

三次元レーザレーダの開発

Development of 3D Laser Radar for Traffic Monitoring

関本清英	技術開発本部総合開発センター電子機器システム開発部	課長
鎌上則夫	技術開発本部総合開発センター電子機器システム開発部	
久光豊	技術開発本部総合開発センター電子機器システム開発部	
小野一也	技術開発本部総合開発センター電子機器システム開発部	
永田宏一郎	技術開発本部総合開発センター電子機器システム開発部	

物体の位置、形状、速度をリアルタイムに検出する三次元レーザレーダを開発した。当初は、運搬機械の荷役効率化のために、対象物形状を認識する運転支援システムとして開発した。その後、検出速度の高速化と高分解能化を図り、道路や横断歩道上の歩行者や車両などを追尾検出するなど、将来の ITS（高度道路交通システム）への適用を目的としたシステムを開発した。実道実験において、三次元レーザレーダが交通信号制御システムや踏切障害物検出システムなどへ適用でき、悪環境下でも未検出がなく、信頼性が高いことを実証した。

A 3D laser radar system was developed for traffic monitoring to detect the position, form, and speed of an object in real time. The system was originally designed as an operation support system to recognize the forms of objects on transfer machines (conveyors) and facilitate loading and unloading work of objects. In actual road tests, the 3D laser radar system well performed even under bad conditions, and high reliability was confirmed. The combined use of the system with traffic signal control systems, crossing obstacle detection systems, etc. is now expected, with applications to future Intelligent Transport Systems to detect pedestrian and vehicles on roads after upgrading the performance.

1. 緒言

我が国の交通事故件数は、年々増加傾向にあり交通事故死者数は年間 8 000 人（2002 年）を超える。特に 65 歳以上の高齢者の交通事故死者数は、著しい増加傾向にあり、今後の高齢化社会に向けての大きな課題となっている。

このような状況において、1999 年に「高度道路交通システム（ITS）に係るシステムアーキテクチャ」が関係省庁（警察庁、国土交通省、経済産業省、総務省）で策定され、道路交通における歩行者への安全対策として、道路や横断歩道上の歩行者情報を車両のドライバに伝達する方法、車両接近情報を歩行者へ伝達する方法、高齢者など交通弱者への支援を含めた交通信号の現示制御による方法、などが検討されている。一方、ドライバへの安全対策として、前方の障害物情報や見通し不良部の車両情報の提供による方法などが検討されている。これらの安全対策を講じるためには、歩行者や自動車などの位置・速度を検出するセンサが必要である。従来の超音波センサやループコイルなどでは検出対象に限られ、局所的情報しか得られないため、近年カメラ映像を画像処理することによる歩行者・車両検出方法が開発されている⁽¹⁾。画像処理による方法は、

既設の監視カメラを流用できるなどの利点があるが、日照による影や雨・雪などの天候の影響が大きいという問題点がある。

当社では歩行者・車両を確実に検出するために、雨・雪などの悪天候に強く日照などの影響を受けにくいセンサとして三次元レーザレーダを開発したので、本装置の概要と検証実験について紹介する。

2. 装置の概要

2.1 計測原理

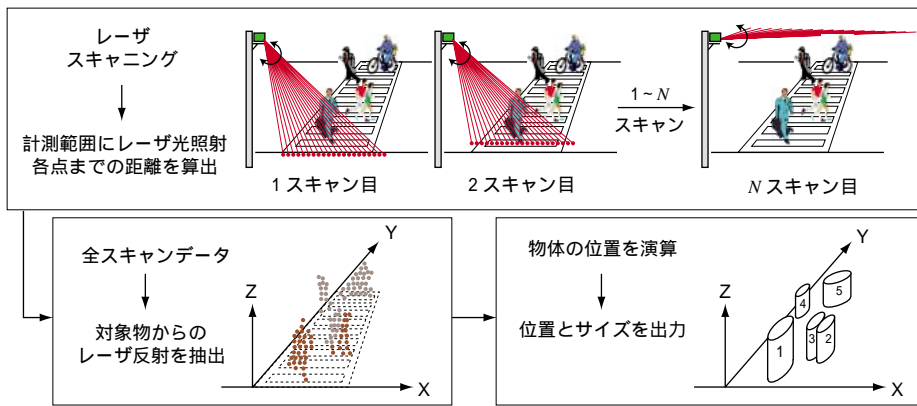
三次元レーザレーダは、パルスレーザ光を対象物へ照射し、反射したパルスレーザ光の帰還時間 t を計測することで、その照射点までの距離 L を次式から算出する。

$$L = c \times t / 2$$

c : 光速

さらにパルスレーザ光を二次元方向にスキャンすることで、対象物各点への方位を求め、三次元形状の計測を行う。

第 1 図に歩行者や車両の検出方法を示す。まず、計測範囲全体にパルスレーザ光を二次元方向にスキャンさせて、各点の三次元座標値を計測する。次に、1 点 1 点の座標値から、路面に対して高さをもった点を抽出する。最後に、



第 1 図 歩行者・車両の検出方法
Fig. 1 Detection method for pedestrians and vehicles

近接した点群を一つの物体として判定し、その位置と形状を求める。以上の動作および処理を繰り返して行うことで、物体の位置の時間変化量から速度を演算し、形状データなどから歩行者、車両などの種別判定を行う。

2.2 構成

三次元レーザレーダは、第 2 図に示すようにレーダヘッドと制御器から構成される。レーザダイオードから発振されたパルスレーザ光は、投光レンズで平行光に整形され、回転・揺動するポリゴンミラーで二次元方向に走査され、測定対象物に照射される。測定対象物から反射されたパルスレーザ光は、ポリゴンミラーを介して受光レンズで集光され、光検出器で電気信号に変換される。

制御器内の時間間隔カウンタは、レーザダイオードのパルス発振タイミングと同期したスタートパルスと、光検出器から出力されたストップパルスの時間間隔を計測する。信号処理ボードは、反射光が検出された時点の時間間隔データ t 、ポリゴンミラーの回転角度 θ 、揺動角度 ϕ を極座標系データ (t, θ, ϕ) として出力する。判定処理ユニットは、信号処理ボードからの極座標データを、レーダ

ヘッド設置位置を原点とした三次元空間データ (X, Y, Z) へ変換して、検出処理を行う。

2.3 仕様

第 1 表に三次元レーザレーダの仕様を示す。計測範囲は、水平方向 60 度 \times 垂直方向 30 度の領域内で、ポリゴンミラーの回転角度と揺動モータの揺動角度で機械的に定まる。検出時間は、第 1 図に示す 1 スキャン目から N スキャン目までの所要時間に等しく、ス

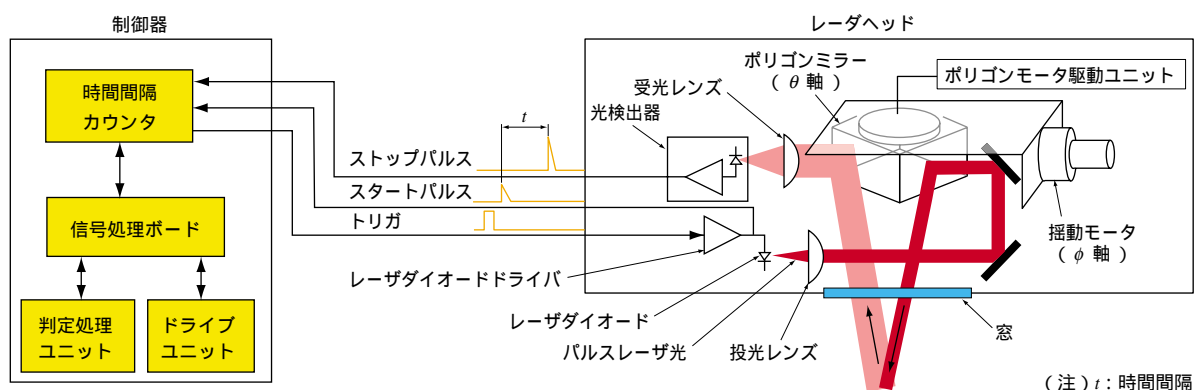
キャン数 N などの値によって $0.2 \sim 0.5$ 秒となる。

3. 応用例

3.1 交通信号制御のための歩行者検出性能検証実験

横断歩道上の体の不自由な人や高齢者などの交通弱者を検出して、歩行者信号の青時間を延長する制御と、横断歩行者数や横断待ちの人数を検出して、効率的な交通信号制御を行うために、三次元レーザレーダを用いた歩行者検出性能の検証実験を行った。第 3 図に示すように、三次元レーザレーダを実際の交差点に仮設して、横断歩道および周辺部の歩行者の位置・人数・速度を検出するとともに、歩行速度から交通弱者を判定した。実験では、歩行者の位置・人数・速度の検出結果を正確に検証するために、レーダヘッドの横に監視カメラを併設して、三次元レーザレーダの歩行者位置検出結果を監視カメラ映像上に重ね合わせて録画し、実際の状況とを比較した。

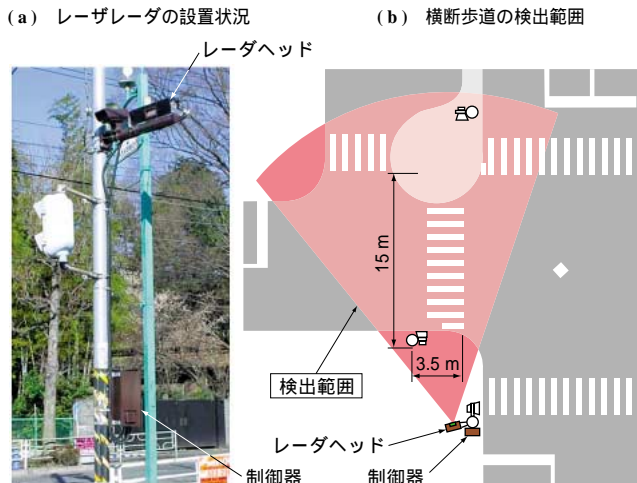
第 4 図に監視カメラ映像に三次元レーザレーダの検出結果を重ね合わせて表示した結果の一例を示す。横断中および横断待ちの人と横断歩道上の車両の位置検出結果は、監



第 2 図 三次元レーザレーダの構成
Fig. 2 Configuration of 3D laser radar

第 1 表 三次元レーザレーダの仕様
Table 1 Specifications of 3D laser radar

項目	仕様	
検出対象	車両(自動二輪を含む), 歩行者, 自転車, 障害物など	
検出内容	位置と速度の検出, 種別の判定	
計測範囲	水平画角(度)	60
	垂直画角(度)	30
	範囲(m)	50(最大)
略図		
検出時間(s)	0.2 ~ 0.5	
位置検出精度(m)	±0.1 m レーダヘッド位置から視認できる物体の表面で, レーダヘッドに最も近い部分の位置検出精度	
速度検出精度	対象速度(km/h) 0 ~ 120 計測精度(km/h) ±5	



第 3 図 三次元レーザレーダ設置状況と検出範囲
Fig. 3 Setup of 3D laser radar and detection area

視カメラ映像上にそれぞれ種別判定して表示され, 正しく検出されていることが分かる. また, 今回の実験では, 交通弱者の歩行速度を 0.9 m/s 以下と仮設定し, 通常の歩行者と区別して検出できることも確認した. また横断歩道上の車両を歩行者と分離して検出でき, 信号制御用センサと



第 4 図 交差点内検出結果
Fig. 4 Detection of objects in an intersection area

して適用できることが実証できた.

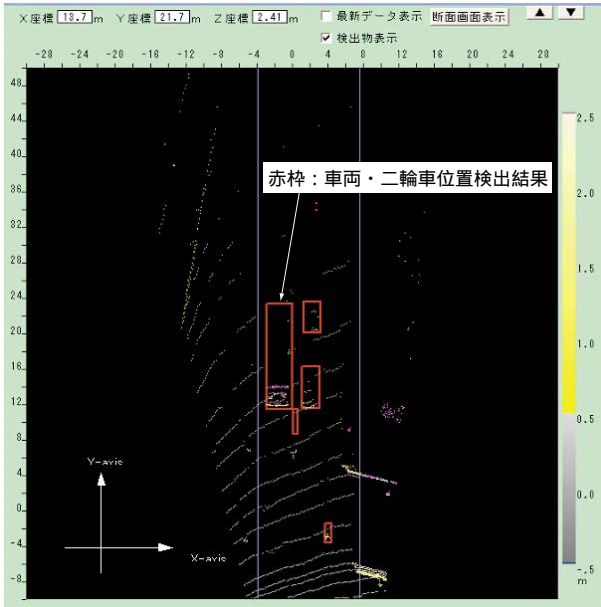
3.2 車両検知への応用

見通し不良道路の対向車両や, 右左折時における車両間をすり抜けてくるバイクなどの接近車両を検出して, ドライバへ情報提供するために, 車両検出性能について検証実験を行った. 本実験でも, 車両位置などの検出結果を正確に検証するために, レーダヘッドの横に監視カメラを併設して, 三次元レーザレーダの検出結果を監視カメラ映像上に重ね合わせて録画し, 実際の状況とを比較した.

第 5 図に, 夜間でドライバが前方を正確に視認することが困難な状況での検出結果の一例を示す. 監視カメラ映像では大型車と普通車が接近している様子をようやく認識することができるが, 三次元レーザレーダ検出結果から, 大型車と普通車の間に二輪車が走行し, 路側帯にも二輪車が走行していることが認識できている. このときの検出結果を平面投影表示した画面は, **第 6 図**のようになる. ここで, 等高線模様の 1 点 1 点は, 道路面へのレーザ照射位置を表



第 5 図 車両検出結果
Fig. 5 Results of vehicle detection



第 6 図 三次元レーザレーダ検出データ
Fig. 6 Data detected by 3D laser rader

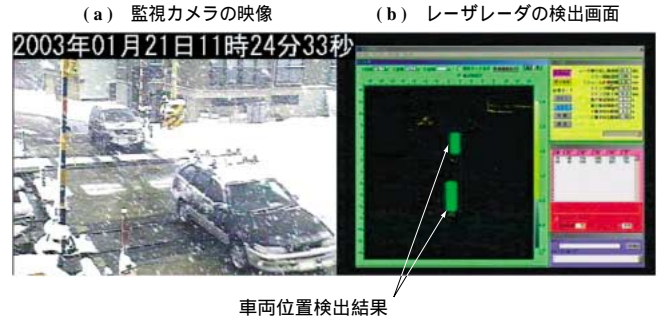
し、道路面以上の高さをもつ近接した点群は車両（四輪車および二輪車）である。検出結果は赤枠で表示され、物体の幅から四輪車が二輪車の判定が可能となる。今回の試験では、最高速度 120 km/h までの車両の追尾検出が可能であった。

3.3 積雪寒冷地での踏切障害物検出への応用

東日本旅客鉄道株式会社と共同で、三次元レーザレーダを、降雪量の多い上越線越後湯沢駅付近の踏切に仮設し、踏切の障害物検出性能を検証した。本装置を第 7 図のように踏切近傍のスパン線柱に設置し、2003 年 1 ~ 2 月に連続で検証実験を実施した。実験は、計測範囲内の車両およ



第 7 図 三次元レーザレーダ設置状況と検出範囲
Fig. 7 Setup of 3D laser radar and detection area



第 8 図 障害物（車両）検出結果
Fig. 8 Results of obstacle (vehicle) detection

び歩行者を検出し、レーダヘッド横に併設した監視カメラの映像と時刻同期させて記録することで、検出率などを検証した。

実験期間中 1 日の降雪量が最も多かった 2003 年 1 月 21 日（降雪量 55 cm/d）の検出結果の一例を第 8 図に示す。第 8 図 - (a) は監視カメラの映像を、第 8 図 - (b) はそのときのレーザレーダ検出結果画面を示す。緑色の矩形は車両の検出結果を表しており、降雪時でも正しく検出していることが分かる。本実験では 1 ~ 2 月の全期間において歩行者・車両の検出漏れがないことが確認され、降雪時でも三次元レーザレーダが踏切障害物検出装置として適用できることを実証した。

4. 結 言

三次元レーザレーダを開発し、実道での性能検証実験の結果、さまざまな環境下で、歩行者や車両を漏れなく検出が可能であることを実証した。また、装置自身が長期間安定して動作することを実証した。今後、実配備によって、交通の安全性および利便性の向上のために貢献していく所存である。

一方、三次元レーザレーダは、物体の位置と形状を非接触でリアルタイムに計測が可能であるため、歩行者や車両の検出以外にもさまざまな応用が考えられ、適用分野の拡大を図っていきたい。

参 考 文 献

- (1) MURATA Shigeo, HARUYAMA Tetsuo, KOBAYASHI Takaaki : Self-Diagnosis of Visible Image Sensor for Advanced Cruise-Assist Highway System Proceedings of 7th World Congress on Intelligent Transporting Systems No. 3162 2001 年