

多自由度モータの開発

－超音波モータの3Dカメラへの応用－

高野昌宏*

本研究では3Dカメラへの応用を目標に、目の動作が実現可能な2回転1並進自由度を持つ小型多自由度モータの開発を検討した。試作したモータは、球状の回転ユニットを複数の振動子(超音波モータ)により摩擦駆動する構造であり、カメラ本体に内蔵することを考慮して、モータの外形寸法を52mm以内とした。また、回転ユニットの動作に関係のない振動子に縦振動を励起して摩擦力を低減することにより、2回転1並進の動作がスムーズに行えることを確認した。さらに高分解能化のために慣性駆動方式についても検討し、並進方向4nm、回転方向は2秒の最小分解能とすることができた。

キーワード:超音波モータ, 多自由度モータ, 3Dカメラ

The Development for the Multi Degree-of-freedom Motor
- Application to the 3D camera of the ultrasonic motor -

Masahiro TAKANO

In this study, the small size multi-degree-of-freedom motor with 2 revolution 1 translational degrees which can realize the action of an eye was made as an experiment, and it investigated about the application possibility to a 3D camera. The proposed motor was ultrasonic motor structure which carries out a friction drive with several transducers. The outside dimension of the motor is the maximum of 52mm, and building in the body of a camera is also possible magnitude. It confirmed that 2 revolution and 1 translation could be operated smoothly by reducing the holding force of the vibrator which is unrelated to an action using a longitudinal oscillation.

Furthermore, to obtain a higher resolution, we examined drive systems other than the usual resonance drive. We obtained a resolution of 4nm in the translation direction and two seconds in the rotative direction.

Keywords : ultrasonic motor, multi degree-of-freedom motor, 3D camera

1. 緒 言

超音波モータは、振動子と呼ばれる圧電体で発生させた弾性振動を摩擦力を介して機械出力に変換させるモータである。これまでの研究において、制御性に優れた独立励振型超音波リニアモータを県内企業と共同で開発し、それをミラーの角度調整機構等の光学機器製品に適用した¹⁾。このモータは小型、高分解能という特徴を有しており、これらの特徴を活かした新たな応用分野が期待される。

一方、3D映像の普及とともにそれを撮影するための3Dカメラの技術開発が進められている。3D映像は2台のカメラ(CCD)を用い、それぞれのカメラの角度を微細に調整しながら撮影される。つまり3Dカメラには人

間が見物するときの両眼の動きと同じような動作が求められる。このカメラの角度調整機構として電磁モータを複数組み合わせた装置が開発されているが、装置が大型化することや、分解能が低いことなどが課題となっている。

そこで本研究では、開発した超音波リニアモータの新たな応用として3Dカメラへの適用を試みたのでその結果を報告する。

2. モータ構造

3Dカメラに必要な動作としては、図1に示す眼球の動きと同じX軸回り、Y軸回りの回転運動と、焦点機構としてのZ軸方向の並進運動がある。通常このような3方向の動作を実現するためには、一方向に動作するモータを3台積み重ねて使用するが、装置が大型化

*機械金属部

することや累積誤差により精度が低下することが懸念される。そこで、本研究ではこの3方向の動作を一つのモータで実現する多自由度モータ構造を提案した。超音波モータを用いた多自由度モータは既にいくつかの方式が提案されている²⁾が、眼の動作(2回転1並進)が可能な方式はこれまで提案されていない。提案したモータ構造を図2に示す。モータ中心部に球状の回転ユニットを設置し、その周りに複数の振動子を配置した構造となっている。回転ユニットは上下2分割した構造とし、上部と下部の間にZ軸回りの回転を行うベアリングを設置した。本モータ構造では、上部振動子(4個)、下部X軸振動子(2個)、下部Y軸振動子(2個)をそれぞれ駆動、停止させることで、2回転・1並進の動作を行う。以下に本モータの動作について述べる。

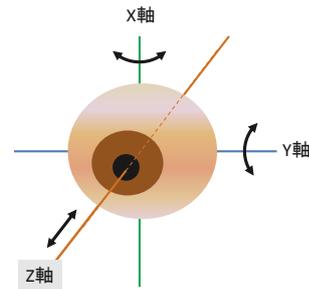


図1 眼の動作

(a) Z軸並進動作

Z軸並進方向に動作する時のモータ、各振動子の動きを図3に示す。上部回転ユニットには送りねじを介してシャフトが取り付けられており、シャフトのZ軸回りの回転は回転ユニット下部により固定される構造とした。したがって、上部回転ユニットのみがZ軸回りに回転すると、シャフトは送りねじによりZ軸方向に並進移動する。上部回転ユニットのZ軸回りの回転は、上部に取り付けた4個の振動子(上部振動子)によって駆動する。このとき、下部回転ユニットは下部振動子の摩擦により固定される。

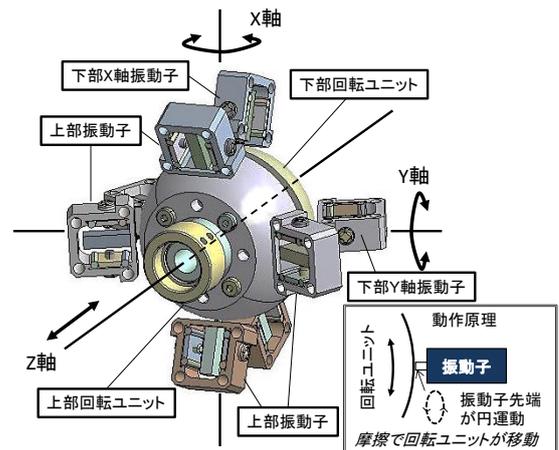


図2 モータ構造

(b) X軸(Y軸)回転動作

X軸回転方向に動作する時のモータ・各振動子の動きを図4に示す。回転ユニットのX軸回り、Y軸回りの回転は、下部に取り付けた4個(2対)の振動子(下部X軸振動子、下部Y軸振動子)によってそれぞれ駆動する。通常であれば上部振動子の摩擦力によってX軸回転、Y軸回転の動作が拘束されてしまうが、上部振動子の摩擦力を低減するために上部振動子に加圧方向振動のみを励起させている。これにより、上部振動子に転がり案内のような役割を持たすことができ、上部振動子に干渉されず、X軸回転、Y軸回転の動作が可能となる。各動作におけるそれぞれの振動子の駆動状態を表1に示す。

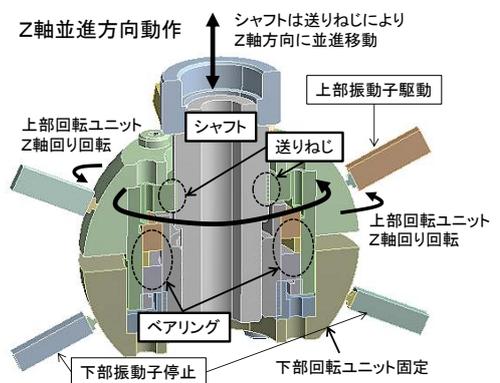


図3 Z軸並進方向動作時の動き

シャフトの上面にレンズ、下部回転ユニットの底面にCCDが取り付けられる構造となっており、人間の眼と同様の機能(2方向回転、焦点機構)を本モータ構造で行うことができるため、3Dカメラの他、ロボットなどの視覚センサへの応用も期待できる。

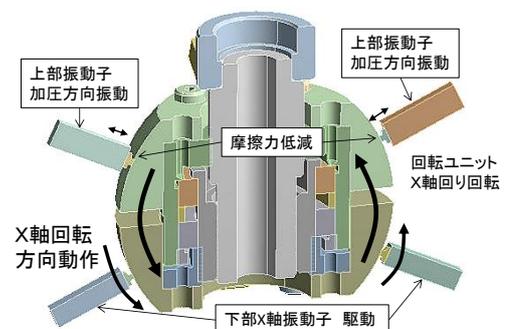


図4 X軸回転方向動作時の動き

表1 各動作における振動子の駆動状態

	上部振動子	下部X軸振動子	下部Y軸振動子
Z軸並進	駆動	停止	停止
X軸回転	加圧方向振動	駆動	停止
Y軸回転	加圧方向振動	停止	駆動

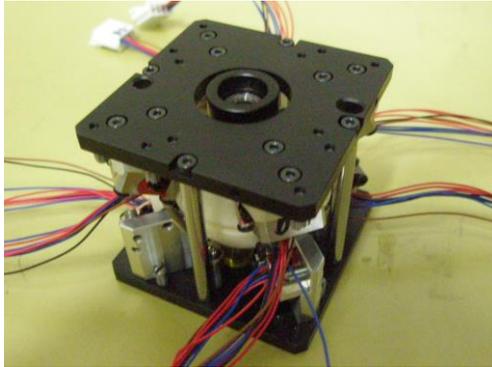


図5 試作したモータの外観写真

試作した多自由度モータの外観写真を図5に示す。外形寸法は52×52×47mmであり、カメラ本体に内蔵することも可能な大きさである。

3. 動作性能

3.1 駆動方式

本研究では、通常の超音波モータの駆動方法である共振駆動方式に加え、分解能を向上させるために慣性駆動方式、DC駆動方式についても検討した。各駆動方式における振動子の動作を図6に示し、各駆動方法の概要を以下に述べる。

(a) 共振駆動方式

回転ユニットと接触している振動子端面(接触部)に楕円運動を生成することにより回転ユニットを駆動する。楕円運動は、振動子の縦1次振動(加圧方向振動)と屈曲2次振動(送り方向)を励振することにより生成する。また、縦1次振動(加圧方向振動)のみを励振することにより、振動子の摩擦力を低減し、ガイドとしての役割を持たすこともできる。

(b) 慣性駆動方式

振動子の接触部を送り方向にゆっくりと変位させた後、素早く戻す(10μs以下)ことにより、回転ユニットを移動させる方式である。振動子の接触部がゆっくり動作している場合は摩擦力により振動子の動きに合わせて回転ユニットが移動するが、素早く動作させる

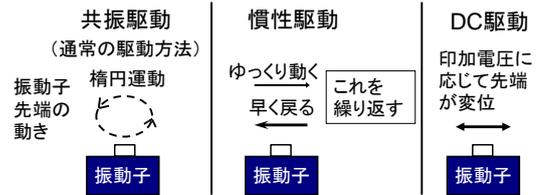


図6 各駆動方式における振動子の動作

(10μs以下)と慣性力が摩擦力よりも大きくなるため、回転ユニットのみがその場に留まる。これを繰り返すことにより回転ユニットを少しずつ移動させる。このような慣性駆動の動作を行うためには、振動子にのこぎり波錠の電圧を印加する。本駆動方式は共振現象を利用していないため、1パルスでも安定した動作が可能であり、共振駆動よりも高い分解能が得られる。

(c) DC駆動方式

振動子の接触部を送り方向に変位させ、その状態を保持することで回転ユニットを微小に変位させる方式である。ストロークは振動子の変位量(約0.5μm)に制限されるが、最も分解能が得られる駆動方式である。

3.2 試験結果

前節に述べた各駆動方式でそれぞれの最小分解能を測定した。測定結果を表2に示す。Z軸並進の移動量の測定は静電容量式変位計(岩崎通信機(株)社製 GA-202)を用いて測定し、X軸、Y軸回転の角度変化はレーザ変位計((株)キーエンス社製 LK-H050)で測定したZ軸方向の移動量から算出した。図7に共振駆動方式におけるZ軸並進方向の位置の変化を示す。同図では、200パルスの正弦波(200回の楕円運動)の制御信号を約3秒ごとに振動子に入力し、モータを動作させた。共振駆動では定常状態に至るまでに過渡的な応答を示し、動作が不安定になることから、安定した動作を行うために1ステップあたりの入力信号として最低でも200パルス以上の正弦波信号が必要となる。このため、1ステップあたりの移動量は他の駆動方式に比べて大きくなっている。図8に慣性駆動方式におけるZ軸並進方向の位置の変化を示す。約3秒ごとに3パルスの慣性駆動を行った。同図に示すように、1ステップの移動量は

表2 各駆動方式の最小分解能

	共振駆動	慣性駆動	DC駆動
Z軸並進	100~200nm	5~10nm	4nm
X軸、Y軸回転	50~200秒	3~5秒	2秒

約15nmである。1ステップあたり3パルス発生させているので、1パルスあたりの移動量は約5nmである。1パルスでも安定して動作するため、共振駆動と比べてより高い分解能が得られる結果となった。図9にDC駆

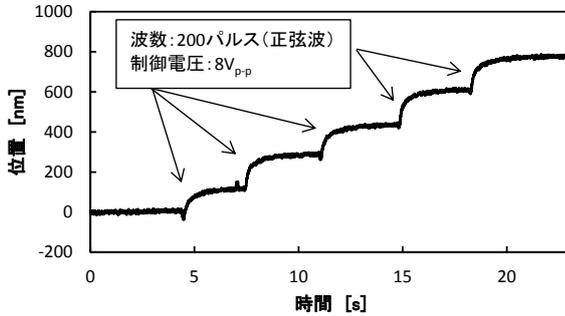


図7 共振駆動時のZ軸並進方向の位置変化

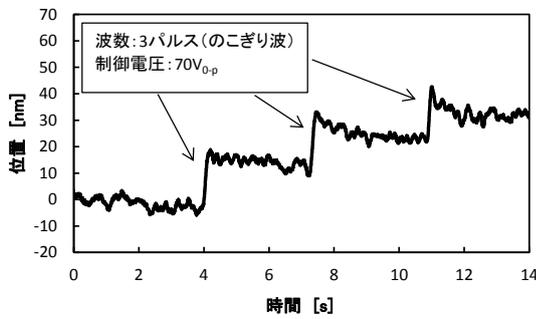


図8 慣性駆動時のZ軸並進方向の位置変化

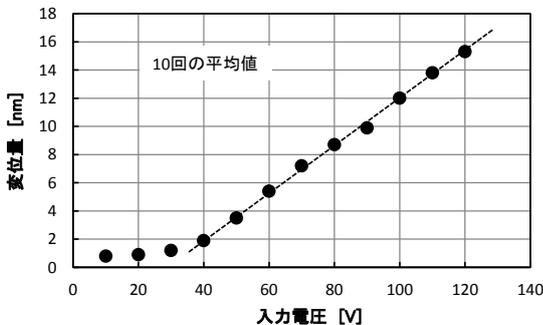


図9 DC駆動時のZ軸並進移動量と入力電圧の関係

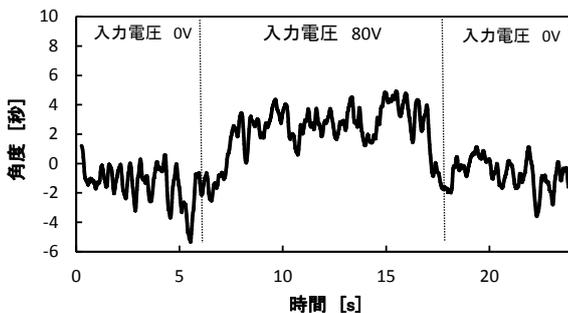


図10 DC駆動時のX軸回転方向の角度変化

動方式におけるZ軸並進方向の移動量と入力電圧の関係を示す。入力電圧が約50V以上の領域で入力に対して移動量が線形に変化する関係が得られた。入力電圧が50V以下の領域は移動力が小さくなっており、振動子と回転ユニットの間でわずかな滑りが発生していると考えられる。したがって安定した動作が可能な50Vの入力電圧での最小分解能は4nmとなる。

X軸回転、Y軸回転についても同様に各駆動方式で測定を行った。図10にDC駆動方式におけるX軸周りの角度変化を示す。入力電圧80Vを振動子に印加すると約5秒の角度変化が得られている。上部振動子に加圧方向の振動を励起し、動作を妨げる摩擦力を低減することで、同図に示すような微小な変位の制御が可能となった。これにより最小分解能を2秒とすることができた。

4. 結 言

超音波リニアモータを複数個用いた2回転1並進自由度を持つ多自由度モータ構造を試作し、3Dカメラへの適用の可能性について検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) モータ全体の外形寸法として、カメラ本体に搭載可能な52×52×47mmで製作することができた。
- (2) 動作に関係のない振動子の摩擦力を加圧方向振動により低減することにより、2回転1並進の動作を可能とした。
- (3) 分解能を向上させるために3種類の駆動方式について検討し、DC駆動方式において並進方向4nm、回転方向2秒の最小分解能とすることができた。

謝 辞

本研究は、平成23年度科学技術振興機構研究成果最適展開支援プログラムA-STEPフィージビリティスタディ[FS]ステージにより実施しました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 高野昌宏, 廣崎憲一, 吉田勇太, 新谷隆二. 独立励振電極を有する超音波リニアモータ. 石川県工業試験場研究報告. 2011, no. 60, p. 5-10.
- 2) 音川佳代, 竹村研治郎, 前野隆司. 単相駆動型多自由度モータ. 日本機械学会論文集(C編). 2007, vol. 73, no. 726, p. 215-220.