

圧搾ガス駆動自走式内視鏡接続型マイクロロボットの開発

Development of Pressurized Gas Driven Self-Propelled Endoscope Connected Microrobot

○船越貴通¹, 伊藤光輝², 内木場文男³, 金子美泉³

*Takamichi Funakoshi¹, Koki Ito², Fumio Uchikoba³, Minami Kaneko³

Abstract: Minimally invasive medical treatment such as endoscopic treatment is widely used in the medical field, but the mental and physical burden on physicians and patients is an issue. We believe that the use of a microrobot connected to the tip of an endoscope for treatment will eliminate differences in the skill level of doctors and reduce the burden on patients. In this study, we develop a self-propelled endoscope-connected microrobot with Reuleaux triangle-shaped wheels and investigate its usefulness.

1. 緒言

大腸がんは、世界で3番目に多いがんであり2020年における世界の癌死亡原因の第2位である^[1]。大腸がんは、早期診断、早期治療により完治が可能な病気であり患者の精神的、身体的負担を軽減するため主に内視鏡治療が用いられている。しかし、内視鏡治療では内視鏡医の熟練度の差により検査の精度が異なる。また、精密な操作が要求されるため医師への精神的負担や患者の身体的負担が大きいという課題がある。

内視鏡治療における課題を解決するために、カプセル型内視鏡やバルーン型内視鏡の研究が行われている。カプセル型内視鏡は、カプセル型の内視鏡を嚥下する事でリアルタイムでの病変観察が可能な利点があるが、患者の体内に残るリスクや検査のみに限定されるといった課題もある^[2]。一方で、バルーン型内視鏡は内視鏡と比較して患者への身体的負担が少なく小腸の観察や治療が可能であるが医師の技量が要求されるといった課題がある^[3]。

我々は先行研究として、半導体微細加工技術を用いたMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)工程を用いて、全長2.7mm×幅4.0mm×高さ2.5mmの6足リンク型MEMSマイクロロボットや全長9.0mm×幅4.6mm×高さ6.4mmの独立脚型6足MEMSマイクロロボットを開発した^[4]。歩行動作は、蟻の歩行パターンを模倣しており、3点接地歩行により安定した歩行を実現した。脚部のアクチュエータには、Ti-Ni系の形状記憶合金による人工筋肉ワイヤを使用し、電流を通電させることでジュール熱により収縮、放熱により弛緩する性質を利用した。制御基板には、生物の神経回路網をアナログ回路で模倣した人工ニューラルネットワークICを搭載し電子回路をIC化することで小型な基板を作製した。

本研究では、内視鏡の操作性向上における医師の負担軽減や位置決め自由度向上を目的とし、電源を必要とせず圧搾ガスで駆動するアクチュエータ及び自走式内視鏡接続型マイクロロボットの検討を行い車輪の形状にはルーローの三角形形状を採用した。

2. 回転型アクチュエータ

Figure 1に、作製した回転型アクチュエータの外観図と回転原理を示す。回転型アクチュエータは、MEMS工程によりパターニングした5mm角チップのシリコンウェハを積層した構造でありロータ、外形2mmのボールベアリング、直径0.6mmの超硬丸棒で構成される。回転には、本体に接続された真鍮パイプを通して流体を流入しロータに吹き付け高速で回転させる。なお流体は、ロータが回転後アクチュエータ側面の上下に設けた排出口から排出される。

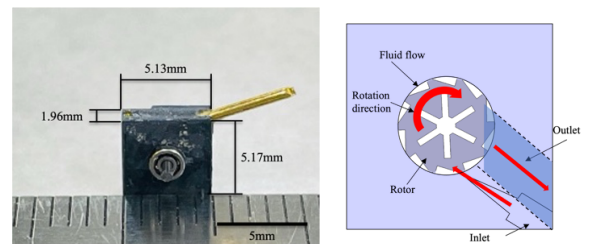


Figure 1. Actual equipment and principle of rotation of rotary actuators

3. 自走式内視鏡接続型マイクロロボット

本研究では、圧搾ガスで駆動する内視鏡接続型マイクロロボットとして、自走式車輪走行型マイクロロボットを開発した。作製した回転アクチュエータの両端にルーローの三角形を用いた車輪を取り付け、位相を180度ずらすことで走行を可能とし車輪の形状にルーローの三角形を採用することで、大腸内などの輪状ヒ

ダを歩行する際に車輪が空転せず円形車輪と比較して左右の傾き角度を抑えることが可能となりマイクロロボットを前進させることができる。

Figure 2に、脚部にルーローの三角形を用いた車輪走行型マイクロロボットを示す。車輪走行型マイクロロボットは、全長7.59mm×幅6.49mm×高さ7.59mm（真鍮管部を除く）、質量0.25gとなった。

車輪走行型マイクロロボットの走行実験には、窒素ガスを用いて圧力と流量を調整し実験を行った。真鍮管にゴム製のチューブを接続し平地で走行実験を行ったところ車輪走行型マイクロロボットは、圧力0.3MPa、流量1.0L/minのとき73mm/s、圧力0.3MPa、流量0.9L/minのとき56mm/sで走行した。また、圧力0.3MPa、流量1.0L/minのとき、最大回転数は10134rpmであった。Figure 3に、各流量における車輪走行型マイクロロボットの走行の様子を示す。

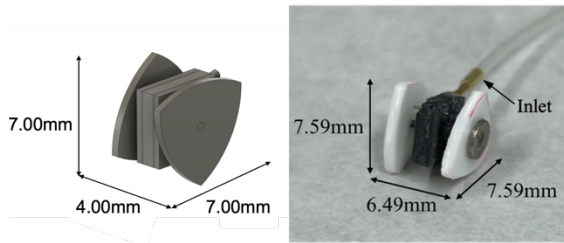


Figure 2. Wheeled microrobot

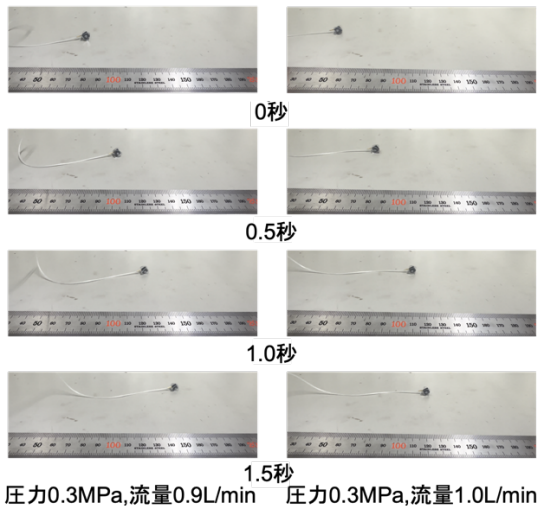


Figure 3. Result of walking experiment of wheeled microrobot

4. 考察

肛門から盲腸に到達するまでの挿入時間は、一般の医師はおよそ15分であるが、熟練者は挿入から5分程

度で盲腸に到達する。大腸の全長を1.5mとすると、内視鏡の挿入速度は10~30mm/minが基準となる。本研究で開発した内視鏡接続型圧搾ガス駆動マイクロロボットの走行速度は圧力0.3MPaで流量1.0L/minのとき73mm/s = 4380mm/min、流量0.9L/minのとき56mm/s = 3360mm/minであり、高圧力・多流量下で高速走行の確認ができた。低速走行ができなかった理由としては、チューブと地面との摩擦力やマイクロロボット本体の質量と出力トルクの関係から車輪にかかる負荷が大きくなりすぎるため初期トルクが必要となる事がそこでタービンを並列に配置し駆動させることで、前左右方向への移動を可能にし歩行時の車輪にかかる負荷を左右に分散することができるため低速域での走行が可能と考える。

5. 結言

本研究では、自走式内視鏡接続型マイクロロボットの開発を行なった。今後低速移動ロボットのためにMEMS工程により部材を作製し組立後アクチュエータの回転数計測とマイクロロボットの前後左右方向への歩行動作の確認を行う。

6. 謝辞

本研究は日本大学マイクロ機能デバイス研究センター、NUROS、日本大学特別研究助成の支援を受けたものである。

7. 参考文献

- [1] 宇地原大海 ほか:「大腸がん患者の症状の認識とリスク因子の知識および生活習慣との関連」、日本看護学会誌, Vol.38, pp.383-393, 2018.
- [2] 田尻久雄:「大腸カプセル内視鏡検査の現状と課題」、日本消化器内視鏡学会雑誌, Vol.53, No.9, pp.2988-2999, 2011.
- [3] 大塚和朗:「シングルバルーン内視鏡の開発と進歩」、日本消化器内視鏡学会 総会 100 回記念号, Vol.62, pp.2462-2465, 2020.
- [4] 内木場文男 ほか:「ハードウェアニューラルネットワーク制御によるミリメートルサイズ MEMS 昆虫型歩行ロボットの開発」、日本大学理工学部理工学研究所研究ジャーナル, Vol.2015, No.135, pp.10-21, 2015.