

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	圧電駆動型セグメント高速ステアリングミラーの研究
Title(English)	
著者(和文)	西田莉那
Author(English)	Rina Nishida
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12358号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:進士 忠彦,初澤 毅,岩附 信行,吉田 和弘,土方 亘
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12358号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	西田 莉那		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main) 進士 忠彦 教授
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「圧電駆動型セグメント高速ステアリングミラーの研究」と題し、全6章から構成されている。

第1章「緒論」では、スマートフォンなどの小形・多機能電子機器に搭載されるプリント基板の穴あけ加工をさらに高速高精度化する高速ステアリングミラー (Fast Steering Mirror, 以下 FSM) を紹介する。高速ステアリングミラーには、多自由度・高応答・高分解能・大口径が求められるが、ミラーの大口径化は不可制御なモードの固有振動数の低下を招くため、大口径化と高応答化の両立は困難であった。そこで本研究の目標を、同程度の口径をもつ従来品の約 10 倍の応答性をもつ FSM の開発とする。その実現のために、本研究では数十メートル級の可動ミラーである大形天体望遠鏡に採用されている“ミラーの分割化”を高応答化手法として用いたセグメント FSM を提案する。

第2章「セグメント高速ステアリングミラーの提案と設計」では、セグメント FSM の全体像と詳細な設計について説明する。セグメント FSM は高応答駆動可能な多数のセグメントミラーで構成され、セグメントミラーは2軸面外回転 (θ_x, θ_y 方向駆動) を行うチップ・チルト駆動部と、その回転で生じたミラー間の段差を埋めるように並進駆動 (z 方向駆動) する上下駆動部で構成される。両駆動部のアクチュエータには小形で高応答駆動に適した積層型圧電素子を、案内には摩擦の影響を避けるために弾性ヒンジを用いる構造を提案した。駆動範囲が 0.3 mrad 以上、1 次の固有振動数が目標バンド幅の 10 kHz 以上であることをセグメントミラーの設計目標とし、数値解析と有限要素解析を用いて設計を行った。

第3章「多自由度駆動高応答セグメントミラーの単体制御」では、製作したセグメントミラー単体の制御性を評価する。開ループ制御で測定した周波数応答を基に、積分器とノッチフィルタを用いた閉ループコントローラの設計を行った。閉ループ制御時のバンド幅は全駆動方向で目標の 10 kHz 以上を達成した。

第4章「セグメントミラーの連続・高周波数・大振幅駆動」では、上下駆動部用積層型圧電素子の自己発熱による破損を回避する手法を開発した。圧電素子の誘電損失による発熱は駆動周波数と電圧振幅の二乗に比例して大きくなるため、高周波・フルストロークでの駆動時は冷却機構が必要になる。従来では放熱フィンの取り付けや乾燥空気を用いた強制空冷が行われてきたが、本研究ではより冷却効果の高い強制液冷の実現を目指した。圧電素子のマイグレーションを防ぐために、クーラントには絶縁性の高いシリコンオイルを採用した。提案する強制液冷時の圧電素子の表面温度の上昇は、自然放熱時の約 10%にまで低減され、高い冷却効果を確認した。また、温度上昇の低減が、圧電定数や誘電率の温度変化だけでなく、予圧機構などの熱膨張を抑制するため、動特性の変動の抑制にも寄与することを確認した。提案した強制液冷を上下駆動部に導入したところ、導入前に発生していた自己発熱による破損は回避された。

第5章「複数セグメントミラーの同時制御」では、圧電素子のヒステリシスによって生じる、複数セグメントミラー間の段差 (ピストン不整合) を低減する手法を開発した。線形コントローラでフィードバック制御された圧電素子の高周波駆動時の応答は、そのヒステリシスの影響を大きく受ける。複数のセグメントミラーの上下駆動部は、同時刻に異なるヒステリシスループ上で駆動されるため、ピストン不整合が生じる。本研究では圧電素子の応答を、静的ヒステリシスと線形動特性に分解できると仮定し、単純なコントローラゲインの調整によって複数セグメントミラーの上下駆動部の静的ヒステリシスを一致させることで、不整合を低減する方法を提案する。圧電素子に印加した電圧を線形動特性のモデルに入力し、出力される変位を実際の測定変位で割った商をコントローラゲインの調整量として定め、リアルタイムで演算し続けることで、制御の線形化を図った。未調整時と提案するコントローラゲイン調整時の不整合を測定、比較し、提案する調整法によって不整合が低減されることを確認した。

第6章「結論」では、本論文で得られた結果を総括し、今後の課題を述べている。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース : Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名 : Student's Name	西田 莉那		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	進士 忠彦 教授	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Chapter 1 introduces the fast steering mirror (FSM), which is required to have a Multi-DOF, high response, high resolution, and a large aperture. However, the relation between a large aperture and a high response is a trade-off. The purpose of this research is to develop an FSM with a bandwidth about 10 times wider than that of a conventional FSM with a similar aperture. To achieve this goal, we propose a segmented FSM.

Chapter 2 describes the concept and detailed design of the segment FSM. The segment FSM consists of many highly responsive segment mirrors. Each segment mirror consists of a tip-tilt driver that rotates the mirror in two out-of-plane directions and a piston driver that translates the mirrors. Both drivers use stacked piezoelectric actuators (PEA) suitable for high-response driving and compact design, and the guide uses elastic hinges to avoid friction. The segment mirror was designed with a drive range of 0.3 mrad or more and a first natural frequency of 10 kHz or more, which is the target bandwidth.

Chapter 3 evaluates the control performance of the single segment mirror. Based on the frequency response measured in the open-loop control, a closed-loop controller with an integrator and notch filter was designed. The target bandwidth of 10 kHz was achieved in all driving directions during closed-loop control.

Chapter 4 describes the development of forced liquid cooling of PEA to avoid damage due to self-heating of the PEA for the piston drive. Silicone oil with high insulating properties was used as coolant to prevent migration of the PEA. The rise in the surface temperature of the PEA during forced liquid cooling was reduced to approximately 10% of that during natural heat dissipation. It was also confirmed that it contributed to the suppression of fluctuations in dynamics. When forced liquid cooling was introduced to the piston driver, damage due to the self-heating was avoided.

Chapter 5 developed a method to reduce the step (piston error) among segment mirrors caused by the hysteresis of PEA. Assuming that the PEA response can be decomposed into static hysteresis and linear dynamics, we propose a method to reduce the error by tuning the controller gain to equalize the static hysteresis of the piston drivers of the multi-segment mirrors. Errors were measured and compared between the unadjusted and adjusted conditions, and it was confirmed that the errors were reduced by the adjustment.

Chapter 6 describes the summary and future work.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).