11/26 可視赤外線観測装置技術ワークショップ

次世代スペース赤外線望遠鏡に向けた 自由曲面鏡光学系のアラインメント手法 および光学性能評価手法の開発

近藤 翼(名古屋大学, D2)

金田英宏,國生拓摩,谷内逸華,黒田幸(名古屋大学), 和田武彦(国立天文台),内山瑞穂,松原英雄(ISAS/JAXA), 榎木谷海(総合研究大学院大学)

1.1 スペース赤外線望遠鏡の観測装置光学系

<u>自由曲面鏡光学系のメリット</u> 少ない光学面数で、高い結像性能を持った視野の広い光学系を実現 →衛星搭載機器に有効

例:SPICA/SMI, GREX-PLUS/HRS, PRIMA



SPICA/SMI光学系の模式図

1.1 スペース赤外線望遠鏡の観測装置光学系

<u>自由曲面鏡光学系のメリット</u> **少ない光学面数で、高い結像性能**を持った視野の広い光学系を実現 →衛星搭載機器に有効

例:SPICA/SMI, GREX-PLUS/HRS, PRIMA



✓ 複数の光学面の機能を1枚で担う→要求精度が高くなる
✓ 回転対称軸等がない→アラインメントの難易度が高い

イントロダクション - 方法 - 結果 - 議論 - まとめ

1.2 光学系のアラインメント手法

三次元測定機(CMM)
●プローブで鏡治具等に触れて設計値からのずれ量を取得
●測定/調整のイテレーションに時間がかかる

2/14

レーザー
●光学系の主光線と同じ光路を通るレーザーを当てて、
反射光のスポット位置と理想的なスポット位置のずれを調整
●レーザー光軸を目標精度で光学系光軸に合わせる必要



1.2 光学系のアラインメント手法

三次元測定機+レーザーを組み合わせたアラインメント手法 例: TAO6.5m望遠鏡/中間赤外線観測装置MIMIZUKU(内山修論, 2012)



①三次元測定機で鏡の位置・角度ずれを測定
③スクリーン上のスポットの移動をモニター
②鏡面にレーザーを当てる。角度ずれ量を
レーザーの反射光スポットの移動量に変換

位置精度~50 µm, 角度精度~3分角 →角度精度が不十分

1.2 光学系のアラインメント手法

先行研究の課題:非球面部分にレーザーを当てる

→スポット移動に対して位置と角度のずれが縮退



1.2 光学系のアラインメント手法

先行研究の課題:非球面部分にレーザーを当てる

→スポット移動に対して位置と角度のずれが縮退



2.1 新しいアラインメント手法のアイデア

自由曲面と参照平面を一体ものにした鏡を使用 →より高い角度精度でアラインメント可能



2.1 新しいアラインメント手法のアイデア

自由曲面と参照平面を一体ものにした鏡を使用 →より高い角度精度でアラインメント可能





2.1 新しいアラインメント手法のアイデア

自由曲面と参照平面を一体ものにした鏡を使用 →より高い角度精度でアラインメント可能





2.1 新しいアラインメント手法のアイデア

自由曲面と参照平面を一体ものにした鏡を使用 →より高い角度精度でアラインメント可能





5/14

参照平面鏡の高精度設置・調整 →自動的に自由曲面鏡のアラインメントが完了

2.2 使用する自由曲面鏡光学系

赤外線観測装置を模擬した共焦点光学系



2.2 使用する自由曲面鏡光学系

赤外線観測装置を模擬した共焦点光学系



位置は位置決めピンの精度(~10µm)→角度1軸のみ調整





位置は位置決めピンの精度(~10µm)→角度1軸のみ調整





位置は位置決めピンの精度(~10µm)→角度1軸のみ調整



位置は位置決めピンの精度(~10µm)→角度1軸のみ調整





2.3 アラインメントプラン

実験レイアウト(CMMワーク上)



測定セットアップ

3 光学性能評価

 球面フィゾー干渉計を用いた光学性能評価
●焦点側からフィゾー干渉計で球面波を光学系に入射
●折り返し平面鏡での反射光との干渉縞から光学系の 波面誤差マップを取得

3光学性能評価

●CMMの測定で鏡の角度1.2分角~3分角のずれまで調整 ●干渉縞の取得に成功→非点収差のパターンが支配的 ●GREX-PLUSの観測波長(波長 λ =10 µm)で波面誤差 λ /10 RMS →目標精度 波面誤差λ/40は未達成

11/14

(緑枠内の領域を波面誤差に変換)

4.1 光学シミュレーションとの比較

光学シミュレーションで測定結果の波面誤差マップを 光学系のアラインメント誤差のみで再現

4.1 光学シミュレーションとの比較

光学シミュレーションで測定結果の波面誤差マップを 光学系のアラインメント誤差のみで再現

鏡が想定していない方向へ傾いている可能性 →調整方法・調整機構の改善

4.2 現状の課題と検討中のアラインメントアイデア

●CMMの測定精度~1 µm
→鏡のサイズによっては角度精度が不十分

●平面&球面フィゾー干渉計を使ったアラインメント・光学性能評価

4.2 現状の課題と検討中のアラインメントアイデア

●CMMの測定精度~1 µm →鏡のサイズによっては角度精度が不十分

●平面&球面フィゾー干渉計を使ったアラインメント・光学性能評価

4.2 現状の課題と検討中のアラインメントアイデア

●CMMの測定精度~1 µm →鏡のサイズによっては角度精度が不十分

●平面&球面フィゾー干渉計を使ったアラインメント・光学性能評価

13/14

●干渉縞をリアルタイムモニターしながらアラインメント→効率UP

4.2 現状の課題と検討中のアラインメントアイデア

●CMMの測定精度~1 µm
→鏡のサイズによっては角度精度が不十分

●平面&球面フィゾー干渉計を使ったアラインメント・光学性能評価

13/14

●干渉縞をリアルタイムモニターしながらアラインメント→効率UP
●干渉計原器の付け替えだけで波面誤差測定

まとめ

●スペース赤外線望遠鏡に有効な自由曲面鏡光学系を高精度 (位置~10µm,角度~6秒角)にアラインメントできる手法の開発

- ●自由曲面と参照平面が一体ものとなった鏡を使用
 - →難易度が高い自由曲面鏡のアラインメントを単純な平面鏡の アラインメントに焼き直し
 - →より高い角度精度を容易に達成可能
- ●CMM+レーザーを組み合わせた手法を赤外線観測装置を 模擬した光学系に適用
 - ・球面フィゾー干渉計で波面誤差測定 $\lambda/10$ RMS ($\lambda = 10 \mu m$) →鏡が想定していない方向へ傾くことでアラインメントが複雑化
- ●鏡のサイズによってはCMMの測定精度の制限で 角度精度を満たせない
 - →平面&球面フィゾー干渉計を用いた
 - アラインメント・光学性能評価手法を検討・実証中