

定時間制御論理を内蔵した電子踏切制御装置の基礎開発



寺本 学*



宮口 直己**



熊坂 一彦***



石間 礼次****



福田 和人*

当社では「開かずの踏切」において鳴動時間を適正化する定時間制御を導入している。現在、定時間制御論理は基本的にリレー結線で踏切ごとに個別に設計され、設計・施工・試験に労力を要している。これらの課題の解決を図るため、定時間制御論理のソフトウェア化を行った。その結果、リレー結線の削減と設計の標準化が実現できた。本開発は、現在、ソフトウェアの基礎開発を終了し、実用化開発に着手している。

●キーワード：中間電子踏切制御装置、定時間制御、リレー結線、ソフトウェア化、ATS-P

1. はじめに

当社では「開かずの踏切」が問題になっており、これらの踏切に対して踏切定時間制御（以下定時間制御）を導入している。定時間制御とは、列車の種別によって警報開始のタイミングを変えて踏切警報時間を適正化するものである。定時間制御は、駅構内踏切と比較して論理が単純な駅中間踏切においても、警報開始点と軌道回路および警報終止点の位置関係によって列車の進入進出パターンが異なることから、踏切ごとに個別の制御論理となっている¹⁾。そのため、踏切の定時間制御化工事の際に、設計・施工・試験に労力がかかっている。そこで、これらの問題を解決するために「定時間制御論理ソフトウェアの開発」を行った^{2) 3)}。

2. 踏切定時間制御の概要

踏切の警報時間は列車により差がある。特に駅近傍箇所踏切では通過列車と停車列車で列車速度に違いがあるため、大きな差が発生する。そこで踏切の警報時間を適正なものとするため、当社では停車列車、通過列車の判断を行う条件として自動列車停止装置ATS-P形（以下ATS-P）の列車選別機能を活用した定時間制御を行っている。図1にシステム構成を示す。一般的なシステム構成は、踏切用短小無絶縁軌道回路である通過列車用警報開始点（以下A点）、停車列車用警報開始点（以下E点）、警報終止点（以下B点）、ATS-P車上装置、ATS-P地上装置、踏切器具箱内に収容される踏切制御論理装置で構成される。踏切制御論理装置は、すべてリレー結線、もしくは電子踏切制御装置と外部リレー結線により実現している。

列車が踏切に接近すると、ATS-P車上装置は踏切手前までのブレーキパターンを発生させる。踏切制御論理装置はATS-P地上装置より列車選別情報を取得し、通過列車は図1のA点より、停車列車はE点より警報を開始させる。踏切論理装置がしゃ断完了情報をATS-P地上装置へ出力すると、ATS-P車上装置は踏切防護用のブレーキパターンを消去する。停車列車が誤って駅を通過してしまった場合は、踏切防護用のブレーキパターンにより自動的に列車の速度を減速させ、踏切までに停止させる。

以上のような定時間制御論理は基本的にリレー結線で踏切ごとに個別に設計されているため、一部の踏切では特殊論理となっている。そのため、設計・施工・試験に労力を要しているのが現状である。そこで、定時間制御論理のソフトウェア化を行い、リレー結線の削減と設計の標準化をめざすこととした。

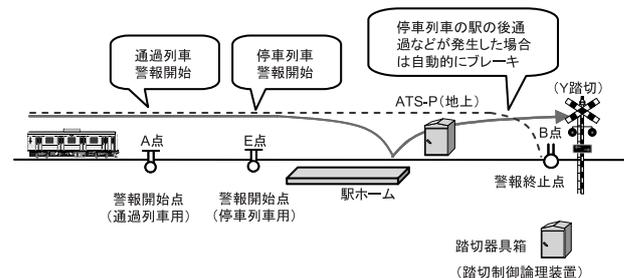


図1 踏切定時間制御システム構成

3. 定時間制御論理を内蔵した電子踏切制御装置の基礎開発

3.1 開発内容

リレー結線で実現されている定時間制御論理をソフトウェア化し、中間電子踏切制御装置のソフトウェアに追加した場合の結線イメージを図2に示す。

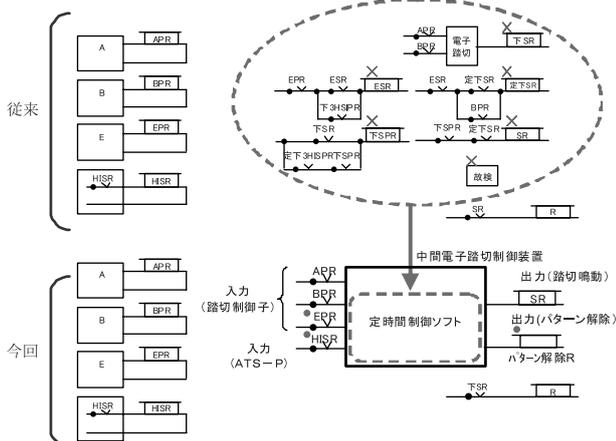


図2 リレー結線の削減

本開発を実施するにあたり、主な技術課題を以下に示す。

(1) 全中間踏切への対応

本開発品をすべての中間踏切に対応できるようにつくりとす必要がある。

(2) 現行器具箱の活用

現在リレー結線で定時間制御を実現している箇所に本開発品を導入する場合を考慮し、できるだけ現行器具箱を活用し、器具箱取替をすることなくスムーズに本開発品が導入できるようにつくりとす必要がある。

3.2 技術課題の検討

3.2.1 全中間踏切への対応

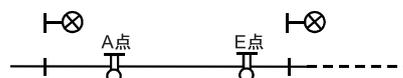
(1) 現状の把握

今回開発するソフトウェアを全中間踏切へ対応させるために、まず現在定時間制御を導入している実際の踏切の制御図表および結線の調査を行い、現状の定時間制御論理の機能を実現するうえで個別設計となっている要因の明確化を行った。特に、個別設計となっている部分をなくし、論理の標準化をめざすこととした。現状の定時間制御踏切で58ヶ所（66踏切こ線数）を調査した結果、以下のことがわかった。

従来の代表的な定時間制御論理は、軌道回路条件を取り込み警報制御している。これは踏切の警報制御区間に複数列車が進入した場合においても安全に警報制御ができるように、軌道回路を使って続行列車の在線位置についても把握する必要があるからである。列車検知設備（A点、E点、B点、軌道回路）の配置による具体的な分類パターンの例

を図3、図4に示す。これらのパターンの組み合わせにより、少なくとも3×3パターン以上の設備設置パターンが考えられる。現行の設置位置パターンと踏切こ線数の調査結果を表1、表2に示す。各パターンによって続行列車の在線検知パターンが異なることから、続行列車対策論理もそれぞれの踏切ごとに個別設計となる。また続行対策論理に必要な軌道回路の入力条件の入力数も異なる。つまり現状の定時間制御が個別設計になっている大きな要因として、現状の定時間制御論理が軌道回路条件に依存していることがあげられる。

①A点 E点が同一閉そく区間に設置（パターンA）



②A点 E点が連続した閉そく区間に設置（パターンB）



③A点 E点が1閉そく以上離れた閉そく区間に設置（パターンC）

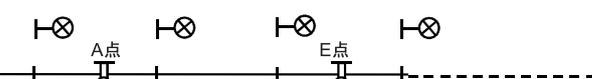
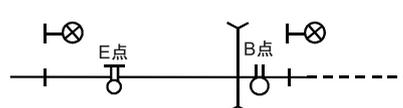
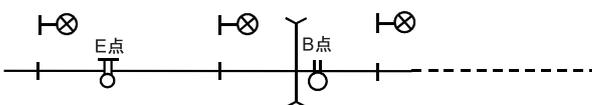


図3 A点およびE点と軌道回路の設置位置パターン

①E点 B点が同一閉そく区間に設置（パターン1）



②E点 B点が連続した閉そく区間に設置（パターン2）



③E点 B点が1閉そく以上離れた閉そく区間に設置（パターン3）

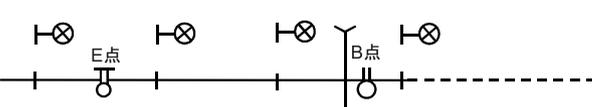


図4 E点およびB点と軌道回路の設置位置パターン

表1 A点およびE点と軌道回路の設置位置パターン

| A点およびE点と軌道回路の設置位置パターン | 踏切区線数 |
|-----------------------|-------|
| パターンA | 15 |
| パターンB | 49 |
| パターンC | 2 |
| 合計 | 66 |

表2 E点およびB点と軌道回路の設置位置パターン

| E点およびB点と軌道回路の設置位置パターン | 踏切区線数 |
|-----------------------|-------|
| パターン1 | 2 |
| パターン2 | 33 |
| パターン3 | 31 |
| 合計 | 66 |

さらに、軌道回路条件がどのように使用されているか、具体的に調査したところ、下記の二種類の続行列車対策のために使用されていることがわかった。

(a) 続行列車の無しゃ断対策

踏切定時間制御において、リレー結線を利用した続行列車の無しゃ断対策の1例を図5に示す。1本目がB点を進出した時、もし続行列車の列車在線チェックを行わないで警報を中止させてしまうと2本目以降の列車は無遮断になってしまうことになる。これを防ぐために軌道回路の列車検知条件の取り込みを行い、終止点進出の際に続行列車の在線の有無をチェックしてから警報終止判断を行っている。

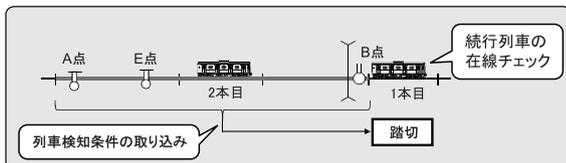


図5 リレー結線を利用した続行列車の無しゃ断対策

(b) 続行列車による踏切防護パターンの不正解除対策

図6のように、通過列車がA点進入時、無条件に踏切防護パターンを解除させると、停車列車の先行列車がいるときには、先行列車用の防護パターンが不正に解除されてしまう。そこで従来論理では先行列車がないという条件を、軌道回路を用いてチェックを行い、先行列車が不在の場合のみ通過列車は無時素で防護パターンを解除している。

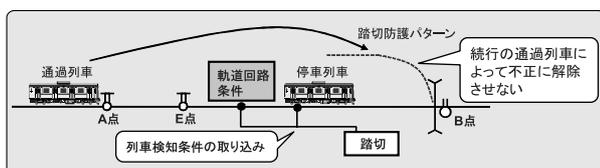
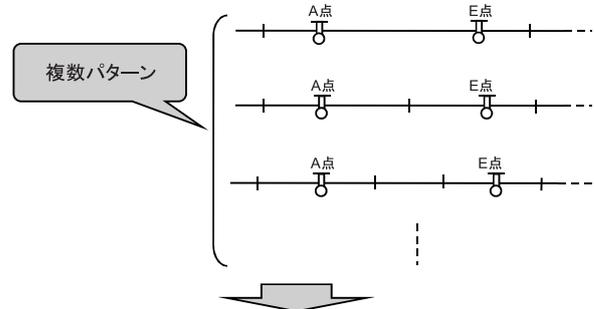


図6 踏切防護パターンの不正解除対策

(2) 論理の標準化

上記の分析を踏まえ、全中間踏切に対応させるため、論理の標準化をめざすこととした。現状調査によって、リレー結線では二種類の続行列車対策を軌道回路条件に依存しており、A点、E点、B点と軌道回路の位置関係についてさまざまなパターンが存在しているために標準化ができていないことがわかった。そのため、ソフトウェア化を実施するにあたっては、軌道回路の入力条件を必要としない論理の構築を行う。これを実現することができれば、複数パターンに分類される現地の踏切設備パターンを1つのパターンに標準化できると考えられる(図7)。

【従来】列車位置検知装置の関係(軌道回路条件使用)



【今回】列車位置検知装置の関係(軌道回路条件不使用)

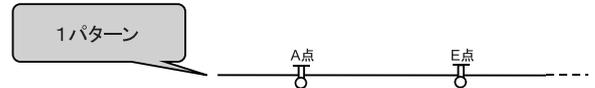
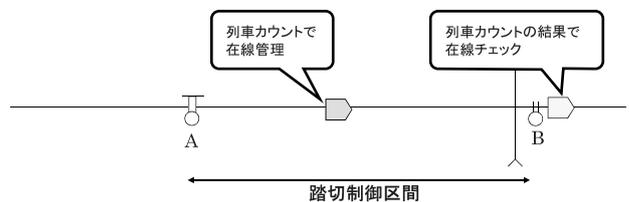


図7 設備パターンの標準化

論理の標準化の実現方法として続行列車の位置管理に軌道回路条件を使用せず、代わりに既存の電子踏切論理の特長⁴⁾を応用した制御を検討した。

既存の中間電子踏切の特長を図8に示す。既存の電子踏切論理は主に3つに分けられ、①列車カウント論理、②警報制御論理、③外部故障検知論理の順に制御する。



①列車カウント論理

・A点進入 +1、B点進出 -1 ⇒ AB間の列車本数を管理

②警報制御論理

③外部故障検知論理

図8 既存の中間電子踏切の特徴

列車カウント論理ではA点進入確定後にA点からB点間までの列車カウント（以下、AB間カウント）を+1、B点進出確定後にAB間カウントを-1することで列車本数を管理する。このとき、B点進出時に列車カウント論理を用いてAB間の在線をチェックを行っているので、続行対策のための軌道回路の条件は不要である。外部故障検知論理では始動点や終止点などの入力状態を監視し、外部機器の故障判定を行う。

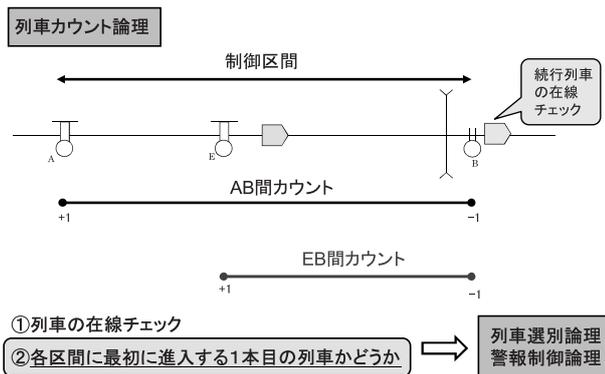


図9 開発した中間電子踏切の特徴

開発した中間電子踏切の特徴を図9に示す。列車カウント論理では、AB間カウントに加えて、E点からB点間までの列車カウント（以下、EB間カウント）を追加して2つの列車本数を管理する。

また、各区間に最初に進入する1本目の列車かどうかの判定を行い、1本目か2本目以降の列車かによって制御を区別している。以下に軌道回路条件を用いない二種類の続行列車対策の実現方法を紹介する。

(a) 続行列車の無しゃ断対策

今回開発した論理では通過列車、停車列車ともに電子踏切で警報制御するため、警報終止時の在線チェックに列車カウントが利用できる。具体的にはAB間カウント、EBカウントの2つのカウントを用いることで警報終止の際、続行列車の在線チェックを行い、軌道回路条件を利用しない続行列車の無遮断対策を実現した（図10）。

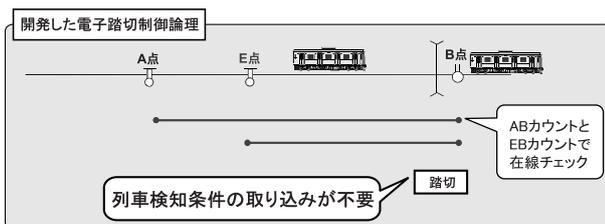


図10 開発した電子踏切制御論理

(b) 続行列車による踏切防護パターン不正解除対策

続行列車による踏切防護パターン不正解除対策が必要である理由は、従来の警報制御が先行列車、続行列車を区別しておらず、続行列車が本来不要である警報制御や防護パターンの解除制御要求を実施してしまうおそれがあったためである。

そこで、本開発では列車カウント論理の結果から当該の列車が1本目か2本目以降の列車かの判別を行い、最初に制御区間に進入する1本目の列車のみ通過・停車の判別を行い、警報開始制御を実施する仕様とした（図11）。2本目以降の列車は列車カウントによる在線チェックを行うが、警報開始制御は行わない。2本目以降の列車が警報開始制御に関わらなくても問題ない理由は、駅中間では続行列車は先行列車を追い越すことがないため、鳴動開始を行う際は1本目で確実に実施することができるためである。なお、1本目の列車で鳴動終止判断を行う際にも2本目以降の列車カウントが実施されているため、全列車が制御区間を進出するまでは鳴動終止制御を行うことがなく、安全な踏切制御が保障される。

この制御を実施することによって、軌道回路条件を用いずに防護パターンの不正解除を防止できるだけでなく、先行の停車列車による警報開始前に、続行列車が先に不要な警報開始をさせてしまうという事象も防止できるようになった。

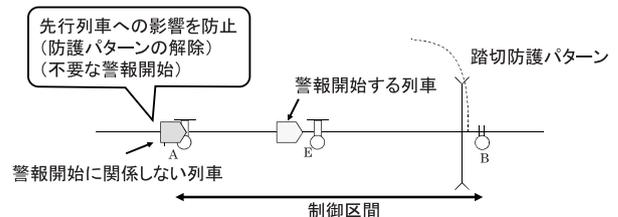


図11 開発した踏切防護パターン不正解除対策

以上をまとめると、従来軌道回路を使用していた2つの続行対策について

- ①AB間カウント・EB間カウント2つの列車カウントによる在線チェック
- ②制御区間に進入する1本目の列車かどうかを判別して、1本目のみ警報開始制御を実施することで、軌道回路に依存しない論理を構築し、論理の単純化を実現することができた。

3.2.2 現行器具箱の活用

現行器具箱を活用し、現行電子踏切制御装置との置き換えを考慮するために以下の2点を検討した。

(1) 現行幅筐体の検討

本開発では、定時間制御機能に必要なE点、列車選別条件、ATS-Pの正常動作条件の入力や、ATS-Pのブレーキパターン解除条件の出力が必要になり、入出力条件の増加が想定される。ところが、現行器具箱での置き換えを考慮した場合、定時間制御機能の実現のために、筐体が拡幅されてしまうことは望ましくない。そのため、定時間制御機能の実現に必要な外部入出力信号を整理し、現行電子踏切制御装置のこの線パターン「複線」での入出力モジュールの空きを活用する方法を検討した。その結果、現行電子踏切制御装置の空きが活用できることがわかり、入出力モジュールの追加による筐体拡幅の必要がなくなった。

(2) ATS-P装置とのインターフェースの検討

現行器具箱を活用するために、器具箱外部から取り込んでいるATS-P装置のインターフェース条件をできるだけ活用させることを検討した。現状調査では、現行の定時間制御踏切ではATS-P装置から入力され、通過列車と停車列車の判断に使用される列車選別条件は、1点しか使用していない場合が多い。しかし、この列車選別条件を2点使用することで、続行列車に対する踏切定時間制御をよりきめ細かく実現することもでき、2点使用している踏切も存在する。そのため、今回の踏切定時間制御で使用する列車選別条件はどちらにも対応できるよう、1点または2点の選択ができるものとした。

以上より、電子踏切制御装置の筐体を拡幅させず、ATS-P装置のインターフェース条件もできるだけ現行のまま維持することで、現行器具箱を活用でき、スムーズな導入を可能とする見込みが立った。

3.3 将来の運用への対応

将来の運用を見据えると、一部私鉄でも実施されているように、当社でも将来は駅ホームに停車している時間も考慮して鳴動時間を適正化させたいというニーズも考えられる。そのために着目したのが警報遅延時素である。警報遅延時素とは、橋梁などA点またはE点の検知装置の設置スペースがない場合、本来設置する位置より遠い側に設置して、警報を遅延させることで、仮想的に設計上の位置に警報点を設けるためのものである。今回はこれを応用し、ホームに停車している時間を考慮に入れて警報を遅延させる機能を、停車列車に限定して追加することとした。

そこで、本開発では、停車列車用の警報開始点においても通過列車と停車列車の判断を行い、停車列車のみ警報遅延を実施する論理を追加した。また、警報遅延時素の長さについてもホームに停車している時間を考慮できるものとした。このことで、将来的にホーム停車時分を考慮した定時間制御を行う場合にも、定数変更だけで簡単に対応が可能となる見込みとなった。

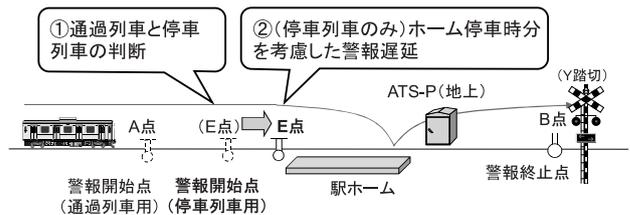


図12 ホーム停車時分を考慮した警報遅延

3.4 本開発品の概要

以上をまとめ、本開発品の概要を以下に示す。図13に論理の順序を示し、それぞれの詳細を下記に示す。

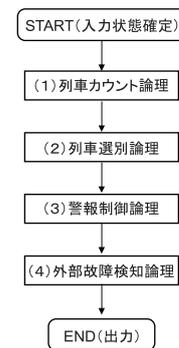


図13 論理の順序

(1) 列車カウント論理

従来のAB間カウントに加え、EB間カウントも行い在線管理を行う。列車の在線管理に軌道回路条件は使用しない。AB間、EB間それぞれのカウント範囲において個別に列車の在線状態を管理することで、E点の故障検知や列車がE点通過時における列車選別論理を実現する。

(2) 列車選別論理

AB間カウントおよびEB間カウントの結果とATS-P装置からの入力状態から列車選別を行う。1つの列車に対する列車選別タイミングは2回あり、1回目がA点進入時、2回目がE点進入時である(図14)。列車がA点、E点進入時それぞれのカウント範囲に最初に進入する1本目の列車に対してのみ通過列車と停車列車の判断を行う。

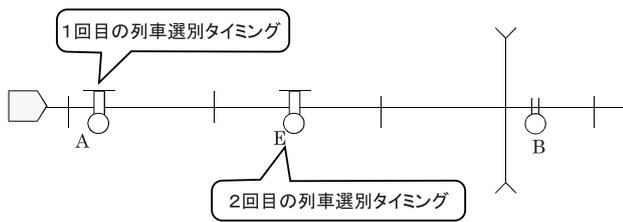


図14 列車選別タイミング

(3) 警報制御論理

警報制御論理は、「最初に制御区間に入線する1本目の列車で警報を開始し、最後に制御区間を出線する列車で警報を終了する」という仕様とした。そのため2本目以降の続行列車は踏切警報開始制御には関与しない論理となっている。これは続行列車による本来不要な警報開始制御が先行列車に対する警報制御に影響することを防止するためである。

列車の動きと警報制御の概要を以下に説明する。警報制御のタイミングは①A点進入時 ②E点進入時 ③B点進出時の3つに分けられる(図15)。

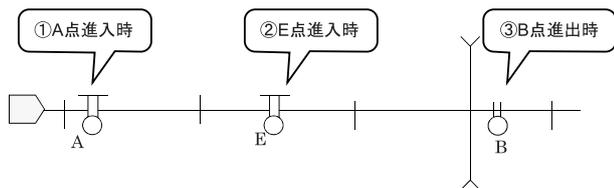


図15 警報制御のタイミング

警報開始制御はA点またはE点進入時、列車選別論理の結果を利用して列車種別に応じた以下の制御を行う。またA点およびE点に警報遅延時素機能を設けた。

①A点進入時

- ・通過列車は警報遅延時素後に鳴動開始。
- ・停車列車は警報しない。

②E点進入時

- ・停車列車は警報遅延時素後に鳴動開始。
- ・通過列車は鳴動持続。A点で鳴動していなければ即時警報開始(異常時)。

警報終止制御はB点進出時、すべての列車に対して以下の制御を行う。

③B点進出時

- ・列車カウント論理の結果を参照し、制御区間に在線がないことを確認後、警報終止する。

(4) 外部故障検知論理

既存の電子踏切同様、入力情報の妥当性をチェックすることで外部故障検知を行う。従来取り込んでいなかったE点を入力条件として追加したことでE点の故障検知も電子踏切内部で実現できる。

4. おわりに

定時間制御論理を内蔵した中間電子踏切制御装置の基礎開発を行い、以下の結論を得た。

定時間制御機能に関しては軌道回路条件に依存しない論理の構築を行った結果、すべての中間踏切に対応可能となった。また、入出力モジュールの空きを活用することで、現行幅のまま実現可能となり、現行電子踏切制御装置との置き換えも考慮することができた。

本開発品の実用化が実現すれば、定時間制御論理の標準化と定時間制御化工事の設計・施工・試験の簡素化が達成できるだけでなく、リレー削減によるコストダウン効果も期待できる。

現在、実用化に向けてハードウェアやモニタ装置などの開発を実施している。

参考文献

- 1) 日本鉄道電気技術協会；鉄道技術者のための信号概論「踏切保安装置」, 1995.
- 2) 宮口直己・寺本学・熊坂一彦・石間礼次・安本高典・紺野洋一・神戸昇一・福田和人；電気学会研究会資料, TER-12-42, pp.13~17, 2012.
- 3) 寺本学・宮口直己・熊坂一彦・石間礼次・福田和人；第49回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 論文番号611, 2012.
- 4) 日本鉄道電気技術協会；鉄道と電気技術, VOL.10, No.11, pp.37~41, 1999.11.