

# 薬物放出機能を有する管内マイクロロボットの開発

○魏巍（香川大学），郭書祥（香川大学工学部），王梓旭（香川大学工学研究科）

## Development of a microrobot in pipe with drug release function

○Wei Wei (Kagawa Univ.), Shuxiang Guo (Kagawa Univ.) and Zixu Wang (Kagawa Univ.)

Abstract: The Wireless microrobots are used in a wide range of biomedical and clinical applications. They are safe and reliable and can be brought into the narrow tissues of the human body. Of all types of microrobots, magnetically actuated microrobots have good prospects for development such as walking and swimming. It is also expected to be equipped with a functional module. In this paper, we conducted a series of experiments and evaluations of a magnetically actuated screw jet microrobot.

### 1. はじめに

近年、マイクロマシン技術が発達するとともに、工業配管のメンテナンスや体内の消化器系や血管内等の検査治療等を目的とした複雑な管内環境を移動するなどさまざまな分野で期待されている。特に、消化管観察においてはカプセル型内視鏡が承認され普及している。しかし、狭い場所があり、その有線設計はまた、人体の深さに達することが困難であることを制限する[1]。

そこで、本研究室で、外部からの磁場をエネルギーとして利用する自走式マイクロロボットの設計と制御システムを開発することを目的とする。長距離・長時間移動を行うための安定した移動手段を考慮し、後退・停止動作ができ、多自由度な駆動が可能であり、様々な分野で応用性の高いワイヤレスマイクロロボットの開発を目指している[2]。

### 2. 研究目的

現在、消化管内の観察においてはカプセル型内視鏡が普及している。しかし、従来のカプセル内視鏡が移動する時に、肉体的負担が少ない一方で、蠕動運動による移動のため観察率が低いことや、詰まる危険性があることなどの問題点があり、希望通りの箇所まで止めることやゆっくり進ませることができず、病変の部分の撮像が得られるとは限らない。したがって、体外からカプセルをコントロールし、自走運動させることと多機能化が期待されている。

そこで、制御が可能で、汎用性の高いロボットを実現するため、外部からの磁気を利用したワイヤレスの新型多機能マイクロロボットを提案・試作し、ロボットの運動特性だけでなく、薬を放出などの機能性を持つロボットの開発も目指している。本研究では、新型のマイクロロボットの動的環境での運動特性評価を目的とする。[3]。

### 3. 研究アプローチ

本研究では、新型の薬物を放出できるロボットを試作したので、ここではロボットの構造と特性評価についての成果をまとめる。1) 新型のマイクロロボットの提案と試作。2) 動的環境でのロボットの運動

特性評価。3) 外部からの磁場の周波数を制御して、新型のマイクロロボットの運動特性を評価する。

### 4. 提案したワイヤレスマイクロロボット

マイクロロボットの概念図は Fig.1 に示す。開発したロボットの部品は Fig.2 に示す。今回開発したロボットは、機構内部にプロペラ構造になっており、中には永久磁石が内蔵されている。内部に薬を放出する機構も設置している。動作原理はスクリューの回転動作はロボットの内部に取り付けてある O-ring 型磁石（ネオジウム材質）に外部から磁場を与えることで動作する。回転磁界により内部のプロペラ構造が回転するため、流体を押し出し前進する。

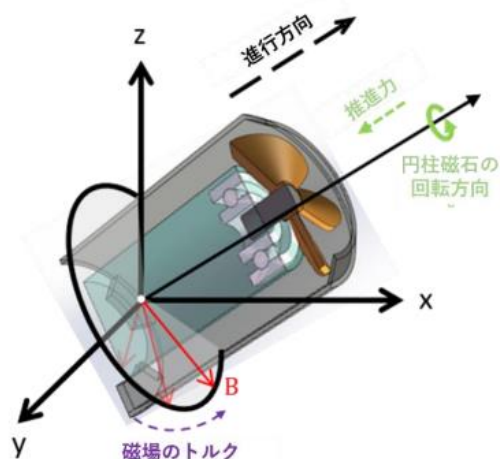


Fig.1 マイクロロボットの概念図

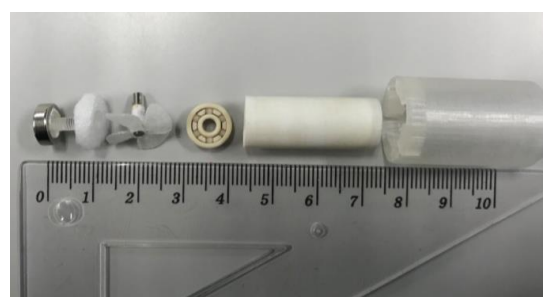


Fig.2 開発したロボットの部品

## 5. 実験方法

ロボットの動作を実現するために3軸磁場発生装置を使用した。3軸磁場発生装置(1.5mm銅線を180回巻き)の仕様は最大外径が400mmである。その出力は1mT/Aである。実験方法は直径20mmの亚克力製パイプに水を満たし、その中を移動するロボットの移動をビデオカメラで撮影し、5mm間隔ごとの移動時間の平均値から移動速度を算出する。また、ローラーポンプ(EYELA RP-1000)を使用し、流れる動的な環境を実現できる。流量範囲は人体の腸液環境および心血管環境での流速に類似している0RPM/minから100RPM/minに設定されました。実験では、まず運動方向と水流方向が相反し、逆流環境での実験を行った。また、スイッチ切り替えで逆方向への送液にし、運動方向と水流方向が一致する順流環境での実験を行った。制御システムはFig.3に示す。

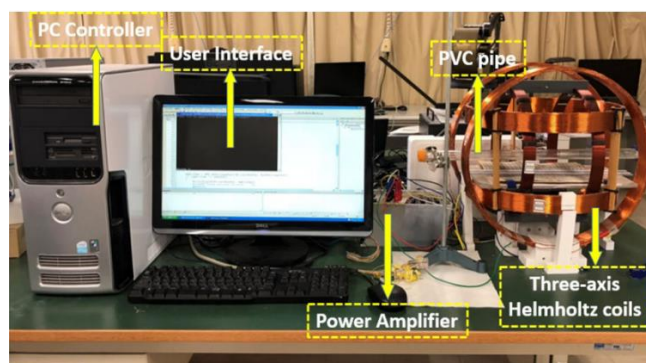


Fig. 3 ロボット制御システム

## 6. マイクロロボットの運動特性評価

逆流環境でのロボット運動特性評価の実験結果はFig.4のように示す。順流環境でのロボット運動特性評価の実験結果はFig.5のように示す。実験結果より速度は線形的に増加することが分かった。運動方向と反対の水流である逆流環境の場合、低周波数回転プロペラの駆動は、逆水流の乱れの影響を受け、その始動周波数が変化することが原因だと考えられる。また、回転周波数が増加すると推進力が増加し、最大周波数が7Hzから10Hzになる前に、ロボットの速度が大幅に増加し始めたことがわかった。順流環境の場合に、プロペラが低速で回転しているとき、水流がロボットの始動周波数に大きな影響を与えたことがわかります。逆水流の場合と違い、流れが速くなると始動周波数が高くなることがわかった。また、ポンプから供給される水流が20RPMの場合、始動周波数は5Hzにも達し、ポンプの流量が100RPMに達すると、ロボットの移動速度は10Hzで18mm/sに達することができる。

## 7. 結論

本研究では、ロボットの動的環境での運動特性評価を行った。まず、順流と逆流環境での流速、周波数とロボットの移動速度の関係を検討した。今後の

課題として、縦方向の運動特性評価、薬物放出機構部の最適化や改善、ロボットの移動実験及び薬物の放出制御、などが挙げられる。

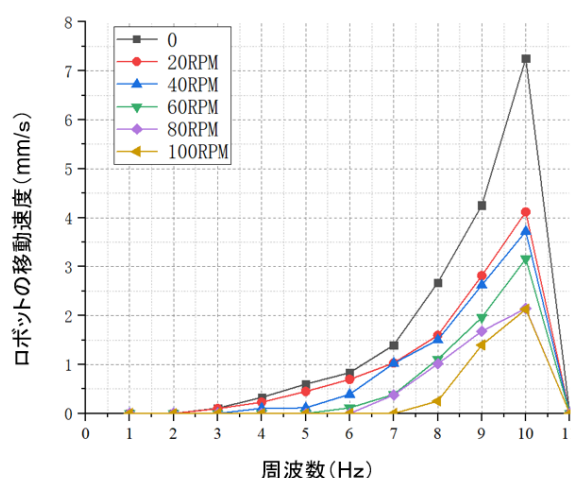


Fig.4 逆流環境でのロボットの運動特性評価

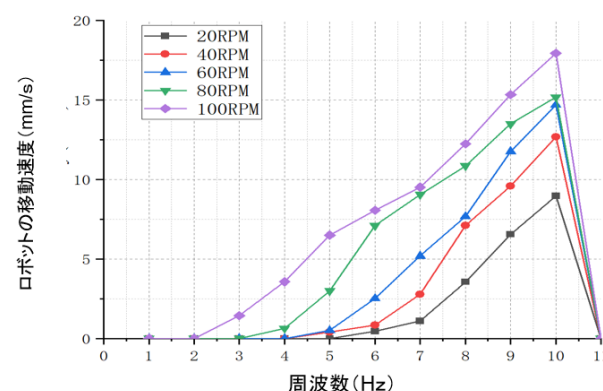


Fig.5 順流環境でのロボット運動特性評価

## 参考文献

- [1] Zixu Wang, Shuxiang Guo, Qiang Fu and Jian Guo, "Characteristic Evaluation of a Magnetic-actuated Microrobot in Pipe with Screw Jet Motion" *Microsystem Technologies*, doi: 10.1007/s00542-018-4000-5, Vol.24, No.7, 2018.
- [2] Shuxiang Guo, Qiuxia Yang, Luchang Bai, Yan Zhao, "Development of Multiple Capsule Robots in Pipe", *Micromachines*, Vol.9, No.66; doi:10.3390/mi9060259, 2018.
- [3] 魏巍, 郭書祥, 王梓旭, "ワイヤレスマイクロロボットの開発" 第20回システムインテグレーション部門講演会 (SI2019) (2019年12月12日~14日・香川), IC2-01, 2019.