

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(/)

研究題目	超音波照射により駆動する血管内ステントモータの開発	報告書作成者	西澤宇一
研究従事者	西澤宇一、遠山茂樹		
研究目的	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欧米化によるものであり、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(30%)、バイパス手術に至る場合も多い。これを低侵襲のカテーテル治療で進行をおさえることができれば、国民の健康上きわめて有意義である。なお、ステントとは、メッシュ状あるいはコイル状のφ3 mm 程度の円筒型のバネ形状をしており、血管の狭窄部に挿入し、血管を拡張するために使用する医用器具のことである(図 1)。血管の再狭窄がステント両端付近で起きるといった問題点がある。 本研究では、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の開発を目指している。狭窄部にステントモータが留置されてあれば、ステントモータの両端付近で再狭窄が起きた場合でも容易に対処することが可能となる。ステントモータのメカニズムは次の通りである(図 2)。体内に留置されたステントモータに向かって体外から超音波を照射するとステントモータの端部にある受信部(レシーバ)が共振してコイル状の駆動部に進行波を発生させる。ステントモータは血管内壁との摩擦力によりスクリュウ運動をしながら緩やかに壁面を押し広げながら再狭窄部まで移動する。実際の使用方法は、定期的に外部より超音波をレシーバへ当て、ステントロボットを左右に移動させて再狭窄が起こらないように血管を常にメンテナンスする。 ステントモータは三つの部分で構成される(図 3)。中央にコイル状のステータ、両端に超音波を受信するレシーバである。ステータの形状は、血流を障害せずに血管を押し広げる役割を担うため、コイル状を想定している。両端に配置するレシーバは、パラメータを調節して左右で共振周波数が異なるようにする。そこで本研究の目的は、シミュレーションを行うことでレシーバが共振する形状を調べ共振に一番影響を与えるパラメータを明らかにすること、およびシミュレーションの結果を踏まえて試作したレシーバに固定周波数の超音波を照射し共振を確認することとした。共振した場合でも振動は微細であると考えられるため計測には超高速かつ高精度のレーザ変位計を用いる。レシーバがしっかりと共振するまでシミュレーションと試作レシーバによる評価実験を丹念に行う。		

研究内容	本研究において開発するステントモータ(図 3)には、体外から照射された超音波を受信する機能と血管内を移動できる機能の二つを実現させる必要がある。このことを踏まえ、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受信部(レシーバ部)と駆動力として出力するステータ部から構成される。設計で重要なのはレシーバ部が共振することであるため、超音波の振動を受け取るレシーバ部の設計を初めに着手する。レシーバ部の設計は、振動解析を含むシミュレーションおよび試作モデルによる評価実験を実施することで行う。 実際の利用環境を想定するとレシーバ部の外径は 3 mm 程度が望ましい。しかし、加工時に生じる寸法誤差などを考慮すると狙った固有振動数を持つレシーバ部を作製することは簡単ではない。そこで、当初は寸法誤差の影響が少ないと考えられる外径が 10 mm のレシーバ部を設計することとした。レシーバ部は円筒にスリットを入れた形状(図 4)である。なお、実験装置の都合により実験時に照射する超音波の周波数は固定値である。 レシーバ部のパラメータは円筒の長さ、内径、外径、スリットの幅である。共振に一番影響を与えるパラメータを明らかにするため、各々のパラメータの寸法を基準値から± 0.1 mm の範囲に対し 0.01 mm 刻みで変化させ振動解析を行った。結果を図 5 に示す。 内径あるいは外径を変化させると周波数が大きく変動し、円筒の肉厚を薄くすると周波数が小さくなり厚くすると周波数が大きくなることが分かった。つまりレシーバ部を加工する際に、円筒の肉厚の精度には慎重にならなければならないと言える。 一方、レシーバ部の長さやスリット幅の影響は小さく、長さを縮めると周波数が微増し、スリット幅を広げると周波数が微減することが分かった。つまりレシーバ部を加工した際に、加工誤差により予定した共振周波数から多少離れたとしても、これらのパラメータを調節する(研磨すること)ことで対処可能であると言える。 レシーバ部を加工する際にはシミュレーションによる周波数解析の結果を参考とした。しかし、シミュレーション結果と実際に加工したレシーバ部の共振周波数の間には乖離がみられた。レシーバ部の長さやスリット幅により微調整を試みたが上手くいかなかった。 そこで、シミュレーションによる結果を基準値として、円筒の肉厚(内径)を 0.01 mm 刻みで変化させたレシーバモデルを複数用意し共振実験(図 6)を行った。共振実験は比較のためにスリットがある場合とない場合について、それぞれ空気中と水中にて行った。レーザ変位計により取得したデータを FFT 解析した結果を図 7 に示す。 シミュレーション結果による基準値とは異なるレシーバの肉厚において共振が確認された。また、水中における振幅は空気中における振幅より大きく、水中ではスリットがある場合の振幅はスリットがない場合より大きかった。
------	--

研究のポイント	本研究において開発す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機能と血管内を移動できる機能の二つを実現させる必要がある。このことを踏まえ、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受信部(レシーバ部)と駆動力として出力するステータ部から構成される。設計で重要なのはレシーバ部が共振することであるため、超音波の振動を受け取るレシーバ部の設計を初めに着手する。 研究においては、レシーバ部のパラメータの特徴を把握し加工誤差が生じたときの対策を考える。また、加工誤差が共振周波数へ与える影響について考察する必要がある。
研究結果	レシーバ部の設計を行ったところ次の事柄が分かった。 レシーバ部のパラメータの内、円筒の肉厚を薄くすると周波数が小さくなり厚くすると周波数が大きくなることが分かった。一方、レシーバ部の長さスリット幅の影響は小さく、長さを縮めると周波数が微増し、スリット幅を広げると周波数が微減することが分かった。 シミュレーション結果と実際に加工したレシーバ部の共振周波数の間には加工誤差による影響が原因として考えられる乖離がみられた。 水中における振幅は空気中における振幅より大きく、水中ではスリットがある場合の振幅はスリットがない場合より大きかった。
今後の課題	共振を確認できたためレシーバ部とステータ部をつなげたステントモータを作製し、レシーバ部の設計の際に行った時と同様のシミュレーションと評価実験を丹念に行う必要がある。



図 1 治療で使用するステント

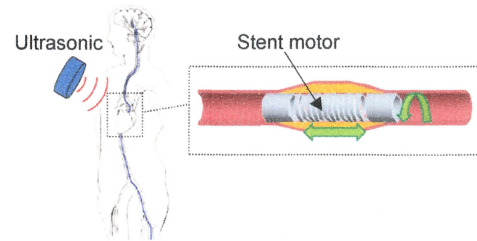


図 2 ステントモータのメカニズム

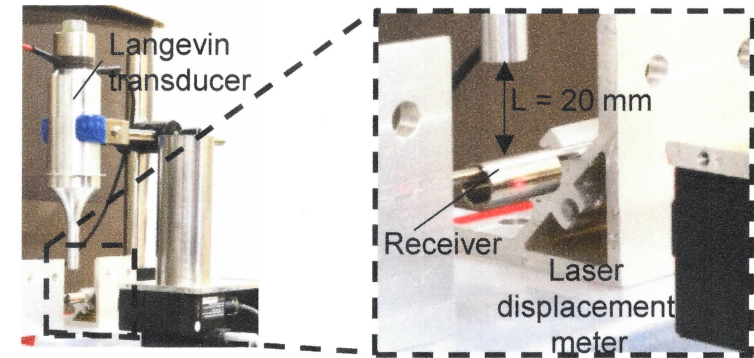


図 6 共振実験

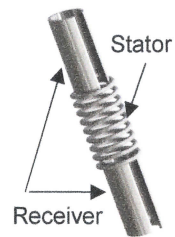


図 3 ステントモータの概略

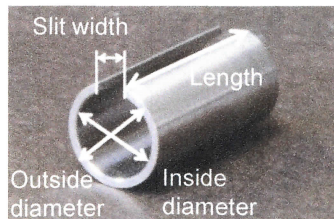


図 4 レシーバ部とパラメータ

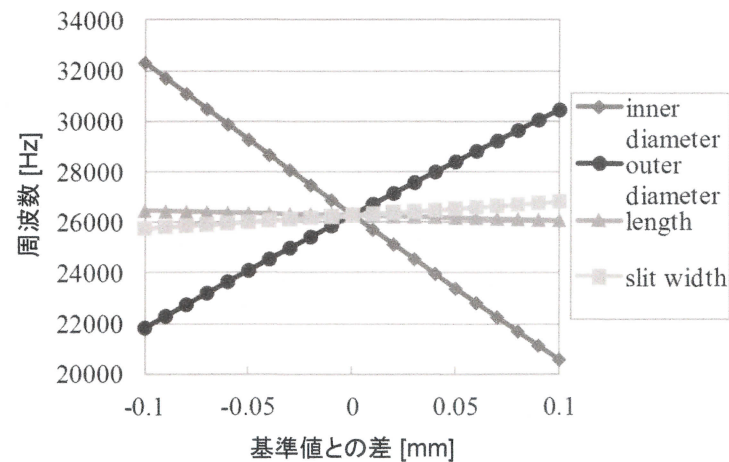


図 5 各パラメータの周波数への影響

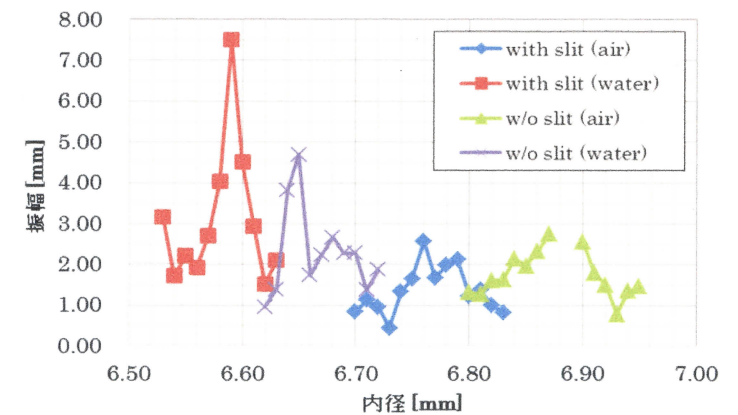


図 7 共振が得られる内径(円筒厚さ)の値と振幅の大きさの比較