

2022年度 永守財団 研究助成 研究報告書

| | |
|---------|---------------------------|
| 所属機関 | 名古屋大学 大学院工学研究科 機械システム工学専攻 |
| 職位または役職 | 准教授 |
| 氏名 | 部矢 明 |

1. 研究題目

超小型 3次元力覚提示アクチュエータの開発

2. 研究目的

メタバースの力覚をはじめとして、仮想空間において振動により人に力を伝える 3次元力覚提示技術が注目されている。従来の3次元力覚提示装置は3自由度駆動のために3個の振動アクチュエータを組み合わせて構成される。そのため、大型化と重量の増加が課題となり、携帯性に優れ実用的な3次元力覚提示装置の実現は困難な状況にある。また、単純な組み合わせ構造では各アクチュエータの振動中心がずれるため、原点から離れた位置での並進振動によりトルクが発生し、正確な力提示が困難となる。

これに対して報告者は、1台で空間上の任意方向に振動を生成可能な3自由度振動アクチュエータ (Three-degree-of-freedom linear oscillatory actuator: 3D-LOA) を提案した。提案した 3D-LOA はダイレクトドライブによる高応答性を有するだけでなく、汎用モータドライブを用いて小型な制御装置で駆動可能である。また、可動子の支持機構と磁気回路の一体化により大幅な小型化を達成し、超小型 3次元力覚提示アクチュエータとしての活用が期待できる。しかし、構造的に指先で把持する必要があるため、各指に対して独立に3次元力覚提示を行うことはできず、力覚提示システムとしての拡張性に欠ける。

そこで本研究では、手指の先端に装着可能な扁平構造の超小型 3次元力覚提示アクチュエータを提案する。扁平構造を実現するために、2個の永久磁石と3個のコイルのみで3自由度並進運動を生み出す新しい動作原理および磁気構造を提案する。そして、実機試験により提案アクチュエータの動作特性を評価するとともに、3次元力覚提示性能を評価する。

3. 研究内容及び成果

提案した 3D-LOA を図 1 に示す。本アクチュエータでは、2 個の永久磁石からの磁束を 3 軸方向に共有し、中心に 3 コイルを重ね巻くことで小型・扁平化を実現した。図 2 に示す動作原理のように、各コイルを通電することで各軸推力が発生し、各方向推力を足し合わせることで 3 自由度振動を生成する。試作機の外観を図 3 に示す。従来モデルでは指先で把持することしかできなかったのに対し、提案モデルは指上に装着できるため多数の 3D-LOA を手に装着することが可能となった。

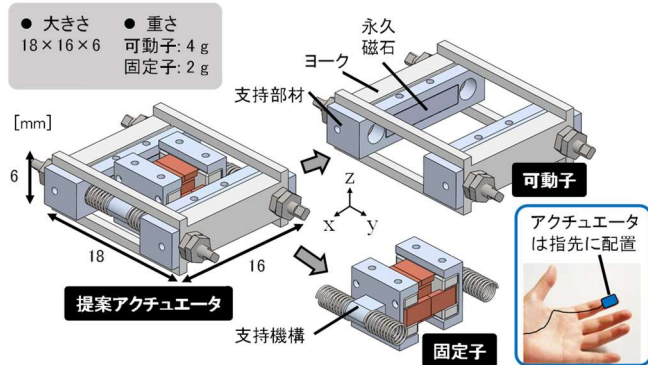


図 1 扁平構造を有する超小型 3 次元力覚提示アクチュエータ

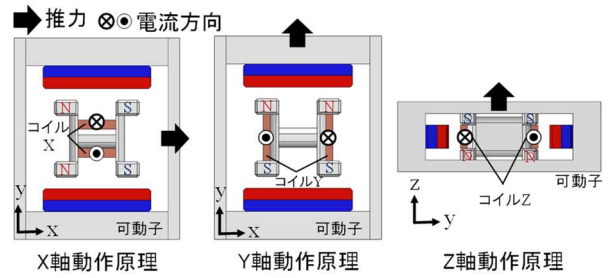


図 2 動作原理



図 3 従来モデルと提案モデルの比較(左:従来, 右:提案)

3 次元有限要素法解析と実験によって得られた各方向推力の比較を図 4 に示す。実験値は解析値を下回るとともに、最大で 29% の誤差が確認された。軟磁性体部品を分割して作製したため、磁気抵抗が増加して推力が低下している。一方で、解析・実験値の定性的な一致がみられた。図 5 に示すように、他軸方向への干渉は少しみられるが、各軸駆動用コイルにそれぞれ正弦波電流を流すことで各軸方向に駆動可能であることも確認できた。

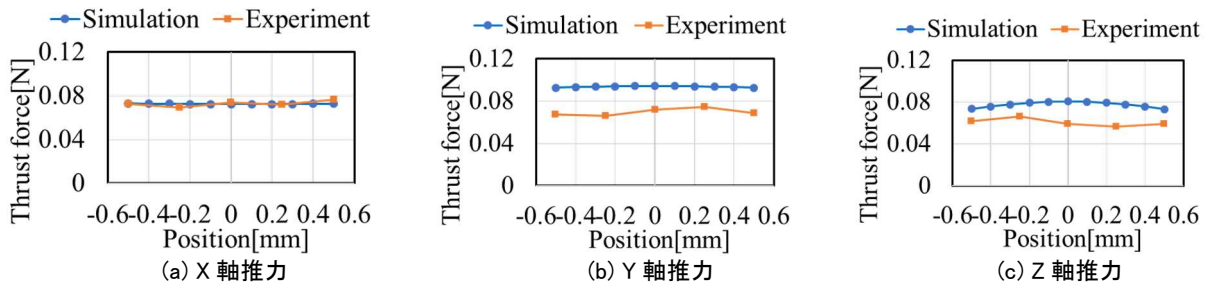


図 4 3 次元有限要素法解析と実験結果の比較

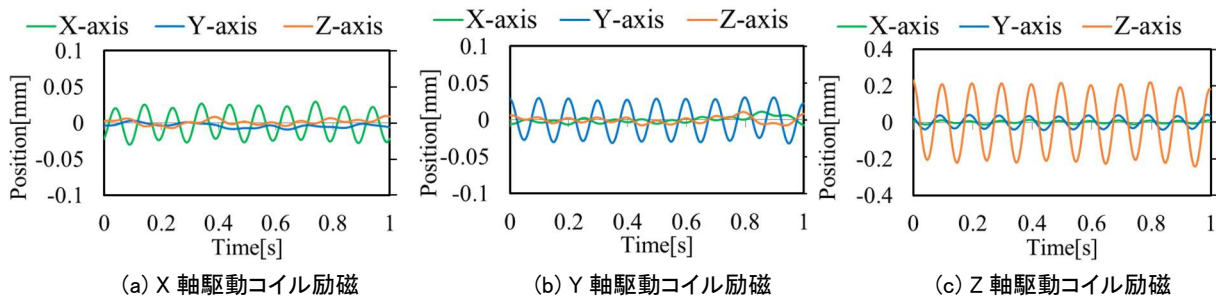
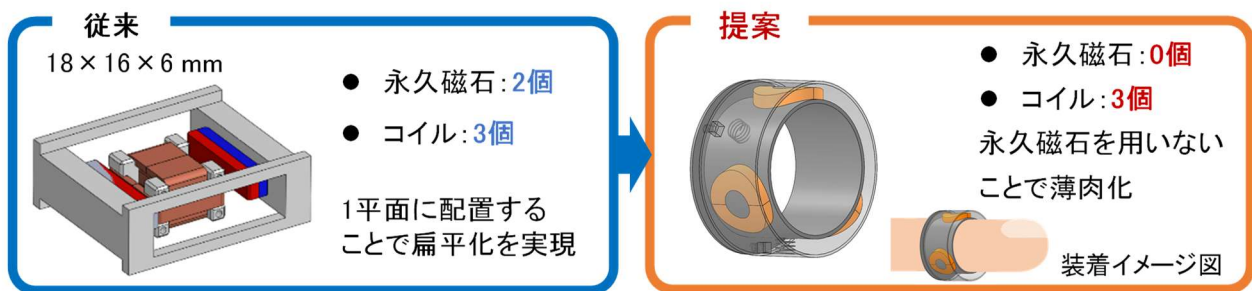


図 5 各軸方向駆動実験

4. 今後の研究の見通し

本年度において提案した扁平型3自由度振動アクチュエータは、各指の爪の上に装着する構造のため、片手あたりに対して5個配置でき、合計15自由度が提示可能となった。しかし、ウェアラブルデバイスとしては、より小型かつ日常的に装着可能な形状が望ましい。また、永久磁石を用いる駆動原理のため、サイズの最小化に限界があり、指上での隣接するアクチュエータ同士の接触・干渉が課題となった。そこで今後は、永久磁石を用いずにリラクタンس力のみで3自由度振動を生み出す指輪型3自由度振動アクチュエータを提案する。永久磁石と比較して、鉄などの軟磁性体は高い加工精度で製作可能であり、非常に小さな部品でも製作できることから、製作可能なサイズの大幅な最小化が期待できる。新構造・駆動原理によって、大幅な小型・軽量化を達成するとともに、人に寄り添うハプティックインタフェースの実現を目指す。



従来構造と提案構造の比較

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

● 学術論文 (査読付)

1. Akira Heya, Ryosuke Nakamura, and Katsuhiko Hirata, “Development of Compact Three Degree of Freedom Oscillatory Actuator”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol.35, no. 5, pp. 1312-1320, 2023.
2. 山本翔大, 部矢明, 平田勝弘, “扁平構造を有する 3 次元力覚提示アクチュエータの実機検証”, *日本 AEM 学会誌*, vol. 31, no. 3, pp. 431-436, 2023.

● 国際会議 (査読付)

1. Yujiro Dan, Akira Heya, Tsuyoshi Inoue, “Force Generation Method of a Novel Three-Degree-of-Freedom Electromagnetic Actuator with Finger Ring Structure”, *Proceedings of the 2023 IEEE International Magnetics Conference*, KOA-07, 2023.

● 国内会議 (査読無)

1. 山本翔大, 部矢明, 平田勝弘, “扁平構造を有する 3 次元力覚提示アクチュエータの実機検証”, 第 31 回 MAGDA コンファレンス in 鹿児島, pp. 591-596, 2022.11
2. 檀佑次郎, 部矢明, 井上剛志, “指輪型 3 次元力覚提示アクチュエータの 3 次元空間における力特性検証”, 第 35 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, OS2-5-4, 2023.06
3. 檀佑次郎, 部矢明, 井上剛志, “指輪型 3 次元力覚提示アクチュエータの基礎検討”, *Dynamics & Design Conference 2023*, 240, 2023.08

● 特許

名称: 力覚提示アクチュエータ

出願番号: 特願 2023-079684 (出願日: 2023 年 5 月 12 日)

発明者: 部矢明, 井上剛志, 檀佑次郎