

令和 6 年 4 月 22 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04199

研究課題名（和文）拡散レーザー光照射によるボールレンズアレイの三次元位置・姿勢の同時精密測定

研究課題名（英文）Simultaneous precise measurement of 3D position and orientation of ball-lens array by expanded laser irradiation

研究代表者

古谷 涼秋（Furutani, Ryoshu）

東京電機大学・工学部・教授

研究者番号：50219119

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：空間変調素子とボールレンズアレイを組み合わせ、ボールレンズが光を再帰反射する性質を使って、光路を変更可能な干渉計を構築した。ボールレンズの選択によって、3方向の並進運動及びピッチング角、ローリング角の測定が可能であることを示した。
1/4波長板とボールレンズを一体として、直線偏光した光源を使った干渉計を構築した。この干渉計では、光源とボールレンズ間で多重反射することを利用して、光軸方向の変位と光軸周りの回転角の検出が可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般的に光波干渉計の構築は困難である。しかし、本研究では拡散したレーザー光の中に、空間変調素子とボールレンズを配置することによって、容易に干渉計を構築することができる。このとき、6自由度の中から必要な測定項目を空間変調素子の切替で選択することができる。
直動ステージは、精密測定及び精密加工の基礎技術である。本研究により、直動ステージの運動精度の測定が可能となったので、精密測定及び精密加工の精度向上に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：An interferometer that can change the optical path was constructed by combining a spatial modulator and ball-lenses array and using the retroreflective property of the ball-lenses. It was shown that the ball-lenses can measure translational motion in three directions as well as pitching and rolling angles, depending on the selection of the ball-lenses.
An interferometer was constructed using a linearly polarized light source combined with a quarter-wave plate and a ball lens. This interferometer can detect displacement in the optical axis direction and rotation angle around the optical axis by utilizing multiple reflections between the light source and the ball lens.

研究分野：計測工学

キーワード：レーザー干渉 再帰鏡 空間変調素子 偏光

1. 研究開始当初の背景

精密測定機や精密加工機の高精度に対応するために、直動案内の真直度を測定することが必要であった。直動案内の6自由度運動を個別に測定する、さまざまな方法が提案されていた。しかし、6自由度運動を同時に測定するためには、測定装置が複雑・大規模になり、直動案内に設置することが困難であった。また、レーザー干渉計を利用する場合は、光学系の設置・調整が困難であった。

2. 研究の目的

本研究は、煩雑な調整が不要で、対象物に大掛かりな反射鏡等を固定する必要もなく、かつ三次元6自由度で位置・姿勢を同時に精密に測定できる装置の開発に関するものである。そのために、反射鏡を平面鏡からボールレンズに変更し、レーザー光を平行光から拡散光に変更する。さらに、ボールレンズの変位測定を物体の運動誤差に変換するために、複数のボールレンズを物体に固定し、それらの三次元位置座標から、運動誤差を測定することとした。複数のボールレンズを拡散レーザー光の中に設置するため、複数のボールレンズからの反射光からの干渉信号が検出される。あるボールレンズからの干渉信号を他のボールレンズからの干渉信号と区別するために、本研究では液晶デバイスを用いることとした(図1)。拡散光を用いることにより、光学系の調整が簡便になり、さらに、光の照射域が広いために、測定可能な空間が広がるという点に独自性がある。

3. 研究の方法

(1)液晶デバイスによるボールレンズからの干渉信号のON/OFFと物体の移動限界速度の測定
図1のように拡散レーザー光の中に置いた液晶デバイスの後方に、反射鏡としてボールレンズ(屈折率2.0以上)を配置する。液晶デバイスを全面透過とした場合、拡散レーザー光のうち、反射鏡に入射した光線のみが反射される。これらの反射光が、どの反射鏡からの戻り光かがわからないので、液晶デバイスの開閉により、開口を切り替え、同時には1つの反射鏡のみが光源から見える状態とする。その結果、反射鏡からの戻り光と光源からの光との干渉信号が得られる。

(2)複数のボールレンズからの反射光の干渉信号による物体の姿勢測定

液晶デバイスの後方に、図2のようにボールレンズを並べた反射鏡を作る。図2において四角形は液晶デバイスを表し、1~9の円はボールレンズ(キャッツアイ)を表す。液晶デバイスの開閉によって、2と8のボールレンズへの光路を開くと、2個の反射鏡(2と8)からの戻り光の干渉信号によって、光源から2個の反射鏡までの光路差が測定できる。この光路差とボールレンズ間の距離から、物体の姿勢測定(ピッチング測定)ができる。同様に、4と6のボールレンズへの光路を開くと、物体の姿勢(ヨーイング)の測定ができる。このように、液晶デバイスの開閉によって、反射鏡の組み合わせを変え、異なる姿勢を測定できる干渉計を構成することができる。

(3)偏光を利用したローリング角の測定

直線偏光した光は、 $1/2$ 波長板を透過すると偏光角が $1/2$ 波長板の回転角の2倍回転する。本研究の干渉計では、光が往復するので、 $1/2$ 波長板を2回透過する。この時、偏光角は元に戻ってしまう。そのため、光が往復することを考慮して、 $1/4$ 波長板を設置する。 $1/4$ 波長板を透過して往復した光と、 $1/4$ 波長板を透過しなかった光の干渉を検出することによって、 $1/4$ 波長板の回転角を検出する。

4. 研究成果

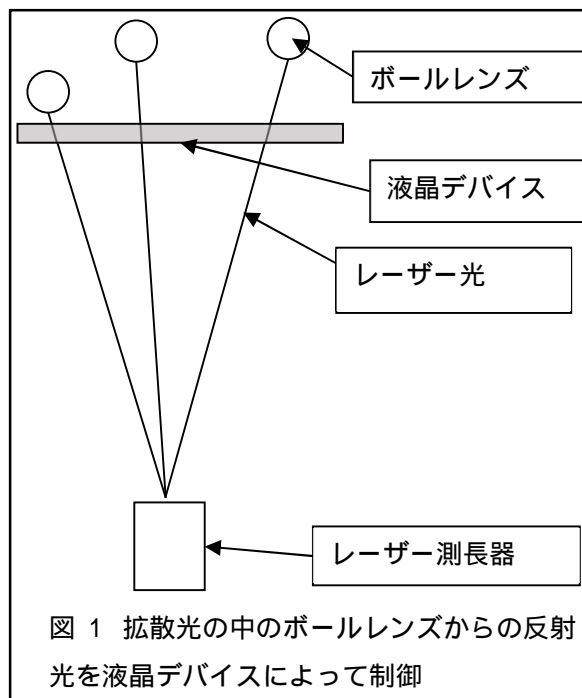


図1 拡散光の中のボールレンズからの反射光を液晶デバイスによって制御

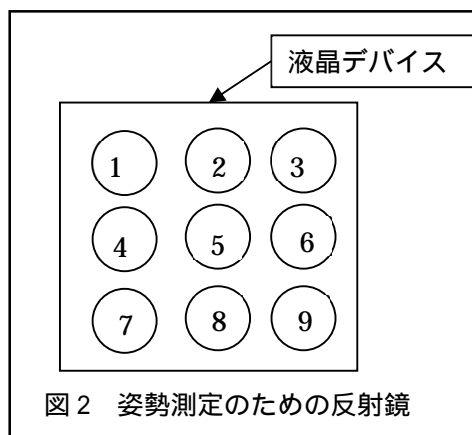
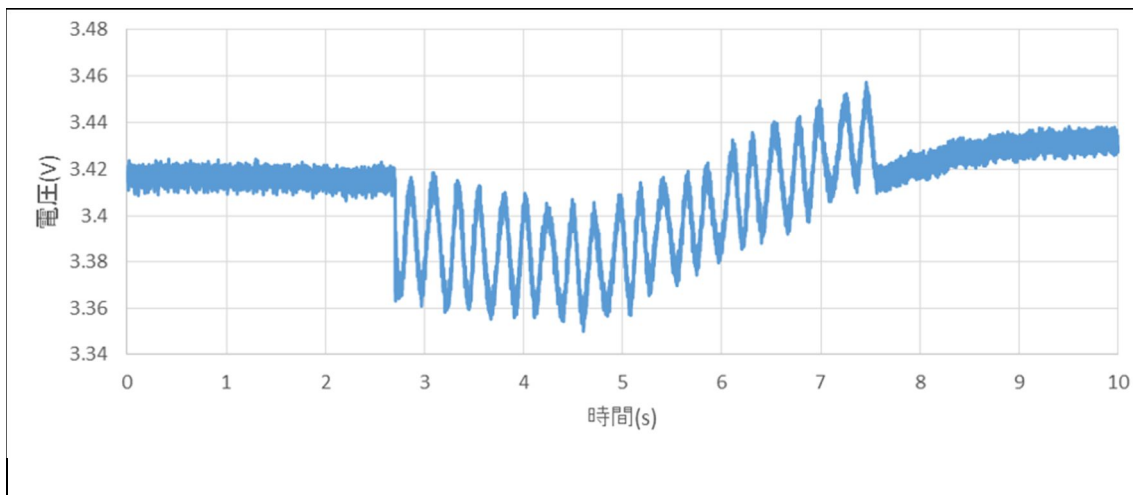


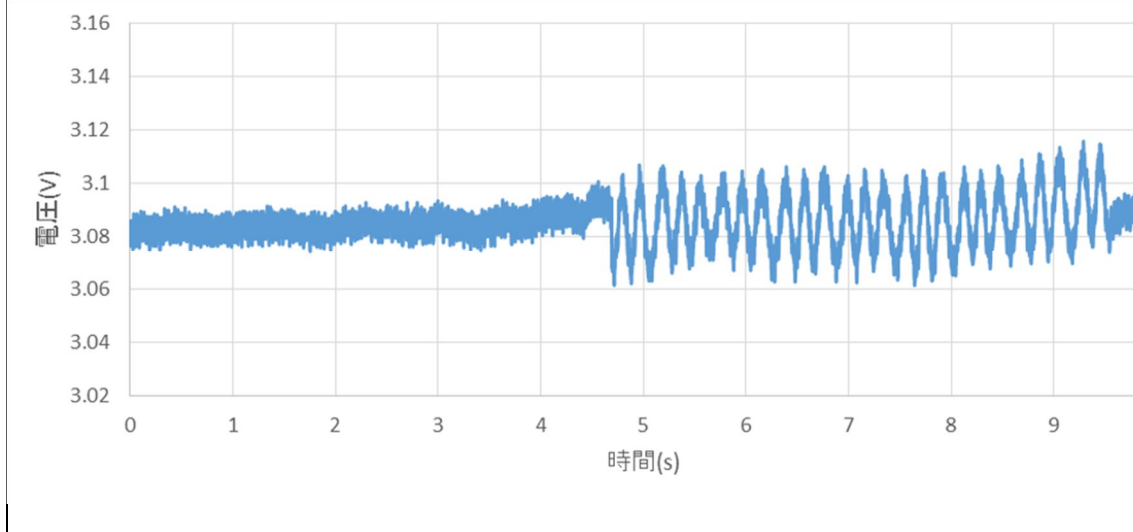
図2 姿勢測定のための反射鏡

(1)ピッチング角及びヨーイング角の測定

移動ステージに図2の測定対象を取り付け、ピッチング変位とヨーイング変位を同時に与え、液晶デバイスでボールレンズ2, 8を選んだ場合(条件1)と、ボールレンズ4, 6を選んだ場合(条件2)について実験を行い、ピッチング変位、ヨーイング変位が同時に生じた場合にも、個別に検出できることが分かった(図3)



(a) ピッチング変位を検出



(b) ヨーイング変位を検出

図3 ピッチング変位とヨーイング変位を同時に与えた場合に、液晶デバイスで検出する信号を選択した実験結果

(2)光軸方向の並進運動の測定

光軸方向の変位測定を図4のようにモデル化し、2個のボールレンズからの反射光によって変位を測定した。その結果を図6(a)に示す。

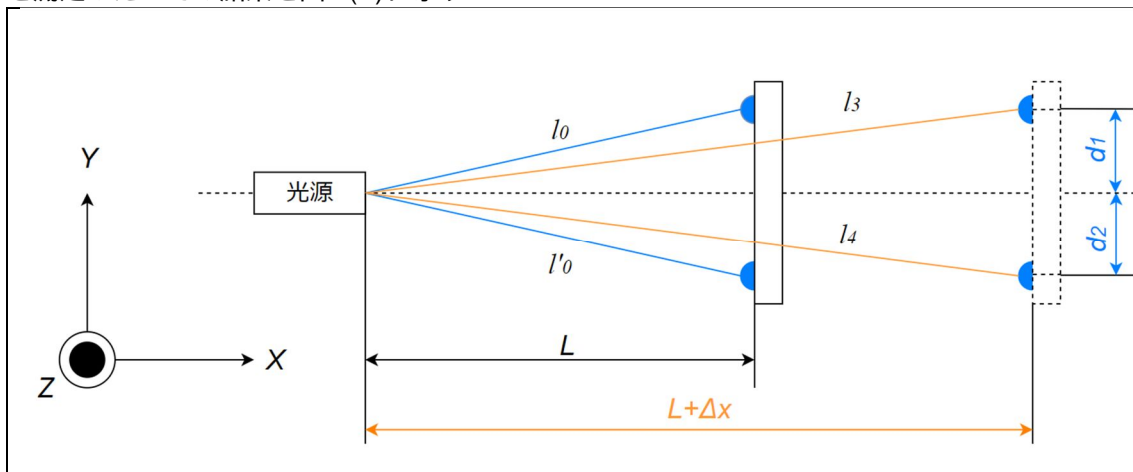


図4 光軸方向の変位測定のモデル

(3) 光軸に垂直な方向の並進運動の測定

光軸に垂直な方向の変位測定を図5のようにモデル化し，対応する2個のボールレンズからの反射光によって変位を測定した．その結果を図6(b)に示す．

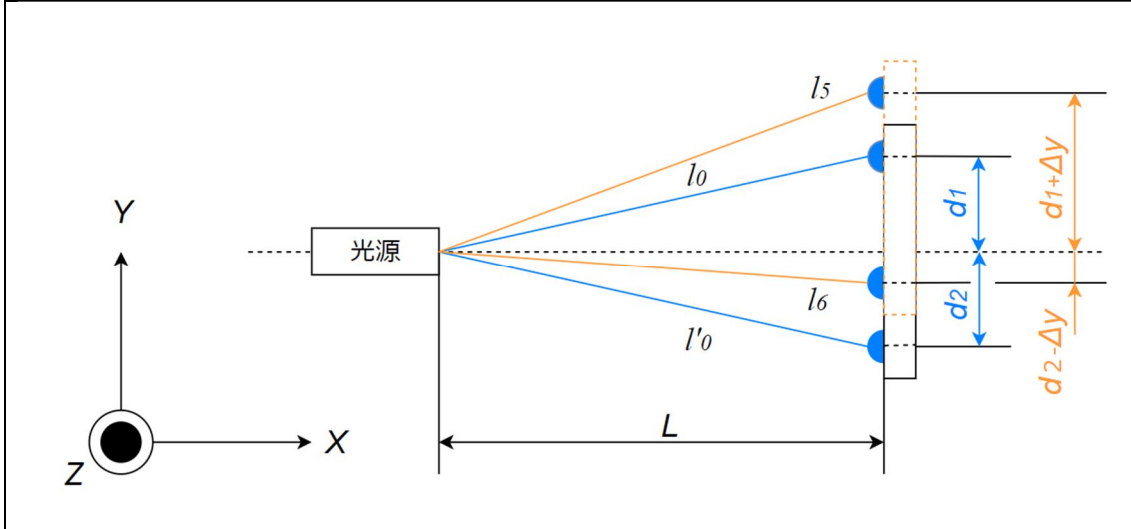
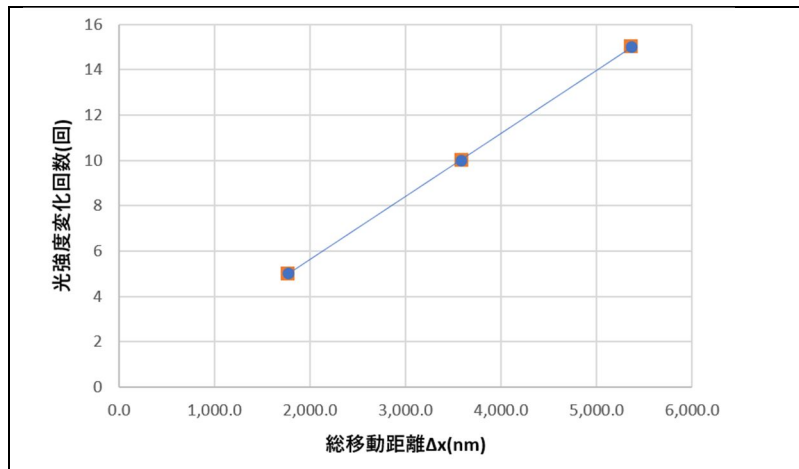
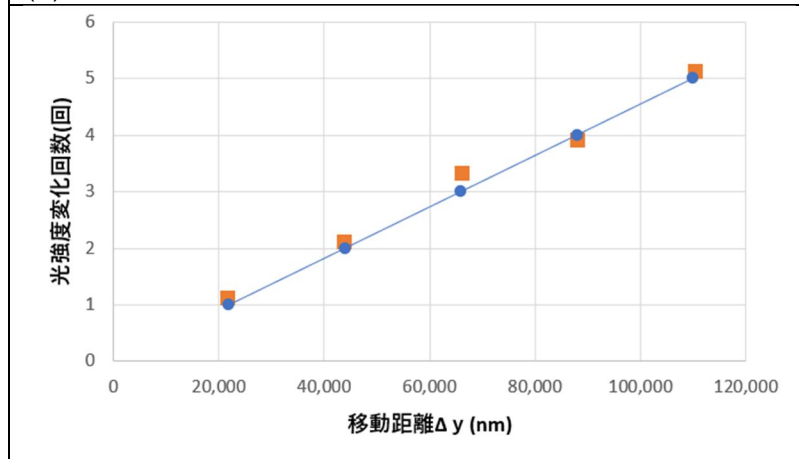


図5 光軸に垂直な方向の変位測定モデル



(a) 光軸方向の測定結果



(b) 光軸に垂直な方向の測定結果

図6 光軸方向及び光軸に垂直な方向の測定結果

(4) ローリング角と並進運動の同時測定

ローリング変位と並進運動の同時測定モデルを図7に示す．図7において，光源から出射した光は，ボールレンズ(BL)へ進んだ後，BS1で検出器へ向かう光(赤い光路)と，光源方向へ戻る光(緑の光路)へと分けられる．光源方向へ戻った光は，光源にあるレンズ(鏡)によって，反射され，再度ボールレンズへと向かい，その後，BS1で反射され，検出器へ向かう．

これら2つの光路の光(赤と緑)の光路差は，測定対象であるボールレンズのX軸方向の変位に

応じて変化する．また，一往復する光（赤い光路）は，QWP を 2 回透過し，二往復する光（緑の光路）は，QWP を 4 回透過する．レーザー光が直線偏光している時，QWP を 2 回透過すると光の偏光角は，QWP の空間における回転角の 2 倍回転する．一方，QWP を 4 回透過した場合は，光の偏光角は，当初の直線偏光のままである．したがって，赤い光路と緑の光路の光の偏光角の差を測定すれば，QWP の回転角，すなわち QWP を固定している運動体の回転角を測定することができる．

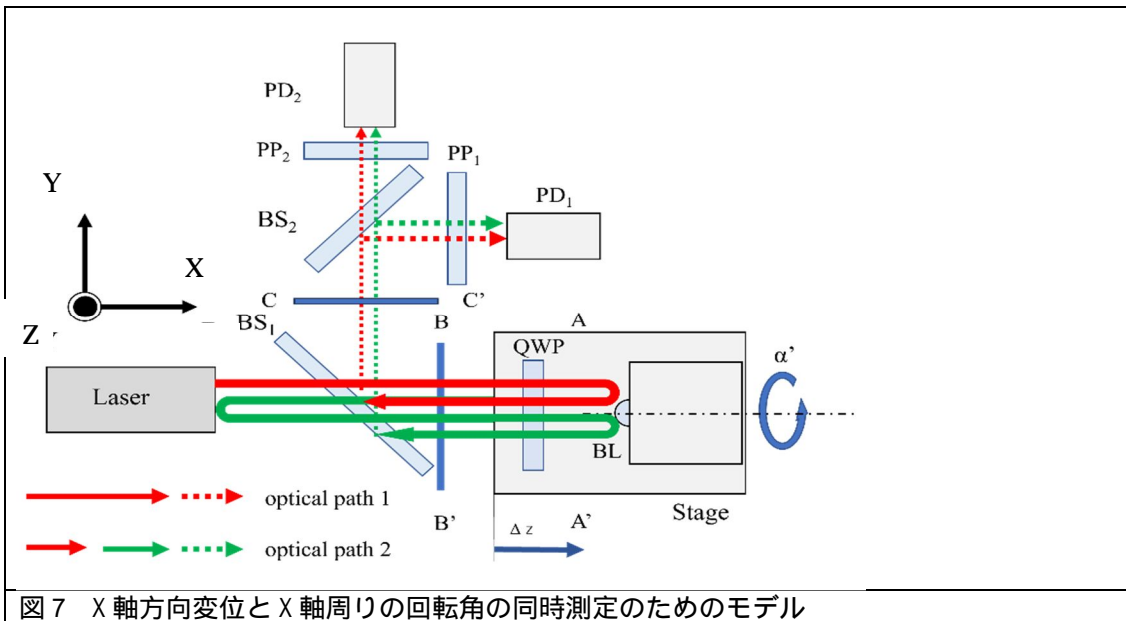
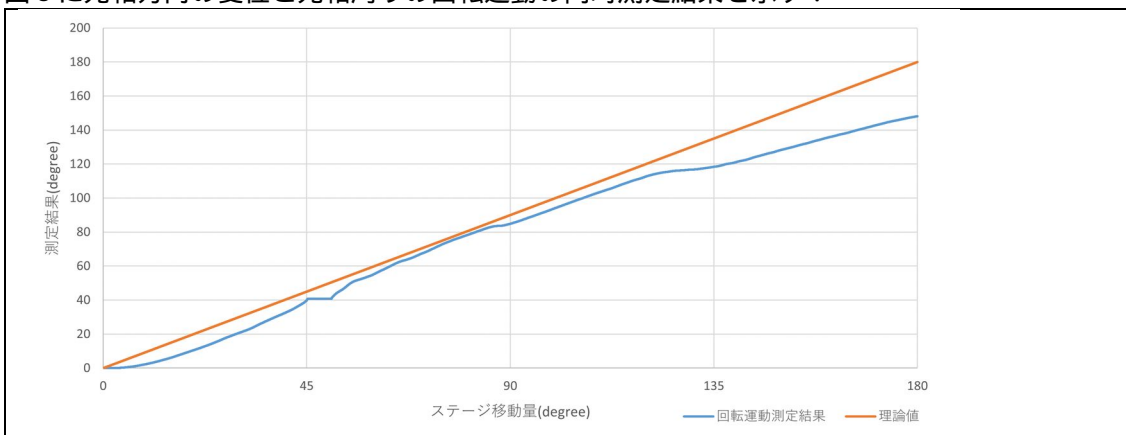
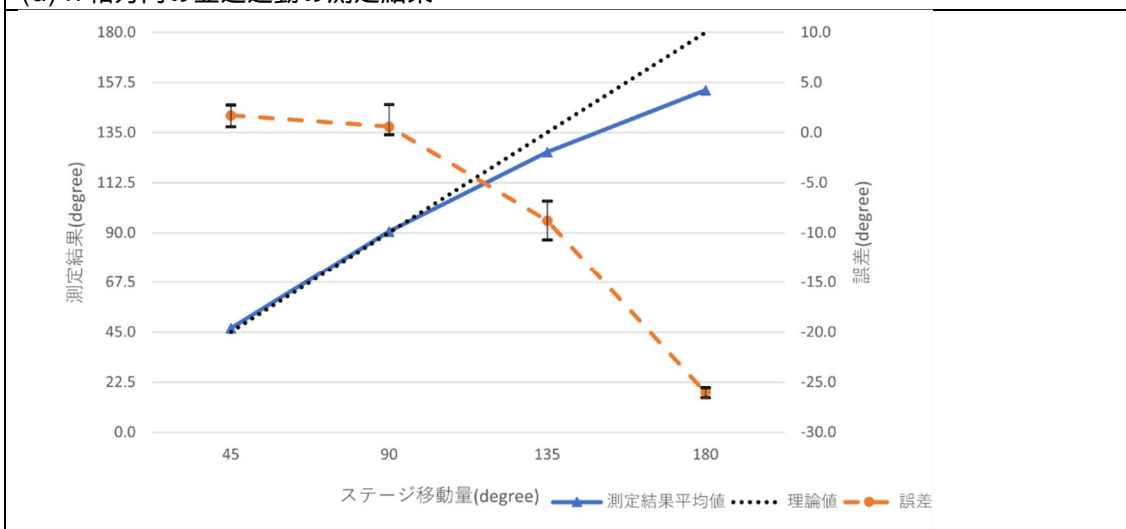


図 7 X 軸方向変位と X 軸周りの回転角の同時測定のためのモデル

図 8 に光軸方向の変位と光軸周りの回転運動の同時測定結果を示す．



(a) X 軸方向の並進運動の測定結果



(b) X 軸周りの回転角の測定結果

図 8 光軸方向の変位と光軸周りの回転運動の同時測定の結果

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 Kikuchi Gemba, Furutani Ryoshu	4. 巻 31
2. 論文標題 Interferometer for pitch and yaw measurement using LC-screen and four ball lenses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Measurement Science and Technology	6. 最初と最後の頁 094016 ~ 094016
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6501/ab9036	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 2件）

1. 発表者名 Kota ISHI, Ryoshu FURUTANI
2. 発表標題 Interferometer for multi-degree-of-freedom measurement using ball lens and liquid crystal
3. 学会等名 8th International Conference on Nanomanufacturing（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kota ISHI, Ryoshu FURUTANI
2. 発表標題 A Study of Common Path Length and Angle Measurement Interferometer
3. 学会等名 International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments（国際学会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 干渉計	発明者 古谷涼秋, 石井広太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-112724	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究 分 担 者	小崎 美勇 (Ozaki Miyu) (80550590)	日本工業大学・基幹工学部・准教授 (32407)	

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