

建物内の調査のための受動的な回転運動を行う牽引カメラによる

3次元復元の検証

Verifying 3D reconstruction by towing camera with passive rotational motion for investigation of the building

○嶺田 築 (会津大学) , 中村 啓太 (会津大学) , 成瀬 継太郎 (会津大学)

○Kizuku MINETA, Keita NAKAMURA, Keitaro NARUSE

会津大学

University of Aizu

キーワード : 3次元復元(3-dimensional reconstruction), 牽引カメラ(Towing camera), 廃止措置
(Decommissioning)

連絡先 : 〒965-8580 福島県会津若松市一箕町鶴賀

会津大学大学院コンピュータ理工学研究科コンピュータ・情報システム学専攻 嶺田 築

TEL : 0242-37-2600, FAX : 0242-37-2526, E-mail : m5191111@u-aizu.ac.jp

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置のために除染や廃炉に向けて、発電所内の情報収集を行いたい。建物内に放射性物質を放出する燃料デブリがあるため、人間が容易に建屋内に侵入することができない。そこで、災害ロボットや遠隔操作ロボット[1][2]を利用して、ロボットに搭載されたカメラを用いて、SLAMなどを利用して建屋内の情報収集[3]を行っている。しかしながら、建屋内は放射線量が依然として高いため、放射線によって、ロボットの回路や取り付けられている

センサが破壊され[4]、長時間ロボットを使用することができず、ロボットによる情報収集[5]はコストが非常に高い状況である。そこで我々は、ロボットを使用するのではなく、カメラのみを使用して建屋内を撮影することで、3次元復元を行い、建屋内部の情報収集を行えないかを考える。しかしながら、ドローンなどのUAV(Unmanned Aerial Vehicle)を利用した空撮による3次元復元[6][7]は、放射線の影響や建屋内が狭隘であるため、非常に困難である。そこで、Fig.1で示す牽引カメラを考える。この牽引カメラは、構造物の上を横断するようにケーブルを通し。そこにカメラを吊り下げて撮影するもので、カメラの移動はマニピレータを使用せず、比較的放射線量が少ない原子炉建屋の外からカメラを引っ張ることで行う。この牽引カメラから得られた時系列画像をSFM (Structure From Motion) を使用して3次元復元を行う。原子力建屋内のような高線量環境ではカメラは長時間使用することができないが、

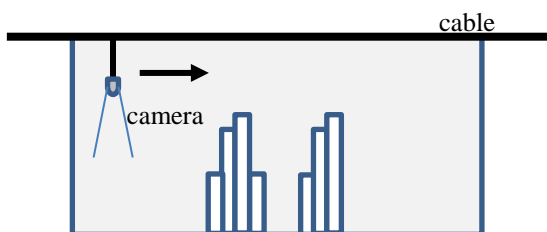


Fig.1 Towing camera conceptual diagram

この牽引カメラでは、カメラを交換するだけで繰り返し使用できるため、これまでのマッピング用の装置と比較して安価かつ簡単なものになる。つまり、原子炉建屋内のような高線量な環境や、危険な物質が存在する環境での利用に向いている。しかしながら、ケーブルのたわみにより牽引時にロール方向、ピッチ方向、ヨー方向に受動的な回転運動が発生する。この受動的な回転運動はランダムに発生し、予測することが困難であり、特徴点抽出やマッチングがうまくいかない可能性がある。そこで本研究では、受動的な回転運動を考慮した牽引カメラによる3次元復元において、より精度の高い復元ができるかどうかを、実機実験を通じて検証することを目的とする。

2. 復元方法

本研究では、VisualSFM[8]を使用して、牽引カメラが取得した一連の画像データから3次元復元を行う。このVisualSFMはSIFT on GPU(SIFTGPU)[9], Multicore Bundle Adjustment[10], Towards Linear-time Incremental Structure from Motion[11]を統合したシステムである。SIFT on GPUとはガウシアンフィルタで平滑化した画像の変化を抽出することで、特徴的な点を検出するSIFTをGPUで行う方法である。このSIFTは拡大縮小の影響を無くすため、複数の解像度の画像に対して平滑化処理を行い特徴点の検出する。「特徴点周辺の16分割したブロック」×「8方向の輝度変化」の128次元で表現され、大きさを1に正規化したものを特徴量として扱う。このとき、特徴点のベクトルを基準のベクトル方向とする。SIFTアルゴリズムは回転や拡大縮小に影響されずに特徴点抽出を行うことができる。

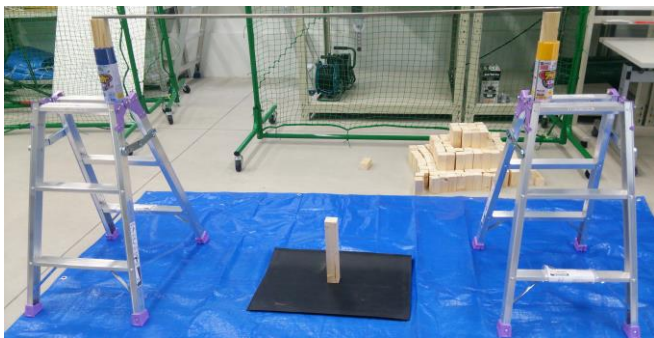


Fig.2 Experimental mockup.

Multicore Bundle Adjustmentとは幾何学的なカメラのパラメータを推定するBundle Adjustmentをマルチコアで行う方法である。この方法は、各特徴点の画像上の位置を再現できる、もしくは、実際に観測した位置と近くなるように再投影誤差を最小とするようなカメラのパラメータを推定する。

さらに、共役勾配法を使用するTowards Linear-time Incremental Structure from Motionとよばれる方法をBundle Adjustmentに適用することで、Multicore Bundle Adjustmentを改善することができる。VisualSFMはこれらのアルゴリズムを統合した一連の画像データから3次元復元を行うソフトウェアである。本研究では、VisualSFMを用いて3次元復元を行う。

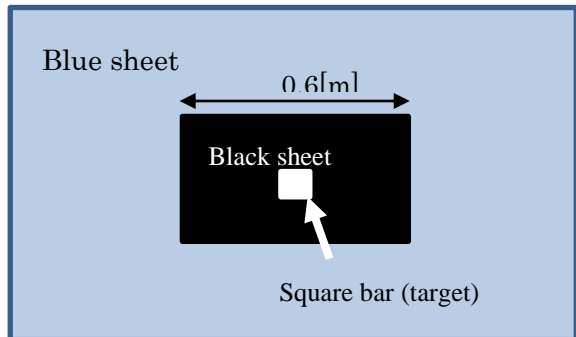


Fig.3 Top view of experimental 1 mockup.

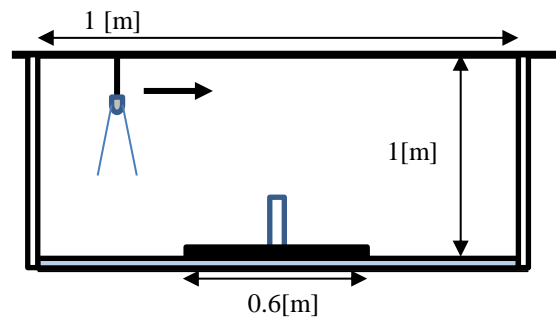


Fig.4 Side view of experimental 1 mockup.

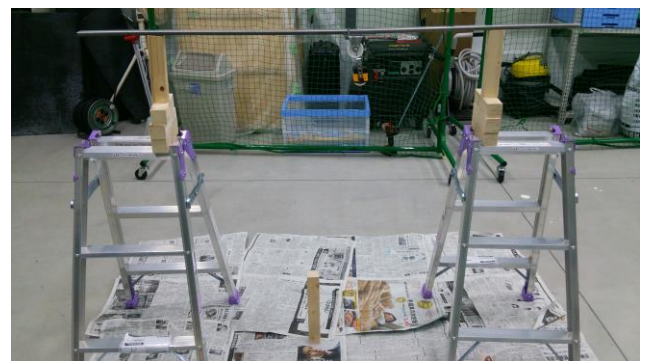


Fig.5 Side view of experimental 2 mockup.

3. 牽引カメラシステム

建屋内のスケールダウンをしたモックアップを作成し、SFM による復元を行う。モックアップは約 30[m]×30[m]×30[m]とし、それを 30 分の 1 にスケールダウンしたものを実験モデルとする。牽引カメラは 1[m]の高さに設置し、1[m]牽引する。また、牽引する速度は約 0.3[m/s]とする。Fig.2 に作成したモデルを示す。使用するカメラは PIXPRO SP360 を使う。撮影設定は 1920×1080, 30fps で撮影を行う。このカメラを使用して実験および検証を行う。

4. 実験

4.1 実験アプローチ 1

本研究では進行方向に対して前後に揺れるピッチ方向への回転運動がある入力データと回転運動がない入力データの復元結果を比較し、回転運動による復元に及ぼす影響を調べる。復元するターゲットは 45[mm]×45[mm]×30[mm]の角材とし、中心に置いた。また、床面を区別するため、ブルーシートを敷き、更にその内側に、角材部の点群を区別できるように黒いシートを Fig.2, Fig.3, Fig.4 で示すように設置する。復元結果から総点群数、角材部の点群数、角材部の床平面からの高さを算出し、比較する。角材部の床平面からの高さの計算を行うために、復元結果から得られたブルーシート部の点群から最小二乗法を利用し、誤差が一番少ない平面式を導出する。牽引回数は 1 回で入力データ画像は 140 枚で復元を行う。

二つ目の実験として、ターゲットに対して背景となるブルーシートが復元に対する影響を与える可能性を考え、ブルーシートのような単色の背景と対比してランダムテクスチャを持つ新聞紙を背景にして同様の実験を行う。実際の実験装置は Fig.5 の通りである。

以上の二つの実験から牽引カメラに対してより優れている復元環境を調べる。

4.2 考察

まず Fig.10 の総点群数のプロットをみると、新聞紙を背景とした場合の方が多い。また、ターゲット点群数に関してはブルーシートの場合には回転運動の有無で差があまりないが、新聞紙に関しては回転運動なしの場合で点群数が多く、回転運動ありの場合では極端に少

ない。これはターゲット部の特徴点マッチングがうまくいかなかったことが原因だと考えられる。また、ターゲットの点群の高さのプロットでは新聞紙を背景とした場合はブルーシートを背景としたものより平均が高く、ばらつきも少ないことから精度のよい復元が行われていると考えられる。新聞紙が背景で回転運動ありの場合では誤った特徴点のマッチングを行ったためターゲットの復元点群数が極端に小さくなったと考え、追加実験として、入力データ内の任意の 2 枚の画像で SIFT による特徴点抽出とマッチングを行い、正確なマッチングが行われているか調査する。任意の二枚のそれぞれのターゲットに関する特徴点数を Fig.16, Fig.17, 二枚の画像間でのターゲットに関する対応点数を Fig.18 に示す。これらから、回転運動ありのものは回転運動なしのもの比べて特徴点数や対応点数が少ない。そのため、回転運動ありの場合では復元が正確にされない。また、ブルーシートを背景とした場合は新聞紙を背景としたものより多く特徴点や対応点を見つけることができる。そのため、3次元復元のためにはブルーシートを背景としたものの方が優れているといえる。また、新聞紙を背景とした場合、回転運動ありのものの方が特徴点数や対応点数が多い場合があるにも関わらずターゲットの復元点群数は少ない。これから新聞紙を背景とした場合ターゲットの高さ成分がうまく復元されないことがわかる。

以上のことから今回の牽引カメラによる復元では背景はブルーシートのような単色のものの方が優れている。

5. おわりに

本研究では受動的な回転運動を行う牽引カメラによる時系列画像からの 3次元復元の検証を行った。とくに背景がブルーシートのような単色のものと新聞紙のようなランダムなテクスチャを持つものと比較を行った。その結果背景がブルーシートのほうが優れていた。今後は牽引カメラの回転運動が復元に与える影響をさらに深く調べるために、カメラを斜めに固定した場合の実験を行う。

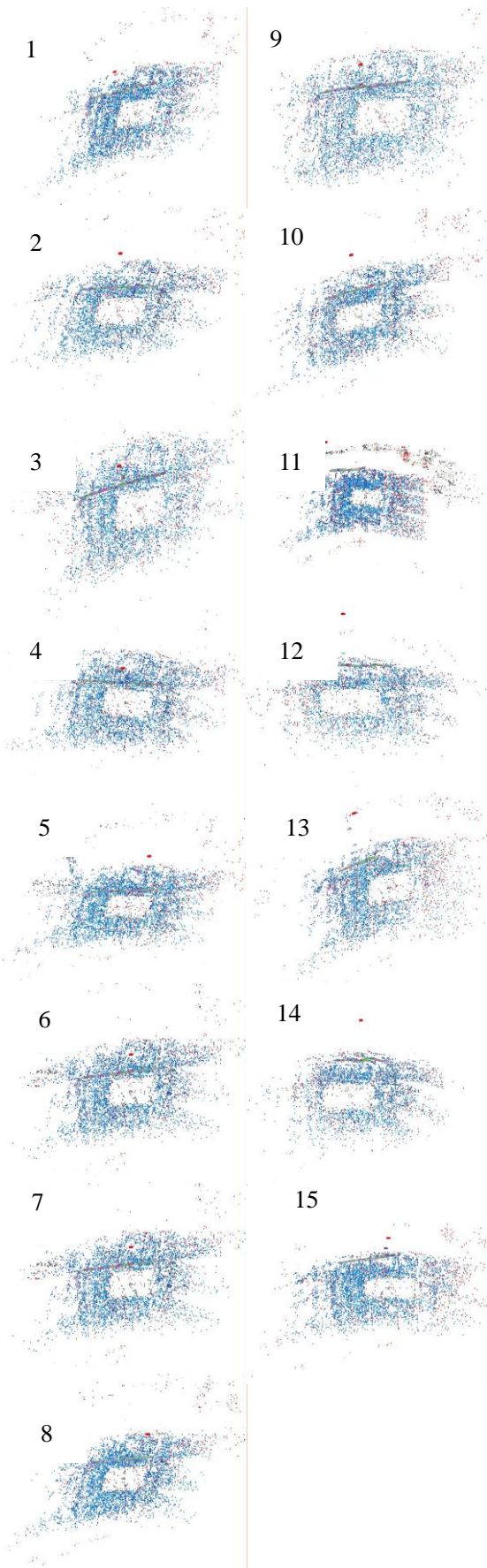


Fig.6 3D reconstructed points result from 140 images with fixed joint camera with blue sheet.

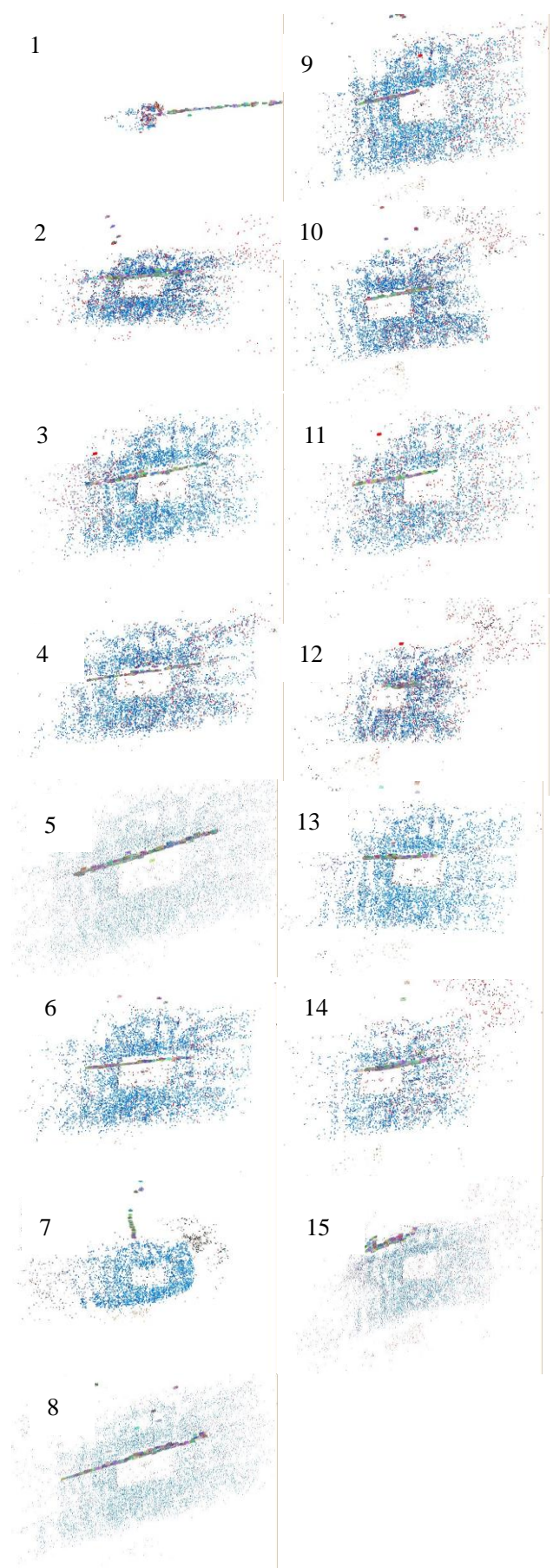


Fig.7 3D reconstructed points result from 140 images with passive joint camera with blue sheet..

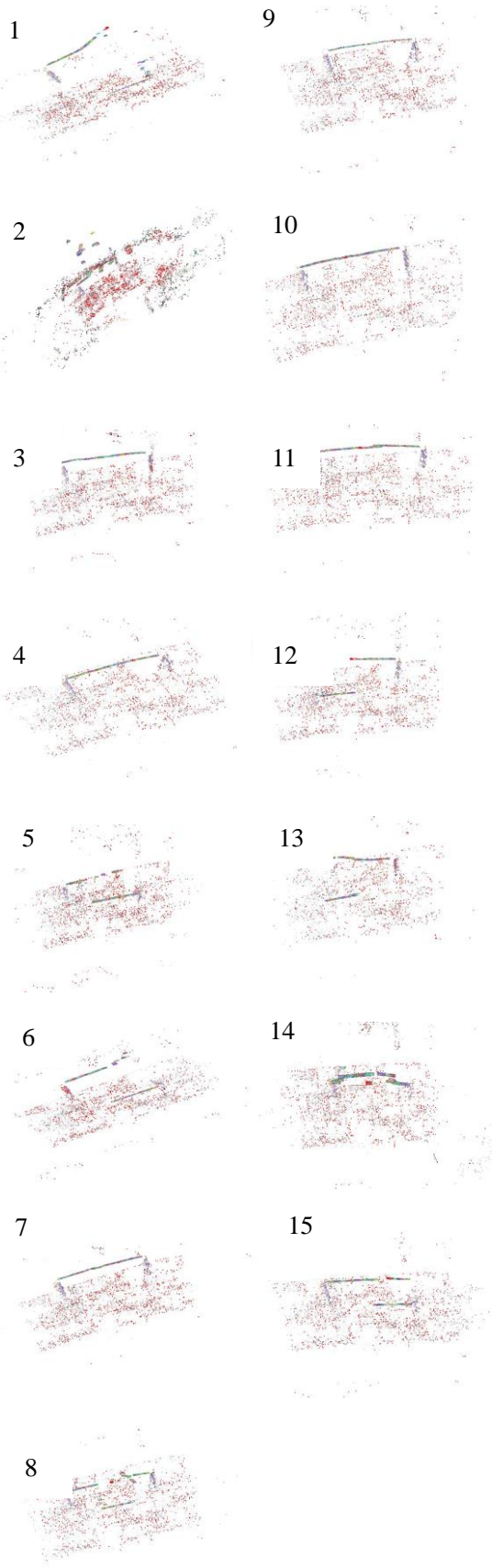


Fig.8 3D reconstructed points result from 140 images with fixed joint camera with newspaper.

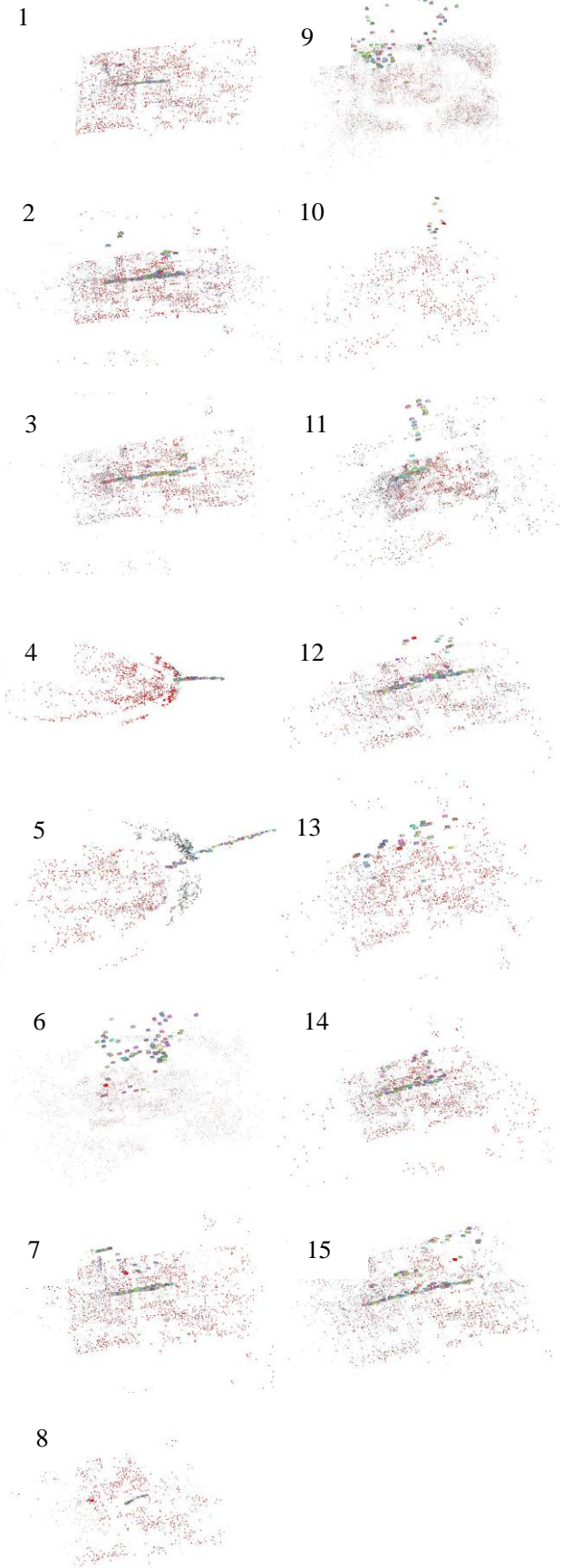


Fig.9 3D reconstructed points result from 140 images with passive join camera with newspaper.

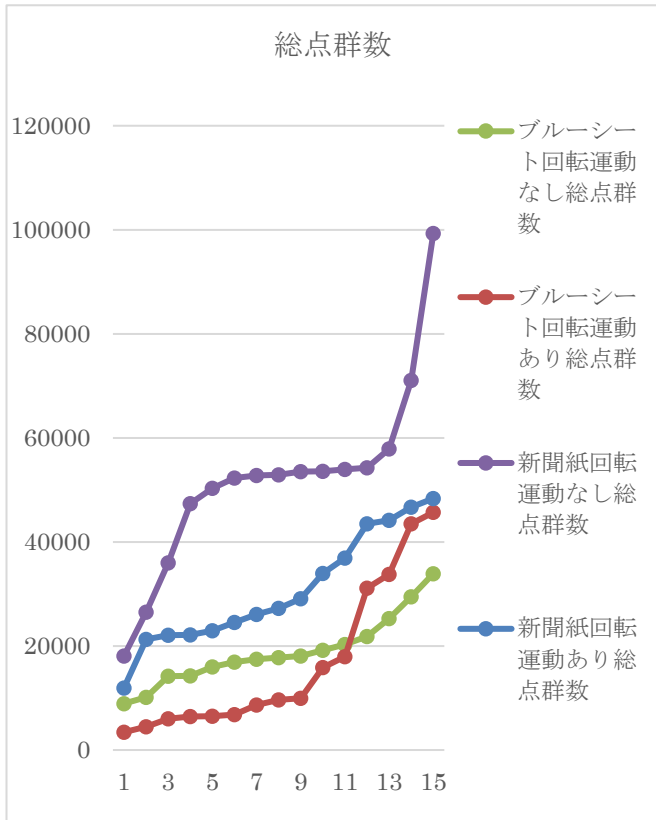


Fig.10 The number of all of the reconstructed points..

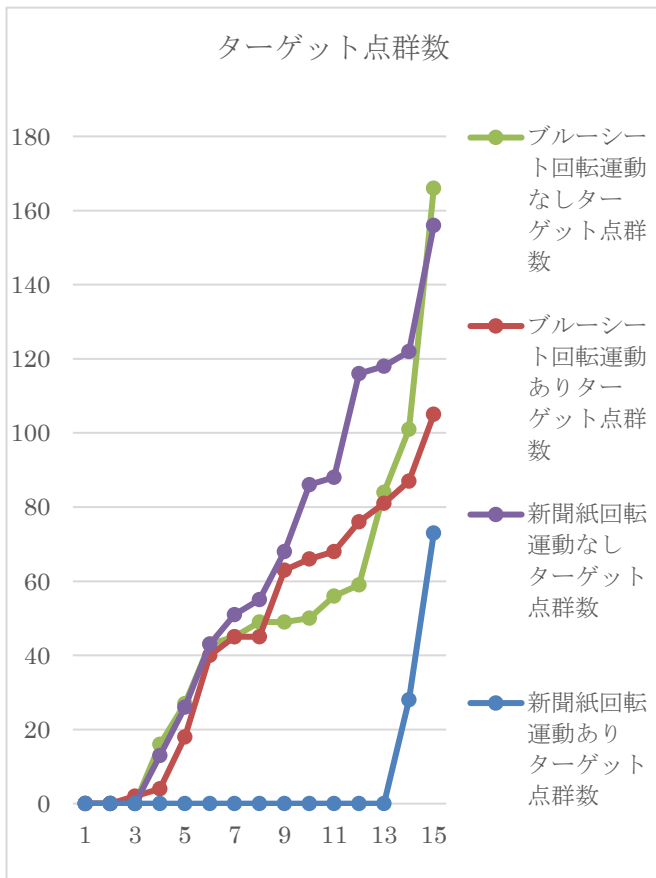


Fig.11 The number of the target reconstructed points.

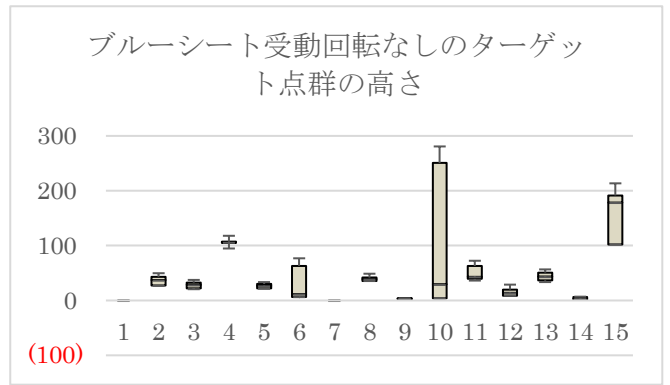


Fig.12 The distance of reconstructed target points from the estimated floor plane with fixed joint camera with blue sheet.

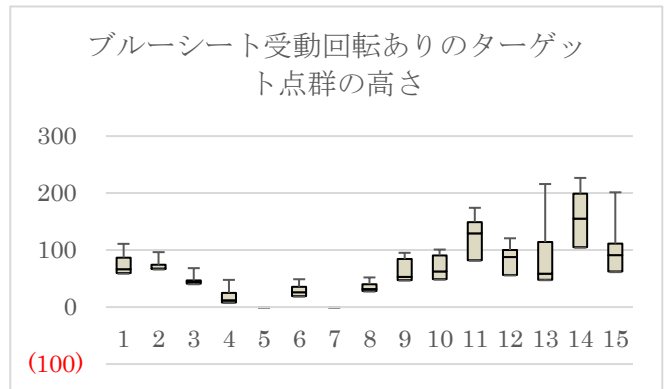


Fig.13 The distance of reconstructed target points from the estimated floor plane with passive joint camera with blue sheet.

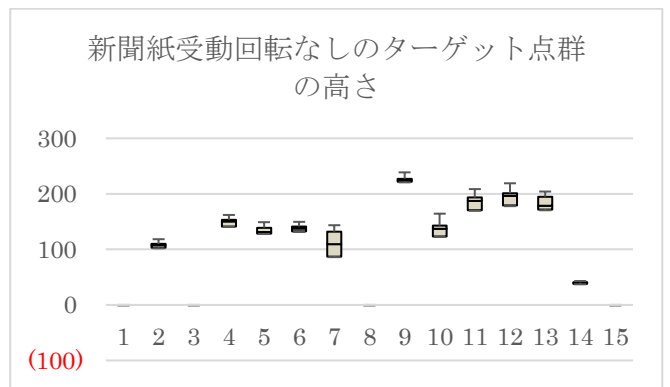


Fig.13 The distance of reconstructed target points from the estimated floor plane with fixed joint camera with newspaper.



Fig.15 The distance of reconstructed target points from the estimated floor plane with passive joint camera with newspaper.

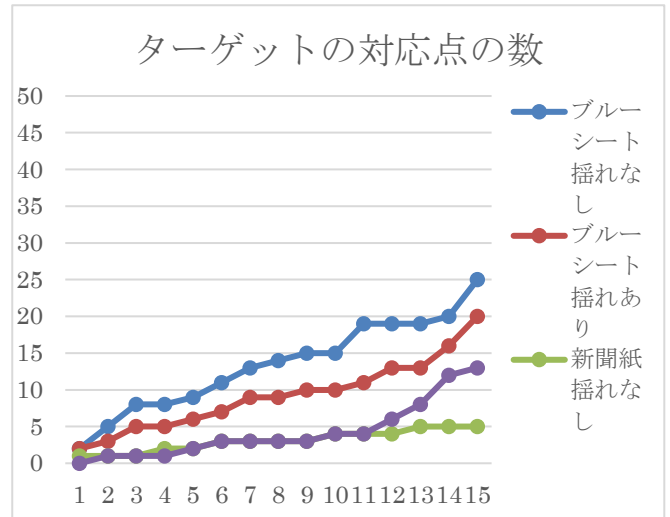


Fig.18 The number of matching points of target.

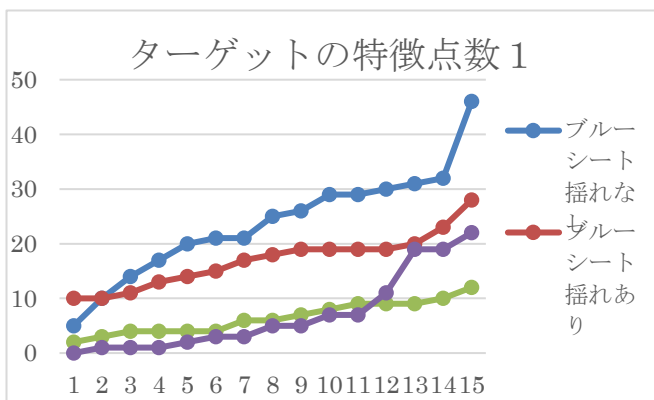


Fig.16 The number of characteristic points..

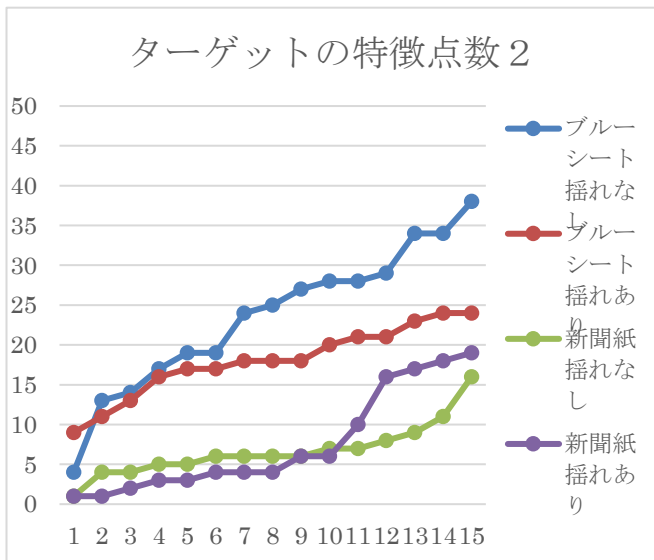


Fig.17 The number of characteristic points..

文献

- [1] T.Kamegawa *et al.*, "Development of the snake-like rescue robot "kohga"", Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Vol.5, pp.5081-5086, 2004
- [2] 吉野 伸, "東京電力における原子力事故対応ロボットの開発", 日本ロボット学会誌, Vol.32, No.1, pp.19-24, 2014
- [3] 関 晃仁, "移動カメラ画像からの 3 次元形状復元・自己位置推定 (SLAM) と高密度な 3 次元形状復元", 情報処理学会研究報告, Vol.40, 2014-CVIM-190, No.40, pp.237-244, 2014
- [4] 大西 一功, "放射線による半導体素子の劣化・故障", REAJ 誌, Vol.26, No.1(通巻 133 号), pp.37-45, 2004
- [5] Y.Iwao *et al.* "Experimental study of traction robot system for rescue against nuclear disaster", IEEE International Safety, Security and Rescue Robotics, Workshop, 2005, pp.93-98, 2005
- [6] 田村 太彦 他, "小型 UAV による空撮と SfM を用いた樹高計測", 日緑工誌, Vol.41, pp.163-168, 2015
- [7] 石川 裕治 他, "空撮映像の分割と統合による広域市街地空間モデルの自動構築", 情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.45, No.SIG 13(CVIM 10), pp.21-33, 2014
- [8] "VisualSfM: A visual structure from motion system", <http://ccwu.me/vsfm/doc.html>
- [9] "SIFTGPU: A GPU Implementation of Scale Invariant Feature Transform (SIFT)", <http://cs.unc.edu/~ccwu/SIFTgpu/>
- [10] "Multicore Bundle Adjustment", <http://grail.cs.washington.edu/projects/mcba/>
- [11] "Changchang Wu", "Towards Linear-time Incremental Structure from Motion", <http://ccwu.me/vsfm/>