



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	精密位置決めステージにおける弾性構造物に対する相対位置決め制御に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	小川, 博紀
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14435号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81371
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hironori_Ogawa_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 小川 博紀

学 位 論 文 題 名

精密位置決めステージにおける弾性構造物に対する相対位置決め制御に関する研究

(A study on relative positioning control for elastic structure of precise positioning stage system)

産業分野において、半導体集積回路や液晶パネルの製造・検査装置や微細加工機などの高精度化と生産性向上に対する要求がますます高まっている。これらの装置において、ワークの搬送および位置決めを行う精密位置決めステージ装置は、装置性能を大きく左右するキーコンポーネントとなっており、高精度化と高速化を両立する機構・制御技術開発が必要となっている。例えば、半導体製造・検査装置においては、ムーアの法則に代表される市場要求により半導体プロセスの微細化が進展し、半導体ウェハを搬送するステージ機構は、ナノメートルオーダの精密位置決めが要求される。

従来、ステージ機構・アクチュエータ・センサ・制御技術等に対するたゆまぬ努力によってステージ単体性能を向上し、これにより位置決めステージを有する装置システムの性能を向上してきた。一方、近年さらなる高速・高精度なシステム要求に対し、ステージ単体での性能を向上してもシステム性能が思うように向上しないということが起こっている。これは、これまでシステム性能において支配的な因子であったステージ単体性能が向上してきたことにより、相対的にステージ単体性能以外の因子の影響が無視できなくなっていることを意味する。このことは、位置決めステージの性能はセンサから得られる位置情報を用いて制御を行うのに対し、システム性能は位置決め対象である二点間の相対的な位置決めによって評価されることに起因する。より具体的には、例えば半導体製造・検査装置においては、半導体ウェハとビームを照射する鏡筒との相対的な位置関係が評価指標となる。ここで、システム性能を決める、位置決め対象の相対変位は、位置センサによって直接観測できないことが一般的である。このことが、ステージ単体性能向上とシステム性能向上の乖離の本質であると言える。

鏡筒に代表されるような位置決め対象の構造体が完全に剛体とみなせる場合は、ベースから見たステージの変位（センサ情報）と、鏡筒から見たステージ変位（相対変位）は同一とみなせる。しかしながら、特に精密位置決めを要求されるステージの場合は、わずかな振動さえも性能に影響するため、これら位置決め対象の構造体は弾性体（柔軟構造物）として扱う必要がある。

このような背景のもと、本研究は装置システムの本質的な性能を目的とし、ステージと位置決め対象となる構造体の間の相対位置決め精度の向上について研究を行う。

本研究では、目的を達するため、以下のプロセスによって検討を行う。

- (1) 相対位置決めを必要とする装置システムを定義し、それを模擬する原理評価ステージシステムを構築する。ここで、原理評価ステージシステムにおいては、位置決め対象物として柔軟構造物によって構築する。
- (2) 原理評価ステージシステムの特性を実験および解析によってモデル化する。
- (3) 検出可能なセンサ情報のみを用いて、検出できない位置決め対象の相対変位量を推定するオブザーバを構築する。
- (4) オブザーバによって推定される相対変位量を用いた相対変位を抑制する制御系を構築する。

(5) シミュレーションおよび実験によって、提案するオブザーバおよび制御系を評価する。

以上のように、本研究の大きな特徴は 2 つある。1 つ目は評価システムの構成である。従来の検出可能な位置センサのみならず、柔軟構造物である位置決め対象物を設け、その対象物とステージの相対変位を評価に使用する。ここでは、ナノメートルオーダの精密位置決め装置を想定し、微小な振動変位でもシステム性能に影響を与えるようなシステムを構成する。もう 1 つの特徴は、相対変位を推定するオブザーバとそれを用いた制御系である。ここで、相対変位推定オブザーバは、検出可能なセンサ情報から得られる同定モデルと、有限要素解析によって得られる結果を用いることで、未知なる相対変位を推定するオブザーバを構築する。

本論文では、精密ステージを想定した原理評価ステージシステムに対して、位置決め対象構造との相対変位を推定するオブザーバおよび相対変位を抑制する制御系を提案し、その効果をシミュレーションおよび原理ステージ実験により検証する。本論文は全 6 章で構成されており、以下にそれぞれの章の概要を示す。

第 1 章 (本章) は序論であり、本研究の背景として精密ステージ機構における先行研究とを述べ、本研究の目的とするステージ性能を向上させる相対位置決めのコンセプトと構成について述べている。

第 2 章では、対象システムの定義と課題を示し、原理評価ステージシステムについてその構成と諸元について述べている。

第 3 章では、制御対象のモデル化を行い、実験システム同定、FEM モーダル解析を実施し、対象システムの伝達特性の導出を行っている。

第 4 章は制御系設計であり、相対変位推定オブザーバと SRC 型フィードバック制御系の設計を行っている。

第 5 章は提案制御系の検証であり、数値シミュレーションと実験を行い、提案する相対変位推定オブザーバおよび制御系の性能評価を行っている。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた成果を述べている。