

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05756

研究課題名(和文) 超音波照射により駆動する血管内ステントモータ

研究課題名(英文) Intravascular stent motor driving by ultrasonic irradiation

研究代表者

西澤 宇一 (Nishizawa, Uichi)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・産学官連携研究員

研究者番号：80553221

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的はステントモータの駆動である。ステントモータの設計及び共振実験を行った。ステントモータは、二つの円筒レシーバと一つのコイル型ステータから成る。ステントモータの駆動源はステータの振動である。レシーバに超音波が照射されるとき、ステータの振動が発生する。初めに、共振するレシーバの設計を数値解析により行った。解析結果を基準に寸法の異なるレシーバを作製した。そして共振実験により確実に共振する寸法を特定した。次に、ステントモータの設計を行った。ステントモータを作製し、共振実験により共振する寸法を特定した。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this study is drive of a stent motor. A general stent is inserted in the stenosis part of a blood vessel and is the medical device used for expansion of a blood vessel. However, there is a problem of restenosis that a plaque accumulates around the stent. So the stent motor is used for removal of the plaque.

And a design and a resonance experiment of the stent motor were carried out. The stent motor consists of two cylindrical receivers and one coil shaped stator. A drive source of the stent motor is vibration of the stator. When the ultrasonic is irradiated to the receiver, vibration of the stator occurs. First, the receiver which resonates was designed by numerical analysis. The receivers different in the size based on the analysis result were made. And the size which resonates certainly by the resonance experiment was specified. Next, the stent motor was designed. The stent motors were made and the size which resonates by the resonance experiment was specified.

研究分野：ロボット工学、福祉工学

キーワード：ステントモータ 超音波振動 共振周波数 レシーバ ステータ 医療デバイス

### 1. 研究開始当初の背景

現在、心筋梗塞など虚血性心疾患は日本国民の死因の第2位となっている。この原因のひとつは食生活の変化にあり、今後も増加が予想されている。この対処にはカテーテル治療が一般的であり、梗塞部の拡大やステントの留置が行われている。しかし、再狭窄率が高く(約30%)、患者への負担が大きいバイパス手術に至る場合も多い。そこで本研究では、体外からステントに超音波を照射することで血管内を摺動するステントモータを開発する。カテーテル治療でよく使われるステントを能動化することで再狭窄を防ぐ。ステントモータが実現すれば狭心症の患者の冠動脈をメンテナンスすることが可能となる。低侵襲のカテーテル治療だけで進行をおさえることができれば、国民健康上きわめて有意義である。

### 2. 研究の目的

本研究の究極の狙いは、カテーテル治療で使われるステントの駆動により再狭窄を予防するステントモータの開発である。狭窄部にステントモータが留置されていれば、ステントモータの両端付近で再狭窄が起きたとしても容易に治療することが可能である。ステントモータには、体外から照射された超音波を受信することと血管内を移動することの二つの機能が必要である。ステントモータには超音波モータの技術を応用している。

### 3. 研究の方法

研究期間中に、ステントモータの設計と共振実験を主に行った。ステントモータは、二つの円筒レシーバと一つのコイル型ステータから構成される。設計においてレシーバの共振が重要であるため、初めに超音波の振動を受信するレシーバの設計を行った。レシーバを設計するために振動解析および試作モデルを用いた共振実験を実施した。次に、共振するステントモータの設計を数値解析により行った。ステントモータを作製し、共振実験を行った。共振実験には、血液と血管の代わりに水とシリコンチューブをそれぞれ用いた。

### 4. 研究成果

#### (1) ステントモータの設計と駆動メカニズム

ステントモータの外観図を図1に示す。ステントモータは超音波振動のエネルギーを振動源から受け取る2つの円筒形の受信部(レシーバ)と駆動力として出力する1つのコイル状のステータから構成される。ステントモータの材質にはSUS304を用いた。実際の利用環境を想定するとレシーバの外径は3mm程度が望ましい。しかし、加工における寸法誤差を考慮すると指定した共振周波数のレシーバを作製することは難しい。そこで、今回は寸法誤差が影響しないと考えられる外

径が10mmの円筒型レシーバを設計した。

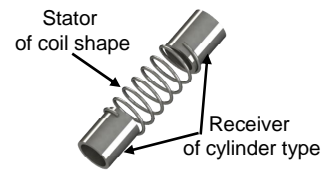


図1 ステントモータの外観

ステントモータの駆動メカニズムに関する概念を図2に示す。体内のステントモータに対して体外から超音波を照射するとステントモータのレシーバが共振してコイル形状ステータに進行波が発生する。ステントモータは血管の内壁との摩擦力により再狭窄部まで移動する。実際の使用方法では、再狭窄が起こらないために定期的にステントモータが左右に移動され、血管が常にメンテナンスされる。なお、本研究では超音波振動源としてランジュバン振動子を使用した。

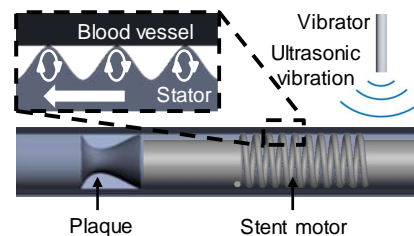


図2 ステントモータの駆動メカニズム

#### (2) レシーバの設計：レシーバの解析

ステントモータの駆動にはレシーバの共振現象を利用する。振動源のランジュバン振動子と同じ共振周波数を持つレシーバを作製する。実際の使用を想定したレシーバの外径は約3mmであるが、寸法誤差の影響により指定した共振周波数を持つレシーバの作製は困難である。そこで本研究において、寸法誤差の影響を含まないため3倍モデルとしてレシーバが設計される。

先行研究により、レシーバの厚さがレシーバの共振周波数を変化させることが分かっている。3倍モデルを作製するため、外形を固定して内径を調節することにより目標の共振周波数を持ったレシーバを作製する。一方、水中では水の付加質量によって共振周波数が変化する。そこで本研究において、目標共振周波数の周辺の共振周波数を持つレシーバを作製する。レシーバは、固有値解析の結果から得られた共振周波数と内径の関係に基づいて作製する。

モデリングと固有値解析にCreo Parametric 3.0を使用した。固有値解析において用いられたモデルを図3に示す。レシーバの内径を0.01mm刻みで6.19mmから6.86mmまで変化させたモデルを作製し、固有値解

析をそれぞれに対して行った。ただし、水中を想定した固有値解析にとって付加質量の取り扱いが難しいため、空気中での共振周波数が固有値解析で取得された。固有値解析が実行される際、低次元の同じ振動モードを得るために注意が十分払われた。振動モードの解析結果を図4に示す。さらに、レーシバの内径の変化に対する固有値解析の結果を図5に示す。内径の変化に対して共振周波数が線形的に変化している。

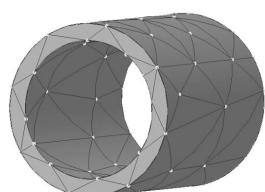


図3 レシーバの解析モデル

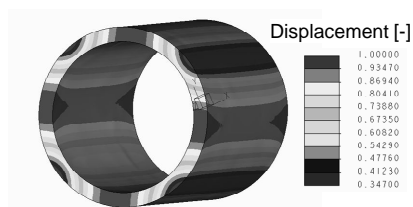


図4 振動モードの解析結果

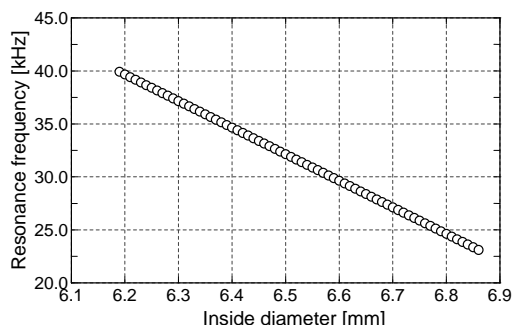


図5 固有値解析の結果

### (3) レシーバの設計：レーシバの共振実験

固有値解析のモデルと同じ寸法のレーシバを作製した。作製したレーシバを用いて水中で共振実験が実施された。共振実験のための実験装置を図6に示す。水槽にレーシバを入れ、ランジュバン振動子のホーン先端から超音波振動をレーシバに照射する。印加電圧の振幅は  $40 V_{p-p}$  である。レーザ変位計でレーシバ表面の変位を測定し、その変位に対してFFT解析を行った。

共振実験の結果を図7に示す。内径6.41mmのレーシバの振幅は、他のレーシバと比べて約3倍である。よって、内径6.41mmのレーシバが共振することが理解される。その結果に基づき、ステントモータには内径6.41mmのレーシバを使用する。

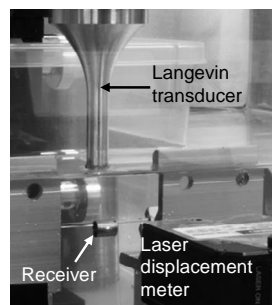


図6 レシーバの共振実験

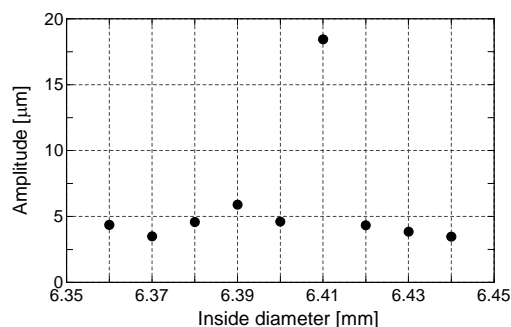


図7 レシーバの共振実験結果

### (4) ステントモータの共振実験

ステントモータの試作モデルを図8に示す。コイル形状をしたステータの線径は0.7mmであり、ピッチは1mmであり、巻き数は7周である。前節に基づき、ステントモータのレーシバは内径6.41mmである。ステントモータの試作モデルを用いて水中で共振実験を実施した。実験装置を図9に示す。水槽にステントモータを入れ、ランジュバン振動子のホーン先端から超音波振動をレーシバに照射する。印加電圧の振幅は  $30 V_{p-p}$  である。レーザ変位計を使用してレーシバ表面の変位を測定し、その変位に対してFFT解析を行った。水中において実験されたが、ステントモータは共振しなかった。

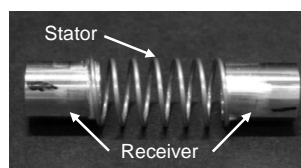


図8 ステントモータの試作モデル

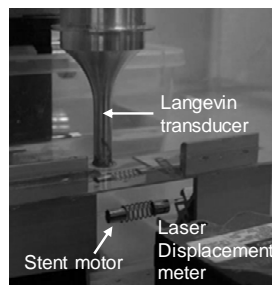


図9 ステントモータの共振実験

ステントモータのレシーバの内径を 0.01 mm 刻みで 6.40 mm から 6.50 mm まで変化させたモデルを作製した。前節と同様の条件で共振実験を行った。共振実験の結果を図 10 に示す。内径 6.44 mm のレシーバを用いたときのステントモータの振幅は、他のステントモータと比べて約 2 倍である。よって、内径 6.44 mm のステントモータが共振していることが分かる。

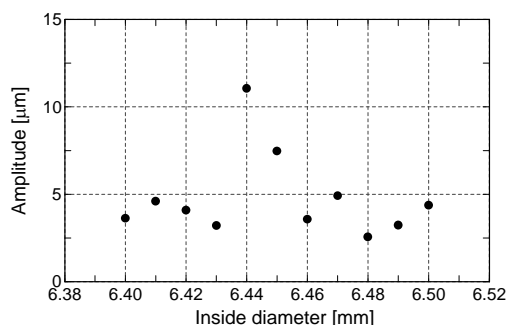


図 10 ステントモータの共振実験結果

次に、水槽に入れたシリコンチューブの中のステントモータに対して実験が実施された。実験装置を図 11 に示す。ステントモータは共振しているが、シリコンチューブ内の移動は観察されなかった。本研究で用いた超音波振動源の電力は約 30 W であるため、レシーバに照射された超音波のエネルギーが不足していることが原因として考えられる。

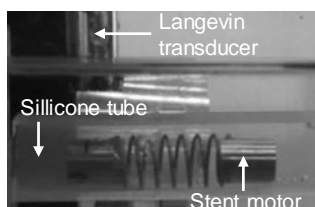


図 11 シリコンチューブを用いた共振実験

#### (5) まとめ

水中にあるシリコンチューブ内でのステントモータの駆動を目的として、ステントモータの設計及び共振実験を行った。目的のため、レシーバが固有値解析を用いて設計され、共振実験により水中において共振するレシーバを特定した。水中において共振するレシーバを用いてステントモータの試作モデルを作製した。しかしながら、ステントモータの試作モデルを用いて共振実験を実施したところ、ステントモータは共振しなかった。そこでステントモータのレシーバの内径を変化させたステントモータの試作モデルを作製した。これらのステントモータの試作モデルを用いて共振実験を行ったところ、共振するステントモータを特定した。シリコンチューブ内にステントモータを設置した条件において共振実験を行ったが、ステントモータがシリコンチューブ内を駆動するこ

とはなかった。レシーバに照射された超音波のエネルギー不足が原因として考えられることから、今後は超音波の電圧が高い条件で実験を実施する予定である。

#### 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)

Shigeki Toyama, Uichi Nishizawa, "Development of stent motor," International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 8, No. 2 (2018-4) pp. 78-81. (査読有)

<http://www.ijmo.org/vol8/628-0B18-009.pdf>

Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Development of active stent moving by ultrasonic vibration," Vibroengineering PROCEDIA, Vol. 13 (2017-9) pp. 205-210. (THE BEST PAPER AWARD) (査読有)

<https://jvejournal.com/article/19012/pdf>

Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Intravascular stent motor," Applied Mechanics and Materials, Vol. 772 (2015-6) pp. 569-573. (査読有)

[学会発表](計 3 件)

Shigeki Toyama, Uichi Nishizawa, "Development of stent motor," OPTIROB2018 (June 2018, Jupiter, Romania).

Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Development of active stent moving by ultrasonic vibration," 27th international conference on vibroengineering 2017 (September 2017, Katowice, Poland).

Uichi Nishizawa, Shigeki Toyama, "Intravascular stent motor," OPTIROB2015 (June 2015, Jupiter, Romania).

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

THE BEST PAPER AWARD, JVE, 2017

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

西澤 宇一 (NISHIZAWA, Uichi)

東京農工大学・大学院工学府・産学官連携研究員 (2017 年 9 月まで助教)

研究者番号: 8 0 5 5 3 2 2 1

##### (2) 研究分担者

大橋 太郎 (OOHASHI, Taro)

木更津工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授

研究者番号: 2 0 2 5 9 8 2 3