

三次元レーザレーダ式踏切障害物検知装置の実用化

3-D Laser Radar Railroad Crossing Obstacle Detection System

久 光 豊	技術開発本部プロジェクトセンター開発部	主査
関 本 清 英	技術開発本部プロジェクトセンター開発部	主査
永 田 宏一郎	技術開発本部プロジェクトセンター開発部	
上 原 実	技術開発本部プロジェクトセンター開発部	部長
大 田 栄 一	東日本旅客鉄道株式会社 東京電気システム開発工事事務所	主席

踏切には、事故防止の安全設備として、踏切内に立ち往生した車両などの障害物を検知し、進入してくる列車に知らせるための踏切障害物検知装置が配備されている。近年、踏切の安全に対する要求はますます高くなり、鉄道各社は踏切障害物検知装置の新設あるいは更新を積極的に展開している。このニーズにこたえるため、三次元レーザレーダ方式による新しい踏切障害物検知装置を実用化した。本装置は、既存方式と比べて天候や日照の影響を受けにくく、踏切内に存在する物体の位置を高速かつ高精度に計測するため、障害物を確実に捕えることができる。さらに、1台の装置によって踏切全体の監視が可能で、設置が容易である。

Railroad crossing obstacle detection systems have been developed to prevent a train colliding with an object such as a vehicle stuck on the crossing. Increasing safety consciousness, however, has provoked the railway companies to install more upgraded systems than the conventional one. To cope with the demand for new devices, IHI developed a 3-D laser radar railroad crossing obstacle detection system which is not influenced by weather conditions, sunshine conditions, and can accurately detect objects within the area of the railroad crossing in real time. Reliable detection can be achieved by only installing a single monitor that can cover the whole area of the crossing, thus surpassing the conventional system in sensing the safety of the crossing.

1. 緒 言

当社では、輸送機械や作業機械の自動化運転を支援するためのセンシングシステムとしてレーザレーダ技術に着目し、三次元物体形状を認識する技術開発を行ってきた⁽¹⁾。その後、ITS (Intelligent Transport Systems) 交通分野において、自動車やトラックなどの移動車両を計測するセンシングシステムとして応用するため、テストコースにおける車両検出実験や実道評価実験などを通じて、三次元レーザレーダ技術による移動体検出および車両判別技術などを確立してきた⁽²⁾。

一方、鉄道会社においては踏切事故を未然に防ぐため、交通量の多い踏切を中心に踏切障害物検知装置を設置している。踏切障害物検知装置とは、列車が踏切に接近した際に、踏切内に取り残された自動車などの障害物を検知し、その情報を列車の乗務員に通報する装置で、検出方式として、これまで光遮断方式やループコイル方式が一般的に使われている。しかし、検知範囲の拡大、障害物の認識性能の向上、施工・保守作業時のはん雑さの軽減などが課題と

なっており、新しい装置が待望されていた⁽³⁾。

当社の三次元レーザレーダ技術は、このニーズに合致したものであり、実機適用に向けた装置開発と、東日本旅客鉄道株式会社との共同研究⁽⁴⁾、⁽⁵⁾を経て、三次元レーザレーダ式踏切障害物検知装置（以下、本装置と呼ぶ）として実用化した。本稿では、本装置の概要、装置化技術、および計測結果例について紹介する。

2. 三次元レーザレーダ式踏切障害物検知装置

本装置の主な仕様を第1表に、外観を第1図に示す。

2.1 計測原理

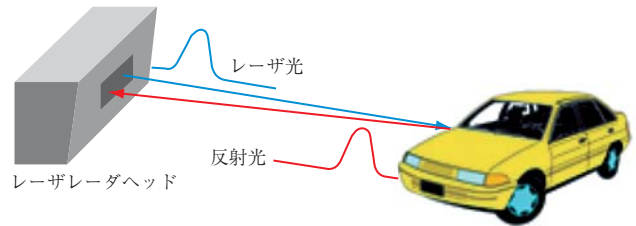
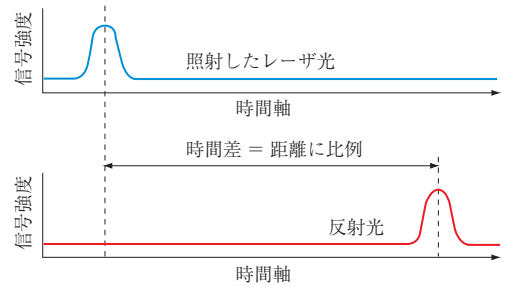
三次元レーザレーダは、パルスレーザ光を物体に照射し、反射光が帰還するまでの時間を測定するタイムオブフライト方式によって物体までの距離を求めるものである。第2図に三次元レーザレーダの計測原理を示す。

三次元レーザレーダによる物体の検知方法を第3図に示す。パルスレーザ光を水平・垂直方向にスキャンして踏切全体に照射し、そこから戻ってきた反射光から各点の三次元座標値を計測する。次に各点の座標値から路面に対し

第1表 装置の主仕様

Table 1 Specifications of 3-D laser radar railroad crossing obstacle detection system

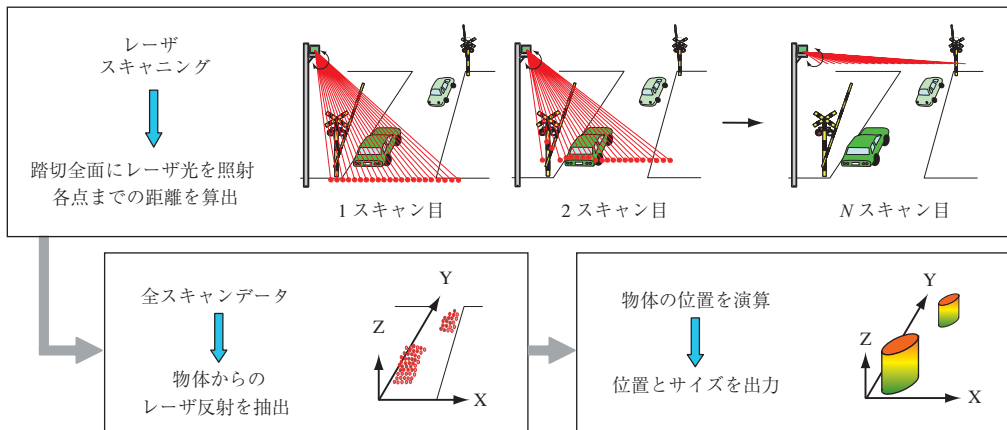
項目	単位	仕様
検出対象	寸法	m
検知範囲	水平画角	度
	垂直画角	度
	距離	m
検知時間	s	0.5以下
位置検知精度	m	±0.1
レーザーダヘッド	寸法	mm
	質量	kg
制御器	寸法	mm
	質量	kg



第2図 三次元レーザーダの計測原理
Fig. 2 Measurement principle of 3-D laser radar

第1図 踏切障害物検知装置の外観

Fig. 1 Appearance of 3-D laser radar railroad crossing obstacle detection system



第3図 物体の検出方法
Fig. 3 Object detection method

て高さをもつ座標を抽出し、近接した点群を「一つのかたまり」として認識することで、物体の位置およびサイズを算出する。これらの動作と信号処理を繰り返し行うことで、物体の認識や種別判定が可能となる。さらに、物体の位置の時間変化量から、速度や移動方向などを算出している。

2.2 機器構成

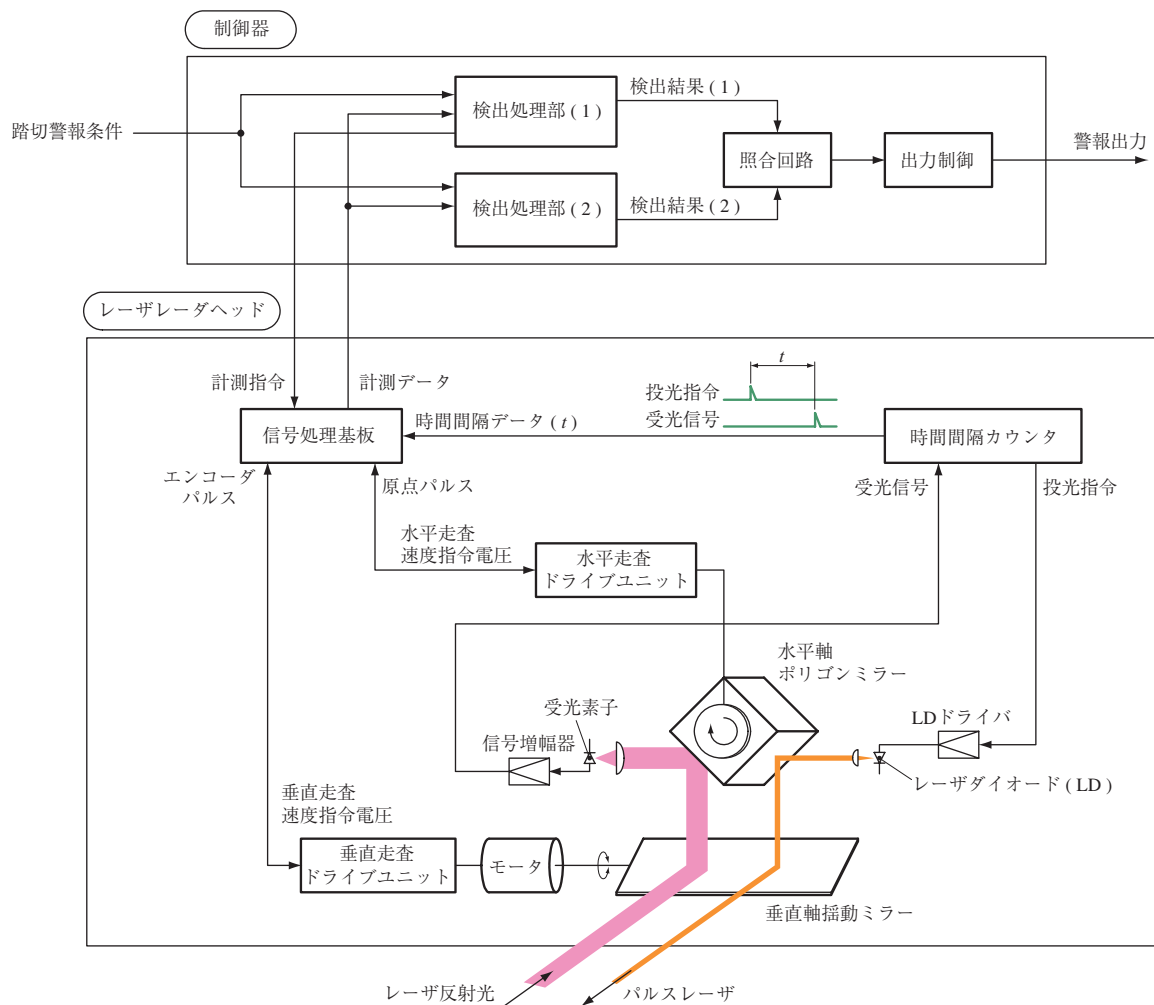
本装置は第4図に示すように、レーザレーダヘッドと制御器から構成されている。レーザレーダヘッドでは、パルスレーザ光（半導体レーザ）をポリゴンミラーと揺動ミラーによって、水平方向および垂直方向に走査し、1秒間に2回の間隔で踏切全体にレーザ光を照射する。物体から反射したレーザ光は、高速・高感度の受光素子によって電気信号に変換される。時間間隔カウンタでは、パルスレーザ光の発光タイミングである投光指令と受光素子から出力される受光信号の時間間隔を基に、対象物との距離を計測する。信号処理部では、ポリゴンミラーと揺

動ミラーの動作制御を行い、反射光が検出された時点の時間間隔（＝距離）、ポリゴンミラーの回転角、および揺動ミラー角度からレーザレーダヘッドを原点とした三次元空間データを測定する。これらのデータは、制御器内の検出処理部に伝送し、物体認識処理をした後、踏切警報条件などの判定条件から障害物であるか否かを瞬時に判定し、警報を出力する。

また、本装置では、検出処理を行うハードウェアを二重化し、二系統の検出結果を照合することで誤動作による検知漏れや誤判定を防止するフェールセーフ機能をもつ。さらに、装置の異常や故障、および、レーザ光の遮りやレーザレーダヘッドの姿勢など装置状態の変化を常時監視する故障診断機能を備えている。

2.3 特長

従来、光遮断方式による踏切障害物検知装置では、線路間に複数組の受光器・発光器を設置する必要があり、分岐器に近い踏切や駅ホームに近接する踏切への設置が困難で



第4図 踏切障害物検知装置の構成
Fig. 4 Configuration of 3-D laser radar railroad crossing obstacle detection system

あった。また、ループコイル方式による装置では、検知コイルを踏切道に埋設するため大掛かりな設置工事が必要であった。

本装置は、レーザレーダヘッドを線路の外側に設置した専用コンクリート柱に取り付け、1台の装置で踏切全体（踏切長 20 m, 幅員 10 m 以下）の監視が可能であることから、従来方式と比べて配置設計や設置工事が容易となり、省スペースで工事期間が短縮できる。光遮断方式においては、通行人による受光器・発光器へのいたずら、光軸ずれ、あるいは降雨時の列車通過による受光器・発光器の汚損などの課題があったが、本装置は路面から 4 m 以上の高さに設置するためこれらの問題はない。ループコイル方式では、検知コイル断線時におけるメンテナンス作業が困難であるが、本装置では断線の心配がなく、保守点検作業が容易であることも大きな長である。

3. 屋外設置機器としての装置化技術

踏切障害物検知装置は、線路脇に設置する屋外機器であり、列車の運行が可能な気象状況下では装置停止が許されない。本章では、屋外設置機器として特に性能要求の厳しい耐振性および耐雷性の検証結果と、さまざまな気象環境に対応するための装置化技術について述べる。

3.1 耐振性

レーザレーダヘッドの振動対策として、内部機器の支持構造について振動解析を行い、耐振技術を反映した部品・構造設計を実施し、JIS E 3014「鉄道信号保安部品—振動試験方法」に基づき試験を行った。レーザレーダヘッド

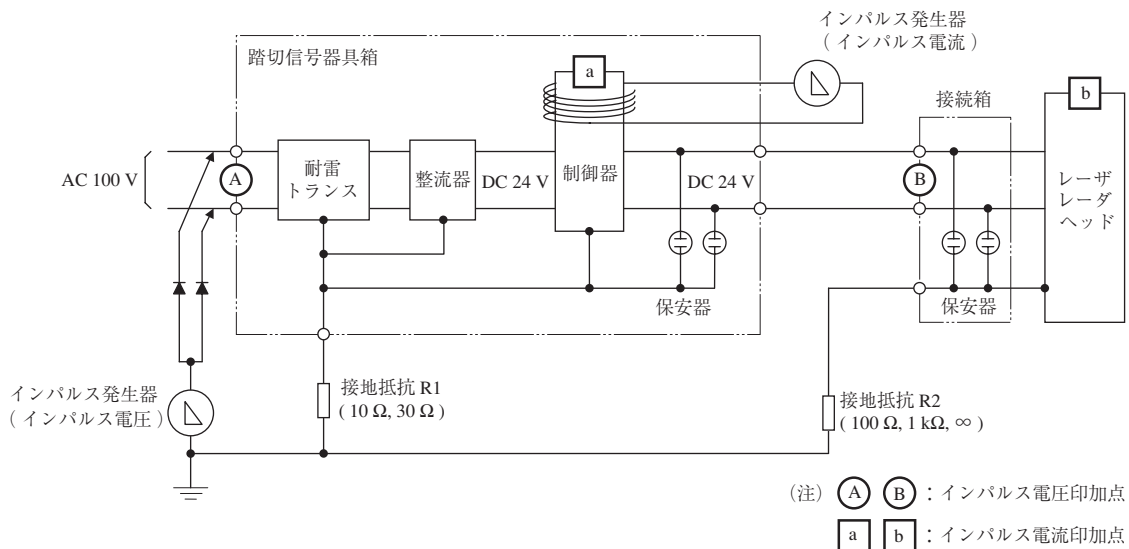
および制御器を加振台にそれぞれ固定し、各機器の動作を行いながら、共振・振動機能試験および振動耐久試験を実施した。試験の結果、最大加振レベル 2.8 G（複振幅、JIS で定めた数値の 2 倍に相当）において 38 分間の加振後、三次元距離計測を行い、計測性能に支障がなく、正常に機能することを確認した。

3.2 耐雷性

誘導雷などの雷害、あるいは交流電化区間におけるトリアキ線電流に起因する電氣的サージの影響を調べるため、インパルス電圧印加試験、およびインパルス電流誘導試験を行った。試験では、本装置の電源ラインに雷害対策用保安器および耐雷トランスを接続し、第 5 図に示す試験回路を構成した。

計測動作中の電源ラインにコモンモードでインパルス電圧（電圧波形 1.2/50 μ s, 波高値 1 ~ 30 kV）を印加し、インパルス電圧が機器に与える影響を調べた。踏切機器の耐圧に相当する最大波高値 30 kV において、インパルス電圧が保安器を経由して接地点に放流され、本装置の動作に影響のないことが確かめられた。

誘導試験においては、計測動作中のレーザレーダヘッドおよび制御器に誘導電線を巻きつけ、インパルス電流（電流波形 8/20 μ s, 波高値 10 kA）を印加した。通電電流は、電線巻数（巻数 1 ~ 9 ターン）を変えることによって変化させた。レーザレーダヘッドでは 40 kA、制御器については試験設備の最大定格である 90 kA までの印加に対し、機器の正常動作を確認した。本試験によって、踏切付近の落雷時に発生する雷電流（10 ~ 20 kA）、ある



第 5 図 電磁インパルス試験回路
Fig. 5 Circuit of electromagnetic impulse testing

いは交流電化区間におけるトリ線電流(2kA)などに相当する電氣的サージの影響を受けることなく、本装置が正常に動作することを実証した。

3.3 耐環境性

3.3.1 耐温度

真夏の太陽光によるレーザーレーダヘッド内部の温度上昇を抑制するため伝熱解析を行い、三重構造^{きょう}筐体を採用した。また、氷点下における装置内外の温度分布評価を行い、レーザーレーダヘッド窓やヘッド内の可動部を加温するためのヒータの容量・配置設計に反映させた。JIS E 3019「鉄道信号保安部品の高温及び低温試験方法」に基づく高温試験(60℃)、低温試験(-20℃)、および、JIS E 3020「鉄道信号保安部品の温度サイクル試験方法」に基づく熱衝撃試験によって屋外設置機器として十分な耐温度性能をもつことを実証した。

3.3.2 耐雪・耐風

雪^び庇、氷柱によるレーザーレーダヘッド窓の遮りを防ぎ、装置への積雪を抑止するため、レーザーレーダヘッドの屋根形状などの筐体設計を行った。降雪地区における屋外試験を実施し、屋根形状を最適化した。また、レーザーレーダヘッドについて、台風や強風による風圧の影響を調べるため、流体解析および構造解析を行い、強度設計に反映させている。

3.3.3 その他

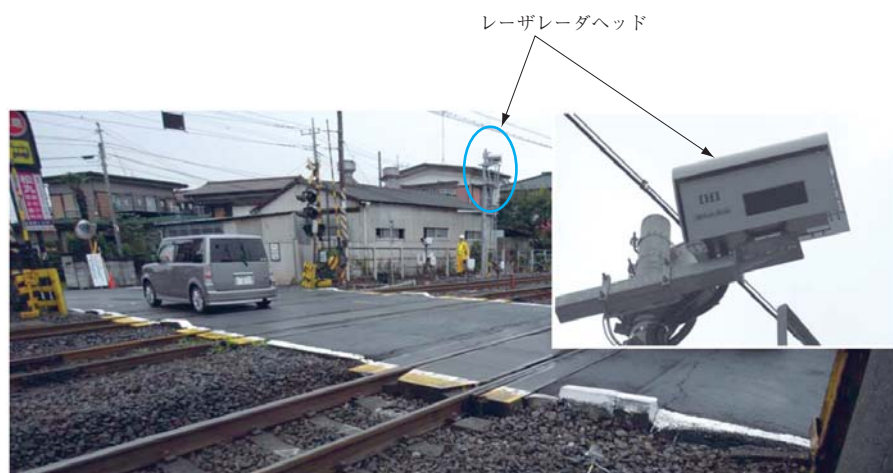
天候、日照、地震などの周囲環境の変化に影響されることなく、装置が健全に稼働することを検証するため、当社工場敷地内に本装置を設置し、1年半以上にわたる動作試験を継続している。

4. 踏切障害物の計測例

本装置は、踏切内の物体検知と追跡を行い、あらかじめ設定した検知条件(監視エリア、踏切警報条件、障害物検知条件など)と比較することによって、踏切内に取り残された物体を障害物として認識し、警報を出力する。本装置の設置状況を第6図に示す。この踏切は、踏切長11.8m、幅員7.4m、線路は3路線である。

この踏切における計測データを画像化した例を、第7図に示す。第7図-(a)は、レーザ反射光を物体からの反射強度に応じてグレースケールで表示したもので、反射強度の高い物体(距離の近い物体)が白く表示されている。第7図-(b)は、レーザヘッドから計測対象部までの測定距離を色分けして表示したもので、距離の近い物体は青、遠い物体は赤で表示している。第7図-(c)は、距離・角度データを基に、踏切を真上から俯瞰したイメージに座標変換処理した画像で、対象物を高さに応じて色分けして表示したものである。本図は、踏切内を自動車^{ふかん}が通過したときの計測結果で、中央に赤い四角形で囲まれている部分が自動車である。踏切の遮断開始後、踏切に自動車が滞留している場合は、障害物として認識し、瞬時に警報を出力する。このデータは昼間に取得したものであるが、本装置はカメラなどを使った画像方式と異なり日照の影響を受けず、また夜間においても照明設備が不要で、昼間と同様に計測が可能である。

なお、本装置は、踏切の形状(踏切長、幅員、路面高さ、路線数など)や、各鉄道会社によって定められた踏切警報条件や障害物検知条件に対して、メンテナンス用の



第6図 踏切障害物検知装置の設置状況

Fig. 6 Installation of 3-D laser radar railroad crossing obstacle detection system

5. 結 言

三次元レーザレーダ技術によって、踏切内に取り残された自動車などの障害物を検知し、警報を出力する新しい踏切障害物検知装置を実用化した。2005年12月に東日本旅客鉄道株式会社南武線営団前踏切（稲田堤～矢野口駅間）に本装置の1号機を設置してから、国内では140か所以上の踏切で本装置が稼働している。

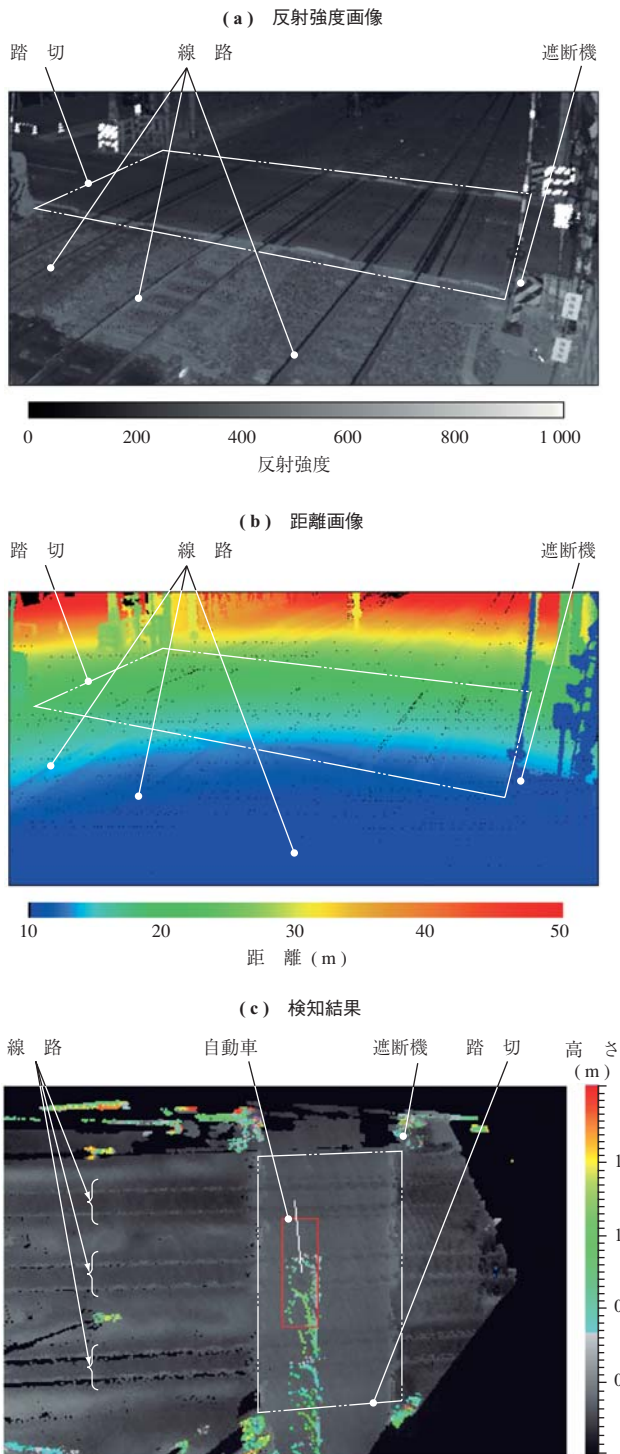
今後は、踏切の安全対策として本装置の導入を強力に推進するとともに、踏切障害物検知以外の用途として、道路交通分野での車両検知、あるいはセキュリティー分野における不審物の監視などに、三次元レーザレーダ技術の適用を拡大していく予定である。本技術は、安全で安心な社会を支える基盤技術として、社会的な貢献ができるものと確信している。

— 謝 辞 —

本装置を実用化するに当たり、関係各位に多くのご協力とご指導をいただきました。ここに記し、深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 関本清英, 久光 豊, 石井正美: レーザを使った形状認識装置 電子技術 Vol.40 No.1 1998年1月 pp.9-12
- (2) 関本清英, 鎌上則夫, 久光 豊, 小野一也, 永田宏一郎: 三次元レーザレーダの開発 石川島播磨技報 Vol.43 No.4 2003年7月 pp.114-117
- (3) 中島康成: 最新の検知システムの開発および導入状況 (ステレオ画像式落下検知装置と3次元レーザレーダ式障検) 信号セミナー 2006年テキスト 2006年10月
- (4) 大田栄一, 山口直輝, 関本清英, 岡島一道: 三次元レーザレーダを用いた障害物検知能力の検証 電気学会「交通・電気鉄道研究会」資料 TER-05-25 2005年5月
- (5) 大田栄一: 三次元レーザレーダ式踏切障害物検知装置の開発 鉄道と電気技術 Vol.17 No.7 2006年7月 pp.29-32



第7図 計測結果例
Fig. 7 Measurement results

操作端末（ノートPC）を接続して検知パラメタを個々に設定できるため、さまざまな踏切へ容易に対応が可能である。