示す。

4.1 工事前結線図読み取り手法

CAD図面で作図された結線図の接続関係の自動読み取りは、結線図の自動論理検証を実現するために既に開発済みである⁶⁾。しかし、論理検証のみであるので、回路の探索に必要なリレー接点シンボルとその接続関係のみを読み込むものであり、回路形状は駅ごとに異なるため、単純な接続関係だけでは回路内の各リレー接点の意味を読み取ることはできない。そこで、回路を構造化することにより実現した。以下にその手順を示す。

(1) 直列回路の読み取り

CAD図面から結節点又は電源間の直列回路を読み取る。

(2) 分岐点の作成

結節点から分岐点を作成する。1つの分岐点から複数に分岐している場合は、図面上分岐点ごとに結節点を作図するが、回路ネットワークとしては、1分岐とするので、直接接続されている結節点を集約する。

(3) 要素回路の作成

左右の分岐点が共通な直列回路を並列要素回路とし、その構成要素を直列要素回路とする。これを並列要素回路が作成できなくなるまで繰り返す。

(4) 最上位直列要素回路の作成

並列要素回路の構成要素にできない直列回路を、最上位の直列要素回路とする。

4.2 工事前後リレーの対応付け

リレー名称は、工事前後で異なる場合があるため、工事前後対応関係⁶⁾を仲介して自動的に対応付ける。工事前後対応関係は、改修状態を表した線路図CAD図面を有

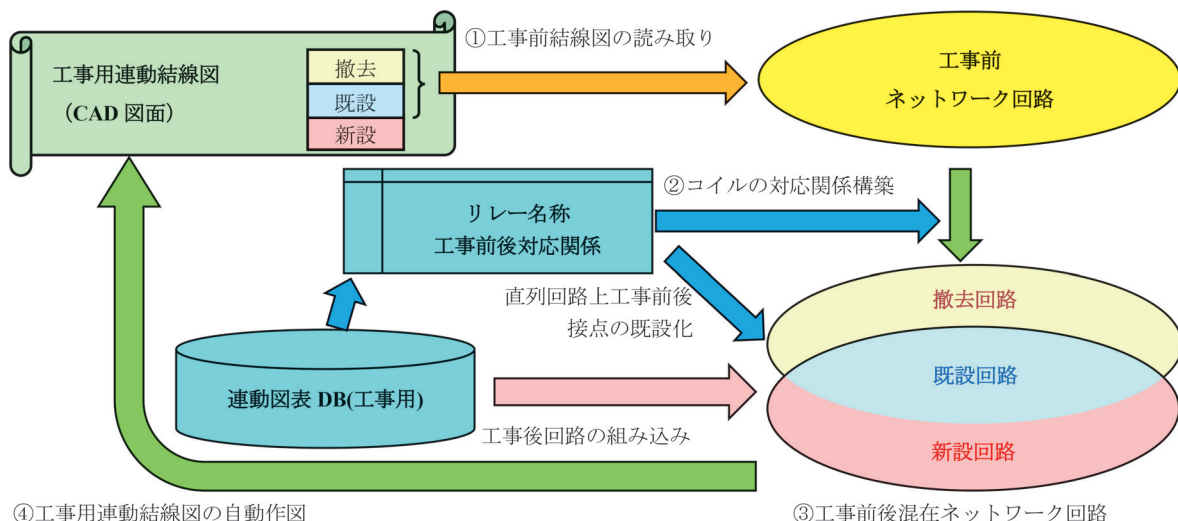


図9 工事前結線図自動作成フロー図

しており、線路上設備の工事前後名称が対応付けられている。線路上設備とリレー名称との関連は定められており、結線図CAD図面から読み取った工事前リレーを工事前連動図表の信号機と対応付けることができる。工事後のリレー名称は、工事後連動図表から自動作成されるので、明確に関連付けられる。これにより、線路上設備の工事前後の対応関係からリレー名称の工事前後対応関係が構築できる。

4.3 工事前後混在回路作成手法

工事前後混在回路は、工事前後が混在した形状で作図される。そこで、コンピュータ内に工事前後を混在させた回路ネットワーク（工事前後混在回路）を作成し、そのネットワーク内でリレー接点の工事前後対応付けを行うことにより、最終的な工事前後混在回路図を作成する。

4.3.1 工事前後混在回路の初期作成

4.1節で説明した工事前結線図の回路構造化による最上位の単接点化回路の形状から、各単接点の意味を把握することができるため、4.2節で説明したリレーコイルの工事前後対応関係に基づき、工事後に自動作成される回路ブロックを対応する工事前単接点化回路に隣接して挿入することにより工事前後混在回路を作成する。

4.3.2 工事前後等価回路による工事前後接点对应付け

工事前後混在回路の初期状態では、全ての接点が工事前後の対応付けがなされていない。これらの接点をできるだけ多く対応付けることにより変更点を最小化していく。工事前後の対応付けに当たって、工事前後接点と既設接点との間の等価回路を図10のように定め、これを適用することにより行う。なお、図に定める記号において、+は工事後、-は工事前を示し、等価回路において+-を入れ替え可能とする。結線図の接点の描画色は、赤が工事後のみ、黄色が工事前のみ、黒が工事前後とも存在とする。

①基本則

工事前後で対応付けられたリレーの新設接点と撤去接点が直列又は並列に関わらず直接接続されている場合、それらを統合して既設接点とする。また、リレーの工事前後対応関係によらずに、新設接点と撤去接点の直列回路と並列回路は等価、すなわち and と or は交換可能となる。このことから、次に示す分配則と混合則の and と or は交換可能となる。

②分配則

一般的な分配則とは若干異なり、工事前後反対接点に対して分配する場合は、少なくとも1接点のみ配置されればよい。

③混合則

工事前並列回路と工事後並列回路の直列接続は、工事前後接点を直列接続して並列回路とすることができる。これは、分配則の and 分配から導き出せる。また、工事前直列回路と工事後直列回路の並列接続は、工事前後接点による並列回路として直列接続することができる。これは、分配則の or 分配から導き出せる。

4.4 工事前後混在回路作成手法

前節までの作成される工事前後混在回路は、コンピュータ上で表現されるネットワーク構造となっており、これをCAD図面上に作図する必要がある。CAD図面に作図する際の回路の単位は、結節点間の直列回路としており、4.1節で述べたCAD図面からの読み取り手順を逆に実行することで作図できる。ただし、工事前後混在回路の場合、工事前後が混在した1つのネットワーク回路が構築できており、接点の改修状態（既設、新設、撤去）は設定したが、回路線の改修状態は指定していない。回路線の改修状態は、局所的には接点と同一状態となるが、異なる改修状態の接点が混在する場合、その境界で

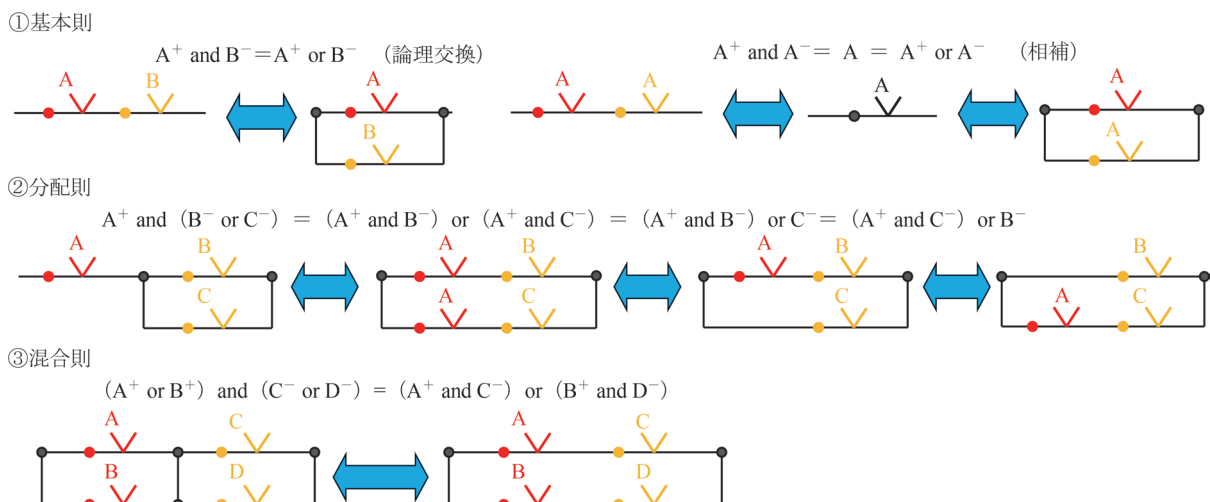


図10 工事前後2状態混在等価回路

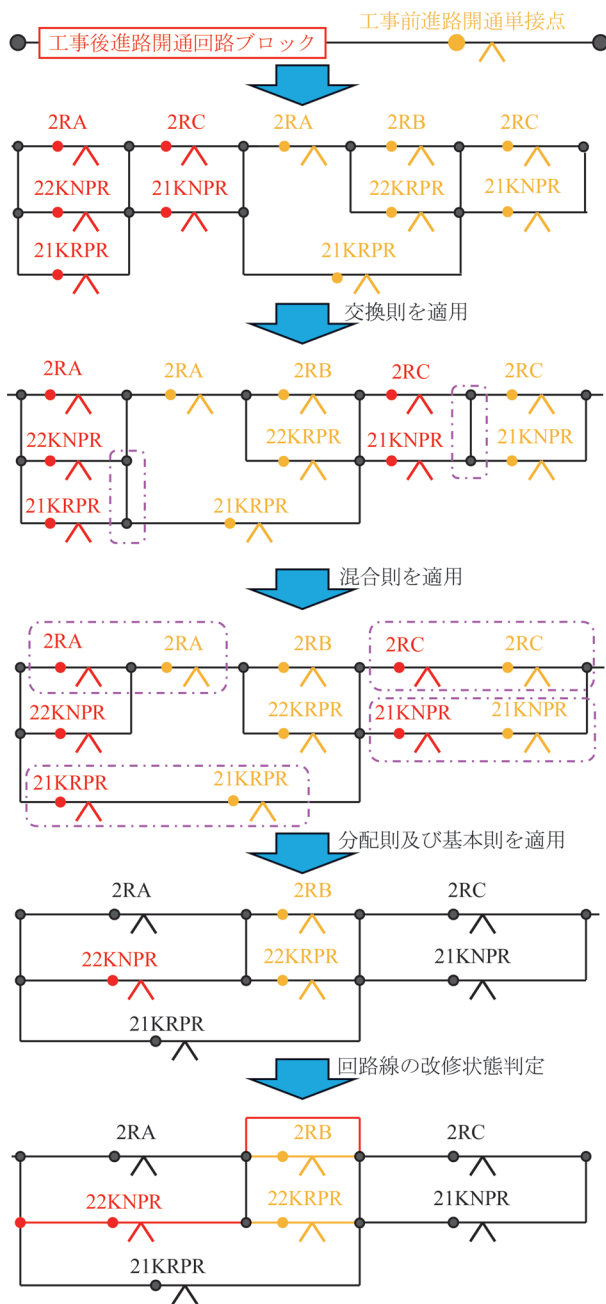


図 11 進路開通回路の等価回路による変更点最小化例

処理が必要となり、接点を短絡するための渡り線を作図する必要がある。作図方法は、要素直列回路全体が既設、すなわち工事前後両方の接点が存在する場合、新設接点に対して撤去渡り線を、撤去接点に対して新設渡り線を作図することが基本となる。要素直列回路の構成要素が要素並列回路の場合は、その要素並列回路自体が撤去又は新設であれば全体に渡り線を作図する。

4.5 接近鎖錠リレー回路への適用例

接近鎖錠リレー回路における適用例を紹介する。工事前結線図を CAD 図面から読み取り、単接点化を進めていくと、最終的に図 2 の接近鎖錠リレー回路の一般化形

状が現れる。工事後に自動作成される回路ブロックに対応する工事前単接点に直列に挿入することにより工事前後混在回路の初期状態が作成できる。図 11 は、接近鎖錠リレー回路の一部を構成する進路開通回路の工事後自動作成回路ブロックと工事前単接点の直列回路を示す。工事後回路ブロックと工事前単接点化を展開すると 2 段目の回路となる。一般的な論理演算法則の交換則を適用して工事前後に対応する接点が隣接するように並べ替えると 3 段目の回路となる。2RA⁺ or 22KNPR⁺ と 2RB⁻ or 22KRPR⁻ を単接点として扱って混合則を適用することにより、4 段目の回路となる。2RA⁻ に対して分配則を適用した後、2RA、21KRPR、2RC、21KNPR に対して基本則が適用可能となり、5 段目の回路として変更点最小化が完了する。

6 段目は、回路線の作図例である。22KNPR⁺ は新設であり、この接点を含む直列回路が他にないため、接点上の回路線の新設線とする。2RB⁻ or 22KRPR⁻ は撤去であり、これを含む直列回路に既設の 2RA or 22KNPR⁺ があるから、接点上の回路線を撤去するとともに、新設の渡り線を作図する。

5. おわりに

連動装置の設計支援システムに対する研究開発として、これまでに連動図表作成支援機能、連動検査チェック表自動作成機能、連動結線図自動作成機能、さらには踏切制御装置や ATS-P 制御装置との相互支援機能と総合的に取り組んできた。本報告は、連動結線図自動作成機能において、精度向上としての回路規模最小化と、拡張機能としての工事用図面対応を行った。これにより、研究課題としての取り組みは終了し、今後はシステムの実用化を推進していく。

文 献

- 1) 荒伸幸, 島添敏之: 連動表から結線データへの変換手順のデータベース化, 第 8 回鉄道電気技術研究会発表論文集, pp.173-177, 1998
- 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
- 3) 関根俊: 連動結線図自動作成の効率化手法, 第 53 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 2016
- 4) 関根俊: 継電連動装置の結線図自動作成と自動検証, 鉄道総研報告, Vol.33, No.7, pp.41-46, 2019
- 5) 関根俊: 進路選別式連動結線図自動作成ツールの開発, 第 55 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 2018
- 6) 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