

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05885

研究課題名(和文)しゃくとり虫型変形部品に動力伝達機構を組み合わせた超音波モータの開発

研究課題名(英文) Development of Ultrasonic Motor Combining Power Transmission Mechanism with Inchworm Shape Metallic Plate

研究代表者

長縄 明大 (NAGANAWA, AKIHIRO)

秋田大学・理工学研究科・教授

研究者番号：70271872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、圧電素子の微小な変位を拡大しながら物体を駆動する動力伝達型の超音波モータの開発を行った。動力伝達機構にはベルクランク型の機構を採用し、物体との接触部には板状部材を導入した。その結果、2段階の拡大が可能となる。設計製作したステータの基礎特性を測定した結果、圧電素子の伸長量に比べてベルクランク機構で1.91倍、ロータと接触する板状部材で3.43倍の変位拡大が得られた。つぎに、駆動性能について検証した結果、直径30mmの亚克力素材のロータに対して、駆動電圧が80V、与圧が2Nのとき、366rpmの回転数が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a power transfer type ultrasonic motor which drives an object while enlarging micro displacement of the piezoelectric element. A bell crank type mechanism was adopted as a power transmission mechanism, and a plate member was introduced to the contact part with the object. As a result, enlargement in two stages becomes possible. In the experiment, as a result of measuring the basic characteristics of the designed and manufactured stator, the enlargement ratio of the bell crank mechanism for the displacement of piezoelectric element was 1.91 times and the enlargement ratio of the plate member was 3.43 times. Next, as a result of verifying the driving performance, when the drive voltage was 80 V and the preload was 2 N, a rotation number of 366 rpm was obtained for an acrylic material rotor having a diameter of 30 mm.

研究分野：メカトロニクス

キーワード：超音波モータ

1. 研究開始当初の背景

超音波モータは、圧電素子による超音波領域の機械的振動を用いて、物体を駆動するアクチュエータである。その特徴は、低速駆動であるが体積比当りのトルクが大きい、位置決め精度が良い、磁気の影響を受けないことなどから、精密ステージ、カメラのレンズ駆動装置、自動車のパワーウィンドウ、高磁場環境下におけるアクチュエータなどで使用されている [文献(1)~(4)]。

超音波モータは、駆動原理によって進行波型モータ、定在波型モータ、インパクト駆動型モータなどに分類することができる。例えば、定在波型モータは、圧電素子に取り付けた振動片上に楕円軌跡を発生させ、これを移動体に接触させて駆動するモータである。その代表的なものに、圧電素子を2つ直交に配置したトラス構造のモータがある [文献(1)]。これは、片側の圧電素子のみで先端部に取り付けられたチップ部に楕円軌跡を生成し、ロータを回転させたり、スライダを直動させることができる。また、インパクト駆動型モータは、圧電素子に摩擦部材を取り付けて超音波振動させ、移動体を移動させて物体を駆動するモータである [文献(2)]。

しかし、これまで提案された超音波モータには、圧電素子の微小な変位量を拡大して物体を駆動するものは存在せず、物体を駆動するためには圧電素子そのものに、その性能を実現するための性能が要求されていた。

2. 研究の目的

本研究では、圧電素子の微小な変位量を動力伝達機構により拡大し、増幅された変位量を用いて物体を駆動するモータの研究開発を行う。その特徴は、圧電素子に変位拡大機構を組み合わせることにより増速効果が期待できること、その結果物体を駆動するために必要な圧電素子を小さくすることができるためステータの小型化につながることで、構造がシンプルで原理が分かりやすいなどが挙げられる。その結果、駆動に必要なエネルギーも抑えられ、モータの設置空間を小さくできるため機器の小型化にもつながるなどが挙げられる。

3. 研究の方法

(1) 駆動原理

図1に本研究で検討を行う変位拡大機構を導入した超音波モータを示す。なお、変位拡大機構には、拡大原理がわかりやすいベルクランク型の機構を採用した。図1に示すようにステータは、積層型圧電素子とベルクランク機構、板状部品からなる。駆動原理は、圧電素子に電圧を印加すると圧電素子が伸び、これによりベルクランク機構が図2に示すように傾き、これによって板状部品が押し曲げられて変形し、この変形を物体に接触させて駆動する。これは、積層型圧電素子の発生力の大きさに着目したものである。

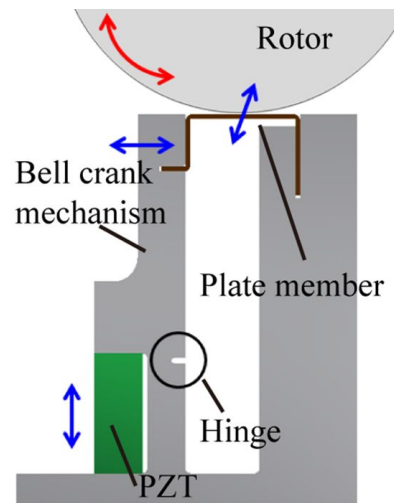


図1 ベルクランク機構を導入した超音波モータ

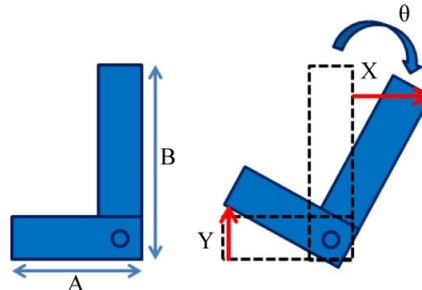


図2 ベルクランク機構による拡大原理

• Counterclockwise drive

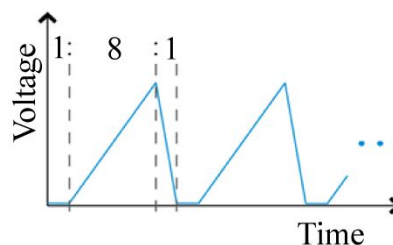


図3 駆動波形

図3に駆動波形を示す。本モータは、文献(2)と同じようにSIDM型の波形で物体を駆動する。この方法では、圧電素子をゆっくり伸ばし、その後、急速に縮める動作をさせ、これを繰り返すことにより物体を駆動するものである。

(2) 圧電素子

使用した圧電素子は、NEC トーキン製 AE0203D04 であり、断面積は $2 \times 3 \text{ mm}$ 、長さが 5 mm 、カタログに記載された変位量は $4.6 \pm 1.5 \mu\text{m}$ 、共振周波数は 261 kHz 、発生力は 200 N である。

(3) ステータの設計製作

図4に設計製作したステータの写真を示す。ベルクランク機構はステンレスで加工を行い、その大きさは、横幅が 3.8 mm 、縦の長さが 10 mm 、奥行きが 3 mm であり、図2に示した拡大原理では、ベルクランク機構に

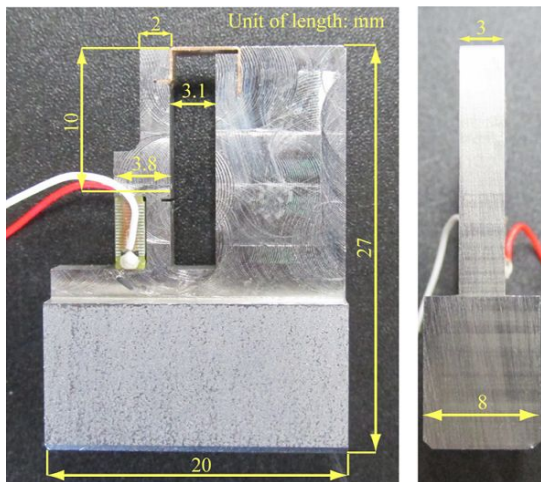


図4 設計製作したステータ

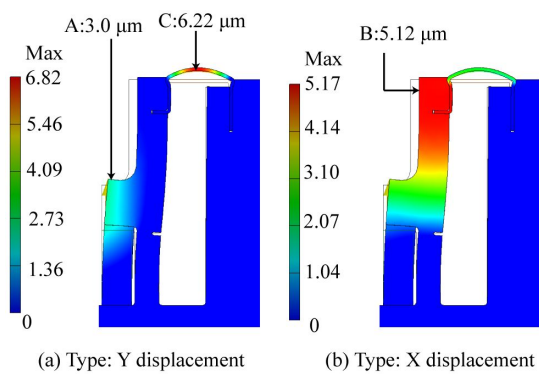


図5 FEM 解析の結果

において変位が幾何学的に2.6倍に拡大される。

図5にFEM(有限要素法, Finite Element Method)による解析結果を示す。図より、圧電素子がAのように $3.0\ \mu\text{m}$ 伸長したとすると、Bのようにベルクランク機構で $5.12\ \mu\text{m}$ 、さらに板状部材が上方へ押し曲げられて $6.22\ \mu\text{m}$ の変位が得られることがわかる。なお、この場合のベルクランク機構における拡大率は1.7倍であり、幾何学値と差があった。この原因は、ベルクランク機構におけるビームの歪みなどが考えられる。

(4) 基礎特性

つぎに基礎特性として、圧電素子に電圧を印加した場合の変位特性と、正弦波状の波形を印加した場合の周波数特性を測定した。

図6に変位特性の結果を示す。図より圧電素子の伸長は、電圧を $140\ \text{V}$ 印加した場合に圧電素子の変位が $2.79\ \mu\text{m}$ 、ベルクランク機構の変位量が $5.32\ \mu\text{m}$ 、板状部材の変位量が $6.56\ \mu\text{m}$ であった。変位拡大率は、ベルクランクにおいて1.91倍であり、FEM解析の結果に比べて差は11%であった。また、板状部材における変位拡大率は3.43倍であった。

図7に周波数応答の結果を示す。計測は、周波数特性分析器(NF回路設計ブロックFRA5087)を用いて行った。図より、低周波域ではゲイン特性が平坦であり、周波数 $11.6\ \text{kHz}$ のときに共振特性を有していることがわかる。また、2次共振は $15.0\ \text{kHz}$ 、3次共振は $18.2\ \text{kHz}$ であった。

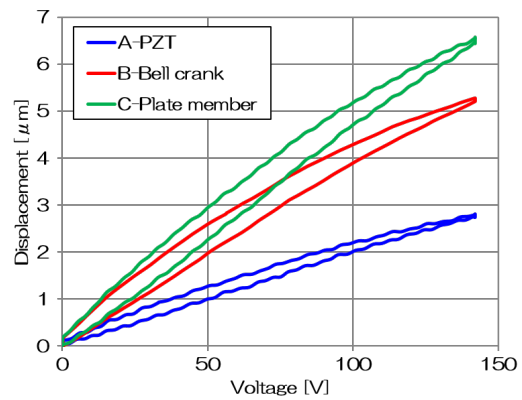


図6 変位特性

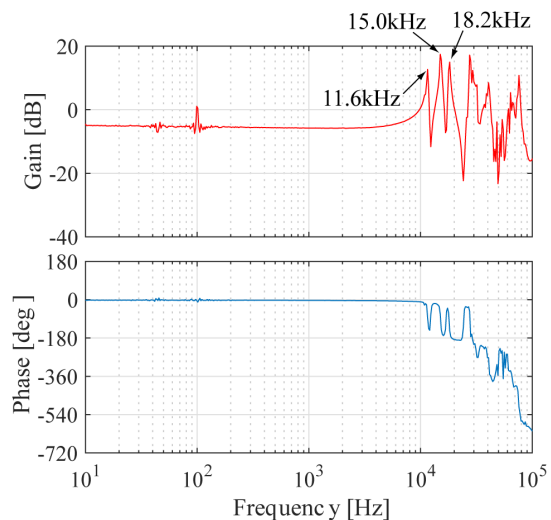


図7 周波数特性

4. 研究成果

図8に回転駆動の実験装置を示す。回転体は、直径 $30\ \text{mm}$ の亚克力製円盤とし、下部にはベアリング、上部にはロータリーエンコーダを設置した。一方、ステータは、XYステージ上に設置し、ロータに対する与圧を調整したり、ロータに対する設置部を左右方向に移動できるようにした。

図9にステータとロータの設置の様子の写真を示す。ロータは、板状部材との接触面積を小さくするようにポピン型に加工して実験を行った。

図10に駆動電圧に対する回転数の関係を示す。実験は、図3に示す駆動波形の周波数を $12.5\ \text{kHz}$ 、与圧は $3\ \text{N}$ として行った。図より、印加電圧が高くなると回転数が大きくなることがわかり、 $100\ \text{V}$ のとき $183\ \text{rpm}$ の回転が得られた。

図11に駆動周波数に対する回転数の関係を示す。なお、駆動電圧は $80\ \text{V}$ 、与圧は $2\ \text{N}$ とした。図7に示す周波数応答で1次共振周波数が $11.6\ \text{kHz}$ であったが、この共振周波数付近の駆動信号のときに最も回転数が高く、実験では $366\ \text{rpm}$ であった。

図12に回転数とトルクの関係を示す。実験は、駆動周波数が $11.5\ \text{kHz}$ 、与圧を $2\ \text{N}$ とした。図より、トルクが小さいときは回転数

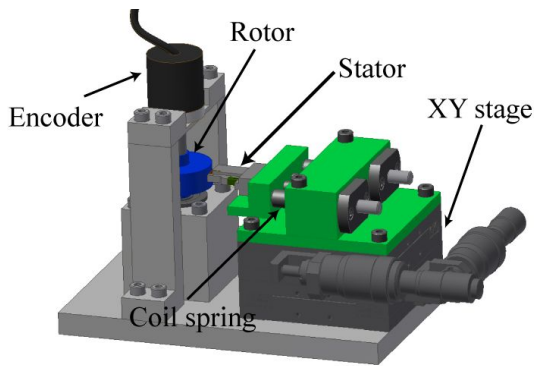


図 8 回転性能検証装置

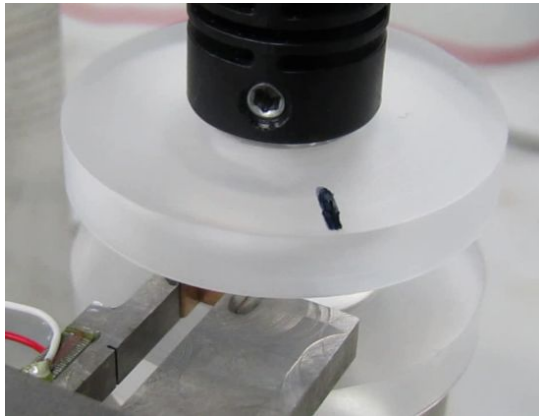


図 9 ステータとロータ

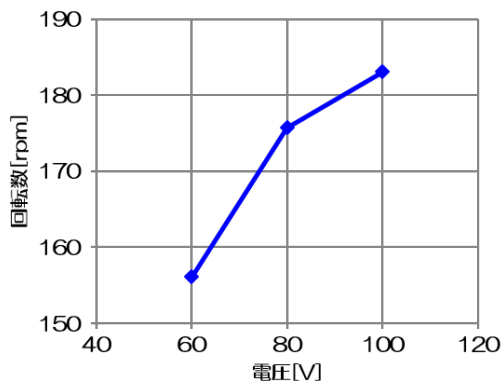


図 10 電圧に対する回転性能

が高く、トルクが大きくなると回転数が小さくなるのがわかる。

<引用文献>

- (1) 松田伸也, 松尾隆: 二本の圧電素子を直交して配置するマイクロアクチュエータ, コニカミノルタテクノロジーレポート, 2, p.101-104, 2005.
- (2) 岡本泰弘, 吉田龍一, 末吉浩久: 超小型圧電アクチュエータ (SIDM) の開発, コニカミノルタテクノロジーレポート, 1, p. 23-26, 2004.
- (3) V. Dabbagh, A. A. D. Sarhan, J. Akbari and N. A. Mardi : Design and experimental evaluation of a precise and compact tubular ultrasonic motor driven by a single-phase source, Precision Engineering, Vo. 48, p.172-180, 2017.

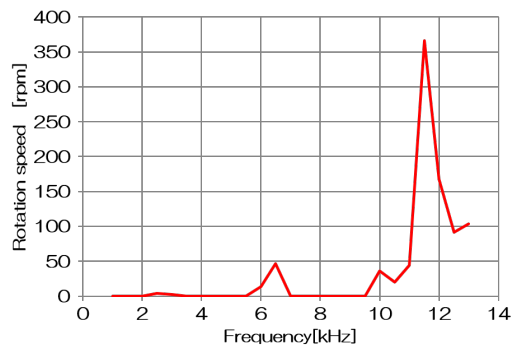


図 11 駆動周波数に対する回転性能

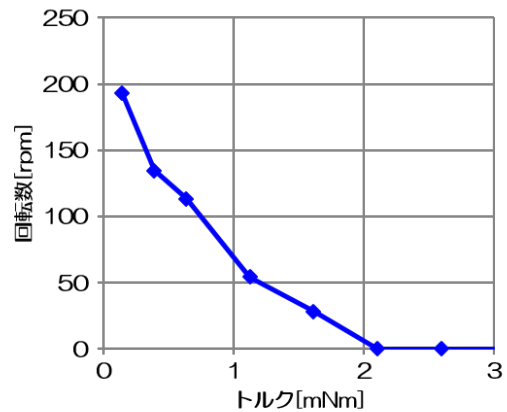


図 12 回転数とトルクの関係

- (4) L. Wang, C. Shu, Q. Zhang and J. Jin : A novel sandwich-type traveling wave piezoelectric tracked mobile system, Ultrasonics, Vol. 75, p.28-35, 2017.

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 1 件)

- (1) Kazumi Komatsu, Akihiro Naganawa, Yoshinori Ueno, Emilia Abadjieva, Hisashi Ito : Development of an Ultrasonic Motor Introducing a Curve-shaped Metallic Plate, Universal Journal of Mechanical Engineering, Vol. 5, No. 2, pp.47-51, 2017.

〔学会発表〕(計 7 件)

- (1) Kazumi Komatsu, Yutaro Hatanaka, Emilia Abadjieva, Hisashi Ito, Akihiro Naganawa, Development of a miniature ultrasonic motor using a metallic plate, 2017 the International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM 2017), Paper ID RM005-A, 2017.
- (2) Yutaro Hatanaka, Kazumi Komatsu, Emilia Abadjieva, Hisashi Ito, Akihiro Naganawa, Study of ultrasonic motor with mechanism to increase the PZT displacement, 2017 the International Conference on Robotics and

Mechatronics (ICRoM 2017), Paper ID RM004-A, 2017.

- (3) Akihiro Naganawa, Emilia Abadjieva, Yoshinori Ueno, Kazumi Komatsu, Hisashi Ito, Valentin Abadjiev : Development of Ultrasonic Motors which combine a piezoelectric element with a curve-shaped metallic plate, 13th National Congress Theoretical and Applied Mechanics (13thNCTAM), Book of Abstracts, p.38-39, 2017.
- (4) 上野禎徳, 小松和三, 長縄明大, 関健史, 伊藤尚志 : 湾曲板状部材を用いた超音波モータの開発, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.561-562, 2016.
- (5) Akihiro Naganawa, Kazumi Komatsu and Hisashi Ito : Development of an Ultrasonic Motor That Uses an Inchworm Shaped Deformation of a Metallic Plate, World Journal of Engineering and Technology, Vol. 4, p. 100-106, 2016.
- (6) 小松和三, 長縄明大, 関健史, 伊藤尚志 : 板状部材を用いた小型超音波モータの性能検証 (第 2 報) 板状部材の挙動について, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.559-560, 2016.
- (7) 小松和三, 安部祐樹, 長縄明大, 関健史, 伊藤尚志 : 板状部材を用いた小型超音波モータの性能検証, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p.395-396, 2016.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称 : ベルクランク型駆動装置及び動力伝達型駆動装置

発明者 : 長縄明大, 小松和三, 畠中優太郎

権利者 : 長縄明大, 小松和三, 畠中優太郎

種類 : 特許出願

番号 : 特願 2017-229590

出願年月日 : 平成 29 年 11 月 29 日

国内外の別 : 日本

取得状況 (計 1 件)

名称 : しゃくとり虫型変形を利用した駆動装置

発明者 : 長縄明大, 小松和三

権利者 : 長縄明大, 小松和三

種類 : 特許取得

番号 : 第 6124331 号

取得年月日 : 平成 29 年 4 月 14 日

国内外の別 : 日本

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mech.akita-u.ac.jp/mec/laboratory03.html#lab13>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

長縄 明大 (NAGANAWA AKIHIRO)

秋田大学・理工学研究科・教授

研究者番号 : 70271872

(2)研究分担者

該当なし

(3)研究分担者

該当なし

(4)研究協力者

該当なし