

連動装置のネットワーク化による進路可変制御手法

関根 俊*

Method of Variable Route Control by the Networking of the Interlocking Devices

Satoshi SEKINE

In order to realize an interlocking device utilizing the spatially continuous position detection of the train, the author has proposed the variable route control method so far. By this method, the train course from the current position to the arrival point in a rail network can be searched, and the minimum locked section is moved according to the approach of the train. Transportation efficiency can be improved without subdividing the range of the route setting. Because the course setting that stepped over the plural stations was necessary, the author devised a technique to perform the cooperation control between the adjacent interlocking devices effectively.

キーワード：連動装置，閉そく装置，進路制御，移動閉そく，無線列車制御

1. はじめに

近年，無線式列車制御システムの普及が現実的となってきた¹⁾²⁾。列車位置と速度が連続的に検知できることから，従来の軌道回路を基盤とした離散的な位置検知による速度検知不可能な制御に比較して，輸送効率の向上が期待できる。しかし，実用化されているシステムは，駅構内では離散的な位置に変換して従来の連動装置により制御されている¹⁾。移動閉そくを実現する連動装置も研究されているが³⁾，実用化に至っていない。

そこで，連動装置の基本概念を根本から見直して，進路始点を列車と共に移動させ，停止目標着点までの進路を探索により求めることを特徴とする進路可変連動制御方式をこれまでに提案した⁴⁾⁵⁾。従来の手法は，予め鎖錠された固定進路区間上で，列車の間隔制御による移動閉そくの実現を図っている。しかし，駅構内の進路間は，部分的に線路が重複しているために，異なる進路上の列車における線路の重複区間の制御が複雑となる。進路可変式連動制御では，列車位置や速度に対応した進路の変化と捉えることにより制御を単純化している。

これにより，進路を細分化することなく輸送効率を向上することが可能となり，進路数が大幅に削減される。発駅から着駅までの隣接連動装置を跨いだ長大進路の設定も可能となるが，連動機間の連携制御が必要となる。そこで，従来連動装置の隣接間制御を参考にして分析することにより，効率的な制御を実現する手法を検討したので報告する。

2. 進路可変式連動制御の概要

2.1 従来方式の連動制御

従来の信号システムは，固定の閉そく区間に1列車の進入を許可することで安全性を確保するとしている。しかし，駅構内の閉そく区間，すなわち連動装置でいう『進路』は，異なる進路間で重複区間が存在する。例えば，図1において，1RAと1RBの進路は信号機から転てつ器22までの区間が重複する。1RBの進路によって先行列車を進入させ，転てつ器22を通過すれば，1RAによって後続列車の進入を可能としなければならない。ところが，1閉そく1列車の原則に従えば，先行列車は1RBの進路上にあるのであるから，1RBと重複する1RAの進路内にも進入できないはずである。実際に，進路の設定状態によっては不可能となる。

先行列車の外方区間を経由する進路の設定を可能とするには，1RBの進路を取り消す，すなわち定位にする必要がある。進路が取り消されると，列車の内方も解錠してしまうので，『進路鎖錠』という仕組みで列車の内方の鎖錠を継続している。進路鎖錠は，外方を解錠するだけでなく，進路鎖錠区間が重複していても進入を可能とすることができる。例えば，図2において，先行列車

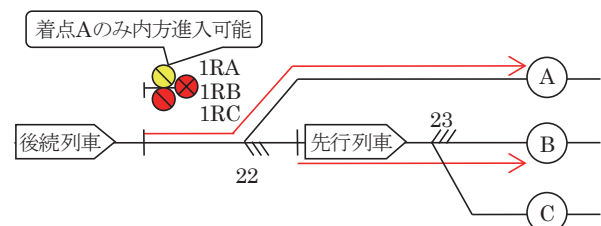


図1 途中分岐する進路への後続列車の内方進入

* 信号・情報技術研究部 列車制御研究室

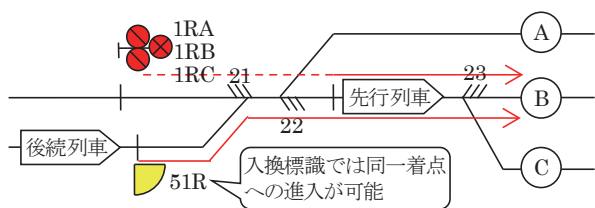


図2 入換標識による先行列車後追い

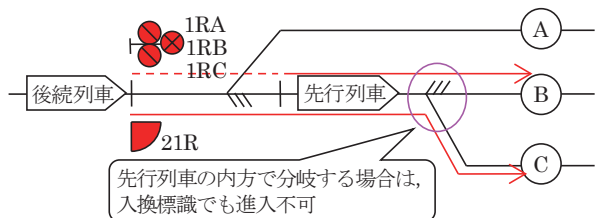


図3 先行列車の内方で分岐する進路

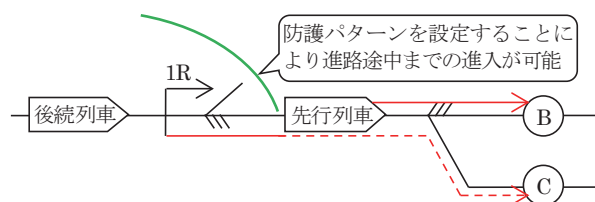


図4 進路途中鎖錠完了地点までの進入許可

と着点一致の入換標識の進路が設定可能となる。また、信号機であっても、転てつ器の転換は実施され、先行列車の在線検知により信号機に進行が現示できない状態となっており、先行列車の進出により進行が現示される。

但し、図3のように、先行列車の内方の転てつ器で分岐する進路は設定することはできない。図4のように、車内信号機によって鎖錠区間末端までの防護パターンを設定すれば、着点までの鎖錠が確保されていなくても、進路設定を可能とすることもできるが、進路途中まで進入して、内方転てつ器が転換不能となった場合などに、進路を変更して別の着点に収容することができない。

このように、従来の連動装置における鎖錠は、閉そくに相当する『進路設定』と、列車の内方を鎖錠する『進路鎖錠』との協調により行われている。

2.2 進路可変式連動制御

従来の連動装置における進路鎖錠は、列車の後端を始点として着点まで鎖錠されている状態であり、図5のように、列車の内方進入に伴って進路の始点が移動することと同等である。そこで、図6のように、進路始点を列車に固定して共に移動させれば、進路設定区間と進路鎖錠区間が一致する。車内信号機であれば、地上に進路始点を拘束する必然性はないので実現できる。これにより、途中で進路の変更が必要となったときにも、列車自体が進路始点であるので、どの地点においても進路設定が可

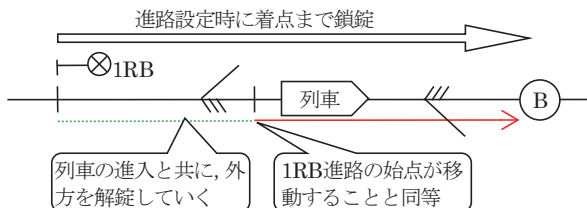


図5 列車内方進入による進路の解錠

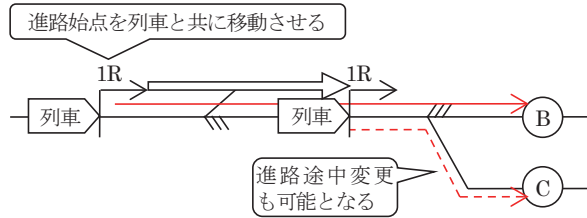


図6 進路始点を列車に固定

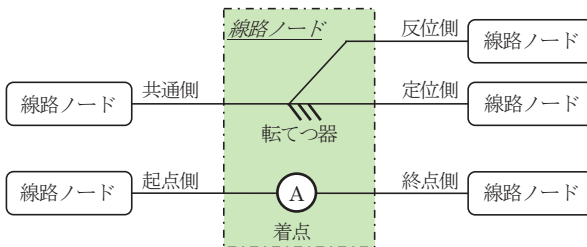


図7 線路ノードの接続関係

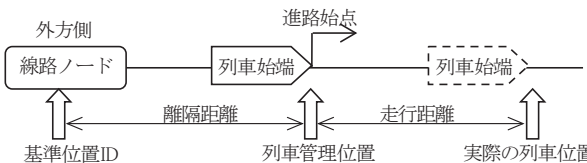


図8 進路始点の位置関係

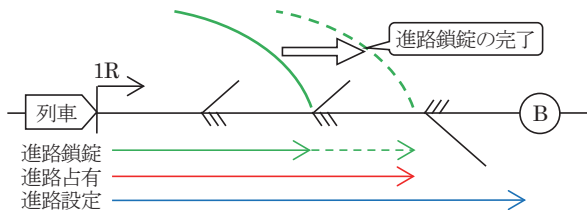


図9 進路内の鎖錠

能となる。この仕組みによる制御を『進路可変式』として既に提案している⁴⁾。

進路間の鎖錠については、進路が変化することから、従来の連動装置のように鎖錠関係を事前に作成しておくことはできない。そこで、列車の位置から着点まで線路ネットワークを探索して経路を求めることにより『進路設定』を行い、経路の競合関係から鎖錠を判定する。線路ネットワークは、図7に示すように、線路ノード(転てつ器、着点)の接続関係を作成する。列車は、図8に示すように、外方側線路ノードを基準とした離隔距離によって線路ネットワーク内の位置関係を把握する。進路

内の鎖錠は、図9のように、進路設定段階では行わずに、各転てつ器に対して列車が接近すると1列車のみに制御権を与える『進路占有』状態となり、転てつ器の転換が完了すると『進路鎖錠』状態となる。進路鎖錠の最内方地点までの防護パターンを生成することにより、その地点まで列車が進路可能となる。このように、転てつ器を順次鎖錠していくので、進路設定段階での支障進路の鎖錠は不要となり、発点から着点までの長大進路の設定が可能となる。

3. 連動装置の隣接間制御

3.1 従来方式の連動制御

進路可変式連動制御は、長大進路の設定が可能となることから、複数の連動装置に跨る制御が必要となる。この方式は全く新しい手法でありながら、2章で示したように、従来の連動装置の論理拡張的な要素が多分にある。そこで、隣接間制御についても従来の連動装置の考察を行い、それに基づいた制御方法を考察する。

従来の連動装置の隣接間制御は、通常、図10のように閉そく装置を介して行われ、連動装置間の直接的な接続、すなわち進路が跨がることはない。複線閉そくの場合は、通常は全く独立に動作するが、駅間が短い又は高速列車が走行すると、列車接近検知区間が隣接連動装置に及び隣接連動装置の列車在線及び進路開通情報を取得する必要がある。単線閉そくの場合は、列車の運転方向を決定するために方向てこを設けている。駅構内から単線区間に進出する進路を設定するとき、方向てこが進行方向に鎖錠されていることを条件とすることにより、両駅からの同時進入を不可能としている。

大規模駅を分割するような場合は、図11のように、照査てこを介して連動装置間を接続する。隣接駅構内に

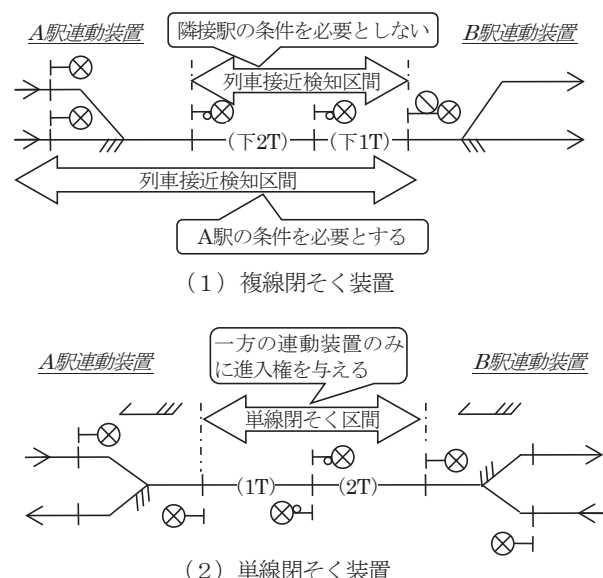


図10 閉そく装置を介した隣接間連動制御

進入する進路の設定方法として、隣接駅構内まで直接的に行う方法と、連動装置境界で分割して行う方法がある。いずれも照査てこは、進入側の連動装置に存在し、その転てつ器を鎖錠する。照査てこを設定することにより進出側の隣接連動装置の進路設定が可能となり、進路設定により照査てこが反位に鎖錠される。

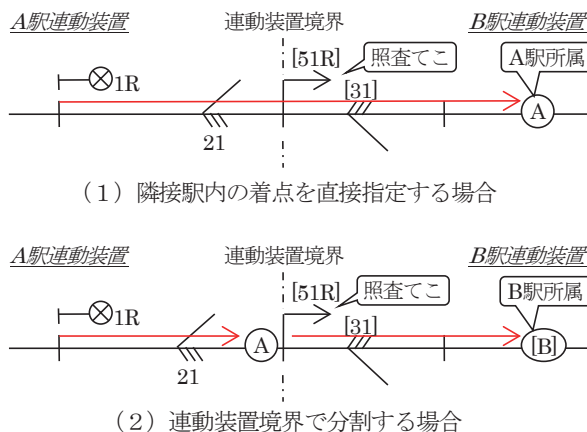


図11 照査てこを介した隣接間連動制御

3.2 進路可変式連動制御

進路可変式連動制御では、駅間を跨いで進路設定され、進路始点が駅間を列車と共に移動していくので、閉そく区間が存在しない。このため、連動装置間を直接的に接続することになり、その境界に照査てこを設け、進入可否の設定と情報交換を行う。線路ネットワーク内の位置づけとしては、図12に示すように、線路ノードの一種として、隣接線路ノードとの接続関係を構築する。照査てこの位置は、連動装置の管理区分を明確にするために、仮想的な地点を設定する。

照査てこを介して隣接連動装置間を接続することにより、図13のような連動装置のネットワークが構築される。地上設備として、『連動機』、『転てつ機』、『無線機』が設置され、線区全体を有線LANで接続する。連動機は、所属連動装置内の転てつ機と近隣の無線機と通信する。車上には、位置検知と速度制御を行う機器を設置し、近傍の無線機を通して連動機と通信する。隣接連動機間の通信情報を表1に、連動機と車上機間の通信情報を表2に示す。なお、『連動装置』とは、これらの地上設備と車上機の総称をいう。

次項以降、隣接連動装置間通信に関わる連動機能について説明する。



図12 照査てこの接続関係

特集：信号通信技術

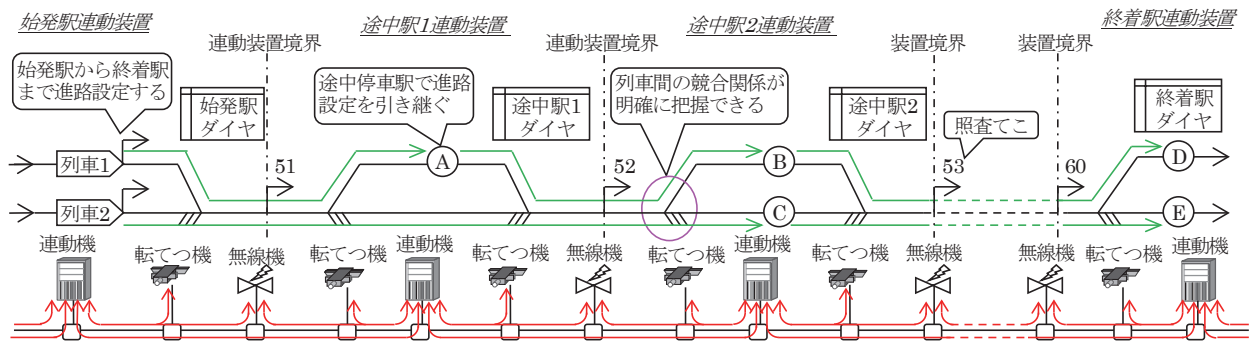


図 13 ネットワーク連動装置の構成と進路設定

表 1 隣接連動機間の通信情報

送信情報	送信内容	送信タイミング	送信方向
進路設定	車上機番号, 着点	進路設定時	内方
減速曲線	制限速度, 減速度, 距離, 解錠時間	定周期	外方
進路占有予測	車上機番号, 占有時間, 通過速度, 到達時間	定周期	内方
進路占有	車上機番号	進路占有完了時	内方
車上機到達	車上機番号, 速度	車上機到達時	内方

表 2 連動機/車上機間の通信情報

送信情報	送信内容	送信タイミング	送信方向
列車位置	基準位置 ID, 離隔距離	定周期	双方向
列車速度	現在速度	定周期	対連動機
停止	停止距離, 減速度	定周期	対車上機
速度制限	制限開始距離, 制限長, 制限速度, 減速度	定周期	対車上機

3.2.1 列車情報管理

列車情報の管理は、各連動機に予め走行可能な全ての列車の運転台毎の車上機が登録されており、車上機が在線しているときのみ列車情報が設定される。車上機が照査てこ位置に達すると、図 14 のように列車情報を隣接連動機に移動する。

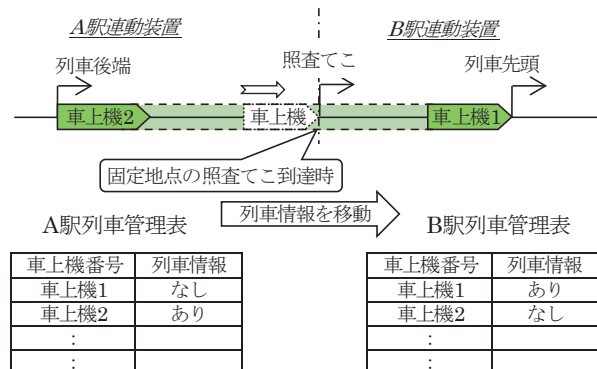


図 14 列車の連動装置境界渡り

列車位置は、線路ノードによる基準位置と、これからの離隔距離で表し、車上機と連動機間で双方向に定周期で通信する。車上機から連動機に対しては、前回送信した位置からの移動距離を加算して送信する。また、補正地上子からの情報を受信した場合は、その位置情報を送信する。連動機から車上機に対しては、列車から受信した列車位置に基づき、基準となる線路ノードを更新して離隔距離を再算出して送信する。

3.2.2 進路設定

進路可変式連動制御では、進路を細かく区分する必要が無いので、出発駅から到着駅まで1つの進路として設定できる。また、進路設定によって、進路の競合関係が把握できるので、予め多くの進路が設定されている方が都合がよい。そこで、始発駅において、終着駅まで停止着点で引き継ぎながら進路設定を行う。例えば、図 13 において、列車 1 は、始発駅において駅ダイヤを参照して、途中駅 1 の着点 A までの進路を設定する。途中駅 1 では、駅ダイヤを参照して着点 A から途中駅 2 の着点 B まで進路設定する。最終的に終着駅の着点 D までの進路を設定する。列車 2 においては、途中駅 1 を通過し途中駅 2 の着点 C までの進路を設定する。

上記の方法では、遠方の到着点までの管理が必要となり煩雑となる。従来の連動装置が、図 11 のように直接着点を指定する方法と照査てこで分割して設定する方法があるように、図 15 のように照査てこまでの進路と照査てこからの進路に分割して設定する方法も考えられ

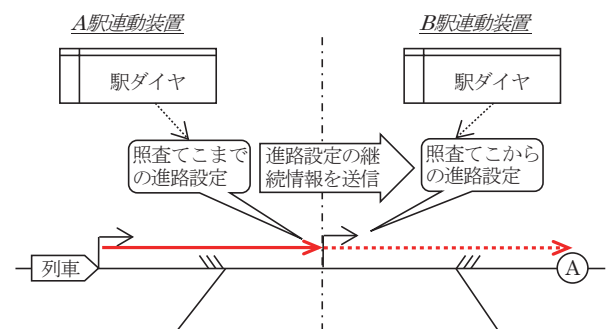


図 15 進路設定の隣接連動装置への引き継ぎ

る。進路可変式では、列車が進路始点であるので、照査てこ自体を進路始点とするのではなく、照査てこ位置を仮想的な列車位置として進路設定する。この方法は、駅毎に進路設定が必要となるが、通常、駅ダイヤによって設定され、その作成においても照査てこで引き継ぐのみとなるので容易である。駅ダイヤには、進出側の駅には到着点、進入側の駅には出発点として照査てこ名称が記載される。例えば、図13の列車2に対して、始発駅は照査てこ51までの進路、途中駅1は照査てこ51から52までの進路、途中駅2は照査てこ52から着点Cまでの進路が記載される。これにより、対応する照査てこ間の進路設定の引き継ぎ情報の送信のみで、当該連動装置内で進路設定処理を完結できる。

3.2.3 進路占有

進路設定されると、列車の接近によって進路占有へと状態遷移する。状態遷移のタイミングはできるだけ遅くし、競合列車が存在する場合は列車遅延を回復させるために適切な優先判定をする必要があり、文献5)において、その手法について述べた。本論文においては、隣接連動装置間の伝送量をできるだけ少なくして制御する方法について説明する。

(1) 線路ノードにおける列車到達時間の予測

進路占有への状態遷移の判定には、各線路ノードにおける列車の到達時間の予測が必要となる。到達時間の予測方法は、転てつ器、停止目標着点、先行列車、速度制限区間に対する減速曲線を設定し、列車の位置から最速で到達する列車走行予測曲線を求め算出する。速度制限区間以外は、減速停止目標地点や減速終点等が変化するので、定周期に情報を取得して更新する必要がある。そこで、図16のように減速曲線が外方連動装置に跨がり、照査てこ位置で減速となる場合は、外方連動装置に減速曲線情報を送信する。また、外方連動装置内の列車走行予測曲線は照査てこを終点として、照査てこ位置の列車到達予測情報を内方連動装置に送信する。内方連動装置では、対応する照査てこを起点として列車走行予測曲線の作成を引き継ぐ。

(2) 競合列車優先判定

競合列車の優先判定には、競合区間の把握と走行時間

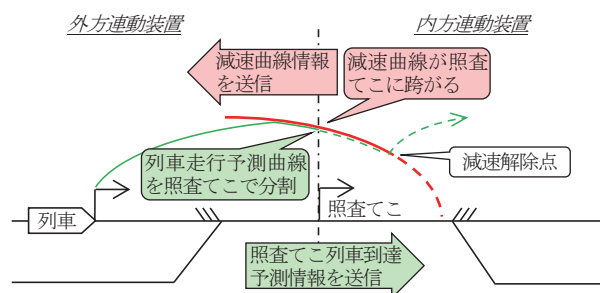


図16 列車走行予測曲線の引き継ぎ

の予測が必要となる。競合区間が隣接連動装置に跨がる場合は、情報伝送が必要となる場合がある。下記に、競合状態別の処理方法を説明する。

①異なる照査てこを経由する進路

図17のように、対向列車との競合区間が分断されている場合、途中の並行区間で、すれ違いが可能か否かによって優先順位が変化する。その判定は、列車長に基づいて行う必要があるため、情報交換が必要であるが、照査てこは駅間等十分なすれ違い区間がある地点に設置することとして、情報交換を不要として当該連動装置内で完結する。

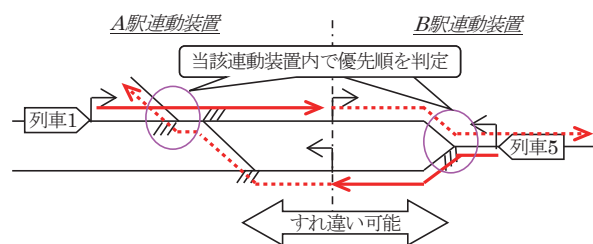


図17 異なる照査てこを経由する列車の競合関係

②同一照査てこを経由して進出する順向進路

同一線路を使用して隣接駅に向かう列車順序の変更は、様々な問題が発生するので、自動では対応しないことにする。並行する線路に進出する場合は問題ないので、図18に示すように、同一照査てこを経由する順向進路の場合、駅ダイヤの出発順序に従って優先順位を決定することにより、当該連動装置内で処理を完結できる。

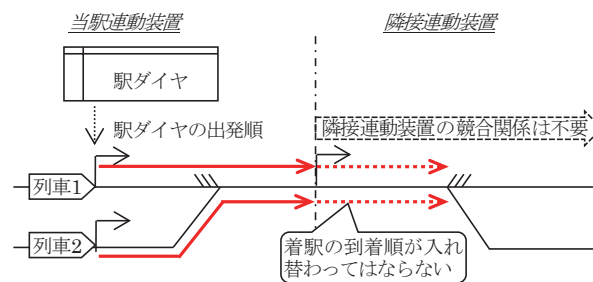


図18 同一照査てこを経由する順向列車の競合関係

③同一照査てこを経由する対向進路

対向進路において、絶対的に防がなければならないのは、デッドロックの発生である。デッドロックの有無は、競合区間における対向列車の存在又は鎖錠によって判断する。競合区間が隣接連動装置に跨ぐ場合は、隣接の情報が必要となるが、当該連動装置内の競合区間のみでデッドロックの判定が可能であるので、判定結果を相互に隣接連動装置に送信する。

図19(1)のように、絶対優先列車が送信されれば、双方の連動装置ともその列車の優先占有とする。絶対優先でなければ、図19(2)のように、競合区間の進出時間を送信し、進出時間の早い列車を優先する。

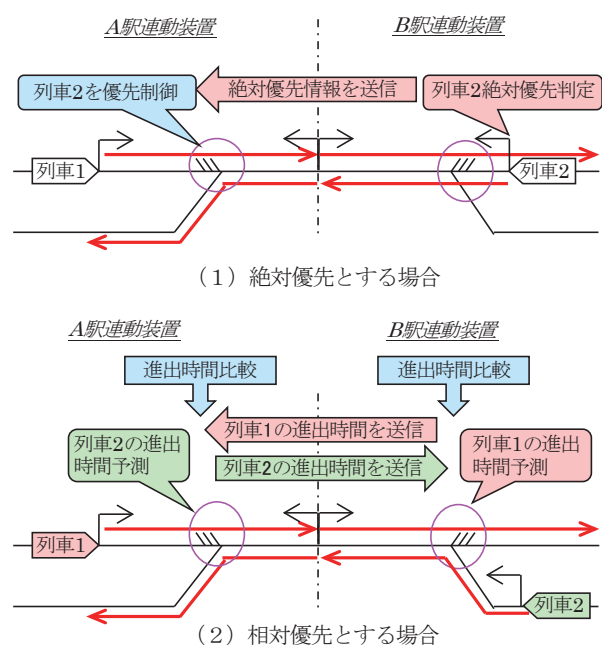


図 19 同一照査をこを經由する対向列車の競合関係

3.2.4 進路鎖錠

進路占有状態となると、1つの列車に対する制御権が与えられるので、転てつ器であれば即時転換する。転換が完了すると進路鎖錠状態となり、列車の走行が可能となるので、防護パターンを内方の停止目標地点まで延長する。

列車に対しては、停止目標地点に対する減速情報と、その地点までの速度制限情報を送信する。なお、列車は当該連動装置内に存在するとは限らないので、外方の隣接連動装置内の無線機に対しても送信する。

4. 今後の展開

本論文により、進路可変式連動制御の基本仕様が完成した。現在、手法の有効性を確認するために、パソコン上で動作する模擬プログラムを作成している。プログラムの完成後、手法の評価を行い、改善点の洗い出し及び機能向上について検討する。具体的な展開については、下記のように計画している。

(1) 踏切制御の組み込み

本手法では、転てつ器の転換を列車の接近に従って行うために、到達予想時間を算出している。踏切の鳴動制御は、列車の到達時間に従って行われるものであるから、線路ネットワークに踏切道のノードを組み込むことにより、容易に効率的な制御を実現できる可能性がある。

(2) 固定進路制御との共存

実運用に当たっては、入換や代用保安のために地上信号機を設置しなければならないことが想定される。また、新設路線として建設するよりは、既存路線の更新となる

方が多い。信号システムの切り替えに当たり、既存の進路制御との共存が必要となることも想定される。このため、地上信号機や固定進路制御と併存可能な連動装置を検討する。

(3) 連動検査

運用開始に当たっては、連動装置の検査が必要となる。従来の連動装置の検査は、予め存在する固定進路に基づいて行われるものであり、列車の現在位置から探索によって進路を求める制御には適用できない。このため、進路可変式連動制御に対応可能な連動検査手法を検討する。

5. おわりに

従来の信号システムは、1閉そく区間1列車を原則としていると広く認識されている。しかし、連動装置においては、2章で示したとおり、駅構内の進路は必ずしもその原則に従わない。従来の連動装置における進路鎖錠という仕組みは、在線軌道回路を始点として進路が変化していると捉えることもできる。隣接連動装置間を接続する照査をこについても、本手法は従来の連動装置の応用的な側面がある。また、出発線路から到着線路までを1つの進路で設定することは、進路の取り扱いの立場からすれば、当然望まれることであり、列車間隔を詰めるためにやむを得ず進路が細切れになっている。進路設定は煩雑であるため、近年は、PRCにより自動化されている。

このように、本質的に望まれる機能は、不完全ながら従来システムで実現されていたが、地上の固定地点に設置された信号機と、離散的にしか位置検知できない軌道回路が制約条件となっていた。本方式は、これらが、解決されたことから、不完全ながら実現されていた本質的に望まれる機能を充実させたことを意味する。4章で述べた展開についても、同様の考え方で実施していきたい。

文献

- 1) 樋浦昇：無線を用いた列車制御システム ATACS の概要、電気設備学会誌, Vol.33 No.5, pp.326-329, 2013
- 2) 伊藤徹理, 今野信三, 中山亘, 馬場裕一, 海老根宏, 黒岩篤, 森井明, 梅津知史：無線による列車制御「ATACS」の実用化、鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL) 講演論文集, pp.21-24, 2009
- 3) 中村英夫, 西堀典幸, 武子淳：線路配線表現式連動表の提案と次世代連動論理の実現、鉄道総研報告, Vol.7 No.6, pp.17-24, 1993
- 4) 関根 俊：進路可変連動制御の提案の可能性、鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL) 講演論文集, pp.21-24, 2015
- 5) 関根 俊：進路可変式連動制御における競合列車優先判定手法、鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL) 講演論文集, pp.21-24, 2016