

- 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

新たな周波数帯のミリ波で線路内の障害物を検出する

鉄道では、安全・安定輸送を行うため、運転を阻害する可能性のある線路内の障害物を検出する装置が多数導入されています。現在は、監視対象ごとに異なるセンサーや情報伝送手段を使用していますが、監視できる範囲や検出できる対象に制約があるなどいくつかの課題があります。そこで、これまでよりも広い範囲を監視でき、高い精度で障害物の存在を検出できるシステムの研究開発に取り組んでいます。本稿では、これまで鉄道で使用されたことのない周波数帯の電波であるミリ波を活用した、線路内の障害物を監視するシステムの概要と試作装置による実験結果を紹介いたします。



中村 一城
Kazuki Nakamura
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
主任研究員
[専門分野]無線通信システム, EMC



川崎 邦弘
Kunihiro Kawasaki
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
室長
[専門分野]無線通信システム, EMC



岩澤 永照
Nagateru Iwasawa
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
研究員
[専門分野]グラフ理論, 無線通信システム, センサーネットワーク



山口 大介
Daisuke Yamaguchi
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
研究員
[専門分野]誘導障害

はじめに

鉄道において、線路内の障害物などは、重大事故につながる要因になる可能性があることから、それらを監視して危険をより早く察知し、必要な対策を施すことが求められます。そのため、全線にわたって常時線路内の障害物を監視することが理想ですが、コストなどの面から現実的でなく、踏切内や駅のホームなどの事故の多い場所や、落石や雪崩の発生が危惧される区間から優先的に監視しています。そして、監

視に当たっては、設置場所や監視対象ごとに、それぞれ異なる検知装置を設置しているのが現状です。現在、鉄道において導入されている、あるいは研究開発が行われている障害物検知装置の例を表1に示します。表1から分かるように、現在鉄道で実用化されているか研究されている障害物検知装置は、検知対象や導入場所が限定されており、場合によっては1つの線区に、複数の検知装置が存在しています。

表1 鉄道における障害物検知装置の例

種類		特徴と課題
実用化済	落石検知装置	・落石がワイヤーに引っ掛かる張力で検知 →検知範囲全体にワイヤーの設置が必要
	踏切障害検知装置 (光電式)	・レーザーなどの遮断で検知 →点による監視
	踏切障害検知装置 (ミリ波式) (3次元レーザーレーダー式)	・ミリ波やレーザーによるスキャンで検知 →分解能が粗い(ミリ波式) →検知距離が限定的
	転落検知装置 (マット式)	・マットへの荷重で検知 →検知範囲全体にマットの設置が必要
研究段階	転落検知装置 (ステレオ画像式)	・2つのカメラ画像で検知 →気象条件によっては誤検知の可能性あり
	車上前方監視 (光学画像式)	・車上で前方監視が主目的 →逆光, 反射光対策や実時間処理が必要

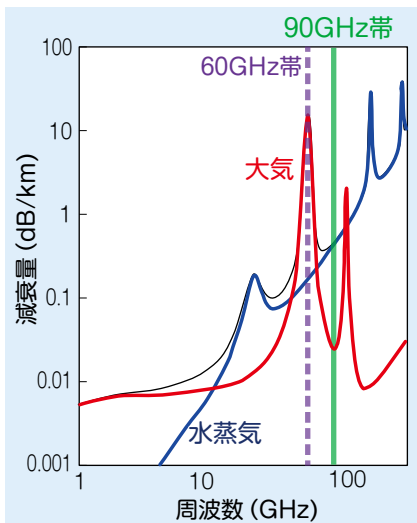


図1 大気・水蒸気による減衰量¹⁾
出典：Recommendation ITU-R, P.676-10

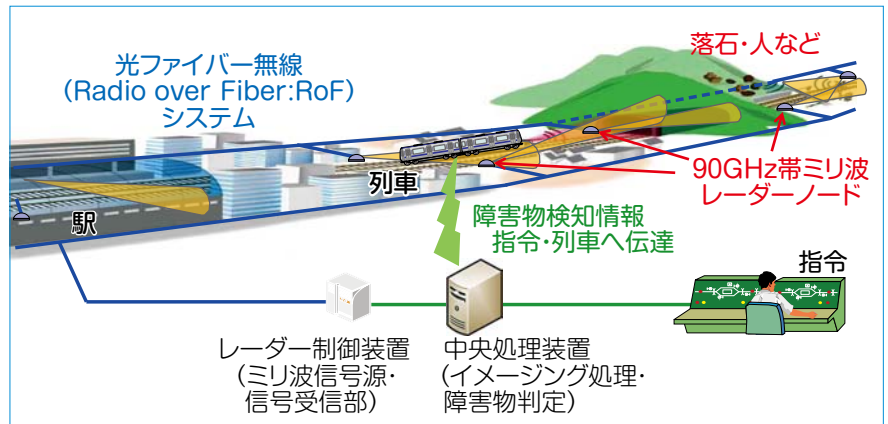


図2 提案する線路内監視システムの構成³⁾

レーダーの原理

レーダーは、古くから航空や海上航海の分野での航空機や船舶の把握、雨雲の動きの監視などに利用されてきました。近年では、自動車の衝突防止のために前方の車や障害物を検知するためにも利用されています。

レーダーの原理は、送信した電波が、目標物で反射してくる時間と強さで物体の存在を把握します。具体的には、電波が物体で反射してくる時間で、物体の存在とその距離が分かります。また、送信周波数がある一定の幅で変化させて目標物を検出する方式 (FM-CW方式) のレーダーの場合、検出できる対象物の分解能は、以下の式で示すことができます。

$$\text{分解能 [m]} = \frac{c}{2 \cdot \Delta f}$$

c：光の速度 (3.0×10⁸[m/s])
Δf：周波数帯域幅 [Hz]

例えば、使用できる周波数帯域幅が150MHzの場合は、分解能は1mですが、3GHzの場合には、0.05mとなります。このように、利用できる周波数帯域幅が広いほど分解能が細くなることから、より小さなものが検出でき

るとともに、複数の物体も高精度で分離できるといえます。

ミリ波の特徴

ミリ波とは、周波数が30GHz～300GHzの電波のことを指し、その波長が10mm～1mmであることから、ミリ波と呼ばれています。波長は、光の速度 (真空中では3.0×10⁸[m/s]) を周波数[Hz]で割ることにより求めることができます。

ミリ波は、波長が短いことから、その伝わり方として、直進性が強く、建物の陰などに回り込みにくいという特徴があります。さらに、利用できる周波数帯域幅が広いという特徴もあります。

一方で、ミリ波は降雨による減衰が大きいことが知られており、鉄道環境でなおかつ沿線を使用する場合、降雨の影響を考慮した送信出力やアンテナ性能の設計が必要となります。

90GHz帯ミリ波

90GHz帯のミリ波は、現時点では、電波天文に用いられている以外はあまり使用されていないため、広い帯域幅

を利用したアプリケーションを実現できる可能性が高いといえます。

90GHz帯を使ったレーダーにより線路内の監視を行うことができれば、前述したように、より細かい分解能で障害物を検出することが可能となります。さらに90GHz帯は、ほかの周波数帯のミリ波に比べて大気による減衰が少ないため、同じ出力でより遠くまで電波が届きます (図1)¹⁾。すなわち、1台のレーダーによる監視範囲を広くすることができます。

90GHz帯ミリ波を用いた線路内監視システム⁴⁾

現在、鉄道総研では、前述した90GHz帯ミリ波の特徴を活かした、新しい線路内監視システムの研究開発に取り組んでいます (図2)。開発に当たっては、1台のレーダーノード (線路沿線に設置して電波を送受信する装置) でより広い範囲をカバーし、高い分解能で小さな対象物を検出することを目標としています。

提案する線路内の監視システムでは、鉄道沿線にレーダーノードを複数設置して障害物を検出したいエリアをカ

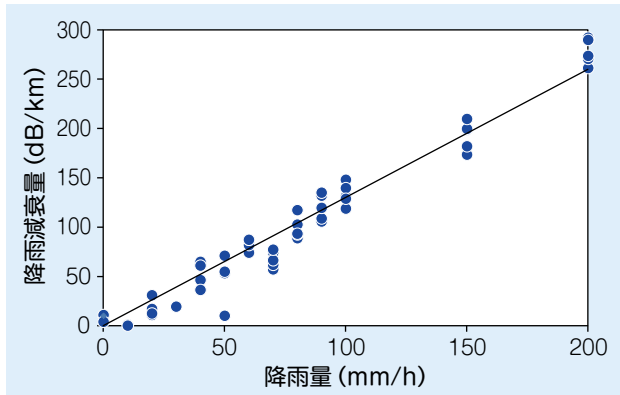


図3 降雨減衰量の測定結果³⁾

出典: 信学技報, Vol.113, No.333, MWP2013-53, pp.33-38, 2013
copyright (c) 2013 IEICE

バーします。沿線に設置したレーダーノードと制御装置の間は、光ファイバー無線 (Radio-over-Fiber: RoF) (☞参照) 技術で接続します²⁾。このRoF技術の導入により、単一のミリ波信号源から複数のレーダーノードに信号を供給できるため、制御装置を地上側の1箇所に集約でき、高価なミリ波信号源を減らすことが可能です。これにより、従来のレーダー装置よりも、低コストで同じ機能を実現することができます。さらに、制御装置とレーダーノード間の距離を数10km以上とすることもできることから、制御装置の設置箇所を減らすことが可能となり、コストの低減が期待できます。このように、RoF技術は、鉄道のような線状に長いサービスエリアをカバーする必要がある環境に適しているといえます。

本システムが実現できれば、同じ方式により複数の対象物の検知を行うことができる可能性があります。

☞ RoF (Radio over Fiber, Radio on Fiber : 光ファイバー無線)

無線周波数の信号をそのまま光ファイバーで伝送する技術であり、空間波では実現できない、数 km 以上の距離を伝送することができます。近年では、携帯電話基地局のアンテナを地下空間へ設置する際などに利用されており、ミリ波帯の信号を伝送する技術も開発されています。

電波伝搬特性³⁾

90GHz帯ミリ波の鉄道環境における電波伝搬特性を把握するため、距離減衰特性や降雨減衰特性を実験により把握しました。特に、降雨による減衰の影響は、システムの設計を行う上で重要なパラメーターとなります。

図3は、鉄道総研が保有する大型降雨実験装置により、降水量を0～200mm/hの間で変化させて90GHz帯ミリ波の降雨による減衰量を測定した結果です。

地物の検出試験⁴⁾

90GHz帯レーダー装置を試作し、鉄道総研の所内試験線において、地物の検出実験を行いました。

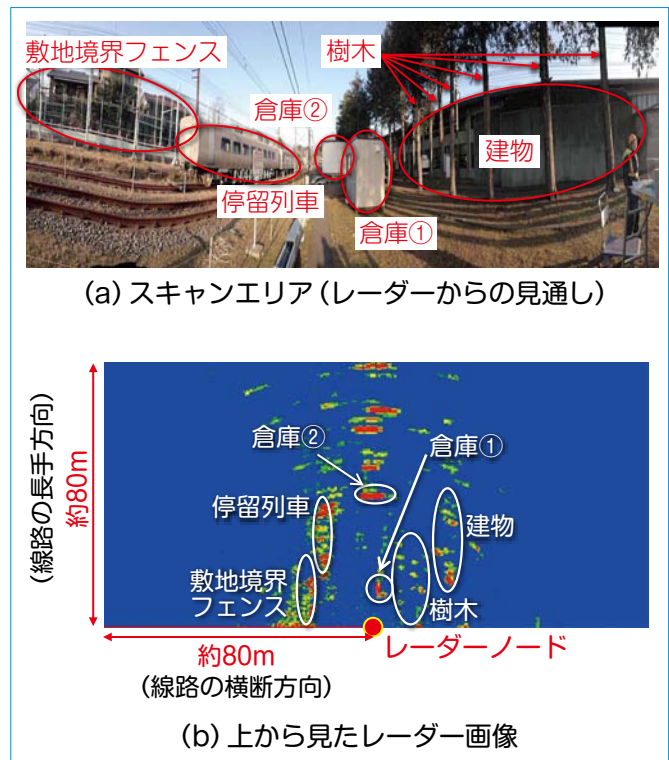


図4 地物の検出結果例⁴⁾

試験の結果、電化柱や建物、樹木などが検出できることが分かりました(図4)。また、車の有無なども検出可能であることが確認できました。これまで国内で90GHz帯のレーダーを使用して鉄道沿線の地物の検出を試みた前例はなく、本試験結果が、90GHz帯レーダーで鉄道環境の地物の検出に成功した日本で初めての事例です。

線路内に侵入した人の検出試験⁵⁾

鉄道総研の所内試験線に、レーダー装置とRoF技術を組み合わせたプロトタイプシステムを構築し、障害物を監視するエリアを駅構内と想定して、線路内に侵入した人の検出実験を行いました(図5)。今回の試験では、レーダーノードからホームまでの距離は85-106mであり、制御装置は、RoF技術を用いて接続しました。

試験の結果、線路内への人の侵入を検出可能であることが検証できました。さらに、監視するエリア内に2人

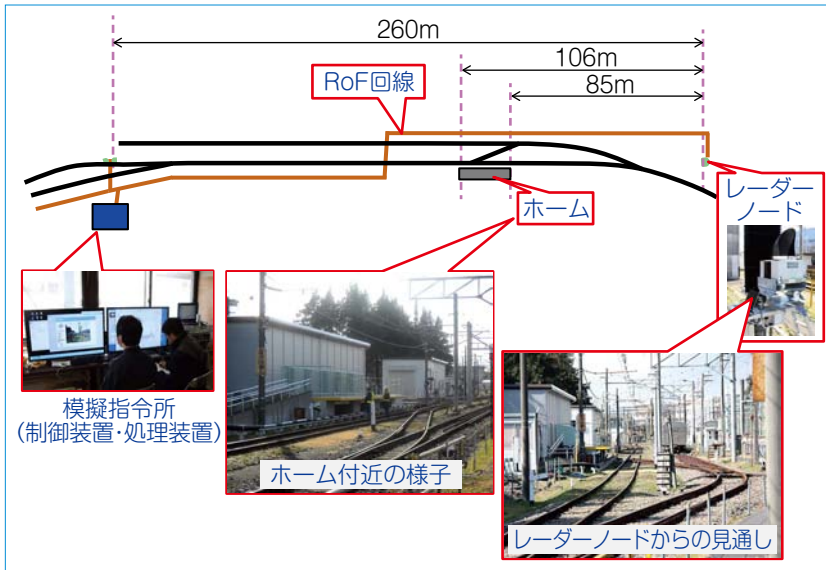


図5 人の検知実験を行ったプロトタイプシステムの構成⁵⁾

の人が存在する場合においても、それぞれの人を区別でき、なおかつ歩いている様子をリアルタイムで捉えることができました(図6)。この結果から、90GHz帯ミリ波のレーダーとRoF技術を組み合わせたシステムにより、線路内の障害物を検出できることが確認できました。

障害物の判定方法⁴⁾

レーダーノードによる反射物の検出結果から、障害物のみを抽出するためには、障害物と既存の地物(レール、電化柱、沿線機器など)を判定する必要があります。そこで、判定方法についても検討を行っています。

判定方法の候補となっている手法は、数秒周期でレーダーによる線路内障害物の検出を行い、直前の検出結果と比較して状態の変化があり、なおかつ一定時間以上、その状態が継続した場合に、“障害物あり”と判定する方法です。さらに、検出エリアをレーダーノードや線路構造物との位置関係と、スキャンの速度などに応じていくつかのブ

ロックに分け、ブロックごとに判定を行うことを考えています。なお、“障害物あり”と判定するための状態変化後の継続時間やそのしきい値などについては、今後も引き続き実験などによる検討を進め、鉄道環境に適した値を提案する予定です。

おわりに

ここでは、これまで鉄道で利用されたことのない90GHz帯のミリ波と、RoF技術を組み合わせた線路内監視システムの開発について紹介しました。

今後は、90GHz帯を用いた線路内監視システムの実現に向け、地物と障害物の判定手法の検証や複数ノードによる検出精度向上に向けた検討などを進める予定です。

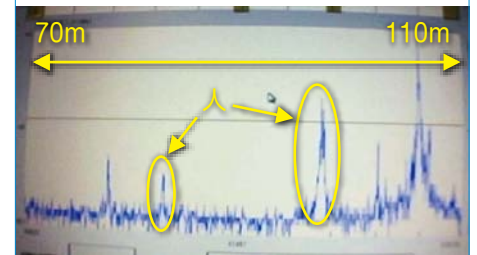
なお、本研究は、総務省における「電波資源拡大のための研究開発」として委託を受け実施しているものです。研究を実施するに当たり、ご協力、ご支援をいただいている関係各位に深く感謝致します。RRR



(a) レーダーノードからの視界



(b) 線路脇から見たホーム付近



(c) 検出結果

図6 2人の人が線路内に侵入し移動している場合の検知結果⁵⁾

文献

- 1) ITU-R, “Attenuation by atmospheric gases”, Recommendation ITU-R, P.676-10, 2013
- 2) 菅野敦史：超高速ミリ波・テラヘルツ無線通信を実現する光ファイバ無線技術，第47回光学五学会関西支部連合講演会，2013
- 3) 中村一城，川崎邦弘，竹内恵一，米本成人，河村暁子，ニッ森俊一：鉄道環境における90GHz帯ミリ波の電波伝搬特性，信学技報，Vol.113, No.333, MWP2013-53, pp.33-38, 2013
- 4) 中村一城，川崎邦弘：鉄道における90GHz帯の活用，JREA, Vol.57, No.8, pp.4-7, 2014
- 5) Kazuki Nakamura, Kunihiro Kawasaki, Nagateru Iwasawa, Daisuke Yamaguchi, Keiichi Takeuchi: The Monitoring System Using 90GHz Band for Railway, STECH2015, 2015