

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04406

研究課題名（和文）蛍光に着目した球体マーカによる画像計測技術の革新と応用分野の創出

研究課題名（英文）Image measurement with fluorescent spherical marker

研究代表者

寺林 賢司（TERABAYASHI, Kenji）

富山大学・学術研究部工学系・准教授

研究者番号：20509161

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：蛍光に着目した球体のマーカである「蛍光球体マーカ」を用いることにより、従来の画像計測に対して約10倍の高精度化を実現した。高精度な三次元計測の事前準備である校正について実用性の高い簡単な方法を開発した。また、計測精度の低下をまねく画像のぼけおよび遮蔽の問題に対して効果的なアルゴリズムを開発した。これらにより、従来の画像計測では応用が難しかった精密な機械システムの運動計測など、新たな応用分野につながる研究成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果の学術的意義は、画像計測における高精度化と広範囲化の両立にある。通常、高精度化と広範囲化はトレードオフの関係にあり、計測精度を計測範囲で除した「相対精度」の向上は難しい。本研究では、蛍光球体マーカを用いることで画像計測の相対精度の向上に成功した。研究成果の社会的意義は、画像計測の相対精度の向上により、応用分野の拡大を可能としたことである。具体的には、これまで応用が難しかった精密な機械システムの運動計測などがあげられる。

研究成果の概要（英文）：We've improved accuracy of image measurements with about 10 times by using fluorescent spherical markers. This leads to new applications with high-accuracy image measurements.

研究分野：ロボットビジョン

キーワード：蛍光球体マーカ 画像計測 高精度 ミリピクセル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

(1) モーションキャプチャシステムに代表される画像計測技術は、三次元空間における複数点の位置や姿勢を非接触で同時に計測できる利点を持つ。このため、三次元画像計測は、人やロボットの運動計測などに広く利用されているが、計測精度の限界から精密な機械システムの運動計測へは応用されていない。一方で、三次元画像計測の応用拡大が盛んに検討されており、ロボット関連のトップジャーナルにおいて機械システムの校正方法の単純化が報告されている(文献1)。また、画像計測用のマーカが、ロボット関連の国際会議において Best Paper Award を受賞しており、三次元画像計測の応用拡大について注目の高さを示している(文献2)。

(2) 現在の三次元画像計測は、計測範囲 1m に対して、計測精度が 100~10 $\mu$ m 程度であり(文献3) 計測精度を計測範囲で除した「相対精度」では 10<sup>-4</sup>~10<sup>-5</sup> 程度に相当する。例えば、図1のように、工作機械の熱変形による運動誤差を三次元画像計測するためには、計測精度が不十分である。計測精度を 10 倍にすることができれば応用が考えられるが、そのためにはカメラを計測対象に近づけて計測範囲を 1/10 倍に小さくする必要がある。つまり、三次元画像計測における計測範囲と計測精度のトレードオフが問題となる。したがって、三次元画像計測の応用範囲の拡大のために、高精度化と広範囲化の両立が求められている。

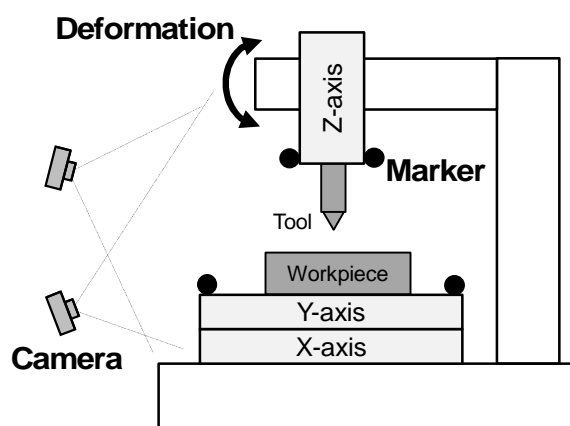


図1 工作機械の変形計測への画像計測の応用

## 2. 研究の目的

本研究では、蛍光球体マーカを用いた三次元画像計測の確立、および相対精度 10<sup>-6</sup> への向上を目的とする。このために、蛍光球体マーカを用いた校正器の設計・製作、本校正器を用いたステレオ校正方法の開発、マーカ検出アルゴリズムの改良について取り組む。

## 3. 研究の方法

(1) 蛍光球体マーカを用いた校正器について、校正シミュレーションを通じてマーカの個数と配置、大きさを設計し、熱膨張の影響が小さなスーパーインバー材を使って製作する。また、校正器の設計の際には、熱変形および自重による変形が引き起こす校正情報の変化が十分小さくなるように形状を決定する。製作した校正器は、三次元座標測定機を使って値付けし、ステレオ校正の実験装置とする。

(2) 広範囲な計測では画像ぼけのためにコントラストが低下し、従来のマーカ検出法では計測精度の低下をまねく。そこで、マーカの輪郭検出アルゴリズムを改良し、計測精度の低下を防ぐ。

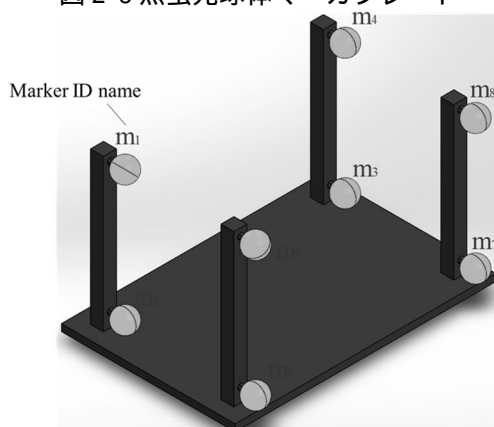
(3) 計測範囲を広くした際に、蛍光球体マーカの一部が他の物体で隠される遮蔽の問題により計測精度の低下をまねく。そこで、マーカの輪郭に対する幾何フィッティングアルゴリズムを改良し、計測精度の低下を防ぐ。

## 4. 研究成果

(1) 画像中から高精度に位置検出が可能な「蛍光球体マーカ」を用いたステレオカメラシステムの高精度な校正方法について、8個の蛍光球体マーカを用いた新しい校正器を提案した(図2)。本校正器は、校正精度に関するシミュレーションと熱変形および自重による変形の両面を考慮して形状設計し、熱膨張係数の小さなスーパーインバー材を使って製作した。本校正器では、蛍光球体マーカ間の距離の組合せ数を従来校正器よりも飛躍的に増加させた。この結果として、実際に校正する際に撮影する画像枚数や校正器の配置数の削減に成功した。具体的には、校正用の撮影画像を 93%削減し、校正器の配置数を 96%削減した。従来校正器を利用した場合では、同程

度の計測精度を実現するために必要な校正用画像の枚数と校正器の配置数が非常に多く実現性に欠ける問題があったが、本校正器により現実的な校正が達成できることを確認した。

図 2 8点蛍光球体マーカプレート



(2) 三次元画像計測の相対精度の向上のために計測範囲を広げた場合、撮影系の被写界深度を超えた計測範囲では、蛍光球体マーカの輪郭にぼけが生じ、コントラストの低下をまねき、ひいては計測精度の低下につながる。この計測精度の低下を抑制することのできるマーカ検出アルゴリズムを提案した。具体的には、撮影した蛍光球体マーカの輪郭部分に着目し、推定したぼけ量に応じた輝度値分布を撮影画像データに当てはめることで精密なエッジ検出およびマーカ検出を実現した。ぼけ量が大きいつきに特に改善率が高く、ぼけ量が 31pixel の際に約 6.7 倍精密にマーカ検出できることを確認した。このことは、計測範囲を広げたときの計測精度の低下を抑制できることを示しており、三次元画像計測の相対精度向上に寄与するものである。

(3) 蛍光球体マーカの中心位置の検出は、撮影画像内のマーカの輪郭をエッジ検出し、検出した輪郭に幾何フィッティングすることで行う。この時、マーカの輪郭部分のコントラストが高いことで、高精度なエッジ検出が可能となる。また、マーカの形状精度が高いことで、高精度な幾何フィッティングができる。これらの性質により、蛍光球体マーカの中心位置の高精度な検出が実現できる。蛍光球体マーカの一部が遮蔽された場合、マーカの輪郭を検出しようとするエッジの形状が遮蔽物によって変形し、幾何フィッティングにより得られるマーカの検出位置にかたより誤差が生じ、計測精度の低下をまねく。遮蔽による蛍光球体マーカの検出精度の低下を防ぐために、遮蔽領域を判定し、マーカの輪郭に対応する検出エッジのみを利用したマーカ検出アルゴリズムを提案した。提案手法により、従来の検出方法に対して 10～100 倍の高精度化に成功した。これにより、遮蔽が発生するような一般的な計測環境において蛍光球体マーカを使用することができるようになり、高精度な三次元画像計測の適用範囲の拡大が期待される。

< 引用文献 >

- (1) Renaud et al. IEEE Trans. Robotics, 2006.
- (2) Tanaka et al. Proc. IROS, 2012.
- (3) Summan et al. Measurement, 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sasaki Tohru, Shioya Ryo, Sakai Toshitaka, Kinoshita Shunki, Nojiri Takahito, Terabayashi Kenji, Jindai Mitsuru	4. 巻 9
2. 論文標題 Position and Posture Measurements Using Laser Projection Markers for Infrastructure Inspection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electronics	6. 最初と最後の頁 807-821
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/electronics9050807	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 可長海星, 寺林賢司, 笹木亮, 桐昭弘
2. 発表標題 蛍光球体マーカを用いた三次元画像計測における校正用画像数の削減
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Terabayashi Kenji, Hamamoto Yuuki, Ogasawara Kazuya, Oiwa Takaaki, Sasaki Tohru
2. 発表標題 Phosphorescent Spherical Marker for precise image measurements
3. 学会等名 The 21st International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology (EUSPEN 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------