

令和元年6月7日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04253

研究課題名(和文) 心臓冠動脈を保全する血管モータの開発

研究課題名(英文) Development of a stent motor to preserve the cardiac coronary artery

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) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は心臓の冠動脈を保全するためのステント型ロボットを開発することである。外部より超音波を照射することでステント表面に微弱な振動を発生させ、これ駆動力として、血管内を回転駆動するものである。血管の拡張と血流量の確保、プラークの除去と発生防止に貢献する。実験では、超音波の受信板を備えたステントを試作し、外部から超音波を照射することで快適に運動できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本人の三大死因の一つに心疾患があり、2017年には日本人の死因の第2位となっている。心疾患の例として、狭心症や心筋梗塞等を含む虚血性心疾患がある。これらの疾患は、冠動脈の血管内壁にコレステロールが溜まり血管が狭窄することにより起こる。治療法としてステント留置術がある。しかし、施術後にステント付近で再狭窄が発生し、再手術が必要になることがある。本開発では体外からの超音波照射により血管内を撻動するステントモータの開発を行っている。これは予防医学の観点から大きな意義をもつ。

研究成果の概要(英文)：This study is to develop a stent-type robot for preserving the coronary arteries of the heart. By irradiating ultrasonic waves from the outside, a weak vibration is generated on the stent surface, and the inside of a blood vessel is driven as a driving force. It contributes to the dilation of blood vessels, the securing of blood flow, and the removal and prevention of plaque formation. In the experiment, we fabricated a stent equipped with an ultrasonic wave receiving plate, and showed that it was possible to move comfortably by applying ultrasonic waves from the outside.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ステント 超音波モータ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

日本人の三大死因の一つに心疾患があり、2017年には日本人の死因の第2位となっている。心疾患の例として、狭心症や心筋梗塞等を含む虚血性心疾患がある。これらの疾患は、冠動脈の血管内壁にコレステロールが溜まり血管が狭窄することにより起こる。治療法としてステント留置術がある。血管内の狭窄した部分にステントと呼ばれる網目状の金属製円筒を設置し、開通性を確保する。しかし、施術後にステント付近で再狭窄が発生し、再手術が必要になることがある。ステントの位置調整を手術せずに行うことが可能であれば、患者の負担を減らすことができる。そこで、当研究では体外からの超音波照射により血管内を摺動するステントモータの開発を行っている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、心筋梗塞の治療に使われるステントを応用して、血管の再狭窄を防止し、血管の保全を行う血管モータを開発することである。

3. 研究の方法

実験を行いやすくするため、実際のサイズよりも大きいサイズのステントを製作した。製作したステントに対して水中で超音波振動を照射し、その回転について評価した。

4. 研究成果

レシーバの大きさによって回転数に生じる変化を調べるため、図1に示すようにレシーバの大きさを変化させた4つのステントモータを製作した。超音波振動の振動源としては超音波ホモジナイザを用いた。超音波ホモジナイザをホーン先端部が水深20mmの位置となるように設置した。また、ホーン先端部とブロック上面との垂直距離は15mm、ホーン先端部中心とレシーバの中心との水平距離は10mmとした。樹脂ブロックを穴が垂直となるように設置し、そこにステントモータのステータを挿入して設置した。超音波振動の照射時間を2分、超音波ホモジナイザの出力設定を50%とし、25回の実験を行った。その際のステントモータの回転を90°ごとに区切り、各区分において回転に要する時間を計測した。

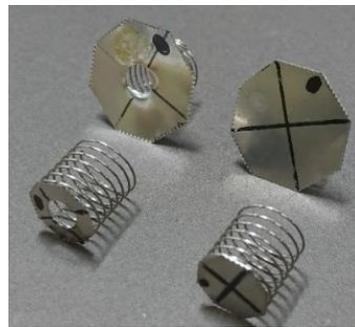


図1 円形レシーバステントモータ

実験結果の平均を表1に示す。表の通り、レシーバの面積が大きいステントモータほど回転速度が速いことが分かった。

表1 回転実験の結果

対角線 [mm]	回転速度 [rpm]	
	穴なし	穴あり
11	6.99	4.05
21	10.76	8.10

レシーバの形状による回転の変化を調べるため、レシーバの形状が異なる4つのステントモータを作製した。作製した4種類のレシーバ形状は、図2の左から正方形、十字形、ひし形、正三角形である。前述の実験と同様にホモジナイザを用い、ステントモータに超音波を照射し、回転速度を推定した。実験結果を表2に示す。結果から十字型レシーバの回転速度が最も速いことが分かった。

表2 実験結果



図2 ステントモータ

形状	回転速度 [rpm]
正方形	15.20
十字形	41.61
ひし形	31.79

ステントモータに用いるレシーバは面積が大きいほど適していることが分かったが、血管の直径を超える大きさのレシーバを取り付けることは不可能である。そこで、レシーバをコイル内に入れ、回転軸方向に延長する形状を考案した。また、2枚の板を十字形に組み合わせることで、先程の実験で回転速度が速くなることが確認できた十字型レシーバを再現した。実際に製作したステントを図3に示す。



図3 新設計ステントモータ

コイルの巻き数、および模擬血管として用いる樹脂ブロックの穴径による回転数の比較を行った。コイルの巻き数を3~7巻きまで0.5巻きずつ変化させたステントモータをそれぞれの巻き数で3つずつ作製した。レシーバの長さは20 mmとし、板厚は0.05 mmとした。樹脂ブロックの穴径は11.3 mmから11.7 mmである。各ステントモータに超音波振動を1分間照射する実験を3回ずつ行い、その間の回転数を計測し、それぞれの巻き数で回転数の平均値を求めた。結果を図4に示す。コイルの巻き数が増えるほど回転数は下がる傾向があることが分かる。また、樹脂ブロックの穴の内径によって回転数は異なり、11.6 mmのときに最も回転数が速く、11.3 mmと11.7 mmでは回転数が遅くなること、11.8 mm以上と11.2 mm以下の内径では回転が観測されることが確認できた。

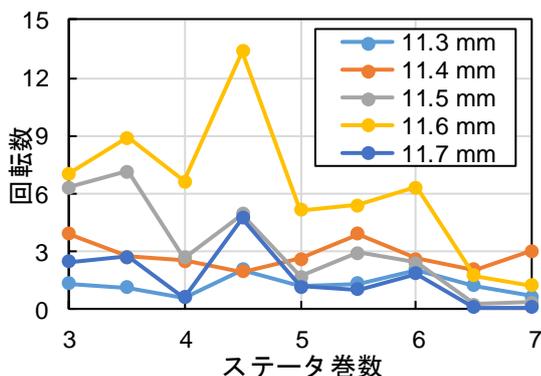


図4 実験結果 (ステータ巻き数, 穴径)

レシーバの厚さによる回転数の比較を行った。レシーバの板厚を0.05 mm~0.20 mmまで0.05 mmずつ変化させたステントモータをそれぞれの巻き数で3つずつ作製した。レシーバの長さは20 mm, コイルの巻き数は4.5巻きとした。樹脂ブロックの穴径は11.6 mmである。各ステントモータに超音波振動を1分間照射する実験を3回ずつ行い、その間の回転数を計測し、それぞれの板厚で回転数の平均値を求めた。結果を図5に示す。レシーバの厚さが0.05 mmのときに回転数が速く、厚さが増すにつれ回転数は遅くなり、0.20 mmでは回転しなかった。

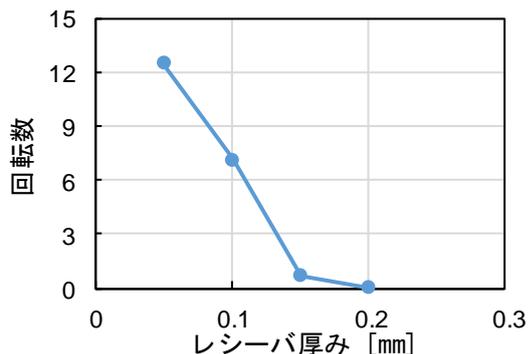


図5 実験結果 (レシーバ厚み)

レシーバの長さによる回転数の比較を行った。レシーバの長さを10 mmから35 mmまで5 mmずつ変化させたステントモータをレシーバの板厚が0.05 mmと0.1 mmの2種類でそれぞれの長さごとに1つずつ作製した (図6)。ステントモータのコイルの巻き数は4.5巻きとした。樹脂ブロックの穴径は11.6 mmである。各ステントモータに超音波振動を1分間照射する実験を5回ずつ行い、その間の回転数を計測し、それぞれのレシーバの長さで回転数の平均値を求めた。結果を図7に示す。レシーバの厚さが0.05 mmと0.10 mmともにレシーバの長さが20 mmと25 mmのときに回転数が速いことが分かった。



図6 レシーバ長さの異なるステントモータ

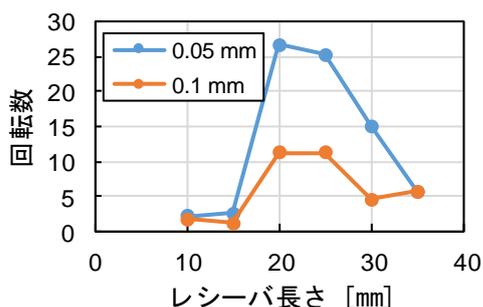


図7 実験結果 (レシーバ長さ)

ステントモータと振動源との距離が及ぼす影響を調べた。超音波ホモジナイザの先端の位置を 10 mm 刻みでステントから遠ざけ、それぞれについて 1 分間の超音波照射を 10 回ずつ行った。その際、ホーン先端が水に浸かっている長さを 20 mm で固定するため、ホーンの位置を上昇させるたびに水深も上昇させるようにした。計測結果の平均を図 8 に示す。結果から振動源であるホーンからステントモータが遠ざかるほど回転数が下がることが分かった。また、このグラフは横軸を x 、縦軸を y とすると $y = -0.006x^2 + 0.210x + 12.95$ と 2 次関数で近似することができる。球状に拡散する超音波振動は逆 2 乗の法則に則って減衰することが分かっており、今回の結果も概ねそれに沿っていると考えられる。

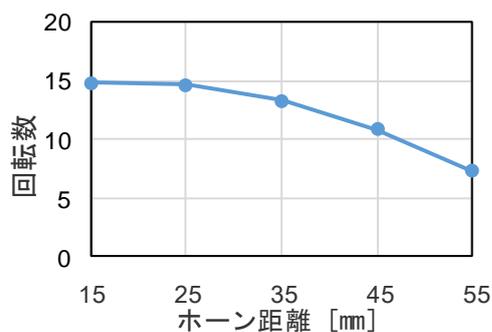


図 8 実験結果 (ホーン距離)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) Shigeki Toyama, Uichi Nishizawa, "Ultrasonic stent motor," *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 18 (2018), pp. 57-61. 査読有. <https://jvejournal.com/article/19850/pdf>
- (2) Fulin Wang, Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Multi degree-of-freedom micro spherical ultrasonic motor using wire stators," *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 10 (2016), pp. 272-276. 査読有.
- (3) Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Phase difference control system for TR motor," *Applied mechanics and materials*, Vol. 841 (2016), pp. 81-86. 査読有.

[学会発表] (計 5 件)

- (1) Shigeki Toyama, Uichi Nishizawa, "Development of stent motor," OPTIROB2018, (2018).
- (2) Shigeki Toyama, Uichi Nishizawa, "Ultrasonic stent motor," 32nd international conference on vibroengineering 2018, (2018).
- (3) Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Development of active stent moving by ultrasonic vibration," 27th international conference on vibroengineering 2017, (2017).
- (4) Fulin Wang, Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Multi degree-of-freedom micro spherical ultrasonic motor using wire stators," 24th international conference vibroengineering 2016, (2016).
- (5) Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Phase difference control system for TR motor," OPTIROB2016, (2016).

[その他]

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：石田 寛

ローマ字氏名：(ISHIDA, Hiroshi)

所属研究機関名：東京農工大学

部局名：大学院工学研究院

職名：教授

研究者番号 (8 桁)：80293041

研究分担者氏名：ベンチャー ジェンチャン

ローマ字氏名：(VENTURE, Gentiane)

所属研究機関名：東京農工大学

部局名：大学院工学研究院

職名：卓越教授

研究者番号 (8 桁)：30538278

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：西澤 宇一

ローマ字氏名：(NISHIZAWA, Uichi)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。