

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	西田 莉那	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	進士 忠彦	教授	土方 亘	准教授
	審査員	初澤 毅	教授		
		岩附 信行	教授		
吉田 和弘		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

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、小形・多機能な電子機器に搭載される多層プリント基板の製造において、レーザ穴あけ加工機の高速化・高精度化が求められており、反射鏡の位置・姿勢制御によりレーザビームを走査する高速ステアリングミラー (Fast Steering Mirror, 以下FSM) の高応答化・大口径化の要求があることを述べている。反射鏡の大口径化は、反射鏡を含む駆動機構の固有振動数の低下を招くため、高応答化との両立は一般に困難であり、例えば、直径50mmの反射鏡を10kHz以上で精密に位置・姿勢制御することは困難である。本論文では、複数の分割鏡で主鏡を構成する大形天体望遠鏡を参考に、小形・軽量・高応答なセグメントミラーを集積化、同時駆動することで、直径50mm以上の反射鏡を必要とするビームを10kHz以上で走査可能なセグメントFSMの実現を目指している。

第2章「セグメント高速ステアリングミラーの設計と製作」では、反射鏡、チップ・チルト駆動部、ピストン駆動部からなるセグメントミラーの構造提案と設計を行っている。セグメントミラーは、反射鏡の面外2軸回りの角変位を制御するチップ・チルト駆動部と、それにより生じた反射鏡間の段差を補正するピストン駆動部から構成される。両駆動部のアクチュエータには小形で高応答駆動可能な積層型圧電素子を、案内には摩擦の影響が少ない弾性ヒンジ機構を採用している。対辺距離16.6mmの六角形SiC製の軽量・高剛性な反射鏡を、傾き方向0.32mrad、上下方向12.2 μ mの範囲で駆動可能で、機構の1次の固有振動数が10.9kHzとなるようにセグメントミラーを設計、試作している。

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、試作したセグメントミラー単体の位置・姿勢補償器を設計し、制御性能を評価している。計測した圧電素子の入力電圧から反射鏡の変位・角度までの周波数応答特性を基に、積分器とノッチフィルタを用いた閉ループ位置・姿勢補償器を設計し、セグメントミラーシステムに実装している。実測した閉ループ制御時のバンド幅は全駆動方向で目標の10kHz以上を達成している。

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、ピストン駆動部用積層型圧電素子の駆動時の温度上昇による破損を回避する手法を検討している。従来の放熱フィンと乾燥空気を用いた強制空冷は不十分であり、より冷却効果の高い強制液冷法を検討している。圧電素子のマイグレーションを防ぐために、冷却液には絶縁性の高いシリコンオイルを採用している。予備実験では、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、高い冷却効果により、10kHz以上でフルストロークに近い連続駆動を実現している。また、温度上昇の抑制が、圧電素子の電気・機械的特性の変動や、圧電素子の予圧機構の熱膨張を抑制するため、安定した位置制御に寄与することも示している。最後に、本強制液冷をピストン駆動部に適応し、連続・高周波数・大振幅駆動時に圧電素子に発生した焼損の問題を解決している。

第5章「複数セグメントミラーの同時制御」では、隣接するピストン駆動部の相対的な運動誤差 (ピストン不整合) を低減する位置制御法を提案している。隣接するピストン駆動部の実際の伸び量の差が目標値に対して異なると、ピストン不整合となる。セグメントミラー補償器のゲイン調整をリアルタイムで行うことで、線形補償器では補正できない圧電素子のヒステリシスに起因するピストン不整合を低減する方法を提案している。周波数5kHz、振幅0.2mradのセグメントFSMの駆動条件で、ゲイン未調整時と提案する調整時のピストン不整合を実験的に比較している。その結果、ピストン不整合は、ゲイン未調整時最大値281nm、提案手法では126nmに低減され、本手法が、ピストン不整合の低減に有効であることを明らかにしている。

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。

以上要するに、本論文は、高応答化と大口径化の両立を目指す圧電駆動型セグメント高速ステアリングミラーの機構設計法、圧電素子冷却法、位置・姿勢制御法を提案し、試作システムにおいて、その有効性を実証したもので、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって、博士 (工学) の学位論文として十分な価値があると認められる。