

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289019

研究課題名(和文) マイクロ球面超音波モータを利用した血管内視鏡の開発

研究課題名(英文) Development of blood vessel endoscope using micro spherical ultrasonic motor

研究代表者

遠山 茂樹 (TOYAMA, Shigeki)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20143381

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、血管内視鏡のための超小型球面モータを開発した。試作したモデルは 3 の球ロータを持ち、ステータはワイヤをコイル状にして用いた。外部より超音波振動を与えることで、球ロータを回転させることが出来た。回転速度や方向は、各ワイヤーに与える進行波と定在波の割合を変化させることで実現した。また、実際の内視鏡を試作し十分な機能を有することを確認した。

研究成果の概要(英文)：In our research, we have aimed to develop an extraordinarily small spherical motor for a blood vessel endoscope. It has 3 rotor and a wire-made stators like coils. We applied ultrasonic vibration to the wire from outside to transmit it to drive a rotor. We can control the rotational speed and the rotational by changing ratio of the traveling wave and the standing wave. We have shown to make an experimental mode of endoscope and the enough function successfully.

研究分野：ロボット工学

キーワード：アクチュエータ 血管内視鏡

1. 研究開始当初の背景

近年の高齢化が進んでいる日本において、動脈硬化を起因とする様々な心血管疾患は癌と並ぶ重大な疾患となっている。この血管疾患の診断において、血管内を直視で観察・診断を行うことができる血管内視鏡を用いた検査方法が特に注目されている。血管内視鏡は血管内を肉眼的に診断することができる唯一の検査方法であり、三次元カラー画像として情報を得ることができる。そのため、血管の狭窄度の診断だけでなく、プラークや血栓の色調および表面の微細な形態など、様々な観点から診断を行うことができる。

2. 研究の目的

血管内視鏡先端に搭載することでカメラの方向を制御し、血管内壁面の病変部をカメラ中央に収め、より詳細な診断を可能とする多自由度の超小型球面超音波モータの開発を行う。

3. 研究の方法

本研究者がこれまでに開発してきた球面超音波モータをさらに小型化するために、ワイヤ駆動を採用した。即ち、外部から振動を与え、ワイヤで伝搬し、超小型球面超音波モータを回転させる。モータは回転3自由度を有し内蔵のカメラをどの方向にも向けることができる。

4. 研究成果

本研究では血管内視鏡のためのカメラ駆動用超小型球面超音波モータを開発する。図1、2に示すような導波路を介して超音波振動を伝えることで、振動源の大きさに左右されずに小型化できるワイヤステータ駆動を用いる。ワイヤステータ型球面超音波モータは、ワイヤステータの導波路に超音波領域の振動を加えることで進行波が発生し、ステータと接触している球ロータが回転駆動する。

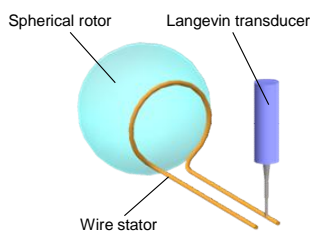


図1 ワイヤステータを用いた超音波モータ

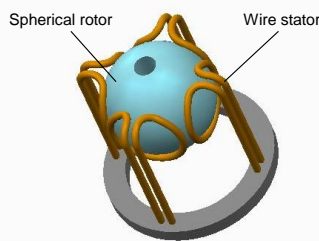


図2 マイクロ球面超音波モータ

(1) ラージモデルによる基礎実験

基本特性を調べるため図3に示す1軸駆動実験を行った。球ロータを1自由度で駆動させる際には2つのステータで球ロータを保持する必要がある。ワイヤは図4に示すような渦巻き形状とした。渦巻き形状のステータは球ロータとの接触面が左右対称ではないため、対称性を持たせるために渦巻き形状が左右対称となる左巻きと右巻きの2種類のステータを設計した。ステータの外径は12 mm、

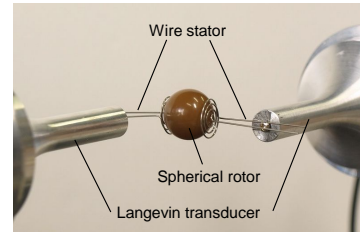
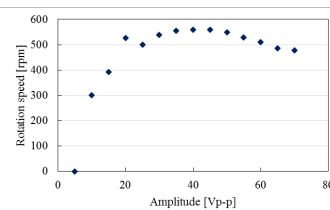


図3 1軸駆動実験

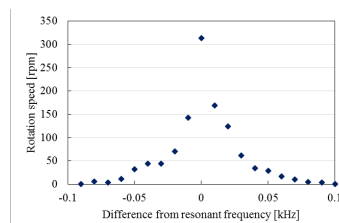


図4 ワイヤステータ

ワイヤの線径は0.5 mmである。電圧 - 回転数特性を調べるため、ランジュバン振動子に印加する電圧を変化させ、回転数を測定した。ランジュバン振動子に印加する交流電圧の周波数をランジュバン振動子の共振周波数に固定し、電圧の振幅を $5 V_{p-p}$ から $70 V_{p-p}$ まで $5 V_{p-p}$ 刻みで変化させ、回転数を測定した。結果を図5(a)に示す。また、周波数 - 回転数特性を調べるため、印加電圧を $40 V_{p-p}$ に固定し、ランジュバン振動子の共振周波数を基準として、周波数を 0.01 kHz 刻みで変化させて回転数の測定を行った。このときの2つのランジュバン振動子の共振周波数はそれぞれ 24.552 kHz 、 24.661 kHz である。結果を図5(b)



(a) 電圧 - 回転数特性



(b) 周波数 - 回転数特性

図5 基本特性

に示す。

以上より、振動源であるランジュバン振動子に印加する電圧の振幅と周波数により、回転数を制御できることを確認した。

この結果を踏まえ、4つのワイヤステータを用いて2軸で駆動実験を行った。図6に示す7方向の軸回りの駆動実験を行う。8方向の軸回りに球ロータを駆動させるためには各ステータの正転および逆転の組み合わせがあり、それぞれの場合において回転数および回転方向の制御性を確認した。

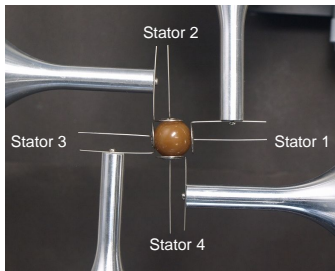


図6 2軸駆動実験

xy平面における上下左右と斜め4方向の計8方向の軸周りでは印加電圧の振幅により回転数の制御ができることを確認した。しかし、印加電圧の振幅によりx軸およびy軸回りの出力を調整し、回転方向を制御する方法は実際には困難である。この解決策として進行波が発生しているワイヤステータに周期的に定在波を生成する方法を検討した。周期に占める定在波の割合(デューティー比)を変化させて回転数の測定を行った。その結果、デューティー比の増加に伴い回転数は減少することを確認した。デューティー比によりx軸およびy軸回りの出力を制御することで2軸駆動時には球ロータの回転方向を制御できると考えられる。方向と回転数が安定できた。

(2)モータの小型化

冠動脈血管内視鏡のカテーテルの直径は1mm程度であることから、ワイヤステータ型球面超音波モータを内視鏡に応用するためには、1mm以下の大きさまで小型化する必要がある。小型化のために直径3mmの球ロータを用いたワイヤステータ型球面超音波モータを開発した。直径3mmの球ロータの大きさを考慮し、図7に示す外径2mmのワイヤステータを新たに設計した。外径12mmのステータと同様に渦巻き形状が左右対

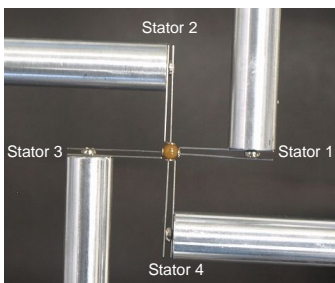


図7 小型モータに対する2軸駆動実験

称で寸法が同一のワイヤステータを2種設計した。ワイヤの線径は0.3mmである。ラージモデルではワイヤステータ3巻きとしていたが、ワイヤの線径に対して外径が小さいため、巻き数を減らし1巻きとした。実験を行った結果、15mmの球ロータを用いた場合と同様の駆動特性を示すことを確認した。

(3)更なる小型化

実際の内視鏡に利用するには更なる小型化が必要である。球自体は真球度の高い $\phi 0.7$ のものがあるが、ワイヤ径 $\phi 0.5$ のものは剛性が足りないこと、精度よくロータ球に接する加工が難しく、モータとして試作することが困難であった。今後の課題である。

(4)試作内視鏡

小型球面モータの開発と並行して血管内視鏡のラージモデルを試作して、球面モータを利用した操作の検証を行った(図8参照)。カメラが自由に動き、滑らかな操作を確認した。



図8 球面超音波モータを用いた試作内視鏡

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)

Uichi Nishizawa, Sigeki Toyama, "Intravascular stent motor," Applied mechanics and materials, vol. 772 (2015), pp. 569-573. 査読有 doi:10.4028./www.scientific.net/AMM.772.569.

Uichi Nishizawa, Taro Oohashi, Shigeki Toyama, "Development of spherical ultrasonic motor for space - Evaluations of durability under high temperature environment-," Vibroengineering PROCEDIA, No. 3 (2015-10) pp. 1-6. (The Best Paper Award). 査読有 ISSN2345-6533.

Shigeki Toyama, "Coil type ultrasonic motor for vascular endoscope," Applied mechanics and materials Vol. 332 (2013), pp. 540-544.

査読有

doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.332.5

40.

〔学会発表〕(計5件)

Uichi Nishizawa, Taro Oohashi, Shigeki Toyama, "Development of spherical ultrasonic motor for space - Evaluations of durability under high temperature environment -," International conference vibroengineering 2015, (October 14-15, 2015, Katowice, Poland).

Uichi Nishizawa, Sigeki Toyama, "Intravascular stent motor," International conference on cyber systems in the fields of aerospace, robotics, manufacturing systems, mechanical engineering (OPTIROB2015), (June 27-30, 2015, Jupiter, Romania).

Taro Oohashi, Uichi Nishizawa, Naoki Fukaya, Shigeki Toyama, "Spherical ultrasonic motor for space," ICMDT 2015 (April 22-25, 2015, 沖縄コンベンションセンター(沖縄県・宜野湾市真志喜)).

Sigeki Toyama, Uichi Nishizawa, Taro Oohashi, "Intravascular stent motor powered by ultrasonic irradiation," International conference vibroengineering 2014, (October 13-15, 2014, Katowice, Poland).

Sigeki Toyama, "Development of spherical ultrasonic motor for critical environment," International conference vibroengineering 2013, (September 18-20, 2013, Druskininkai, Lithuania).

〔その他〕

ホームページ等

<http://web.tuat.ac.jp/~toyama/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠山 茂樹 (TOYAMA, Shigeki)
東京農工大学・大学院工学研究院・
教授
研究者番号：20143381

(2) 研究分担者

石田 寛 (ISHIDA, Hiroshi)
東京農工大学・大学院工学研究院・

准教授

研究者番号：80293041

西澤 宇一 (NISHIZAWA, Uichi)
東京農工大学・大学院工学研究院・
助教

研究者番号：80553221