

## S7-3-2

### ミリ波を用いた踏切障害物検知システムの開発

[電] ○所沢 鉄正、[電] 竹内 寛人 (東海旅客鉄道株式会社)

浅野 晃、長澤 弘之 (株式会社京三製作所)

#### Development of obstacle detecting systems using millimeter wave at level crossings

Tetsuyoshi Shozawa, Hiroto Takeuchi, Member (Central Japan Railway Co., Ltd.)

Akira Asano, Hiroyuki Nagasawa (Kyosan Electric Mfg Co., Ltd.)

Various types of obstacle detecting systems have been installed at major level crossings in order to prevent collisions between trains and cars. In this paper, the principle of a new obstacle detecting system using millimeter wave, which exhibits a better detecting performance than the existing optical-beam type under bad weather conditions like snows, is described and the results of the field tests which have been held since 2004 by Central Japan Railway Co. Ltd. are reported. The other good features of this new system are also discussed from the viewpoints of installation and maintenance.

キーワード：踏切、障害物検知、ミリ波

Keywords: Level crossing, Obstacle detection, Millimeter wave

#### 1. はじめに

踏切で列車と自動車等が衝突すると大事故となる恐れがあることから、こうした事故を防止するため、交通量の多い踏切等には各種方式の踏切障害物検知装置が設置されている。

踏切障害物検知装置の大多数を占める光電方式は、耐候性（降雪・濃霧などの悪天候）や保守性（レンズ汚れや光軸ずれへの対処）の面で課題がある。また、線路内に複数の発光器・受光器やケーブル等を設置する必要があり、設備の施工や保全に多大なコストと労力を要している。

そこで、赤外線やレーザー光線を用いる光電方式よりも耐候性・施工性・保守性に優れたミリ波方式踏切障害物検知装置を試作し、フィールドでの長期モニタランを通じて評価を行った結果を以下に報告する。

#### 2. 従来の踏切障害物検知方式

現在、実用化されている主な踏切障害物検知装置としては、光電方式（赤外線、レーザー）、ループコイル方式、超音波方式等がある。この他、ステレオカメラの画像やレーザー・レーダーを用いた新しい踏切障害物検知装置の開発が進められている。

光電方式は、レール近傍に発光器と受光器を設置して踏切上を光ビームでカバーし、障害物がいずれかの光ビームを遮ることにより障害物を検知する方式であり、最も広く用いられている。しかし、雪等の悪天候、レンズ汚れ、光

軸ずれ等によって不具合が発生することや、線路内に複数の発光器・受光器及びそれらに付随するケーブル等を敷設しなければならないことから、施工や保守に多大なコストと労力を必要としている。図1に、光電方式の踏切障害物検知方式の概要を示す。

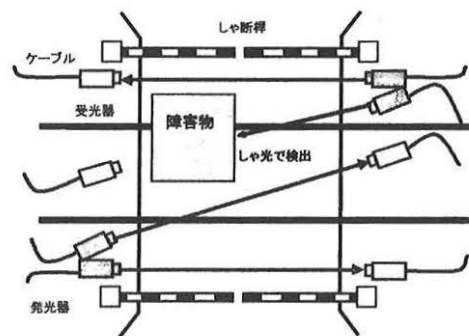


図1. 踏切障害物検知方式（光電方式）の概要

ループコイル方式は、踏切道の地中にループコイルを埋設し、ループ上に自動車等の金属物があるとループコイルの発信周波数が変化することを利用して障害物を検知する方式である。この方式は、積雪線区でも障害物を検知できる利点があるが、地中に埋設するループコイルの施工と保守に課題がある。

超音波方式は、踏切全体をカバーできるように超音波送受信器を踏切の上空に複数個設置し、超音波の反射時間の変化により障害物の有無を検知する方式である。この方式

は、降雪や濃霧に対して優れた耐候性を有しているが、踏切上空に超音波受信器を設置しなければならないため、施工と保守に課題がある。

### 3. ミリ波の利用

#### 3. 1 センサの選定

光学系のセンサで耐候性の問題を解決することが難しいことから、物体検知を行う方式として、地磁気、音波、電磁波の3方式について、比較・検討を行った。地磁気方式は、鉄材の存在により周辺の地磁気が変化することを利用して自動車等を検知するものであるが、アルミボディの自動車に対する検知性能の確保に課題がある。また、音波方式については、前述したとおり施工・保守に課題がある。これに対し、電波を用いる方式は、耐候性の問題を解決できる可能性が高いことから、以下のとおり開発を進めた。

#### 3. 2 使用周波数帯の選定

図2に、各周波数帯の特徴をまとめたものを示す。

使用周波数帯を選択する条件として、以下の①～④を考慮した。

- ①直進性…周波数が高いほど直進性が強く、他の構造物からの反射や回折により、誤って障害物を検知する可能性が低くなる。
- ②電磁環境…周波数が高いほど外乱が少ない。
- ③気象変動による影響…周波数が低くなるほど、気象による影響は少ない。
- ④測距精度…周波数が高いほど精度が良い。

以上の特徴を総合的に判断し、測距精度と気象変動に対する耐性のバランスが良いミリ波帯を選択した。

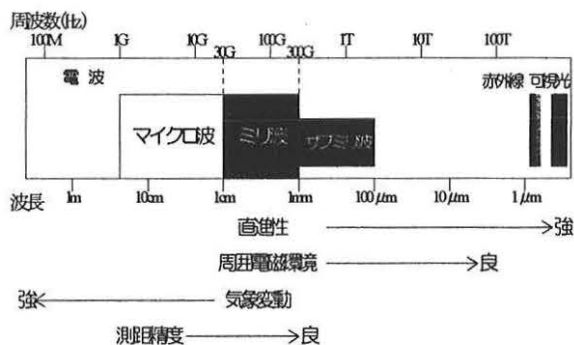


図2. 周波数帯とその特徴

#### 3. 3 ミリ波の特徴

踏切障害物検知にミリ波を用いる場合の特長として、①直進性が強く伝搬距離が短いので、対象エリアを限定しやすい、②自然界にはミリ波が存在しないため外乱を受けにくい、③踏切障害物検知の対象となる範囲（約50m以内）では、雨や空気によるミリ波の減衰を無視できるため気象影響（雪・霧）を受けにくい等が挙げられるが、他方、④同一周波数帯の電波による干渉への対策が必要となる。

#### 3. 4 電波干渉への対策

電波干渉には、自動車用など異種レーダによる干渉の他、ミリ波障害物検知装置どうしの干渉が想定される。

異種レーダによる干渉については、踏切障害物検知用の変調方式を新規開発することで、自動車等で使用される異種レーダとの干渉を防止している。

また、同種のミリ波障害物検知装置による干渉については、アンテナに高い指向性を持たせる、やむを得ずアンテナどうしが対向する場合には偏波面が異なるように設計する等により、互いに影響を及ぼさない仕様としている。

### 4. ミリ波方式の踏切障害物検知

#### 4. 1 基本構成

本装置は、光電方式の発光器・受光器をミリ波のアンテナ（発信・受信兼用）とリフレクタ（配線が不要な金属製の反射体）に置き換えたものである。アンテナからリフレクタまでの距離を検知範囲とすることで、隣接踏切との干渉を防止する。ミリ波ビームがある程度の幅を持っているため、アンテナ・リフレクタの角度調整が容易で、施工性・保守性が向上する。図3に、ミリ波方式の概要を示す。

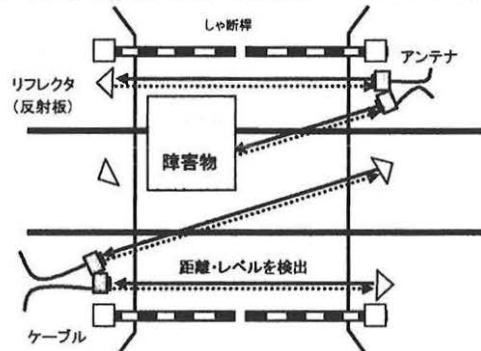


図3. ミリ波を用いた踏切障害物検知の概要

#### 4. 2 障害物検知の基本原則

障害物検知の基本原則を図4に示す。

個々のレーダ（アンテナ）から発射されたミリ波がリフレクタで反射されて再びアンテナまで戻ってくる時間を計測することにより、リフレクタまでの距離を算出する。

踏切処理部は、リフレクタまでの距離と受信波の強度からリフレクタの位置を常時監視しており、リフレクタが検出できなくなった場合、「障害物あり」または「システム異常」として安全側動作（列車停止制御）を行う。



図4. 障害物検知の基本原則

#### 4. 3 ミリ波レーダの諸元

表1に、ミリ波レーダの諸元を示す。

表1. ミリ波レーダの諸元

| 項 目    | 仕 様               |
|--------|-------------------|
| 周波数帯   | 76.0 GHz～77.0 GHz |
| 送信方式   | FM-CW方式           |
| 空中線電力  | 4 mW              |
| 計測可能距離 | 2m～40m            |

#### 4. 4 人体に対する安全性の確保

人体防護に関して、国内基準と国際的な指針とがあるが、国際的な指針の方が国内基準より厳しい。(図5参照)

本ミリ波レーダは、国際的な指針と比較しても規制値を下回っており、人体に対する安全性を確保している。



図5. 人体防護に関する基準・指針

#### 5. 長期フィールド試験

##### 5. 1 試験構成

図6に、試験装置の構成を示す。

平成16年5月以降、光電式踏切障害物検知装置が設置されている踏切（雪害区間）にミリ波方式障害物検知装置を併設してモニタリングを行い、長期間にわたる検知性能、安定性の検証実験を行った。図7、図8に機器の外観を示す。

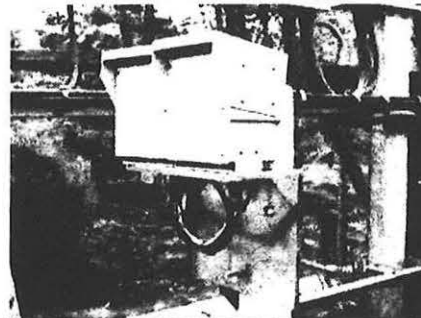


図7. ミリ波レーダ（アンテナ）

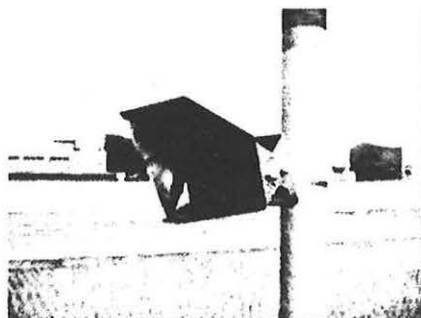


図8. リフレクタ（反射体）

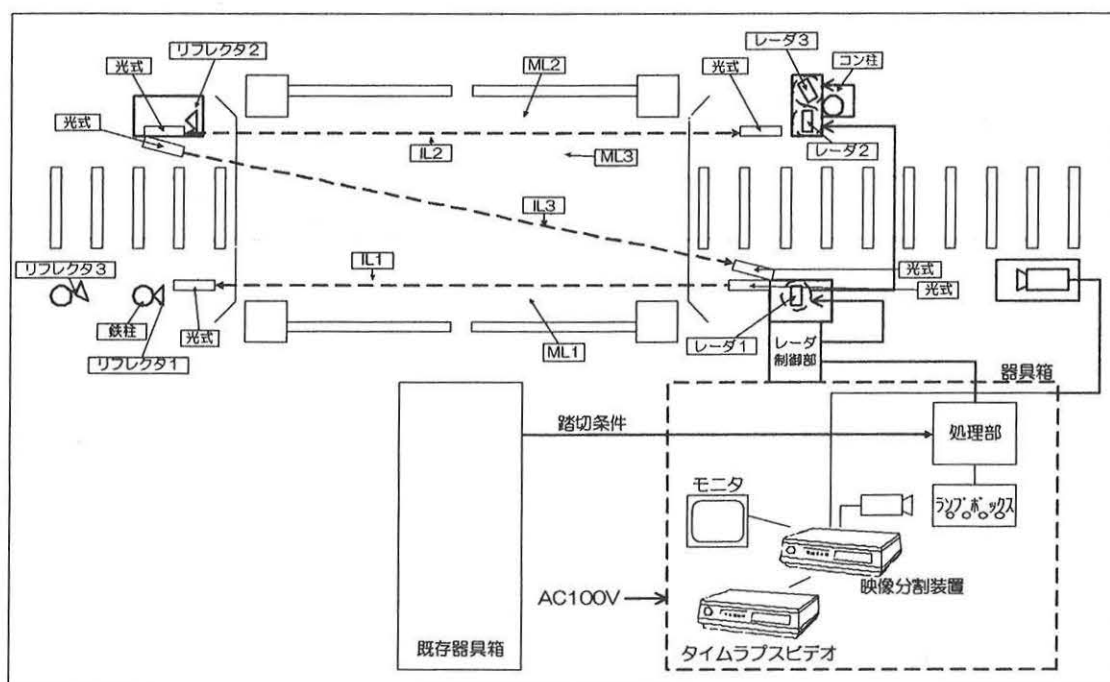


図6. 試験装置の構成

#### 4. 2 評価方法

以下に示す方法により、性能評価に必要な映像データを記録した。

- 踏切の風景映像をカメラで取得（日付・時刻記録）。
- 試験装置の出力結果（障害物検知の有無）をランプボックスに出力し、その映像を取得。
- a)とb)の映像を1画面に結合（図9参照）。
- c)の映像をタイムラプスビデオで長時間連続記録。

後日、ランプ出力の映像により、現行の光電方式とミリ波方式の障害物検知結果を照合した。不一致した場合には、踏切の風景画像を参照し、不一致の理由を検証した。

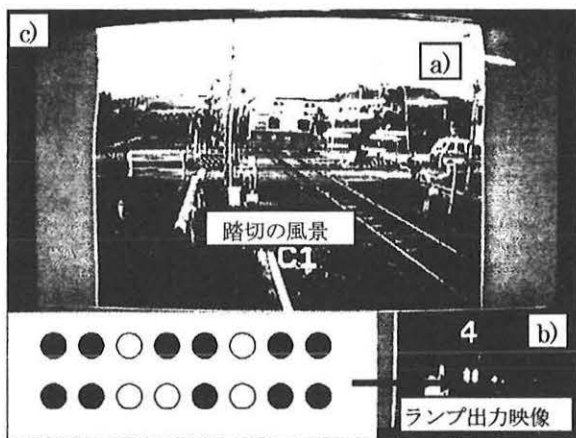


図9. 記録画面

#### 4. 3 試験結果

##### (1) 降雨時

降雨時においても、既設の踏切障害物検知装置と同様にミリ波方式が正常動作することを確認した。

##### (2) 降雪時

降雪時においても、ミリ波方式が正常に動作することを確認した。

##### (3) 雪の舞い上げ

列車通過中の映像を図10に、通過直後に雪が舞い上がった時の映像を図11に示す。

図11では、光電方式の踏切障害物検知装置が舞い上げ雪を障害物として検知（下段の一番右のランプが点灯）しており、しゃ断かん近傍のIL1・IL2（図6参照）のいずれかが遮光されたことがわかる。これに対し、ミリ波方式では、ML1・ML2とも検知無しとなっており（上段の左から1、2番目のランプが滅灯）、舞い上げ雪による誤検知が発生していないことがわかる。

##### (4) 相互干渉

今回の現地試験で、ミリ波方式と光電方式の踏切障害物検知装置を同じ踏切内に設置した結果、電磁的な相互干渉が発生しないことを確認した。

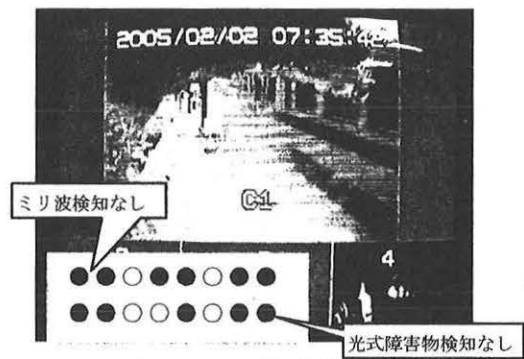


図10. 列車通過中の映像

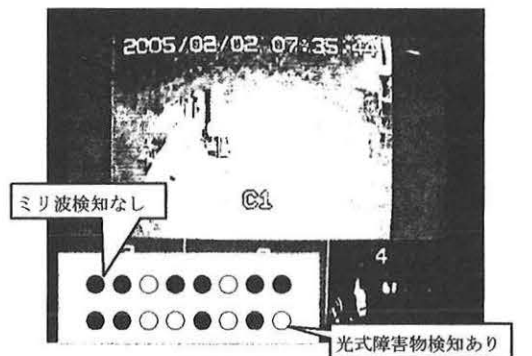


図11. 列車通過直後（舞い上げ雪発生時）の映像

#### 5. おわりに

本研究では、現地試験を通じて、ミリ波方式により現行の踏切障害物検知装置（光電方式）と同等の検知性能を実現できることを検証した。また、光電方式が障害物として誤検知した「舞い上げ雪」に対し、ミリ波方式では誤検知が発生せず、優れた耐候性を有することを確認した。

現在、平成19年度以降の実用化に向けて量産仕様の試作機を製作し、現場での保守性の検証を含む最終段階の試験評価の準備を進めている。

最後に、本開発にご協力頂いた関係者の方々に、この場を借りてお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 鈴木勇：「踏切障害物検知装置の各種」、鉄道と電気技術、Vol.2、No.9、pp.23 (1991)
- 太田勝：「ステレオカメラを用いた踏切障害物検知装置」、鉄道総研報告、Vol.17、No.6、pp.11 (2003)
- 宮地、佐藤、門脇：「超音波をもちいた全天候形踏切障害物検知装置」、第28回鉄道サイバネ論文集、pp.515 (1991)
- 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」、電気学会産業応用部門誌、125 巻 4 号、pp.321(2005)