

コイル状ステータ超音波モータの音響導波路材料の基礎研究

Fundamental Study on acoustic waveguide material for the Coiled Stator Ultrasound Motor

上原 長佑¹, 大関 誠也², 竹内 真一¹

¹ 桐蔭横浜大学医用工学部, ² 桐蔭横浜大学大学院工学研究科

(2016年3月28日 受理)

1. はじめに

現在, 医療分野では動脈硬化の診断を行うために冠動脈造影 (CAG: Coronary Angio-Graphy) が行われている。しかし, CAG では狭窄部位の特定及び動脈瘤の確認は可能だが, 血管径を検査するのは厳しいのが現実である。そこで, 追加検査として血管内で回転運動を行う検査機器として, 血管内超音波検査 (IVUS: Intra-Vascular Ultra-Sound) が臨床の現場で盛んに行われている。しかし, 実用化されている回転運動を行う機械走査式 IVUS は駆動源装置が体外にあるため, 動力伝達ワイヤを介して動力を伝えることとなる。そのため, 長く蛇行した血管内で動力伝達ワイヤを介して動力を伝える際に回転数の乱れによって画像が歪むことが報告されている^[1]。また, 動力伝達用ワイヤに負荷がかかってしまい, 負荷による動力伝達用ワイヤの破損防止のために駆動時間に制限が生じる。

そこで, 駆動源装置を体内に設置可能な小型超音波モータとして, 2005年に首都大学

東京名誉教授の守屋正 (元, 東京都立大学) 氏らによってコイル状ステータ超音波モータ (CS-USM: Coiled Stator Ultra-Sound Motor) が開発され, これまでにさまざまな CS-USM の報告がされている^[2-9]。CS-USM は, 音響導波路, コイル状ステータ, 振動子, ロータで構成されており, 非常にシンプルな構造であるため, 小型化に有利であり, これまでも直径 1 mm 以下の CS-USM も報告されている^[4]。元桐蔭横浜大学大学院の阿部峻靖氏らによって II 型構造を有する超音波パワー循環型音響導波路構造の CS-USM が開発された^[7]。II 型構造を有する CS-USM の特性として, 最大回転速度 3500 rpm, 最大起動トルク約 0.7 μNm , 最大トルク 0.34 μNm , 最大効率約 0.8 % を記録した^[7]。しかし, 依然と駆動効率が低く, さらなる効率化が求められている。

我々は駆動効率の向上を目指し, CS-USM の重要な構成要素である音響導波路の材料に着目し, 音響導波路の材料を変更することで, さらなる駆動効率の向上が期待できるのかを検討してきたので報告する。

UEHARA Choyu¹, OZEKI Seiya² and TAKEUCHI Shinichi¹

¹ Faculty of Medical Engineering, Toin University of Yokohama; ² Graduate school of Engineering, Toin University of Yokohama; 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama 225-8503, Japan

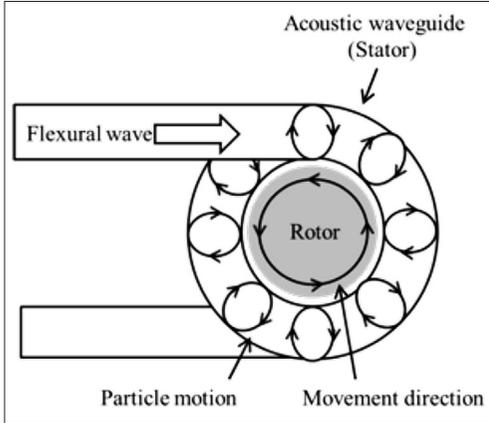


Fig. 1 CS-USM の駆動原理図

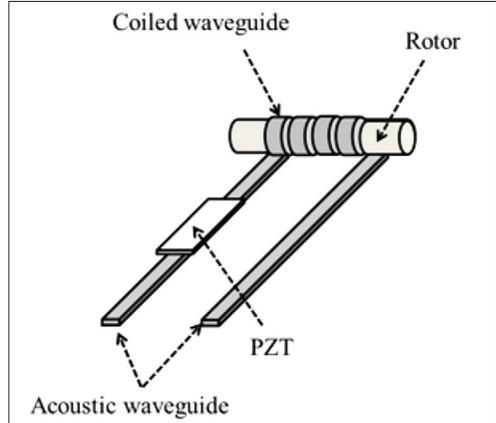


Fig. 2 単振動子型 CS-USM の概略図

2. 駆動原理

CS-USMの動作原理は進行波型超音波モータの駆動原理に基づいている。ロータに音響導波路を螺旋状に巻き付けることによって、コイル状ステータとしている。ロータに巻きつけられたコイル状ステータに屈曲波が伝搬することによって、ロータに接する面の粒子が楕円運動を行う。このときロータと接した面に摩擦力が生じ、ロータは屈曲波の伝搬方向とは逆方向に駆動する。CS-USMの駆動原理図をFig. 1に示す。

3. 単振動子型 CS-USM の作製

本研究では、CS-USMのなかでも構造が単純な単振動子型CS-USMを用いた。単振

動子型CS-USMは振動子が一つの構造であり、超音波パワー循環路を必要としないため、比較的容易に作製することが可能である。単振動子型CS-USMの構造図をFig. 2に示す。単振動子型CS-USMの作製には音響導波路材料に銅、チタン、ステンレス(SUS304)、アルミニウムを用いた。各材料の音響導波路の厚さ、幅、長さはそれぞれ、0.05 mm、0.3 mm、50 mmである。ロータに音響導波路を4回巻きつけることでコイル状ステータとしている。コイル状ステータを作製した音響導波路上に導電性接着剤を用いて圧電セラミックPZT振動子を取り付けた。圧電セラミックPZT振動子(富士セラミックス, C213材)を用いた。圧電セラミック振動子の厚さ、幅、長さはそれぞれ0.25 mm、1 mm、5 mmである。ロータは直径0.51 mmの鉄製丸棒である。また、今回作製した単振動子型

CS-USMでは、手作業でコイル状ステータを作製したため、手技や材料によってロータ巻きつけ間隔にムラが生じてしまった。音響導波路に使用した各材料のステータの内径、ステータの長さ、ステータの螺旋間隔をTable 1に示す。

Table 1 各材料のステータの内径、ステータの長さ、ステータの螺旋間隔、巻きつけたパイプの直径

	銅	ステンレス	チタン	アルミニウム
ステータ内径 [mm]	0.51	0.52	0.64	0.51
ステータの長さ [mm]	1.45	1.55	1.55	1.29
螺旋間隔 [mm]	0.11~0.15	0.02~0.24	0.12~0.23	0.03~0.06
巻きつけたパイプの直径 [mm]	0.51	0.51	0.55	0.55

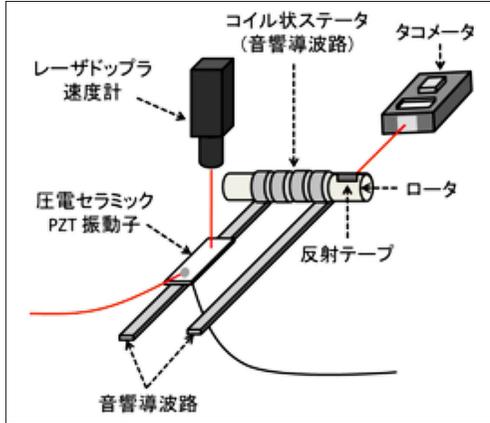


Fig. 3 駆動実験の概略図

4. 単振動子型 CS-USM の駆動実験

音響導波路材料として銅、チタン、SUS304、アルミニウムを用いて単振動子型 CS-USM の振動速度と回転速度の測定を行った。まず、レーザードップラー振動計 (LDV: Laser Doppler Vibrometer, Ono Sokki Co., Ltd.; LV1710) を用いて駆動周波数の選定を行った。印加電圧を $32 V_{pp}$ に設定し、周波数 282 kHz ~ 320 kHz の範囲で圧電セラミック振動子の振動速度を測定した。このとき、周波数は 282 kHz から上げながら測定を行った。振動速度の測定結果から各材料の駆動周波数を選定し、ロータに反射テープを取り付け、デジタルタコメータを用いて印加電圧を 0 ~ $32 V_{pp}$ の範囲でのロータの回転数の測定を行った。印加電圧は $32 V_{pp}$ から降下しながら測定を行った。駆動実験の概略図を Fig. 3 に示す。

結果として、各材料に取り付けた振動子の最大振動速度の時の周波数は銅 300 kHz、チタン 302 kHz、SUS304 302 kHz であった。しかし、アルミニウム製音響導波路のみ測定中に CS-USM が破損してしまい、最後まで測定を行うことができなかった。各材料に取り付けた振動子の周波数と振動速度の関係を Fig. 4 に示す。また、回転速度の測定においては、印加電圧 $32 V_{pp}$ の時の最大回転速

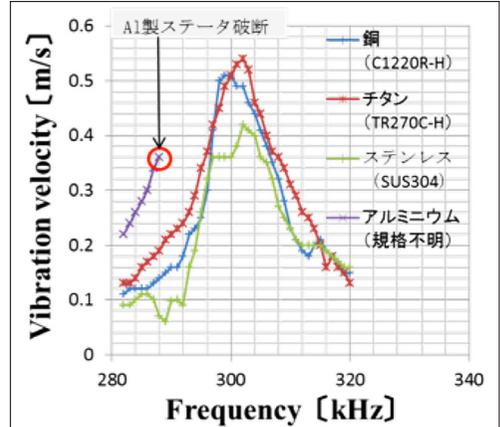


Fig. 4 各材料に取り付けた振動子の周波数と振動速度の関係

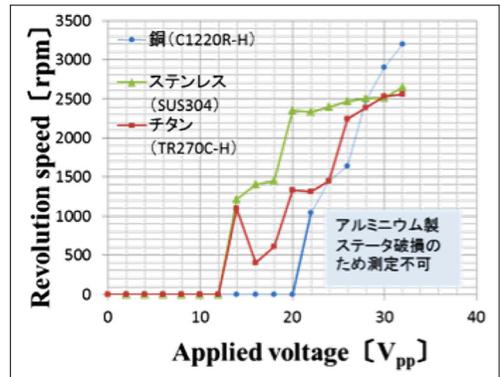


Fig. 5 印加電圧と単振動子型 CS-USM のロータの回転速度の関係

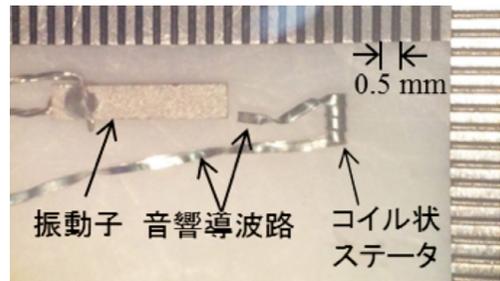


Fig. 6 破損したアルミニウム製音響導波路を用いたコイル状ステータ

度はチタン 2560 rpm、銅 3200 rpm、SUS304 2652 rpm であった。印加電圧と回転速度の関係を Fig. 5 に示す。しかし、Fig. 6 に示すように、アルミニウム製音響導波路を用いた CS-USM は振動速度の測定中に破断したため、回転速度の測定は行うことができなかった。

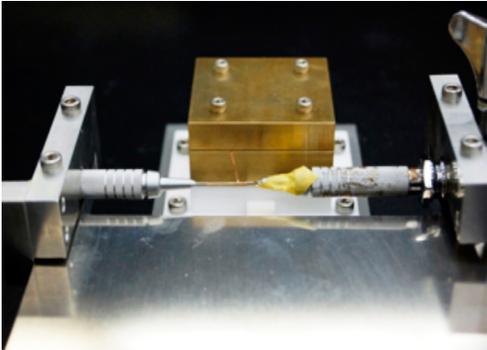


Fig. 7 作製した巻線機

5. 巻線機を用いたコイル状ステータの作製と比較

これまで作製された CS-USM は手作業でコイル状ステータの作製を行っていた^[10]。しかし、手作業でコイル状ステータする場合、手技によってコイル状ステータの螺旋間隔にムラが生じる^[10]。そこで、本研究では機械的にコイル状ステータの作製が可能な巻線機の作製を行った。作製した巻線機を Fig. 7 に示す。作製した巻線機を用いてコイル状ステータの作製を行った。手作業でコイル状ステータの作製を行った際は、コイル状ステータの螺旋間隔が約 20 ～約 240 μm に対して、巻線機を用いてコイル状ステータの作製を行った場合は、螺旋間隔が約 0 ～ 13 μm となり、螺旋間隔のムラを改善できたと考えられる。

6. まとめ

駆動実験においては、SUS304 やチタン材料を音響導波路として用いた回転数より、銅材料を音響導波路にすることで高回転を確認した (17% 以上)。また、アルミニウム製コイル状ステータは作製時および測定時に破断してしまい、CS-USM の作製が困難ではあるが、振動速度が高いため再検討する必要がある。

また、巻線機では、巻線機を用いることに

よって約 20 ～ 240 μm の螺旋間隔のムラを約 0 ～ 13 μm にすることができた。すべての材料を用いたコイル状ステータでステータの内径が手作業で作製したコイル状ステータよりも大きくなった。

【参考文献】

- [1] 本江純子, 生体医工学, Vol.43, pp.12-16 (2006).
- [2] 守屋正, 古川勇二, 赤野洋一, 中島明平, 信学技報 US2005-29, 2005, p.41
- [3] 田邊将之, 謝尚平, 田川憲男, 守屋正, Proc. Symp. Ultrason. Electron. Vol.27, 2006, pp.121-122
- [4] 阿部峻靖, 大木駿太郎, 守屋正, 入江喬介, 竹内真一, 日本音響学会講演論文集, 1289-1290, 2013
- [5] 阿部峻靖, 守屋正, 入江喬介, 佐藤正和, 竹内真一, Proc. Symp. Ultrason. Electron. Vol.34, 2013, pp.453-454
- [6] 大関誠也, 阿部峻靖, 守屋正, 入江喬介, 竹内真一, 日本音響学会講演論文集 (秋), pp.1303-1304, 2014
- [7] T.Abe, T.Moriya, T.Irie, M.Sato, S. Takeuchi, Senc. Trans. J. red 184, pp.108-115 Jan. 2015
- [8] 大関誠也, 栗田恵亮, 竹内真一, 平成 27 年神奈川県ものづくり技術交流会 予稿, 1PS-1207
- [9] 大関誠也, 黒澤実, 入江喬介, 竹内真一, 日本音響学会講演論文集 (春), pp.1303-1304, 2016
- [10] 大関誠也, 上原長佑, 竹内真一, 平成 27 年神奈川県ものづくり技術交流会 予稿, 1PS-1208