

K-38

ウォームギヤを用いて脚部機構を展開する医療用マイクロロボットの検討

Study on Medical Microrobot with Leg Part Expansion Using Worm Gear

○陳恩¹, 高橋知宏², 大工原裕希², 熊倉佑樹², LYU SHUXIN³, 森下克幸³, 齊藤健⁴

*En Chen¹, Tomohiro Takahashi², Yuki Daikuhara², Yuki Kumakura², Shuxin Lyu³, Katsuyuki Morishita³, Ken Saito⁴

Abstract: The authors are developing a medical microrobot that examine the large intestine for Colonoscopy. It's a 20 mm in diameter and 50 mm in length, capsule-shaped robot. The robot has three legs that designed for pushing the intestinal wall and maintain its posture and position in the large intestine. Because an adult's large intestine can expand to about 60 mm and without hurting it, the legs will have to expand more than 30mm per leg. This paper reports on the basic study of the three legs be attached to the micro-robot and shows the legs which using the worm gear mechanism successful expanded in the experiment.

1. はじめに

近年、医療分野には手術を支援できるロボットの活躍を期待されている^[1]。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う利点があり、医師の手術中における負担を軽減することもできる^[2]。現在、大腸内検査において用いられている内視鏡は操作難易度が高く、医者の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、より精密に検査でき、また腸管内でケーブル先端を固定する機能が望まれている。

我々はその手術を支援するマイクロロボットの開発をおこなっている。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。成人の大腸を60mmまで拡張すると仮定し、脚部機構を展開する。

本論文では、ウォームギヤ方式マイクロロボットの脚部機構の駆動について検討をおこなった。

2. マイクロロボットの脚部機構

Figure 1 にウォームギヤ式の医療用マイクロロボットの筐体を示す。この筐体は大腸内視鏡の先端に取り付け、容易に挿入可能かつ、挿入する際の患者の負担を軽減するためにカプセル型を採用する。脚部が収納している状態では直径20mm、長さ50mmとなる。ロボットはマイクロモータを用いて駆動する。図中のウォームギヤはマイクロモータと接続して駆動し、歯車の取り付けられた Bar2 に動力を伝える。Bar2 が回転することで、接続された Bar1 が従動して脚部を展開することになる。スコットラッセルの機構から Bar1 と Bar2 の長さを2:1とする。ロボットに搭載する機構に

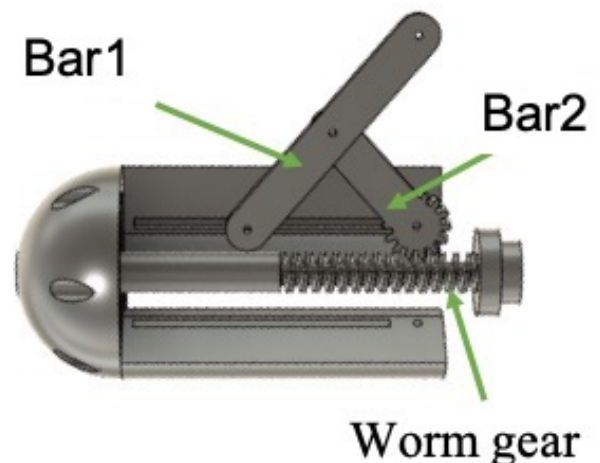


Figure 1. Medical microrobot model

関して、Bar2 は Bar1 の中点に接続し、Bar2 の回転により Bar1 は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な動作をおこなうことになる^[3]。

このように、脚が展開し大腸壁を押し広げる際に、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 Bar1 と Bar2 の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というメリットもある。

3. 脚部展開量

Figure2 は脚部と必要なパーツを示す。辺 AC の長さを $L = 24 \text{ mm}$ と設定し、中心軸から展開した Bar1 の先端

1 : 日大理工・学部・精機、2 : 日大理工・院 (前)・精機 3 : 日大理工・院 (後)・精機、4 : 日大理工・教員・精機

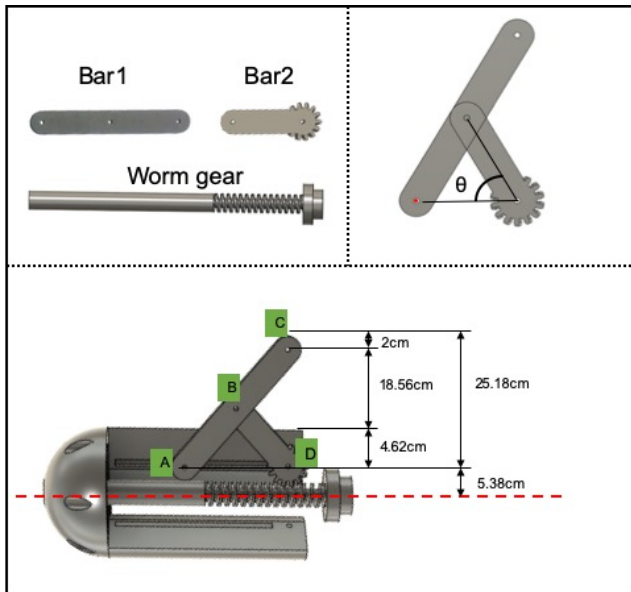


Figure2. Leg structure of medical microrobot

までの長さ x は、表すことができる。Bar2 と軸の角度 θ に関して最大値を 75° と仮定し、長さ x の最大値は、

$$X_{Max} = 24 \times \sin 75^\circ + 7.38 = 30.56 \text{ mm} \quad (1)$$

となる。ロボットは3つの脚部を持ち、それぞれの脚部は筐体外周に 120° ずつ配置されている。よって最大直径 61.12 mm まで大腸管を拡張可能である。

4. 駆動に必要なトルクの計算

駆動実験をおこなうため、光造形 3D プリンタを用いて Figure1 で示したモデルからマイクロロボットの筐体を製作した。トルク係数 $K_T=1.81 \text{ mN} \cdot \text{m/A}$ のモータとギヤ比 38.2 倍のギヤボックスを用いて駆動実験をおこなった。マイクロロボットに関しては 0.141 A の電流が流れる際に駆動が始まることを確認した。よって、ロボットの駆動に必要なトルク T は、

$$T = 38.2K_T I = 38.2 \times 1.81 \times 0.141 = 9.75 \text{ mN} \cdot \text{m}$$

と計算できる。ウォームギヤ方式で脚部機構を展開するマイクロロボットは $9.75 \text{ mN} \cdot \text{m}$ のトルクが必要ながわかった。

5. ロボット筐体材料の検討

我々が設計した医療用マイクロロボットは人間の腸内に挿入するため、人体に無害であり耐久性のある材料が望ましい。そこで、人工歯根や骨折固定など医療分野によく使用されているチタン合金を用いてロボットの筐体を製作することを考えている。人体に対して、チタン材料は優れた生体適合性を示す。長時間にわたっても人体に悪影響や強い刺激を与えず、安定な材料である^[4]。チタンは高比強度と高耐食性であり、ロボットの脚部の破壊や、表面が腐食しないように安全性を保つことができる点からチタンは医療用マイクロロボットに応用できると考える。

6. まとめ

本論文では大腸の腸壁を 60 mm 以上拡張できるの医療用マイクロロボットを設計し、ウォームギヤ方式でロボットにある三つの脚部の展開量および光造形 3D プリンタで試作した模型が駆動できることを確認した。これからマイクロロボットの筐体には人体に悪影響及ぼさない、錆びにくいチタン合金を用いてロボット筐体を製作する。チタン合金を使用すると模型の材料により摩擦力が少なくなり、駆動必要なトルクも小さくなると考えられる。今後は脚部の押し出し力や材料変更後の駆動トルクの測定をおこなう予定である。

7. 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。

8. 参考文献

- [1] 元田光一：「体内で活躍するマイクロロボット，その現実と課題」，ロボティクス社会，2019.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 日本機械学会：「機械工学事典」，P701，2017.