

次期新幹線保守作業安全システムの開発

○畠山 拓也（東日本旅客鉄道株式会社） 金子 拓企（JR 東日本パーソネルサービス）

Next Shinkansen maintenance work safety system

○Takuya Hatakeyama, (East Japan Railway company)

Hiroki Kaneko, (JR-East Personnel Service)

The next Shinkansen maintenance work safety system is a system to prevent accidents during maintenance works. This system is continuously calculating the distance between maintenance cars/maintenance staff using information from each cars/staff. After calculation, the system send some alert information to appropriate devices on the car/staff if the distance between each cars/staff might be too short to prevent some trouble. In addition, this system control the emergency brake of maintenance car in case of danger. We developed this system and confirmed the validity.

キーワード：接近表示、GNSS、位置把握

Key Words：Maintenance car display, GNSS, Positioning

1. はじめに

安全研究所では、2000 年度に新幹線における保守用車^{※1}同士の衝突防止を目的に『新幹線保守作業安全システム』（以下「現行安全システム」という。）を開発し、JR 東日本管内全ての保守用車に導入してきた。

導入当時と比較し、近年は新幹線設備の老朽化に伴い、作業件数が増加するなど、作業環境が変化してきている。作業環境の変化に伴い、保守用車と地上作業の競合件数が増加するなど、保守用車と地上作業員の触車リスクが高くなってきている。現行安全システムは保守用車と地上作業員の確認は目視によりものであり、人の注意力に依存する部分が残されている。

そこで、現状の課題を解決するため、地上作業員の位置把握・共有機能など安全性の向上を目的とした「次期新幹線保守作業安全システム」（以下「次期安全システム」という。）を開発した。

本稿では、次期安全システムでの主要機能について報告する。

※1 軌道モーターカーやマルチプルタイタンパーといった線路上のみを移動する保守用車と軌陸タイプの保守用車の総称。

2. 次期安全システムの構成

次期安全システムの構成を図 1 に示す。次期安全システ

ムでは、各装置間の通信に業務用無線（デジタル無線）と携帯電話回線を採用している。これにより現行安全システムと比べ、より大容量の情報が通信可能となり、更なる安全性の向上を実現している。主な構成機器の役割は以下のとおりである。

【補修作業^{※2}用端末】

- ・選択した路線および GNSS で取得した位置情報から端末の在線キロ程を算出する。
- ・算出した自位置を元に付近に存在する保守用車の情報を中央サーバより取得し、保守用車の接近距離を算出し警報出力及び表示を行う。
- ・保守用車の接近を補修作業員が認知し、待避完了したことを保守用車へ通知する。

※2 作業時間帯において線路内に立ち入り実施する作業
例：各種検査、調査、簡易な作業など

【車載装置】

- ・自車両の位置と他車両の位置を照合し、他車両と衝突する恐れがある場合に警報、非常ブレーキを出力する。
- ・自車両の位置と分岐器の転換情報を照合し、進路が開通していない区間に進入する恐れがある場合に警報、非常ブレーキを出力する。
- ・自車両の位置と線路作業区間情報を照合し、線路作業区間に進入する恐れがある場合に警報、非常ブレーキを出力する。

【線路作業※³用端末】

- ・選択した路線、入力した作業区間の情報から線路作業区間を設定する。
- ・線路作業区間情報を中央サーバに送信する。
- ・線路作業区間の情報を元に付近に存在する保守用車の情報を中央サーバより取得し、保守用車の接近距離を算出し警報出力及び表示を行う。

※3 保守用車を進入させない措置を講じる工事、作業。
例：レールを破断する作業など

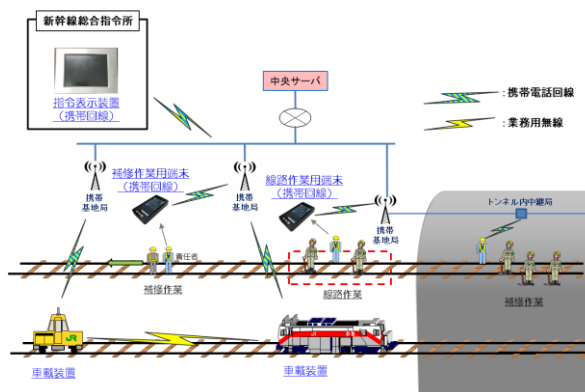


図1 次期安全システムの構成

3. 新機能の概要

次期安全システムにおいて開発した新機能について装置ごとに詳細を記載する。

3. 1 補修作業用端末

現行安全システムでは、補修作業員に保守用車の接近を報知する「携帯用受信機」が導入されているが、携帯用受信機は保守用車が発信している業務用無線の電波を受信すると警報鳴動する仕組みであるため、作業員から離反方向に走行していても鳴動してしまう、または周囲の環境により警報鳴動範囲が一定ではないなどの課題があった。

次期安全システムでは、新たに「補修作業用端末」を開発し、これらの課題に対応した。「補修作業用端末」の主な機能は以下のとおり。



外形：150mm×79mm×22.1mm
※電池部：33.9mm
重量：約 350g
画面サイズ：4.75 インチ

図2 補修作業用端末

(1) GNSS 測位による自位置の検出

補修作業用端末は GNSS チップを搭載することで、端末の緯度経度情報を取得し、端末の自位置として使用する。

搭載している GNSS チップは日本無線㈱製の「JG11」である。今回自位置の算出に使用する GNSS 衛星は GPS、BDS^{*4}、QZSS^{*5} であり、前述の衛星のうち 3 つ以上の衛星を受信できた場合に測位が可能となる。また、「JG11」は GNSS 衛星

からの受信信号から演算した現在位置の緯度経度情報の他に、緯度経度データにどれだけの誤差が含まれている可能性があるかを示す「誤差円」（以下、GNSS 誤差）情報を出力できる。

GNSS 誤差の情報を有効活用し、安全性の向上を図るため、補修作業用端末では、GNSS 誤差が 100m 以上または衛星未測位の状況が 5 秒以上継続した場合、GNSS 未測位状態と同様の動作とし、後述する GNSS 不感区間における動作に自動で移行する仕様とした。なお、前述の条件が解消された場合には、自動で GNSS 測位状態時の動作に移行する。

※4 北斗衛星導航系統、中国独自の衛星測位システム

※5 準天頂衛星システム（みちびき）、日本独自の衛星測位システム

(2) 適切な警報鳴動

端末キロ程および中央サーバより取得した保守用車のキロ程に基づき、適切な接近距離での警報出力を可能とした。警報出力は保守用車が警報区間に進入した場合に出力される。警報区間は端末キロ程に対し「1,000m」+「GNSS誤差」で算出された距離となる（図3）。GNSS誤差の範囲内には補修作業員が存在する可能性があるため警報区間に含めることとした。

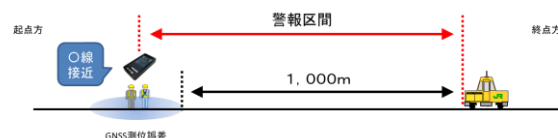


図3 警報区間の考え方

(3) GNSS 不感区間における対応

トンネル内などで GNSS 未測位の場合、端末の位置を算出することができなくなる。そこで GNSS 未測位時であっても端末の位置を推定する仕組みを開発した。

GNSS 測位状態から未測位状態となった場合、最後に端末が認識していたキロ程を起点として、端末の前後に「GNSS 誤差」を時間と共に加算していく仕組みとした。

時間と共に増加させる GNSS 誤差は補修作業員の移動速度を 6km/h と想定し、1 分で 100m 分の GNSS 誤差を計上することとした。また、10 分毎に端末位置を手入力により更新することで、累積した GNSS 誤差をリセットすると共にシステム上認識している補修作業用端末位置も更新される。動作例を図 4 に示す。

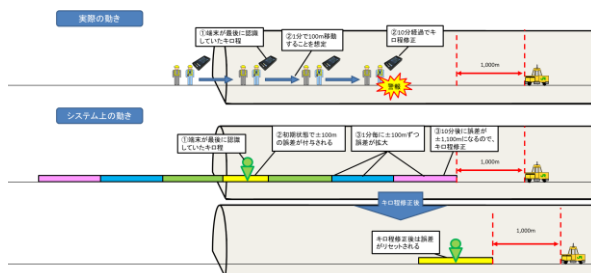


図4 GNSS 未測位時の動作例

(4) ユーザインターフェースの機能向上

端末には新たにモニタ画面を追加し、自位置に合わせた配線図を表示することで、視覚的にも保守用車の接近を確認することが可能となった(図5)。



図5 補修作業用端末画面表示

(5) 待避完了合図のシステム化

補修作業中に保守用車が接近した場合、地上作業員は保守用車に対して保守用車が接近していることを確認した旨の合図を出す必要がある。合図は地上作業員が懐中電灯を大きく円状に回し、合図を受けた保守用車は前照灯をパッシングし応答するようにしているが、懐中電灯の回し方の不備やヘッドライトなど他の明かりと混同され、保守用車側では確認しづらい場合があり、地上作業員からの合図に対して不安を抱えることがあるなどの課題があった。

次期安全システムでは、保守用車の接近確認(以下、保車確認という。)の通知とそれに対する応答を補修作業用端末の画面上、および保守用車の画面上で確認可能とし、課題解決を図った(図6)。

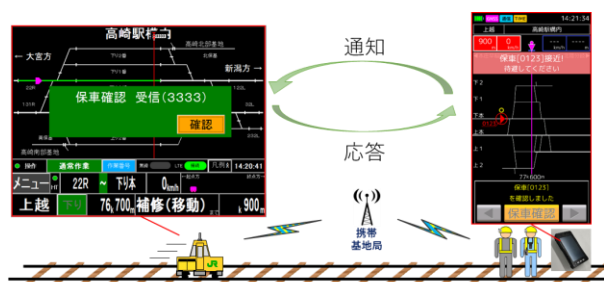


図6. 保車確認画面

(左: 保守用車画面、右: 補修作用端末画面)

3. 2 車載装置

現行安全システムでは業務用無線(アナログ無線)を使用して、保守用車の位置情報などの送受信を行っているが、次期安全システムの導入段階においては、現行安全システムと次期安全システムの電波形式の違い(アナログとデジタル)から、電波の干渉を防ぐ方法を検討する必要がある

た。また、分岐器の転換情報を取得できない場合(進路設定を行う端末の故障、事故等による計画外の進路設定など)、進路未設定区間への進入防止機能を無効化しなければならず、分岐器を割り出してしまう可能性があった。

次期安全システムでは、新たに「車載装置」を開発し、これらの課題に対応した。車載装置の主な機能は以下のとおり。

(1) 補修作業員の位置表示

現行安全システムの画面表示機能に加え、補修作業員が携帯する「補修作業用端末」の位置情報を中央サーバより取得し、車載装置の画面上に補修作業員アイコンを表示する(図7)。これにより保守用車側で補修作業員がどの位置にいるのか、視覚的に確認することが可能となった。

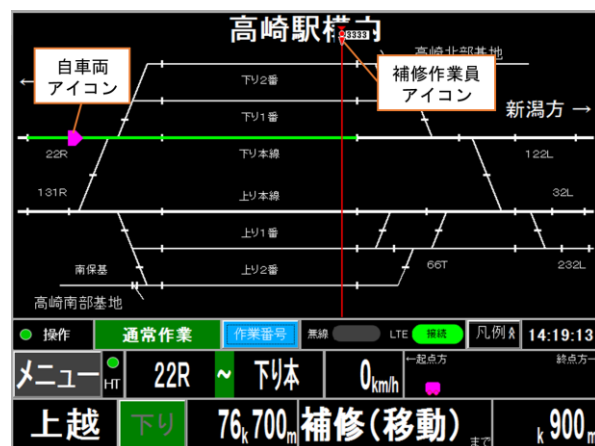


図7 画面表示(表示装置)

また、補修作業員の位置を把握することが可能となったため、補修作業員と保守用車の位置情報から接近距離を計算し、補修作業に対する接近警報を出力することで、更なる安全性の向上を実現した(図8)。

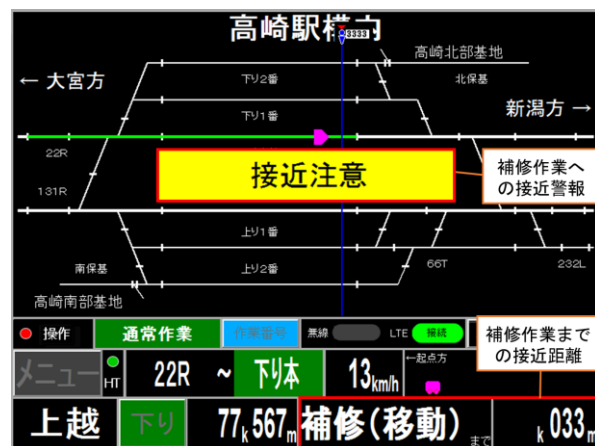


図8 補修作業員への接近警報

(2) 電波形式が異なるシステムの共存

次期安全システムでは車載装置間の通信に業務用無線(デジタル)を採用しているが、前述のとおり、電波形式の異なるシステムの境界部においては、双方の電波干渉を防ぐ方法を検討する必要があるため、次期安全システムでは電波形式の異なるシステムが共存可能となる仕組みを

開発した。

現行安全システムは 400MHz 帯の業務用無線(アナログ)、次期安全システムは 400MHz 帯の業務用無線(デジタル)を使用し、両システムとも 2 秒を 1 サイクルとして通信を行っている。通信のタイミングは GNSS の衛星から受信される PPS 信号により管理されているため、両システムで同一となる。これらの条件に着目し、両システムの業務用無線が干渉する恐れがあるエリアについては、現行安全システムの車載装置が使用していないデータ通信のタイミングで次期安全システムがデータ通信を行うよう制御することで共存を可能とした(図 9)。

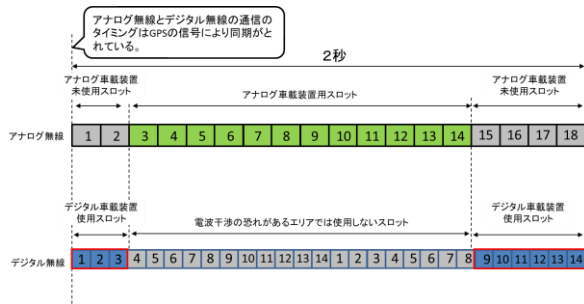


図9 スロット制限イメージ図
(上：現行安全システム、下：次期安全システム)

(3) 設定済み進路の通知

現行安全システムは保守用車が進路設定を実施する場合に使用する「新幹線保守作業管理システム(COSMOS サブシステム)」のハンディターミナル(以下、HT という。)から進路情報を取り込むことで進路未設定区間への進入防止機能を実現している。しかし、HT の故障など、HT を使用できない場合は新幹線総合指令所(以下、指令所という。)が進路設定を実施するため、現行安全システムは進路情報を取得できず、進路未設定区間への進入防止機能を無効化しなければならなかった。

次期安全システムでは、指令表示装置を開発し、指令所で設定した進路を入力することで、車載装置に対して進路情報を通知することを可能とした(図 10)。

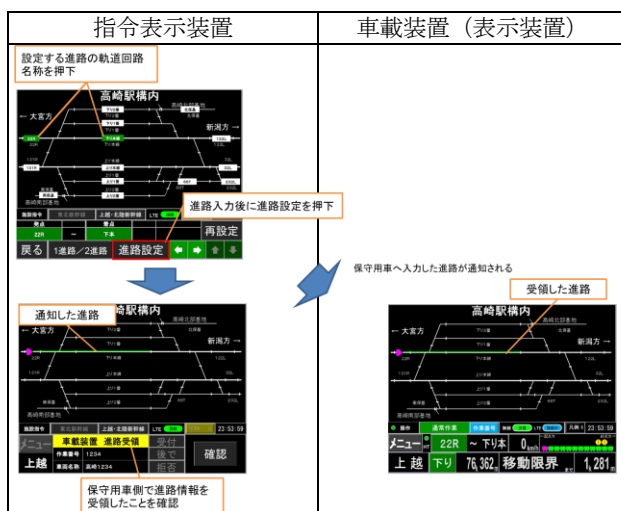


図10 指令表示装置による進路通知機能

保守用車は指令所が設定した進路の情報を取得することで進路未設定区間への進入防止機能を有効としたまま運用することが可能となり、異常時における安全度の向上を実現した。また、指令所、保守用車の両者が画面上で視覚的に設定した進路を確認することにより口頭連絡による祖語の防止も期待できる。

3.3 線路作業用端末

現行安全システムでは、線路作業区間に保守用車を進入させないために「線路作業用送受信機」が導入されている。線路作業用送受信機は線路作業区間の情報を業務用無線(アナログ)で送信しているが、業務用無線の到達距離と保守用車の制動距離の関係から線路作業として設定できる区間は 500m までと制限があり、500m を超える作業では 2 台の線路作業用送受信機が必要となっていた。

次期安全システムでは、新たに「線路作業用端末」を開発した(線路作業用端末のハードは補修作業用端末と同一である)。線路作業用端末の主な機能は以下のとおり。

(1) 設定可能区間の拡大

線路作業用端末では携帯電話回線を活用し、中央サーバから各保守用車に区間情報を配信することで 15km までの作業区間を設定可能とした。

(2) 設定可能件数の拡大

線路作業用送受信機では 1 箇所分の区間情報しか送信することができなかったが、携帯電話回線を使用することで最大 4 件までの線路作業を設定可能とした。

4. おわりに

本稿では、次期安全システムの構成と主要な機能について述べた。現行安全システムと比較し、適切なタイミングでの警報出力に加え視覚的に保守用車の接近や補修作業員の位置を確認できることや異常時における安全性の向上を実現することで確実な安全性の向上に結び付くと考えている。

今後はみちびき(準天頂衛星)による GNSS 測位精度の向上や保守作業管理システムとの連携を行うことで、人間の操作が介在する部分を減らしヒューマンエラーによる事故のリスク低減に向けた開発を実施し、作業員の安全性向上に取り組んでいく。

参 考 文 献

- 1) 黒澤良史、岡部栄治、佐々木敦、田中豊、小山内政廣：新幹線保守作業安全システムの開発、導入、平成 14 年鉄道技術連合シンポジウム、S7-4-4、2002、11
- 2) 北村太郎、石瀬裕之、佐々木敦：新幹線保守用車の新型保守作業安全システムの開発、JR 東日本 Technical Review No. 21, Autumn, 2007