

# 不整地移動ロボット搭載用吊下げ型三次元距離センサユニットの開発

Development of hanging 3D-laser-range-sensor for adaptation of rough terrain for mobile robot

正 吉田 和哉, 正 永谷 圭司, 関口 晃博, 水内 健祐 (東北大院)

sekiguchi@astro.mech.tohoku.ac.jp

Kazuya YOSHIDA, Keiji NAGATANI, Akihiro SEKIGUCHI, Kensuke MIZUUCHI (Tohoku University)

For disaster mitigation, getting environmental information of earthquakes and volcanic eruptions is very important. However, it is very dangerous for people to go into such dangerous places. Therefore it is expected to use mobile robots for search tasks in such an environment instead of people. In such an environment, one of the important information is three dimensional (3D) map to understand situation and to navigate mobile robots. However, because of bumpy terrains, sensors fastened to robot's body are inclined, and the acquired data is tilted in this case. To solve such a problem, we developed "hanging 3D-laser-range-sensor unit". It consists of a 3-D range sensor (a 2-D laser range sensor attached to a rotational stage) and hanging mechanism for compensation of robot's incline. In this paper, we explain details of our developed sensor unit and introduce results of sensing experiment in real environment.

Key Words : 3D-laser-range-sensor, hanging type sensor

## 1 緒言

日本は環太平洋山地帯に位置しているため、造山活動が活発である。そのため、地震や火山の噴火が多い。近年でも阪神・淡路大震災に代表されるような大きな地震や、有珠山や三宅島の噴火など、地震や火山の噴火により多数の被害が出ている。このような自然災害の現場において、被害を軽減するため以下の調査が必要となる。

- 地震による要救助者探索のための建物内の調査
- 火山噴火時の噴火規模の調査

しかし、このような環境において、人が実際に調査を行うことは、二次災害の危険が伴うため望ましくないため、ロボットを活用した調査が期待されている。本研究では、主に「地震による倒壊環境」や「火山火口付近の環境」を対象としたロボット活用技術に関する研究開発を進めている。ここで、対象とする環境は一般に不整地であるため、ロボットの遠隔操作ならびに環境情報の獲得には、視覚情報のみならず、三次元の環境情報が有効である。Fig.1 は本研究で開発した三次元距離センサを用いて獲得した、小規模クレーターの距離情報のイメージを表したものである。このような距離情報のイメージは、視点移動が可能のため、地形情報が判断しやすいという利点がある。本研究では、このような情報を獲得することが可能なセンサシステムを移動ロボットに搭載することとした。

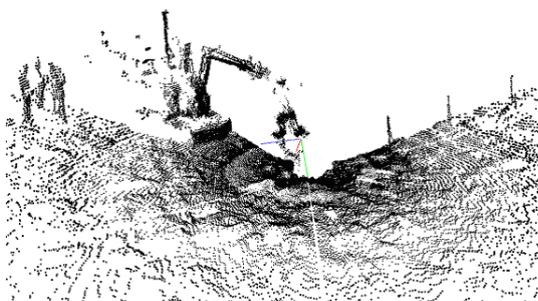


Fig. 1 三次元距離情報によるイメージ例

ここで、不整地をロボットが移動する際、センサをロボットに固定するとセンサが傾き、得られるデータも傾斜してしまうという問題が生じる。この問題は、センサによりロボットの傾斜を測定し、以下のような手法をとることで解決できる。

1. センサが地面と水平となるように、アクチュエータを用いてセンサ自体を傾ける。
2. 獲得したセンサ情報をソフトウェア的に水平となるように回転させる。

しかし、1) については、軸にアクチュエータを必要とするという点、2) については、ロボットの姿勢に応じて獲得可能なセンサ情報エリアが異なるという点で問題が生じる。そこで本研究では、受動的にセンサが水平を保つ機構の開発を行うこととした。具体的には、センサをロボットに搭載する際、センサの自重によってセンサを水平に保つことが可能な吊下げ型の機構を導入する (Fig2)。本研究では、このような機構を有する「不整地移動ロボット搭載用吊下げ型三次元距離センサユニット」の開発を行うことにした。本稿では、開発したセンサユニットの詳細ならびに実環境を用いた情報獲得実験の結果について述べる。

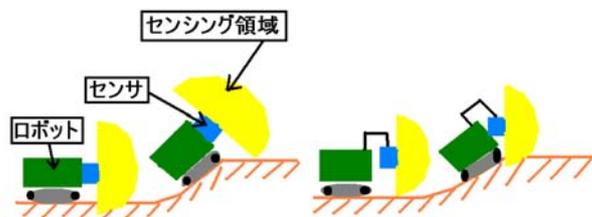


Fig. 2 センサ固定の場合 (左) と吊下げ型の場合 (右)

## 2 センサユニットの構築

ロボットが、不整地移動中においても、センサは常に水平を保つ受動的機構の開発を行うにあたり、センサユニットの製作を行った。設計要求は以下の通りである。

1. 屋外における広範囲の三次元距離情報の獲得

2. ロボット本体が傾いても，センサはメカニカルに常に水平を保つ受動機構
3. ロボットの傾きに際し，すみやかに振動を吸収
4. センサを回転させた際に，自身の動きによって励起される傾きを抑制

### 2.1 三次元距離情報獲得センサ

設計要求 1) を満たしたセンサとして，レーザーの到達距離が 30 [m] である SICK 社製レーザーレンジセンサ LMS291 を使用した．このセンサは，平面内において 180 [deg] を 0.5 [deg] 刻みに 361 ポイントの距離情報を得ることができる．そこで，センサを用いて垂直方向に 180 [deg] の範囲でセンシングを行いながら，センサを回転ステージで水平方向に 360 [deg] 回転させることでセンサ周囲の三次元距離情報を取得する (Fig.1)．なお，回転ステージには中央精機株式会社製回転ステージ ARS-936-HP を使用した．



Fig. 3 センシング方法

### 2.2 吊下げ機構の導入

設計要求 2) を満たす機構として，垂直な 2 軸を使用した吊下げ機構を導入することとした．この機構により，重心位置を調整すれば，センサの自重により，あらゆる方向の傾きに対して，受動的に常に水平を維持することができる．

また，設計要求 3) を満たす機構として，回転軸にディスクダンパを導入した．ディスクダンパには高千穂交易株式会社製ディスクダンパ FDT-47A-203 (Fig.4) を使用した．



Fig. 4 製作した吊下げ機構

### 2.3 ディスクダンパによる振動収束の評価

ディスクダンパの有用性を確かめるため，振動収束の評価を行った．まず，センサユニットを吊下げ，約 20 [deg] 傾けてから離し，振動が収束するまでに要する時間を測定する．実験の様子ならびに実験の概念図を Fig.5 に示す．なお，測定の際には，初期位置においてセンサユニットが水平となるように水平器を使用して調整し，センサの傾斜角度を測定するため，傾斜センサをセンサユニットに取り付けて測定を行った．

実験により得られた結果を Fig.6 ~ Fig.8 に示す．実験結果において，ダンパ 2 個の場合には垂直な 2 軸にそれぞ

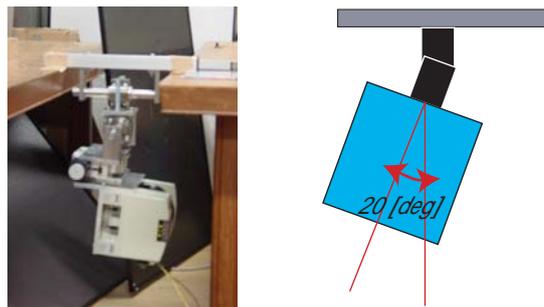


Fig. 5 振動収束の測定実験の様子ならびに実験の概念図

れダンパが 2 個ずつ入っており，ダンパ 1 個の場合には 2 軸にそれぞれダンパが 1 個ずつ入っている場合を示す．

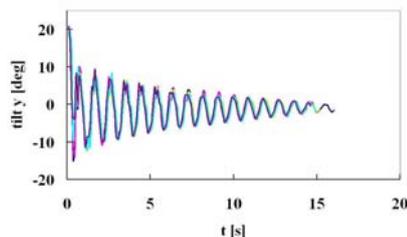


Fig. 6 ダンパ無し

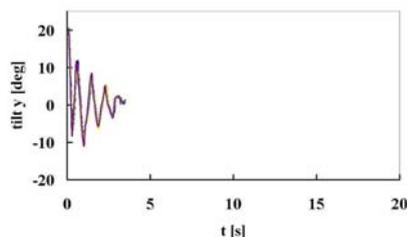


Fig. 7 ダンパ 1 個

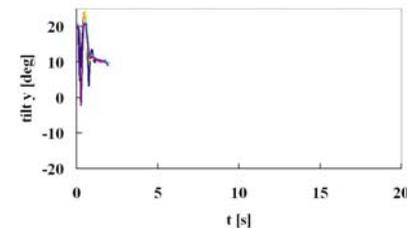


Fig. 8 ダンパ 2 個

実験結果より，振動収束に要する時間は，ダンパ無しでは約 15 [sec]，ダンパ 2 個では約 2 [sec]，ダンパ 1 個では約 3 [sec] であった．このことから，ダンパの効果により，振動収束に要する時間が 10 [sec] 以上短縮されたことが分かった．

しかし，ダンパ 2 個の場合は振動が収束して静止した際に，センサ部分が約 10 [deg] のオフセットを持ったまま静止してしまう場合があった．

### 2.4 センサのバランス調整について

設計要求 4) を満たすため，センサの重心位置が回転ステージの回転中心軸にできるだけ近くなるようにセンサユニットの設計を行った (Fig.9)．しかし，以下の要件が満たされなければ，センサを回転中にセンサ自身が傾いてしまう．

1. 回転ステージの回転中心と回転ステージの重心が一致すること
2. 回転ステージの回転中心軸上にセンサの重心がくること

この問題を解消するためには、カウンターウェイトを取り付けることによって重心位置の調整を行う必要がある。

そこで本研究ではまず、垂直な2軸を含む吊下げ機構と回転ステージから成るセンサユニットの上部にカウンターウェイトを取り付け、重心位置の調整を行った。次に、センサも含めたセンサユニット全体の重心位置の調整をカウンターウェイトを用いて行うことで、回転ステージの回転中心とセンサの重心位置が一致するようにバランスをとることとした。これにより、センサを回転中、センサは常に水平面を保つことが可能となった (Fig.10)。



Fig. 9 SICKの重心位置



Fig. 10 センサユニット

### 3 センサユニットによるセンシング実験

2006年3月にIHIエアロスペースにおいて、不整地走行ローバを使用した災害救助技術のデモンストレーションを行った。その際、Fig.11に示す不整地走行ローバに開発したセンサユニットを搭載してセンシング実験を行った。



Fig. 11 不整地走行ローバ

このセンシング実験においては、不整地走行ローバの周囲の映像を取得するため、センサユニットの下に大阪大学が開発した全方位カメラを取り付けた (Fig.10)。

今回のデモンストレーションでは、センサユニットを用いて得られたイメージに、全方位カメラを用いて得られたローバ周囲の映像を貼り付けた。このことにより、ローバ周囲の映像を三次元表示し、視点移動することが可能となり、災害現場などにおいてロボット周囲のより詳細な情報を得ることができる。センサユニットにより得られた三次元距離イメージを Fig.12 に、全方位カメラの映像を貼り付けたイメージを Fig.13 に示す。

このセンシング実験により、ロボットが不整地を移動している最中においても、センサユニットは常に水平を維持することができ、センシングにより得られたイメージも歪みなく表示できることが分かった。また、センサユニットを用いて得られたイメージに、全方位カメラを用いて得られた映像を貼り付けることにより、視点移動が可能な三次元映像を作成し、これによりロボット周囲の詳細な情報を獲得できることを確認した。さらに、カウンターウェイト

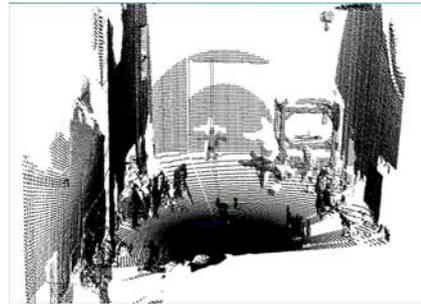


Fig. 12 センサユニットを用いて得られた三次元距離イメージ



Fig. 13 全方位カメラの映像を貼り付けたイメージ

は可動式となっているため、センサユニットの下に他の機器を取り付けても、カウンターウェイトの位置を調整することで重心位置の調整を行えることが実証された。

### 4 結言

本研究では、不整地上でロボットが傾いても、センサはメカニカルに常に水平を保つための受動的機構を有する「不整地移動ロボット搭載用吊下げ型三次元距離センサユニット」の開発を行った。またこのセンサユニットを使用して実環境においてセンシング実験を実施し、その有用性を確認した。さらに、センサユニットを用いて得られたイメージに、大阪大学が開発した全方位カメラを用いて得られた映像を貼り付けることにより、視点移動が可能な三次元映像を作成することができた。この三次元映像により、ロボットを遠隔操作する際に、ロボット周囲のより詳細な情報を得ることが可能となった。

### 5 謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「火山爆発のダイナミクス」、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 SCOPE-Rプロジェクトの一環として実施したものである。

### 参考文献

- [1] 井田 喜明：“平成 17 年度科学研究費補助金特定領域研究 研究状況報告書「火山爆発のダイナミクス」
- [2] 谷口 宏充, 市原 美恵, 大島 弘光, 山田 功夫, 後藤 章夫, 齋藤 務, 青山 裕, 佐宗 章弘, 今村 文彦, 藤縄 明彦, 伴 雅雄, 紺谷 和生：“火山爆発をとらえる - さらなる現象理解と災害予測をめざして - ”, 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「火山爆発のダイナミクス」公開講演会
- [3] 吉田 和哉, 清川 清, 八木 康史, 足立 忠司, 齋藤 浩明, 田中 紘幸, 大野 浩之：“遠隔ロボットを用いた災害時マルチメディア情報収集技術の研究(遠隔移動ロボットおよび視覚・提示系の開発)”, 第 10 回ロボティクスシンポジウム
- [4] Hiroshi Ishida, Keiji Nagatani, Yutaka Tanaka：“Three-Dimensional Localization and Mapping for a Crawler-type Mobile Robot in an Occluded Area Using the Scan Matching Method”, Proc. of IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 449-454 (2004-10)
- [5] NEWTON PRESS：“Newtonムック 想定される日本の大震災”