

小型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-Sized Robot

高橋 知宏[†] LYU SHUXIN[†] 森下 克幸[†] 齊藤 健^{††}Tomohiro TAKAHASHI[†] Shuxin LYU[†] Katsuyuki MORISHITA[†] Ken SAITO^{††}[†] 日本大学大学院理工学研究科 ^{††} 日本大学理工学部[†] Graduate School of Science and Technology, Nihon University ^{††} College of Science and Technology, Nihon University

1. はじめに

近年、令和 3 年度悪性新生物<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 位と報告されるなど、大腸癌の死亡数・死亡率の割合が増加している[1]。そのため大腸内手術を目的とした医療用ロボットの開発が盛んに行われている[2]。

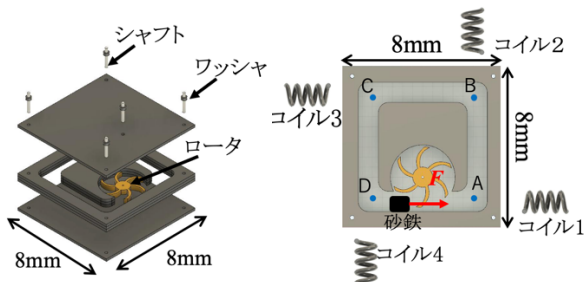
我々は、脚部を展開し腸管内に内視鏡ケーブルを固定可能な医療用小型ロボットの開発をおこなっているが、駆動に必要なトルクが大きく、搭載可能な電磁モータでは駆動を実現できなかった。そのため小型で高出力かつ人体内でも駆動可能な回転アクチュエータを実現する必要があり、我々は人体への影響が少ない磁場によって動作が制御可能な砂鉄に着目した。

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

図1(a)に微小回転アクチュエータの概略図を示す。微小回転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。

図1(b)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。4つのコイルにタイミングよく電流を印加すると砂鉄が点 A→B→C→D と循環して流れる。砂鉄が点 D から点 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的な回転トルクを出力可能となる。



(a)概略図

(b)動作原理

図1 微小回転アクチュエータ概略図

3. アクチュエータの出力トルク

砂鉄のような磁性体の性質を持つ粒子は勾配のある磁界の影響化では磁力線に吸引されるとともに、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 [m³]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、 dB/dx は外部磁場の勾配である。この磁気吸引力 F [N]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/m]は F と r の積で表される。ここで $V = 1.8 \times 10^{-9}$ [m³]、 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 、 $\chi_p = 200000$ を代入すると、トルク T [N/m]は

$$T = Fr = 0.52 \times \left(B \cdot \frac{dB}{dx} \right) \text{ N/m} \quad (2)$$

と計算できる。よって、このアクチュエータのトルクは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きさを外部から調整することが可能である。

4. 模型の作製

3D プリンタにて 4 倍サイズのアクチュエータ模型を作製し、ネオジウ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明らかにした。

5. 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出力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。また光造形 3D プリンタにて作製した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。

6. 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。

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