

サーボ弁の動特性を考慮した静圧軸受エアステージの軌道制御

直井 誠*, 杉山 洋樹**, 藤田 壽憲**

Trajectory Control of Pneumatic Stage with Air Bearings Considering Servo Valve Dynamic Characteristics

Makoto NAOI*, Hiroki SUGIYAMA**, Toshinori FUJITA**

Previously, we developed the air servo stage available ultra-precise positioning where seals are removed from the pneumatic actuator to reduce the effects of friction force, and the slider of the actuator is mounted with air bearings. The air servo stage available is required not only positioning accuracy but tracking performance for trajectory, applying the pneumatic stage to semiconductor manufacturing equipment. However tracking performance in accelerating is not sufficient and considerable tracking error occur. One of reasons is target trajectory not considering the valve dynamic characteristics. The other reason is calculation delay of the controller using a micro-computer. This paper describes solutions for these problems and better trajectory control results applying solutions to air stage.

Key Words : Pneumatics, Ultra-precise control, Trajectory Control, Air Stage, Air Bearings

1. はじめに

著者らは先に、空気圧アクチュエータの精密位置決めにおいて問題となるパッキンの摺動摩擦を低減するために、静圧軸受により可動部を浮上させ駆動するエアステージを実現した。このアクチュエータは高い位置決め精度と速度安定性を有することから次世代の半導体露光装置のステージとして期待されている。露光のためには、加速から等速区間への切換え時の整定性が重要である。しかしながら、加速時の目標軌道との偏差が大きく、一定速度への整定時間が長いことが問題としてある。

この問題の要因の一つとしてサーボ弁の動特性を考慮して目標軌道の生成していないことがある。これまでは、空気圧アクチュエータの伝達関数が3次系であることに基いて、3次曲線の目標軌道を与え軌道制御してきた。しかしながらサーボ弁の動特性を考慮するとエアステージは5次系となる。もう一つの理由はマイコンの演算遅れによる制御性の悪化がある。エアステージもマイコンで制御される。本エアステージが目指す高速かつ超精密な制御ではこの演算遅れも一因となる可能性がある。

このような背景から、本研究ではサーボ弁の動特性を含め5次系であることを考慮した目標軌道生成法について提案する。演算時間遅れについてはサーボ弁の制御器を離散時間系として設計し演算時間遅れを補償する方法を提案する。最後に提案した手法をエアステージに適応し、その有効性について検討する。

2. エアステージ

エアステージを駆動する空気圧アクチュエータの構造を図1に示す。空気圧アクチュエータはガイドとスライダから構成されている。ガイドには静圧軸受が設けられており、スライダを完全非接触で浮上させているため、摺動摩擦は発生しない。スライダ内部に設けられた2つの圧力室に空気を給排気し、その圧力差によってスライダを駆動する。

Fig2にエアステージの外観を、Fig.3にエアステージの駆動方法を示す。エアステージには2本の空気圧アクチュエータを用い、スライダに板を渡しステージを構成した。このステージの各圧力室には直動型スプールサーボ弁2台が接続されている。スライダの位置はスライダ上に設置された76[μm]の分解能を持つレーザスケールにより検出する。検出信号はパルスカウンタを通して制御用PCに送られる。PCで演算された指令電圧がD/A変換機を通して2台の電流アンプに送られ、各電流アンプは指令電圧に従い、接続されたサーボ弁のスプール位置を制御し、各圧力室への空気の供給量を調節する。この結果生じる圧力差によりスライダ位置を制御する。

* 東京電機大学大学院 工学研究科
(〒120 - 8551 東京都足立区千住旭町 5)
(E-mail: 14ef061@ms.dendai.ac.jp)

** 東京電機大学 工学部
(〒120 - 8551 東京都足立区千住旭町 5)
* Graduate School of Tokyo Denki University

** Tokyo Denki University

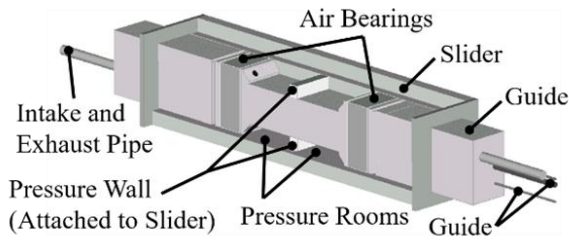


Fig.1 Internal Structure of Pneumatic Actuator

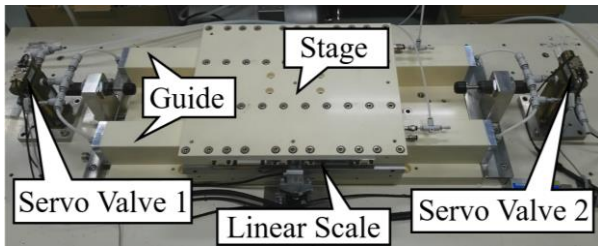


Fig. 2 Photo of Pneumatic Stage

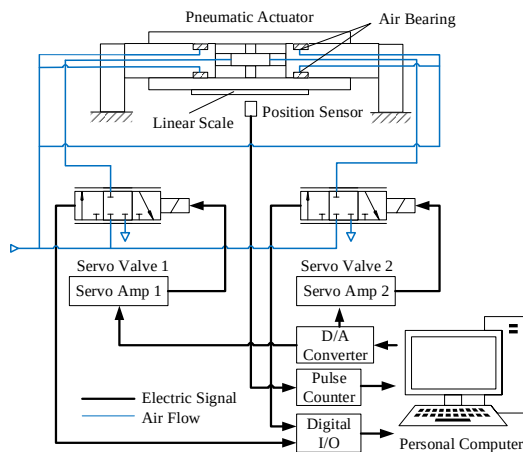


Fig.3 Pneumatic Stage Drive System

3. 提案手法

Fig.4 に提案する目標軌道を示す. これまでの目標軌道のジャークは方形波であったのに対し, 提案したジャークは5次曲線で構成されている. この曲線はサーボ弁の動特性を考慮して決定した. これによりサーボ弁はジャークに対して遅れがなくなる.

Fig.5 にサーボ弁に対する演算遅れ補償法を示す. 現在, サンプル時間は $0.2[\text{ms}]$ で行っている. この時間はほぼ制御演算時間であり, 計測した位置等から1サンプル後に演算結果を出力している. これが図のむだ時間を表す. このむだ時間の影響を小さくするためには図の破線のようにフィードバックすれば見掛け上, むだ時間の影響が小さくなる. 本研究では極配置により大きなフィードバックゲインに設定し演算遅れを補償した.

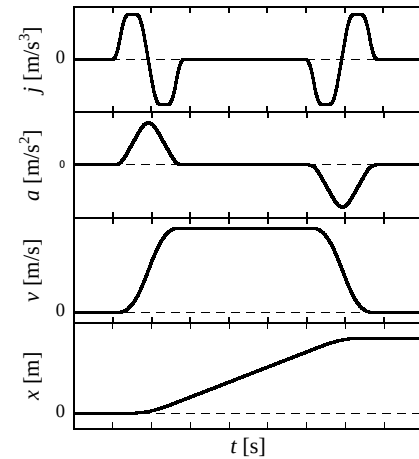


Fig. 4 Proposed Reference Trajectory

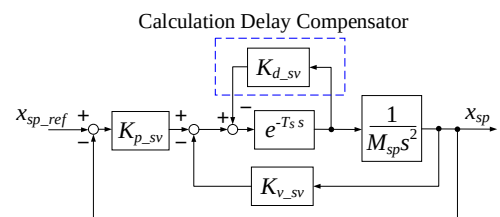


Fig. 5 Control Algorithm for Servo Valve with Calculation Time Delay Feedback

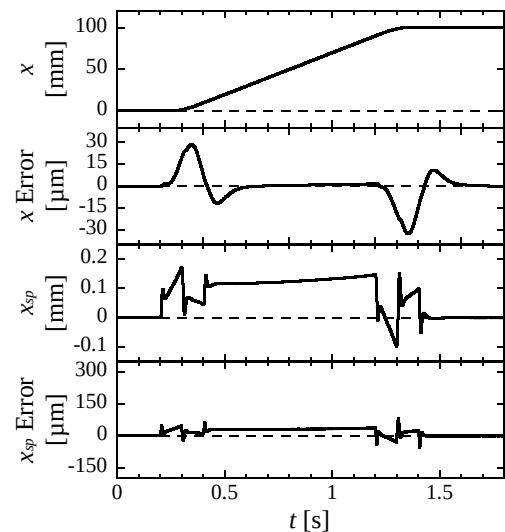


Fig.6 Trajectory Control Result

4. 軌道制御結果とまとめ

提案した手法を用いて軌道制御を行った結果を Fig.6 に示す. 提案した手法により, 加速時におけるステージの最大位置偏差が約 $7[\mu\text{m}]$ 減少した. これに伴い, わずかではあるが一定速度への整定時間も短くでき, 提案手法の有効性が確認できた. しかしながら, まだ最大 $30[\mu\text{m}]$ 程度の偏差が残っており今後も改善していく必要がある.