

## 京大岡山 3.8m 望遠鏡計画：主鏡支持機構 ワーピングハーネスによる鏡面歪みの補正

細野 俊介 (京都大学大学院 理学研究科)

### Abstract

京都大学が中心となり、岡山に分割鏡方式の光赤外線望遠鏡を建設し、その調整を行っている。望遠鏡の運用における問題点のひとつに、分割鏡に生じる鏡面歪みがある。鏡面歪みにより、主鏡で光が反射する際に波面の歪みが形成され、星像の乱れにつながってしまう。したがって、この歪みを補正することが必要となる。その役割を果たす装置がワーピングハーネス（以下、WH）である。WH は、 $\pm 500$  nm 程度の歪みを補正する。

WH による補正の仕組みについて述べる。分割鏡 1 枚を支える主鏡支持機構には計 6 個の WH を設置する。各 WH を駆動させると分割鏡の裏面にトルクがかかり、鏡面形状を変形させることができる。その変形と鏡面歪みが打ち消しあうことで、補正を行う。そこで、補正に必要な鏡面変形を得るために適切な、各 WH の駆動量を算出する必要がある。そのために、分割鏡とツリーのモデルを作成し、有限要素法を用いて WH 駆動のモデル解析を行った。これにより、各 WH を駆動させた際の鏡面変形を鏡面に垂直な方向の変位データとして得た。

### 1 Introduction

京大岡山新技術望遠鏡は、口径 3.78 m であり、赤外線および可視光線での観測を行う。望遠鏡の建設と運用に関して、様々な技術開発を行ってきた。そのひとつとして、本望遠鏡は、日本の望遠鏡としては初めて分割鏡方式を採用している。主鏡を計 18 枚の分割鏡から構成する。

主鏡を一枚鏡で製作、運搬できる大きさには限界がある。一方で、主鏡を分割した一枚一枚の分割鏡製作は比較的容易だが、運用での問題が生じる。それは、分割鏡の姿勢や位置のずれと、各分割鏡の鏡面に生じる歪みである。それらを制御・補正し、全 18 枚の分割鏡を 1 枚の主鏡として成立させる必要がある。そのうち、WH は鏡面歪みを補正する。

WH が補正すべき歪みには、以下の誤差が挙げられる。括弧内の数値は、生じる各誤差の PV 値である。

- 鏡の加工誤差 (250 nm)
- 鏡の支持機構への設置誤差 (750 nm)
- 経年変化による誤差 (300 nm)

各 PV 値の二乗和平方根を考慮して、補正すべき歪みの最大量を  $\pm 500$  nm と設定した。

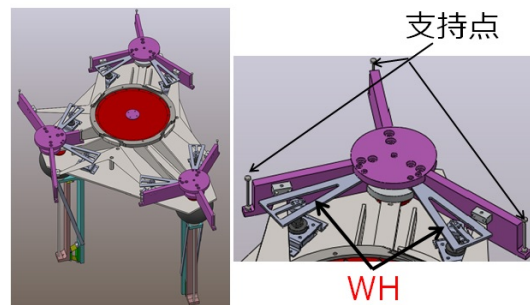


図 1: 左：主鏡支持機構、右：ホイップルツリー

図 1 のように、主鏡支持機構にはホイップルツリー（以下、ツリー）が 3 機設置されている。1 つのツリーには 3 つの支持点があり、分割鏡 1 枚に対して計 9 点でその垂直方向の支持を行っている。また、1 つのツリーには WH が 2 個設置されている。したがって、主鏡支持機構には計 6 個の WH が存在する。この 6 個の WH により、1 枚の分割鏡の鏡面歪みの補正を行う。

## 2 WH による補正の仕組み

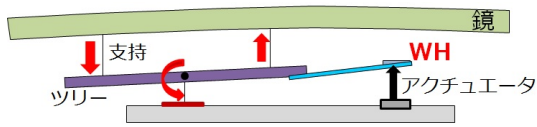


図 2: WH の仕組みの概念図。赤矢印が示すようにトルクが分割鏡に伝わり、変形が生じる。

分割鏡と支持機構、WH の仕組みを模式的に表したのが図 2 である。WH はアクチュエータにより、最大で  $\pm 5$  mm 駆動させることができる。図は、+ 方向の駆動を表している。WH が伸びる方向に対して垂直かつ、ツリーの中心を通る線の周りにトルクが働く。そのトルクが支持点を介して分割鏡に伝わり、鏡面形状が変形する。その鏡面変形が補正すべき歪みと打ち消しあうことで補正を行う。したがって、歪みと相殺できる変形を分割鏡に与えられるように、歪みに対する適切な WH 駆動量を導出する必要がある。

## 3 有限要素法による鏡面変形の解析

適切な WH 駆動量の導出には、まず、WH を駆動させた際に得られる鏡面変形を求める必要がある。そこで分割鏡と簡略化したツリーのモデルを作成し、有限要素法による解析を行った。解析では、6 枚の WH を各々独立に  $+5$  mm 駆動させた際の鏡面変形を求めた。

さらに、解析が WH の実動と対応していることを確認するため、実際の動作実験との比較を行った。動作実験では、解析と同様に各 WH を独立に  $+5$  mm 駆動させた。その際の鏡面変形を干渉計によって測定した。

## 4 Results

図 3 は、解析によって得られた 6 パターンの変形形状である。青い部分が負の最大変位、赤い部分が正

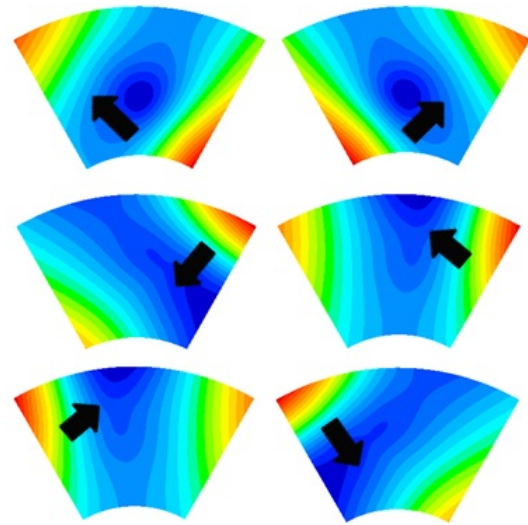


図 3: 解析での鏡面変位量をカラーマップ表示した図。図中の黒矢印は WH の位置と方向を表している。それぞれの位置の WH を紙面奥方向に 5 mm 駆動した、として解析した結果を示している。

の最大変位となっている。どの解析結果からも、PV 値で 1000 nm 前後の変形が得られている。

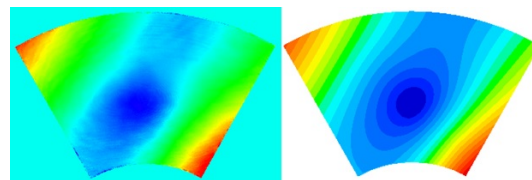


図 4: 実際の駆動実験結果と解析結果の比較図。左: 実動、右: 解析

また、図 4 は実動と解析を比較したものである。実動と概ね一致した解析結果が得られている。

## 5 Conclusion

有限要素法解析により各 WH 駆動時の変形を、鏡面に垂直な方向の変位データとして得られた。変形量が、補正すべき歪みの最大量を十分にカバーしていることも確かめられた。また、解析と実動が概ね対応していることも確認できた。

今後は、得られた変位データから、鏡面歪みの補正に必要な変形を与える、WH の駆動量を導出する。

具体的には、今得られている変位データをのせた行列を作成し、(その行列が正方行列ではないので)その擬似逆行列を求める。実際の WH 運用においてこの擬似逆行列を用いれば、検出された鏡面歪みに対して WH の駆動すべき量を算出できる。そして、WH のアクチュエータに適切な駆動量を指令することができる。

## Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号 : YITP-W-15-04 )  
及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。