

京大岡山3.8m新技術望遠鏡の開発XV: 主鏡位置制御システム開発の進捗状況

○下農淳司(ナノオプト)、森谷友由希、岩室史英(京都大学)、他京大岡山3.8m新技術望遠鏡計画WG

本講演では、京大岡山3.8m新技術望遠鏡開発における、主鏡位置制御システム開発の進捗状況を報告する。18枚のセグメントにより構成される本望遠鏡の分割主鏡を1枚の鏡として機能させるためにはセグメントの位置を50nm程度の精度で制御する必要があり、セグメントの相対位置をリアルタイムにフィードバック制御する機構とセグメントの絶対位置・向きを測定しキャリブレーションする機構を開発している。リアルタイムフィードバック制御は、セグメント位置を10nm程度の分解能で制御することを目標とするリニアアクチュエーターと無関節でこの機構を、非接触センサーによるセグメント相対位置の測定値により制御することで実現する。そして、絶対位置の測定については参照光に複数波長レーザーを用いた独自の位相測定カメラシステムを開発することで、天体が利用できない昼間や曇天時においても分割鏡のアライメントを可能とすることを目標としている。我々は、主鏡支持架台の1/6部分と内周・外周両方のセグメントの複製を用いて位置制御試験を行うとともに、効率的な非接触センサーの配置方法や制御システムの安定性を検証するためのシミュレーターの開発を行っている。前回の年会では位相測定カメラを用いた基準位置の同定からフィードバック制御までの試験について報告を行った。本講演では、実際の望遠鏡で実現する必要がある主鏡トラスが傾いた状態での制御試験や、内周・外周の両方のセグメントを利用した相対位置測定と位置合わせ試験といった位置制御試験のその後の進捗状況と、シミュレーターによって得られた効率的な非接触センサーの配置方法についての制限について報告する。

分割鏡制御試験の現状

ラテラル支持機構をつけて、主鏡トラスを傾けた状態での分割鏡制御機構の駆動試験を行っている

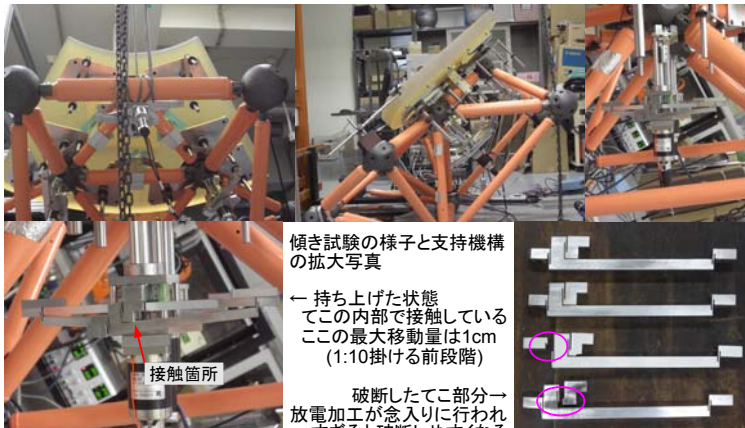
ラテラル支持機構

鏡を横方向に動かないように固定する部分で、鏡とトラスの熱膨張率の違いを吸収し、光軸方向の移動を妨げず、更に鏡の取り外しが可能な構造を目標としている。トラスが真上から傾いた状態では、この支持機構のみで鏡材の横方向の荷重を保持することになる。



傾け試験の現状

主鏡トラスを傾けた状態で各アクチュエーター軸のフルストローク(1mm)往復駆動とより狭い領域での往復駆動をそれぞれ10回繰り返すことで、アクチュエーター軸の駆動精度と再現性・安定性を確認する。鏡面の傾き 20, 40, 60 度で試験中。

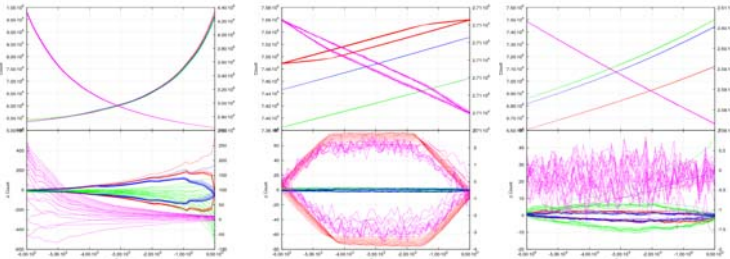


傾き試験の様子と支持機構の拡大写真
 ← 持ち上げた状態でこの内部で接触している
 この最大移動量は1cm (1:10掛ける前段階)
 破断してこの部分→放電加工が念入りに行われすぎると破断しやすくなる

各アクチュエーター軸の10往復試験によるセンサの値の変化

フルストローク(1mm)での試験

10umストロークでの試験



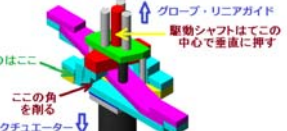
各線はセンサーの値
 ・ピンク: 鏡の動きをモニタする鏡材に取り付けたセンサー
 ・他3色: 各アクチュエーター軸上に取り付けたセンサー

グラフは10往復分を表示
 ・上段: 制御位置に対する生読み出し値変化
 ・下段: 2往復目の残差

上記中央のグラフに現れているような、アクチュエーター・試行により振る舞いが異なる1um程度のヒステリシスが検出されたため、さまざまな試験を行い、ヒステリシスの原因を調査した。
 => シャフトにかかる移動と垂直方向の微妙な負荷が原因の可能性

支持機構設計の今後の改善予定点

- ・1/10でこの機構の中心点と上下駆動シャフト中心のずれによる、この機構の非対称変形
 => 接続部分の構造を再検討
- ・無関節でこの放電加工が念入りに行われすぎると焼きが入った状態になりもろい100回程度往復すると折れる(2期製作分)
 => 角の設計を丸くするなどの対応
- ・上下駆動シャフトに対する横方向負荷
 保持部分とシャフトの平行性の微妙なずれ
 グroup内部のリニアガイドに負荷
 => 調整方法を検討など



分割主鏡制御シミュレーターの現状

ギャップセンサーの最適配置の調査や分割主鏡位相合わせの際の振る舞いの把握などのため、分割主鏡シミュレーターを作成している

概念・アルゴリズム

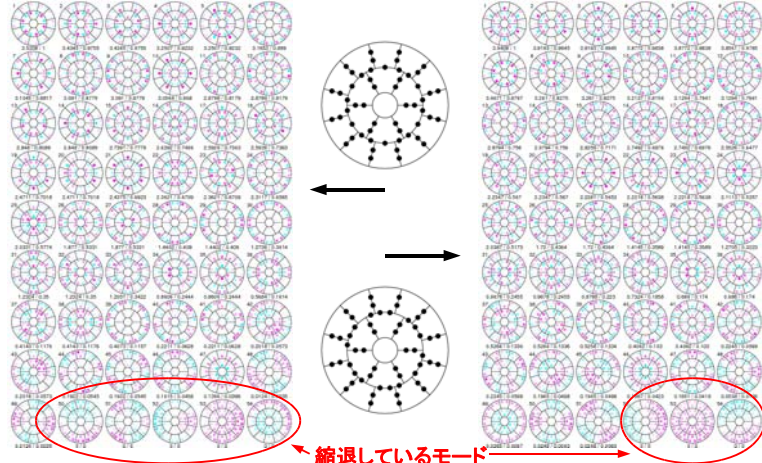
ギャップセンサー・アクチュエーターの配置は決まっている
 => アクチュエーター位置からギャップセンサー読み出し値は線形変換 (ただし、鏡材は変形しない平板とする)

- ・行列形式で表現できるので、変換行列の特異ベクトル・特異値が系を表現
- ・逆に特異値分解から逆変換行列も求まる => アクチュエーター制御量

入力に

- ・ギャップセンサーの配置、動かさないアクチュエーターの指定
 - ・アクチュエーターの位置に対する変動
 - ・ギャップセンサーの読み出し値にランダムノイズを与え、それに対して
 - ・変換行列の特異値分解の結果 (縮退する特異ベクトルなど)
 - ・ノイズ入りギャップセンサー読み出し値からのアクチュエーター制御量 (制御系のノイズ耐性が判明する)
- などを出力できるような静的シミュレーターを製作

ギャップセンサー配置に対する特異ベクトル・特異値の例



小さい各分割主鏡の図が一つのモードに相当、小さい赤・青はアクチュエーターの駆動量を示す。下の数字は左が特異値、右が最大特異値との比で、1e-4以下は縮退として0であらわされている。中央のギャップセンサー配置図は、黒丸が一つのギャップセンサーの配置場所を示す。

ギャップセンサー配置に対する示唆

- ギャップセンサー配置から求まる特異値・特異ベクトルは修正可能性を反映
- ・特異値が非常に小さい縮退したモードは修正が困難
 => 対応する特異ベクトルのモードが波面残差として残る
- ・全体的に滑らかに変化するモードが縮退しやすい (=残差として残りやすい)

つまり、ギャップセンサーの配置(やその他の測定機構)の設計が重要

=> ツールを利用して最適なギャップセンサー配置を検討する

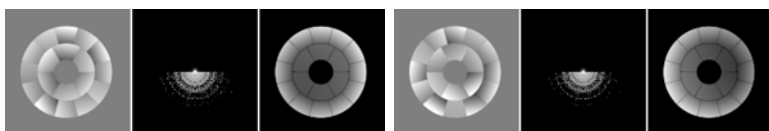
制御残差のシミュレーションと各モードで期待されるPSF (の現状)

分割主鏡制御の結果としてどのような波面残差が残るかを静的にシミュレート

入力は次の3種類

- ・アクチュエーターに対して理想位置からの誤差を与える
 => ギャップセンサーの読み出し値に変換して利用
 - ・ギャップセンサーの読み出し値にランダムノイズを与える
 => このランダムノイズをさまざまに変化させてノイズ耐性をシミュレート
 - ・鏡材の鏡面方向への横ずれ
- 出力は
- ・修正後の鏡面の波面誤差の分布
 - ・修正後の鏡面により実現される(回折限界)PSF像

出力サンプル: 鏡材横ずれのみいれていないシミュレーション



それぞれ、左が修正前(アクチュエーター誤差による波面)、真ん中が修正後に実現されるPSF、右が修正後の鏡面の波面誤差。PSFは上半分がピークの1/10を上限とした線形表示、下半分がピークを上限とするログ表示。波面は線形表示で修正前が±1λ、修正後が±0.25λ。表示範囲はPSFが4秒角、波面は3.8m主鏡全体。