



## 弾性梁を持つ歩行型圧電リニアアクチュエータの性能と操作機能に関する研究

メタデータ	言語: en 出版者: 公開日: 2023-11-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: ユン, ハオ メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.15118/0002000149">https://doi.org/10.15118/0002000149</a>

氏名	YUN HAO(ユン ハオ)
学位論文題目	Study on the performance and operation function of walking-type piezoelectric linear actuator with compliant mechanism (弾性梁を持つ歩行型圧電リニアアクチュエータの性能と操作機能に関する研究)
論文審査委員	主査 教授 青柳 学 教授 渡邊 浩太 教授 梶原 秀一

### 論文内容の要旨

精密位置決め分野の急速な発展に伴い、高精度、高速応答、大ストロークの特徴を持つ圧電アクチュエータへの需要が増加している。過去数十年にわたり、様々な非共振型圧電アクチュエータが登場し、バイオ技術、光学機器、マイクロ/ナノ位置決めプラットフォーム、半導体技術など、多くの産業分野で応用に成功している。しかし、既存の非共振圧電アクチュエータにはまだ限界がある。例えば、半導体製造におけるリソグラフィプロセスのモニタリングに使用される走査型電子顕微鏡 (SEM) のアパーチャの駆動など、(1) 大きなストロークを伴う低速駆動、(2) 逆方向に動作しない、(3) 高い位置決め分解能、が要求される特定の精密位置決めアプリケーションにおいて、既存の圧電アクチュエータでは十分とは言えない。本研究の目的は、既存の圧電アクチュエータの限界を克服し、SEMの光学系におけるアパーチャプレート駆動要件や、その他の精密位置決め分野に対応できる新しい圧電リニアアクチュエータの開発である。

まず、平行配列のデュアルステータを用いた両側駆動の歩行型圧電リニアアクチュエータを提案した。単一ステータの駆動脚の動作原理と楕円軌道を解析した。試作・実験の結果、アクチュエータが逆方向に動作する問題があることがわかった。

次に、両側駆動の歩行型圧電リニアアクチュエータの逆方向への動作を解決するため、三角形のコンプライアンス機構を持つシンプルなステータ構造を開発した (片側駆動)。また、x方向およびy方向のダイナミックモデルを構築し、片側駆動圧電アクチュエータの出力特性を評価した。

最後に、片側駆動圧電アクチュエータを試作し、複数の実験からシミュレーションとの比較を行った。その結果、ダイナミックモデルの実現可能性が実証された。実験結果から、

アクチュエータは広い速度範囲, 逆方向に動作しないステッピング, 高精度な位置決めの実現した。したがって, 走査型電子顕微鏡の対物レンズのアーチャープレート駆動の可能性が示された。

## ABSTRACT

With the rapid development of the precision positioning field, the demand for piezoelectric actuators with high accuracy, quick response, and large stroke is increasing. Various non-resonant piezoelectric actuators have emerged in recent decades and have been applied successfully in many industrial fields, such as biological technology, optical instruments, micro/nano positioning platforms, and semiconductor technologies. However, existing non-resonant piezoelectric actuators still have limitations. They cannot be used in some specific precision positioning applications requiring (1) a low speed with a large stroke, (2) no backward motion, and (3) high positioning resolution, such as the driving of the aperture of a scanning electron microscope (SEM) used to monitor lithography process in semiconductor manufacturing. This research aims to develop a new type of piezoelectric linear actuator to overcome the limitations of the existing piezoelectric actuators and meet the driving requirements of the aperture plate in the optical system of SEM and other precision positioning fields.

First, a dual-side drive walking-type piezoelectric linear actuator with the parallel-arrangement dual stator was proposed. The operating principles and elliptical trajectory of the driving feet of a single-stator design were analyzed. A prototype was fabricated for the experimental evaluation; the results indicate that the actuator has a problem with backward motion.

Then, to solve the backward motion of the dual-side drive walking-type piezoelectric linear actuator, a simple stator structure with triangular-compliant mechanisms was further developed (single-side drive). Dynamic models in the  $x$ - and  $y$ -directions were established to evaluate the output characteristics of the single-side drive piezoelectric actuator.

Finally, a prototype of the single-side drive piezoelectric actuator was manufactured, and a series of experiments were carried out for comparison with simulation results. As a result, the feasibility of the dynamic models was verified. The experimental results indicate that the actuator realizes superior multiple performances of a wide range of velocity, stepping without backward motion, and high-precision positioning. Therefore, the possibility of driving the objective lens aperture plate in scanning electron microscopes was implied.

## 論文審査結果の要旨

精密位置決め分野の高度な発展に伴い、高精度、高速応答、大きな可動範囲の特徴を持つ圧電アクチュエータへの要求が増している。これまで様々な圧電アクチュエータが考案され、その一部はバイオ技術、光学機器、マイクロ/ナノ位置決めプラットフォーム、半導体技術などの産業分野で応用されている。しかし、既存の圧電アクチュエータには性能面で不足している点が少なくある。例えば、半導体製造におけるリソグラフィプロセスのモニタリングに使用される走査型電子顕微鏡（SEM）のアパーチャーの駆動などの精密位置決め応用において、（１）大きな可動範囲、（２）安定な低速駆動、（３）後戻り動作がない、（４）高い位置決め分解能、などの同時実現である。本学位論文では、研究の背景となる現状についてよく調査され、既存の圧電アクチュエータの限界を克服し、SEMの光学系におけるアパーチャープレートの駆動要件や、その他の精密位置決め分野に対応できる実用的な圧電リニアアクチュエータの開発を目的とし、新しい構成を考案し、実験および動作解析によってその有効性について述べている。初めに、平行配列の２つのステータを用いた両側駆動の２足歩行型の圧電リニアアクチュエータを提案している。単一ステータの駆動脚の動作原理と楕円軌道を解析し、試作・実験の結果、性能要求をほぼ満足する性能が得られている。しかし、アクチュエータがスライダを後戻りさせる問題があり、その原因を圧電素子のオフセット電圧によって低減できることを示し、構造的な誤差が原因であることを推定しており、動作原理上説得力があると評価できる。次に、後戻り動作の原因を解決するため、構造上誤差が含まれにくい三角形の弾性機構を持つシンプルなステータ構造（片側駆動）によって、後戻り動作が生じないステージ駆動を実現している。最後に、片側駆動圧電アクチュエータのダイナミックモデルを構築し、複数の実験結果と解析結果との比較を行ってモデルの有効性を実証し、速度の不感帯の発生原因や後戻り動作を発生させない理由に説得力がある。つまり、本研究で考案したアクチュエータは、広い速度範囲、後戻り動作しないステッピング搬送、高精度な位置決めなどに複合的に優れた性能を実現している。したがって、本論文は学術的および産業的にも工学の発展に寄与すると評価されるため合格と判断する。