

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12116

研究課題名(和文)超音波マルチビームによる生体内極細カテーテルの3次元誘導

研究課題名(英文)Three-dimensional induction of thin catheter in blood vessel using multiple beams of ultrasound

研究代表者

榎田 晃司(Masuda, Kohji)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60283420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究により、極細カテーテルを屈曲させるのに最も厳しい条件である、音波の伝搬方向とカテーテルの屈曲方向が直交する配置条件において超音波音場を形成し、カテーテルの先端を屈曲させることに成功した。同一特性を有する2個の2次元アレイトランスデューサ(各128素子)を用いて、外直径0.2 mmのカテーテルをトランスデューサの音軸に対して直交する位置に置いた。電子制御による単焦点の焦点位置の移動に伴い、カテーテルは0.3mm程度屈曲した。異なる2方向からの照射条件を組み合わせ、カテーテルを音波の進行方向に対して逆の方向へカテーテルの直径程度の変位を得る事に成功した。

研究成果の概要(英文)：Since the acoustic energy is dispersed with the multiple focal points, it was difficult to obtain sufficient displacement. Using two ultrasound array transducers (128 elements), which realizes not only the spatial design but also the dynamic variation of acoustic field, we realized the bending of a thin catheter by forming multiple focal points. We realized to bend the thin catheter with about 0.3 mm by introducing tempo-spatial division emission of single focal point.

研究分野：生体医用工学

キーワード：極細カテーテル 音響放射力 2次元アレイトランスデューサ

1. 研究開始当初の背景

現状の検査や手術で使用されているカテーテル(直径 5mm 程度)は、それ自体は能動的に動かないため、外科医はまず先端が屈曲しているガイドワイヤー(直径 0.9mm 程度)を X 線透視で確認しながら血管内に挿入する必要がある。ガイドワイヤーの根元を回転し、血管分岐部で先端部の方向を定め、標的部位まで到達させた後にカテーテルを沿わせて挿入する手技は職人技であり、患者の血管を傷つける恐れがある上、医師自身に被曝のリスクがある。このため、先端に状記憶合金やマイクロアクチュエータを搭載した能動カテーテルが開発されたが、漏電による事故のリスクがあった。また磁気駆動や水圧駆動のものも提案されたが、いずれもカテーテルそのものに磁性体や機械的構造が必要のため直径が 1mm を切ることは難しく、実用化には至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、これまでの常識を覆す直径 0.2mm 程度の極細カテーテルを生体内で任意の方向に屈曲させ、血管内を誘導制御するための、生体外からの複数の超音波ビーム照射による音響放射力の形成法の確立を目的とする。カテーテルは音響放射力により受動的に操作されるが、音響放射力は基本的に超音波の進行方向に「押し込む」ことしかできないため、音場を様々に設計可能な超音波 2 次元アレイトランスデューサを用いて超音波マルチビームを形成し、極細カテーテルを超音波の進行方向と逆の方向に屈曲させ、血管形状に応じて任意方向に誘導制御するための技術を開発する。一般的に物体が放射力を受けるためには表面積が必要であるため、本手法で適用可能なカテーテルの材質に対する直径の限界を明確に数値化することも必要である。

3. 研究の方法

まず、「せん断力」を応用した任意方向へのカテーテルの屈曲方法について、周波数・音圧設定、焦点の形成位置と角度、照射音波の波形などの検討を行う。応募者が現有するトランスデューサは 8×8 素子(64 個の超音波振動素子群)の正方形で構成されるが、カテーテルの屈曲制御に効果を発揮するためには、軸方向への超音波分布を充実させるために例えば 16×8 素子のような長方形が好都合であると考えられる。このような仮定に基づきシミュレーションを重ね、本研究の目的に適合するトランスデューサを設計・製作し、実験装置に導入する。

複数のトランスデューサが連携して生体内で超音波ビームの角度および焦点位置を合わせるためには、お互いの位置関係をリアルタイムにモニタリングできる必要がある。応募者の研究室ではこれまで、画像用超音波プローブや手術器具、ロボットの光学的トラ

ッキングによる治療用ナビゲーションシステムを開発してきており、これらの成果を利用して各要素技術を統合する。具体的には、各トランスデューサおよび超音波プローブに取り付けた位置センサの情報から全ての座標系を統合し、血管構造 カテーテルの先端位置 各超音波ビームの位置関係をモニタリングし、全体としてのカテーテル誘導法を確立する。

4. 研究成果

本研究により、カテーテルを屈曲させるのに最も厳しい条件である、音波の伝搬方向とカテーテルの屈曲方向が直交する配置条件において超音波音場を形成し、カテーテルの先端を屈曲させることに成功した。それまでに行ってきた 2 焦点で挟み込む音場では、音響エネルギーが分散するため、十分な変位を得る事は難しかった。そこでエネルギーの集中する単焦点音場の時空間変化を利用して屈曲させる方法を試みた。本研究では周波数 1 または 3MHz、曲率半径 120 mm で湾曲した 2 次元アレイトランスデューサ(256 素子)を新たに製作し、外直径 0.2 mm、内直径 0.05 mm、PFA 製カテーテルを 2 次元アレイの音軸に対して平行に置いた。電子制御による単焦点の焦点位置の移動に伴いカテーテルは屈曲変形した。焦点の時間的な間隔は 0.01 から 5 s の範囲で、空間的な間隔は 0.05 から 1.5 mm の範囲で変化させ、合計 10 パターンの単焦点音場を時空間分割照射することで焦点位置を移動させた。最大音圧は生体に対する安全基準を満たす 370kPa-pp とした場合、音場の時空間パラメータを変化させ、最大でカテーテル外直径の 3 倍以上の 0.7 mm の変位を得ることに成功した。

また、同一特性を有する 2 個の 2 次元アレイトランスデューサ(各 128 素子)を用いて、異なる 2 方向からの照射条件を組み合わせ、カテーテルを音波の進行方向に対して逆の方向へ屈曲させる試みを行った。前期と同様の音圧設定において、焦点の時間間隔を 0.5s、空間間隔を 0.2 mm とした場合、カテーテルの直径程度の変位を得る事に成功した。この変位は十分に大きいとは言えないが、従来の手法では全く実現できなかった方向への変位で有り、今後音波の照射条件や空間的配置を検討して、実用化に耐える条件の導出を目指す。

更に、光学式位置センサを用いて予め取得しておいた人工血管モデルの構造に対して、分岐部の 3 次元座標を取得し、その位置に合わせて超音波トランスデューサの空間的位置を正確に設置できるように、パラレルリンク方ロボットを用いた支援システムを構築した。

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 5 件)

H.Ushimizu, T.Suzuki, T.Mochizuki, and K.Masuda: "Bending of thin catheter by tempo-spatial division of ultrasound emission and evaluation of viscosity effect," Jap. J. Applied Physics, Vol.57, 2018 [in press] 査読有

鈴木俊哉、牛水英貴、保坂直斗、望月剛、榎田晃司:「時空間分割超音波送信による音波伝搬の直交方向への極細カテーテルの屈曲制御」、生体医工学、Vol.56, No.1, pp.8-15, 2018 査読有

木村允俊、片井拓弥、鈴木俊哉、山下智己、望月剛、榎田晃司、絵野沢伸:「Bモードとドプラモードの両方に対応した血管分岐構造を有する超音波ファントムの製作」、生体医工学、Vol.55, No.6, pp.258-266, 2017 査読有

T.Suzuki, T.Mochizuki, H.Ushimizu, S.Miyazawa, N.Tsurui, and K.Masuda: "Thin catheter bending to the perpendicular direction of ultrasound propagation using 2-dimensional array transducer," Jap. J. Applied Physics, Vol.56, 07JF20, 2017 査読有, doi.org/10.7567/JJAP.56.07JF20

夏目薫、和田義久、小野木真哉、望月剛、榎田晃司:「パラレルリンクロボットを用いた患者体表面における超音波治療器具の面接触制御」、日本コンピュータ外科学会誌、Vol.17, No.4, pp.343-354, 2016 査読有

〔学会発表〕(計 9 件)

K.Masuda, T.Suzuki, R.Oitate, H.Ushimizu, and T.Mochizuki: "Possibility of acoustic radiation force as an external force for active control of micro objects in human body," Proc. of the 13th Asian Conf. on Computer Aided Surgery, Nov. 2017, Lukang, Paper ID: Mon1-5

鈴木俊哉、牛水英貴、保坂直斗、望月剛、榎田晃司:「音響放射力分布の時空間変化を利用した極細カテーテルの屈曲条件とその検討」、第26回日本コンピュータ外科学会大会論文集、Vol.19, No.4, 名古屋、2017年、p.231

鈴木俊哉、牛水英貴、保坂直斗、望月剛、榎田晃司:「時分割超音波送信による音波伝搬の直交方向への極細カテーテルの屈曲制御」、生体医工学シンポジウム2017講演予稿集、2017、上田、USB

N.Hosaka, H.Ushimizu, T.Suzuki, T.Mochizuki, and K.Masuda: "Thin catheter bending in arbitrary direction using tempo-spatial

variation of acoustic distribution," Proc. of the 10th Biomedical Engineering International Conference, Aug. 2017, Sapporo, Paper-ID: 2017-005

木村允俊、山下智己、望月剛、榎田晃司、絵野沢伸:「Bモード及びドプラモードボリューム中の3次元血管構造の比較検証のためのファントムの製作」、日本超音波医学会第90回学術集会論文集、Vol.44, Suppl., 2017年、宇都宮、S468

和田義久、川本祥太郎、片井拓弥、鈴木俊哉、木村允俊、牛水英貴、望月剛、榎田晃司:「パラレルリンク型ロボットを用いた血管内カテーテルの超音波誘導システムの構築」、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集、2017年、郡山、1P1-J02

保坂直斗、鈴木俊哉、牛水英貴、望月剛、榎田晃司:「超音波音場分布の時空間変化を利用した極細カテーテルの任意方向屈曲制御」、第56回日本生体医工学会大会プログラム・論文集、2017年、仙台、Fr.GS-3.1-13

鈴木俊哉、鶴井信宏、望月剛、榎田晃司:「逆位相2焦点音場による極細カテーテルの実践的な誘導方法の開発」、第55回日本生体医工学会大会プログラム・論文集、2016年、富山、USB

鶴井信宏、鈴木俊哉、望月剛、保坂直斗、榎田晃司:「超音波マルチビームを利用した極細カテーテルの屈曲制御のための実験的検討」、日本超音波医学会第27回関東甲信越地方会学術集会抄録集、2015年、東京、p.76

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

榊田 晃司 (Masuda, Kohji)
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：60283420

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし