

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650290

研究課題名(和文) 医用画像誘導下手術支援ロボットのための新しいアクチュエータ

研究課題名(英文) Novel actuator for medical image-guided surgical assist robot

研究代表者

正宗 賢 (Masamune, Ken)

東京大学・情報理工学(系)研究科・准教授

研究者番号：00280933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：豊富な情報を有するMRIの撮像環境下で駆動する治療用メカトロニクス機器が注目されている。これはMRIの画像情報を定量的に扱うことによる安全・迅速な治療実現が期待されるからであるが、その最適化には高精度ロボット技術による機械システム開発が不可欠である。本研究ではこれまでに無い非磁性アクチュエータとして、駆動機能と制動機能を兼ね備えた小型アクチュエータの原理の提案および試作評価を行った。3つのギアを空気圧でロータギアを順に押し出す回転機構およびペルチェ素子による冷却制動機構を組み合わせた新しいモータを開発した。評価実験により、速度応答性は改善の余地があるが、精確な位置決めと強固な固定を実現した。

研究成果の概要(英文)：In these decade, intraoperative MRI-guided surgeries are performed using real time biological information of the patients. For more precise surgery, a robotic device with navigation is considered useful inside the MRI environment. In this project, we proposed a novel MRI compatible rotation-and-brake actuator for MRI-guided surgical device to achieve precise positioning tasks. The actuator combine s a stepping rotation mechanism using pneumatic power and a freezing brake mechanism using peltier cooling element with water. Prototype actuators are developed and evaluated. There is a problem in the response s peeds, it is realized that the positioning accuarcy and the strength of the fixing force are enough for th e positioning use.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：アクチュエータ 非磁性 MRI 制動機構 ペルチェ素子 機械要素

1. 研究開始当初の背景

近年、手術中に於いても MRI 撮像を行いながら手術を行う MRI 下手術が行われるようになってきた。MRI 下手術では、手術中に撮像した MRI 画像を用いて手術操作による臓器の変形や移動を確認しながら手術を行うことができるため、正確性・安全性・手術成績の向上が期待されている。しかし、MRI ガントリ内の限られた空間で医師が治療を行うことが困難である。そのため、治療は MRI ガントリ外で行っており、手術中断による時間と手間やリアルタイムに画像を撮像できないという問題点がある。この問題を解決するために、MRI 内で治療を行うことが可能な手術支援ロボットが必要不可欠である。

手術支援ロボットによる工学的支援として、精確な位置決めを行うための「駆動」と適切な位置で固定を行うための「制動」等が考えられる。その実現のため、MRI 室内の磁場環境下で駆動と制動を行うことが可能なアクチュエータが必要となる。MRI 室内で使用可能な駆動アクチュエータとして、非磁性のアクチュエータが試みられてきた。

その一方で、機械要素として MRI 内で精確に制動機能が実現されたものは殆どない。現在、メカトロニクス機器に用いられている制動ブレーキとしては、電磁ブレーキが主流である。しかし、磁力を用いたブレーキを MRI 室内で用いることは困難である。また、油圧を用いた非磁性ブレーキなども存在するが、大きさ、滅菌性、メンテナンス性の問題から医療環境下での使用は適さない。そのため、駆動源として用いられる超音波モータの非駆動時の制動性で済ませることも多い。しかし、超音波モータは駆動時に発生する電磁ノイズが画像信号に干渉するという問題がある。また、保持トルクも十分に大きくはなく、手動で動かすためのバックドライブビリティも有していない。

2. 研究の目的

前章を踏まえ、本申請では新規発想の非磁性制動アクチュエータの提案・開発および評価を目的とする。具体的には流体圧力による回転機構および流体および冷却固定によるモータ・ブレーキアクチュエータの提案を行う。基礎的な機構の検証実験、応答速度や精度の評価実験を行うことを研究期間内の目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、空圧駆動による回転機構および冷凍制御機構による制動機構を組み合わせたアクチュエータを試作し、評価実験を行う。ここでは(1)空圧駆動機構の開発(2)冷凍制動機構の開発を延べ、評価実験として(3)冷凍機構評価(4)制動トルクの評価(5)応答性評価を行う。

(1) 空圧駆動機構

駆動機構の要求仕様として、精密な位置決めに必要なステップ動作と術者が手動で動かすことが可能なバックドライブビリティを有することが求められる。これらを満たす駆動機構として、本研究室で開発した非磁性ステップアクチュエータの駆動機構を用いる。空気圧を用いて順番に3つの Gear を押し出すことによって、シャフトの回転を行う。押し出す Gear の順番を変化させることで、回転方向を変化させることが可能である。また、ひとつの Gear を押し出し続けることで保持トルクを発生させることが可能であり、空気圧を止めると手動で回転させることも可能でありバックドライブビリティも有する。

(2) 冷凍制動機構

制動機構の要求仕様として、デバイスを適切な位置で強固な固定を行うことが求められる。本研究では、位置決め後の強固な固定が出来る機構の開発を目的とし、制動機構の即応性は求めない。これを満たす制動機構として、水の凍結を利用した冷凍制動機構の設計・試作を行った(Fig.1)。

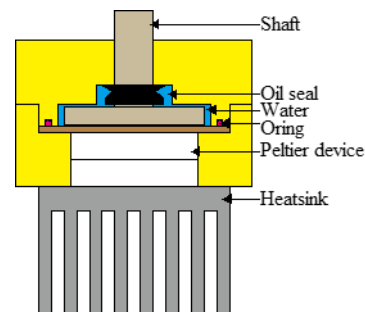


Fig. 1 Freezing Brake

シャフトの末端に制動用の円盤を設けて、アクチュエータ内部の水中に配置する。水を凍結させると円盤と冷却板が固定され保持トルクを発生する。空圧の制動に加え、この冷凍固定による、強固な固定力が加わることによって、精確かつ確実な固定が実現するものと考えられる。水を凍結させる方法としてペルチェ素子を用いた。ペルチェ素子とは、半導体素子のひとつであり、直流電流を流すと、一方の面が吸熱し、反対面に発熱が起こる。本アクチュエータでは、ペルチェ素子を二枚重ねることにより冷却効率を上昇させている。また、放熱面での熱を効率よく発散させるために、ヒートシンクを取り付けアクチュエータ内部の水が外部へと漏れないようシールを行うために、Oリングおよびオイルシールを用いた。ペルチェ素子により吸熱され、水の凍結を行う冷却プレートとして銅板を用いた。ペルチェ素子の発熱面での放熱を行うためにヒートシンクを取り付けた。さらに、放熱効率を上昇させるためヒートシンクに圧縮空気を送る機構を用いた(Fig.2)。

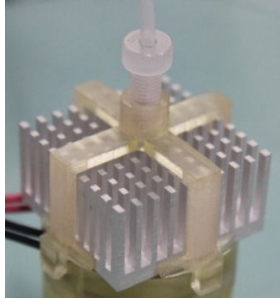


Fig. 2 Cooling System

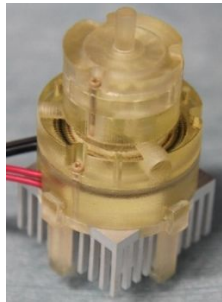


Fig. 3 Rotation and Brake Actuator

ペルチェ素子で水を凍結させることでアクチュエータのシャフト後部に取り付けられた円盤が冷結し、制動を行う。空圧回転機構と冷凍制動機構を兼ね備えたアクチュエータの設計を行い、試作を行う。

(3) 冷凍機構評価

冷凍制動機構で用いる二枚のペルチェ素子に掛ける電圧を決定するために、冷却時に二枚のペルチェ素子に掛ける電圧を変化させ、吸熱面での最低温度の計測を行った。二つのペルチェ素子の電圧を 1.0~3.0[V]の間でそれぞれ 0.5[V]間隔で変化させ、温度は吸熱面に熱電対を貼り付けて計測を行った。ヒートシンク送る空気のタンク圧は 0.5[MPaG]とした。

(4) 制動トルクの評価

冷凍制動機構の制動トルクの評価として、水が凍結した状態で発生するトルクの計測を行った。シャフト先端部にプーリを取り付け、ワイヤを用いてプーリとデジタルフォースゲージを繋げる。ワイヤを引っ張り回転させ、最大トルクを計測した(Fig.5)。プーリ径は 30[mm],タンク圧は 0.5[MPaG],電圧は $V1=1.5[V],V2=3.0[V]$ とし、水の量が 0.2[ml]と 0.5[ml]のときの制動トルクをそれぞれ 5回ずつ測定した。

(5) 応答性評価

冷凍制動機構の応答性の評価として、ペルチェ素子に電流を流し始めてから、アクチュエータ内部の水が凍結し制動させることができるようになるまでにかかる時間の計測を行った。アクチュエータをサーモグラフィ(Neo Thermo TVS-700)を用いて冷凍制動機

構の温度の計測を行った。室温は 24[],タンク圧は 0.5[MPaG],電圧は $V1=1.5[V],V2=3.0[V]$ とし、水の量が 0.2[ml]と 0.5[ml]のときに水が凍結してブレーキが起動するまでにかかる時間をそれぞれ 5回ずつ計測した。

4. 研究成果

(1) 空圧駆動機構 (2) 冷凍制動機構

試作したプロトタイプを Fig.2, Fig.3 に示す。MRI 環境下手術支援ロボットのための機械要素として空圧を用いたステッピング機構と液体の凍結を用いた冷凍制動機構を兼ね備えた回転・制動アクチュエータを開発した。原理的には小さな素子を用いることにより、小型化が可能である。

(3) 冷凍機構評価

結果を Fig.4-1, 4-2 に示す(N=3)。吸熱面側、放熱面側のペルチェ素子に掛ける電圧を $V1, V2$ それぞれとおく。 $V1=1.5[V], V2=3.0[V]$ のとき、吸熱面の温度は最低となり、そのときの温度は $-10.2\pm 0.5[]$ となった。

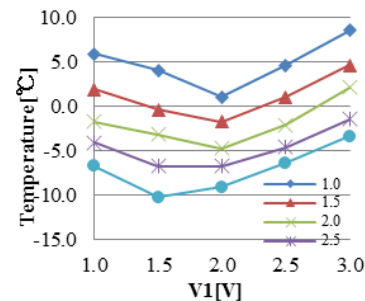


Fig. 4-1 Minimum Temperature of Freezing Brake System (in case $V=1.5 [V]$)

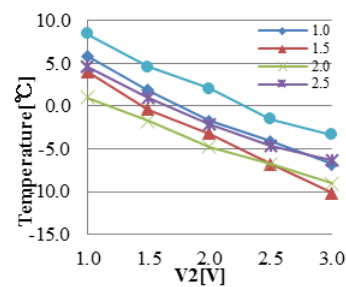


Fig. 4-2 Minimum Temperature of Freezing Brake System (in case $V=3.0 [V]$)

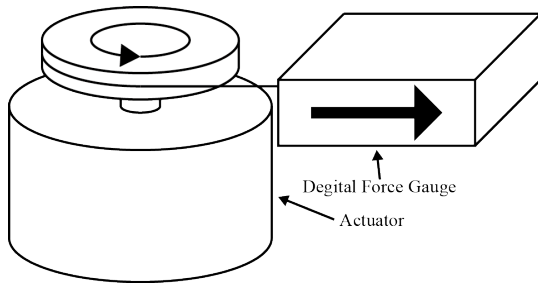


Fig. 5 Braking Torque Measurement System



Fig. 6 Response measurement by thermography

(4) 制動トルク評価

結果は、0.2[ml]のとき 28.4 ± 3.6 [N·mm], 0.5[ml]のとき 54.0 ± 2.7 [N·mm]となった。

アクチュエータ内部の水の量が 0.5[ml]のとき、制動トルクは 54.0 ± 2.7 [N·mm]と強い制動トルクを発生可能であり、本機構を用いて強固な固定が可能であるといえる。

(5) 応答性評価

結果は、0.2[ml]のとき 214 ± 7 [s], 0.5[ml]のとき 247 ± 9 [s]となった。本研究のアクチュエータは即応性を求めているため、位置決めに使用する際には問題ないと言えるが、今後の発展性を考えると、応答性の向上のための改良が必要であると考えられる。

水の凍結までに時間がかかる原因として、ペルチェ素子の吸熱面の温度が下がるまでに時間がかかることやペルチェ素子では吸熱量が少ないことが原因であると考えられる。ブレーキ非起動時にも、ペルチェ素子に電流を流しアクチュエータ内部の水を低温に保っておき、ブレーキを起動させる際に電圧をあげ、水を凍結させることでより短時間でブレーキの起動をさせることができると考えられる。また、ペルチェ素子の枚数を増やすことや、放熱機構の改善により応答性の向上させることでより短時間でブレーキ起動を可能にすることで精確な位置決めと強固な固定を兼ね備えたアクチュエータを実現できると考えられる。さらに、ダンパとしての利用可能性もあり今後検討を行う。また、本研究で想定した位置決め機構のためのアクチュエータとしては即応性を求めておらず、使用目的により有効であると考えられ

る。

以上により、本研究では3つのギアを空気でロータギアを順に押し出す回転機構およびペルチェ素子による冷却制動機構を組み合わせた新しいモータを開発した。評価実験により、速度応答性は改善の余地があるが、精確な位置決めと強固な固定を実現する新たな手法を成果として得た。今後は使用に沿ったアクチュエータの性能向上を図る。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

- 1) 三木康平, 正宗 賢, 手術ロボットのための回転・制動アクチュエータの提案, 日本機械学会年次大会, 2013年9月9日, 岡山
- 2) 三木康平, 正宗 賢, MRI 下手術支援ロボットのための空圧ステッピングアクチュエータの開発, 日本機械学会情報・知能・精密機器部門講演会, 2014年3月18日, 東京

〔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〕

ホームページ等

<http://www.atre.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

正宗 賢 (MASAMUNE, Ken)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授・00280933