

# 車上主体型進路制御による列車制御システムの機能検証

杉山 陽一\* 福田 光芳\*\* 北野 隆康\*\*

Evaluation of Functions of a Train Control System by Using the On-board Interlocking

Yoichi SUGIYAMA Mitsuyoshi FUKUDA Takayasu KITANO

For secondary lines, a prototype of a new train control system which has cheap wayside equipment costs was developed. In the developed system, the on-board equipment controls the blocking and the route setting. The on-board equipment demands securing of blocks from the block controller and instructs the point controller on switching the points. The on-board equipment which reads the information of tags performs these controls by radio. In addition, cheap RFID tags are used for the tags on the track. We evaluated the safety of each function of the developed system and reading performance of the information of the tags. In this paper, we describe the process of safety evaluation.

キーワード：閉そく，進路制御，車上装置，安全性，地上子

## 1. はじめに

地方交通線では、既存システムの維持や新システムの導入に係るコストの削減が求められる。そこで、鉄道総研では、地上設備を簡素にしてコストを低減することを目的とし、車上で主体的に進路制御を行う方式<sup>1)</sup>を考案し、プロトタイプを開発した<sup>2) 3)</sup>。

開発システム（以下、「本システム」）では、列車在線位置を把握した車上装置が自律的に閉そく区間の確保、進路構成を行い、速度照査パターンによって列車を制御することで安全な走行を実現する。そのため、地上の閉そく装置や連動装置で行っていた閉そく確保・進路構成・在線位置把握の機能を大幅に車上装置に移行でき、低コスト化が期待される。車上装置がこれらの制御を行うトリガとして地上子情報を用いるが、地上子に安価な RFID タグを用いて一層のコスト削減を図っている。

本システムの全体構成を鉄道総研所内試験線上に再現し、システムの通常動作や異常時の安全制御に関する機能が満たされていることを走行試験によって確認した。なお、試験項目の設定にあたっては、本システムの安全性について検証した結果を反映している。さらに、制御トリガとなる RFID タグの読取については、性能試験の結果から、安全性の検証を行った。

本報告では、これらの検証過程と結果について述べる。

## 2. 本システムの概要

本システムの装置構成、各装置の機能および列車走行時の一連のシステム動作と特長について概説する。

\* 信号・情報技術研究部 列車制御研究室

\*\* 信号・情報技術研究部 列車制御研究室（現 出向中）

### 2.1 システムの構成

#### (1) 閉そく管理装置

排他制御により線区内の閉そくを一元的に管理する。車上装置からの閉そく確保／解除要求に基づき、閉そく割当てを記録し、結果を車上装置に通知する。

#### (2) 車上装置

自列車の走行に必要な閉そく区間の確保を閉そく管理装置に要求する。閉そく区間を確保した場合、制御端末装置に閉そく区間上の分岐器の転換を指示する。また、地上子読取情報と速度発電機を用いて自列車の在線位置を把握し、停止限界点までの停止パターンを生成することで列車を安全に制御する。

#### (3) 制御端末装置

閉そくを確保した車上装置からの制御指示があった場合のみ転てつ機を転換制御し、分岐器開通方向を車上装置に通知する。

#### (4) 地上子

車上装置の制御や在線位置把握のための情報が記録されており、車上装置に接続された読取装置（車上子）で通過時に地上子情報を検知する。この情報は地上子 ID もしくは、設置位置の情報とする。

#### (5) 無線機器

地上設備を省略するため、(1)～(3)の各装置間の通信を無線で行う。車上装置が閉そく要求や進路構成の制御を行うエリアで無線通信可能とする。

### 2.2 通常時のシステム動作

本システムにおける列車運行時の動作について示す。なお、本システムは地方交通線の単純な配線の停車場を対象としているため、図1のような2線の停車場の例で示すが、3線程度の停車場であれば制御端末装置が複数

特集：信号通信技術

の転てつ機を管理することにより2線の場合と同様に動作できる。

A 駅の制御開始点に在線する列車の車上装置は、閉そく管理装置に B 駅到着番線までの閉そく確保を一括で要求し、確保されれば A 駅分岐器手前までの停止パターンを生成する。さらに A 駅の制御端末装置に分岐器の転換を指示し、転換が完了すると B 駅の分岐器手前までの停止パターンに更新する。

次に、B 駅分岐器手前の地上子 (4) の ID を検知した車上装置は制御端末装置に分岐器の転換を指示する。転換が完了すると到着番線上の停止位置までの停止パターンに更新する。到着番線上の地上子 (5) の ID を検知すると、閉そく管理装置に通過済み区間の閉そく解除を要求する。

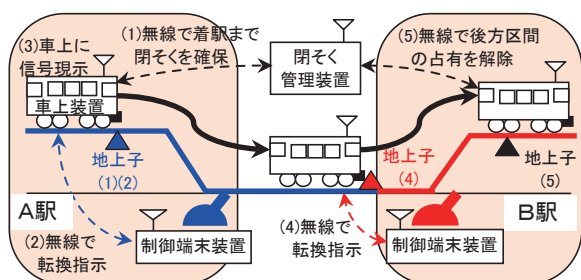


図1 通常時の動作概要 (A 駅から B 駅に走行)

2.3 本システムの特長

2.1 節および2.2 節に示すように、本システムでは、車上装置が自列車の安全走行に関する機能の主体となる。

車上装置が線区内で唯一の閉そく管理装置に照会して、区間を占有した列車を駅間に走行させることができる方式によって、駅ごとに連動装置を設ける必要がなくなる。また、車内信号現示方式とすることで、地上信号機を省略できる。さらに、速度発電機と地上子から在線位置を把握するため、軌道回路を省略できる。

無線で装置間を接続するシステム構成により、ケーブル類を省略できる。また、停車場周辺でのみ通信できればよいため、追加設備を最小限に抑制できる。

3. 各装置の機能

各装置が2章に示す動作を正常に行っている限り、本システムでは、発駅から着駅まで列車を安全に制御して運行できる。本章では、各装置の機能に不具合が生じた場合の安全性確保の方針について述べる。

3.1 本システムの機能構成

本システムの各装置(閉そく管理装置、車上装置、制御端末装置)が列車の制御に果たす機能について、表1に示す。また、各機能間の関連についてイメージを図2に示す。

表1 本システムの各装置の機能

装置	機能	概要
閉そく管理装置	閉そく管理機能	・車上装置の要求により閉そく確保/解除 ・車上装置に結果通知 ・各車上装置からの要求を排他制御
車上装置	閉そく要求機能	・次駅までの閉そくの一括確保を閉そく管理装置に要求 ・通過済み区間の閉そく解除を閉そく管理装置に要求 ・地上子読取と列車出発時機がトリガ
	進路構成機能	・自列車の進路構成のため閉そく区間内の制御端末装置に電気転てつ機転換を指示 ・地上子読取がトリガ
	速度制御機能	・自列車の走行位置に基づき停止限界点までの速度制御パターンを生成 ・閉そく確保、進路構成の結果によって停止限界点とパターンを更新
	車内信号現示機能	・停止パターンに基づき、運転士に制限速度を現示
位置検知機能	位置検知機能	・地上子読取および速度発電機の出力から自列車の在線位置を把握
	制御端末装置	転てつ機転換機能

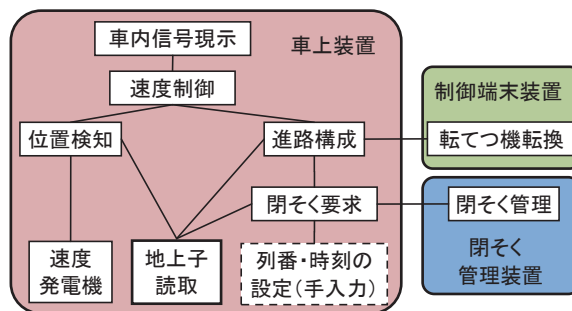


図2 本システムの機能間の関連

3.2 機能検証の方針

表1および図2から、本システムにおける列車走行に必要な機能の多くを車上装置が担っている一方、地上子読取が閉そく・進路・在線把握の各機能に必須であることが分かる。

そこで、本報告では、以下の機能検証について述べる。

- ・本システムの動作に関する機能検証 (閉そく管理装置・車上装置・制御端末装置)
- ・制御トリガとなる地上子情報の読取性能検証

4章でシステム全体の安全確保に関する機能検証について、5章で地上子情報の読取性能検証について述べる。

4. 本システム動作の安全性

本システムの動作について、運用・装置の前提を整理し、装置の機能が停止した場合の安全性確保について分析した。また、分析結果に基づき、本システムの機能検証試験を鉄道総研所内試験線において行った<sup>4)</sup>。

4.1 前提

4.1.1 線区モデル

図1のA駅からB駅に向かう走行、および逆向きの走行における停止パターンの区切りを考慮すると本システムにおける制御上の区間は図3のように一般化できる。

図3の各区間がパターン制御上の最小区分となるため、これらの区間を閉そく管理の単位とする。また、閉そく確保、進路構成の制御点までに地上子を設置するため、図3の各区間を地上子位置により細分化した範囲が安全性分析上の最小区分となる。

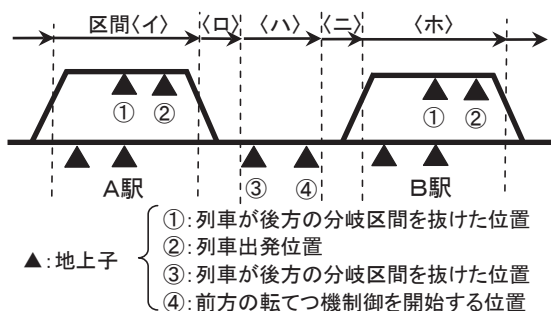


図3 本システムの線区モデルと地上子位置

4.1.2 運用

以下の場合のみ係員による装置の操作を行う。

- ・故障や電源断が発生した装置を復旧させる場合
- ・非常停止した列車を次駅まで運転する場合

ここで、非常停止した列車の運転再開は最徐行相当の制限速度に従うものとする。

また、列車本数の少ない路線を対象にしているため、入換、分割・併合、後退、進路取直しなどの運転取扱いについてはシステムによらない運用で対応する。

4.1.3 装置・伝送

(1) 装置間の伝送

閉そく管理装置、車上装置、制御端末装置はいずれもフェールセーフな装置とし、各装置間の電文にはハッシュ値が付加され、受信側装置でチェックされる。

(2) 地上子電文・車両状態のチェック

地上子読取電文は車上装置で安全符号によるチェックがなされる（読取性能については5章で述べる）。また、車両状態、ブレーキ状態についても車上装置でチェックし、異常を正しく検知するものとする。

(3) 固定データ

各装置で保持する線形データや装置IDなどの固定データはフェールセーフ装置の固定記憶領域に記録され、装置が機能停止しても喪失しないものとする。

4.2 危険事象の定義

本システムが最終的に回避すべき危険事象は脱線および列車衝突である。なお、車上装置は自列車について

脱線の原因となる事象（未開通進路への冒進など）を回避し、閉そく管理装置は排他制御によって列車間を防護し、衝突を回避する。

4.3 機能停止装置の組合せ

表1および図2で挙げた各機能に不具合があった場合の安全性について考える。車上装置の一部機能に不具合があっても停止パターンが内方に更新されず、列車を安全に停止させることができるため<sup>5)</sup>、一部機能停止後の扱いは車上装置全体が機能停止した場合と同じ取扱いとなる。そこで、装置ごとの機能停止の組合せと安全性分析の方針を表2に示す。

表2 停止装置の組合せと安全性分析の考え方

機能停止装置	安全性分析の考え方
制御端末装置	転てつ機が鎖錠されない条件について検証
閉そく管理装置	排他制御が不成立となる条件について検証
車上装置	位置検知が復活しないケースについて検証 →列車在線位置ごとの分析
閉そく管理装置・車上装置が同時	排他制御が不成立となる条件について検証 複数列車の車上装置停止を想定
閉そく管理装置・制御端末装置	直接、制御・被制御の関係にないため、同時故障を想定する必要がない
車上装置・制御端末装置	制御端末装置は唯一の車上装置でしか制御できないため、車上装置単独の停止と同じ

4.4 装置停止時の安全確保

(1) 制御端末装置のみ停止

制御端末装置が転てつ機転換前に機能停止しても、列車は分岐区間外方で停止し、転換後に機能停止しても、転てつ機は進路側で鎖錠されるため、列車は当該分岐区間を安全に通過できる。

(2) 閉そく管理装置のみ停止

閉そく管理装置が停止した状態では、どの車上装置も閉そく要求を行えず、各車上装置は正常な時点の閉そく状況を記憶しているため安全に走行可能である。

閉そく管理装置の復旧後、閉そく状況の記憶が損なわれた状態で車上装置からの閉そく要求を受け付けると危険である。そこで、一旦、全区間を在線状態とした上で閉そく状況を再現する手動入力を経なければ装置による閉そく管理を許可しない設計とした。

(3) 車上装置のみ停止

車上装置が機能停止すると列車は非常停止し、車上装置復旧後は在線位置や停止パターンを喪失した状態で、非常制限速度によって走行する。

非常停止したときの在線位置によって、駅に安全に列車を収容できるか分析するため、図3の在線位置ごとのシステムの制御についてまとめた（表3）。その結果、どの位置で非常停止しても少なくとも分岐器外方までは安全に走行できることが分かった。

特集：信号通信技術

表3 在線位置と位置確定後の運転

在線位置 (図3参照)	位置 確定	位置確定後の 停止限界位置	無線 通信	位置確定後の運転
〈イ〉始端～①	○	停止目標	○	通常運転に復帰可能 × 駅進出不可
①～②	○	〈イ〉終端	○	通常運転に復帰可能 × 駅進出不可
②～〈イ〉終端	△	(設定不能)	×	非常運転のまま
〈ロ〉～③	○	〈ハ〉終端	○	通常運転に復帰可能 × 区間進出不可
③～④	○	〈ハ〉終端	×	区間進出不可
④～〈ハ〉終端	△	(設定不能)	×	非常運転のまま
〈ニ〉～①	○	〈ホ〉終端	○	通常運転に復帰可能 × 非常運転のまま

△：位置補正地上子を追加すれば位置確定可能

地上子読取で走行位置が確定し、無線通信できれば通常のパターンに従った運転の再開が可能になる。ただし、閉そく管理装置との多重故障を想定し、閉そく管理装置に閉そく状況の確認をとらなければ通常のパターンを発生させないようにする必要がある。

一方、在線位置を確定できない場合や無線を確立できない場合は非常制限速度のままの運転となり、分岐器に対する防護はなされない。この場合、分岐器直前で一旦停止させ、開通方向を確認するシステム外の取扱いにより列車を着駅に安全に収容することとする。ただし、位置不定のまま分岐器に接近するような在線位置は限定的であり、位置補正地上子の追加によって抑えることも可能である。

(4) 車上装置と閉そく管理装置が停止

閉そく管理装置と車上装置がともに機能停止している場合、(2)で述べた閉そく確保状況を手入力で再現する手続きを踏めば、閉そく管理を再開できるが、誤入力があると、両装置間の閉そく状況の認識に齟齬が生じ、列車間の防護ができなくなる。

この場合の有効な対策として、線区内の列車数を予め把握した上で、全列車が停車場内に収容されたことを確認してから閉そく管理装置の管理を再開する取扱いや、指令員による閉そく状況の誤入力を防ぐインタフェースの導入が考えられる。

5. 試作装置の機能検証

本システムの機能について、2駅3中間での検証を行うため、閉そく管理装置1台、制御端末2台、車上装置2台を試作した。それぞれの試作装置の主な諸元および装置間の回線の性能を表4に、試験用システムの全体構成を図4にそれぞれ示す。なお、地上子情報は128bitであり、ユーザアクセス可能な64bit内に1つの地上子IDを格納し、1電文に1つのIDを付与している。また、着駅方の制御端末には、試験線路外に設置された試験用電気転てつ機を接続し、転換状態を確認できるようにした。

試作装置の機能を確認するため、所内試験線を用いて

表4 試作装置・回線の主な諸元

	閉そく管理装置	制御端末装置	車上装置
主電源	AC100V	AC100V	DC100V
入出力	・駅間伝送用 モデム	・転てつ機制御 出力 ・転てつ機表示 入力	・手動条件入力 (DC24V) 運転方向条件 異常時復帰入力 ・地上子入出力 RS422
回線	・無線機用 IF イーサネット (100BASE-T)		
	駅間伝送 (有線 2048kbps)		
	車上装置・閉そく管理装置間 IEEE802.11a (5.6GHz, 36Mbps)		
	車上装置・制御端末間 IEEE802.11b/g (2.4GHz, 36Mbps)		

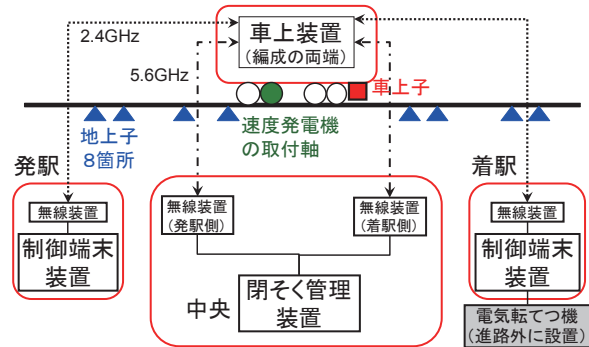


図4 試験用システムの全体構成

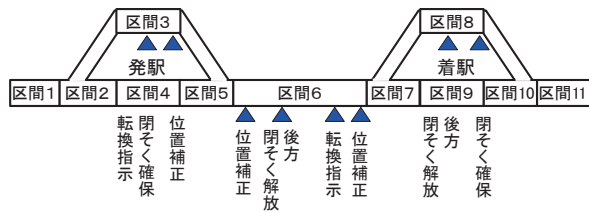


図5 走行試験でのデータベース上の線区モデル

走行試験を実施した。所内試験線の両端付近に位置する仮定の配線の駅をデータベース上に設定し、2駅3中間を模擬した試験を実施した(図5)。走行試験では区間3から区間8まで片方向で走行する。図5の各▲印に示された地上子IDを読み取ると車上装置が前述の制御を行うよう、データベースの設定を行った。

主な試験項目を表5に示す。再現する異常は、4章の安全性の分析の結果をもとに選定した。所内試験線を用いた走行試験を実施した結果、いずれの条件においても、検討した仕様によって安全に制御が可能であることを確認した。ただし、閉そく管理装置が電源断となった場合、電源復旧後に閉そく管理装置で必要となる閉そく状況再現入力作業が煩雑である点が課題として確認できた。車上装置の在線箇所だけでなく、閉そく管理装置が電源断となる前に車上装置が認識している確保済み区間を全て入力する必要がある。仮に在線区間のみを入力した場合であっても、閉そく管理装置・車上装置間の情報不一致により車上装置が列車を停止させるため、直接的には危険側の事象にならないが、効率的な入力方法については今後検討する。

表5 システム異常を想定した試験メニュー

分類	再現する異常	想定されるシステム動作
故障なし	通常時	通常時のシステム動作
	折返し	折返し時の処理の確認
	他列車在線時の閉そく確保	閉そく確保不可
車上装置	電源断の後、位置確定	車上装置が電源断して復旧 ⇒位置・確保区間確定まで低速走行 ⇒確定後、通常速度
	電源断の後、位置未確定のまま	車上装置が電源断して復旧 ⇒位置・確保区間確定まで低速走行 ⇒転てつ機までに地上子なし ⇒転てつ機通過まで低速走行継続
	閉そく管理装置との伝送断	区間確保後に伝送断 ⇒後方区間の解放不能 ⇒伝送復旧後にまとめて解放
	制御端末装置との伝送断	転てつ機の転換完了前に伝送断 ⇒区間確保済みでも転てつ機までの停止パターン発生
速度発電機	出力異常・出力なし	在線位置に異常 ⇒地上子位置との照合 ⇒位置検知異常による停止制御
閉そく管理	電源断	全区間が未定義状態 (列車は確保済み区間内を走行可) ⇒閉そく状態を手動扱で復旧可能
	伝送断	後方区間の解放不能 ⇒伝送復旧後にまとめて解放
制御端末	伝送断／電源断	転換の有無によらず分岐器までの停止パターン発生
地上子	読取失敗	速発との照合により位置検知異常

## 6. 地上子読取の安全性

5章では、本システムにおける装置間の機能連携と安全側制御について考察した。本章では、本システムの制御トリガとなる RFID タグを用いた地上子読取の安全性と実現可能性について、別途行った試験結果を元に考察した結果を述べる。

### 6.1 基本読取性能確認試験

車上における位置検知は、地上子と車上子間の情報授受による地点検知と速度発電機出力の積算による移動距離の算出を用いる。地点検知を行う方法として、ATS-P 等で用いられているトランスポンダが考えられるが、より一層の低コスト化のため、RFID タグを用いる検討を行った。

#### 6.1.1 高速通過対応 RFID デバイス

本システムの地上子に用いる RFID タグの読取用デバイスには、無電源で安価に実現でき、なおかつ応動範囲が広すぎず検知誤差が小さい方法が必要となる。しかし、無電源の RFID デバイスの多くは、一定以上の速度域では、情報授受を行うことができない。そこで、近傍型の規格 (ISO/IEC15693) をもとに、プロトコルの冗長な部分を削減して高速通過に対応させた RFID デバイスを試作し、本システムに適用可能か検証を行った。表6に試作した RFID デバイスの主な諸元を示す。

表6 RFID デバイスの諸元

通信周波数	13.56MHz (短波帯)
通信距離	700mm 以下
アンテナ出力	最大 3W
通信速度	送信 :26.48kbps, 受信 :52.97kbps
1 電文情報量	128bit (データ 64bit)
読取サイクル	5.99ms
読取アンテナ寸法	450mm × 380mm × 30mm
タグアンテナ	100mm × 100mm

#### 6.1.2 高速通過読取性能の把握

6.1.1 で述べた仕様に従って試作した RFID デバイスと高速回転試験台を用いて速度に応じた読取状況の試験を行った。各速度における読取時のビット誤り率 (概算) を表7に示す。表7より、応動範囲内の位置によってビット誤り率が大きく異なるものの、一般的な路線で想定される最高速度 130km/h において、2 電文以上読取れることを確認した。

表7 各電文のビット誤り率 (概算)

速度 km/h	先頭からの電文数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40	$1.0 \times 10^{-2}$	$1.3 \times 10^{-3}$	$5.8 \times 10^{-4}$	$3.4 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-4}$	$7.6 \times 10^{-4}$	$5.5 \times 10^{-3}$	$3.6 \times 10^{-2}$	※
60	$6.0 \times 10^{-3}$	$4.9 \times 10^{-4}$	$3.9 \times 10^{-4}$	$5.6 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$3.9 \times 10^{-2}$	※	読取なし		
80	$3.1 \times 10^{-3}$	$4.6 \times 10^{-4}$	$5.1 \times 10^{-4}$	$7.2 \times 10^{-3}$	※	読取なし				
100	$1.2 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-3}$	※	読取なし					
130	$9.1 \times 10^{-4}$	$9.9 \times 10^{-4}$	※	読取なし						

※：誤り率が高く、正しい電文が読取れない

#### 6.1.3 適用可能性検証

エラーの発生状況について、ビットが反転するビット誤りのほか、ヘッドの認識不良によって、ビット列が前後にずれる事象も発生することが分かった。従って、ビット誤りの影響だけでなく、ビットずれの影響も考慮したうえで、安定性、安全性を確保する必要がある。

検討対象の線区条件として、平均駅間 3km の区間を 5 編成が平均速度 60km/h で 1 日 20 時間走行すると仮定した。1 駅あたり 3 か所の地上子を配置すると考えると、1 日あたり、地上子上をのべ 6,000 回列車が通過することになる。誤ったデータを正しいと認識する事象を危険側、エラー等でデータを認識できない事象を安全側の誤り事象とし、危険側、安全側誤りの発生確率の目安をそれぞれ  $10^{-10}/h$ 、 $10^{-6}/h$  と設定した。表7に示す性能でこれらの条件を満たすために、次の方法を考案した。なお、想定最高速度を 100km/h (1 回の結合で 3 電文読取可能) とした。

- ・電文フォーマットを工夫し、1 電文中に同一の地上子 ID を 2 つ格納する。
- ・電文フォーマット内にビットずれを検知するためのチェックビット列を追加する。

特集：信号通信技術

・同じデータの RFID タグを 2 枚近接して配置し、読取り可能な電文数を多くする。

図 6 に示すように 2 組の地上子 ID をデータとして格納している。右端の 16 ビットの CRC はヘッダを除く 128 ビットのデータ部（ユーザ非解放及びユーザ領域）を検定する CRC であり、8 ビットの CRC は隣接する地上子 ID に対する CRC である。車上装置は太枠で囲んだ地上子 ID と CRC の 24 ビットを独立した 1 つのデータとして判定を行う。ここで、不要な電文の棄却を抑制するため、ユーザ領域外の 16 ビット CRC は電文のチェックに用いない。

1 地上子あたり 3 電文読み取れるため、6 個のデータ（地上子 ID と CRC の組）を読み取れる。さらに、2 つの地上子を連続して設置するため、地上子設置箇所を通過すると、少なくとも 12 個のデータを読み取れる。先頭から 8 個のデータを取り出し、3 個以上が一致した時に判定合格とし、一致しない場合は、1 電文（データ 2 個）分ずらした次の 8 個のデータで判定を行う。

この判定を用いた想定での危険側、安全側の誤り事象の発生確率を表 4 の条件で算出した結果、危険側、安全側それぞれについて目安を満足することを確認した<sup>6)</sup>。

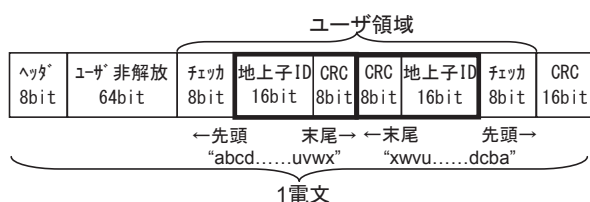


図 6 データのビット割付けの例

6.2 実車走行における読取性能確認試験

6.1 節では、試験設備での理想的な状態における読取性能に基づいた位置認識の実現可能性について述べた。より実環境に近い条件での性能確認のため、鉄道事業者の試運転線で本線走行可能な試験用電車を走行させる読取試験を実施した<sup>7)</sup>。試運転線に RFID タグを 8 個設置し、速度を変えて走行を繰り返した。読取結果を図 7 に示す。

通過速度と受信電文数の関係については、試験設備環境で確認していた読取範囲の長さで矛盾のない電文数が

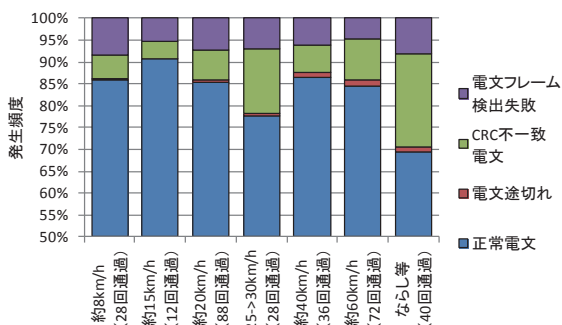


図 7 通過速度ごとの電文判定結果

得られた。一方、図 7 から、とりわけ加速時や試験前ならし走行時にエラーが多く発生していることが分かる。ならし運転でのエラーは、RFID の読取装置の回路が起動後十分に時間経過しておらず、アナログ回路の特性が不安定な状態であったためと考えられる。また、加速時にエラーが増大していること、車上子を主回路近傍に設置したことから、主回路等からのノイズが伝送波に影響したものと考えられる。読取装置の設置環境や試験条件によって読取結果は変化しうるが、実用化にあたっては、起動後に短時間で特性が安定する回路構成のほか、ぎ装上のノイズ対策等が必要であることが分かった。

7. おわりに

地方交通線向けに安価に導入可能な列車制御システムとして、車上主体型進路制御による列車制御システムを開発した。本システムでは、車上装置が主体的に自列車の走行に必要な制御を行うが、システムを構成する各装置の機能が停止した場合の安全確保の方針について整理し、システム外の取扱いも想定に含めた試験により検証した。また、車上装置の制御トリガとなる地上子情報の読取性能について別途試験を行い、課題を抽出した。

なお、本システムの開発は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

文献

- 1) 佐々木達也, 北野隆康: 地点検知と連動機能を車上搭載した列車制御システム, 鉄道総研報告, Vol. 28, No.4, pp.17-22, 2014
- 2) Takayasu KITANO, "A Train Control System Dividing Interlocking Function into Onboard and Ground Equipment", IRSE ASPECT 2015, Sep. 2015.
- 3) 北野隆康, 杉山陽一, 福田光芳: 車上と地上で連動機能を実現する列車制御システムの開発, 電気学会産業応用部門大会論文集, No.5-34, pp.247-250, 2015
- 4) 杉山陽一, 福田光芳, 北野隆康: 地方交通線向け列車制御システムの開発, 鉄道サイバネシンポジウム論文集, Vol. 53, No.603, 2016
- 5) 杉山陽一, 北野隆康, 福田光芳, 地方交通線向け列車制御システムの機能検証, 秋季信頼性シンポジウム発表報文集, Vol. 29, pp.97-100, 2016
- 6) 杉山陽一, 福田光芳, 北野隆康: 電文同期誤りを考慮した地上子 ID 判定手法の考察, 春季信頼性シンポジウム発表報文集, Vol. 23, pp.11-14, 2015
- 7) 杉山陽一, 北野隆康, 福田光芳: RFID タグを用いた地上子の実用環境下での読取性能に関する考察, 電気学会産業応用部門大会論文集, No.5-39, pp.267-270, 2015