

血管内での使用を目的とした アウターロータ型 CS-USM の基礎検討

Basic Study of the outer rotor type CS-USM for the purpose used in intravascular

栗田 恵亮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. 背景

厚生労働省の調べによると平成26年(2014年)の人口動態では、心疾患による死亡者数は全体の15.5%を占め、悪性新生物に次ぎ日本人の主な死因第2位となっている。そのうち74.6%が冠動脈疾患によるものである^[1]。冠動脈疾患の治療方法として経皮的冠動脈インターベンション(Percutaneous Coronary Intervention: PCI)が臨床現場では行われている。PCIにはバルーン(Percutaneous Old Balloon Angioplasty: POBA)やステント、血管内超音波検査(Intravascular Ultrasound: IVUS)、ロータプレートなどの多種多様な小型デバイスが用いられる。しかし、現在実用化されている回転運動を行う血管内検査・治療機器(IVUS・ロータプレート)は駆動源が大型であり、必然的に患者の体外に設置される。そのため、動力伝達ワイヤが病変部まで延びて動力を伝えている。回転中の動力伝達ワイヤには大きく負荷が掛り、不均一な回転を生み断裂を生じる恐れがある。さらに、ロータプレートでは駆動力として窒素ガスを使い、毎分20万回転以上の動力

を必要とする為、大きな駆動音が発生し、患者に不安感を与える原因となっている。これらの問題を解決するために、血管内で使用可能な小型で静音なモータの開発が行われてきた^[2]。

これまでに我々は圧電セラミクス振動子を用いたコイル状ステータ超音波モータ(CS-USM: Coiled Stator UltraSound Motor)の作製を行い、回転速度及びトルクの測定などを行い性能の評価を報告してきた^[3]。しかし、回転子と固定子が垂直に接するため、血管内

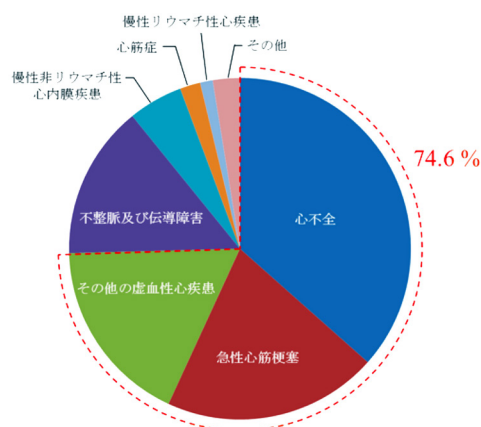


Figure 1 心疾患による死亡者数の内訳

KURITA Keisuke¹, 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

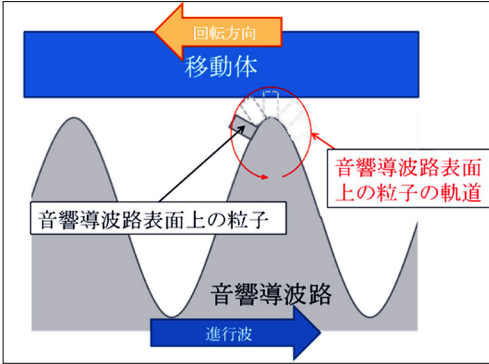


Figure 2 進行波型超音波モータの駆動の様子

検査・治療機器に向けた形状としては小型化が困難であるという問題点が挙げられた。そこで、本研究では回転子と固定子が同軸方向に接する CS-USM を試作したので報告する。

2. 駆動原理

CS-USM の駆動原理は進行波型超音波モータの駆動原理に基づくものである。したがって進行波型超音波モータの駆動原理について説明する。進行波とは時間とともに進行する波である。進行波を伝える媒質である固定子上には表面粒子が存在する。進行波が伝わった時の表面粒子の運動軌跡 $v_t(x, t)$ は、

$$v_t(x, t) = A \cos(kx - \omega t) \quad (1.1)$$

と表すことができる。この時、 A は振幅、 k は波数、 x は粒子の位置、 ω は角周波数、 t は時間をそれぞれ表している。進行波型超音波モータの駆動の様子を Figure 2 に示す。進行波が音響導波路上を伝搬するとき、音響導波路表面上の粒子の軌跡は楕円を描く。移動体が与圧によって音響導波路に押しえつけられている状態である時、音響導波路表面に発生した粒子の楕円運動によって、移動体を引掻くような運動が生まれ、発生した摩擦力によって移動体を進行波とは逆方向に駆動させる^[4]。

超音波モータに使用される振動は、定在波

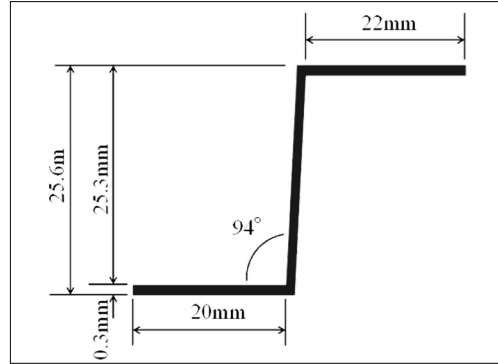


Figure 3 94° Z型を有する音響導波路

(standing wave) か進行波 (travelling wave) で表される。定在波 $u_s(x, t)$ は、

$$u_s(x, t) = A[\cos(kx)][\cos(\omega t)] \quad (1.2)$$

と表され、進行波 $u_t(x, t)$ は、

$$u_t(x, t) = A \cos(kx - \omega t) \quad (1.3)$$

となる。さらに加法定理より式 (1.3) は式 (1.4) のように表すことができる。

$$u_t(x, t) = A[\cos(kx)][\cos(\omega t)] + A[\sin(kx)][\sin(\omega t)] \quad (1.4)$$

上記の式において $\sin(kx)$ 、 $\cos(kx)$ はそれぞれ空間的位置、 $\sin(\omega t)$ 、 $\cos(\omega t)$ はそれぞれ時間的位置を表し、それらは \sin と \cos の関係にあり、 90° の位相差を持っている。つまり、進行波は空間的および時間的に 90° の位相差を持った 2 つの定在波の重ね合わせにより得ることができる^[5]。このほかに進行波を得る方法としては単振動によるものが存在するが、反射波を抑制するために吸音材が必要となる。

3. 実験

3-1. CS-USM の作製

Figure 3 に示す専用の SUS304 製音響導波路を用いて外径 1.61 mm、内径 1.25 mm

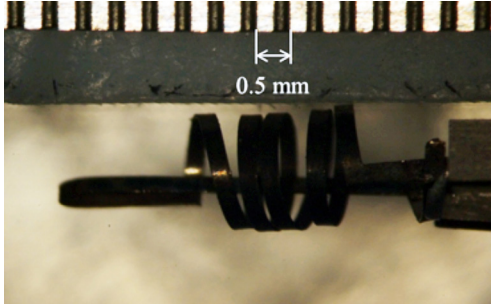


Figure 4 今回試作したコイル状ステータ

の SUS304 製パイプに巻きつけ、その後音響導波路の広がりを抑えるために内径 1.75 mm の SUS304 製パイプを被せ、ターボライターを用いてコイル状ステータの形状を固定した。その後、循環路を作製するために MINIMINI WELDER UH-1001 (白谷電子株式会社製) を用いて抵抗溶接し、駆動用振動子として圧電セラミック PZT 系材料である C213 材 (株式会社富士セラミックス製) をエポキシ系導電接着剤 EPO-TEK H20E を用いて接着した。同様にして導線も接着した。最後に性能評価用に反射板を取り付けた内径 1.80 mm, 全長 4 mm, 重さ 27.8 mg の SUS304 製パイプをロータとして取り付け駆動実験を行った。

3-2. 駆動実験

測定条件は両振動子に周波数 313 kHz, 位相差 90°, 設定電圧 16 V_{pp} の入力信号を送り、駆動実験を行った。その結果、目標であった回転数 1800 rpm を超える回転数での駆動を

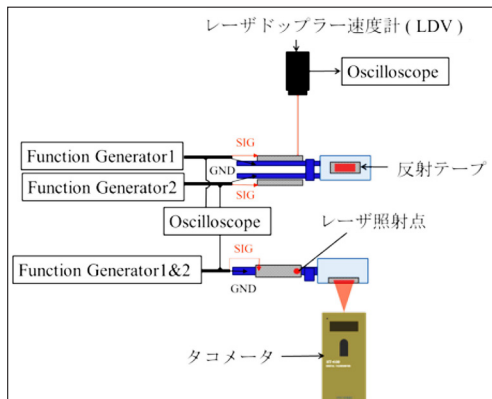


Figure 5 実験のセットアップ図

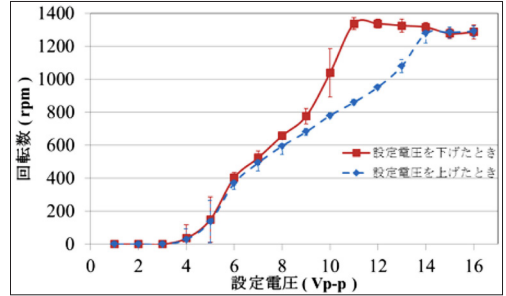


Figure 6 設定電圧に対する回転数の変化

確認することに成功した。その後、設定電圧を変え、回転数の変化を測定した。しかし、位相差を反転させた場合での、回転方向の逆転を確認することはできなかった。

4. まとめ

今回作製した CS-USM は前回作製したものよりも外径を 0.193 mm 小さくすることに成功した。駆動実験において設定電圧を下げていく場合と設定電圧を上げていく場合は回転数の変化に違いが生じた。

回転数がインナーロータ型に比べ低い原因として、ロータとステータ間の圧着力のマイクロでの調整と、ロータの移動を抑えることが出来ていないことが分かった。今後の課題としてこれらの問題を解決し、より正確な性能評価を行うために以下のことを中心に研究を進めていく。

- ① 駆動実験用に固定治具を作製する。
- ② 性能評価用に測定プログラムを組み、Lab view を用いて自動測定を行う。
- ③ 血液を模擬した水槽内での駆動実験を行う。

謝辞

本研究での研究材料を提供して頂きました株式会社ファインテクノ赤坂工場の石井英世氏ならびに従業員の方々に深く感謝致します。

【参考文献】

- [1] 厚生労働省, 平成 26 年 (2014) 人口動態統計の年間推計, 厚生労働省 Homepage (<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suikei14/index.html>), 2015.
- [2] 守屋正, 古川勇二, 赤野洋一, 中嶋明平, “コイル型ステータを用いる超小型超音波モータの実験的検討” IEICE Technical Report US2005-29, July 2005, pp.41-45.
- [3] T. Abe, T. Moriya, T. Irie, M. Satou, and S. Takeuchi: Sens. & Trans. J. Vol. 184, Jan. 2015, pp.108-115.
- [4] 高塚公朗, “進行波型超音波モータの駆動メカニズム—反転挙動の解明—” 福井工業大学研究紀要, Vol.30, March 2000, pp.113-120.
- [5] Kenji Uchino, Jayne R. Giniewicz, “マイクロメカトロニクス～圧電アクチュエータを中心に～” 森北出版株式会社, December 2007, pp.376.