

K-24

小型医療ロボットに搭載する砂鉄を用いた微小回転アクチュエータの検討
 Study of Micro Rotary Actuator Using Iron Sand for Small Size Medical Robot

○高橋知宏¹, LYUSHUXIN², 森下克幸², 齊藤健³

*Tomohiro Takahashi¹, Shuxin Lyu², Katsuyuki Morisita², Ken Saito³

Abstract: In this study, the authors designed and fabricated a rotary actuator for a small size medical robot. The actuator attracts magnetic iron sand by applying an external magnetic field, and outputs rotational torque from the impact force when the iron sand collides with a rotor. The iron sand is circulated in the channel by generating a well-timed magnetic field at each vertex of the actuator, and the iron sand continues to collide with the rotor. We created an actuator model of four times the size using 3D printer. Using the model, we clarified the circulation of iron sand and the drive of the rotor.

1. はじめに

近年、令和3年度の悪性新生物<腫瘍>の部位別死亡数・死亡率における「大腸」の割合が男性では2位、女性では1位となっているなど、大腸癌の死亡数・死亡率の割合が増加している^[1]。大腸癌の検査や手術は、現在内視鏡を用いた方法が一般的であるが、内視鏡挿入時の操作が難しく医師への負担が大きいといった問題がある。そのため医師の負担軽減を目的とした医療ロボットの開発が盛んである^[2]。

我々は、脚部を展開することで腸管内に内視鏡ケーブルを固定可能な小型医療ロボットの開発をおこなっている。しかし、搭載可能な小型モータでは出力が足りずに駆動が実現しなかった。そのため、小型で高出力かつ人体内でも駆動可能な回転アクチュエータを実現する必要がある。我々は人体への影響が少ない磁場によって動作が制御可能な砂鉄に着目した。外部磁界によって駆動可能な微小回転アクチュエータを作製し、機構に接続することで小型医療ロボットの脚部展開の実現を目指す。

本論文では、磁性体である砂鉄を外部磁界で循環させて回転トルクを出力するアクチュエータの設計および検討をおこなったので報告する。

2. 微小回転アクチュエータの設計

Figure1 に微小回転アクチュエータの概略図を示す。このアクチュエータの外径は 8[mm]×8[mm]×1[mm]の立方体とする。フォトリソグラフィ技術を用いて厚さ 200[μm]のシリコンウェハ上に砂鉄が移動する流路や軸用の穴を形成する。設けられた穴にφ0.2[mm]のシャフトを通して両端をワッシャで固定し、砂鉄の漏れを防ぐためにシアノアクリレートで封止する。

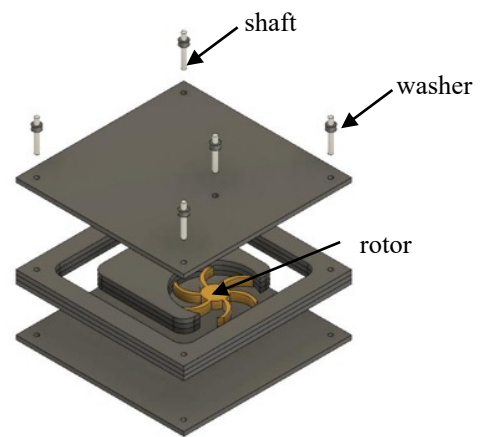


Figure1. Micro Rotation Actuator Model

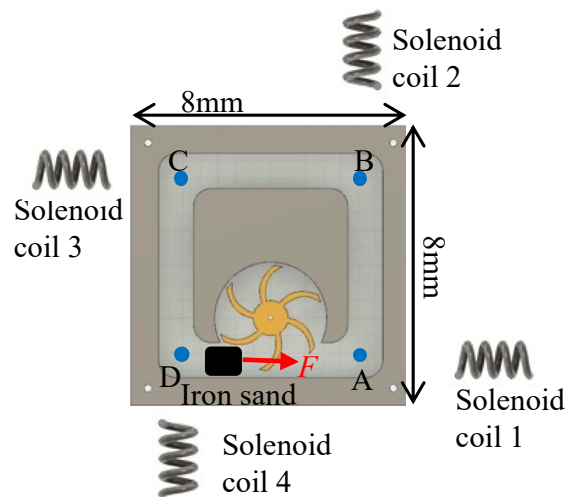


Figure2. Image of Rotary Actuator Operation

Figure2 にアクチュエータの動作原理を示す。アクチュエータの流路に砂鉄を入れ、外周四箇所にソレノイドコイルを配置する。ソレノイドコイルに電流を流すと磁界が発生し、その磁界によって砂鉄が引き寄せられる。はじめに、コイル1に電流を流して磁界を発生

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

させると砂鉄が点 A に引き寄せられる。その後、コイル 1 に流れる電流を止め、コイル 2 に電流を流すと砂鉄が点 B に引き寄せられる。同様にコイル 3、コイル 4 にタイミングよく電流を流すと砂鉄は点 C → 点 D と移動することで、砂鉄が流路内を循環する。砂鉄が点 D → 点 A と移動する際に発生する磁気吸着力 $F[N]$ によってロータの羽を押すことで間欠な回転トルクを出力可能となる。

砂鉄のように磁性体の性質を持つ粒子が均一な強さを持つ磁界の影響を受けると、磁性体粒子は磁力線に吸引されるのみであり、磁極の方向へは引き寄せられない。しかし、勾配のある磁界の影響下では磁力線に吸引のみならず、磁束密度の高い領域へと引き寄せられる。不均一磁界中に置かれた体積 $V[m^3]$ である磁性体粒子に作用する磁気吸引力 $F[N]$ は近似的に次式で与えられる。

$$F = VM \frac{dB}{dx} = V \frac{\chi_p}{\mu_0} B \frac{dB}{dx} \text{ N} \quad (1)$$

ただし、 M は粒子の磁化、 μ_0 は真空の透磁率、 χ_p は磁化率、 B は外部磁場の強さ、 $\frac{dB}{dx}$ は外部磁場の勾配である。式(1)に $V=1.8 \times 10^{-9} [m^3]$ 、 $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$ 、 $\chi_p=200000$ を代入すると、

$$F = 286.5 \times \left(B \cdot \frac{dB}{dx} \right) \text{ N} \quad (2)$$

となるため、磁気吸引力 $F[N]$ は外部磁界と外部磁界の勾配の積で定められることがわかる。この力で砂鉄が引き寄せられロータの半径 $r=1.8 \times 10^{-3} [m]$ の位置で衝突するため、ロータが出力するトルク $T[N \cdot m]$ は

$$T = Fr = 0.52 \times \left(B \cdot \frac{dB}{dx} \right) \text{ N/m} \quad (3)$$

と表せる。よって、このアクチュエータのトルクも外部磁界の強さと外部磁界の勾配の積によって定められるため、発生させる磁界の強弱によってトルクの大さを外部から調整することが可能である。また、磁界の切り替え速度を早めると、砂鉄が流路を高速で移動し、流路内を一回転するのに必要な秒数が短くなるためアクチュエータの回転速度を制御可能である。

3. 模型の作製

Figure3 に 3D プリンタにて作製したアクチュエータの模型を示す。この模型は設計の 4 倍サイズで出力し、ネオジム磁石を用いて砂鉄の制御を試みたところ、流路中の砂鉄の循環およびロータの駆動を確認することができた。

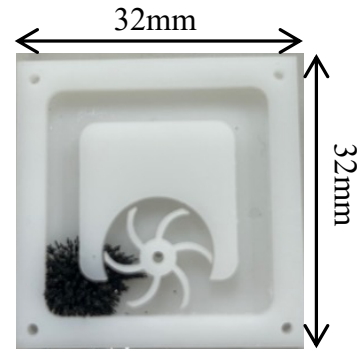


Figure3. Rotary Actuator created using a 3D printer

4. まとめ

本論文では、外部磁界によって砂鉄を制御することでトルクの大さと回転速度を調整可能な微小回転アクチュエータの設計および検討をおこなった。光造形 3D プリンタにて作製した 4 倍サイズの模型を用いて砂鉄の循環によりロータが駆動することを明らかにした。今後は等倍サイズのフォトマスクを設計し、クリーンルームにて加工をおこない、等倍サイズの微小回転アクチュエータを作製し、磁界の強さに応じた回転トルクの測定をおこなう予定である。

5. 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]厚生労働省：「人口動態統計」，2021
- [2]中村太郎：「空気圧システムを用いた大腸内視鏡挿入デバイスの開発」，計測自動制御学会，56 巻，4 号 pp. 281-285，2017