

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560284

研究課題名(和文)しゃくとり虫型変形を利用した超音波モータとその応用に関する研究

研究課題名(英文) Study on a development and its application of an ultrasonic motor which uses inchworm deformation

研究代表者

長縄 明大 (Naganawa, Akihiro)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70271872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、圧電素子によりしゃくとり虫型に変形する板状部材で物体を駆動する超音波モータについて検討した。板状部材を積層型圧電素子と同じ大きさにして検討した結果、従来のモータにはない特徴として変位拡大機能を備えていることが実験や解析結果から確認することができ、また周波数特性を明らかにすることができた。さらに、回転装置や直動装置を設計製作し、その駆動性能について検討した結果、正転や逆転駆動できることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：Ultrasonic motors are used for a variety of purposes like linear motion drive and rotational drive, and are usually designed and developed specifically for its intended method of use. Therefore, the development of an ultrasonic motor takes up a lot time and cost. In this study, we propose a new structure of standing-wave type ultrasonic motor and try to develop a motor that is able to perform both linear motion drive and rotational drive. The objective of this study is to verify the performance of this motor and further miniaturize the motor. The effectiveness of the motor is confirmed from experimental results and an analysis result.

研究分野：制御工学

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駆動源とし、圧電素子に印加した電気的エネルギーを機械的エネルギーに変換するアクチュエータである。その特徴は、小型軽量、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から、カメラのレンズ駆動装置、自動車のパワーウインドウ、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。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。

一方、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(2)]。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。しかし、これまで提案された定在波型超音波モータは、移動体の双方向駆動を行うために、圧電素子を2つ以上配置しなければならず、1つの圧電素子で駆動することができなかった。また、駆動性能が圧電素子の伸長量に大きく依存し、性能を向上させるためには大きな圧電素子を導入するしかなかった。

2. 研究の目的

本研究では、1つの圧電素子を用いて板状部材をしゃくとり虫型に変形させ、物体を駆動するモータの研究開発を行う。その特徴は、

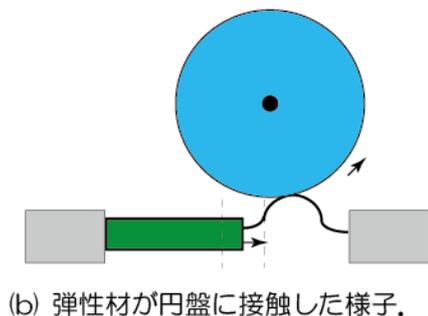
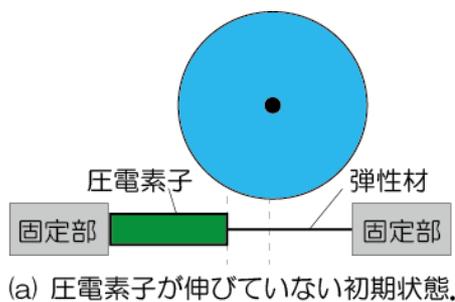


図1 駆動原理

構造がシンプルで原理が分かりやすい、ステータに変位拡大原理を導入したため小型化に向いている、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定在波型超音波モータの原理を示す。構成部品は、図1(a)に示すように積層型圧電素子と弾性材からなり、これらを挟み込むように左右に固定部がある。駆動原理は、図1(b)に示すように、圧電素子に電圧を印加すると圧電素子が伸び、これにより弾性材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。

(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 5mm 、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 261kHz 、発生力は 200N である。

(3) 板状部材の設計

本研究では、圧電素子と同じ寸法の板状部材の設計を行った。図2に寸法図を示す。図中左側に圧電素子を設置し、板厚 0.2mm の板状部材を変形させる。

図3に有限要素解析の結果を示す。図より板状部材の中央部が赤色分布になっており、最大変形していることがわかる。なお、圧電素子の伸長 $3.50\mu\text{m}$ に対して、板状部材の最大変位は $3.99\mu\text{m}$ であり、変位拡大率は 1.14 倍であった。

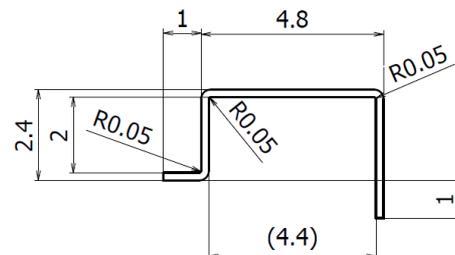


図2 設計した板状部材

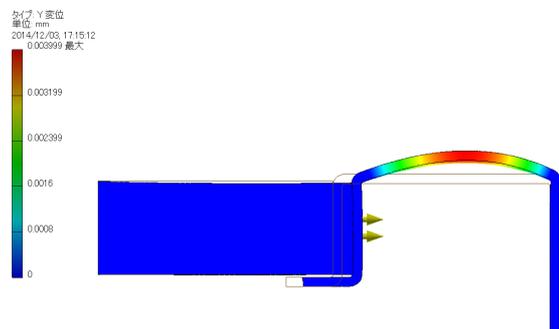


図3 板状部材の有限要素解析

(4) 板状部材の静特性

板状部材は、圧電素子から力を受けてしゃくとり虫型に変形するが、押し込み変位に対してどれくらいの反力が発生するかの試験を行った。図4に実験の様子を示す。図に示すように、板状部材を固定ブロックに固定し、右方向から力センサを接触させ、X ステージを移動させることにより反力を計測した。

図5に結果を示す。実験は、板厚が0.2mmのものを4個、0.4mmのものを3個製作し、各5回測定を行い、その平均値を求めた。図より、板厚0.2mmの板状部材を5 μ m押し込むと約0.4Nの反力があり、板厚0.4mmの板状部材を5 μ m押し込むと2.0Nの反力があることがわかる。この結果より、圧電素子の発生力は200Nであるため、十分に押し込んで変形できることがわかる。

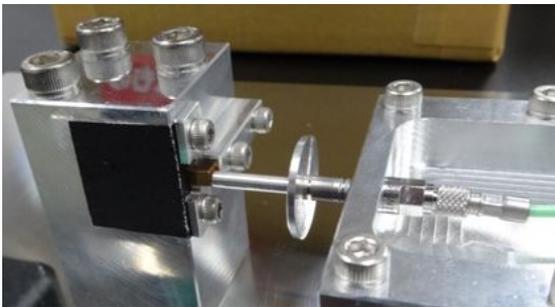


図4 静特性測定の実験の様子

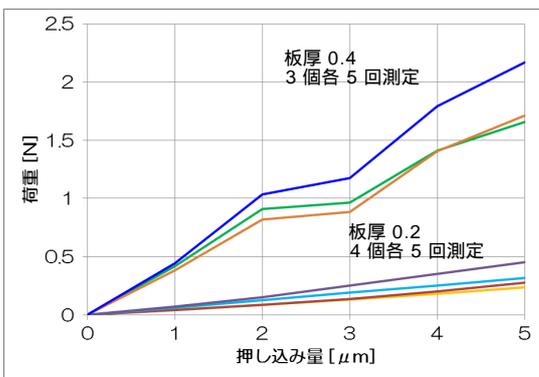


図5 静特性測定の実験結果

(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140V印加した場合に最大4.687 μ mとなり、板状部材の変形は5.304 μ mであった。その結果、変位拡大率は1.13倍となり、解析とほぼ同じ結果になった。

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31.78kHzのときに共振特性を有していることがわかる。これは、板状部材が弾性変形するために生じた結果と考えられる。

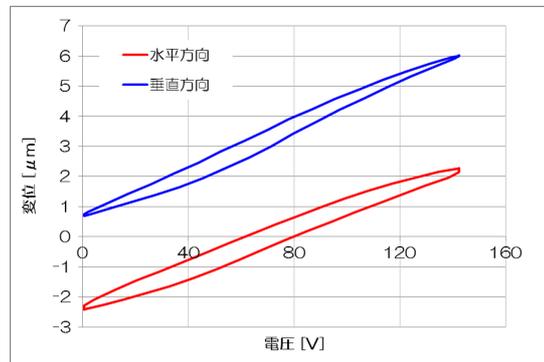


図6 変位特性の測定結果

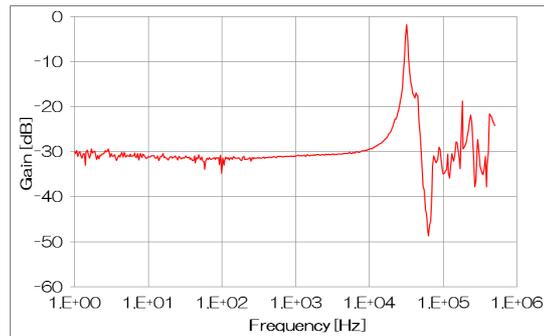


図7 周波数特性の測定結果

4. 研究成果

前節でしゃくとり虫形変形を利用した超音波モータの基礎特性を示したので、ここでは製作した回転装置と直動装置を用いた駆動性能の結果を示す。

(1) 回転駆動性能

図8に回転駆動の実験装置を示す。回転体は、直径30mmのアクリル製円盤とし、下部にはベアリング、上部には写真に示すように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。

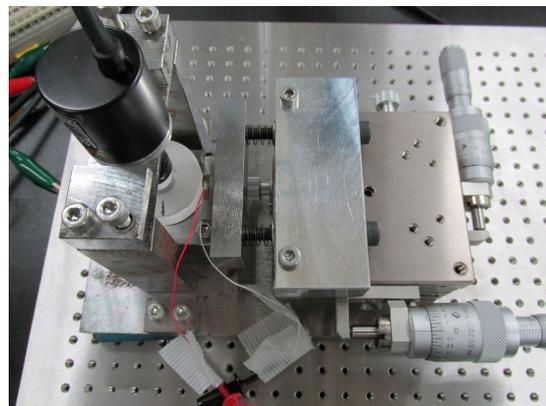


図8 回転駆動の実験装置

図9に駆動電圧に対する回転速度性能の実験結果を示す。実験は、ノコギリ波の周波数を5kHz、与圧を0.883Nとし、駆動電圧を変化させることによりデータを取得した。

図より、駆動電圧が 40V 以下では駆動することができず、40V 以上では電圧を高くすると回転速度が速くなり、140V のとき 4.5rpm であった。

図 10 に与圧を変えた場合の回転速度性能の実験結果を示す。図より、与圧が約 5N のときに回転速度が最高となり、与圧を高くしていくと駆動性能が低下していく様子がわかる。

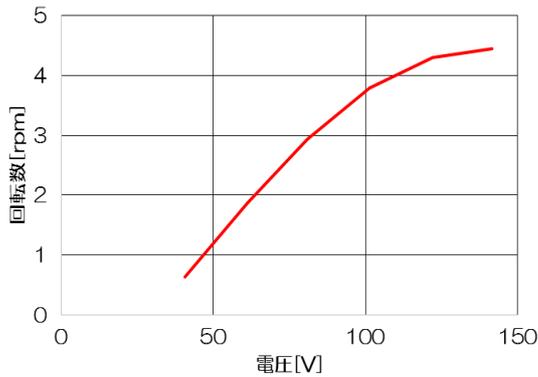


図 9 駆動電圧に対する回転速度性能

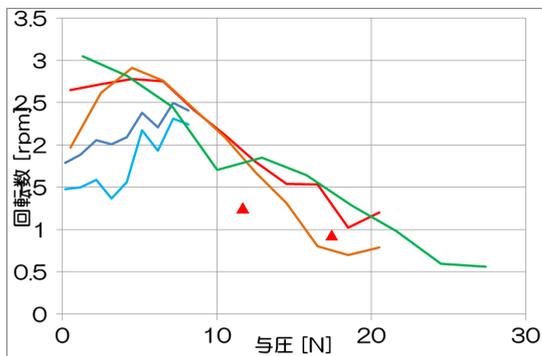


図 10 与圧に対する回転速度性能

(2) 直動駆動性能

図 11 に直動駆動の実験装置を示す。スライダは、金属製の丸棒（ステータとの接触部は平らになるように切削した）とし、左右方向への移動量は、光センサにより計測した。

図 12 に駆動電圧に対する直動移動速度の実験結果を示す。実験は、駆動周波数が 5kHz、電圧が 1.088N の条件で行った。図より、駆動電圧が 40V 以下では駆動することができなかったが、40V 以上で高くしていくとスライダの移動速度が速くなり、最高約 6mm/s の性能であった。なお、左右方向への移動に対しては、おおよそ同じ結果が得られた。

(3) センサレス駆動性能の検証

本モータは、圧電素子で変形させる板状部材が移動体と接触することにより駆動する原理のモータであるため、印加した波形の情報からセンサを用いることなく移動量を推定できると考えられる。これを実験的に検証するため、関数発生器からの駆動信号を、PC からの指令に応じて動作するマルチプレクサ回路によりオンとオフの切り替えを行い、

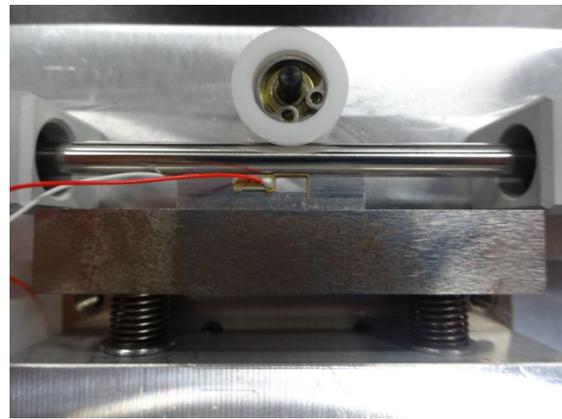


図 11 直動駆動の実験装置

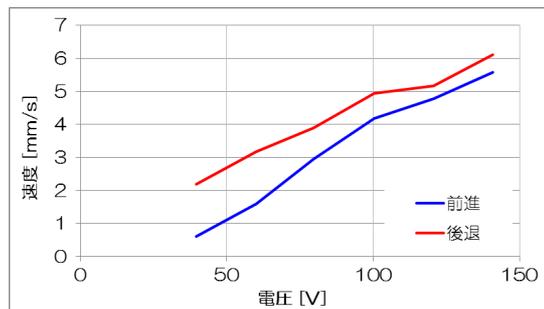


図 12 駆動電圧に対する直動速度性能

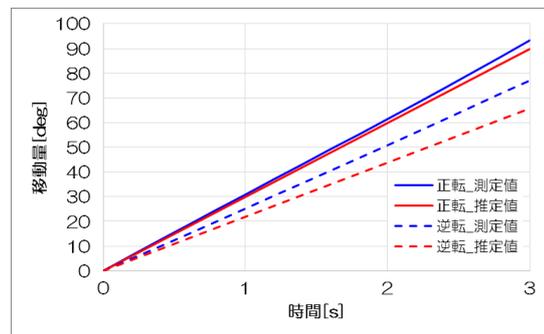


図 13 回転量推定の実験結果

これを圧電素子のアンプで増幅し、印加できるようにした。なお、実験は回転駆動装置を用いて行った。

図 13 に実験結果を示す。図より、実験結果では正転と逆転で回転角度が一致しており、推定値とはややずれていることがわかる。なお、推定値と実験値の差は約 15%程度であった。

<引用文献>

- (1) 真下智昭, 遠山茂樹: 単一ステータによる回転直動圧電アクチュエータの開発 (第1報) 精密工学会誌, 74, pp.292-297, 2008.
- (2) 秋葉敏克, 高橋博, 戸谷公紀: 多様な運動を実現するアクチュエータ技術, 東芝レビュー, 64, pp.44-47, 2009.
- (3) 前野隆司, 竹村研治郎, 小島信行: 縦振動と横振動の縮退に基づく多自由度超音波モータの開発, 日本ロボット学会誌, 16, pp.1115-1122, 1998.
- (4) 矢野順彦, 藪上勝宏, 阪部俊也: 超音波

- モータ実時間制御システムの開発と温度特性を用いた速度制御器の構築，日本機械学会論文集 C，69，pp.18-25，2003.
- (5) 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.

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)

〔学会発表〕(計1件)

- (1) 安部祐樹，長縄明大，小松和三，関健史，伊藤尚志：板状部材の変形を利用した超音波モータの開発，精密工学会東北支部学術講演会講演論文集，p.35-36，2014.

〔その他〕

ホームページ等

- (1) 秋田大学理工学部システムデザイン工学科機械工学コースのホームページ
<http://www.mech.akita-u.ac.jp/mec/laboratory03.html#lab13>
- (2) 秋田大学大学院工学資源学研究科機械工学専攻長縄研究室のホームページ
<http://www.mech.akita-u.ac.jp/~naganawa/index.htm>

6．研究組織

- (1) 研究代表者

長縄 明大 (NAGANAWA, Akihiro)
秋田大学・大学院工学資源学研究科・教授
研究者番号：17589021

- (2) 研究分担者

該当なし

- (3) 連携研究者

該当なし