

連動図表から結線図を自動生成するシステムの開発

関根 俊*

Development of a System to Make up an Interlocking Circuit Diagram Automatically from an Interlocking Table

Satoshi SEKINE

An interlocking circuit diagram expresses the control logic of the interlocking device. It can make the inside movement visible, but making up a diagram is not easy. On the other hand, an interlocking table does not express the control logic itself, but it describes the control condition so that human being can easily understand it. Therefore, we have developed a system, which makes up an interlocking circuit diagram automatically from an interlocking table. We examined the class structure of a circuit diagram, the generalization method of the normal circuit diagram, the clarification of the correspondence with an interlocking table, and the automatic layout technique of a circuit diagram. As a result of having made up a system experimentally based on those examinations, we have been able to make up a circuit diagram automatically.

キーワード：連動装置，シーケンス制御，連動図表，連動結線図，オブジェクト指向

1. はじめに

連動装置は、駅毎に動作が大きく異なるため、駅固有の論理を明確にするために“連動図表”が作成される。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、列車の動きや信号設備の状態を人間が見て分かりやすいようにコンパクトにまとめられている。連動装置として動作させるためには、制御を実現するための処理が必要であり、実現形態として、コンピュータによる連動動作を共通化したプログラムを作成し連動表をデータとして入力する方法と、シーケンス制御による方法がある。シーケンス制御は、リレーという電磁石を、接点というスイッチによって駆動するという単純な原理によって直列回路や並列回路を基本とした論理を構築するものであるが、最近ではコンピュータを用いてブール値のAND,OR,NOTを基本とした論理シーケンスによって実現することが多くなっている。この制御方式は、論理が単純であるので、内部動作が明確に把握できるというメリットがあるが、駅毎に論理回路または論理式を作成する必要があり、多大な労力を要する。

現物のリレーを用いた有接点シーケンスによって制御する継電連動装置においては、この論理回路の作成が必須であり、“結線図”と呼ばれる図面を作成する。結線図は、論理を表すだけでなく、人間が見て分かりやすいよ

うにデザイン化され、標準結線図1)として規定されている。論理シーケンスによって制御する電子連動装置においては、リレー特有の対策が不要となる他は、基本となる連動機能はほぼ同様であるので、この標準結線図が利用できる。

筆者は、これまでに連動図表の作成を、コンピュータにより支援するシステムを開発して実用化した2)3)。このシステムによって作成した連動図表から、継電連動装置で規定されるデザイン性のある結線図を自動生成することを試みた。開発のポイントは、結線図をコンピュータ上で表現するための構造化、連動図表と結線図の関連づけとネットワーク論理回路の自動生成、およびネットワーク論理回路を図面に出力するための自動レイアウトである。これらの全体的な流れと概要は、文献4)に報告しており、本論文ではより詳細な内容を報告する。

2. 結線図の構造化

結線図をコンピュータによって自動生成するためには、その概念を構造化することが重要である。構造化の対象は、結線図を構成する要素の構造化と、標準結線図の形態の構造化が必要である。

結線図を構成する要素とは、てこ、着点ボタン、軌道回路、リレー等であり、これらの属性や機能、相関関係をコンピュータ上で再現するために、オブジェクト指向手法を用いた。この手法は、概念としての“もの(オブジェクト)”を中心に据えるものであり、“クラス”とし

* 信号通信技術研究部(列車制御)

特集：信号通信技術

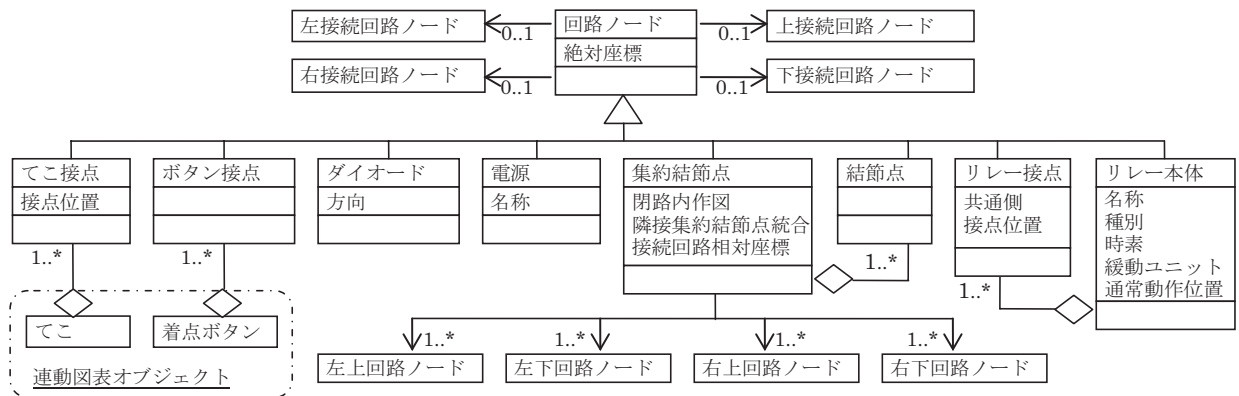


図1 回路ノードクラスのクラス図

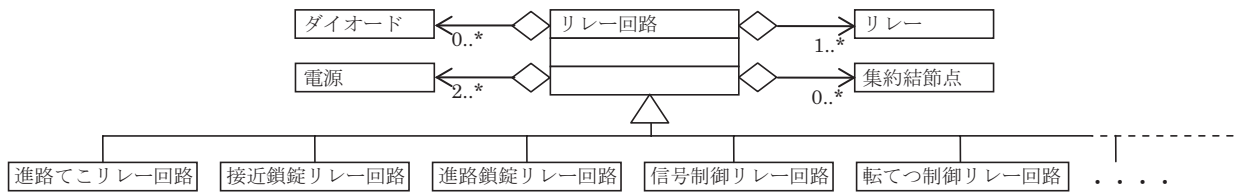


図2 リレー回路クラスのクラス図

て、図1および2のように定義する。連動装置は、構成要素の属性や機能、相関関係が複雑であり、この手法を活用することで、表現しやすくなる。結線図は、論理を図的に表現することに特徴を有しており、図3および4のように図的な構造化を行うことで、あらゆる駅の結線図にも対応して自動生成できるようにする。

2.1 回路のクラス構造

2.1.1 回路ノードクラス

図1に示すように、リレー回路のオブジェクトを表現するために、“回路ノード”という抽象クラスを中心としたクラス図を定義した。クラス図の書式は、UMLに従っている。回路のネットワークは、回路ノードの接続関係によって表すことができ、回路を図面に出力して表現できるように、接続の分岐点に結節点を設け、接続の方向(左右、上下)を設定できるようにした。図1の矢印(→, ←)は関連の方向で、“0..1”は関連の数を表し、左側の数字は最小数、右側の数字は最大数である。なお、数字の部分に*となっているのは無限大を示す。回路を構成する要素であるてこ接点、着点ボタン接点、電源、ダイオード、結節点、リレー本体、リレー接点などは、全て回路ノードから継承する。△は継承を示す。下記に、継承するクラスの目的別の説明を行う。

(1) 連動図表内クラスと直接関連するクラス

連動図表内に所属するてこや着点ボタンは、制御回路内で接点として直接用いられる。てこには、“てこ接点”クラス、着点ボタンには“ボタン接点”クラスを内包し、相互に関連する。◇は内方を示す。なお、てこ接点には、N,R,CN,CRなどの接点位置をデータとして有する。

(2) リレーに関するクラス

“リレー本体”クラスには、名称、種別、時素、緩動ユニットの有無、通常動作状態のデータを有する。“リレー接点”クラスには、共通側方向と接点位置のデータを有する。リレー本体内にリレー接点を内包し、相互に関連する。

(3) 回路の分岐点を表現するクラス

結線図の分岐点として、“結節点”クラスを設けるが、ネットワークの接続状態をコンピュータ上で表現しやすくするために、直接接続する結節点を集約して“集約結節点”クラスを定義し、結節点クラスを内包し、相互に関連する。また、分岐点に接続する回路ノードとして、4方向(左上、左下、右上、右下)別に関連する。

(4) 回路の終点や方向を表現するクラス

電源に接続するクラスとして、“電源”クラス、ダイオードを表現するクラスとして“ダイオード”クラスを設ける。

2.1.2 リレー回路クラス

リレー回路の自動生成を処理するためのクラスとして図2のように“リレー回路”クラスという抽象クラスを定義し、回路の表現、回路の一般化、及び処理フローを作成する。このクラスには、回路内で用いられるリレー、集約結節点、電源、ダイオードを内包し、個別のリレー回路に継承する。

個別の回路クラスでは、連動図表のオブジェクトと関連することにより、連動図表の論理データを取得できるようにする。図4に、接近鎖錠リレー回路の例を示す。接近鎖錠リレー回路は、信号てこ基本的に1対1に関連する。しかし、信号てこから回路への関連は、内方に転てつ器や対向進路がない場合は必要としないので0又は1となり、逆に回路から信号てこへの関連は、同一方向同一着点の信号てこ間においては共有する場合があるの

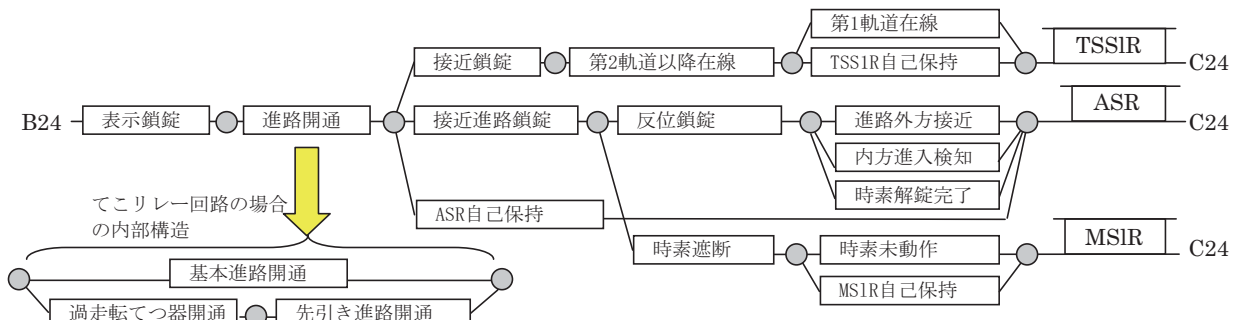


図3 接近鎖錠リレー回路の一般化

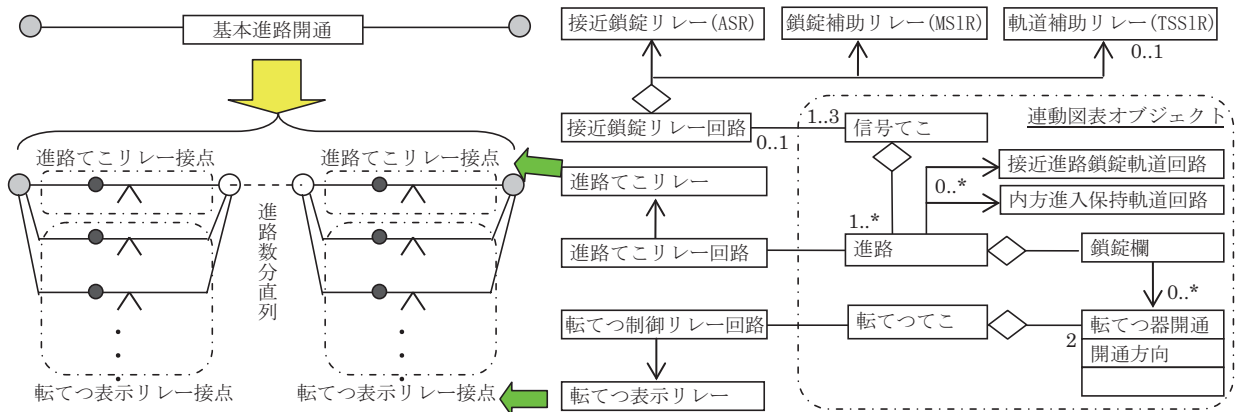


図4 接近鎖錠リレー回路の基本進路開通の回路構成と連動図表との関連

で、複数の関連を可能とする。なお、共有数は、通常3信号てこまでとしている。回路によって動作するリレーとして、必須となる接近鎖錠リレー (ASR) と鎖錠補助リレー (MSIR)、及び必要に応じて設置される軌道補助リレー (TSSIR) を内包する。

2.2 標準結線図の一般化

連動結線図は、概念的には標準化されているが、実現形態は駅によって大きく異なる。このため、継電連動装置で規定されている標準結線図は、回路の形態が厳密に標準化されておらず、事例集的になっている。コンピュータによって自動生成を実現するには、論理的に厳密に規定する必要があるので、標準結線図の一般化を行った。

回路種別毎に、回路をいくつかの意味のある回路ブロックに分割し、回路ブロック間の接続によって全体的なネットワーク回路を構築する。回路ブロックの内部には、必要に応じて更に回路ブロックによるネットワークを構築し、回路ブロックが単純化されるまで繰り返す。最も細分化された回路ブロックにおいて、連動図表の論理データと関連して回路ノードによる直列、及び並列回路を定義する。連動装置に必要なリレー回路は10程度に分けられるが、ここでは、接近鎖錠リレー回路を例に説明する。図3に、接近鎖錠リレー回路の回路ブロックによる一般化を示す。TSSIR、ASR、MSIRのリレーを駆動する。回路ブロックによるネットワーク回路を定義し、進路開通を例にとると、更に、基本進路開通、過走

転てつ器開通、先引き進路開通の回路ブロックによるネットワークを定義している。最終段階の回路ブロックでは、連動図表オブジェクトと関連づけて、具体的な接点を構築するように定義されている。図4には、基本進路開通の回路ブロックの定義例を示している。進路と関連づけられた進路でこリレー接点と、その進路を開通するための転てつ器開通条件に関連づけられた転てつ表示リレーの並列回路とし、これらが信号てこ内の進路数分の直列回路を構築する。

3. 連動結線論理の自動生成

一般化した標準結線図に従って、連動図表データから回路クラスのインスタンス (実体) とその関連を構築していくことで、ネットワーク論理回路を自動生成することができる。また、連動図表のみでは決定できない条件がいくつか存在するので、これを補足条件として事前に入力することにより自動生成精度を向上させる。

3.1 補足条件の設定

補足条件として設定する条件は、連動図表のみからは決定できないが、標準的に決定することは可能であるので、システムによる仮自動生成を行った後、ユーザによる手動修正を行う形態を採った。仮自動生成結果は、連動図表のオブジェクト内にデータとして保存され、後述する結線図の自動生成時に、実際のオブジェクトが生成

特集：信号通信技術

される。補足条件設定する回路としては、接近鎖錠リレー回路と進路鎖錠リレー回路がある。接近鎖錠リレー回路の仮自動生成について説明する。

3.1.1 リレー名称の設定

仮自動生成では、連動図表に登録されている信号てこ毎に、てこ名称に“ASR”や“MSIR”を付加することでリレー名称を登録することを基本とする。なお、進路数が1つで同一方向同一着点の信号てこは、3てこまで同一のリレー名称とする。

TSSIRリレーは、内方進入保持が必要な場合に設置される。解錠時素が60秒以上の信号機に設置されることが多いが、その限りでない。このため、本システムでは、仮自動生成においては、全ての信号機に対して生成している。名称は、内方進入保持の第1軌道回路名称に“SSIR”を付加する。

3.1.2 内方進入保持の設定

内方進入保持は、列車が信号機内方に進入したことを検知して、進路終点まで保持することにより、てこ復位による時素解錠を防止する。このため、進路毎に、信号機内方から着点までの全ての軌道回路を設定することを基本とする。但し、閉路鎖錠軌道回路は省く。

3.1.3 解錠軌道回路数の設定

解錠軌道回路数は、通常2軌道であるが、信号機内方進路内の軌道回路が1つしかない、あるいは閉そく区間に進出する場合などに、1軌道回路とする。

3.1.4 接近進路鎖錠の設定

接近進路鎖錠は、接近鎖錠に進路鎖錠の機能を持たせて、進路鎖錠を省くものである。接近鎖錠に連続する第1進路区分鎖錠において、他のてこの進路区分鎖錠と共有していなければ、これを接近進路鎖錠として、仮自動生成する。

3.1.5 補足条件の修正

補足条件設定データは、図5に示す画面によって表示される。仮自動生成結果を確認し、必要に応じて修正を行う。

3.2 リレー回路オブジェクトの自動生成

連動図表オブジェクトとの関連から、各リレー回路のオブジェクトを生成し、必要リレーを自動生成する。例えば、図3において、進路てこリレー回路は、進路と1対1の関係にあり、進路毎に回路オブジェクトを生成し、その内部に進路てこリレーを自動生成する。接近鎖錠リレーについては、信号てこ関連づけられているが、補

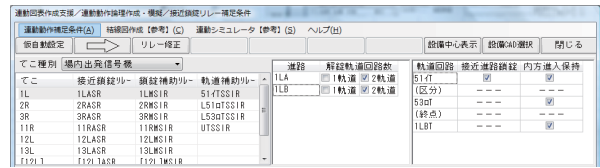


図5 連動動作補足条件設定画面

足条件設定によりリレー名称が設定されており、リレー名称が共通な信号てこについて、回路オブジェクトを共有する。このようにして、全てのリレー回路について、回路オブジェクトとリレーを自動生成する。

3.3 結線論理ネットワークの構築

標準結線図の一般化定義に従って、連動図表オブジェクトからリレー接点など回路ノードオブジェクトを自動生成して、それらの接続関係を構築していく。例えば、図3において、接近鎖錠リレー回路の基本進路開通回路ブロックの構築について述べる。当該回路に関連する進路てこ内の進路について、進路てこリレー回路の進路てこリレーを取得し、このリレー内にR接点オブジェクトを生成して、左右の集約結節点と接続する。左側の集約結節点からは、右下回路ノードとして、右側集約結節点からは、左下回路ノードとして接続する。次に、この進路の鎖錠欄の転てつ器開通方向オブジェクトを取得し、これに関連する転てつてこの転てつ制御リレー回路から開通方向と反対の転てつ表示リレー内にR接点オブジェクトを生成して、進路てこリレーと同様に接続する。これによって、1進路分の進路開通回路が作成される。これを接近鎖錠リレー回路に関連する全ての進路について、構築し、直列に結合する。なお、回路ブロックの両端に接続する集約結節点は、予め作成されている固定のものであり、進路間を結ぶ集約結節点は、進路数に応じて動的に生成する。

回路ブロックが必要ない場合は、集約結節点間を直接接続するか、集約結節点を統合する。いずれの方法とするかは、回路の見やすさに依存するものであり、集約結節点毎に設定しておく。なお、接続する集約結節点が、全て集約結節点となる場合は、必ず統合する。

3.4 回路の最適化

回路を簡略化するために、共通の回路を統合して最適化する。本システムでは、転てつ器の開通方向を表す回路において、共通の転てつ器の開通接点を統合して最適化

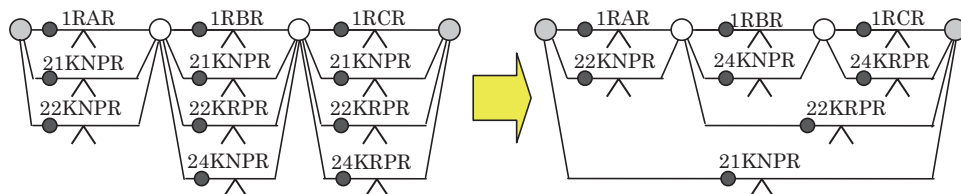


図6 回路の最適化例

を行えるようにした。例えば、図6は基本進路開通の回路を示したものであり、左側は標準結線図に従った回路で、進路てこリレーの直列接点全て

が21KNPR接点の並列回路，22KRPRは1RBRと1RCRの並列回路となっており，右側のように統合することにより回路が簡略化できる。

4. 連動結線図の自動レイアウト

結線論理ネットワークの構築によってコンピュータ上では，論理的には回路が実現できている。しかし，この状態では，人間が確認できる形態になっていない。そこで，CAD図面上に結線図を作図できるように，自動レイアウトを行う。自動レイアウトは，リレーや接点の作図座標値を決定することであり，図7の処理手順で行う。処理の過程において，図8に示す集約結節点（又は電源）間の直列回路を，集約結節点からの相対座標値として計算を行う。この回路は，図3に示す集約結節点に接続しているそれぞれの回路ノードを探索して最初に見つかる集約結節点又は電源までの直列回路であり，接点間の間隔は均等，高さは水平とする。求める座標値は，集約結節点間の水平距離と，集約結節点から直列回路の垂直距離となる。

4.1 集約結節点間直列回路の相対座標値計算

4.1.1 初期値の設定

集約結節点からの垂直距離は，左上，左下，右上，右下と4方向別の登録順序に従って等間隔に設定する。なお，左下と右下の1つ目は水平とする。集約結節点間の水平距離は，直列回路の接点数を設定する。

4.1.2 閉回路の補正

集約結節点間の経路が複数存在する場合，経路毎に矛盾が発生することがある。このため，間隔が広い方に合わせるように補正する。なお，図11のように，閉回路の内部に向かって延びる回路は，回路内に作図する場合と回路外に作図する場合がある。閉回路内回路の補正は，次に述べる交錯回路の補正によって行うこととし，閉回路自体の補正時には，閉回路内回路は無いものとして行う。

4.1.3 交錯回路の補正

集約結節点から分岐しこれ以降合流しない回路間においては，回路の交錯を補正する必要がある。交錯を補正する方法は，集約結節点間の水平距離を拡げるか，直列回路の垂直距離を拡げるかの処理を行う。拡げる方向によっては，バランスが悪くなるので，拡げる方向に考慮する必要がある。図9上のように交錯部分が短ければ水平方向に拡げ，図9下のように交錯部分が長ければ垂直方向に拡げる。な

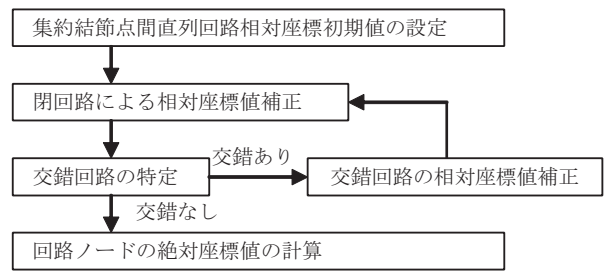


図7 自動レイアウトの処理手順

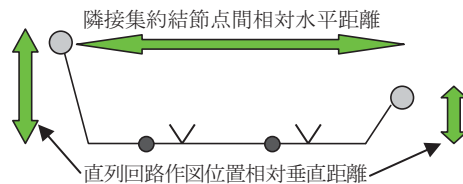


図8 集約結節点間直列回路の相対座標

お，交錯回路と拡げる回路とは異なるので，拡げるべき回路の探索を行う。例えば，図9において，交錯するのは②～③の下回路と①～C24である。この回路間の経路を探索して，左右が反転する集約結節点①を取得する。この集約結節点を挟む経路上の上下いずれかの回路の補正を行う。垂直方向に拡げる場合は水平から遠い方の回路を，水平方向に拡げる場合は交錯点以降の回路が長い方の回路を拡げる。図10のように，差し違えて交錯している場合は，垂直方向に拡げることは不可能であるので，水平方向に拡げる。

図11の閉回路内回路においては，交錯している回路の集約結節点②の作図設定によって処理方法が異なる。

- (1) 閉回路外作図として設定されている場合は，②～C24間回路を垂直方向に拡げる。
- (2) 閉回路内作図として設定されている場合は，①～③間の下側回路を垂直方向に拡げ，②～③間の回路を水平方向に拡げる。

なお，閉回路内回路の作図方法は，標準結線図によって決まっており，ネットワーク回路の構築時に集約結節点に設定する。回路の座標値を修正すると，これまで交

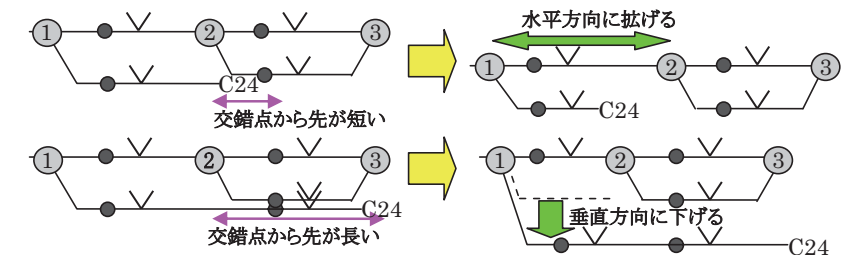


図9 交錯回路の補正

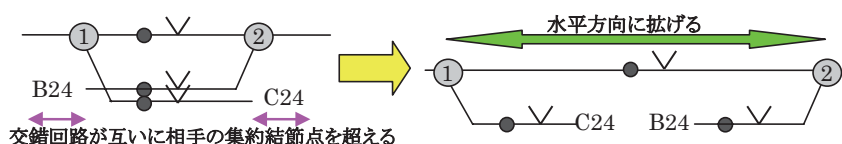


図10 差し違え交錯回路の補正

特集：信号通信技術

錯していなかった回路が交錯することがあるので、全ての交錯がなくなるまでこれを繰り返す。

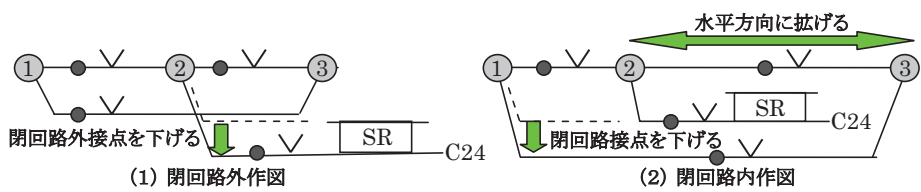


図 11 閉回路内回路の作図

4.2 絶対座標値の計算

集約結節点間直列回路の

相対座標値が計算されることにより、ネットワーク回路を探索することで、接続されている回路全体における集約結節点の相対座標値が決定できる。これにより、各回路ノードの相対座標も決定できる。次に、ネットワーク回路毎の相対座標値を決定する。同一の標準結線図における回路であっても、回路が接続されていない場合があるので、回路を探索して接続している接続関係にあるネットワーク回路を特定する。

特定した回路ネットワークを互いに重ならないように、適当な配置によって絶対座標値を決定し、これを基準にして各回路ノードの絶対座標値を決定する。

4.3 結線図のCADへの出力

以上により計算した絶対座標値に基づき結線図として自動作図した例を図12に示す。作図に当たって、汎用のCADを用いることで、作図処理を効率化し、作図後の編集を容易にした。

5. おわりに

コンピュータの進歩により、連動装置も電子連動装置が普及してきている。それに伴い自動化も進み、継電連動装置で必要とした結線図の作成を不要とすることもできる。一方で電子連動装置においても敢えて結線図を作成する方式を採用することもある。これは、安全性の観点から、内部論理を可視化し、電子連動装置のリアルタイム処理を単純化するためである。しかし、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、必ずしも安全性上有利とは言いきれない。そこで、結線図の作成を連動図表から自動生成

するシステムを試作した。システムの特徴として、可視化というメリットを最大限活かすために、結線図のデザイン面を考慮して出力されるようにした。ネットワーク論理回路を自動構築し、自動レイアウトにより図面を作図するので、進路選別リレー回路のように複雑な結線図も自動生成できる。標準結線図の一般化は、完全には実現できていないが、システムへの組み込み手法は確立しており、実現への目処は付いたと考えられる。

今後の展開については、自動生成した連動結線図に対する解説を自動表示する機能とシミュレーション機能、および工事用結線図の自動作成機能などの開発を予定している。

文献

- 1) JR グループ監修：継電連動装置標準結線図，(社)日本鉄道電気技術協会，1987
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 関根 俊：連動装置の制御論理回路の自動生成，鉄道と電気技術，Vol.22, No.3, pp.18-21, 2011

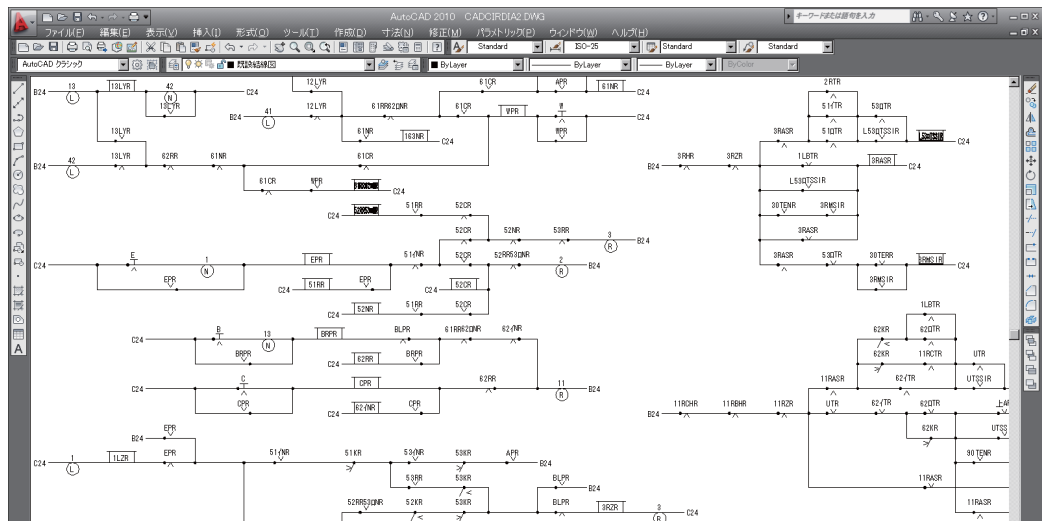


図 12 自動生成された結線図の出力例