

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20760176

研究課題名（和文）複合振動を用いた高トルク超音波モータの開発

研究課題名（英文）Development of High-Torque Ultrasonic Motor Using Complex Vibration

研究代表者

鈴木 厚行（SUZUKI ATSUYUKI）

徳山工業高等専門学校・機械電気工学科・助教

研究者番号：40450142

研究成果の概要（和文）：超音波モータは高トルクを発生し、静粛、ブレーキ機構が不要等の長を有しているにも関わらず、その用途はカメラのオートフォーカス機構等に限られているのが現状である。実用化されているような超音波モータは振動子の強度が弱いため、更なる高トルク化は難しい。本研究では強度の強いボルト締めランジュバン型振動子をスクリュ型に配置する超音波モータを提案し、高トルク超音波モータの実現を図った。振動特性を測定した結果、各部の振動分布にばらつきが見られたが、ロータ駆動面で必要とされる複合振動が得られていることを確認した。負荷特性を測定した結果、最大トルク 0.67 Nm、最大回転数 582 rpm、最大効率 7.63% が得られた。

研究成果の概要（英文）：Ultrasonic motors have unique characteristics such as high torque at low speed, high holding torque, and silent motion. However, their applications are limited to certain mechanisms, e.g., autofocus mechanisms of cameras. It is difficult for practical ultrasonic motors to generate higher torque because they are fragile. A bolt-clamped Langevin-type longitudinal vibration transducer (BLT) is a transducer which satisfies high strength and large amplitude. A new standing-wave-type ultrasonic motor that incorporates BLTs was devised. Three BLTs are installed in the shape of a screw. The vibration and load characteristics of the screw-shaped ultrasonic motor were studied. The maximum torque, revolution speed, and efficiency of the ultrasonic motor were 0.67 Nm, 582 rpm, and 7.63%, respectively.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 知能機械学・機械システム

キーワード：超音波、超音波モータ、強力超音波、負荷特性、振動特性、高トルク

## 1. 研究開始当初の背景

安定した出力が得られる超音波モータは1980年代に初めて日本で発明され、日本での発展が際立っている。主な実用例にはカメラのオートフォーカス機構・ロールスクリーンの昇降機構・位置決め機構等がある。またロボットアーム(マニピュレータ)や義手への応用も試みられている。アクチュエータとして主流である電磁式や流体式では実現困難な特性を超音波モータは持っており、更に広い分野への応用が期待されている。ロボットや宇宙開発の発展、高齢化社会、防災・防犯意識の向上等に伴い、より高性能なアクチュエータの開発が望まれているといえる。

## 2. 研究の目的

超音波モータは磁石や巻線を必要としないモータである。超音波モータは高トルクを発生し、高効率、静粛である等のすぐれた特長を有しているにも関わらず、その用途はカメラのオートフォーカス機構等に限定されているのが現状である。実用化されているような進行波型モータは振動子の強度が弱いため、現状以上の高トルク化は難しい。

超音波モータの限界は圧電素子自体の限界によるところが大きい。圧電素子は圧縮力に対してはかなり強いが、引っ張り力に対しては弱い特性を持つ。カメラ等で利用されている進行波型超音波モータの振動子は、大きな振幅を発生させると発電素子が引っ張り力に耐えることができずに自壊してしまう。

本研究では、引っ張り力を強制的に抑えて大振幅で駆動することが可能なボルト締めランジュバン型縦振動子(BLT)を用いてハイパワーな超音波モータを実現することを目的とする。しかし、縦振動のみでは回転方向に推力が発生せず、ロータを回転させることはできない、つまりロータ駆動面は楕円形の振動軌跡を描く必要がある(複合振動が必要)。そこで複数のBLTをスクリュ状に配置することにより、複合振動を励起することを提案してきた。本研究では振動子の設置形状を改善し、更なる高トルク化を図る

超音波モータの高トルクによって、超音波モータの用途拡大、さらにはモータ全体の用途拡大が可能となる。特に次の様な高トルク・省スペースが要求される用途への適用を目標とする。

ロボット用アクチュエータ 介護機器用アクチュエータ  
フォークリフト用アクチュエータ 惑星探査機用アクチュエータ  
高トルクマイクロマシン

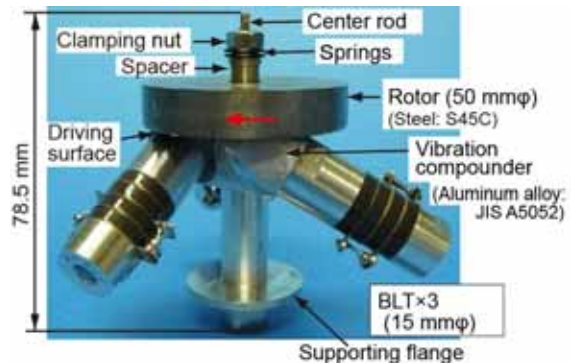


図1. 一体式スクリュ型超音波モータ

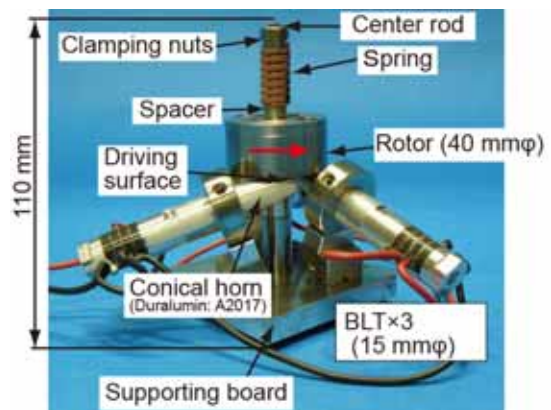


図2. コニカルホーンを用いた分離式スクリュ型超音波モータ

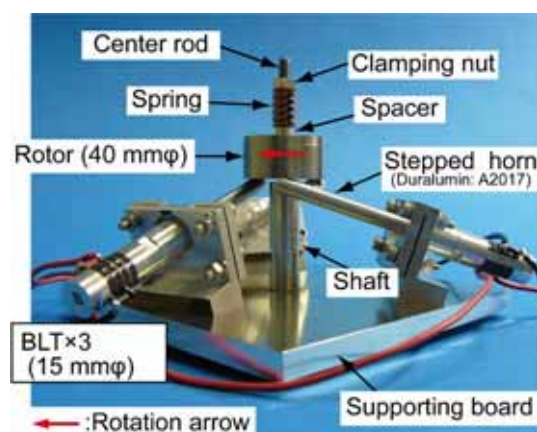


図3. 段付きホーンを用いた分離式スクリュ型超音波モータ

### 3. 研究の方法

#### (1) スクリュ型超音波モータの製作

3本のBLT(直径15mm)をスクリュ状に配置して複合振動を得る。3本の振動子を結合子に接続した一体式のモータとそれぞれを独立に配置する分離式のモータを試作した(図1)。分離式の場合はコニカルホーンを用いた場合と段付きホーンを用いた場合の2種類試作した(図2、3)。

ロータ駆動面には一般的に使われているような摩擦材を用いず、直接駆動した。摩擦材を用いると高トルクが得やすいが、寿命の低下につながる。本研究では摩擦材を用いず高トルクかつ長寿命な超音波モータの実現を目指した。

本研究で試作した超音波モータは BLT ホーン 固定用フランジ ロータ 圧力制御機構 等から構成される。各部は旋盤・フライス盤・放電加工機等を用いて製作し、各接触面は#3000程度の砥粒でラップ加工した。ロータはラジアルベアリングにより保持し、スラストベアリング・スペーサ・ばねを介して静圧力を印加した。静圧力はナットの締め付けによって調整した。

#### (2) 振動特性の測定

インピーダンスアナライザ等を用いて、各振動子および超音波モータ全体のアドミタンス特性を測定し、共振周波数、動アドミタンス、Q等を求めた。また、レーザドップラ振動計を用いて振動分布および振動軌跡を測定した。振動振幅は振動速度から換算して求めた。

#### (3) 負荷特性、応答特性の測定

トルク計、回転計、電力計等を用いて負荷特性を測定した。機械的出力パワー、効率はトルク、回転数、入力電力から算出した。また、立ち上がりおよび立ち下りの応答速度を測定した。

### 4. 研究成果

一体式および分離式超音波モータの負荷特性を測定した結果を表1に示す。

表1. 超音波モータの負荷特性

	最大トルク (Nm)	最大回転数 (rpm)	最大効率 (%)
一体式	0.41	104	0.55
分離式 (コニカルホーン)	1.13	506	3.53
分離式 (段付きホーン)	0.67	582	7.63

段付きホーンを用いた分離式スクリュ型超音波モータ(図3)の振動特性および負荷特性を以下に示す。

#### (1) 振動子の径方向振動分布

超音波振動子A~Cの径方向振動分布を測定した(図4)。PZT部で径方向振動のループが存在し、段付きホーン部で径方向振動が拡大されていることが確認された。超音波振動子Aの最大振動振幅は $0.06 \mu\text{m}_{p-p}$ となり他の超音波振動子の約2倍になっていた。

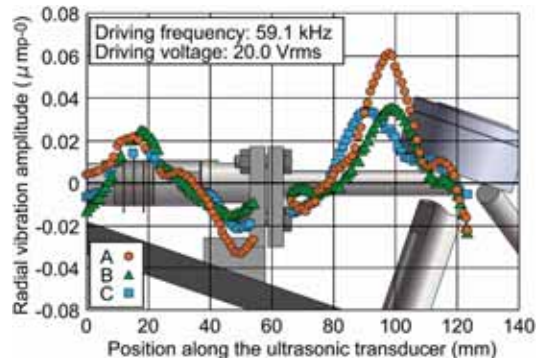


図4. 振動子の径方向振動分布

#### (2) 駆動面の振動軌跡

ロータを設置しない状態で、各振動子A~Cの駆動部の振動軌跡を測定した(図5)。測定点(a)および(b)においては楕円形の振動軌跡が得られたが、測定点(c)では直線的な振動軌跡になった。

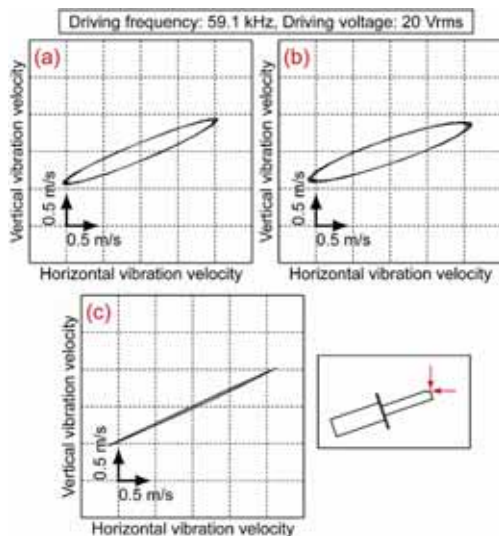


図 5 . 駆動面の振動軌跡

(3) 超音波モータの駆動特性

試作した超音波モータの負荷特性を測定した(図6)。駆動周波数 59.1 kHz で測定した結果、最大トルク 0.67 Nm、最大回転数 582 rpm、最大効率 7.63%が得られた。また、最大効率時におけるトルクは 0.44 Nm、回転数は 246 rpm であった。

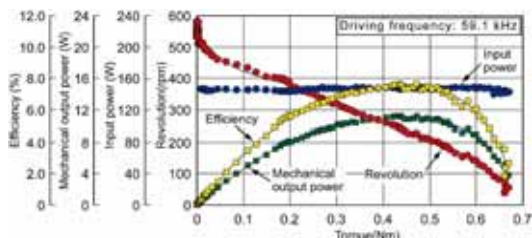


図 6 . 段付きホーンを用いたスクリュ型超音波モータの負荷特性

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3件)

鈴木厚行, 泉健太郎, 辻野次郎丸

「段付きホーンを用いたスクリュ型超音波モータの駆動特性」

日本音響学会 2010 年春季研究発表 会講演論文集、査読無、2010、pp.1241-1242

Atsuyuki SUZUKI, Kentaro IZUMI and Jiromaru TSUJINO

「Novel Screw-shaped Ultrasonic Motor to

Obtain High Torque」  
Proceedings of 2009 IEEE International Ultrasonics Symposium 査読無、2009、pp.1054-1057

Atsuyuki SUZUKI, Yusuke NAKAMURA, Tetsugi UEOKA and Jiromaru TSUJINO

「Configuration of a Screw-shaped Ultrasonic Motor」

Proceedings of 2008 IEEE International Ultrasonics Symposium 査読無、2008、pp.150-153

[学会発表](計3件)

鈴木厚行「段付きホーンを用いたスクリュ型超音波モータの駆動特性」  
日本音響学会 2010.3.8 (東京)

Atsuyuki SUZUKI

「Novel Screw-shaped Ultrasonic Motor to Obtain High Torque」

IEEE International Ultrasonics Symposium 2009.9.21 (Rome)

Atsuyuki SUZUKI 「Configuration of a Screw-shaped Ultrasonic Motor」

IEEE International Ultrasonics Symposium 2008.11.3 (Beijing)

[その他]

ホームページ等

<http://www.tokuyama.ac.jp/profiles/a-suzuki.html>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

鈴木厚行 (SUZUKI ATSUYUKI)

徳山工業高等専門学校・機械電気工学科・助教

研究者番号：40450142

(2)研究分担者

該当者無し

(3)連携研究者

該当者無し