



名古屋大学
NAGOYA UNIVERSITY



国立大学法人
電気通信大学
The University of Electro-Communications



配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2024 年 6 月 19 日

報道機関 各位

高伝達力で可動域を無限に延長可能な モジュール型磁気送りねじ機構を開発

【本研究のポイント】

- ・少数部品構成で強い磁力を生む新しい磁束集中構造^{注 1)}により、高伝達力を持つ「磁気ねじ」^{注 2)}を開発。
- ・磁気ねじの連結により、超長ストローク化が可能なモジュール型磁気「送りねじ」^{注 3)}機構を開発。
- ・ねじ軸・ナット間の潤滑無しで高速・低振動な動作が可能。過負荷に対して柔軟に応答可能。
- ・潤滑不要でクリーンなため、半導体や食品・医薬品分野での安全な搬送・位置決め装置として期待。

動画による研究紹介 <https://youtu.be/j4Mzka6raAI>

【研究概要】

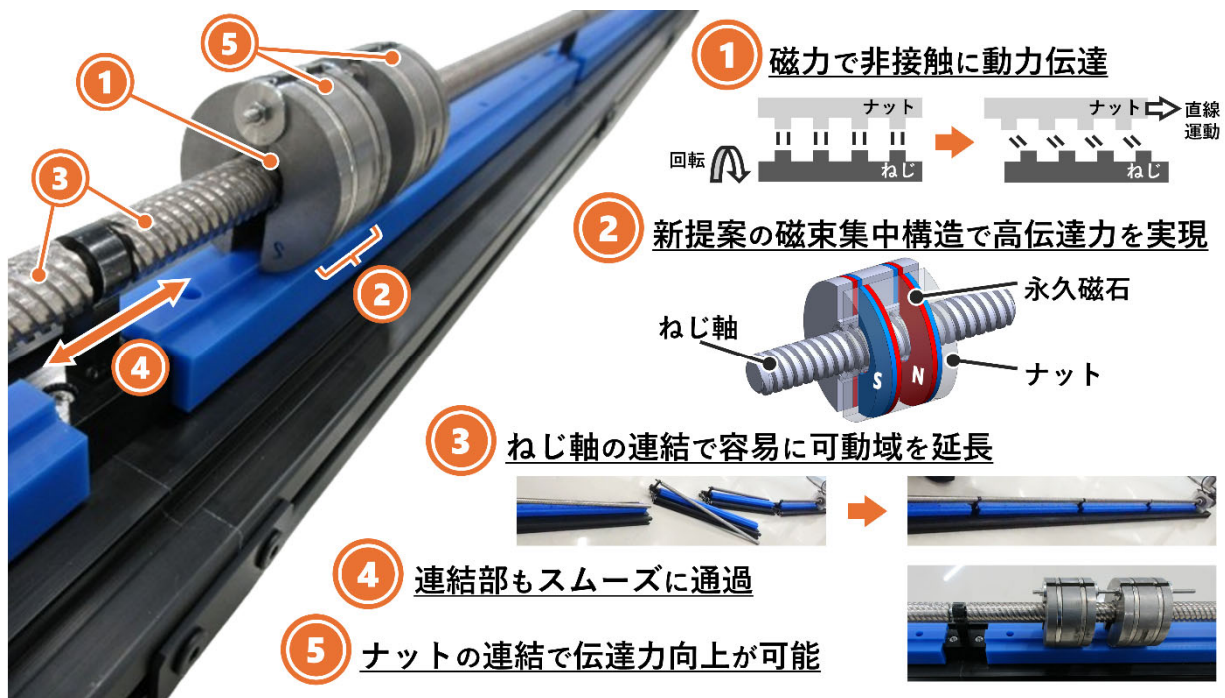
名古屋大学大学院工学研究科の部矢 明 准教授(研究代表者)、鮎澤 颯 博士前期課程学生、井上 剛志 教授、電気通信大学大学院情報理工学研究科の仲田 佳弘 准教授、鍋屋バイテック会社の研究グループは、少数部品構成で高伝達力となる「磁気ねじ」のための磁気回路構造^{注 4)}を提案し、本「磁気ねじ」を用いた可動域を理論上無限に延長可能なモジュール型磁気「送りねじ」機構を新たに開発しました。

広い可動域を実現する場合、長いねじ軸ではたわみが生じるため、複数のねじ軸を連結する方法が考えられます。しかし、連結部をナットが円滑に通過するために、ねじ山が連続する精度の良い連結か、ガタを許容する設計が必要でした。

そこで部矢准教授らは、物理的接触ではなく磁力によって非接触で動力を伝達する「磁気ねじ」に着目しました。この方法では、ねじ軸とナットが物理的にかみ合う必要が無いため、精度の向上やガタの許容が必要なく、ねじ軸の連結部でもスムーズにナットが通過できます。また、従来の磁気ねじが多数の小片磁石をらせん配置するなど複雑な構造を持つのに対し、少数の部品で高い伝達力を持ちます。この新しい構造では、「磁束集中構造」と呼ばれる強い磁力を生み出す構造を採用することで高伝達力化が達成されています。

磁気ねじは、ねじ軸・ナット間が非接触のため摩擦による発熱がなく、高速な往復運動が可能です。また、潤滑油が不要でクリーンであり、メンテナンスが容易です。本提案機構は、半導体や食品・医薬品分野での安全な搬送・位置決め装置をはじめとした様々な機械の新しい設計解となり得ます。

本研究成果は、2024 年 6 月 19 日(水)～21 日(金)に開催される機械要素技術展[東京]で展示されます。



【研究背景と内容】

搬送・位置決め機構、半導体製造装置や産業用ロボットなど様々な機械システムにおいて直動機構が用いられています。この直動機構の多くには、送りねじが採用されています。送りねじとは、モータなどによって生み出した回転運動を直線運動に変換する機械要素です。送りねじは、ねじ軸とナットによって構成され、両者の持つねじ山の直接接触もしくは、途中で転がるボールを介して、動力が伝達されます。そのため、従来の送りねじの可動域を大きく延長するためには、長いねじ軸を製作する必要があります。しかし、長いねじ軸は製造コストが高く、加工精度の管理も困難です。その他の方法として、ねじ山が連続的に噛み合うようにねじ軸を連結する機構が考えられますが、各連結ねじ軸に位相ずれがないよう精度良く組み立て、連結部にガタをあえて設けるなどの工夫が必要となります。

そこで、物理的接触ではなく磁力によって非接触で動力を伝達する磁気ねじに着目しました。磁気ねじは、ねじ軸とナットに設けられたねじ山同士を接触させずに動力伝達が可能のため、精度上の工夫なくモジュールを繋げていくことで簡単にねじ軸を連結可能です。我々の開発したモジュール型磁気送りねじ機構を図 1 に示します。ねじ軸の連結だけでなく、ナットの連結による伝達力の向上も可能です。図 2 に示すように、永久磁石から発生した磁束によりねじ軸とナット間は磁氣的に結合するため、ねじ軸を回すことで移動するねじ山を追いかけるようにナットが直動します。この原理によって、過負荷が与えられた際には次のねじ山と磁氣的結合が切り替わり、磁氣的な弾性による柔軟な応答が可能です。

本研究の実現には、新提案の磁気ねじが要となっています。従来の磁気ねじがらせん磁石、もしくは多数の薄片磁石のらせん配置を有する複雑構造であったのに対し、提案磁気ねじは少数の簡単な形状の磁石で製作可能です(図 3)。これは、従来は永久磁石によって作り出していたらせん磁場を、らせん形状の軟磁性体(外部の磁界を取り除くと磁気

がなくなる材料)によって置き換えて作り出すことで実現しています。また、提案構造では、磁束集中構造と呼ばれる強磁力を生み出す構造(図 4)を採用しており、これにより高伝達力化が達成されています。磁束集中を用いない構造(参考文献)と提案構造の伝達力をシミュレーションにより比較したところ、同磁石体積・サイズで 60%の伝達力・剛性(ねじ軸回転量に対するナットへ働く力の傾き)向上を確認しています。

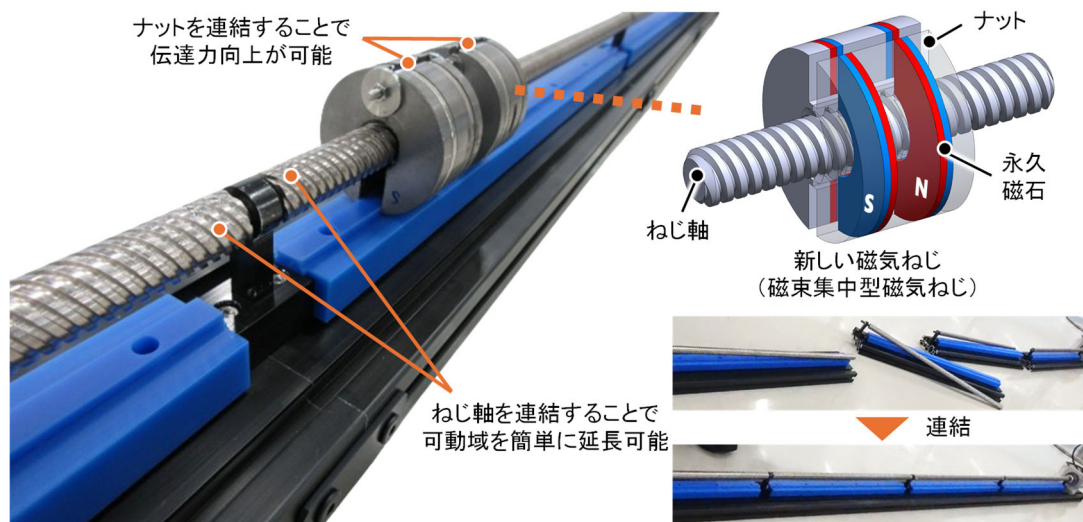


図 1 モジュール型磁気送りねじ機構

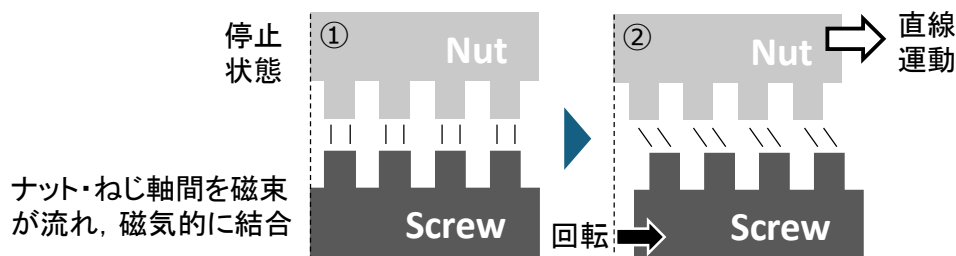


図 2 磁気ねじの動作原理

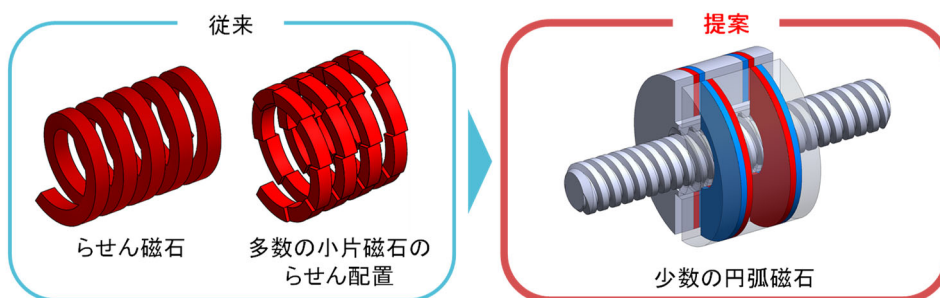


図 3 従来構造と提案構造の比較

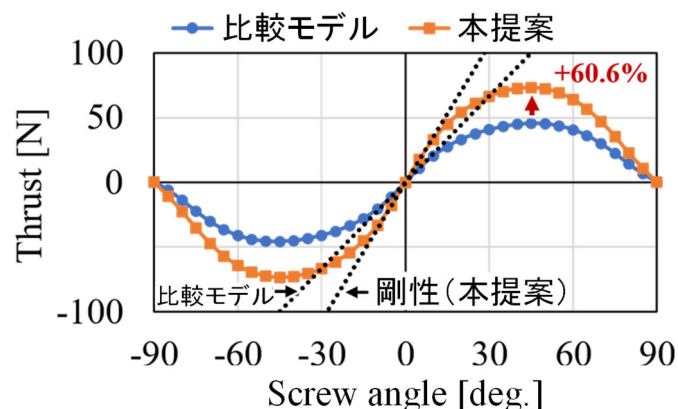


図4 磁束集中型磁気ねじの力特性

◆参考文献

Akira Heya, Yoshihiro Nakata, Hiroshi Ishiguro, Katsuhiro Hirata, “Structural Simplicity and Performance Comparison of Magnetic Lead Screws without Spiral Permanent Magnets”, IEEJ Transactions on Electrical and Electronics Engineering, vol. 16, no. 3, pp. 464-469, Jan. 2021.

【成果の意義】

・少数部品で強い磁力を生む新構造によってコンパクトかつ高伝達力な磁気ねじを実現

永久磁石の配置と着磁方向(磁石内部を流れる磁束の向き)を工夫し、磁束集中構造と呼ばれる強磁力を生み出す構造を構成することで、少数部品かつコンパクトながらも高伝達力を発生可能な新しい磁気ねじを実現しました。また、永久磁石は円弧形状かつ軸方向に着磁されており、複雑な形状や着磁方向の永久磁石は必要ありません。

・送りねじ機構の超長ストローク化を達成

従来の送りねじでは困難であったモジュール連結による超長ストローク化が、本研究によって可能となりました。直線運動を生み出す他の機構としてはリニアモータが挙げられますが、リニアモータで長ストローク構造を実現するためには、可動域全域に電磁石もしくは永久磁石を配置する必要があり、製作は容易でなく高コストとなります。

・ねじ軸とナット間に潤滑油が必要ない

物理的接触によって動力を伝達する従来の送りねじでは、ねじ軸とナットの間に潤滑油を注入し、摩擦抵抗を減らす必要があります。潤滑によって滑りを良くしなければ、摩擦によって表面が摩耗し、振動が大きくなるとともに寿命が短くなるためです。大きな可動域を装置に持たせた場合、その全域に潤滑油が必要となりますが、潤滑状態・給脂タイミングの管理が課題となります。

・高速運動が可能に

従来の送りねじでは、潤滑油を用いたとしても物理的接触は避けられないため、高速運動時に摩擦による発熱が問題となります。本研究成果であるモジュール型磁気送りねじ機構では、ねじ軸・ナットの持つねじ山同士は接触しません。そのため、高速運動させた際にも摩擦による発熱が起らず、連続的な高速往復運動に優れます。

・ねじ山の間隔を各モジュールで変えると、モータが定速でも移動速度を変更可能

従来の送りねじは、同じねじ山が連続的に続く構造でなければ動作することができま

せん。しかし、本磁気送りねじ機構は非接触で動力を伝達するため、ねじ山の間隔が途中で変化したとしても、動作可能です。そのため、図 5 に示すように、ねじ軸 1 とねじ軸 2 のねじ山の間隔を変えることで、ねじ軸を等速で回転させているにも関わらず、ナットの移動速度を変えることができます。

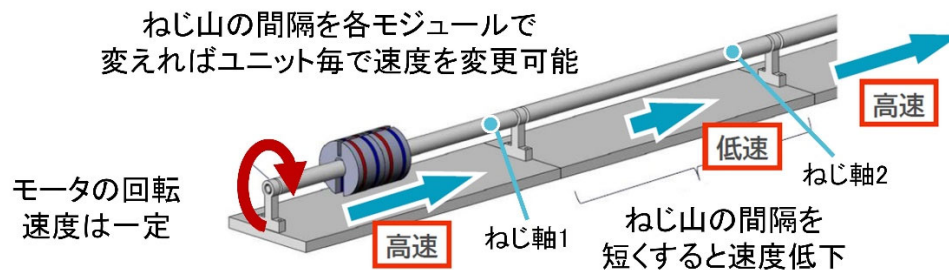


図 5 モーター一定速度下での移動速度変化

以上から、本研究成果によって広い可動域において高速かつ低振動でクリーンな直動機構が実現され、今後様々な機械の新しい駆動源としての活用ができます。

【用語説明】

注 1)磁束集中構造:

複数の永久磁石を並べて配置する際に、それらの着磁方向を工夫することで磁束を集中させる構造。

注 2)磁気ねじ:

磁力によって動力を伝達する送りねじ。

注 3)送りねじ:

回転運動を直線運動に変換する機械要素。搬送・位置決め機構として、半導体製造装置や産業用ロボットなど様々な機械で使用されている。一般に使われている送りねじは機械式で、ねじ軸とナットで構成され、両者のねじ山の接触もしくは、両者の中間で転がるボールを介した接触により、動力が伝達される。

注 4)磁気回路構造:

磁石と磁気材料から構成される構造で、磁力を効率よく集中させることで強い磁力を得る。

【展示会・学会情報】

展示会名:機械要素技術展 [東京]

展示時間:2024 年 6 月 19(水)~21 日(金) 10:00~18:00(最終日のみ 17:00 終了)

ブース番号:東 3 ホール E22-18(総合ブース)

Press Release

学会名:第 36 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム

講演日:2024 年 6 月 26 日(水)

講演タイトル:磁束集中型磁気ねじの提案

発表者:鮎澤 颯¹, *部矢 明¹, 仲田 佳弘², 間宮 寿明³, 井上 剛志¹

¹名古屋大学, ²電気通信大学, ³鍋屋バイテック会社