

# 継電連動装置の結線図自動作成と自動検証

関根 俊\*

Automatic Creation and Verification of Circuit Diagram for Relay Interlocking Device

Satoshi SEKINE

There are two types of interlocking devices: electronic interlocking machines and relay interlocking machines. The installation ratios are almost equal in Japan. Since the internal operation of the relay interlocking machine is visible, it is excellent in maintainability, but labor is required for logical design. In order to improve the efficiency of logic design, we developed a system that automatically creates interlocking circuit diagram from interlocking table and also automatically verifies them based on interlock inspection checklists that are automatically created from interlocking table. Automatic verification not only improves the quality of individual interlocking circuit diagrams but also can be used to improve the accuracy of automatic creation logic. In this paper, automatic creation of interlocking circuit diagram and automatic verification method are outlined, and a case is introduced, where automatic verification and automatic creation logic based on the analysis result are reviewed.

キーワード：連動装置，継電連動機，リレー，結線図，連動図表，連動検査

## 1. はじめに

連動装置には継電連動機と電子連動機があり，その設置比率はほぼ二分されている。電子連動機の方が先進的であるが，現在は移行過渡期という状況ではなく，それぞれにメリットとデメリットがあり，鉄道事業者の方針と駅の特性に応じて選択されている。継電連動機は，内部動作が可視的であるため保全性に優れているが，結線図の作成に負担がかかることや規模に応じて設置スペースが広がるデメリットが存在する。

結線図作成の負担を軽減するために，連動図表に基づいて自動作成する研究を行ってきた<sup>1) 2) 3)</sup>。しかし，自動作成した結線図の完全性は保証できないので，人手での修正と検証が必要となる。このため，検証を支援するための結線シミュレータも並行して開発してきたが<sup>4)</sup>，動作が可視化できても，操作は手動で行うため，負担に対する抜本的低減策とはならない。そこで，連動図表から自動作成される連動検査チェック表を自動的に読み込み，連動結線図を自動検証する手法を開発した<sup>5)</sup>。連動結線図の自動検証は，個別の連動結線図の品質を向上させるだけでなく，自動作成した連動結線図に対して自動検証を行うことで，誤り箇所の特定が迅速となり，自動作成論理の精度向上にも活用できる。

本報告では，連動結線図の自動作成と自動検証法について概略を述べ，自動検証の実施により自動作成論理を改善した事例を紹介する。

## 2. 連動装置設計支援システム

連動装置の設計において，最も基本となるのが「連動図表」であり，これに基づいて，制御回路図である「連動結線図」，その機能を検証する「連動検査チェック表」を作成する。これらの図面を効率的に作成するための設計支援システムの構成図を図1に示す。

連動図表は，連動装置の現場機器構成図を記載した「配線略図」と，連動機の制御論理を記載した「連動表」からなる。これらの間には密接な関係があるので，配線略図から連動表を効率的に作成することが可能となるが，様々な追加補足条件が複雑に絡み合っており，配線略図から連動表を一意的には決定できない。このため，連動図表の作成は，いくつかの作成段階で暫定的な自動作成を織り交ぜながら支援する形態となっている<sup>6) 7)</sup>。一方，連動結線図や連動検査チェック表については，連動図表を基本としていくつかの補足条件を追加することにより，自動的に作成することができる。

連動結線図は，小駅用の「進路てこ式」と大駅用の「進路選別式」の2つの制御回路図がある。進路選別式は，回路構成を線路線形の網状としているため，配線略図の情報が必要であるが，進路てこ式は，回路構成を論理式相当としているため，連動表のみの情報から作成することができる。

結線シミュレータは，手動又は自動で作成された連動結線図に対して，てこや軌道回路の操作を行うことにより，全てのリレーコイルから電源端子までの導通を探索して動作状態を更新する。結線シミュレータの操作は，

\* 信号・情報技術研究部 列車制御研究室

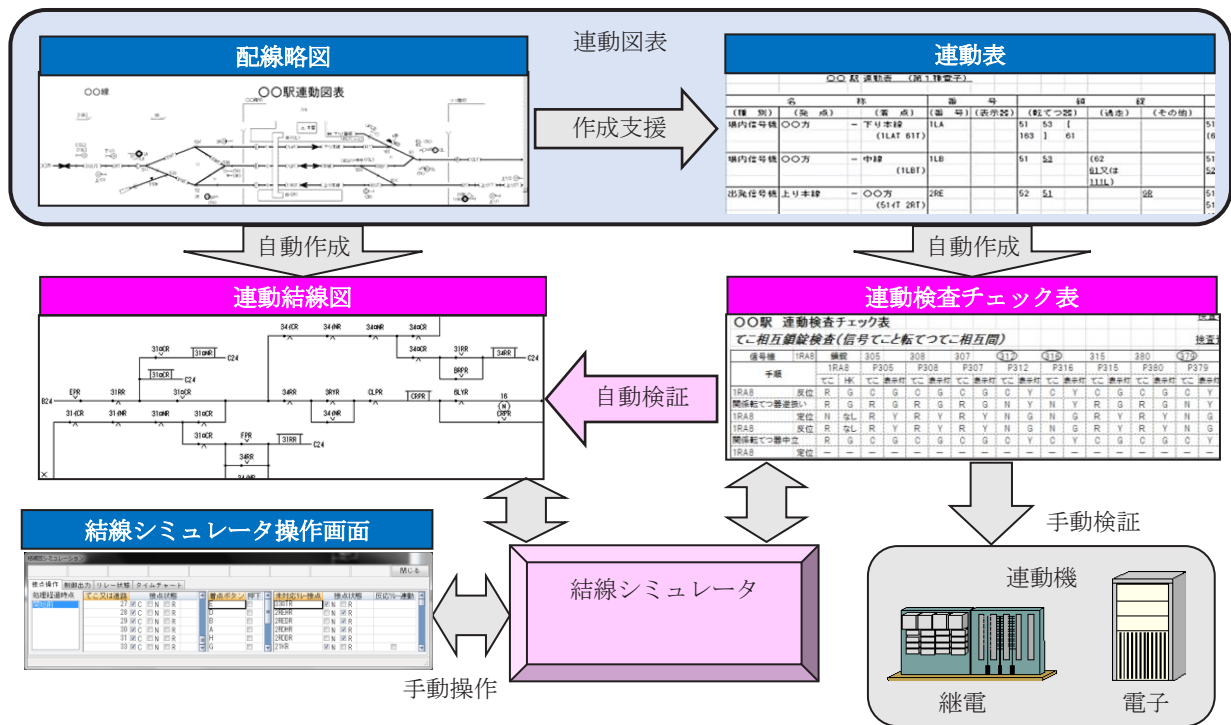


図1 連動装置設計支援システム構成図

手動と自動があり、手動操作では結線図上に導通経路を表示させることができる。自動操作は、連動検査チェック表を自動的に読み込み、連動結線図を自動検証する。自動検証の詳細は、4章、5章で述べる。

着点設定回路のブロック回路が接続されており、3.1節、3.2節で示す方法により、具体的な接点の割り当て方法を明確化する。

### 3. 連動結線図自動作成法

連動結線図の自動作成法の基本は、ブロック回路によって全体的な回路形状を定義しておき、ブロック回路を連動図表と対応づけて、詳細化していくことである<sup>1)</sup>。最終的に、接点やリレーコイルの接続関係を設定し、図2のような結線ネットワークを構築して、自動レイアウトにより結線図を自動作成する。

本報告では、進路てこリレー回路の自動作成法について説明する。回路を構成するリレーや接点は、図3に示すように、連動表から取得する。これらを図4に示す進路てこリレー回路基本形に対して割り当てていく。中央の進路てこリレーコイルの左側に直接鎖錠回路、右側に

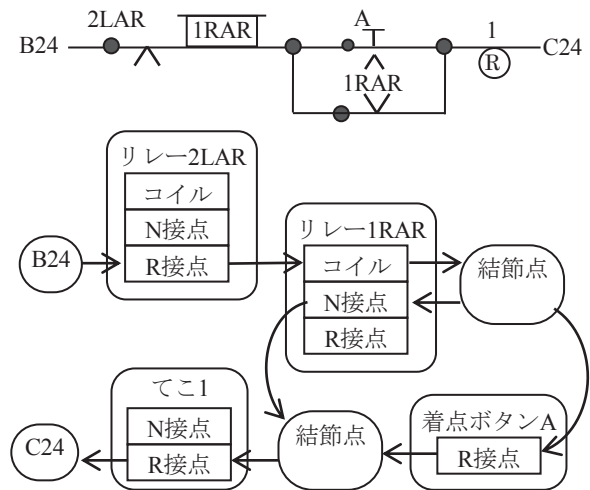


図2 結線ネットワークの構築例

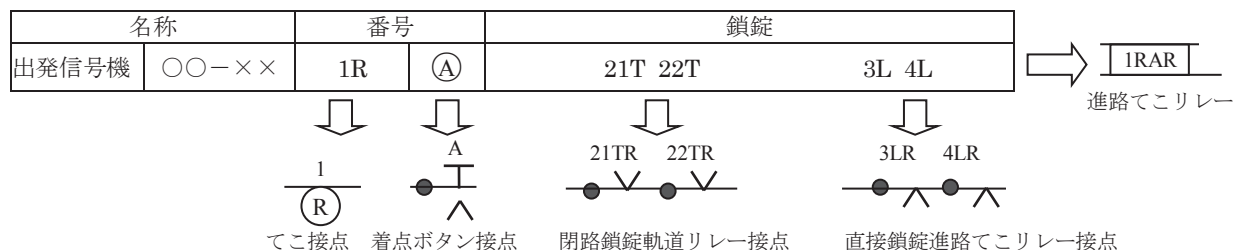


図3 進路てこリレー回路の連動表との対応関係



図4 進路てこりレー回路基本形

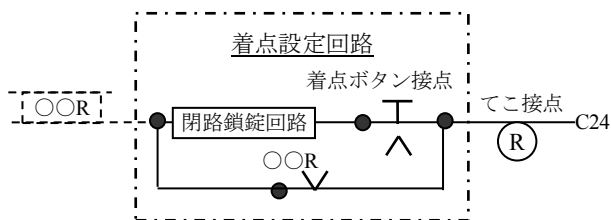


図5 進路設定回路

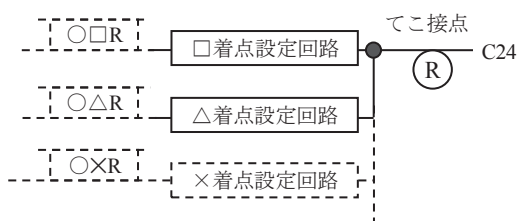


図6 発点共通の進路設定回路

### 3.1 進路設定回路

進路設定回路は、図5に示すように、てこ接点と着点設定回路の直列回路となる。着点設定回路は、着点ボタン接点と閉路鎖錠回路の直列回路にてこりレー N 接点を並列に接続した自己保持回路となる。てこ接点は、連動表の番号欄左側に記載されている名称から作成する。着点ボタン接点は番号欄右側に記載されている名称から作成する。閉路鎖錠回路は、閉路鎖錠軌道りレー N 接点の直列回路となり、連動表鎖錠欄の軌道回路名称から作成する。

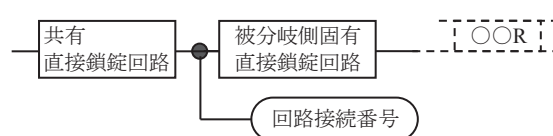
また、同一のてこから複数の着点を設定できるので、異なるりレー回路間でてこ接点を共有することができる。図6のように共通のてこ接点から着点設定回路を分岐させる。

### 3.2 直接鎖錠回路

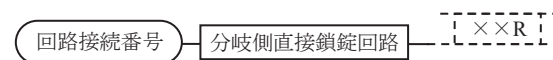
直接鎖錠回路は、以下のりレー接点を直列に接続する。

- (1) 連動表鎖錠欄の反位鎖錠方向でこの運転方向りレーの開通方向接点
- (2) 連動表鎖錠欄の直接鎖錠進路のてこりレー R 接点
- (3) 進路てこが3位の場合の対向進路てこりレー R 接点
- (4) 場内進路において、順対向出発進路の MSIR 共有の接近鎖錠りレー N 接点
- (5) 現場扱い転てつ器の転てつ表示りレー N 接点

直接鎖錠回路は、全て直列接続で単純であるので、他のてこりレー回路と共通接点を共有してりレー接点を削減する。りレー接点の共有方法は、てこりレー回路において最も多く用いられているりレー接点を探索して共通



(1) 被分岐側回路



(2) 分岐側回路

図7 直接鎖錠回路の共有化

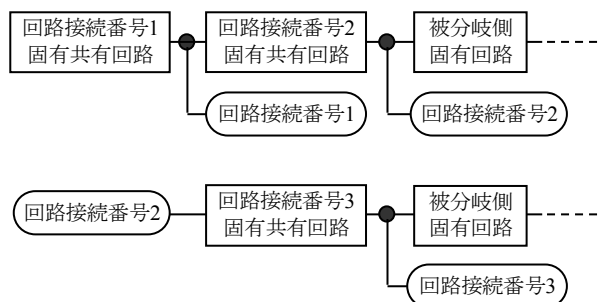


図8 直接鎖錠回路の多重分岐

接点とし、回路接続番号によって分岐させて他方のりレー回路を間接的に接続する。図7(1)に示すように被分岐側回路の分岐点に回路接続番号を挿入し、分岐側回路には共有回路を削除して図7(2)に示すように先頭に回路接続番号を設定する。また、図8のような回路の多重分岐に対応するための探索方法として、同一の回路接続番号を先頭とした回路において、共有りレー接点を探索する。

回路図の自動作図においては、分岐点において接続する回路間を直接接続することが望まれるが、回路線が輻輳する場合がありますので、回路接続番号を作図して接続関係を論理的に表すことを基本とする。回路接続番号が共通な回路が上下間に連続する場合は、直接分岐して作図する。

## 4. 連動結線図自動検証手法

連動結線図の検証は、連動装置設計の最終工程として位置づけられ、これまでに手動検証を前提とした連動検査チェック表の自動作成を実用化している。連動結線図の自動検証を実現するため、この連動検査チェック表を自動的に読み取り、結線シミュレータを自動操作することにより自動検証するツールを開発した<sup>5)</sup>。

結線シミュレータは、CADで作図された連動結線図から、結線図の自動作成と同様に図2の結線ネットワークを自動構築する。てこ接点や着点ボタン接点などの操作可能な接点の接触状態を変更することにより、りレーコイルから電源端子までの導通を探索し、りレー状態を更新する。

連動検査チェック表

てつ査鎖錠検査		P21てつ査鎖錠		21T		21		軌道表示		21T		記事		検査						
転てつ器	手順	転てつ器	てこ	表示灯	軌道表示	記事	検査	転てつ器	てこ	表示灯	軌道表示	記事	検査	転てつ器	てこ	表示灯	軌道表示	記事	検査	
P21	全軌道回路	短絡	C	—	なし	R	<input checked="" type="checkbox"/>													
	関係軌道回路	回復	C	—	なし		<input checked="" type="checkbox"/>													
	21	定位	N	G	なし		<input checked="" type="checkbox"/>													
	21	反位	R	G	なし		<input checked="" type="checkbox"/>													
	21T	短絡	R	Y	なし	R	<input checked="" type="checkbox"/>													
	21	定位	N	Y	なし	R	<input checked="" type="checkbox"/>													
	21T	回復	N	G	なし		<input checked="" type="checkbox"/>													
	21T	短絡	N	G	なし	R	<input type="checkbox"/>													
	21	反位	R	G	なし	R	<input type="checkbox"/>													
	21T	回復	R	Y	なし		<input type="checkbox"/>													
21	中立	—	—	—	なし		<input type="checkbox"/>													

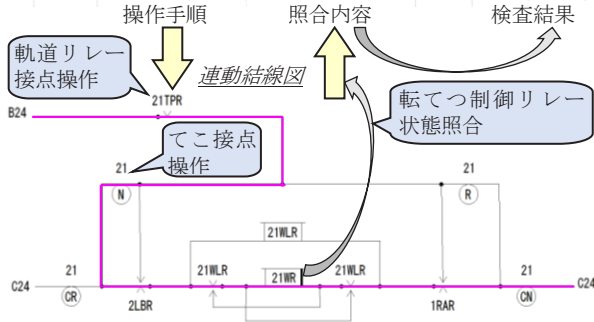


図9 連動結線図自動検証概念図

図9にてつ査鎖錠検査の自動検証概念図を示す。上段が連動検査チェック表、下段が連動結線図の結線シミュレータ動作状態を示す。連動検査チェック表の「手順」欄に転てつこや軌道回路の操作手順が記載されており、これを元に連動結線図のてこやリレーの接点の接触状態を更新し、結線シミュレータを動作させリレーの状態を更新する。「表示」欄の転てつ器開通方向と連動結線図の対応するリレー状態を照合して、「検査」欄に検証結果を出力する。

ここで、連動検査チェック表に記載されている設備と連動結線図のリレーや接点の対応関係を明確化することが必要となる。連動検査チェック表は、連動表のように定型のものではなく、鉄道事業者毎に独自の書式が用いられており操作手順が詳細に記述されているものから、単純な表形式のものまで様々である。システムの連動検査チェック表自動作成機能<sup>8)</sup>では、これらが厳密に記載されており、名称の対応付けを基本として結線シミュレータを動作させ照合することができる。

転てつ制御リレー回路の操作可能な接点は、転てつこ接点であり、チェック表と結線図は、転てつこ番号で対応づけられる。表1の転てつこの接点と操作の対応関係から、てこ位置に対応するてこ接点の導通可否を判定する。照合については、転てつこ番号に「KR」、「NKR」又は「RKR」を付加した転てつ表示リレーの動作状態と、表2の転てつ表示灯との対応関係から転てつ器の開通方向を判定する。

表1 転てつこの接点と操作の対応関係

転てつこ接点	転てつこ操作		
	定位	反位	中立
N	構成	開放	開放
CN	構成	開放	構成
CR	開放	構成	構成
R	開放	構成	開放

表2 転てつ表示リレーと転てつ表示灯対応関係

転てつ表示リレー			制御盤転てつ表示灯
KR	NKR	RKR	
正極	扛上	落下	G
負極	落下	扛上	Y

## 5. 自動検証の実施と対策

図10で示す配線略図を例として、自動作成される図11～12の進路選別式の連動結線図に対して、連動図表から自動作成される連動検査チェック表による自動検証結果に基づき、連動結線図自動作成論理の改善を行った事例を示す。

### 5.1 進路設定検査

進路設定検査は、設定可能な進路が設定できることを確認する。図10の配線略図において、進路設定検査を行った結果を表3に示す。12RBの進路設定したとき、信号機が進行とならなかった。

表3 進路設定検査の自動検証結果

信号機	手順	制御盤			記事	検査
		てこ	HK	TK		
12RA	反位	R	G	W	進路が開通しなかった	<input checked="" type="checkbox"/>
	定位	N	なし	なし		
12RB	反位	R	G	W	検査不合格	<input type="checkbox"/>
	定位	N	なし	なし		
12RM	反位	L	G	W		<input checked="" type="checkbox"/>
	定位	N	なし	なし		
12RC	反位	L	G	W		<input checked="" type="checkbox"/>
	定位	N	なし	なし		

#### 5.1.1 障害の分析

12RBを進路設定するには、途中に存在する20Rを総括制御する必要があり、総括制御リレー20RYSRは正しく動作したが、20Rが進行現示されなかったことが原因である。図12の20Rの信号制御リレー回路に着点進路鎖錠リレーMRSRが挿入されており、中継点を越える進路が設定されているときに落下して回路を遮断するが、12RBが中継点を越える進路であるため停止となった。

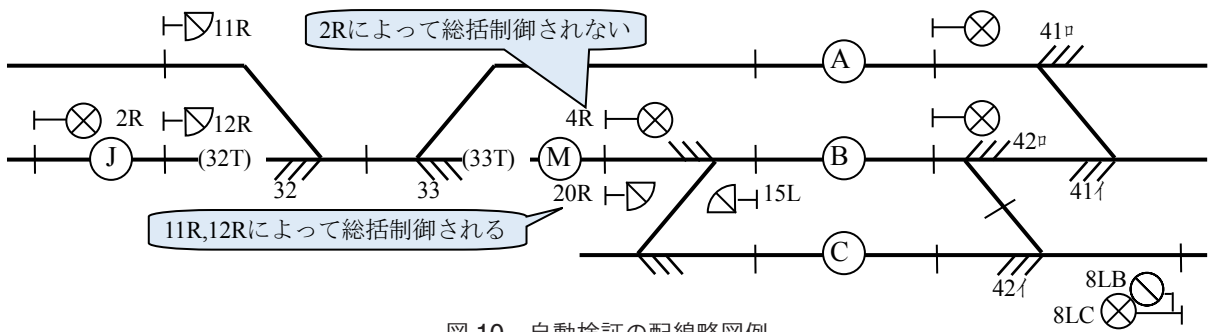


図 10 自動検証の配線略図例

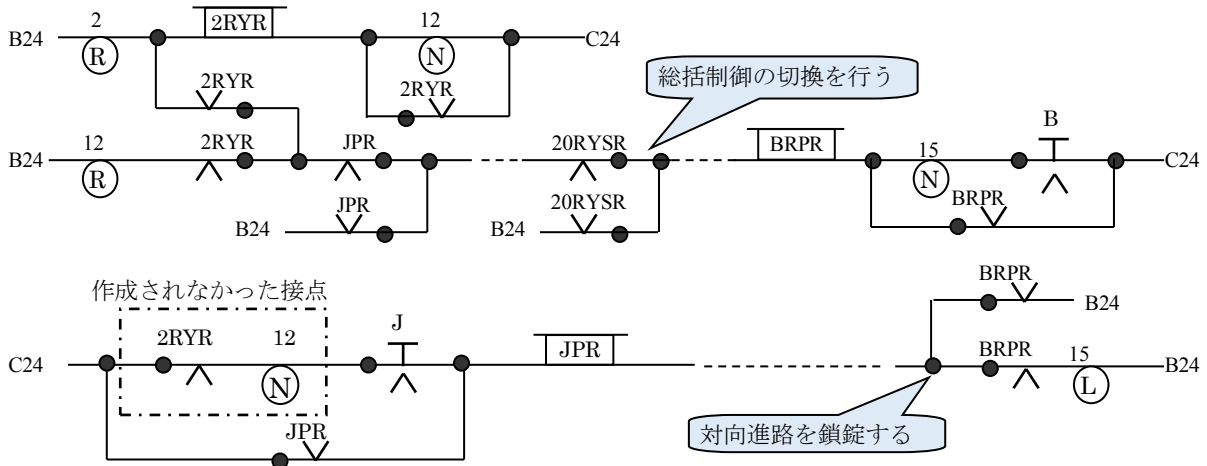


図 11 進路選別リレー回路

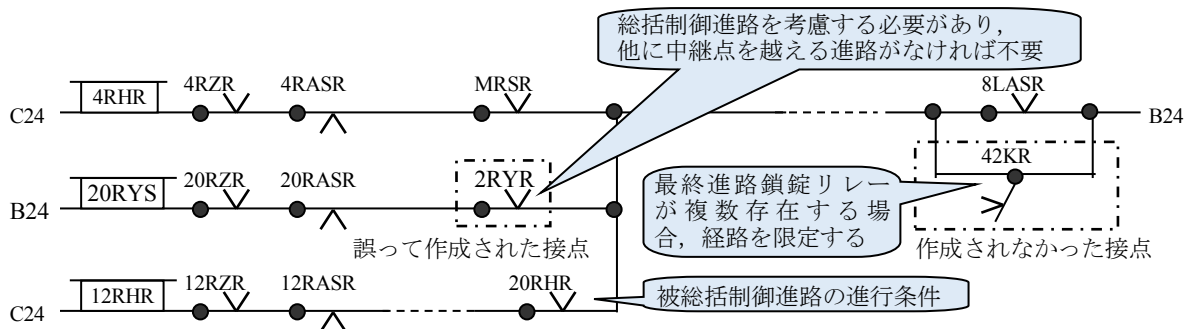


図 12 信号制御リレー回路

5.1.2 改善方法

連動結線図自動作成法の改善として、中継点を越える進路が総括制御の場合、着点進路鎖錠リレー MRSR の N 接点に並列に総括制御リレー 20RYSR の R 接点を接続することにより、被総括制御進路を停止としないようにする。また、総括制御進路の他に、中継点を通過する進路がない場合、着点進路鎖錠リレーが落下することがないので、被総括制御進路にはこの接点を不要とする。

5.2 並行・支障進路検査

並行・支障進路検査は、2 進路間における同時設定の可否が正しく行われるかを確認する。図 10 の配線略図で進路 12RA と 15LJ は、対向進路であるので同時設定できないが、12RA 設定中に支障進路 15LJ を設定しよう

としたとき、12RA が解錠されて 15LJ が進路設定された。

5.2.1 障害の分析

図 11 の進路選別リレー回路の 12RB の戻り回路において、逆向きの着点リレー JPR を動作させないようにするために、発点でこの 12 の設定を遮断する回路が必要である。しかし、この回路が作成されなかったため JPR が動作して、行き回路の発点でこの 12R の回路を遮断したため、12R が解錠されて、15LJ が進路設定された。

戻り回路に発点でこの設定条件を遮断する回路が作成されなかった原因は、発点でこの外方に存在する着点しか考慮しなかったためである。但し、12R については、J 着点の外方に存在するが、発点回路を 2R と統合して回路を単純化するために、12R を 2R の位置に移動したため、着点 J が内方となった。

特集：信号通信技術

5.2.2 改善方法

連動結線図自動作成法の改善として、着点リレー回路において、回路を遮断する逆向き発点では、着点と発点でこの間に転てつ器を跨がないものを選択する。

5.3 進路鎖錠（対進路定位）検査

進路鎖錠（対進路定位）検査は、進路内の列車走行において、定位鎖錠されている進路が正常に解錠されることを確認する。図10の配線略図で12RBを主体進路、15LJを定位鎖錠進路とした場合の検査結果を表4に示す。12RBの進路内方進入後、12RBを復位して15LJを進路設定し、軌道回路の順次内方短絡回復を行い、34□Tの回復で15LJが進路開通しなかった。

表4 総括制御進路の進路鎖錠（対進路定位）検査

信号機	12RB	進路鎖錠 鎖錠	(32T)(33T)(34□T)				検査
			12RB		15LJ		
手順			てこ	HK	てこ	HK	
12RB		反位	R	G	N	なし	☑
32T		短絡	R	なし	N	なし	☑
12RB		定位	N	なし	N	なし	☑
15LJ		反位	N	なし	L	なし	☑
33T		短絡	N	なし	L	なし	☑
32T		回復	N	なし	L	なし	☑
34□T		短絡	N	なし	L	なし	☑
33T		回復	進路が開通しなかった		なし	なし	☑
4RBT		短絡	N	なし	L	なし	☑
34□T		回復	N	なし	L	G	☐
4RBT		回復	N	なし	L	G	☐
15LJ		定位	-	-	-	-	☑

5.3.1 障害の分析

表4の4手順目の鎖錠進路15LJ反位において、1つ前の手順で主体進路12RBが定位に戻されているので、通常は進路設定可能となる。対向進路の進路鎖錠により現示を停止に制御しており、15LJを通過（34□T回復）すると進行が現示される。ところが、12RBは総括制御進路であり、被総括制御進路20RBも進路設定しており、内方軌道回路が短絡されているため、12RB進路を定位としても被総括制御進路20RBの進路設定が継続する。20RBは15LJの支障進路であるため、15LJは進路設定されない。このため、15LJを通過（34□T回復）しても15LJの進路が設定されていないため進行が現示されない。すなわち、連動結線図は正しく、連動検査チェック表に誤りがあった。

5.3.2 改善方法

連動検査チェック表において、主体進路、鎖錠進路い

ずれかが総括制御進路で被総括制御進路が競合する場合、主体進路の進路鎖錠中に鎖錠進路が設定できないこと、総括制御進路中継点を越えたときに進路設定可能なことを確認する手順とする。

6. おわりに

本報告では、継電連動機のリレー回路の設計図である連動結線図について、連動図表に基づいた自動作成と、連動検査チェック表による自動検証手法について述べた。連動装置は、規模が数進路から千進路程度まで多様であり、大規模駅や高密度線区では先進的な電子連動機が選択されるが、小規模駅や地方線区では継電連動機が選択される傾向がある。当面は、このような棲み分けによる併存状態が続くと思われるので、継電連動機に対する改良を加えていくことも必要である。

今後は、連動結線図の自動作成と自動検証の精度を向上させると共に、連動装置の設計業務の中での具体的な位置づけを明確にし、それに相応しいシステム設計を追求していく予定である。

謝辞

連動結線図と連動検査について、JR西日本電気部電気技術室信号監理の関係者の皆様に多大なる技術的指導と協力を賜りました。ここに改めて感謝の意を表します。

文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 関根俊：信号論理結線検証支援ツールの開発，第52回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集，2015
- 5) 関根俊：連動結線図の自動論理検証ツールの開発，第54回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集，2017
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 丸山達也：連動図表作成支援システムの活用について，鉄道と電気技術，Vol.28, No.2, 2017