

S7-3-4 ミリ波センサを用いた保守用車入換業務支援の検討

[電] ○安 保 徳 央, [電] 石 津 成 一 (東海旅客鉄道(株)), 浅 野 晃 ((株)京三製作所)

A Study of Shunting Support Method for Railway Maintenance Car with Integrated Milliwave Sensor
 Narichika Abo, Member, Seiichi Ishizu, Member (Central Japan Railway Company),
 Akira Asano (Kyosan Electric Mfg Co. Ltd)

Railway maintenance engineer in charge makes an arrangements with supervisor for shunting. The locations of railway maintenance cars are pinpointed by viewing of railway maintenance engineer in charge. The error of the persons concerned may lead to serious accident by this method. We introduce that the locations of railway maintenance cars detected by integrated milliwave sensor beside switch movement are displayed to supervisor. As an additional plus, the result of detecting locations of railway maintenance cars in yard is shown.

キーワード：保守用車、入換、位置検知、ミリ波センサ

Keyword: Railway maintenance car, Shunting, Location detection, Integrated milliwave sensor

1. はじめに

営業終了後の夜間作業時間帯には線路や電路のメンテナンスのため保守用車が運転される。保守用車入換作業中のミスは転てつ器の損傷や脱線などの重大事故を誘発しやすく、翌日の列車運行を阻害するリスクとなっている。この際想定されるミスの要因には保守用車の位置の確認が現地の作業責任者の目視に大きく依存していることと現地の作業責任者と進路制御を行う駅係員間の情報連絡における疎漏・錯誤がある。本研究では現行の作業体制での作業安全度向上を図り、安全・安定輸送の確保に寄与する方策について述べる。具体的には転てつ器の近傍にミリ波センサを設置し、保守用車車体表面からの反射波を利用して位置を非接触で検知し、保守用車入換作業固有の課題を考慮したうえで駅係員に保守用車の位置情報を提供するための検討を行った。それらの概要と実際の保守用車を使用して実施した実験結果について報告する。

2. 保守用車入換作業

従来の保守用車の入換作業は、事前に定めた保守作業計画に基づいて、駅係員と現地の作業責任者が連絡を取り合いながら行っている。現地の作業責任者は保守用車の位置や作業の進捗状況を確認しながら、駅係員に線路開通の要求を行う。駅係員は各作業責任者との情報連絡の内容と保守用車の位置を確認しながら、保守作業計画に沿って駅の連動制御盤にてこを操作して転てつ器を遠隔操作する。保守用車通過後、現地の作業責任者からの目的地到着の連絡を待って転てつ器を復位する。途中、何らかの要因で保守作業計画の入換作業を変更す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。

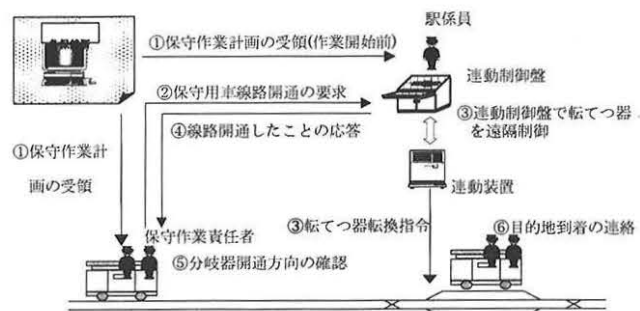


図1 従来の保守用車入換作業

3. 入換作業の実態を踏まえた支援方法の検討

3.1 入換作業固有の問題

保守用車入換作業の支援策を検討するにあたり、作業固有の問題として次の3つの事項がある。

(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により検知するが、一部の保守用車は短絡感度が低く、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中の誤転換を防止する「てつ鎖錠」の機能が使えない。

(2) 併合入換

保守用車は複数の保守用車がグループを形成し、入換を行うことがある。これを「併合入換」という。このグループは保守作業の内容などにより、途中で分割したり、複数のグループが一つに統合されることもある。「併合入換」では、各保守用車に乗務する作業責任者のなかから予め入換

作業全体を統制する「併合入換責任者」を定める。「併合入換責任者」は駅係員に対して線路開通の要求を行い、これを受けて連動制御盤の転てつてこを操作し、進路を開通させる。線路開通後、各保守用車は「併合入換責任者」の指示により、50 m以上の間隔を空けて目的線路まで移動する。駅係員は「併合入換責任者」から全ての保守用車が目的地に到着した旨の連絡を受け、転てつて器を元の位置に復位する。以上の作業手順を図2に示す。

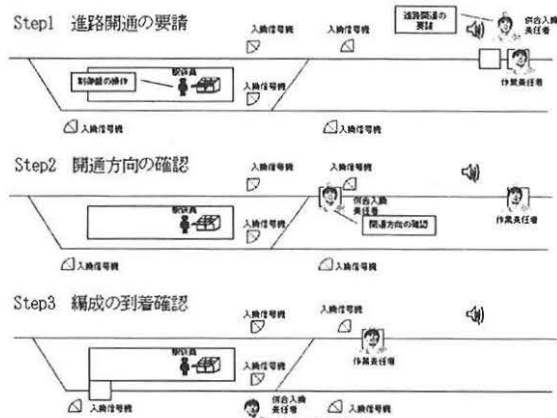


図2 併合入換の作業手順

(3) 保守用車の「運転整理」

保守用車は上下逆方向の運転など通常の営業列車では行われない進路パターンの入換作業を行うことがある。軌道回路による位置検知が不安定な状態になる場合があることから連動装置に安全を依存できない。

作業状況によって保守用車の入換は作業計画どおりに行えないことがある。駅係員は構内の保守作業や作業責任者からの保守用車の位置情報から、知識と経験により進路競合しないように進路制御を行っている。

以上のことから、保守用車の位置を作業担当者の目視以外で検知し、その情報を駅係員に提供すれば、作業の安全度は大きく向上すると考えられる。

3.2 ミリ波センサを用いた保守用車位置検知

軌道回路を用いない車両の位置検知方法には、コイル、トランスポンダ、ICタグを設置する方法があるが、軌道内に設置する必要があり、保守作業に支障する。GPSについても現在の技術では衛星からの電波の受信状態により精度にばらつきがあり、転てつて器の制御など安全性が求められる用途に適用するには問題がある。

本研究では自動車のITS分野や踏切障害物検知などでの先行研究が進んでいるミリ波センサを用いて転てつて器を含むエリア内にある保守用車位置を検知する方式を採用することにした。

位置検知の方式は軌道脇に設置したレーダ伝送装置から発射したミリ波の保守用車車体表面での反射波を検出する方式とした。図3にミリ波センサを用いた位置検知システム

の構成を示す。

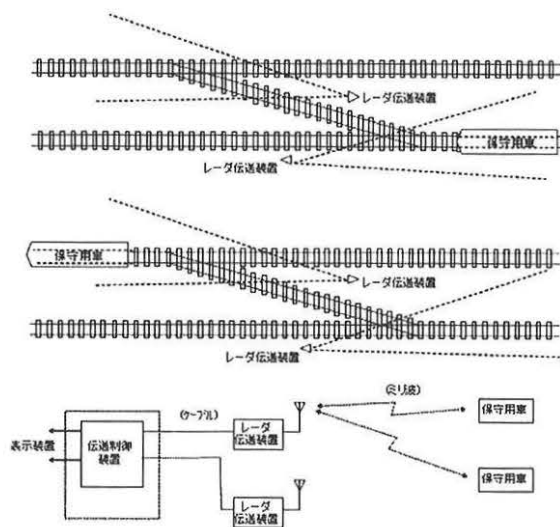


図3 保守用車位置検知システムの構成

3.3 安全度向上を支援するアルゴリズム

転てつて器の近傍で検知を行う方式では、ミリ波センサの検知エリア内にある保守用車の位置は検知できるが、エリア外までは把握できない。保守用車の入換作業では、連動する複数の転てつて器をわたる「進路」単位で移動を行うので、進路の出入口で検知するだけでは転てつて器を支障するかどうか検知できても、移動の途中で保守用車が停止してしまう場合などは支援することが困難であり、状況によっては離散した点集合として検知されることが想定される³⁾。

ミリ波センサの通信機能を活用し、進路の出入口の車両番号IDを検知し、その番号を駅係員に表示させるとともに、50 m以内の点集合の1編成とみなすことで、駅係員は作業状態を知ることができる。さらに図4に示すとおり、進路の出入口で検知した車両番号IDを照合すれば、安全度は高まると考えられる。

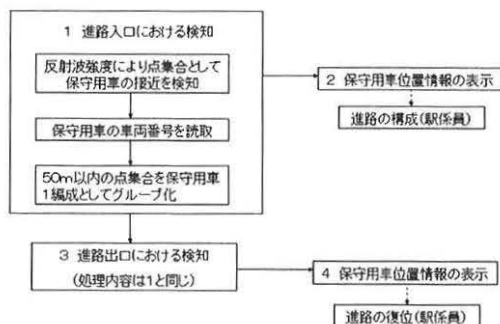


図4 車両番号照合による作業状態の管理

4 実験結果と考察

4.1 実験条件

今回試作した位置検知システムを使用して、図5の位置関係に示すように仮設を行い、ミリ波センサによる保守用車の位置検知状態の試験を実施した。レーダ伝送装置を転てつ器から離れた位置に仮設しているには、近距離の物体検知は反射波が強すぎて装置に悪影響を及ぼすからである。

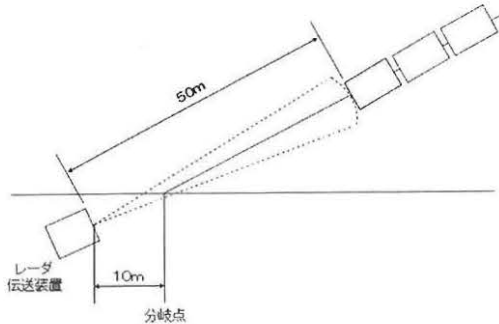


図5 試験装置の仮設位置関係

保守用車には多種多様のものがあり、車高が異なる。検知状態を確認するため、保守用車とレーダ伝送装置の位置の組合せを変えながら、写真1及び写真2に示すように繰り返し試験を実施した。

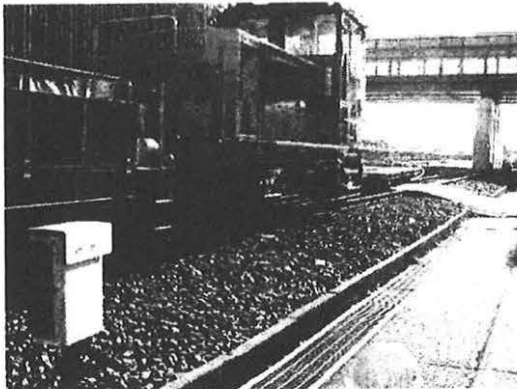


写真1 保線用保守用車

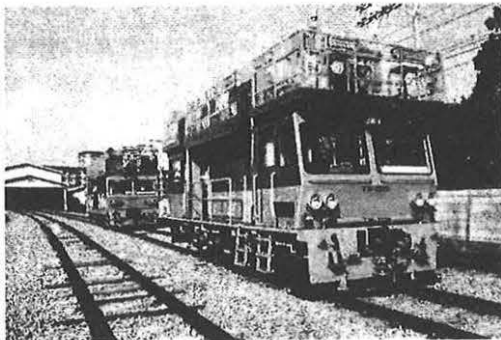


写真2 電力用保守用車

実験に使用したレーダ伝送装置の仕様は表1に示す。この仕様の装置を採用したのは、保守用車の編成長は原則として50m以下、保守用車入換時の車間距離が50m以上と制限されており、設置条件が適していたからである。

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) 保線用保守用車を用いた試験

軌道回路による検知が困難で、車高の低い保線用トロにモーターカーを連結した編成で実験を実施した。編成長は40mで、このうちトロは3両、総延長18mである。

表2 実験結果（アンテナ高さ0.6mの場合）

レーダ伝送装置からの距離	検知状態
50～0m	良好
-5m	
-15m	
-25m	
-30m	不安定
-35m	良好
-40m	不検知

この結果、先頭のモーターカーが転てつ器を30m行過ぎた、保線用トロが転てつ器上にある状況では状態が不安定ではあるものの、編成通過中は検知できている。

測定結果の一例として、保守用車の先頭が転てつ器を15m行過ぎた地点での検知状態を図6に示す。



図6 保守用車の検知状態

(2) 電力用保守用車を用いた実験

車高が高い電力用保守用車が2台「併合入換」をしている状況を想定した実験を実施した。実験方法は、レーダ伝送装置から50m離れた位置を起点とし、先頭の保守用車のみを5～10m移動させながら検知状態を記録するもので、レーダ伝送装置の高さを変えながら実施した。

高所作業車の車高240cmを越えない位置にレーダ伝送装置を仮設した場合、先頭の保守用車が見通しを遮ってしまい、レーダ伝送装置の位置を抜けた状態で続行の保守用車を始めて検知することが分かった。

次に車高を超える250cmの高さにレーダ伝送装置を仮設した場合の実験結果を表3に示す。

表3 実験結果(アンテナ高さ2.5mの場合)

先頭保守用車の転てつ器からの位置	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	不検知	
0m		
-10m		

レーダ伝送装置の高さを上げると、先頭の保守用車が接近すれば、次位の保守用車まで検知できる反面、鉛直方向の半値幅が小さく、先頭の保守用車が転てつ器に接近した状態では反射波が得られず、「不検知」状態となってしまうことが分かった。

(3) 保守用車との情報交換試験

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を読み取り試験を合わせて実施した。このときに用いた通信方式は最大4台までの子機(トランスポンダ)との間を巡回して通信する方式である。

車両番号を想定したコマンドを送信してから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線路開通を要求し終えるまでの打合せに要する時間に約1分を要していることから、駅係員が現地の作業責任者との打合せを省略し、作業計画と位置情報の確認だけで進路制御を行う場合、1進路あたり約30秒程度の時間短縮効果があると考えられる。

4. 3 実験結果に対する考察

(1) ミリ波センサを用いた位置検知

レーダ伝送装置を低位置に設置した場合、編成長40mのうち、2点の点集合として検知し、それらは次位のモー

ターカーと後部の保線用トロからの強い反射波を検知していると考えられる。対象物の形状が複雑な場合、反射波の強度分布は一様に得られにくいことはITS分野では既知である³⁾が、保守用車でも同様の事象を確認した。

さらに、検知範囲にトロしか存在しない状況では、検知状態が一時的に不安定になる事象が発生したが、トロは側面の反射面が小さく、凹凸も多いことから反射波の状態が不安定になりやすくなると考えられる。

(2) ミリ波センサを用いた場合の誤検知対策

今回の実験場所の近傍には実験に関係しない保守用車、防護柵や橋上駅舎の支柱などの支障物も多くあり、これらを誤検知することを確認した。隣接線路の保守用車の誤検知はレーダ伝送装置の設置場所や方向を調整すれば問題ないと考えられる。既存構造物への対応はレーダ伝送装置の設置場所の選定や検知範囲内の支障物のマップ作成などのソフト対策で対応できると思われるが、マップ方式の場合、構造物の位置変更や追加に伴ってその都度ソフトウェアの改修が発生する。その際の手続きを簡素化することは今後の課題と考えられる。

(3) ミリ波センサの設置位置

ミリ波センサの設置位置は台車付近すれば精度の高い検知が行えるが、「併合入換」の場合、車間距離を十分に空けないと前位にある保守用車が支障し、見通しが確保できないと検知できないことを確認した。現在も車間距離を50m以上開ける運用を行っており、問題ないと考えられる。

5. まとめ

本研究では、ミリ波センサを用いて保守用車の位置を検知し、その情報を駅係員に提供することで、作業の安全度向上を図る方法について検討した。

最近になって、情報通信技術の進歩に伴い、無線LANやレーザレーダ技術⁴⁾を応用した位置検知についても登場してきたが、信頼性、コスト、メンテナンス性、電磁的影響から今回のミリ波センサ方式を含めて比較・評価すると、いずれの手法も一長一短というのが現状である。今後もこれらの技術動向に配慮しつつ、安全・安定輸送の確保による一層の輸送サービス向上に向けて、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もと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の短絡特性、電気学会電気鉄道研究会TER-03-44、2003
- 3)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
- 4)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レーダ式踏切障害物検知に関する研究、電気学会論文集D、321-328、2005