

次期新幹線保守作業安全システムの開発



畠山 拓也*¹



金子 拓企*²

New Shinkansen maintenance work safety system

Takuya HATAKEYAMA*¹, Hiroki KANEKO*²

*¹ Researcher, Safety Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

*² Chief Researcher, Safety Research Laboratory, Research and Development Center of JR East Group

Abstract

The new 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.

●**Keywords:** Maintenance car display, GNSS, Positioning

*¹JR東日本研究開発センター 安全研究所 研究員 *²JR東日本研究開発センター 安全研究所 上席研究員

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*³間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し、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。しかしながら、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るものであり、触車リスクに対して人の注意力に依存する要素を残している。今後の作業数増加に対応するため、地上作業員の位置把握・共有機能など人の注意力に依存しないシステムを構築し、安全性を向上させることを目的とした「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。

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

(1) 補修作業*⁴用端末

- ① 選択した路線およびGNSS*⁵で取得した位置情報から端末の自位置を算出する。
- ② 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。
- ③ 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。

*³軌道モーターカーやマルチプルタイタンバ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。

*⁴作業時間帯において線路内に立ち入り実施する各種検査、調査などの簡易な作業

*⁵GPS（米国）等の各国衛星を用いた衛星測位システムの総称

(2) 車載装置

- ① 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。
- ② 自車両の位置と分岐器の転換情報を照合し、進路未設定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。
- ③ 自車両の位置と線路作業^{*6}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。

(3) 線路作業用端末

- ① 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。
- ② 線路作業区間情報を中央サーバに送信する。
- ③ 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。

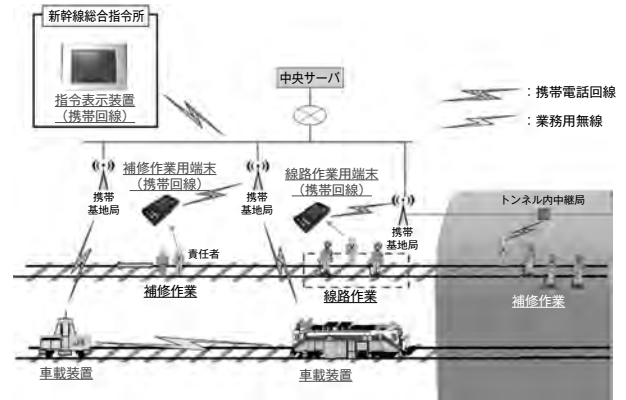


図1 次期安全システムの構成

3. 新機能の概要

3・1 補修作業用端末

現行安全システムでは、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「携帯用受信機」を導入している。携帯用受信機は電波を受信することで鳴動するため、電波の受信環境により警報鳴動の距離が一定ではなく、保守用車が離反する方向へ走行している場合も鳴動するなどの課題があった。また警報鳴動時に保守用車の位置は目視での確認に頼っており、接近時の待避合図を互いのライトで行うなど、人の注意力に依存していた。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(図2)。「補修作業用端末」の主な機能は以下のとおりである。



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。自位置の算出に使用するGNSS衛星はGPS、BDS^{*7}、QZSS^{*8}であり、これらのうち3つ以上の衛星を受信できた場合に測位可能となる。また、GNSS衛星の受信信号から演算した現在位置の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を示す「誤差円」(以下、GNSS誤差)情報を使用する。

(2) 適切な警報鳴動

端末位置および中央サーバより取得した保守用車の位置に基づき、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。また、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、警報区間は端末位置に対し「1,000m」+「GNSS誤差」で算出された距離とした(図3)。



図3 警報区間の考え方

(3) GNSS未測位状態における対応

トンネル内などでGNSS未測位の場合、端末位置を算出できない。そこで、GNSS測位状態から未測位状態となった場合、その時点での端末位置を起点として、想定される補修作業員の移動範囲を端末位置の前後に「GNSS誤差」として時間経過と共に加算する仕組みとした。補修作業員の移動速度を6km/hと想定し、1分毎に100m分のGNSS誤差を計上することとした。なお、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誤差をリセットし、端末位置を更新する。

^{*6}レールを破断する工事など保守用車を進入させない措置を講じる工事または作業
^{*7}北斗衛星導航システム、中国独自の衛星測位システム
^{*8}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

(4) ユーザー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仕組みとした。これにより、既往のシステムでは警報鳴動時に保守用車の位置を目視のみで確認していたのに対し、システム上でも保守用車の接近を確認することが可能となった(図4)。

(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、補修作業員は保守用車に対して保守用車の接近を確認した合図を出す必要がある。補修作業員は懐中電灯を大きく円状に回し合図を出す。懐中電灯の回し方の不備等で保守用車側では合図を確認しづらい課題があった。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、および車載装置の画面上で確認可能とすることで課題解決を実現した。

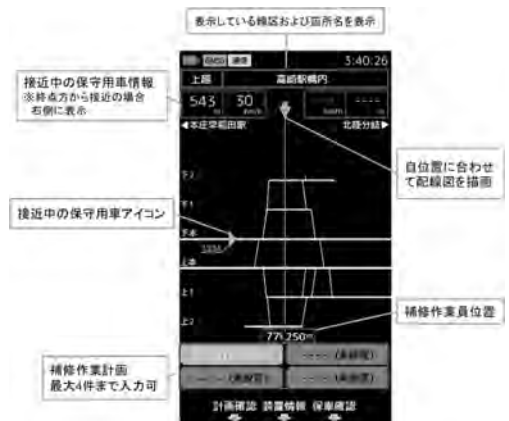


図4 GNSS未測位時の動作例

3・2 車載装置

現行安全システムでは、補修作業員の位置を把握できず目視による確認に頼るなど人の注意力に依存していた。また、進路構成する装置の故障など分岐器の転換情報を安全システムで取得できない場合、進路未設定区間への進入防止機能を無効化する必要があるなどの課題があった。次期安全システムでは、新しい「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である。

(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5)。これにより保守用車側で補修作業員の位置を視覚的に確認することが可能となり人の注意力に依存しないシステムとなった。また、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6)。



図5 画面表示(表示装置)



図6 補修作業員への接近警報

(2) 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に使用する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。HTの故障などで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。指令所で進路を設定した場合、現行安全システムは進路情報を取得できないため、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い。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し、保守用車に通知することで、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で口頭連絡による齟齬の防止も期待できる(図7)。

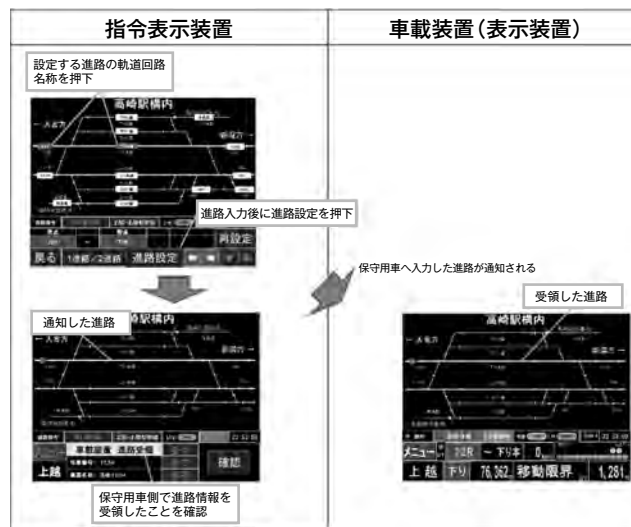


図7 指令表示装置による進路通知機能

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」を導入している。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を使用する必要があった。次期安全システムでは、新たに「線路作業用端末」を開発し課題に対応した。線路作業用端末の主な機能は以下のとおりである。

(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、触車リスクに対して人の注意力に依存しないシステムを実現するとともに、安全性の向上が確実に図れると考えている。

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
- 3) 研開安第48号「新幹線保守作業安全システムの開発及び現地試験」報告書、日本無線株式会社、2020年