

車上主体列車制御システム(JRTC-W)の開発

本多 光一郎* 鈴山 博史 松原 康博 棟田 恭弘

森 崇 延原 隆良 (西日本旅客鉄道株式会社)

Development of the On-board Oriented Train Control System (JRTC-W)

Koichiro Honda*, Hirofumi Suzuyama, Yasuhiro Matsubara, Yasuhiro Muneda,
Takashi Mori, Takayoshi Nobuhara (West Japan Railway Company)

We are developing the on-board oriented train control system using radio communication named JRTC-W (Japan Radio Train Control system-West) aims improvement of safety and the simplification of the signaling system on the ground. On the JRTC-W, the rolling stock detects the location, speed autonomously. From the ground station, the train gets a stop line calculated by designated routes and forward train by radio communication. Using these data, the on-board controller calculates the speeding limitation and if the driver violates the speed limit, the controller operates the train brake automatically. We have developed the electronic interlocking and train distance control system on a single fail-safe CPU board, and implement the radio handover feature. In this paper, we report the progress of the development by focusing on the overview of the system, the result of the test run and discussing the some problems found on the experiments.

キーワード：安全性向上，設備の簡素化，無線式列車制御

(Keywords: *improvement of safety, simplification of equipment, train control system using radio communication*)

1. はじめに

現行の鉄道信号システムは、主に軌道回路を車軸で短絡することにより列車検知を行い、一つの軌道回路に一つの列車しか在線できない閉そく方式により成り立っている。さらに、曲線や分岐器での速度超過、信号機の冒進などのリスクに対しては、ATS 地上子の増設により対応している。また、運転通告における伝達ミスに対しては、人手による作業をシステム化により補う運転通告伝送システムの開発を行っている。しかし、このような個別対応では設備が増え続け、保守作業量の増大、故障時対応の複雑化などが新たに問題となる。そこで、安全性の向上及び地上設備の簡素化を目指し、軌道回路や地上信号機に依存せず車上主体で位置検知や速度制御を行い、地上と車上は常時無線で交信を行うシステムの開発を行うこととした。

今回のシステムは CBTC(Communication Based Train Control)の一類型であり、日本においては、JRTC (Japan Radio Train Control system) として、JIS E 3801-1 に一般

要求事項及び機能要求事項が定められている。当社のシステムはこの JIS に沿って開発を行うため、「車上主体列車制御システム：JRTC-W (Japan Radio Train Control system-West)」という名称で開発を行っている。また、このような無線による列車制御システムは、既に東日本旅客鉄道(株)において ATACS (Advanced Train Administration and Communications System) として開発が進んでいる。今回は東日本旅客鉄道(株)に技術協力を頂き、ATACS を基本技術として活用してシステムの開発を行っている。

本論文では、これまでの開発の経過として、システムの概要、試験列車を用いた走行試験の結果を中心に述べる。

2. JRTC-W の概要

〈2.1〉システムの特徴

従来と異なる本システムの主な特徴として、以下が挙げられる。

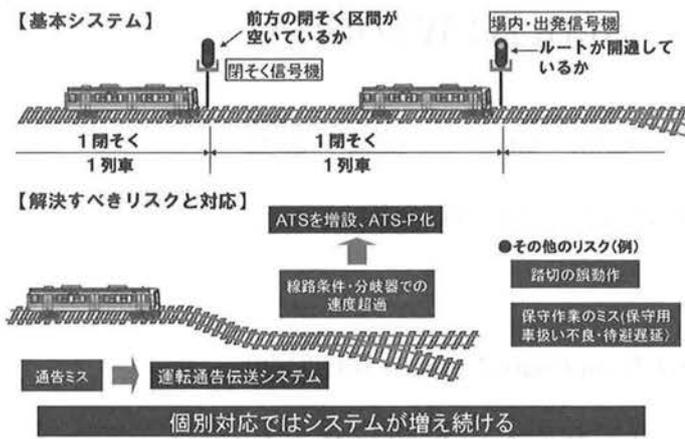


図1 解決すべきリスクの例

Fig.1. Examples of the risks to resolve.

- 車上にはあらかじめ曲線、踏切等の位置がデータベース（以下、車上DB）として登録されている
- 列車は自ら走行位置を検知する
- 車上と地上は常時無線により通信を行う

これらの特徴により、列車は曲線等の固定的な速度制限箇所については車上DBに基づいた連続的な制御が可能となり、速度制限のためのATSは不要となる。また、無線通信により踏切の警報命令や遮断確認も連続的に行うことができるため、無遮断や遮断不良といった危険事象は基本的には発生せず、併せて踏切制御子等の地上設備も削減できる。さらに、列車は先行列車の走行位置も常時把握できるため、従来の閉そくの概念はなくなり、地上信号機や軌道回路を削減することも可能である。

2.2) 機能概要

システムの主な機能概要を、以下に示す。

(1) 固定速度制限

車上DBにあらかじめ曲線、勾配等の位置を登録しておき、列車は走行位置、速度、ブレーキ性能等に基づき曲線、勾配等に向かって速度制限のためのブレーキパターンを作成する。列車が制限区間を完全に通過したことを検知すれば、ブレーキパターンは消去される。

(2) 臨時速度制限

列車は、無線通信により速度制限情報（速度、区間）の有無を常時確認し、制限情報を受信すればブレーキパターンを作成する。列車が制限区間を完全に通過したことを検知すれば、ブレーキパターンは消去される。

(3) 踏切制御

車上DBにあらかじめ踏切の位置を登録し、踏切の手前に向かってブレーキパターンを作成しておく。列車は走行位置、速度、ブレーキ性能等に基づき踏切への到達時間を計算し、最小警報時間を確保できるタイミングで踏切に警報要求を送信する。列車は、踏切から遮断完了の情報を取得した時点でブレーキパターンを消去する。

列車は、踏切を完全に通過し終わったことを検知すれば、踏切に警報停止要求を送信する。また、踏切の非常押ボタンが扱われた際も踏切手前に向かってブレーキパターンを作成する。

(4) 列車間隔制御

列車は、連続的に検知する在線位置を地上装置に送信する。地上装置はその在線位置から後側に余裕距離を加えた位置を停止限界として決定し、後続列車に送信する。後続列車は停止限界に向けたブレーキパターンを作成し、必要に応じてブレーキ制御を行う。

(5) ルート制御（連動機能）

地上装置は、ルート設定要求をトリガーとしてルート制御を行う。地上装置は要求されたルート及び転てつ器などの使用状態をチェックし、競合等が無ければ転てつ器を転換・鎖錠し、ルートを確定する。地上装置は確定したルートの終端の位置から後側に余裕距離を加えた位置を停止限界として決定し、列車に送信する。

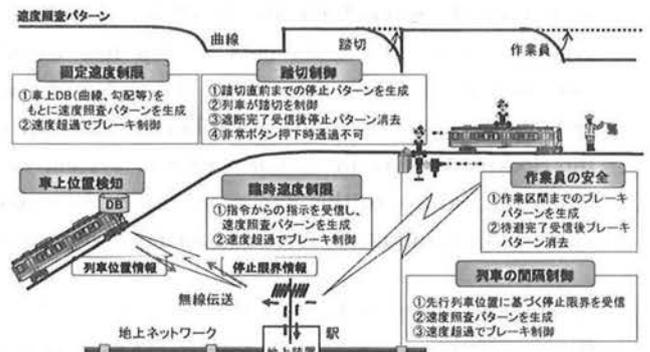


図2 JRTC-Wの概要

Fig.2. Function overview of JRTC-W.

3. 試運転線での走行試験

本システムの機能確認のため、当社吹田工場の約1kmの試運転線に試験システムを構築し、走行試験を行った。

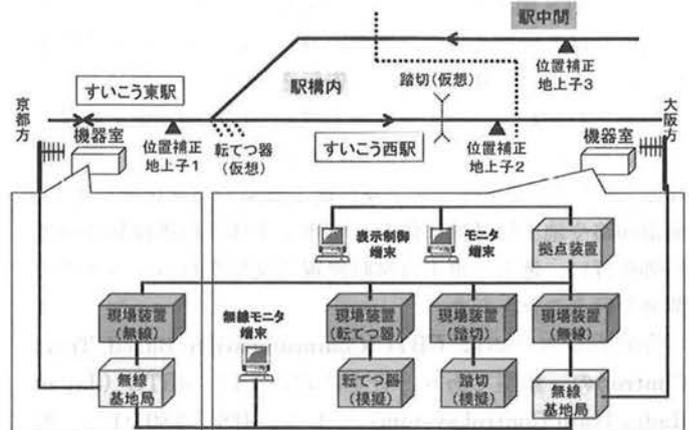


図3 地上システムの構成

Fig.3. Structure of the ground system.

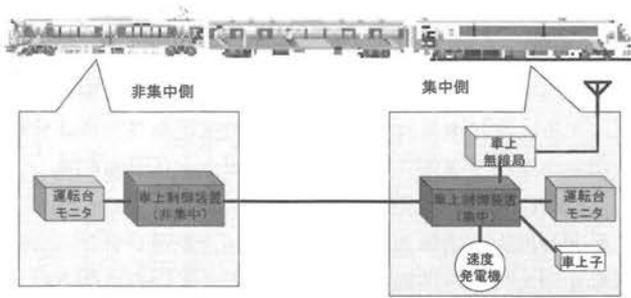


図 4 車上システムの構成

Fig.4. Structure of the on-board system.

〈3・1〉地上システム

拠点装置は地上における制御の中核を担う装置であり、連動、列車間隔制御、踏切制御、臨時速度制限などの機能を持つ。

現場装置（踏切）及び現場装置（転てつ器）は、沿線設備である踏切装置（警報装置や非常押ボタン）及び転てつ器と拠点装置を接続する装置であり、動作命令や動作状態の受け渡しを行っている。

現場装置（無線）は、無線装置と拠点装置を接続する役割を担っている。無線装置は東日本旅客鉄道㈱の開発品であり、有線（拠点側）のインターフェースは RS485 及び HDLC に準拠している。一方、当社の開発においては拠点装置のインターフェースはイーサネット及び IP である。このため、現場装置（無線）ではこれら 2 つのインターフェースの変換を行っている。

位置補正地上子は、列車の位置確定及び補正を行う役割を持ち、ATS-P の無電源地上子と電気的特性および伝送手順は同様である。

〈3・2〉車上システム

車上制御装置は、列車位置計算、速度制御パターンの作成、ブレーキ制御、踏切警報命令の送信などの機能を持つ。

車上無線局は、無線基地局との通信を行い、スロットの要求、決定したスロットへの同期と通信、地上から送られてきたハンドオーバー指令によりハンドオーバーを行う。

なお、車上システムのハードウェアは、東日本旅客鉄道㈱の開発システムと同一のものであり、当社の独自開発である地上システムとの間で相互運用性を確認することを目的としている。

4. 走行試験結果

試運転線での試験結果について、いくつか紹介する。

〈4・1〉ルート制御（連動機能）

今回、基本的な連動機能は既存の通りとしたが、接近鎖錠については、時素解錠だけではなく、列車の速度が 0 になると、即時に解錠する機能を追加した。

本試験では、単独でこ及び進路でこ相当の操作により連動図表通りに機能することを確認した。特に接近鎖錠については、接近鎖錠区間に在線している列車から速度ゼロの情報を受信した場合は、時素無しで解錠することを確認した。

ただ、異常時に以下のような不正な解錠も発生したため、今後対策の検討が必要である。一時的に列車と地上の無線通信が途切れた場合、列車は非常停止し、拠点装置では発生時点での停止限界までのルートすべてを在線状態として他の列車を進入させない安全側制御を行っている。その後、無線通信が回復すればその在線状態は解除され、新たな列車からの位置情報に更新される。今回、この在線から非在線の遷移によって、拠点装置は列車がルート上を通過したと判断し、ルート設定解除の機能が働き、列車進入前に進路鎖錠が解錠されてしまった。対策としては、ルートが設定された状態で上記のような異常が発生した場合は、その後のルート設定の解除は行わない、などが考えられる。これらの対策を十分に検討しながら行っていく。

〈4・2〉臨時速度制限

任意の設定区間、速度に対して車上でブレーキパターンが発生し、速度制限が行われることを確認した。また、40km/h の制限区間の途中で 25km/h の制限区間を設定するなど、複数の区間が設定された場合には最も低い速度の区間を優先した速度制限となることも確認した。

課題としては、制限区間の設定数の上限による運行への支障が挙げられる。現在、ひとつの列車へ送信可能な制限区間の上限は、情報量の制約上 2 つまでである。したがって、3 つ目の設定は運用ルール上認めない、設定端末に機能制限を設ける、などの対処が必要である。ただし、それでも誤って 3 つ目を設定しようとした場合に不安全側にならないようにする必要がある。現在は、3 つ目の速度制限が設定された場合はその始端を停止限界として扱うことにより安全を確保しているが、区間が重複した場合など不要なブレーキが発生することになるため、さらなる対策の検討が必要である。

〈4・3〉踏切制御

通常の警報制御については、遮断完了によりブレーキパターンが消去されること、また遮断完了していない場合及び非常押ボタンが扱われた場合には列車は踏切の手前に停車することを確認した。

駅に到着する列車に対しては、出発ルートが設定されていなければ警報制御を行わないこと、出発ルートが設定されていても停車列車は通過列車に比べて警報開始タイミングが遅い（約 400m 走行後）ことを確認した。警報時間（警報開始から列車の先頭が踏切に到達するまでの時間）の測定結果の一例を表 1 に示す。なお、最小警報時間は 35 秒に設定した。

〈4・4〉無線ハンドオーバー

沿線には異なる周波数を持つ無線基地局が配置されるため、列車は走行しながら周波数を切替える必要がある。この

切替え (無線ハンドオーバ) は、列車が所定の位置に在線することで地上システムが次の周波数を確保し、切替え地点 (ハンドオーバ点) とともに列車に伝達することで行われる。

機能確認試験の結果、通常の走行においては、所定のハンドオーバ点で正常にハンドオーバが行われた。また、一方の基地局の電波出力を停止し、拠点装置によりハンドオーバ点変更の設定を行えば、片方の基地局のみでも走行できることを確認した。さらに、拠点装置と一方の基地局との接続を物理的に切断して故障状態にした場合は、当初のハンドオーバ点を速度ゼロとしたブレーキパターンを車上で発生させ、ハンドオーバできない (停車する) ことを確認した。

ただし、今回はハンドオーバ点の変更を手動操作により行った。異常時の列車運転ダイヤへの影響をできるだけ小さくするためにハンドオーバ点の変更は自動的に行った方がよいという考えもあるが、一方でそのような重要な変更には人間が介入した方がよいという考えもある。また、今回実施しなかった様々な故障モードについても、システムの振る舞いを定めておく必要がある。今後は、これらについて検討を深めていきたい。

表 1 踏切警報時間の測定結果

Table 1 Measurement results of the alarm time of level crossing

	警報時間	駅停車時間	警報制御開始時速度	駅停車時間パラメータ
通過列車	40 秒	0 秒	40km/h	0 秒
停車列車①	58 秒	31 秒	24km/h	15 秒
停車列車②	56 秒	26 秒	22km/h	
停車列車③	92 秒	31 秒	24km/h	0 秒
停車列車④	91 秒	26 秒	22km/h	

警報制御を行うための駅停車時間は車上でパラメータとして設定しており、今回は 15 秒とした。このパラメータと実際の停車時間との差が小さいほど警報時間を最適化できるが、停車時間が極端に短い場合には遮断完了に間に合わず不要なブレーキが発生することを考慮しなければならない。停車列車③、④は、比較のため通過列車と同じタイミングで警報開始し、駅に停車させた場合で机上計算した。この結果から、停車列車①、②に比べて 34~35 秒の短縮効果が見られる。

5. おわりに

車上主体列車制御システム (JRTC-W) は、地上と車上が連携し、常時無線で交信することにより列車走行の安全を確保するシステムである。一方、将来の鉄道システムに求められる姿は、そのような旅客列車だけでなく保守用車や沿線作業員も含めた総合的な安全の確保、地上と車上がそれぞれ持つ情報を共有、相互活用することによるサービスの向上、設

備管理の改善などであると考えている。たとえば、沿線作業員の待避の有無を列車が常時無線で把握することによる速度制限の実施や、列車の在線位置や行路が詳細に把握できることによる、ダイヤ乱れ時の運行予測や車両検査計画の精度向上などが期待できる。したがって、車上主体列車制御システム (JRTC-W) の開発においては、このような安全確保の対象範囲の拡大、情報共有を視野に入れ、鉄道システムの将来像を見据えながら進めていきたいと考えている (図 5)。

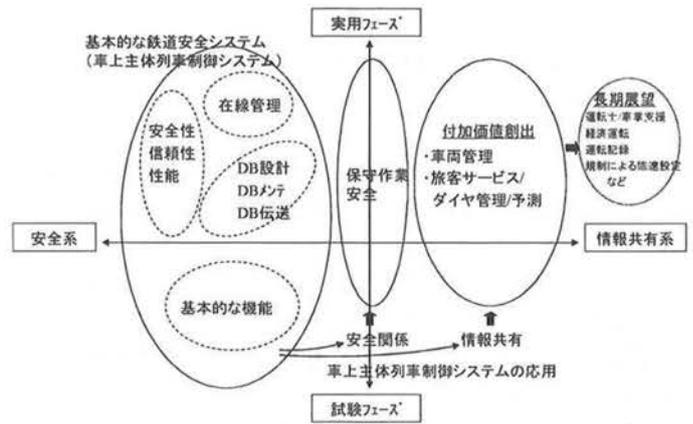


図 5 開発の全体構想

Fig.5. Ground design of the development.

本論文では、安全性の向上及び地上設備の簡素化を目指した車上主体列車制御システム (JRTC-W) の開発経過について述べた。吹田工場での走行試験においては、連動、臨時速度制限、無線ハンドオーバなどの基本機能の確認を行い、各機能は正常に動作することを確認した。

今後は、各機能における異常時など詳細な仕様、拠点装置間 (駅間) の伝送機能についても試験を行う予定である。また、営業線での試験に向けた現状調査やシステム構成の検討も行う予定である。

謝辞:

本開発を行うにあたり多大なご協力を頂いております東日本旅客鉄道株式会社、財団法人鉄道総合技術研究所、社団法人日本鉄道電気技術協会、三菱電機株式会社、西日本電信電話株式会社、日本信号株式会社をはじめ各協会・会社や行政機関に深く感謝致します。

文 献

- (1) 伊藤徹理、今野信三、中山恒、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」、第 16 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2009) 講演論文集、pp.21~24 (2009)
- (2) 黒岩篤、梅津知史、伊藤徹理、森井明、馬場裕一、中山恒、今野信三: 「仙石線における ATACS の実用化」、JR EAST Technical Review、No.28 Summer 2009、pp.41~46 (2009)