

K-13

医療用マイクロロボットに搭載するパンダグラフ機構を用いた前進機構の検討

A Study on Advancing Mechanism Using Pantographic Mechanism for Medical Microrobots

○陳恩¹, 高橋知宏¹, LYU SHUXIN², 齊藤健³
 *En Chen¹, Tomohiro Takahashi¹, Shuxin Lyu², Ken Saito³

Abstract: The authors are developing a mechanism that allows the medical microrobot to move forward in the large intestine. The medical microrobot is a 20 mm in diameter and 50 mm in length capsule-shaped robot with three legs designed to push the intestinal wall and maintain its posture and position. The advancing mechanism contains a rack, pinion, pantograph, and planetary gear. The advancing mechanism combines three mechanisms and will be equipped between two robots. In this paper, we will discuss the basic study of the design for the robot's advancing mechanism, showing its theoretical forward distance with the mechanism's expansion and contraction.

1. 初めに

現在, 医師不足や医師偏在といった問題によって, 一人の医師への負担の増加が不安視されている. 従って, 医師の負担軽減を目的に, 医療デバイスを工学的な視点で改善する「医工連携」が注目されている. 医療用ロボットは手術の成功率の向上, 手術による患者へのダメージの低減といった利点があり, 医師の手術中における負担を軽減することもできる^[1]. 現在, 大腸内検査に用いられている内視鏡は操作難易度が高く, 医者熟練度によって患者への痛みや負担が大幅に異なる. また, 内視鏡は一方向性であり挿入後一度ケーブルを引き抜きはじめると, ケーブルを完全に抜き切るまで再挿入ができない. したがって, 我々はより精密に検査でき, 腸管内でケーブル先端を固定する機能を実現する目的で医療用マイクロロボットを開発している. 手術を支援する医療用マイクロロボットは患者へのダメージを軽減するため, ロボットの筐体はカプセル型を採用する. 成人の大腸は 60mm まで拡張すると仮定し, 脚部機構を展開する. しかし, 本来の目的であった内視鏡挿入の際の医師負担の軽減は難しい. 従って, 自動的に内視鏡を大腸深部まで挿入することが可能な小型ロボットが望ましい.

本論文では, 従来のモデルを踏まえてパンダグラフ, ラックアンドピニオン, 遊星歯車の三つの機構を組み合わせることでロボットの前進機構について検討したので報告する.

2. 医療用マイクロロボット

Figure 1 に, 従来の医療用マイクロロボットの設計を示す. ロボットは大腸へ容易に挿入可能かつ, 挿入す

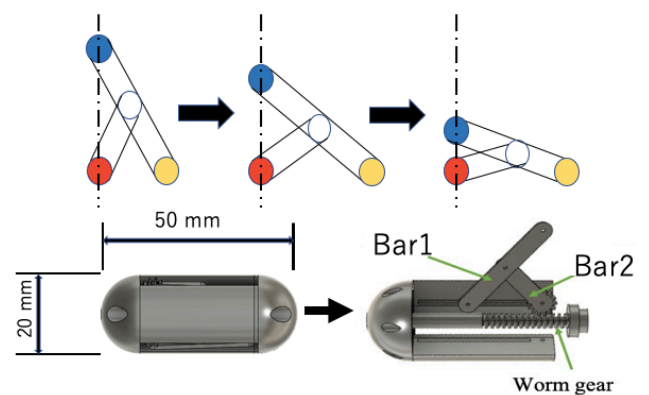


Figure 1. Medical microrobot

る際の患者の負担を軽減するためにカプセル型を採用した. 脚部が収納している状態では直径 20 mm, 長さ 50 mm である. スコットラッセルの機構から展開および収納ができる脚部を設計した.

ロボットの脚部はウォームギヤをマイクロモータに接続して駆動する. 歯車を取り付けた Bar2 に動力を伝える. Bar2 が回転することで, 接続した Bar1 が従動して脚部を展開する. Bar1 および Bar2 の長さは 2:1 であり, Bar2 は Bar1 の中点に接続し, Bar2 の回転により Bar1 を溝に沿ってスライドさせる. Bar1 の先端は上下に厳正な直線を描くように動作する^[2]. Figure 1 のロボットは, 脚部が大腸内で展開する際に, 腸壁に対して垂直方向から力を加えることができる. さらに, この機構は 2 つのリンクだけで実現可能な単純な機構であり, 軸方向に収納できるメリットもある.

3. 前進機構

Figure 2 に, マイクロロボットに搭載する前進機構の設計を示す. この前進機構はパンダグラフ, ラックア

1 : 日大理工・院 (前)・精機 2 : 日大理工・院 (後)・精機 3 : 日大理工・教員・精機

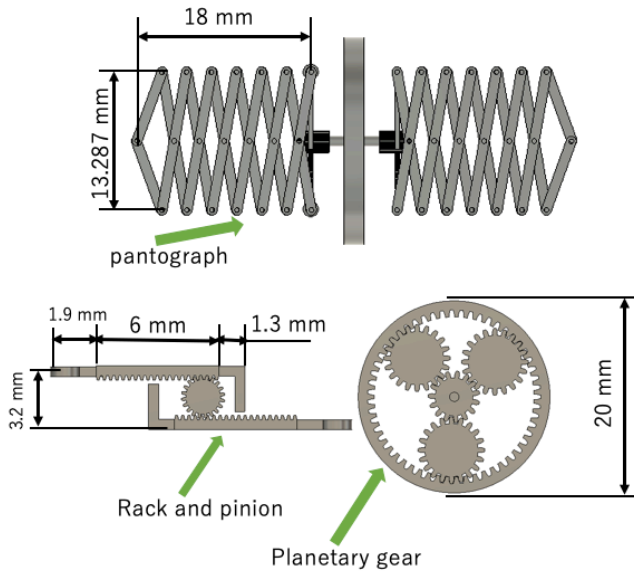


Figure 2. The advance mechanism

ンドピニオンと遊星歯車の三つの機構より構成し、二つのロボットの間で搭載する。パンダグラフ機構は複数のリンクをピンで対称に結合する機構である。両端の支点がスライドすることによって機構が伸縮し、前端は前後平行運動を行う。それぞれのリンクや支点は干渉しないように格納できるメリットもある。2つのパンダグラフ機構はロボットの内部に内蔵し、機構の先端はロボットに固定する。また、二層構造で設計することによって安定性を上げる。

パンダグラフ機構の駆動に関しては、ラックアンドピニオンを用いて機構を動作させる。2つラックは両支点に接続する。中央のピニオンギヤが回転することによってラックが平行移動し、両端の支点はスライドして機構の先端は移動する。中央のピニオンギヤの回転と逆回転によりパンダグラフ機構は平行の伸縮運動を行う。

遊星歯車機構は、動力入力側としての中央の太陽歯車と噛み合う複数の遊星ピニオンが自転しつつ外側の内歯車を沿って公転する構造を持つ歯車機構であり、減速機としてよく使用されている。低い入力トルクのマイクロモータで駆動しても高い出力トルクが得られる。遊星歯車は小型軽量化しやすいほか、入力軸と出力軸が一直線に配置されるため、機構全体は非常にコンパクトになる^[3]。

4. 前進機構における移動距離

Figure 3 にパンダグラフ機構の一部を示す。リンクの長さを $L_A = 14 \text{ mm}$ と設定する。両端の支点がスライド

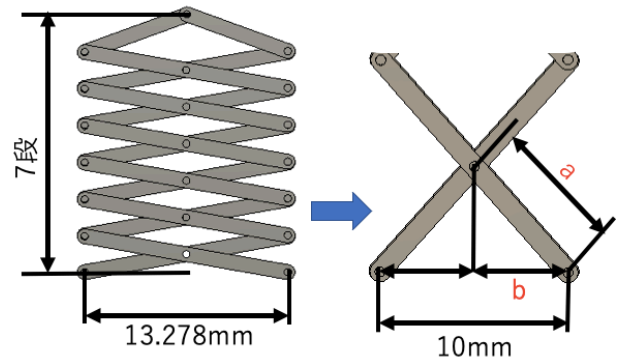


Figure 3. Pantograph mechanism

したあとの間隔は $L_B = 10 \text{ mm}$ となる。機構が展開して、伸びた後のパンダグラフ機構の全長 X_{max} は以下の(1)式で求まる。

$$X_{max} = \sqrt{a^2 - b^2} \times n = 34.3 \text{ mm} \quad (1)$$

ただし、 $a = 7 \text{ mm}$, $b = 5 \text{ mm}$, $n = 7$ 段とした。格納状態にあるパンダグラフ機構の全長は $X_{max} = 18 \text{ mm}$ であるため、機構が1回展開すると前進機構によりロボットは $(34.3 - 18) \times 2 = 32.6 \text{ mm}$ を前進できることがわかる。

5. まとめ

本論文ではパンダグラフ、ラックアンドピニオンと遊星ギヤの三つの機構から医療用マイクロロボットに搭載する前進機構を設計し、動作により理論的に前進できる距離を計算した。ただし、パンダグラフ機構の支点にベアリングをつけて回転の摩擦を減らし、機構の展開をより滑らかにする必要がある。

今後は光造形3Dプリンタでプロトタイプを試作し、機構の動作確認と駆動における必要なトルクの計算を行う予定である。

謝辞

本研究は令和2年度日本大学学術研究助成金総合研究、および令和4年度日本大学特別研究の助成を受けたものである。

6. 参考文献

- [1] 毛利光伸:「医療ロボット開発に有利な日本」, 旭リサーチセンター, P11-12, 2016.
- [2] 山田学:「めっちゃ、メカメカ! リンク機構 99→∞-機構アイデア発想のネタ状帳-」, 日刊工業新聞社, 2017.
- [3] 渡部富治:「機械システム設計シリーズ③ 遊星歯車・差動歯車装置の設計」, 日刊工業新聞社, P5-6, 1996.