

ミリ波技術を応用した保守用車入換業務支援の検討 A Study of Shunting Support System for Railway Maintenance Car

安保 徳央† 石津 成一† 浅野 晃‡
Narichika Abo Seiichi Ishizu Akira Asano

1. はじめに

鉄道では営業終了後の夜間作業時間帯に線路や電路等のメンテナンスのため保守用車が運転される。昼間の営業時間帯における列車の進路制御は信号システムで安全が確保され、運行は運行管理システムで集中管理される。保守用車の場合、駅構内での転線などの入換作業における進路制御は駅係員と現地の作業責任者とが連絡を取り合い^[1]、駅係員が手動で行っている。保守用車入換作業中のヒューマンエラーは転てつ器や保守用車の損傷等につながり、翌日の列車運行に支障するリスクが大きい。本研究では、転てつ器の近傍にレーダ伝送装置を設置し、保守用車車体からの反射波を利用して位置を検知し、その情報を駅係員に提供することにより、現在は担当者の注意力に依存している保守用車入換作業の安全度を高める支援方法について検討した。その概要と実際の保守用車を用いて行った実験結果について報告する。

2. 保守用車の入換作業

2.1 保守用車入換作業の概要

保守用車の入換作業は駅係員と現地の作業責任者が事前に定めた保守作業計画に基づいて、連絡を取り合いながら行う。現地の作業責任者は目視で保守用車の位置を確認するとともに、線路開通の要求を行う。駅係員は作業責任者との打合せ内容や他の保守用車等の位置を確認しながら連動制御盤にてこれを操作して転てつ器を遠隔操作する。保守用車通過後、作業責任者からの目的地到着連絡を待って転てつ器を復位する。何らかの要因で保守作業計画どおりの入換作業が不可能と判断される場合は、指令員の許可を得たうえで、作業内容を変更する。以上の内容を図1に示す。

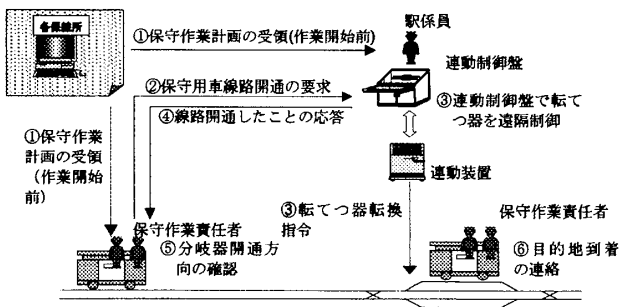


図1 保守用車入換作業
Fig.1 Shunting of Railway Maintenance Car

2.2 保守用車入換作業固有の問題

保守用車入換作業の概要は前節で述べたとおりであるが、作業支援方法を検討にあたり考慮すべき固有の問題として、次の3つのことが挙げられる。

(1) 軌道回路による位置検知が不安定

鉄道車両の位置は一般に線路を一定区間ごとに区分した軌道回路を車軸が短絡することで検知することが一般的である。保守用車の一部には短絡感度が低く、車両検知が不安定なものがある^[2]。このため転てつ器を含む軌道回路に保守用車が進入した場合に転てつ器が転換しなくなる「てつ鎖錠」の機能が使えず、駅係員は現地の作業責任者からの位置情報の連絡に対し再確認を行うなど、作業の安全は担当者の注意力に大きく依存する。

(2) 作業グループ単位の入換

保守用車は作業グループ単位で入換を行う場合がある。このグループは保守用車の運行形態や保守作業の内容により、途中で分割したり、複数のグループが統合されることもある。グループによる入換作業では、各保守用車に乗務する作業責任者のなかから入換作業全般を統括する「併合入換責任者」を定め、線路開通の要求は駅係員に対してグループ単位で行う。その後、それぞれの保守用車は1編成ずつ50m以上の車間距離を開けて移動する。駅係員はグループの全ての保守用車が目的地に到着したことの連絡を「併合入換責任者」から受けて、転てつ器を元に位置に復

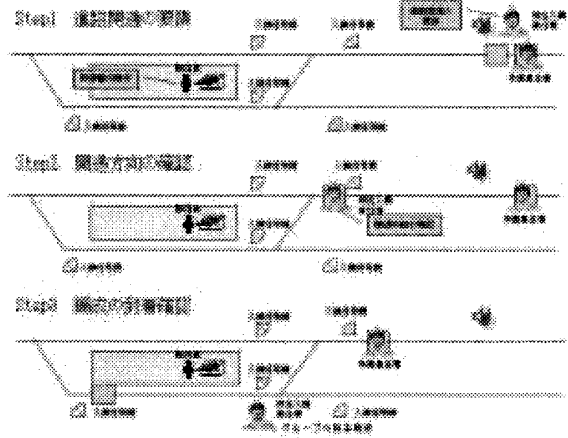


図2 保守用車グループによる入換作業

Fig.2 Group Shunting of Railway Maintenance Car

(3) 担当者の知識、経験、注意力に依存した作業

保守用車は作業内容によって上下逆方向の運転など鉄道車両では使用しない進路パターンでも入換作業を行う。さらに駅構内での転てつ器の点検作業や何らかの事情によって保守用車の運行が予定通りに行われないこともあり、夜間の短い保守作業時間帯では、保守用車どうしの進路が駅構内で競合することがある。鉄道車両の場合、軌道回路で

† 東海旅客鉄道(株), Central Japan Railway Company

‡ (株)京三製作所, Kyosan Electric Mfg Co. Ltd

検知した位置情報をもとに進路が競合した場合でも駅構内の転てつ器や進路は「連動装置」によって安全が担保される。軌道回路による位置検知の信頼性が十分でなく、上下逆方向の運転等を行う保守用車の場合、作業計画通りの入換が行えない場合、駅係員は現地の作業責任者からの位置情報と、自己の知識と経験から判断し、指令員の承認を受けたうえで、転てつ器を操作する。

3. 保守用車の位置検知

3.1 位置検知方式と試作機の構成

保守用車入換作業の支援を検討するにあたり、現行の作業でリスクとなっている事項は次のとおりである。

- ア 保守用車グループの入換作業が継続しているにもかかわらず現地の作業責任者が保守用車の位置を誤認
- イ 現地の作業責任者から駅係員への位置情報伝達の過程での疎漏・錯誤により保守用車の位置を誤認

いずれの場合も現地の作業責任者が保守用車位置を誤認し、駅係員も作業責任者からの連絡を鵜呑みにしたまま転てつ器を操作したうえで、転てつ器の開通方向を誤ってしまうと、重大事故につながる可能性がある。転てつ器に入換中の保守用車が残っていないかなど保守用車入換作業中の位置情報を検知し、駅係員に伝達することで作業の安全性は大きく向上すると考えられる。

限られた領域内の障害物を検知する技術として、鉄道分野では踏切障害物検知装置における光ビーム方式やITVカメラを設置して直接画像を監視するなどの方式では実績がある。さらに、現在も最近の情報通信技術を適用した技術開発が進められている^[3]。既存の鉄道構造物への適用を考えた場合、設備を追加するには小型かつ軽量で信頼性が高く、目的にかなっていることが要件となる。今回の研究ではITS分野などで開発が進んでいるミリ波レーダ伝送装置が設置条件に適していたことから、この装置を適用した方式を採用した。

今回の保守用車の検出方式はレーダ伝送装置から発射したミリ波が保守用車の車体で反射する際の反射波から、保守用車の位置を検出する方式とした。この概念に基づく位置検知のしくみと試作機のブロック図を図3に示す。

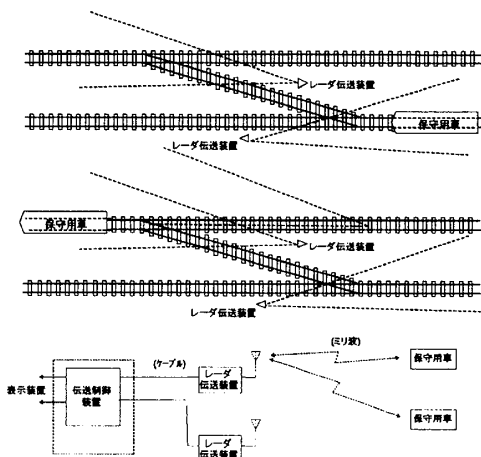


図3 位置検知システムの構成
Fig3. Position detection system for railway maintenance car

3.2 入換作業の実態に即したアルゴリズム

保守用車はグループ単位での入換が行われるなどの作業実態を考慮したアルゴリズムを検討した。その概要を図4に示す。転てつ器の近傍に保守用車が存在を検知する目的だけならば保守用車の車体からの反射波を検知するだけでも十分である。保守用車の入換作業では複数の転てつ器を同時に操作した「進路」単位に一度に移動するので、進路の始末端において位置を検知する場合、進路の途中にある転てつ器や線路で保守用車が停車したままの状態では現地の作業責任者との連絡に不備があれば、駅係員はその状況を誤認したまま転てつ器を操作してしまう可能性がある。そこで進路の出入口となる転てつ器において車両番号IDを読み取り、駅係員に対して表示させるとともに、出入口の車両番号IDを照合することで安全度を一層向上させることができる。

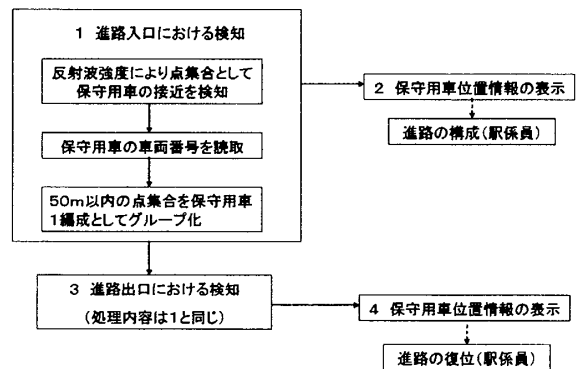


図4 保守用車位置検知のアルゴリズム
Fig.4 Algorithm for detecting railway maintenance car

4. 実験結果と考察

4.1 実験時の条件

今回試作したシステムを保守基地等において、図5に示すように位置関係に仮設し、保守用車の検知状態を確認する試験を行った。

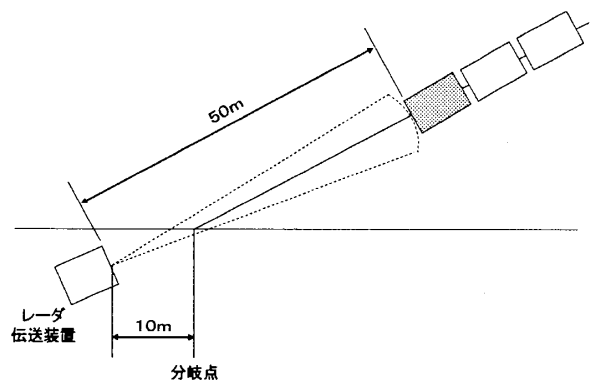


図5 試験環境
Fig5.Experimental environment

保守用車には写真1及び写真2に示すようにその用途によって多種多様なものがある。写真1は保線作業の際に材料や作業用具の運搬用、写真2は架線張替や点検等の際に使用する高所作業車である。今回の実験では、最適なレーダ伝送装置の設置条件を推定するため、地上装置の高さを変えながら繰り返し試験を実施した。



写真1 保線用保守用車
Photo1 Track maintenance car

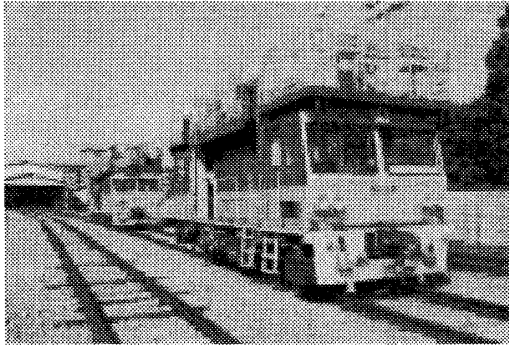


写真2 電力用保守用車

Photo2 Power electronics device maintenance car

次に今回の試験において使用したレーダ伝送装置の仕様を表1に示す。このレーダ伝送装置を採用したのは、保守用車の編成長は一部のものを除いて50m以下、保守用車入換時の車間距離は50m以上と制限されており、検知範囲が適合していたこと等を考慮して決定した。

Table1 Specifications of lader transmission device
表1 レーダ伝送装置の仕様

送受信周波数	60.5GHz
空中線電力	5mW
伝送速度	100kbps
通信/検知距離	50m以上
変調方式	2FSK/AM FMCW
通信方式	ポーリング方式、半二重通信
アンテナビーム半値幅	(水平) 20度 (垂直) 4度

4.2 実験結果

(1) レーダ伝送装置の高さを台車付近に合わせた場合
どのような保守用車であっても検知可能な台車付近の位置に合せて、レーダ伝送装置の高さを地上60cm、レー

ド頭部から約20cm、分岐器から10m離れた位置にレーダ伝送装置を仮設した場合の測定結果を表2に示す。分岐部からの離隔を確保したのは、あまり転てつ器から近いと、反射波が強すぎて装置に悪影響を及ぼす影響があることと、鉄道の場合建築限界と呼ばれる空間内には設備を設置できないからである。

Table2 Experimental result (An antenna height:0.6m)

表2 実験結果 (アンテナ高さ0.6mの場合)

	検知状態	適用
50~30m	良好	車両番号読取
25m		
20m		
10m		
0m		
-5m		
-15m		
-25m		
-30m	不安定	
-35m	良好	
-40m	不検知	

この結果レーダ伝送装置の検知範囲に先頭部が到達してから40mの編成が分岐点を抜けるまでは、先頭部が転てつ器を30m行過ぎた地点で一時的に不安定な状態になったものの、終始ほぼ安定して検知できた。

さらに測定状態を示す結果の一例として、保守用車の先頭が転てつ器を15m越えた位置での検知状態を図6に示す。結果の表示方式は保守用車をはじめとした障害物からの反射波強度が強く検出した順に行うものとした。

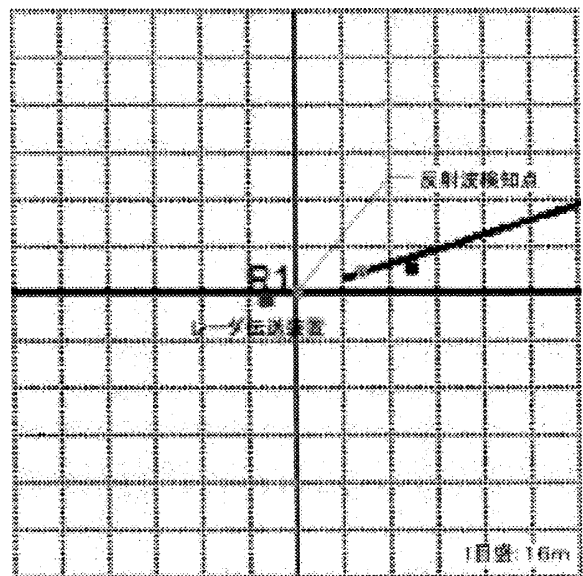


図6 保守用車の検知状態

Fig.6 Detecting condition of railway maintenance car

保守用車の先頭部が転てつ器の手前25mの位置にあるときに、保守用車の車両番号等を地上に通信する試験を併せて行った。このときに用いた通信方式は最大4台までの保守用車を順に巡回して通信する方式である。その結果、コマンドを通信して表示させるまでに要した時間は約15秒であった。現在の作業形態では、現地の作業責任者から駅係員に対し、進路を要求するまでの打合せに要する時間

は約1分を要していることから、入換作業にかかる時間について問わずかではあるが短縮効果があることを確認した。

(2) レーダ伝送装置を電柱に設置すると仮定した場合

地上付近にレーダ伝送装置の設置場所の確保が困難な場合など電柱への装置の設置を想定して高位置にレーダ伝送装置を仮設した試験についても実施した。

試験方法はレーダ伝送装置を水平方向に設置し、そこから50m離れた位置を始点として2台の高所作業車を据付ける。先頭の保守用車のみをその位置から5~10mずつ移動させ、その位置で各保守用車の検知状態を測定する。

レーダ伝送装置の設置高さが保守用車の屋根を越えない240cmまでの範囲では先頭の保守用車後方の見通し距離が確保できず、レーダ伝送装置の位置を抜け切るまで次位の保守用車の検知は不可能であった。

次に高所作業車の車高からわずかに高い位置として、後方への見通しが確保できる250cmの高さに仮設した場合の測定結果を表3に示す。

Table3 Experimental result (An antenna height:2.5m)

表3 実験結果 (アンテナ高さ2.5mの場合)

先頭保守用車位置	先頭保守用車の検知状態	次位保守用車の検知状態
50m	良好	不検知
40m		
30m		
25m		良好
20m		不安定
15m		良好
10m		
5m		
0m		
-10m	不検知	

先頭の保守用車が通過するまでは次位の保守用車はミリ波が到達せず検知不可能であるといった事象は回避できるようになったものの、垂直方向のアンテナビーム半値幅が狭いことからミリ波が検知すべき全範囲に届かず、保守用車が転てつ器通過中にもかかわらず不検知状態になってしまっている。

4.3 実験結果の考察

レーダ伝送装置を低い位置に設置した場合の結果では、今回の試験で使用した保守用車は編成長が40mであるにもかかわらず、2点の点集合として検知されている。2点は編成の形状から推定して、中間のモーターカーと後部のトロ(貨車)表面での反射波を検知しているものと推定される。

ミリ波の場合対象物の形状が複雑であれば反射波の強度分布が一様に得にくく、複数の点集合として検知されてしまうことは、ITS分野ですでに知られている^[4]。今回の実験において、保守用車の場合でも同様のことがいえることを確認した。さらに、保守用車の先頭部が転てつ器を30m行過ぎた際に一時的に検知状態が不安定になる事象が発生しているが、これは分岐部にトロしか残っていない状態で発生している。保守用車は自動車よりも車体表面の凹凸が多く、加えてトロの場合は側面等の反射面が狭小な部位が多いことから、反射波の状態が不安定になりやすいことに起因していると思われる。

さらに、今回の実験場所の近傍には他の保守用車、防護柵や高架橋柱などの障害物が多く、レーダ伝送装置の位置が低いために保守用車の在線位置により想定外の誤検知をしてしまうことがあった。隣接線路等の保守用車の誤検知対策としては、レーダ伝送装置設置時の方向を調整すれば問題ないと考えられる。既存構造物への対策としては、レーダ伝送装置の設置箇所の選定、設置後の調整などソフト面での対策を行えばよいが、検知範囲に新たに構造物を増設しようとする度に対応をとる必要があり、この手続きを簡素化できるようにすることは重要な課題である。

レーダ伝送装置を電柱等高い位置に設置する場合、検知範囲にある保守用車もれなく検知できるよう、十分高い位置からやや下方に向けて設置し、必要な検知範囲内の見通し距離を確保することが必要なが分かった。この場合、レーダ伝送装置の設置位置を高くしすぎると、機器設置後のメンテナンスが困難になることにも配慮する必要がある。

5. まとめ

本研究では、担当者の注意力に大きく依存している保守用車入換業務支援について、ミリ波技術を応用して保守用車の位置を検知し、その情報を駅係員に位置情報を提供することで、安全度向上を図る方法について検討した。鉄道分野では、近年新たな支援装置等の導入にあたっては導入・維持コストを低く抑えつつ、信頼度が高く、既存の設備への影響が小さいものが求められる。今回の検討ではシステム構築に必要な種々の知見が得られたが、ミリ波は鉄道分野では長年通信分野を中心に研究されてきたものの、信頼性の確保と高コストがネックとなり思ったほど普及していないのが現状である。今後はミリ波だけに限らず情報通信機器の技術動向にも考慮し、安全・安定輸送の確保による輸送サービス向上に寄与するシステム検討の深度化を図る予定である。

参考文献

- [1] 北原、上條、川岸、解良、戸次、軌道回路予約論理に基づく鉄道用線路保守作業管理システムの開発、電気学会論文誌D第120巻1号、126-135(2000)
- [2] 田口、保守用車の軌道回路短絡特性、電気学会電気鉄道研究会 TER-03-44(2003)
- [3] 竹内、所沢、三木、柴崎、趙、中村、歩行者自動追跡機能を有するレーザー・レーダー式踏切障害物検知に関する研究、電気学会論文誌D、投稿中
- [4] 電気学会道路環境センシング調査専門委員会編、ITS道路交通センシング、オーム社 21-25(2005)