

90GHz 帯ミリ波を用いた線路内障害物の監視システム

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 中村一城

1. はじめに

鉄道線路内の障害物などは、重大事故や列車遅延につながる要因となる可能性があることから、それらの存在をより早く検知し、迅速に除去するなどの適切な処理を施す必要がある。しかし、路線全線にわたって線路内の障害物を常時監視することは、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に、それぞれ異なる検知装置を設置しているのが現状である。

そこで、鉄道総研では、90GHz 帯のミリ波を利用し、線路上の複数の障害物を単一システムで監視することができる障害物検知システムの研究に取り組んでいる。本発表では、検討している線路内監視システムの構成と、試作システムによる実験結果について報告する。

2. 鉄道環境における監視システム

現在、鉄道環境では、表 1 に示すようなさまざまな監視システムが導入されている¹⁾。表 1 から分かるように、現時点において鉄道で実用されている、もしくは研究されている障害物検知システムは、検知対象物や利用できる範囲が限定されている。したがって、1つの線区に、複数の検知システムが導入されている場合もある。

表 1 鉄道における障害物検知装置の例

	種類	検知範囲	対象物大きさ	特徴	課題
実用済	落石検知装置	数 km	0.15m、100kg	・落石がワイヤに引っ掛かる張力で検知	・検知範囲全体にワイヤの設置が必要
	踏切障害検知装置（レーザ式）	5~30m	1m 角	・レーザの遮断で検知	・レーザビーム間の障害物が検知できない
	踏切障害検知装置（ミリ波式）	12m×12m	0.16m	・障害物からの反射で検知 ・免許不要(60GHz、76GHz)	・降雨の影響に対する考慮が必要
	転落検知装置（マット式）	幅 0.35m	0.04m 5kg	・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	踏切障害検知装置（ステレオ画像式）	踏切内	車両、歩行者	・2つのカメラ画像で検知	・雨の跳ね上げを誤検知
	転落検知装置（ステレオ画像式）	40m	0.5m	・2つのカメラ画像で検知	・ホーム全体をカバーするには複数台必要
	線路内障害物 (60GHz 帯ミリ波レーダー)	120m	0.3m	・障害物からの反射で検知 ・車上検知、地上検知の両方を検討 ・免許不要(60GHz)	・大気減衰、降雨減衰が大きい
	車上前方監視（光学画像式）	600m	0.5m	・車上の前方監視が主目的	・逆光、反射光対策や実時間処理
	90GHz 帯ミリ波レーダー	約 500m	0.5m	・検知範囲が広く、1台のノードで、落石、ホーム、踏切などの複数の条件に対応可能 ・詳細な位置の把握が可能 ・イメージとして取得できる	

3. 90GHz 帯ミリ波を用いた線路内監視システム

鉄道において線路内を監視する場合、監視すべきエリアは直線状に長くなる。また、レーダーは、その原理から広い周波数帯域を利用することでより小さい物体の検知が可能となる。そこで鉄道総研では、直線性が強く広い帯域を利用できるというミリ波の特徴を活かし、90GHz 帯ミリ波を用いたレーダーによる線路内監視システムを提案している（図 1）¹⁾。90GHz 帯のミリ波は、

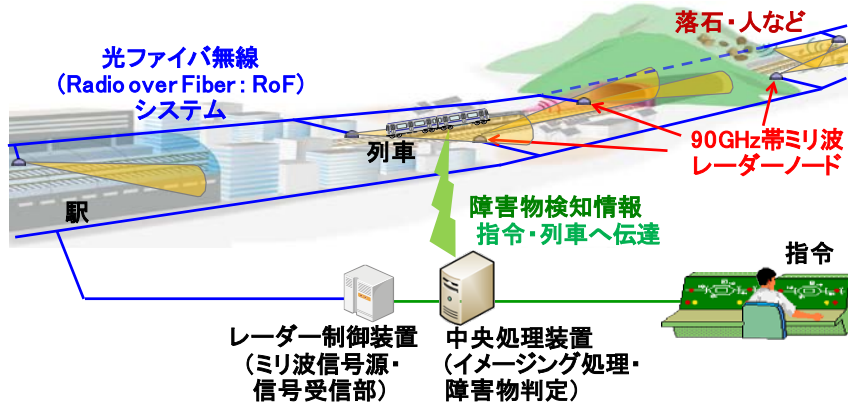


図1 線路内監視システムの構成イメージ

大気の減衰が他のミリ波帯に比べて非常に小さいことが知られていることから (図2)²⁾, 同じ出力でも広くサービスエリアを確保することが期待できる。しかし、鉄道では使用されたことのない周波数帯であるため、これまでに鉄道環境における電波伝搬特性試験を実施し、距離減衰特性や降雨減衰特性を把握している³⁾。

提案する線路内監視システムは、沿線に設置して電波の送受信を行うレーダーノードと、レーダーノードに対して信号の送受信を行う制御装置、受信信号に処理を施し、障害物の判定を行う中央処理装置から構成される。障害物を検知したいエリアは、鉄道沿線にレーダーノードを複数設置してカバーする。また、レーダーノードと制御装置間は、光ファイバ無線 (Radio-over-Fiber:RoF) 技術により接続する (図3)。RoF では、光分配器や切替器により同一の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箇所に集約することができる。さらに、減衰の少ない光ファイバを利用することで制御装置とレーダーノード間の距離を長くすることが可能である。すなわち、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る。なお、本システムの構築に向け、従来よりも伝送帯域を広げた広帯域伝送が可能な RoF 技術の研究が進められている⁴⁾。RoF 技術の広帯域化により、レーダーの利用周波数帯域の広帯域化が実現でき、より高い精度で障害物の検知が可能となる見込みである。さらに、レーダーにより検知した情報は、中央処理装置にて鉄道環境に存在する地物(レール・電化柱・架線など)を除去し、障害物のみを抽出する。抽出した結果は、指令の表示装置に表示するとともに、近くを走行する列車に対しても、情報を伝送する機能を備えている。

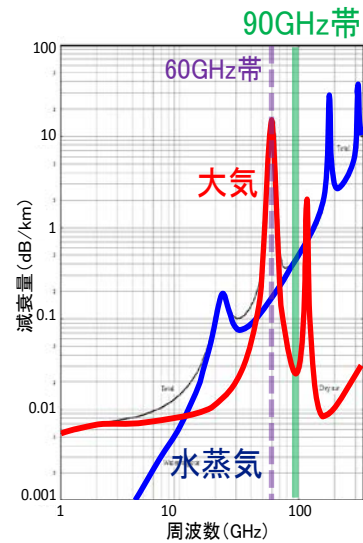


図2 大気・水蒸気による減衰量²⁾

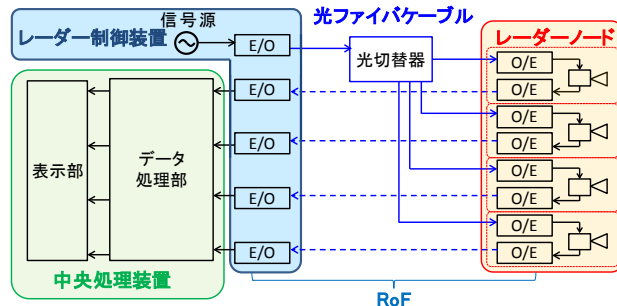


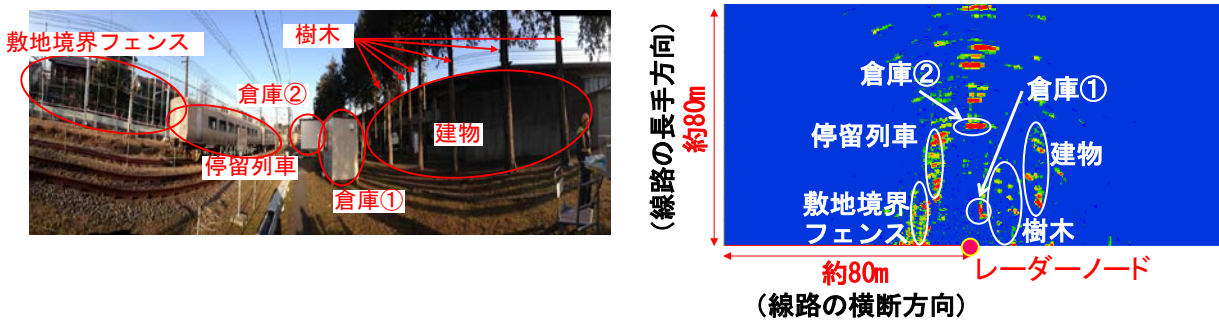
図3 光ファイバ無線 (RoF) 技術によるレーダーの接続例

3. 鉄道環境におけるフィールド試験

3.1 地物の検知

提案したシステムの実現に向け、平成 25 年度に鉄道総研構内実験線において、試作した 90GHz 帯レーダー装置単体による地物検知の確認試験を行った¹⁾。本試験で使用したレーダー装置は、送信出力 50mW、中心周波数 96GHz、チャープ帯域幅 1GHz のもので⁵⁾、角度分解能は 1 度、距離分解能は約 40cm の性能を有していた。試験の結果の一例を図 4 に示す。

試験の結果、鉄道沿線の電化柱や建物、樹木などを検知できることが確認された。また、踏切付近の自動車の有無や歩行者の存在なども検知することができた。



(a) スキャンエリア (レーダーからの見通し)

(b) 上から見たレーダー画像

図 4 試作したレーダー装置による検知結果

3.2 人の検知

前節の試験結果を受け、平成 26 年度は、鉄道総研構内実験線にレーダー装置と RoF を組み合わせたプロトタイプシステムを構築するとともに、構築したシステムにより、ホーム付近の線路内に侵入し、移動する人 (1 人の場合と 2 人の場合) の検知実験を行った。実験環境を図 5 に示す。今回の検知対象エリアとしたホーム付近までのレーダー装置からの距離は、85-106m であった。また、制御装置は、RoF により約 260m 離れた地点に設置した。なお、使用したレーダー装置は、平成 25 年度に使用した装置に対し、出力を 100mW、チャープ帯域幅を 8GHz に拡張して性能を向上したものである (表 2)。

構築したプロトタイプシステムによる試験の結果、線路内を移動する人の検知が可能であることを検証することができた。さらに、2 人の人が監視エリア内に存在する場合においても、それぞれの人を区別でき、なおかつ移動する様子を捉えることができた (図 6)。以上より、提案したシステムが、線路内監視システムとしての基本的性能を有していることが確認できた。

表 2 レーダー装置の仕様

送信電力	100mW (20dBm)
中心周波数	96GHz
帯域幅	8GHz
レーダー方式	FM-CW
アンテナ利得	42.8dBi
アンテナ半値角	0.8deg.

4. おわりに

本発表では、鉄道総研で検討を進めている、90GHz 帯ミリ波を活用した新たな線路内障害物の検知システムを紹介した。さらに、プロトタイプシステムを用いて行った鉄道環境における地物や人の検知実験の結果から、線路内監視システムとしての基本的性能を有していることを示した。

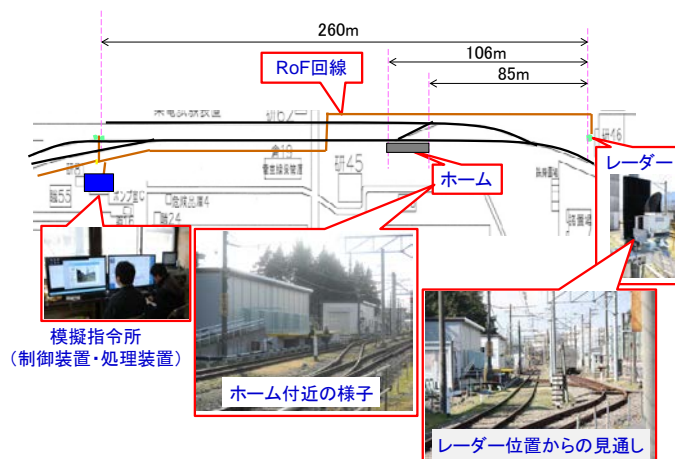


図 5 人の検知実験環境



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

今後は、線路内監視に適したレーダノードの設置条件（角度、高さなど）を整理するとともに、複数のレーダノードによる障害物検知精度や地物除去の処理精度の向上、近隣列車への障害物検知警報の伝達機能の検討・実験を進め、平成 27 年度には基本的機能の原理検証を終了したうえで、引き続き実用を目指したシステムの開発を行っていく予定である。

謝辞

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ある。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する。

参考文献

- 1) 中村一城, 川崎邦弘, 柴垣信彦, 川西哲也, 米本成人: 90GHz を用いた線路内監視手法の検討, 第 51 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 論文番号 626, 2014.
- 2) ITU-R: Attenuation by atmospheric gases, Recommendation ITU-R P.676-10, 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: 90GHz 帯ミリ波の伝送特性と線路内監視システムへの適用検討, 鉄道総研報告, Vol.28, No.4, pp.29-34, 2014.
- 4) 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.
- 5) 佐藤洋介, 加島謙一, 柴垣信彦: RoF 伝送を用いた W 帯レーダシステムの実験検証, 2014 信学ソ大 (エレクトロニクス), C-14-15, p.205, 2014.