

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560302

研究課題名(和文) インチワーム型 6 自由度位置決め装置の開発

研究課題名(英文) Development of an Inchworm-type 6-DOF Positioning Device

研究代表者

鳥井 昭宏 (Torii, Akihiro)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：70267889

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000 円、(間接経費) 1,230,000 円

研究成果の概要(和文)：インチワームとは小さな移動を繰り返すことにより、無限の範囲を移動できる機構である。圧電アクチュエータを用いたインチワームは1ミクロン程度の微小な移動が可能である。また、立体形状を加工するためには直進3方向と回転(ねじり)3方向の合計6自由度が必要になる。そこで、6個の圧電アクチュエータを組み合わせ、精密な移動が可能な位置決め装置を開発した。様々な方向の移動が可能であり、複雑な形状の加工に利用することができる。

研究成果の概要(英文)：An inchworm is a device which has unlimited working area with small displacement. A piezoelectric actuator (piezo) realizes one micron or smaller deformation. In order to manufacture free-form surface, six degree-of-freedom (6-DOF) positioning device is required; 3-DOF for linear motion and 3-DOF for rotational motion. The developed positioning device is an inchworm based hexapod. It consists of six piezos and six electromagnets. The linear slides in the hexapod are replaced by the stacked-type piezos. Six electromagnets are placed between two piezos. Three electromagnets at the bottom touch the base, and the other three support a platform. Tilt motion is obtained by a hemisphere platform. The electromagnets' excitation and the piezos' deformation are determined by the desired motion. The 5  $\mu\text{m}$  linear displacement and 1.3 mrad tilt were obtained. The angle reduced to 0.6 mrad when the 40 g load is applied. The load characteristic depended on the electromagnetic force.

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：知能機械学・機械システム

キーワード：精密位置決め 圧電アクチュエータ 多自由度アクチュエータ インチワーム

## 1. 研究開始当初の背景

超微細かつ高精度な加工を実現するためには、ステージと工具の相対位置決め装置が必要となる。また、自由曲面の創生のためには加工対象と工具の相対位置を自在に変化させる機構が必要である。さらに、大型の加工を行うためにはそれに見合った移動範囲を持つ移動機構が欠かせない。したがって、超精密・高精度、かつ広いストロークを有する多自由度位置決めステージの開発が望まれる。

広い位置決め範囲を実現するためにインチワームの原理が用いられる。超精密および高精度を実現するための圧電アクチュエータの導入が試みられる。これらを組み合わせることによって、広範囲を精密に位置決めできる多自由度機構の実現が期待される。

## 2. 研究の目的

広範囲精密ステージに応用できる多自由度超精密位置決め装置の実現を目的とする。そのために、これまでに製作した平面上を自在に移動できる自走式スチュワートプラットフォームを発展させ、ステージ面（プラットフォーム面）の傾斜範囲に制限のないインチワーム型多自由度位置決め機構を開発する。さらに、開発した機構の産業機器への応用を目指し、負荷質量変化に対する変化を求めらる。

## 3. 研究の方法

### (1) 6自由度位置決め装置の開発

圧電素子と電磁石を用いた6自由度精密位置決め装置を以下のように開発する。

圧電素子を用いた自走式スチュワートプラットフォームを製作する。ステージ面（プラットフォーム面）を電磁石で支持し、移動平面との間も電磁石によって接触する構造とする。

圧電素子の伸縮と電磁石の吸着力の発生の順序（シーケンス）を制御し、平面移動と、ステージ面の回転動作を実現する。各素子への印加電圧・電流を変える。

外乱が位置決めに与える影響を評価する。

### (2) 多自由度精密位置決め機構の製作

製作する位置決め装置を2方向からの見た構造を図1に示す。ステージ面は精密に形状加工された半球状とする。長手方向に伸縮する6個の積層型圧電素子(10mm長)を用いた六員環構造のスチュワートプラットフォームとし、圧電素子の6か所の接続部にそれぞれ電磁石を配置する。電磁石は、位置決め機構と移動平面の間の接触に3個、位置決め機構とステージの間の接触に3個、合計6個使用する。圧電素子と電磁石の間には、弾性変形の3自由度ヒンジを挿入する。ヒンジの

弾性定数は圧電素子の伸縮を制限するため、コンピュータシミュレーションを繰り返して形状を決定する。

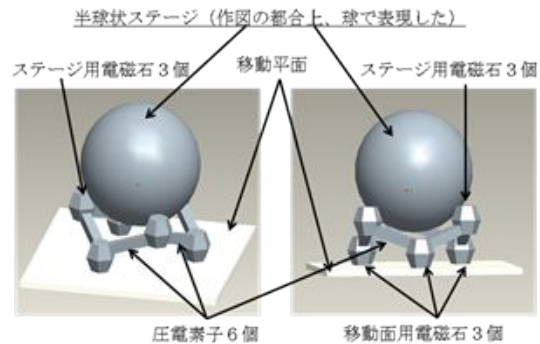


図1 製作するインチワームの模式図

(3)以下の特性を明らかにする。

#### 平面移動特性

平面移動時にはステージに接する電磁石は吸着している。圧電素子の伸縮と移動平面に接する電磁石の吸着力によって移動する。圧電素子への印加電圧、電磁石への印加電圧、およびそれらの順序を変化させて、平面移動特性（速度、微小変位）を明らかにする。

#### ステージ面の角度変位特性

角度変位時には移動平面に接する電磁石は吸着している。角度変位の動作原理の模式図を図2に示す。初期状態(1)から、半球状ステージに電磁石が吸着した状態で圧電素子を伸長して角度変位を与え(2)、電磁石を解放しつつ圧電素子を収縮して角度変位が得られる。角度変位機能と位置変化機能を併せ持つ特長がある。

半球状ステージに3個の電磁石が接し、各電磁石にそれぞれ2個の圧電素子が接続されていることから、半球状ステージは3方向に回転する。角度変位特性（角速度、微小角度変位）を明らかにする。

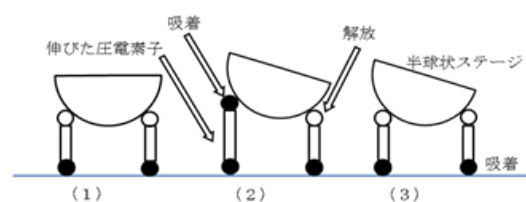


図2 角度変位の模式図

動作原理に従って半球状ステージの角度を変化させ、半球状ステージの角度変位を測定する。光ファイバ変位計を用いて変位を計測し角度に変換する。

#### 負荷の影響の評価

負荷の質量を変化させたときの動作特性特に変位量を求める。

#### 4. 研究成果

製作したインチワームを図3に示す。この構造のインチワームはプラットフォームを独立して動作させることができず、プラットフォームの動作は微小となる。得られたプラットフォームの微小変位と微小傾斜を図4に示す。圧電素子への印加電圧（横軸）に比例した変位と傾斜が得られた。マイクロメートル、ミリラジアンと微小な変位であることがわかる。プラットフォームとインチワームの機構が一体化されているため、プラットフォームの変位の拡大は不可能である。

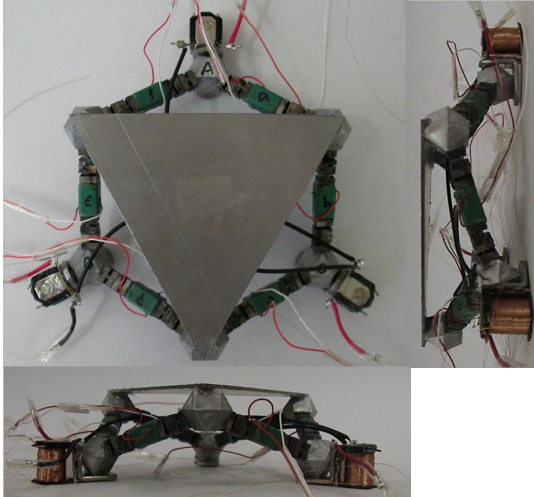


図3 製作したインチワーム

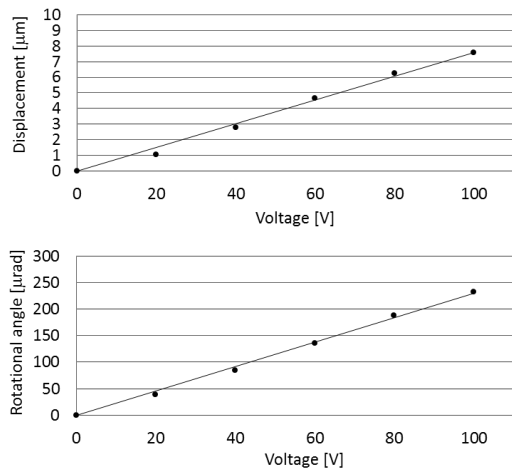
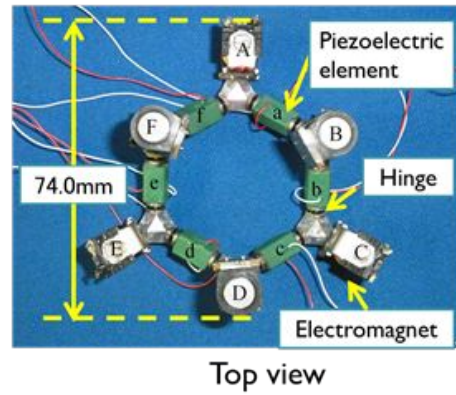
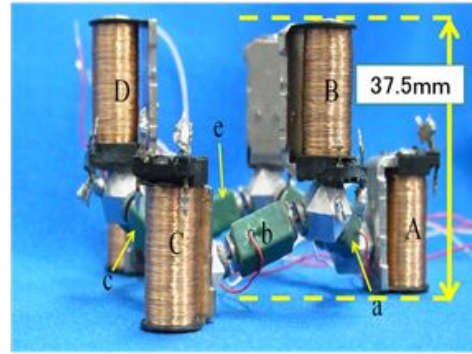


図4 直線変位と角度変位

そこで、プラットフォームを変更できる構造の図の構造のインチワームを開発した。電磁石がインチワームと基板およびプラットフォームを接続する構造である。この構造によって半球状のプラットフォームを用いると傾斜変位を含めて動作範囲を拡大できる。



Top view



Side view

図5 改良したインチワーム

図5のインチワーム機構の上部にプラットフォームを搭載し、そのプラットフォームをインチワームと一体化して移動する。あるいはインチワームの位置を固定した上で、上部に搭載したプラットフォームだけを移動することもできる。半球状位置決め装置として使用するには、図6に示すように半球状プラットフォームと搭載する。電磁石の上部を球状にし、接触点の不揃いがなくなる構造とする。プラットフォームとインチワームを電磁石によって一体化し、全体を移動させることも、インチワームを固定しプラットフォームの傾斜を変化させることもできる。

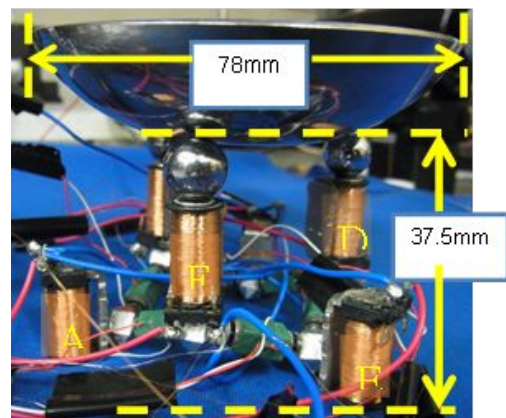


図6 傾斜変位用の球状接点の電磁石

インチワームとして動作させた場合の水平変位と高さ変位を図7に示す。一般的なインチワーム動作をMMMと、修正した制御用法をRMMMとして表示してある。前者では相対的に大きな水平変位が得られているが、高さ方向の寄生変位も相対的に大きい。そこで、制御信号を後者に変更すると寄生変位が減少するが目的とする変位量も減少する。これらは構造によって決まり、トレードオフの関係にある。

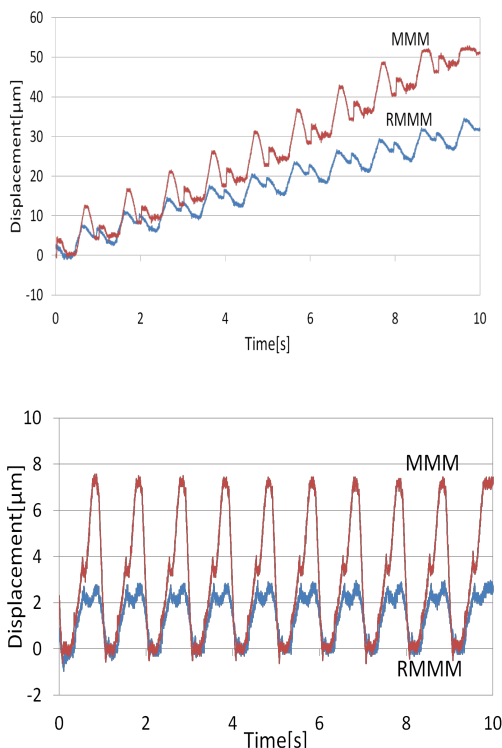


図7 (上) 直線変位と(下) 寄生変位・高さ変位

一方、負荷を変えた場合の変位の変化を図8に示す。ばらつきは大きい結果となったが、負荷の増加に従って変位量が減少することがわかる。負荷を変えることによって変位量が減少することがわかる。

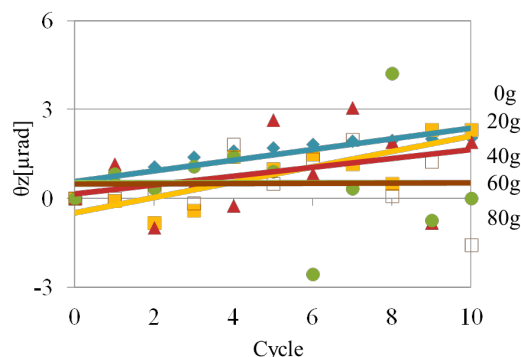


図8 負荷特性

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

(1) 鳥井昭宏, 山田智弘, 上谷亮介, 植田明照, 道木加絵, インチワーム型多自由度ステージ, 電気学会論文誌C, 査読有, 133巻, 2013, 849-855

DOI:10.1541/ieejieiss.133.849

(2) 鳥井昭宏, 板津佑樹, 西尾光弘, 植田明照, 道木加絵, 鉛直振動による浮上を用いたインチワーム, 電気学会論文誌C, 査読有, 132巻, 2012, 1919-1924,

DOI: 10.1541/ieejieiss.132.1919

〔学会発表〕(計35件)

(1) 上谷亮介, 鳥井昭宏, 道木加絵, 植田明照, 5自由度インチワームの球面モータへの応用, 第25回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, 2013年5月15日, 神奈川県箱根町

(2) 曾根勝利, 鳥井昭宏, 道木加絵, 植田明照, 圧電素子を用いた浮上機構の浮上量推定, 第25回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, 2013年5月15日, 神奈川県箱根町

(3) 曾根勝利, 鳥井昭宏, 道木加絵, 浮上機構の浮上量推定用周波数の決定法, 2013年度精密工学会秋季大会, 2013年9月12日, 吹田市

(4) 上谷亮介, 鳥井昭宏, 道木加絵, 自走式5自由度プラットフォームの回転動作と負荷特性, 平成25年度電気関係学会東海支部連合大会, 2013年9月24日, 浜松市

(5) A. Torii, R. Kamiya, K. Doki, A. Ueda, Displacement of a 6-DOF inchworm-based parallel kinematic stage, 13<sup>th</sup> international conference of the European society for precision engineering and nanotechnology, 2013年5月27日 Berlin, Germany

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

鳥井 昭宏 (TORII, Akihiro)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号: 70267889

(2) 研究分担者

道木 加絵 (DOKI, Kae)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 00350942