

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：77103

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18397

研究課題名（和文）圧力駆動アクチュエータの先端角度制御と接触力計測のための光学式センサの開発

研究課題名（英文）Development of an optical bending sensor for pressure driven actuators

研究代表者

井上 佳則（Inoue, YoshiYoshinori）

一般財団法人ファジィシステム研究所・研究部・主任研究員

研究者番号：20402505

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：水圧能動カテーテルシステムは近年適用範囲が拡大している低侵襲医療の術者支援システムであるが、適用部位が繊細な組織であるため高い安全性が要求されている。本研究では光学式屈曲センサを統合することでコンセプトレベルにおいて漏電のおきない高安全性システムを提案・構築を行った。光センサの試作、試作センサの出力特性の取得、理論モデルの構築、水圧能動カテーテルシステムと統合した制御システムの設計と評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、従来の体内挿入型医用システムが直面する問題である高安全性システムの構築方法をコンセプトレベルでの解決を目指したものである。先端位置、姿勢、接触力と測定するセンサシステム、アクチュエータ、躯体に至るまで体内挿入部では、電力を使用せずに実現可能性を示した本研究は、従来とは異なる医用支援システム構築法であり、医用工学分野の発展に寄与することが期待される。

研究成果の概要（英文）：High level safety is required for a hydraulic active catheter system to support minimally invasive surgery that was expanding its scope of disease in recent years. In this research, the hydraulic active catheter system without electrical leakage even at any accident by integrating an optical bending sensor was constructed. The optical sensor was prototyped, output signal of the prototype sensor was measured and theoretical model of the sensor was constructed. A control system integrated with the hydraulic active catheter system and the sensor was developed.

研究分野：医用工学

キーワード：光センサ 能動カテーテル 曲げセンサ

1. 研究開始当初の背景

低侵襲手術といわれる腹腔鏡手術や血管カテーテル術の発展により、その適用範囲の拡大が続いている。その結果、患者の入院期間の短縮化が促進され、社会復帰が早まるなど患者の QOL は向上してきた。これら外科的侵襲の少ない治療では従来の開腹手術のように術者が患部を直接観察することができず、2次元画像や映像を頼りに臓器や血管の複雑な形状や3次元的な位置関係を把握し、手術器具の位置や姿勢を適切に操作し患部に誘導する。

このような問題を解決する為に、各種シミュレーション機器、立体視装置やAR, VRを用いた訓練装置や支援装置、位置指示や力覚指示システムなどの手術支援システムの開発が進められている。脳や心臓に直接接触れる医用機器は組織の電流感受性の高さから漏れ電流が厳しく制限されているなど従来システムの転用が困難であることが多い。特に狭小空間にセンサやアクチュエータを配置し、さらに複数の電源線や制御用電線を配線する必要があるなど技術的問題がある。

2. 研究の目的

水圧能動カテーテルは生田らによって提案、開発されてきたデバイス(図1)であり、先端関節は直径2~3mmのペローズアクチュエータで駆動されている。このシステムは体内挿入部位に一切の電気部品がない高安全性システムである。本研究では、新たに光学式屈曲センサを組み込み、この水圧能動カテーテルシステムの安全性をさらに向上させるため、新たに光学式屈曲センサを開発し統合システムを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 試作型センサの作製方法

光ファイバを用いて光学式屈曲センサの開発を行った。光ファイバは内部を通過する光が散乱等で外部に漏れださないような構造をもっている。本研究では、関心領域の屈曲角度によって出力信号を変化させるため、光ファイバ外周に欠陥を造形した。欠陥の造形には、機械加工が必要であったため各種設計・加工パラメータの検討を行った。

(2) 試作型センサの出力特性

試作した屈曲センサのダイナミックレンジの調整手法を確立するためにセンサの出力特性を測定するため、レーザー素子、フォトダイオード、増幅回路等の電子部品、ミラー等光学系部品を用いて測定システムを構築した。構築した測定プログラムを使用して、試作センサの出力特性の測定を行った。測定実験にはマイクロ光造形法を用いて各屈曲角度の治具を作製し、

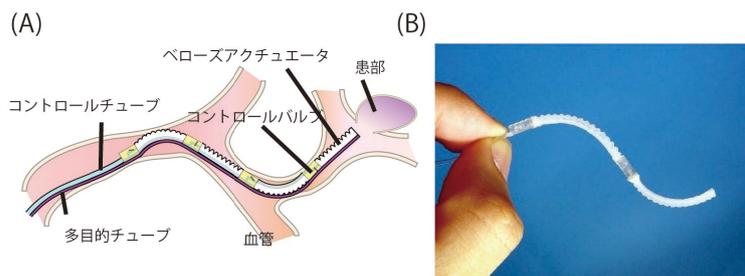


図1 (A) 水圧能動カテーテルの概念図 (B) プロトタイプ (Koji Ikuta et.al.,MICCAI2002)

治具に屈曲センサを押し付けた際のセンサ出力の測定を行った。

(3) 理論モデルの構築

試作した屈曲センサ内部の光学現象を理論モデルで説明するため取り組んだ。光ファイバの片端に入射された光は内部で全反射を繰り返してもう一方の端から出力される。内部構造を理想的な条件下と仮定し幾何光学の手法を用いてモデル化した。

(4) 制御システムの設計と評価

従来方式の水圧能動カテーテルは、ペローズアクチュエータを駆動するために特殊な圧力印加法とバンドパスバルブを組み合わせ、フィードフォワード方式で先端角度制御を行ってきた。しかしながらカテーテルは血管内の拍動流や組織との接触などダイナミックに変化する環境で使用される。そのためより外乱に対して安定な制御を実現可能とするため、圧力印加装置、屈曲センサ装置を組み合わせ統合システムを設計、作製した。作製したシステムを使用して、ペローズアクチュエータの屈曲角度と真値の測定を行った。

4. 研究成果

光学式屈曲センサコンセプト実証のためセンサの試作を行った。光ファイバの片側面にレーザー加工機を用いて、欠陥の造形に成功した。パワー、照射時間、照射範囲をパラメータとしてセンサとして適切に機能する加工条件の導出に成功した。

試作したセンサを構築した角度測定システムに組み込み、屈曲角度とセンサからの出力の関係を測定した。その結果、センサの屈曲角度とセンサ出力の間に一定の関係があることを見出すことに成功した。本センサは広範囲な屈曲角度範囲を持ち、データ取得のための時間分解能が高いため、ロボットの制御のみならず様々な分野での応用が期待される。

水圧能動カテーテルシステムの駆動量と屈曲角度計測システムの統合し高安全なシステムとするため設計をおこなった。本システムはコンセプトレベルで漏れ電流のない設計である。これにより、従来存在した技術的課題である、狭小空間へのセンサ配置および配線法、センサ自体の剛性による組織損傷回避、破損事故時の漏電対策を克服した。

設計手法を明確にするため、幾何光学を用いた簡便な理論モデルの構築を行った。センサ内部での光路を簡略化したモデルであるが、これと、試作機での実測値との比較をおこなったところ、おおむね同じ挙動を示すことが確認されたため、作製した理論モデルの整合性が確認できた。

また、モデル化の際の前提条件を再検討し、適当と思われるものを選別した。検討した数値モ

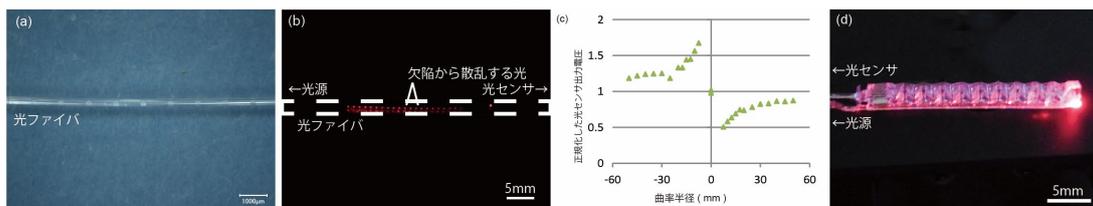


図2 (a)試作した屈曲センサ (b)角度測定システムと統合した屈曲センサ (c) 屈曲センサの姿勢と正規化したセンサ出力の関係 (d) ペローズアクチュエータと屈曲センサを統合した試作機

デルを用いたシミュレータをプログラムし、結果を可視化することに成功した。

以上の成果により、本課題で作製した屈曲センサの駆動原理について多くの知見を得ることに成功した。本研究成果が生体医工が区分野の発展に大きく寄与することが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yusuke Kimura, Masashi Ikeuchi, Yoshinori Inoue Koji Ikuta	4. 巻 8
2. 論文標題 3D microdevices that perform sample purification and multiplex qRT-PCR for early cancer detection with confirmation of specific RNAs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 17480
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 2件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 木村 雄亮、池内 真志、井上 佳則、生田 幸士
2. 発表標題 ウイルス感染症の超早期診断用POCTマイクロデバイスの開発
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上佳則 生田幸士
2. 発表標題 高安全性医用ロボットへの応用を目指した光学式屈曲センサの開発
3. 学会等名 第8回看護理工学会学術集会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上佳則 佐藤宏 成島茂樹 生田幸士
2. 発表標題 患者の負担を減らす取出し手術不要の体内埋込型投薬デバイス
3. 学会等名 第8回看護理工学会学術集会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上佳則
2. 発表標題 光造形樹脂の細胞適合化処理の発見とバイオMEMS応用
3. 学会等名 日本生体医工学会 第3回次世代医療デバイス研究会 医療用トランスデューサデザイン研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上 佳則, 染谷 優, 生田 幸士
2. 発表標題 水圧能動カテーテルのための光学式屈曲センサのモデル解析
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 雄亮, 蔣 哲宇, 井上 佳則, 池内 真志, 生田 幸士
2. 発表標題 Point of care testingによる早期がん発見用microRNA精製チップの開発
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Inoue, Shigeki Narushima, Masashi Ikeuchi, Koji Ikuta
2. 発表標題 BIODEGRADABLE POLYMER MICRO ACTUATOR WITH MULTI-DEGREES OF FREEDOM MOTION AND MULTI-STAGE RESPONSE FOR COMPLETE IMPLANTABLE MEDICAL DEVICE AND ROBOTS
3. 学会等名 IEEE Transducers 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Inoue, Koji Ikuta
2. 発表標題 Detoxification Process of Microchips for Biomedical Devices Fabricated by Microstereolithography
3. 学会等名 IEEE-NEMS2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Kimura, Masashi Ikeuchi, Yoshinori Inoue, Koji Ikuta
2. 発表標題 POINT OF CARE TESTING CHIP FOR MULTIPLE VIRUS INFECTION DETECTION USING LAMP
3. 学会等名 The 32th IEEE Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上佳則 生田幸士
2. 発表標題 水圧能動カテーテルの先端接触推定
3. 学会等名 第27回日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村雄亮、池内真志、井上佳則、生田幸士
2. 発表標題 LAMP法による早期感染症発見用マイクロデバイスの開発
3. 学会等名 第27回日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村雄亮、池内真志、井上佳則、生田幸士
2. 発表標題 LAMP法によるウィルス遺伝子検出用化学ICチップの開発
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村雄亮、池内真志、井上佳則、生田幸士
2. 発表標題 早期ウィルス感染症検知マイクロデバイスの開発
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関