

小型三次元レーザーレーダの開発

Development of Compact 3D Laser Radar

高野 武 寿	技術開発本部総合開発センター電機システム開発部	主査
山口 真	技術開発本部総合開発センター電機システム開発部	
平岩 勇 樹	技術開発本部総合開発センター電機システム開発部	
寺内 強	技術開発本部総合開発センター電機システム開発部	
中村 寿 夫	技術開発本部	技監

自律移動ロボットにおける周囲環境計測や、セキュリティ・セイフティー分野向けに、計測性能を限定した高速かつ小型な三次元レーザーレーダを、これまでの三次元レーザーレーダの技術を基に開発した。光学系の最適化や電子回路を新規開発した結果、従来寸法比 1/3 (190 × 100 × 210 mm) と小型で、毎秒 10 回 (従来比 5 倍) の高速計測が可能な装置を完成した。開発した装置の性能は、反射率の低い黒色物であっても、屋外の 2 ~ 9 m の距離において ± 30 mm の距離精度で計測が可能である。

Based on the IHI 3D laser radar technology, a high-speed and compact 3D laser radar have been developed for autonomous vehicles or security and safety purposes. Down-sizing of the 3D laser radar was achieved by optimized design of the optical scanning mechanism. The optimized design also provides more rapid operation. High-speed electronic modules have been designed to adapt to high-speed optical scanning. As a result, the size of the 3D laser radar has been reduced to 190 × 100 × 210 mm, and high-speed processing of 10 frames per second has become possible. This radar can acquire a 3D image in the sunlight. The radar distance range is limited to two to nine meters, and the distance accuracy is within plus-minus 30 mm even if the surface of the target object is dark and has low reflectance.

1. 緒 言

近年のコンピュータの処置能力の向上に伴い、移動ロボットなどにおいて、周囲環境の三次元情報を直接計測して障害物を検知し、自律移動を行う試みがなされており、またセキュリティ・セイフティー分野においても信頼性の向上を目的として、同様の試みがなされつつある。

これらの試みでは、周囲環境の三次元情報を取得する手段として、複数の二次元距離センサを組み合わせる方法が採用されている。センサから得られる情報が特定断面の二次元情報であることから、複数のセンサを直行するように配置するなどさまざまな工夫がなされているが、満足できる結果が得られていないのが現状である。このため、三次元情報を直接高速高精度に測定できる小型のセンサが求められている。

当社では、踏切における障害物検出などに適用している汎用の高性能三次元レーザーレーダ⁽¹⁾をすでに製品化しているが、移動ロボットに搭載するには大きすぎる。今回、この汎用の高性能三次元レーザーレーダを基に、自律移動ロボットへの搭載を目的とした小型三次元レーザーレーダを開

発したのでその概要を述べる。

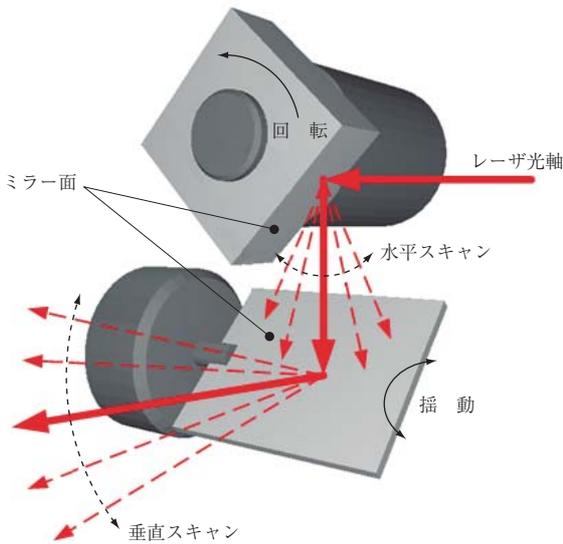
2. 三次元レーザーレーダの概要

レーザを用いた距離測定方法としては、パルス状のレーザ光を測定対象に照射し、反射光が戻ってくるまでの時間から距離を算出する方法と、振幅変調をかけたレーザ光を測定対象に照射し、反射光の位相から距離を算出する方法の 2 種類がある。

当社の三次元レーザーレーダは、前述のパルスレーザ方式を採用しており、ビーム走査機構 (第 1 図) によってレーザ光の照射方向を二次元的にスキャンさせながら距離を連続的に測定し、対象物体までの距離と方位の三次元情報を直接取得する装置である。第 2 図にレーザーレーダの動作概要を示す。

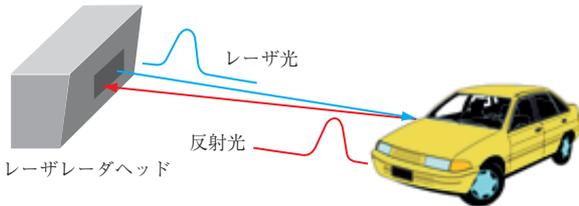
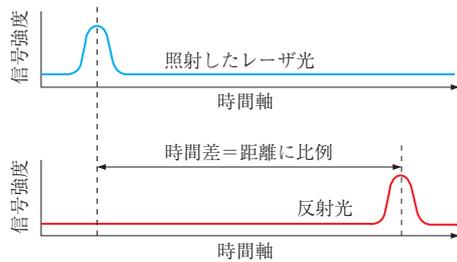
3. 開発目標の設定と課題の抽出

本装置の開発に当たり、装置の目的を移動ロボット上に設置して、障害物検知などの自律制御を行うために必要な周囲環境の三次元情報を計測することとして、第 1 表に示す目標性能を設定した。

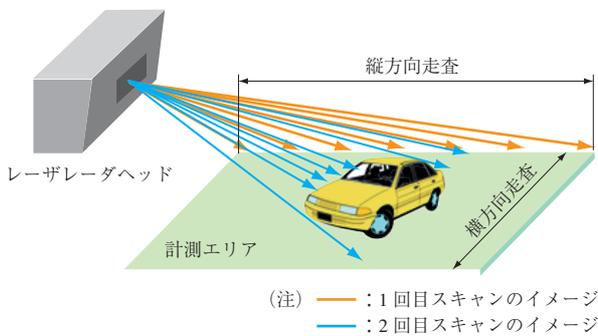


第1図 ビーム走査機構の例
Fig. 1 Example of optical beam scanner

(a) パルスレーザー方式による距離計測



(b) 二次元的なスキャン



第2図 レーザレーダの動作概要
Fig. 2 Outline of laser radar operation

第1表 目標性能
Table 1 Target specifications

項目	目標値	既存装置(参考)
使用場所	屋内および屋外	屋内および屋外
外観寸法(mm)	W160 × H100 × D200	W570 × H336 × D300
計測可能距離(m)	2 ~ 10	100 (最大)
視野角	水平(度)	60
	垂直(度)	17 (広角時:45)
計測速度(回/秒)	10 (広角時:4)	2 ~ 5

第1表から明らかなように、装置の小型化と計測速度の向上が実用化に向けた課題である。

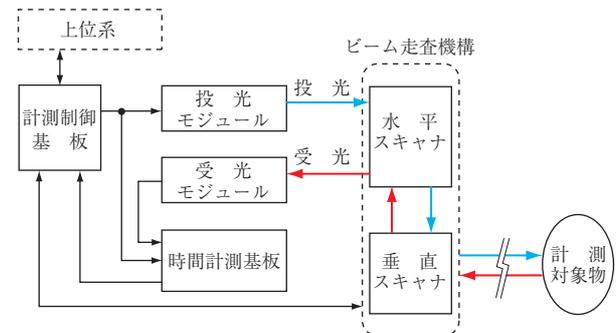
4. 三次元レーザーレーダの小型化

三次元レーザーレーダのブロック図を第3図に示す。第3図から明らかなように、レーザーレーダの寸法に大きく影響する構成要素は、パルスレーザーの投光・受光光学系を含むビーム走査機構と、計測制御基板類である。今回の開発では、投光・受光光学系とビーム走査機構についてまず小型化を進めた。

ビーム走査機構の寸法は、投光ビームサイズと受光レンズの口径によって決まる。また、レーザーレーダの計測可能距離は主にレーザー強度や受光レンズ口径などによって決まり、たとえば、受光口径と計測可能距離はほぼ比例することが知られている。今回、目標計測可能距離 10 m に合わせて、光学系の仕様を最適化した結果、投光・受光光学系をこれまでの1/3以下に小型化できた。

光学系を小型化できた結果、これまで対向配置とせざるを得なかった投光モジュールと受光モジュールを並列に配置することが可能となり、ビーム走査機構の幅を大幅に低減することができた。

投光・受光モジュールを並列に配置した場合、受光モジュールが投光モジュールから発生される電磁的ノイズの



第3図 三次元レーザーレーダのブロック図
Fig. 3 Block diagram of 3D laser radar

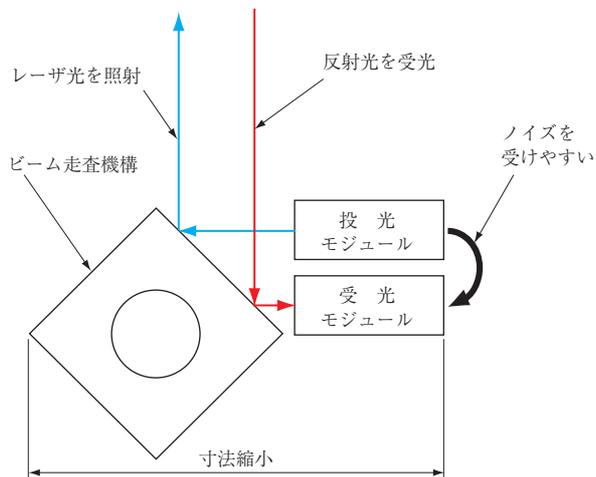
影響を受け距離の計測精度が悪化する問題が予想される。
第4図に投光・受光の光路配置を示す。

本装置では投光・受光モジュールの双方において絶縁や遮へいなどの対策を徹底することによって、ノイズを計測に影響ないレベルまで低減した。計測制御基板に関しては、次章に述べる高速化と併わせて回路の見直しを行い、目標サイズ以内に収めることができた。

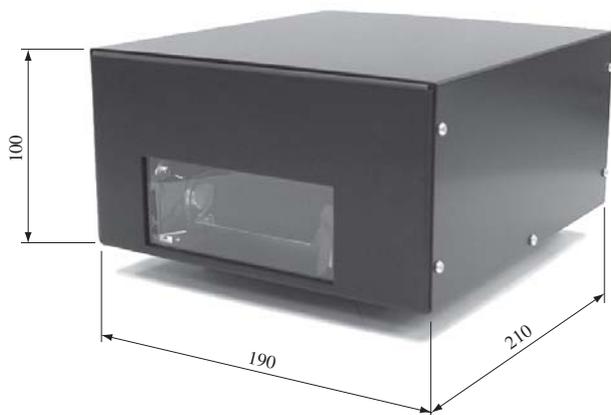
以上の対策を講じた結果、当初目標を若干超過するものの、幅 190 mm、高さ 100 mm、奥行き 210 mm の装置寸法を実現した。第5図に小型三次元レーザレーダ外観を示す。

5. 三次元レーザレーダの高速化

三次元レーザレーダの計測速度にかかわる要素としては、パルスレーザ光の照射周期、ビーム走査機構の機械的



第4図 投光・受光の光路配置
Fig. 4 Optical path arrangement



第5図 小型三次元レーザレーダ外観 (単位: mm)
Fig. 5 Outer-view of compact 3D laser radar (unit: mm)

駆動速度と、計測値から三次元情報を演算するためのデータ処理速度の2点がある。

5.1 ビーム走査機構

三次元レーザレーダのビーム走査機構は、水平方向に回転するポリゴンミラーと垂直方向に遙動運動する平面ミラーを組み合わせて、レーザ光線の光軸を二次元的に走査している(第1図参照)。今回、投光・受光光学系の見直しによって、必要とされるミラーの寸法が小さくなりポリゴンミラーの風損や平面ミラーの慣性重量を低減できた。この結果、ビーム走査機構の駆動速度を、水平方向で既存装置比9倍、垂直方向で5倍と高速化することができた。

一方、計測ピッチを一定に保つためには、ビーム走査機構の高速化に対応して、パルスレーザ光の照射周期を高速化する必要があるが、新たな投光モジュールを採用することで、これまで以上にきめ細かな計測を可能とした。

5.2 データ処理

本装置におけるデータ処理部は、距離測定のために投光と受光の時間間隔を測る時間計測部と、ビーム走査機構の走査角度と時間計測部によって得た時間間隔とから三次元情報を演算し、上位システムに対して結果を送信する計測制御部によって構成される。

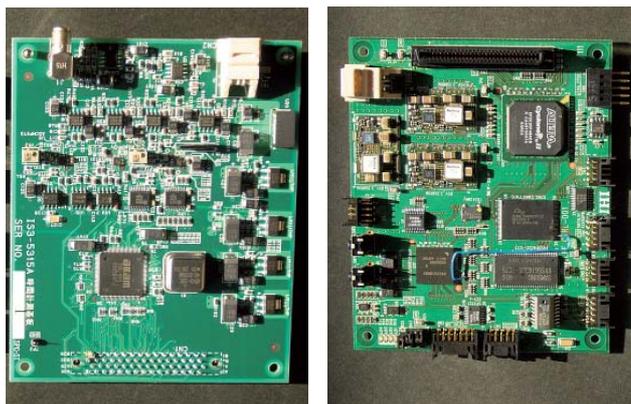
時間計測部は、レーザ光が計測対象物まで往復する時間をレーザの投光周期以内で繰り返し計測する高速性が必要とされる。既存の時間計測部はアナログ回路で実現されており、計測結果の読み込みにA/D変換回路が必要とされるなど、高速化と小型化が難しかった。今回、時間計測回路の全デジタル化に取り組み、最小繰り返し計測間隔1マイクロ秒、距離分解能4mmと高速、高分解能な時間計測基板を開発した。第6図-(a)に時間計測基板を示す。

計測制御部は、データの収集・演算から上位システムへの通信までの一連の処理を計測の高速化に対応して、データの欠損なく実行できる処理性能が求められる。

本装置の場合、寸法と消費電力の制約から高性能のCPUの採用が難しいため、演算処理の大半をハードワイヤードロジックで構築し、データ送信などの上位系との通信処理をCPUで分担する構成を採用した。この結果、携帯型情報端末などに用いられる小型で安価なCPUで十分となり、FPGA(Field Programmable Gate Array)の採用と併せて計測制御基板をこれまでの1/5以下と小型化できた。第6図-(b)に計測制御基板を示す。

(a) 時間計測基板

(b) 計測制御基板



第 6 図 データ処理用基板

Fig. 6 Circuit board

6. 計測性能の評価

レーザレーダは反射光を用いて距離計測を行うため、反射して戻ってくる光量によって計測性能が影響を受ける。具体的には、反射率の低い物体が遠方に存在する場合は、十分な光量が得られずに計測に失敗する。また、反射率が高い物体が近傍に存在する場合は、光量が強すぎて受光モジュールが電気的に飽和して大きな計測誤差が発生することがある。

このため、反射率の低い物体として黒ラシャ紙を、反射率の高い物体としてコピー用紙を用いて性能を評価した。第 2 表に計測性能評価結果を示す。

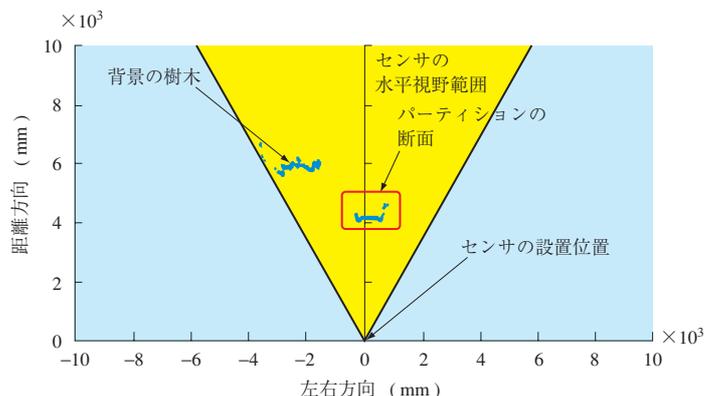
また、屋外で計測を行った場合、太陽光による誤計測が発生する可能性があることから、晴天の屋外において誤計測の有無を確認した。太陽光による誤計測が発生した場合、実際の距離とは無関係な距離データが得られる。計測対象物としてパーティションを設置し実験した結果 (第 7 図)、異常な距離データはなく、誤計測が発生していないことを確認した。

屋外での計測の例を第 8 図に示す。同図の下段は本セ

第 2 表 計測性能評価結果

Table 2 Results of performance evaluation

項目	計測対象	単位	評価結果
計測限界距離	コピー用紙	m	2 ~ 27
	黒ラシャ紙	m	2 ~ 9
計測精度	コピー用紙	mm	26 (1 σ)
	黒ラシャ紙	mm	30 (1 σ)
分解能	水平度		0.85
	垂直度		0.18
	距離	mm	4



(注) 図は平面プロットを示す。

第 7 図 三次元情報の水平断面図

Fig. 7 Horizontal section diagram of 3D image



(注) 上段：計測場所のカメラ映像
下段：レーザレーダでの三次元計測画像

第 8 図 三次元計測例

Fig. 8 Example of evaluation

ンサによる計測結果を擬似的に三次元表示したもので、近距離の物体が赤、遠距離が青となるよう距離に比例して連続的に変化する色で示している。

7. 結 言

幅 190 mm, 高さ 100 mm, 奥行き 210 mm で、毎秒

10回の三次元計測が可能であり、かつ屋外での計測が可能な小型三次元レーザーレーダを開発した。計測精度は±30 mm以内と高精度を実現し、反射率の低い黒い物体の場合でも9 mの距離までの計測が可能である。

今後、計測可能距離範囲の改善を図るとともに、移動体への搭載を想定した障害物検知、周囲計測の用途やセーフティ・セキュリティ用途などでの製品化を目指す。

参考文献

- (1) 関本清英, 鎌上則夫, 久光 豊, 小野一也, 永田宏一郎: 三次元レーザーレーダの開発 石川島播磨技報 第43巻第4号 2003年7月 pp. 114 - 117