

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

列車運行の さらなる安全向上

現在は運転士が列車の前方を監視していますが、センシング技術が進展し線路内の障害物検知情報や自然災害情報を活用できるようになれば、線路の状況に応じて列車を停止、徐行させたり、安全な箇所へ誘導したりするような列車制御が実現できると考えられます。ここでは、レーダーに用いられるミリ波を用いて線路内の安全を監視する技術や、遠赤外線カメラを用いた踏切障害物検知装置の研究開発状況を紹介します。また、安全監視情報、災害情報をリアルタイムで制御に活用する運行制御装置に関する構想についても紹介します。



寺田 夏樹
Natsuki Terada
信号・情報技術研究部
信号システム研究室
室長
【専門分野】信号システム、軌道回路

はじめに

現在の鉄道では、運転士が前方を監視し、障害物などの異常を認めた場合に減速もしくは停車することで列車の安全を確保しています。また、雨量計や風速計、土砂崩れの検知などがあつた場合には、異常を知らせる特殊信号発光器を通じて運転士に注意を喚起する、あるいは指令を通じて運転を停止もしくは徐行運転とすることが行われています。

今後、画像やレーダーといったセンシング技術を活用し、人手を介さずに線路内の安全を監視する技術が進展することが期待されます。これらの安全監視情報に加え、障害物検知、自然災害情報を活用することで、線路内に生じている状況に応じて列車を停止、徐行させたり、安全な箇所へ誘導したりするような列車制御などが考えられます。このような列車制御が可能となれば、

列車の自動運転を実現できると考えられます。あるいは、たとえ自動運転でないにしても鉄道の列車運行に対する安全性をさらに高めることが期待できます。ここでは、列車運行のさらなる安全向上を目指した技術開発について、レーダーに用いられるミリ波を用いた線路内監視技術や踏切障害物検知装置といった要素となる技術の研究開発状況を紹介します。

また、安全監視情報などの情報をリアルタイムで制御に活用する運行制御装置の考え方について述べたいと思います。

ミリ波を活用した線路内監視システム

鉄道沿線内の障害物の検知には、カメラのほか、赤外線レーザーを使った検知装置などが実用化されていますが、いずれも踏切道の範囲での障害物の検

☞ レーダー (radar)

元々は Radio Detecting and Ranging (無線による物体検知および距離測定)の略で、電波を使って物体の方向および距離を測定する装置のことです。アンテナから電波を発射し、物体で反射して戻ってきた電波を観測することによって、物体の距離を測定します。距離の測定には電波が戻ってくるまでの時間を測ります。

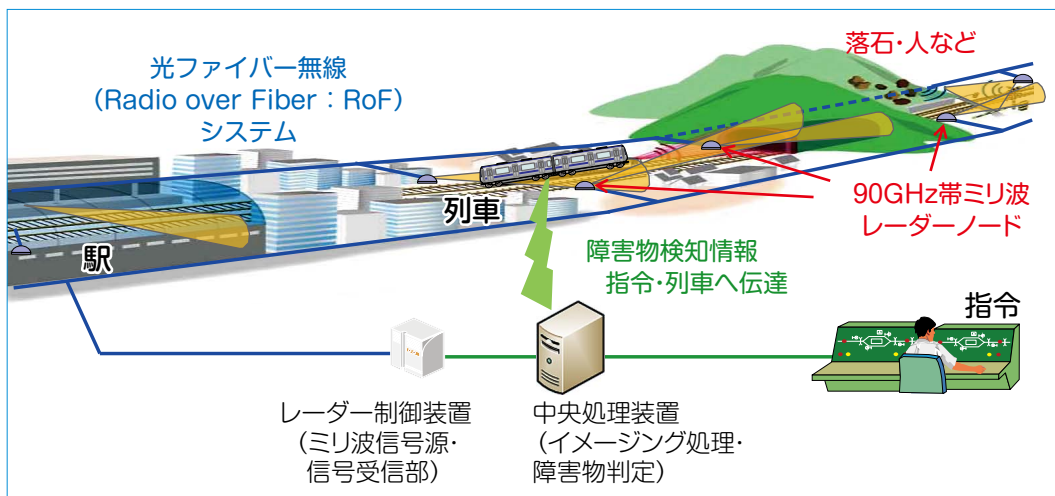


図1 ミリ波を活用した線路内監視システムの構成案

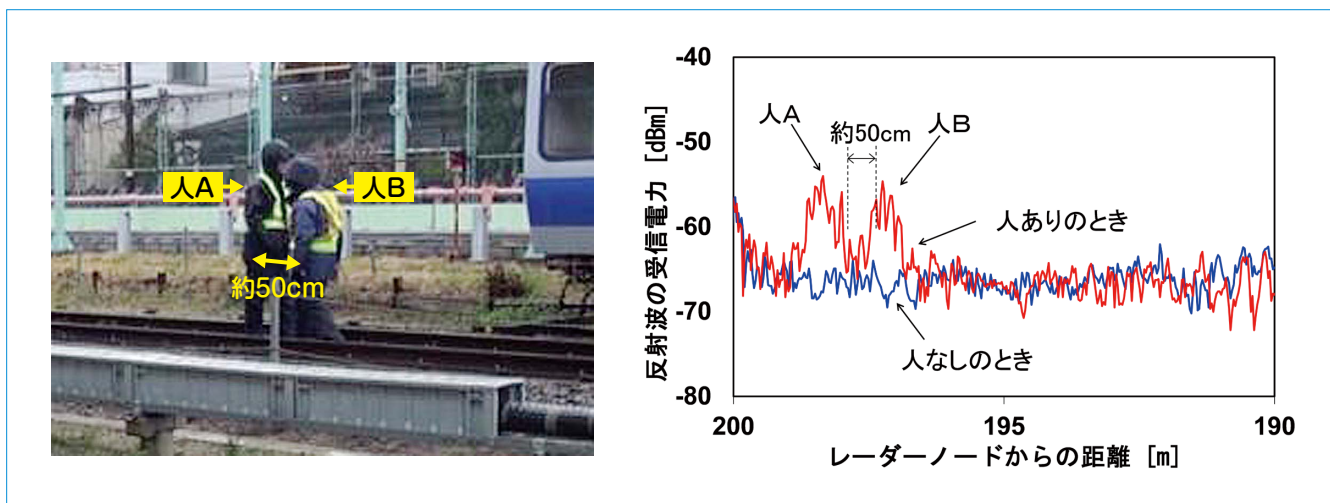


図2 ミリ波による人物検知の例

知に限られています。これに対し、ミリ波を活用した沿線監視システムの研究を行っています。

ミリ波とは、30GHz～300GHzの波長が1mm～10mmとなる電波をいい、レーダー(参照)や通信、そのほかに電波天文学などに活用されています。ミリ波には

- ①直進性が強い
 - ②利用できる周波数の幅が広い
- という特徴があります。①の直進性が強い、というのは電波が物の陰に回り込みにくいということです。これにより電波の送信方向を絞ることができ、鉄道で使用した場合、周囲の電波との干渉を少なくすることができます。ま

た、②の周波数の幅が広いということは大容量のデータ伝送が可能ということを意味しています。

現在検討しているシステムを図1に示します。レーダー制御装置で信号を発生し、それを光ファイバー無線(Radio over Fiber: RoF)という、無線信号を光ファイバーを使って送信するシステムを用いることで、無線信号をそれぞれのレーダー(レーダーノード)に分配し、広い範囲の監視を行います。レーダーの反射波は制御装置に再び集められ、中央処理装置で障害物を判定します。

ミリ波の信号を発生したり、受信した信号を処理したりする制御装置はコ

ストがかかりますが、RoF技術を使うことにより、制御装置を1箇所にとめることが可能となり、比較的安価に制御装置を構築することができると考えています。

レーダーノードの間隔はアンテナからの出力の大きさや、アンテナからのくらいの角度でミリ波が放射されるかで変わってきますが、10mから400mの間で適用できると考えられます。また、アンテナを回転させることにより、より狭い角度に放射される(指向性が高い)アンテナが利用でき、より小さい出力で検知が可能になります。

200m先の人の検知を試みた例を図2に示します¹⁾。200m付近のとこ



図3 遠赤外線カメラ

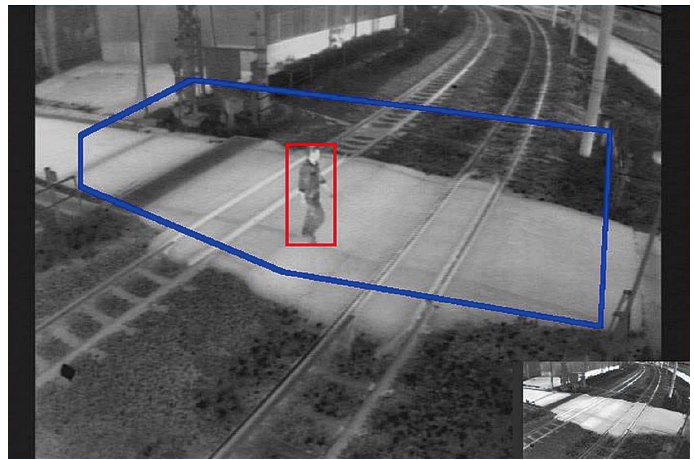


図4 遠赤外線カメラによる人物の検知例

ろで、人の区別ができていることがわかるかと思います。

このような障害物検知システムは今後実用化が期待されますが、障害物が存在するかどうかを検知するか、それとも位置の判定まで必要かどうかで難易度が変わります。位置を判定するためには、狭い角度に放射されるアンテナを使い、アンテナを向ける位置を細かく変えることで、方向の精度を高くするような技術開発が必要と考えられます。

画像処理による踏切障害物検知装置

踏切における事故は、鉄道の中で多くの割合を占めます。踏切事故を減らすために障害物検知装置の設置もよく行われています。

従来の障害物検知装置は、自動車が踏切内で動けなくなった場合に、その自動車を検知することを目的に設置されていて、赤外線レーザーによる方法、ループコイル（踏切道に埋め込まれたループ状の電線）による方法が多く採用されています。

赤外線レーザーによる方法は踏切にレーザー光を張り巡らせ、自動車が踏切内に存在すると、そのレーザー光が遮られることで検知します。ただし、

雪などで誤検知するなどの課題があります。また、レーザーの経路の間は人の大きさよりも大きく、人を検知するには限界があります。

一方、ループコイルは雪の影響を受けずに自動車の検知が可能ですが、工事にコストがかかります。また人の検知はできません。

これらの装置に対し、踏切内に人が閉じこめられたことを検知するための装置として、踏切の様子を画像で撮影し、画像処理により人物を検知する装置を開発しています。カメラは図3に示す遠赤外線カメラを使用しています。

通常の可視光のカメラで撮影した画像を用いて人を検知しようとすると、晴れた場合に発生する人の影が誤検知の原因となることが課題になります。また、夜間には照明が必要となります。

こういった問題に対し、遠赤外線カメラを採用し、物体の温度画像を撮影することで、日射による影響を取り除くことができ、照明も不要になります。踏切を撮影した例を図4に示します。

人物の検知には、機械学習の技法を採用しています。人物の画像をコンピューターに学習させ、それに近いものを候補として選択することで、最終的に人物を検知します。検知された人が赤枠で示されていますが、こういっ

た形で人が検知できていることがわかるかと思います。検知された人物に対して、追跡を行います。仮に踏切内に転倒などで滞留した場合には、それを検知できるようにします。

現在は人を検知するためのアルゴリズムの検証を実施中です。そのため、まずは撮影した画像をPCに取り込んで処理を行っています。現在のところ、目視での人の数を数えた場合と自動的に人の数を数えた場合とではほぼ同等の結果が得られていますが、さまざまな環境条件に適合するかを検討しています。

現在、実際に踏切に設置できる装置としての製作を行っています。ここでは、単に人物を検知するのではなく、装置が健全に動作しているかを自己診断する機能を付加することで、信頼性を高める工夫をします。

このようにして組みあがった装置を実際に踏切に設置し、長期試験により評価を行い、実用化につなげる計画です。

沿線の状況に応じた列車運行を行うためのシステム

沿線の障害物や人物の検知技術について開発状況を紹介しましたが、このような障害物検知装置による検知情報

や、落石検知装置などのセンサーによる軌道の異常などを検知した場合に、その情報を用いて列車運行の安全を確保するための仕組みについて検討しています。

現在の鉄道の列車運行システムは、列車制御装置と運行管理装置の2つの階層に明確に分かれています(図5左)。列車制御装置では、先行列車に追突しない、あるいは駅構内で列車どうしが衝突しないように、列車の在線状況に応じて、列車が停止すべき位置を決定し、その位置にまでに停止すべき速度以下に列車を制御することで安全を担保しています。運行管理装置は、列車制御装置に運行を行うための指示を与えるものになります。

ここで障害物検知情報があった場合、沿線に建てられた特殊信号発光器などの手段で異常を運転士に伝えたり、運行管理装置を取り扱う指令がその情報を元に判断して運転士に徐行や停止の指示を出したりしています。

これに対し、障害物検知情報や災害情報による速度制限を直接、運転曲線(図6参照)に反映させ、この運転曲線にしたがって列車運行を行うやり方が考えられます(図6)。さらにはこの運転曲線に先行列車に衝突しないような条件を反映させることで、列車間隔の制御も実現できることが考えられます。

これを行うために、図5の右に示すように列車制御装置と運行管理装置を運行制御装置として一体化させます。従来の列車制御装置では、列車検知が閉そくとよばれる区間の単位ですので、細かい制御はできませんが、無線式の

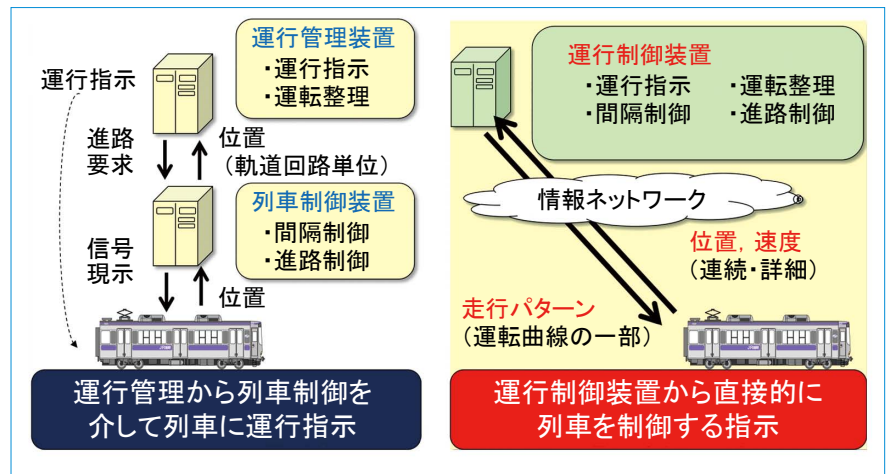


図5 運行管理と列車制御の融合

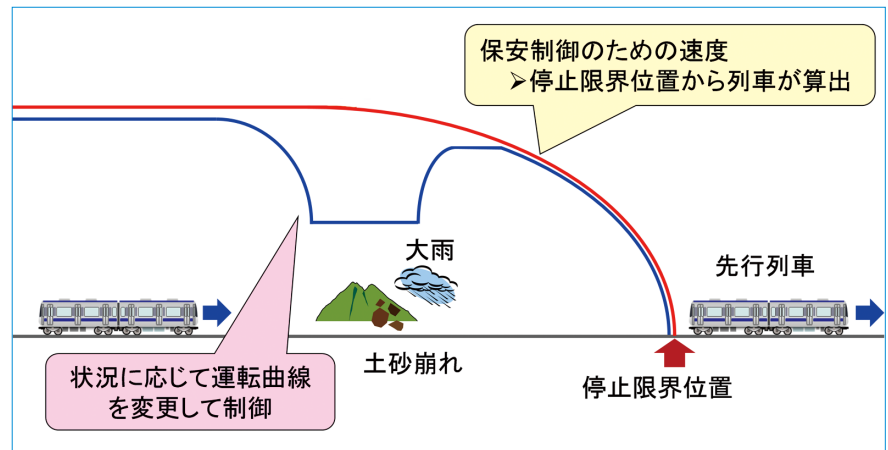


図6 運転曲線による運転制御

列車制御装置では、列車の位置や速度をリアルタイムで得ることが可能と考えられますので、それを前提にすると、各列車の位置や速度、さらには沿線における障害物や災害などの情報を元に、運行制御装置が各列車の運転曲線を作成し、それにしたがって運転させます。列車ごとの運転曲線を重ならないようにすると列車の衝突も防ぐことが可能なのではないかと考えています。

このようなきめ細かな制御を行うためには自動運転が必須となると思われませんが、障害物検知などの情報に基づいて運転曲線を提示することで、運転士が運転する場合でも安全性の向上につながられるのではないかと考えています。

この記事の一部(ミリ波による線路内監視システム)は、総務省における電波資源拡大のための研究開発「90GHz帯リニアセルによる高精度イメージング技術の研究開発」の成果を活用して得られたものです。[RRR]

☞ 運転曲線(ランカーブ)

列車の位置と速度、時間の状況を示す曲線。横軸に列車の位置、縦軸に列車の速度あるいは時間としたグラフで表されます。

文献

- 1) 中村一城, 川崎邦弘, 岩澤永照, 山口大介, 佐藤洋介, 加島謙一, 柴垣信彦: 90GHz帯ミリ波を用いた線路内非金属材料の検出実験, 第23回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2016)講演論文集, pp.201-204, 2016