

平成 21 年 6 月 11 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19360071
 研究課題名（和文） MRI コンパチブルな脳血管内治療ロボットの研究開発
 研究課題名（英文） Development of MRI Compatible Endovascular Diagnosis and Surgery Robot
 研究代表者
 遠山 茂樹（TOYAMA SHIGEKI）
 東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授
 研究者番号：20143381

研究成果の概要：

本研究開発では小型超音波モータを用いて MRI 下で利用できる脳血管治療ロボットを開発した。まず 3 の球面モータの小型化、有限要素法によるモード解析と圧電解析、2 mm 角の TR モータの試作と駆動、1.6 mm のコイル型モータの試作と駆動を行った。医療のために積層型圧電素子により低電圧化を行い 3V 程度で駆動できるようになった。全体を組み合わせたロボットを試作し、動作を確認した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	10,500,000	3,150,000	13,650,000
2008 年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,500,000	4,650,000	20,150,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：機械要素、カテーテル、ロボット

1. 研究開始当初の背景

現在では、脳の動脈瘤や閉塞の治療にはカテーテルが用いられ大きな成果を上げている。しかし、付随する問題も多い。治療時間が 6～10 時間にも及び、患者の負担が大きい。随時 X 線でモニターするため患者と医師の被爆量が深刻な問題となっている。迅速な血栓除去と被爆の心配のない MRI コンパチブルなカテーテルロボットを開発し上記の問題解決をはかる。

2. 研究の目的

超音波モータは MRI 対応の唯一の実用的な

アクチュエータである。これまで困難であった細管の血栓除去のため、極小超音波モータの技術を応用して低侵襲な脳血栓用のカテーテルロボットを開発する。カテーテルロボットには 3 種類の超音波モータを搭載する。1 つは直動運動と回転運動ができる多自由度モータでカテーテルを伸展させ、高速に回転させることができる。2 つ目は回転 3 自由度もつ球面モータである。カテーテル挿入時に、血管の分岐や壁面に向かった作業のための方向を定めるために用いる。3 つ目はコイル型モータである。ロータを高速に回転させること

が可能であり、血栓の機械的な除去を行う。

3. 研究の方法

(1) 回転直動モータ

カテーテルロボット用アクチュエータとして、回転直動モータ（以降 TR モータ）を体内で安全に駆動させるために、積層型圧電素子を利用して駆動電圧の低電圧化を行う。また、2mm のステータの試作及び駆動、有限要素法による解析を行い、小型化における問題点について検討する。

3.5mm ステータを用いて、積層型圧電素子を利用した積層型 TR モータを作成し、過去の単層型 TR モータとの基本特性比較を行う。

また、2mm ステータを用いた TR モータを試作・駆動すると共に、有限要素法による圧電解析を行い小型化における問題点について検討する。

(2) 球面モータ

現状の球面超音波モータの印加電圧は 70Vrms である。体内で安全に駆動させるために、積層型圧電素子を利用して駆動電圧の低電圧化を行う。

これまで球面超音波モータの制御には位相差制御を用いてきた。しかし、小型の球面モータでは位相差が小さいとき、すなわち低速域で安定駆動することが困難であった。そこで、モータの回転方向は位相差を用い、回転速度は周波数を用いて制御する方法を考案した。この制御方法を実現する制御器を作成し、従来の位相差のみの制御との比較を行う。

(3) コイル型モータ

コイル型モータはコイル形状のステータに導波路を取り付け、その末端部に超音波振動子を取り付けた構造となっている。この超音波振動子から超音波振動を導波路に付加し、ステータ外部に取り付けたシリンダ状のロータを回転させる構造となっている。

出力の向上のためステータの形状の検討、試作を行い、評価した。

4. 研究成果

(1) 回転直動モータ

積層型 TR モータについては、Fig. 1 に示すように、最低駆動開始電圧を 3Vrms まで下げることが成功し、周波数特性は単層型と同様の特性を持ち、単層型の約 18% の電圧での同等の出力を得た。

2mm ステータの試作・駆動および解析については、駆動周波数は、回転は約 420 ~ 480kHz、直動は約 500 ~ 530kHz であった。有限要素法解析ソフト「ANSYS」によるモード解析によると、R モードは 461kHz、T1 モードは 521kHz、T2 モードは 522kHz に見られる結果となり実際に作製したステータとほぼ一

致している。また、時刻暦応答解析を行い、楕円運動の生成について調べると、ステー

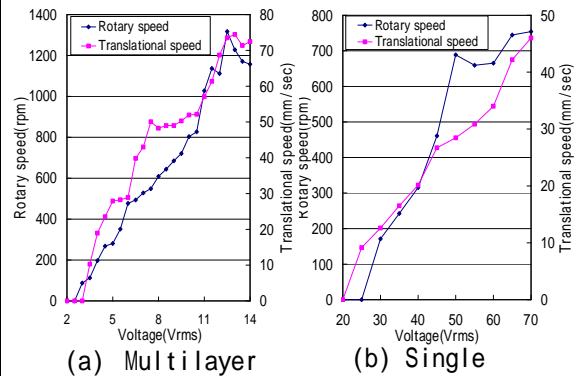


Fig. 1 Voltage characteristics

タとシャフトの接触面にて楕円運動が問題なく生成されることがわかった。しかし、試作された 2mm ステータの中には圧電素子ごとのインピーダンス、共振周波数の値がばらつく現象が見られた。この原因としては弾性体および圧電素子の加工・貼付精度や、小型化するにつれて表のように圧電素子の体積による影響が大きくなりモード形状が変化すると考えられ、有限要素法により圧電素子の位置をずらしたモデルを作成し解析を行ったところ、Fig. 2 のようにモード形状に歪みが見られた。したがって、超小型 TR モータの安定化には、ステータの精密加工および更に薄い圧電素子の利用が重要であることがわかった。

Table 1 Comparison the volume of stators

	14mm	2mm
Stator volume [mm ³]	1924	6.39
PZT volume [mm ³]	280	1.92
Ratio volume [%]	14.5	30.1

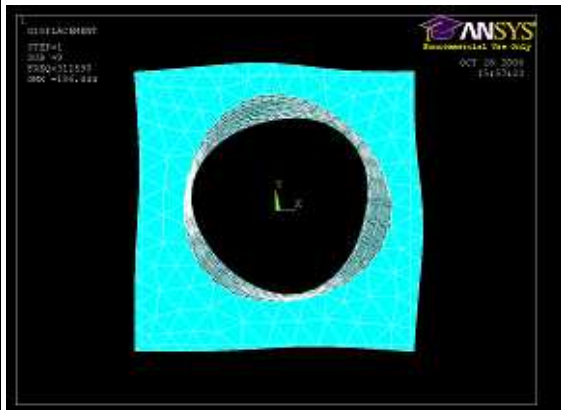


Fig. 2 Irregular Mode shape

(2) 球面モータ

積層の圧電素子を用いることにより、駆動電圧は 70 Vrms から 8.5 Vrms に減少した。

Fig. 3 に従来の位相差のみの制御とハイブリット制御を用いたときの、指定方向からの回転誤差を示す。位相差のみの制御では位相差が小さくなるにつれて角度誤差が増大していることがわかる。ハイブリット制御では周波数を変化させていったとき角度誤差は増加していないことがわかる。したがって、ハイブリット制御は有効である。

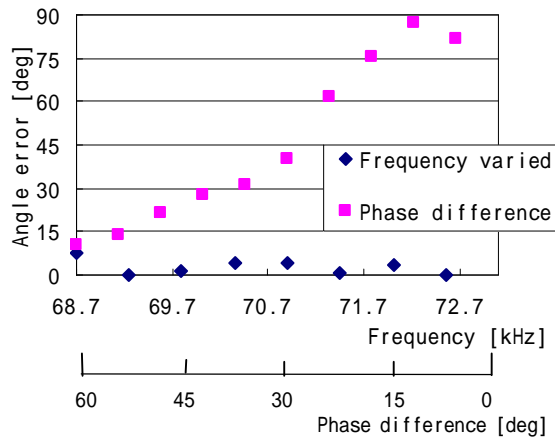


Fig. 3 Angle errors of two control

(3) コイル型モータ

コイル型モータはステータ部を線径のコイルにて作成したモータから、肉厚の薄い板材をコイル形状に巻いたステータへと変更した。このステータに変更し、ステータ-ロータ間の接触面積の増加、ステータ部の細径化を果たすことが出来た。このモータの仕様を Table 2、Fig. 4 に示す。

Table 2 Specification of coiled motor

Stator	Inner diameter[mm]	0.70
	Outer diameter[mm]	0.80
	Pitch[mm]	1.50
	Width[mm]	1.20
Motor	Outer diameter[mm]	1.60
	Resonance frequency[kHz]	26.8
	Waveguide[m]	1.00

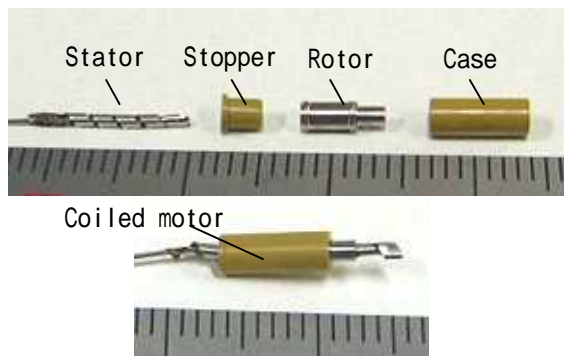


Fig. 4 View of driving part

コイル型モータは回転速度 2500rpm、起動トルク 11 μ Nm の性能を示した。

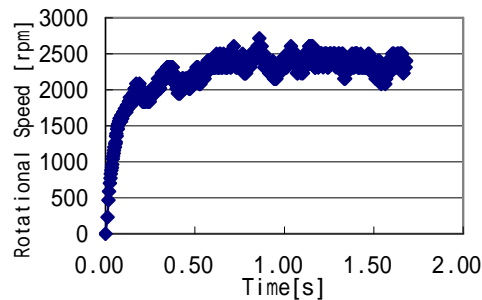


Fig. 5 Rotational speed vs. Time

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 2件)

T. Mashimo, S. Toyama “Rotary-Linear Piezoelectric Actuator using a Single Stator” IEEE, Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 114-120, 2009, 査読有

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2報) - TRモータの諸特性 - ” 精密工学会誌 9-14, 2009, 査読有

[学会発表](計 4件)

Toshiyuki AODAI, Shigeki TOYAMA “DEVELOPMENT OF MRI COMPATIBLE MANIPULANDUM FOR HUMAN UPPER LIMBS MOVEMENT” X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Liberec, Czech Republic, September 9, 2008

真下智昭, 遠山茂樹 「3.5mm単一ステータを用いた回転直動圧電アクチュエータに関する研究」精密工学会大会学術講演会講演論文集 Vol.2008, 春季(CD-ROM), PageB24 (2008.03.03) 明治大学、川崎市 2008年3月17日

真下智昭, 遠山茂樹, 「回転と直動の振動

モードを用いた圧電アクチュエータに関する研究(第2報)-モードを用いたステータの設計」精密工学会大会学術講演会講演論文集 Vol.2007, 秋季(CD-ROM), PageJ45、旭川市 2007年9月13日

T. Mashimo, S. Toyama, “MRI-Compatibility of a Manipulator using a Spherical Ultrasonic Motor” The 12th World Congress in Mechanism and Machine Science (IFTOMM2007) Besancon (France) June18-21, p.ck-350,2007.

6. 研究組織

(1)研究代表者

遠山 茂樹 (TOYAMA SHIGEKI)
東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授
研究者番号：20143381

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

石田 寛 (ISHIDA HIROSHI)
東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・准教授
研究者番号：80293041

蓮見 恵司 (HASUMI KEIJI)
東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授
研究者番号：20208474